Journal of Mountain Agriculture on the Balkans, vol. 18, 5, 2015, (902-913)
Research Institute of Mountain Stockbreeding and Agriculture, Troyan

ПАРАМЕТРИ НА ЗАВИСИМОСТТА „ДОБИВ – ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЯ” ЗА СЛЪНЧОГЛЕД

Александър Матев*, Димитър Давидов, Радост Калайджиева, Велика Кунева, Живко Живков

Аграрен университет-Пловдив, България
**E-mail: sa6_m@abv.bg*

PARAMETERS OF THE DEPENDENCE "YIELD – EVAPOTRANSPIRATION" FOR SUNFLOWER

Alexander Matev*, Dimitar Davidov, Radost Kalaydzieva, Velika Kuneva, Zhivko Zhivkov

Agricultural university-Plovdiv, Bulgaria

РЕЗЮМЕ

Целта на разработката е да се установят параметрите на зависимостта между добива и сумарната евапотранспирация при слънчогледа,която да се използува за управление на добива он слънчогледа в реално време. Използвани са данни от полски експеримент, проведен през периода 2004-2010 година в опитното поле на АУ-Пловдив. Вариантите на опита са: оптимално напояван, без напояване, напояване с 50% намалена поливна норма и напояване с 50% завишена поливна норма. Търсените параметри са получени, като са използвани данни е за относителния добив и относителната евапотранспирация за всички варианти на опита. Същите са обработени със специализираната компютърна програма YIELD. Получените модели представляват съществуващи формули (линейна и едностепенна), които са калибрирани и са валидни за слънчогледа, отглеждан в района на Пловдив. Изнесената информация важи при оптимизиране на почвената влажност в

SUMMARY

The aim of the study is to establish the parameters in the dependence between yield and total evapotranspiration of sunflower that is used to control the yield of sunflower in real time.

The field experiment was conducted during the period 2004-2010 in the experimental field of Agricultural University-Plovdiv. The variants of the experience were: optimum irrigation, without irrigation, irrigation by 50% reduced irrigation rate and irrigation increased by 50% irrigation rate. The demanded parameters were obtained using data from relative yield and relative evapotranspiration for all variants of experience. They were treated by a specialized computer programme YIELD. The resulting models are existing formulas (linear and one-tier) that are calibrated and valid for sunflower, grown in the region of Plovdiv. Published information is valid when optimizing soil moisture in the layer is 0-80 cm, and in the layer 0-100 cm, the thickness of the слоя 0-80 cm и в слоя 0-100 cm, като с това се конкретизира дебелината на почвения пласт, в който евапотранспирацията е определяща за добива. И двете използвани формули представят връзката с достатъчна математическа точност, но в съответствие с биологичните изисквания на слънчогледа е връзката, установена чрез степенната зависимост на Даявидов при R = 0.851, коефициент на добива A = 1.38 и степенен показател n = 1.3.

Ключови думи: слънчоглед, напояване, добив, евапотранспирация, поливен режим

soil layer is specified, which is determinative of evapotranspiration yield.

The used formulas provide sufficient connection with mathematical precision, but in accordance with the biological requirements of the sunflower, a relationship is established by the speed depending on Dayavidov at R = 0.851, coefficient of extraction A = 1.38 and exponent n = 1.3.

Key words: sunflower, irrigation, yield, evapotranspiration, irrigation regime

УВОД

Степента на водообезпеченост на селскостопанските култури оказва влияние както върху добива, така и върху евапотранспирацията (ЕТ), т.е. чрез регулиране интензивността на ЕТ прилагайки даден поливен режим, може да осигури получаването на добив в варираща в дадени конкретни граници. За да бъде установено влиянието на ЕТ върху добива е необходимо да се направи проучване относно връзката между тези два параметъра. От няколко десетилетия същата е обект на изследване при голяма част от селскостопанските култури, като за целта ФАО предлага математически модел, който представлява линейна формула (Doorenbos. & Kassam, 1979). Тъй като добивът не се променя пропорционално на изменението на размера на напоителната норма и на ЕТ, Давидов предлага двустепенна зависимост, която графи-

INTRODUCTION

The degree of water availability to the crop influences the yield, and the evapotranspiration (ET) as well, i.e. by adjusting the ET intensity and applying a given irrigation system, it can lead to a yield that varies within specific limits.

In order to establish the impact of ET on the yield, it is necessary to undertake a study for the relationship between these two parameters. For several decades, this relationship is the subject of research in many agricultural crops.

For this purpose FAO proposes a mathematical model that represents the linear formula (Doorenbos & Kassam, 1979). Since the yield does not change in proportion to the change of the size of the irrigation rate and ET, Davidov proposes a two-stage connection, which is graphically чески се изразява чрез S-образна крива и интерпретира плавно и по-точно изменението на добива, в зависимост от ЕТ (Davidov, 1994). По-късно същият автор усъвършенства предложената от ФАО линейна формула, като добавя променлив степенен показател (Калайджиева, 2014). Така формулата на ФАО става частен случай на степенната формула на Давидов. По отношение на слънчогледа, в специализираната научна литература съществуват известен брой публикации, свързани с проучване на връзката между добива и ЕТ. В основната част от тях се предлагат параметри, получени чрез линейната формула на ФАО (Demir et al., 2006; Göksoy, et.al., 2004; Erdem et al., 2002), както преди това зависимостта е определена посредством уравнение от вида y = bx + c (Browne, 1977).

Целта на разработката е да се установи подходяща емпирична формула за връзката между добива и сумарната ЕТ, която да се използва за прогнозиране на добива при слънчогледа.

expressed by S-shaped curve and interprets smoothly and more accurately the change of yield, depending on the address (Davidov, 1994). Later, the same author refines the linear formula, proposed by FAO, by adding variable exponent (Kalaydzhieva, 2014). So the formula of FAO becomes a special case of the speed formula of David.

With regard to sunflower, in specialized scientific literature there are several publications aimed to study the relationship between yield and ET. In most of them parameters are offered, obtained by the linear formula of FAO (Demir et al., 2006; Göksoy et al., 2004; Erdem et al., 2002) as previously, the dependence is determined by an equation of the following type: y = bx + c (Browne, 1977) .

The aim of the study is to establish an appropriate empirical formula for the relationship between the yield and the accumulated ET, which can be used to predict the yield of sunflower.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

За установяване параметрите на зависимостта „Добив–ЕТ” са използвани данни за относителния добив и относителната ЕТ при слънчоглед, отглеждан при оптимален и нарушен поливен режим. Изходните данни са получени от полски екс-

MATERIAL AND METHODS

To establish the parameters of dependence "Yield–ET", it was used data of the relative yield and relative ET for sunflower, grown in optimum and broken irrigation regime. The output data was obtained from a field experiment, conducted during the period 2004 -

перимент, проведен през периода 2004-2010 година в АУ-Пловдив върху алувиално-ливадна почва. Опитът е изведен с хибрид PR-64-E-83, при гъстота на посева 5500 растения на 1 декар и междуредово разстояние 70 cm. Вариантите, касаещи настоящата работа са: 1) без напояване; 2) напояване с 50% от поливната норма, изчислена при оптималния вариант; 3) оптимално напояване при предполивна влажност 75% от ППВ за слоя 0-80 cm; 4) напояване със 150% от нормата при оптималния вариант (навлажняване под активния почвен слой). Броят на поливките и времето за тяхното реализиране при всички варианти на опита съвпада напълно и е съобразно изискванията при оптималния вариант, като е направена съответната корекция на размера на поливните норми. Напояването е извършвано гравитачно по къси затворени бразди. Опитът е залаган по блоковия метод в четири повторения с големина на опитните парцели 30 m^2, а на реколтните – 10 m^2.

Параметрите на зависимостта „Добив–ЕТ” са установени посредством следните формули:

• Формула на ФАО – линейна:
$Y=1-Kc(1-x)$ (1)
където: Y е относителния добив, Kc – коефициент на добива, x – относителна ЕТ.

• Степенна формула на Давидов:

2010 year in AU-Plovdiv on alluvial soil.

Experience was set up with a hybrid PR-64-E-83, with crop density of 5500 plants in 1 da and space between rows – 70 cm. The variants, related to this work were: 1) without irrigation; 2) irrigation with 50% of irrigation rate, calculated for the optimum variant; 3) optimum irrigation in pre-irrigation soil moisture 75% of field capacity (FC) for the layer of 0-80 cm; 4) irrigation with 150% of rate for the optimum variant (moisture under the active soil layer). The number of irrigations and time to implement them at all variants of experience coincided fully. It was in accordance with the requirements for the optimum variant. There was a corresponding adjustment to the amount of the irrigated norms. Irrigation was carried out by gravity with short closed furrows. The experiment was made by the block method in four repetitions, with experimental plot size of 30 m^2, and the crop plots – 10 m^2.

The parameters of dependence "Yield–ET" were established by the following formulas:

• FAO’s formula – linear:
$Y = 1-Kc (1-x)$ (1)
where: Y is the relative yield, Kc – coefficient of extraction, x – relative ET.

• power formula of Davidov:

$Y=1-a(1-x)n$ (2)

където: Y е относителния добив, а – коефициент на добива, x – относителна ЕТ, n – степенен показател.

Параметрите на зависимостта по посочените формули се получават, като изходните данни за добива и ЕТ по варианти се обработят по метода на най-малките квадрати чрез специализираната компютърна програма (Давидов и Гайдарова, 1994).

$Y=1-a(1-x)^n$ (2)

where: Y is the relative yield, a – coefficient of yield, x – relative ET, n – exponent.

The parameters of dependency on the above formulas were obtained when the initial data for the yield and ET in variants were processed by the method of least squares through a specialized computer programme (Davidov and Gaydarova, 1994).

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

В метеорологично отношение годините на опита са разнообразни, което в известна степен е оказало влияние върху стойностите на добива и евапотранспирацията при отделните варианти на опита.

RESULTS AND DISCUSSION

In terms of meteorology, the years of experience are various. To a certain degree, it influenced the values of yield and evapotranspiration at different options of experience.

Таблица 1. Обезпеченост на метеорологичните фактори за периода V - IX
Table 1. Probability of meteorological factors for the period V - X

Фактор Factor		Всички опитни години / All experimental years						
		Средно за многогодишен период Average for multi year period	2004	2006	2007	2008	2009	2010
ΣT°	°C	3181 °C	3135	3239	3367	3243	3326	3331
	P %		60.6	36.2	9.6	35.1	13.8	12.8
ΣD	HPa	1430 HPa	1675	1590	1794	1587	1629	1441
	P %		13.3	21.3	6.7	22.7	18.7	50.7
N	mm	241,9 mm	234	228	463	231	190	234
	P %		44.9	50.0	2.0	45.9	69.4	43.9
ΣT° – температурна сума (temperature); N – валежи (precipitations); P% – емпирична обезпеченост (empirical probability)								

Относно валежите, 2004, 2006, 2008 и 2010 са средни години. Като много влажна се характеризира 2007 година, но в същото време тя е изключително суха критичните периоди от вегетацията на слънчогледа.

In respect of the precipitation, 2004, 2006, 2008 and 2010 are average years. The 2007 year was characterized as very wet, but, at the same time, it was extremely dry in the critical periods of sunflower vegetation.

С обезпеченост от 69.4%, 2009 година може да бъде определена като средно суха. По отношение на температурната сума, първата експериментална година (2004) е средна, до средно хладна, а 2007, 2009 и 2010 са много топли. Много близки в метеорологично отношение са 2006 и 2008 години, като по този показател те се характеризират като средно топли (Таблица 1).

2009 can be defined as average dry, with provision of 69.4%. In terms of the temperature sum, the first experimental year (2004) was medium to medium cool, and 2007, 2009 and 2010 were very warm. 2006 and 2008 were very close in meteorological terms, as for this indicator they were characterized as medium hot (Table 1).

Таблица 2. Изходни данни за определяне параметрите на зависимостта между добива и сумарната евапотранспирация при слънчогледа
Table 2. Output data for establishment of sunflower's "Yield-ET" relationship parameters

Година Year	Варианти Variants	ET (evapotranspiration)		Добив (Yield)	
		(mm)	относителна relative	kg/da	относителен Relative
2004	no irrigated	330.8	0.662	117.6	0.552
	25% m	385.4	0.771	134.1	0.629
	50% m	417.2	0.835	183.3	0.860
	75% m	431.5	0.863	207.7	0.974
	100% m	499.9	1.000	213.2	1.000
2006	no irrigated	302.4	0.607	157.6	0.684
	50% m	394.6	0.792	198.5	0.862
	100% m	498.0	1.000	230.3	1.000
2007	no irrigated	341.7	0.685	122.9	0.540
	50% m	437.5	0.878	187.3	0.824
	100% m	498,5	1.000	227.4	1.000
2008	no irrigated	313.4	0.572	205.7	0.681
	50% m	430.5	0.786	268.0	0.888
	100% m	547.6	1.000	301.9	1.000
2009	no irrigated	274.4	0.578	169.8	0.509
	50% m	374.5	0.789	291.1	0.873
	100% m	474.7	1.000	333.4	1.000
2010	no irrigated	311.0	0.557	207.1	0.508
	50% m	416.4	0.745	359.7	0.883
	100% m	558.6	1.000	407.4	1.000
average	no irrigated	308.6	0.599	163.5	0.572
	50% m	410.7	0.797	248.0	0.868
	100% m	515.5	1.000	285.6	1.000
m – напоителна норма (irrigation depth)					

Таблица 3. Добиви при оптимална норма (100%) и увеличена норма (150%)
Table 3. Yield by optimum irrigation depth (100%) and raised one (150%)

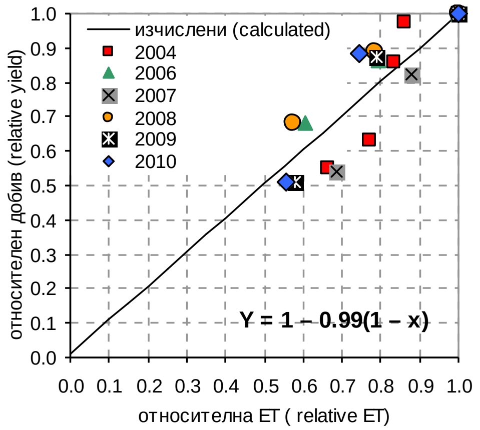
Година/year	2004	2006	2007	2008	2009	2010
Добив/Yield (100%m)	213.2	230.3	227.4	301.9	333.4	407.4
Добив/Yield (150%m)	215.1	223.4	231.6	294.4	314.9	407.2

Както се вижда от Таблица 3, добива при увеличена норма е почти един и същ. Това се дължи на факта, че почвата на опитното поле е естествено дренирана, т.е при увеличаване на нормата активният почвен слой не се преовлажнява, тъй като увеличеното количество подадена вода в почвата над ППВ се отцежда под активния почвен слой (0-80 cm). Затова връзката „добив-ЕТ" се разглежда в безразмерен вид (в интервала от 0 до 1) именно за този почвен слой, като изходните данни по години са представени в Таблица 2.

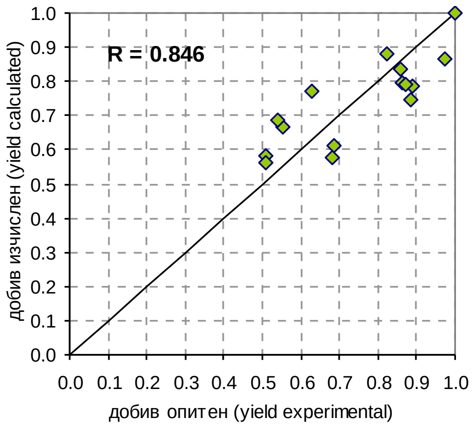
На Фиг. 1 е представена зависимостта между добива и ЕТ, по линейната формула на ФАО, като са апроксимирани данните от всички опитни години при Kc = 0.99 и R = 0.846. Въпреки високата от математическа гледна точка точност (Фиг. 2), така представената на графиката зависимост не удовлетворява биологичните особености на слънчогледа. Линията, подчинена на така изведеното уравнение пресича ординатата, а не абсцисата. Това означава, че при ЕТ = 0 може да се получи добив, което практически е невъзможно.

The yield in the increased rate is almost the same, as it can be seen in Table 3. This is due to the fact that the soil of the experimental field is naturally drained, i.e. in the rate increase, the active soil layer is not over-moisted since the increased amount of water in the soil brought over FC drains under the active soil layer (0-80 cm).
Therefore, the relationship "yield-ET" is seen in non-dimensional form (in the range of 0 to 1) for that particular soil layer, as the output data in years are presented in Table 2.

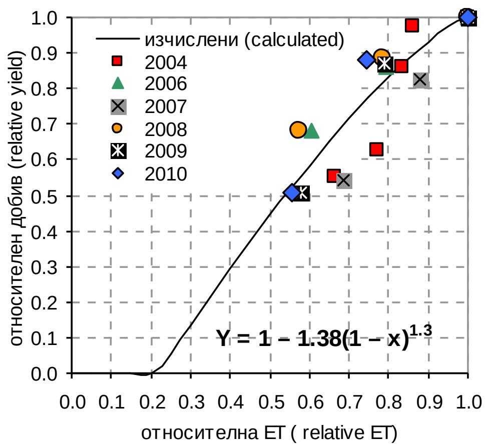
The relationship between yield and ET were presented in Figure 1, by the linear formula of FAO, as data from all experimental years is approximated at Kc = 0.99 and R = 0.846. Despite the high accuracy from a mathematical point of view, (Figure 2), the presented in dependence in the graph does not satisfy the biological characteristics of the sunflower. The line, subordinated to this particular equation, crosses the ordinate, not the x-axis. It means that when ET = 0, a yield can be obtained, which is practically impossible.



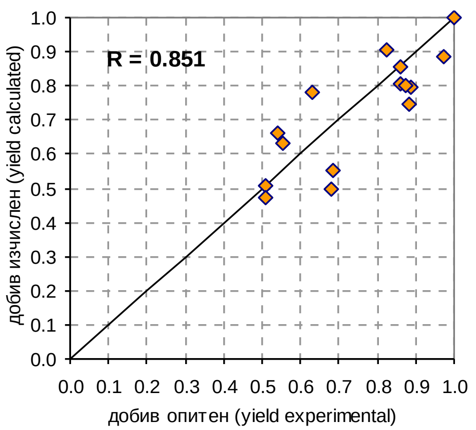
Фиг. 1. Връзка „Добив-ЕТ” – линейна
Fig. 1. Linear relationship „Yield-ET”



Фиг. 2. Корелация между опитни и изчислени добиви по формула (1)
Fig. 2. Correlation between experimental and calculated yield by formula (1)



Фиг. 3. Връзка „Добив-ЕТ” – степенна
Fig. 3. Power relationship „Yield-ET”



Фиг. 4. Корелация между опитни и изчислени добиви по формула (2)
Fig. 4. Correlation between experimental and calculated yield by formula (2)

На Фиг. 3 е представена степенната връзка между добива и ЕТ, по формулата на Давидов, данните от всички опитни години, са осреднени от единствена крива, представляваща изпъкнала парабола при R=0.851 с коефициентът на добива A=1.38 и степенният показател n = 1.3.

Figure 3 presents the degree link between yield and ET by the formula of Davidov, the data from all experimental years were averaged from a single curve, representing a convex parabola at R = 0.851 with yield coefficient A=1.38 and an exponent n = 1.3.

Освен по-висок коефициент точност на корелация, кривата пресича абсцисата при 23% от ЕТ, т.е при ЕТ по-малка от 23% добива от слънчогледа е нула., което е реално, за разлика от линейната формула на ФАО ри която при нулева стойност на ЕТ, добива е положителен. На Фиг. 2 и Фиг. 4 е показана нагледно степента на корелация между опитните и изчислените двете формули добиви, а на Таблица 4 са нанесени параметрите на зависимостта по години, по двете формули.

Except a higher coefficient of correlation accuracy, the curve intersects the x-axis at 23% of ET ET,.i.e at less than 23% yield of sunflower is zero. It is real, as opposed to the linear formula of FAO at which for zero ET the yield is positive.

On Figure 2 and Figure 4 it were showed graphically the degree of correlation between the experimental and calculated yields for the two formulas, and in Table 4 it were plotted the parameters of dependence by years, for the both formulas.

Таблица 4. Параметри на връзката „Добив-ЕТ” по години
Table 4. Parameters of “Yield-ET” relationship by years

Параметър Parameter	Години / Years						
	2004	2006	2007	2008	2009	2010	Средно/Average
Линейна зависимост / Linear relationship							
Kc	1.23	0.77	1.46	0.69	1.05	0.94	0.98
Степенна зависимост / Degree relationship							
a	2.44	0.98	1.70	1.31	3.28	3.53	2.09
n	1.50	1.22	1.12	1.65	2.19	2.43	1.74

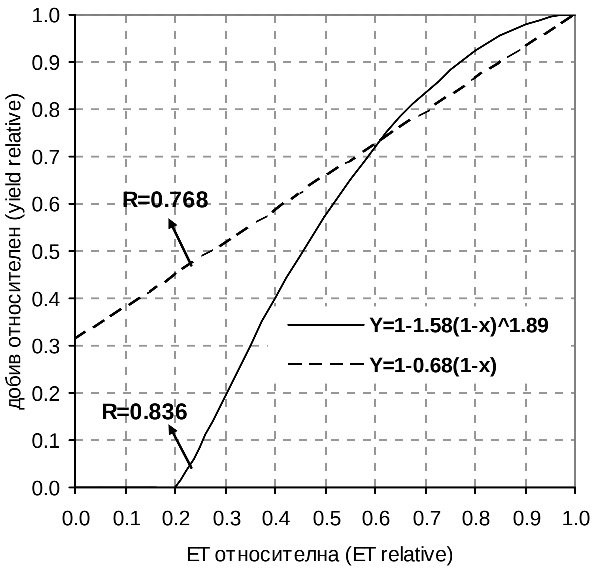
На база данните за добива и напоителната норма от същия този експеримент е установено, че навлажняването на почвата на дълбочина по-голяма от 0.8 m при напояване, не води до допълнително нарастване на добива (Матев, 2012; Матев и др., 2013; Matev & Petrova, 2014), като в същото време стойностите на ЕТ нарастват с увеличаване дълбочината на навлажняване на почвата (Matev et al., 2012). Това означава, че ЕТ, реализирана под активния

On the base of the yield data and the irrigation norm of that experiment, it is established that moistening the soil to a depth greater than 0.8 m in irrigation does not lead to a further increase in yield (Matev, 2012; Matev et al., 2013; Matev & Petrova, 2014). In the same time, ET values go up with the increasing the depth of soil moistening (Matev et al., 2012).

This means that ET, realized in the active soil layer of sunflower (0-80 почвен слой на слънчогледа (0-80 cm) е неефективна по отношение на добива, което се пътвърждава и от графиката на Фиг. 5, където е представена зависимостта „Добив-ЕТ”, но валидна за слоя 0-100 cm. Ако се направи сравнение на графиките от Фиг. 3 и Фиг. 5 се вижда, че двете криви пресичат абсцисата приблизително на едно и също място. Въпреки това съществува тенденция, за намаляване чувствителността към ЕТ с увеличаване на дълбочината на навлажняване.

cm), is inefficient in terms of the yield, which is also confirmed by the graph of Figure 5.

It presents the dependence "Yield-ET", but valid for the layer 0-100 cm. Comparison between Fig. 3 and Fig. 5 shows that the two curves cross the abscissa at approximately the same location. However, there is a trend to reduce the sensitivity to ET by increasing the depth to which the soil is wetted.



Фиг. 5. Връзка „Добив-ЕТ” за слоя 0-100cm
Fig. 5. “Yield-ET” relation for the 0-100cm soil layer

При линейната зависимост, валидна за слоя 0-100 cm несъответствието с биологичните изисквания на слънчогледа е съществено, като според графиката, при стойност на ЕТ = 0, би

In linear relationship, valid for the layer from 0 to 100 cm, the discrepancy with the biological requirements of the sunflower is significant. According to the graph , when the value of ET = 0, a yield трябвало да се получи добив, представляващ над 30% от този, при оптимално напояване.

should be obtained , representing over 30% of that at optimum irrigation.

ИЗВОДИ

За връзката „Добив-ЕТ” при слънчогледа се препоръчва степенната формула на Давидов (2), която за района на Пловдив е: $Y=1-1.38(1-x)^{1.3}$ при коефициент на корелация R=0.85.

При дренирани почви при подаване на поливна норма по голяма от тази която навлажнява активния почвен слой до ППВ, добива при слънчогледа не се променя.

Тази част от евапотранспирацията на слънчогледа, формирана в почвения слой с дълбочина под 80 cm е неефективна по отношение на добива, поради което активният почвен слой за слънчогледа трябва да бъде от 0 до 80 cm.

CONCLUSIONS

For the relationship "Yield-ET" at sunflower it is recommended the degree formula of Davidov (2), which for the region of Plovdiv is: $Y=1-1.38(1-x)^{1.3}$ with a correlation coefficient R = 0.85.

The yield of sunflower is not changed in drained soils at handing of irrigation rate greater than the one that moistens the active soil layer to FC.

This part of evapotranspiration of the sunflower, formed in the soil to a depth of less than 80 cm, is inefficient in terms of yield. That is why, the active soil layer of sunflower should be from 0 to 80 cm.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Давидов Д., Ст. Гайдарова.** 1994. Компютърна програма и база данни за изчисляване на проектния поливен режим и на добива от селскостопанските култури. Известия на ИХМ, том XXIV.
2. **Калайджиева Р.** 2014. Поливен режим и евапотранспирация на градински фасул (Phaseolus vulgaris L. ssp. Nanos), сорт “Страйк”, за района на Пловдив. Дисертация.
3. **Матев А.** 2012. Влияние на поливния режим върху продуктивността на слънчогледа. Аграрни науки, IV, 11, 99-106.
4. **Матев А., Р. Петрова, Хр. Кирчев.** 2013. Параметри на връзката „Допълнителен добив – напоителна норма” при слънчоглед за района на Пловдив. Аграрни науки vol.VI, 15, 47-54.
5. **Browne C.L.** 1977. Effect of date and final irrigation on yield and yield components of sunflowers in a semi-arid environment. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, 17 (86), 482-488.
6. **Davidov D.** 1994. On the Grounds of the Relationship “Yield–Water“; 17th European Regional Conference on Irrigation and Drainage ICID–CIID, Varna, Bulgaria, vol.1, 251-253.

7. **Demir A.O., A.T. Göksoy, H. Büyükcangaz, Z. Turan, E. Köksal.** 2006. Deficit irrigationof sunflower (Heliantus annuus L.) in a sub-humid climate. Irrigation science, vol.24, 4, 279-289.

8. **Doorenbos J., A. Kassam.** 1979. Yield response to water;. FAO Irrigation an Drainage Paper, 33, FAO, Rome.

9. **Erdem T., L. Del ba, A. Orta.** 2002. Water use characteristics of sunflower (Heliantus annuus L.) under deficit irrigation. Pakistan Journal of Biological Sciences, 4/7, 766-769.

10. **Göksoy A.T., A.O. Demir, Z. Turan, N. Dagüstü.** 2004. Responses of sunflower (Heliantus annuus L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field crop research, vol.87, 2-3, 167-178.

11. **Matev A., R. Petrova, Hr. Kirchev.** 2012. Evapotranspiration of sunflower crops depending on irrigation. Agricultural Science and Technology, vol.4, 4, 417-426.

12. **Matev A., R. Petrova.** 2014. Parameters of "Yield – Irrigation depth" relationship for sunflower grown in the region of Plovdiv. Agricultural science and technology, vol. 6, 1, 32-39.