Journal of Mountain Agriculture on the Balkans, 2018, 21 (6), 194-213 ISSN 1311-0489 (Print)
Research Institute of Mountain Stockbreeding and Agriculture, Troyan ISSN 2367-8364 (Online)

Продуктивност на полски фасул в условията на регулиран воден дефицит

Александър Матев[1]*, Радост Петрова[1], Гергана Илчева[2], Велика Кунева[1], Живко Живков[2]

[1]Аграрен университет, 4000 Пловдив, България
[2]Лесотехнически университет,1797 София, България

Common bean productivity in regulated water deficit conditions

Alexander Matev[1]*, Radost Petrova[1], Gergana Ilcheva[2], Velika Kuneva[1], Zhivko Zhivkov[2]

[1]Agricultural University, 4000 Plovdiv, Bulgaria
[2]University of Forestry, 1797 Sofia, Bulgaria
**E-mail: sa6_m@abv.bg*

Received: 20.11.2018 *Accepted:* 17.12.2018 *Published:* 27.12.2018

РЕЗЮМЕ

Целта на разработката е да се проучи влиянието на регулирания воден дефицит върху продуктивността на полския фасул и да се установят параметрите на връзката „Напоителна норма-добив”. Опитът е проведен през периода 2014-2016 година в УОП на АУ - Пловдив. Използван е сорт „Добруджански-7”. Вариантите на опита са: 1) без напояване, 2) напояване с 25% от поливната норма, определената при оптималния вариант, 3) напояване с 50% от поливната норма, 4) напояване със 75% от поливната норма, 5) оптимално напояване 100% поливна норма при предполивна влажност 80% от ППВ за слоя 0-40 cm. Резултатите показват, че редуцирането на поливната норма с 25% осигурява над 95% от максималния добив, дори през години с продължителни летни засушавания. По икономически показатели този поливен режим е близък до оптималния и при недостиг на поливна вода може да се

SUMMARY

The aim of this work is to study the influence of the regulated water deficit on the productivity of common bean and to establish the parameters of "Yield-Irrigation rate" relationship. The field experiment was conducted during the period 2014-2016 in the experimental field of Agricultural University - Plovdiv. The variety "Dobrudzhanski-7" is used. Experimental variants are: 1) without irrigation, 2) irrigation with 25% of optimum irrigation rate (25%m), 3) irrigation with 50% of optimum irrigation rate (50%m), irrigation with 75% of the irrigation rate, 5) optimum irrigation (100% irrigation rate) by 80% of field capacity for the 0-40cm soil layer. The results show that reducing of the irrigation rate by 25% provides over 95% of the maximum yield even in years with long summer droughts. By economic point of view, this irrigation regime is close to the optimum and can be successfully applied by shortage of irrigation water. The yield losses in realize прилага успешно. Между 8 и 15% са загубите на добив при реализиране на 50% от оптималната поливна норма, като този поливен режим също може да бъде приложен при недостиг на поливна вода. Не се препоръчва напояването с малки поливни норми (25%m), тъй като се постига незначителен икономически ефект, особено през сухи години. Продуктивността на напоителната норма при оптимално напояване е средно 0.712 $kg.da^{-1}.mm^{-1}$. Прилагането на нарушен поливен режим, води до нейното увеличаване. Връзката “Добив-напоителна норма” се изразява най-добре чрез степенната зависимост $Y=1-(1-Y_c)(1-x)^{1.7}$, като „x” е относителната напоителна норма, а Y_c е относителния добив без напояване. Графически зависимостта се изразява чрез изпъкнала парабола при коефициент на корелация R=0.994.

Ключови думи: фасул, поливен режим, регулиран воден дефицит, продуктивност

50% of the optimal irrigation rate are between 8% and 15% and this irrigation regime can also be successfully applied in case of irrigation water shortage. Irrigation with small irrigation rate (25% of the optimum) is not recommended as there is little economic effect, especially in dry years.

The annual irrigation rate productivity at optimum irrigation regime is on average 0.712 $kg/da^{-1}mm^{-1}$. The application of regulated water deficit leads to its increase. The relationship "Yield-Irrigation rate" is best expressed by the power equation $Y=1-(1-Y_c)(1-x)^{1.7}$, where “x” is the relative irrigation rate and Yc is the relative yield without irrigation. This relation is graphically expressed by convex parabola with a correlation coefficient R = 0.994.

Key words: common bean, irrigation regime, regulated water deficit, productivity

УВОД

През последните няколко десетилетия проблемите свързани с ефективното използване на водата за напояване стават все по-актуални, като от една страна се търси възможност за оптимизиране на напояването от биологична гледна точка, а от друга – получаване на продукция с по-ниска себестойност и добри икономически показатели. Това може да се постигне чрез научно обоснована корекция на оптималния поливен режим, а като резултат – икономия на поливна вода, при минимална загуба на добив.

Като растение, фасулът е толерантен към условията на средата, поради което се отглежда в много райони на страната. Сухоустойчив е, но вегетационните валежи обикновено не са достатъчни за получаването на висок, стабилен и качествен добив, поради което той трябва да бъде напояван. Проведените у нас изследвания, свързани с напояването на тази култура се

INTRODUCTION

During the last few decades, the problems related to the effective use of irrigation water have become increasingly relevant, on the one hand is the search of possibility for optimum irrigation from a biological point of view, and on the other – to obtain lower cost and good economic output indicators. This can be achieved through a scientifically-grounded correction of the optimum irrigation regime, and as a result – saving irrigated water, with minimum yield loss.

As a plant, common bean is tolerant to the conditions of the environment and is grown in many areas of the country. It is dry-resistant, but vegetative rainfall is usually not enough to produce high, stable and quality yields, so it must be irrigated. The studies conducted in Bulgaria related to the cultivation of this crop mainly concern the determination of the depth of the active отнасят предимно за определяне дълбочината на активния почвен слой и нивото на предполивната влажност през отделните периоди от вегетацията. На база проведени дългогодишни изследвания Vitkov (1973, 1974, 1975) и Radkov (1975) препоръчват поливна схема 75–85–75% от ППВ, която се реализира посредством 3-4 вегетационни поливки с поливна норма 30 mm и напоителна норма 90-120 mm. При невъзможност за прилагане на такъв поливен режим, авторите препоръчват схема 60–70–60% от ППВ, реализирана с 1-2 поливки. Според същите изследвания, активният почвен слой на фасула не надвишава 0.6 m.

През последните няколко десетилетия изследванията са насочени предимно към повишаване ефективността от напояването на фасула, чрез допускане на регулиран воден дефицит, който дава възможност за увеличаване използваемостта на валежите и същевременно гарантира получаването на високи добиви. По отношение на фасула, резултати от опити с напояване, чрез редуциране на поливните норми са изнесени само в чуждестранната специализирана научна литература. Barbieri & Pascale (1992) за условията на Южна Италия и Al-Kaisi et al. (1999) за Колорадо (САЩ) съобщават, че изменението на поливната норма в диапазона от 66-67% до 100% не влияе съществено върху добива. Напояването с норма по-голяма от оптималната, води само до известно повишаване на сухата маса на растенията.

До приблизително същите резултати са достигнали El-Noemani et al. (2010) в североизточната част на Египет, като се съобщава за максимален вегетативен растеж при оптимално напояване и стабилизиране размера на добива в границите 80-100% от поливната норма. Реализирането на 75% от оптималната напоителна норма, според Erdem et al. (2006) гарантира получаването на 87% от максималния до-

soil layer and the level of the pre-irrigation soil moisture during the different periods of vegetation.

Based on many years of research, Vitkov (1973, 1974, 1975) and Radkov (1975) recommend a irrigation scheme of 75-85-75% of FC (field capacity), which is realized by 3-4 vegetation irrigations with irrigation rate of 30 mm and annual irrigation rate 90-120 mm. In the case of impossibility to apply this irrigation regime, the authors recommend a scheme of 60-70-60% of FC with 1-2 irrigation. According to the same research, the active soil layer of beans does not exceed 0.6 m.

During the last few decades, research has been primarily geared to increasing the efficiency of bean's irrigation with regulated water deficit application, which allows for increased rainfall utilization while ensuring high yields.

As far as beans are concerned, results of irrigation experiments by reducing irrigation norms have been exported only in foreign specialized scientific literature. Barbieri & Pascale (1992) on the conditions of Southern Italy and Al-Kaisi et al. (1999) for Colorado (USA) reported that the change in the irrigation rate in the range of 66-67% to 100% did not significantly affect the yield. Irrigation with a rate greater than the optimal, only leads to a certain increase in the dry mass of the plants.

Approximately the same results were achieved by El-Noemani et al. (2010) in the northeastern part of Egypt, reporting maximum vegetative growth under optimal irrigation and stabilizing yields in the range of 80-100% of the irrigation rate.

The realization of 75% of the optimal irrigation rate, according to Erdem et al. (2006) ensures 87% of the maximum бив, а напояването с ½ от нея редуцира добива с до 32%. Тези резултати се потвърждават и от изследванията на Sehirali et al. (2005), като може да се допълни, че с увеличаване на относителния размер на напоителната норма, нейната продуктивност нараства от 0,34 до 0,41 kg/m^3. Изнесените до тук данни доказват, че и при фасула изменението на добива не е пропорционално на изменението на поливната норма. За условията на Бразилия, Nascimento et al. (2004) също така отчитат стабилизиране на добива в диапазона 80-100% от оптималната норма, като при намалението й с 40 и 60% вече е налице съществен отрицателен ефект върху самите растения, количеството и качеството на добива, както е споменато и от цитираните по-горе автори. Отбелязва се значително изоставане на стресираните растения по отношение на височината (съответно 26 и 48%) и по отношение на броя на листата (23 и 35%).

Според изследвания, проведени в Ispatra (Югозападна Турция), добри резултати се получават, когато фасулът се напоява с намалени норми (25 или 50%) в първата и последната част от вегетацията (Ucar et al., 2009), като при нужда тези норми могат да се прилагат и през целия вегетационен период. Намаляването на поливната норма с 50% води до значителни промени във водния потенциал на листата, в сравнение с тези, при оптимално напоявания фасул (Wakrim et al., 2005). Това е сигнал за настъпило почвено засушаване и последващи го всички споменати по-горе отрицателни последици. Когато обаче е наложително, авторите препоръчват реализирането на ½ от оптималната норма при гравитачно напояване да става през бразда.

По отношение на полския фасул, публикациите свързани с връзката „Добив – напоителна норма” са твърде малко. Gencoglan et al. (2006) установяват, че върху характера на зависимост-

yield, and irrigation with ½ of it reduces the yield by up to 32%. These results are confirmed by the studies of Sehirali et al. (2005), and it can be added that by increasing the relative size of the irrigation rate its productivity increases from 0.34 to 0.41 kg/m^3.

The data provided so far prove that even in the beans the variation of the yield is not proportional to the change in the irrigation rate. For the conditions of Brazil, Nascimento et al. (2004) also reported a stabilization of the yield in the 80-100% range of the optimal norm, with a reduction of 40 and 60% already having a significant negative effect on the plants, the quantity and quality of the yield, as mentioned by the cited above authors.

There is a significant lag of stressed plants in terms of height (26 and 48%, respectively) and number of leaves (23 and 35% respectively).

According to studies carried out in Ispatra region (Southwest Turkey), good results are obtained when the bean is irrigated with reduced rates (25 or 50%) in the first and last part of the vegetation period (Ucar et al., 2009). These irrigation regimes may be applied throughout the growing season.

Reducing the irrigation rate by 50% leads to significant changes in leaf water potential compared to optimal irrigated beans (Wakrim et al., 2005). This is a signal of the occurrence of soil drought, and all the aforementioned negative consequences follow. However, when it is imperative, the authors recommend the realization of ½ of the optimum irrigation rate – gravity through a furrow.

Concerning common beans, the publications related to the relationship "Yield – irrigation rate" are too little. Gencoglan et al. (2006) found that the character of dependence on beans та при фасула оказва влияние и начина на напояване, като се изменя наклона на линиите при графическото ѝ представяне. Според Sehirali et al. (2005) връзката „Добив – напоителна норма" при фасула се изразява най-добре чрез линейна зависимост. Barbieri & Pascale (1992) установяват зависимост между добива и напоителната норма, според която най-добър икономически ефект се получава при норма, осигуряваща 90-95% от максималния добив.

Анализът на резултатите от проведените в световен мащаб опити показва, че влиянието на относително постоянния воден дефицит върху загубите на добив от фасула при различно намаление на нормите, варира в доста голям диапазон, в зависимост от условията на отглеждане (климат, почви, критерии за оптимално напояване и др.) и метеорологичната характеристика на годините. Липсата на информация за различни райони на страната, налага провеждането на такива изследвания, с оглед получаването на достоверна информация, необходима за производителите, както и при организацията на поливните площи и сеитбообращенията, в състава на които е застъпен фасулът. Това предопределя и целта на настоящата разработка, а именно: да се проучи влиянието на регулирания воден дефицит върху продуктивността на полския фасул и да се установят параметрите на връзката „Напоителна норма-добив".

influenced the irrigation mode by altering the slope of the lines in its graphical representation. According to Sehirali et al. (2005) the relation "Yield – irrigation rate" in beans is best expressed by linear dependence. Barbieri & Pascale (1992) establish a relationship between yield and irrigation rate, according to which the best economic effect is obtained at a rate providing 90-95% of the maximum yield.

The analysis of the results of the world-wide experiments shows that the influence of the regulated water deficit on the bean's yield losses at different rates varies in quite a large range depending on the conditions of cultivation (climate, soils, criteria for optimal irrigation, etc.) and the meteorological characteristics of the years.

The lack of information on different regions of the country requires such studies to be made in order to obtain the reliable information needed by producers, as well as the organization of irrigated areas and crop rotation in which the beans are covered.

This predetermines the purpose of the present study, namely: to study the influence of the regulated water deficit on the productivity of the common beans and to establish the parameters of the relationship "Irrigation rate-Yield".

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

За целта на разработката са използвани данни от тригодишен полски опит, за проучване поливния режим на фасул, проведен в опитното поле на Аграрен университет - Пловдив през периода 2014-2016 година, върху алувиално-ливадна почва. Използван е районираният за страната сорт Добруджански 7. Опитът е залаган по блоковия метод в четири повторения, като в настоящата разработка са

MATERIAL AND METHODS

For the purpose of the study, data from a three-year field experiment with aim to study the bean's irrigation regime. The experiment was carried out in the experimental field of Agricultural University Plovdiv in the period 2014-2016 on alluvial meadow soil. The variety "Dobrudzhanski 7" was used.

The experiment is based on the blocking method in four repeats and the present използвани резултатите от следните варианти: 1) без напояване (контрола), 2) напояване с 25% от поливната норма, определената при оптималния вариант (25% m), 3) напояване с 50% от поливната норма, определената при оптималния вариант (50% m), 4) напояване със 75% от поливната норма, определената при оптималния вариант (75% m), 5) напояване с пълна поливна норма (100%m) – оптимално напояване (контрола). Поливките при оптималния вариант (вариант 5) са подавани при спадане на влажността на почвата до 80% от ППВ в слоя 0 – 40 cm, а размерът на поливната норма е изчисляван за навлажняване до ППВ на целия активен почвен слой (0-60 cm). За целта е проследявана динами-ката на почвената влажност през 5-7 дни по тегловния метод (Atanasov, 1972). При вариантите 2, 3, 4 и 6 полив-ките са подавани едновременно с тези, при вариант 5, но със съответната корекция на поливните норми. Напояването на опитните пар-цели е извършвано гравитачно по къси затворени бразди. Данните за добива по варианти и повторения са обрабо-тени чрез дисперсионен анализ с по-мощта на специализираната компютър-ната програма БИОСТАТ (Penchev, 1988), като е установена степента на доказаност на разликите между тях.

Параметрите на връзката между добива и напоителната норма са опре-делени по степенната формула на Davidov (1994): $Y=1–(1–Yc).(1–x)^n$, където: n е степенен показател, x – относителна напоителна норма и Yc – относителен добив при неполивни условия. За изчисляване параметрите на зависимостта е използвана специа-лизираната компютърна програма „YELD” на Davidov (1994), посредством която относителните стойности на добива и напоителната норма по варианти са обработени по метода на най-малките квадрати.

study uses the results of the following variants: 1) without irrigation (control), 2) irrigation with 25% of the irrigation rate determined in the optimal variant (25%m), 3) irrigation with 50% of the irrigation rate determined in the optimal variant (50%m), 4) irrigation with 75% of the irrigation rate determined at the optimal variation (75% m), 5) irrigation with full irrigation (100% m) – optimum irrigation (control), 6) irrigation through a furrow (50%m average for the experimental plot) The irrigations for the optimal variant (variant 5) are scheduled by pre-irrigation soil moisture 80% of FC for the 0-40 cm soil layer and the irrigation rate is calculated to moisten to FC of the entire active soil layer (0-60 cm). For this purpose, the dynamics of soil moisture was monitored during 5-7 days (Atanasov, 1972).

The experimental plots of variants 2, 3, 4 and 6 are irrigated simultaneously with variant 5 but with the corresponding correction of irrigation rates. Irrigation of the experimental plots is performed gravity on short closed furrows.

The data for yields were processed by ANOVA dispersion analysis using the specialized computer program BIOCANT (Penchev, 1988).

The parameters of the relation between the yield and the irrigation rate are determined by the power equation of Davidov (1994): $Y=1–(1–Yc).(1–x)^n$, where: n is a exponent, and Yc - relative yield under non-irrigation conditions.

For the calculation of the relationship parameters, specialized computer program "YELD" was used (Davidov, 1994), using the smallest squares method.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Метеорологична характеристика на опитните години

Ефектът от напояването с намалени поливни норми завис в голяма степен от метеорологичните условия през вегетационния период, като с най-съществено е влиянието на валежите (като количество и разпределение) и температурата на въздуха. Данните за тези два показателя по години и средно за дългогодишен период са представени на Таблица 1.

RESULTS AND DISCUSSION

Meteorological characteristics of the experimental years

The effect of irrigation with reduced irrigation rates depends on the weather conditions during the vegetation period, with the most significant impact of precipitation (such as quantity and distribution) and air temperature. The data for these two indicators by year and average over a long term period are presented on Table 1.

Таблица 1. Метеорологични фактори за периода V-VIII за района на Пловдив
Table 1. Meteorological factors for V-VIII period in region of Plovdiv

фактор/factor		средно за 64 години average for 64 years	2014	2015	2016
ΣN	mm	221.5 mm	288.7	301.6	210.3
	P %		19.8	13.2	41.5
ΣT°	°C	2625°C	2631	2748	2775
	P %		46.5	19.2	14.1
**ΣN – валежи/precipitations; ΣT° – температура/temperature; P% – обезпеченост/probability*					

Първата опитна година е средно влажна (с обезпеченост 19,8%) със засушаване през третата десетдневка на юни и първата на юли, което календарно съвпада с края на растежния период и периода на бутонизация – начало на цъфтеж. Количеството на валежите през периода на бобообразуване и наливане на зърното са в диапазона 30-40 mm за десетдневка, като същите обезпечават в голяма степен водоразхода на растенията. По отношение на температурната сума, годината е средна с обезпеченост 46.5%.

Втората опитна година (2015) се характеризира като влажна с обезпеченост 13.2%. въпреки това, през периода от третата десетдневка на юни до втората на август (включително) е налице засушаване, като сумата на валежите през целия този период е едва 44 mm. Това напрактика означава, че през репродуктивния период на фасула годината е суха. Съществени са валежите през третата декада на август

The first experimental year is moderately humid (probability 19.8%) with drought in the third ten days of June and the first of July, which coincides with the end of the growth period and the period from bud formation to beginning of flowering. The amount of precipitation during the pod formation and grain filing period is in the range of 30 - 40 mm for ten days and they provide the water consumption of the plants. As regards to the temperature sum, the year is medium with 46.5% probability.

The second experimental year (2015) is characterized as wet with a 13.2% probability. However, during the period from the third ten days of June to the second of August (inclusive) there is drought, with the sum of precipitations throughout this period being only 44 mm. This practice means that during the reproduction period of beans the year is dry. Rainfall in the third decade of August (136 mm) is significant, but they are of no

(136 mm), но те нямат практическо значение за добива. По отношение на температурната сума годината е средно топла до топла с обезпеченост 19.2%.

За периода май-август, третата година на опита (2016) е средна по обезпеченост на валежите (41.5%) и топла по обезпеченост на температурната сума (14.1%). През тази година се наблюдава сравнително равномерно разпрадалание на валежите по десетдневки, въпреки че като количество те са крайно недостатъчно. По време на репродуктивния период са паднали едва 70 mm.

Елементи на поливния режим

Елементите на поливния режим през трите експериментални години са в синхрон с метеорологичната обстановка, като данните са представени нагледно на Таблица 2. И през трите експериментални години вегетативният период протича в условията на естествено овлажняване на активния почвен пласт, т.е. не са извършвани поливки. През първата година на опита при вариантите 2, 3, 4, 5 и 6 са подадени по 2 поливки, съответно през периода на цъфтеж и бобообразуване. През втората опитна година (2015) броят на поливките е 4, като първите две са реализирани през периода на бутонизация и цъфтеж, а третата и четвъртата, съответно през периода на бобообразуване и наливане на зърното. През третата експериментална година са подадени три поливки, разпределени през периода от цъфтеж до наливане на зърното.

practical significance for the yield. In terms of the air temperature, the year is between medium warm and warm with probability of 19.2%.

For the period May-August, the third year of the experiment (2016) is with medium rainfall probability (41.5%) and the warmest of the temperature (probability 14.1%). This year saw a comparatively uniform of precipitations, although they are extremely low in quantity. They are only 70 mm during the reproductive period (from the beginning of bud formation to the end of grain filing).

Irrigation regime components

The irrigation regime components during the three experimental years are in line with the meteorological conditions and the data are presented on Table 2. In the three experimental years, the vegetative period runs by natural wetting of the active soil layer (without irrigation).

During the first experimental year, two irrigations were realized for variants 2, 3, 4, 5 and 6 (respectively during the flowering and pod formation periods).

In the second experimental year (2015), the number of irrigations is 4, the first two being realized during the period of bud and flowering, and the third and fourth, respectively, during the period of pod formation and grain filing. In the third experimental year, three irrigations were distributed, from the flowering period to the filling of the grain.

Таблица 2. Елементи на поливния режим
Table 2. Irrigation regime components

година year	дата date	T (days)	Варианти (variants)								Фаза Phase
			2		3 & 6		4		5		
			m (mm)	M (mm)	m (mm)	M (mm)	m (mm)	M (mm)	m (mm)	M (mm)	
2014	06 VII	7	12.5	25.0	25.0	50.0	37.5	75.0	50.0	100.0	2
	13 VII		12.5		25.0		37.5		50.0		3
2015	15 VI	21	12.5	54.3	25.0	108.5	37.5	162.8	50.0	217.0	2
	06 VII	7	15.0		30.0		45.0		60.0		
	13 VII	8	14.3		28.5		42.8		57.0		3-4
	21 VII		12.5		25.0		37.5		50.0		
2016	21 VI	15	12.5	37.5	25.0	75.0	37.5	112.5	50.0	150.0	2
	6 VII	16	12.5		25.0		37.5		50.0		2-3
	22 VII		12.5		25.0		37.5		50.0		4

***m** – поливна норма (irrigation rate); **M** – напоителна норма (annual irrigation rate); **T** – междуполивен период (period between two irrigations); **2** цъфтеж (flowering)**;** **3** бобообразуване (pod formation); **4** наливане на зърното (grain filling)*

Таблица 3. Влияние на поливния режим върху продуктивността на фасула
Table 3. Irrigation regime influence on the common bean's productivity

година year	№	m* относ. relative	добив yield (Y) (kg/da)	спрямо 1 вариант compared to variant 1			спрямо 5 вариант compared to variant 5		
				±Y (kg/da)	%	доказаност warranted	±Y (kg/da)	%	доказаност warranted
2014	1	0%	153	st.	100	st.	-86	64	C
	2	25%	199	46	130	B	-40	83	B
	3	50%	212	59	139	C	-27	89	n.s.
	4	75%	232	79	152	C	-7	97	n.s.
	5	100%	239	86	156	C	st.	100	st.
	6	50%	222	69	145	C	-17	93	n.s.
GD: P5% = 28 kg/da				*P1% = 37 kg/da*			*P0.1% = 51 kg/da*		
2015	1	0%	147	st.	100	St.	-105	58	C
	2	25%	193	46	131	C	-59	77	C
	3	50%	231	84	157	C	-21	92	n.s
	4	75%	241	94	164	C	-11	96	n.s
	5	100%	252	105	171	C	st.	100	st.
	6	50%	229	82	156	C	-23	91	n.s.
GD: P5% = 24 kg/da				*P1% = 32 kg/da*			*P0.1% = 43 kg/da*		
2016	1	0%	126	st.	100	St.	-141	47	C
	2	25%	173	47	137	C	-94	65	C
	3	50%	228	102	181	C	-39	85	B
	4	75%	255	129	202	C	-12	95	n.s.
	5	100%	267	141	212	C	st.	100	st.
	6	50%	201	75	159	C	-66	75	C
GD: P5% = 23 kg/da				*P1% = 31kg/da*			*P0.1% = 42 kg/da*		
средно average	1	0%	142	st.	100	st.	-111	56	C
	2	25%	188	46	132	C	-65	74	C
	3	50%	223	81	157	C	-30	88	C
	4	75%	242	100	170	C	-11	96	n.s.
	5	100%	253	111	178	C	st.	100	st.
	6	50%	218	76	153	C	-35	86	C
GD: P5% =14 kg/da				*P1% = 19 kg/da*			*P0.1% = 26 kg/da*		

m - поливна норма (irrigation rate)*

Продуктивност на фасула при неполивни условия и при оптимално напояване

За условията на експеримента, приложеният поливен режим оказва съществено влияние върху размера на добива от зърно, като това въздействие е налице и през трите опитни години. На Таблица 3 са представени данните по варианти и години и средно за експерименталния период.

Благодарение на това, че фасулът е сухоустойчив, значителна част от площите, които той заема са неполивни. Типичен примар за това е добруджанският район, където заедно със слънчогледа и царевичните хибриди с къс вегетационен период, той е традиционен участник в сеитбообръщенията. Въпреки че при неполивни условия се получават добиви, тяхното количество и качество варират и са в тясна зависимост от характера на годината и основно от количеството и разпределението на валежите през вегетационния период. Това становище се доказва и в резултатите от настоящия експеримент, където през средно-влажната по обезпеченост 2014 и влажната 2015 добивът е около и над 150 kg/da, докато през средната 2016, той е под 130 kg/da. Както се вижда от данните, разликите не са големи, но и по отношение на валежите трите опитни години на практика не се различават съществено. Средно за периода, от ненапоявания фасул са получени 142 kg/da зърно.

С оптимизиране на поливния режим, чрез поддържане на предполивна влажност над 80% от ППВ в слоя 0-60 cm през цялата вегетация (вариант 5), добивът нараства чувствително. През първата опитна година той достига 239 kg/da, като надвишава получения при неполивни условия с 56% или със 86 kg/da. Освен че води до увеличаване на добива, прилагането на оптимален поливен режим стабилизира стойностите му, като през посухата 2015 година той е 252 kg/da, а

Productivity of beans in non-irrigation and optimum irrigation conditions

For the conditions of the experiment, the applied irrigation regime has a significant impact on grain yield, and this effect is present over the three experimental years (Table 3).

Due to the fact that the common bean is drought resistant, a significant part of the fields it occupies are without irrigation. A typical example of this is the Dobrudja region, where, together with sunflower and corn hybrids with a short vegetation period, it is a traditional part in crop rotation. The common bean gives some yield under non-irrigation but its quantity and quality are very variable and closely related to the meteorological characteristic of the year and mainly to the quantity and distribution of rainfall during the growing season.

This view is also demonstrated in the results of the present experiment, where the middle wet 2014 and the wet 2015 years the yield is around 150 kg/da, while in the middle 2016 it is below 130 kg/da. As can be seen from the data, the differences are not large, but with respect to rainfall these three years do not differ significantly. On average, 142kg/da seeds were obtained from non-irrigated experimental plots.

By optimizing of the irrigation regime through maintaining pre-irrigation soil moisture over 80% of FC in the 0-60 cm layer for all vegetation period (variant 5), the yield is considerably increased. In the first experimental year, it reached 239 kg/da, exceeding the yields in non-irrigating conditions by 56% (86 kg/da). In addition to increasing yield, the use of an optimal irrigation regime stabilizes its values, with 252 kg/da in the dry year 2015, and the difference with no irrigated bean is 71% (105 kg/da). Against the разликата спрямо ненапоявания фасул е 71% или 105 kg/da. На фона на неблагоприятните условия през репродуктивния период на третата опитна година добивът при оптимално напояване нараства над два пъти спрямо ненапояванния вариант, като достига 267 kg/da. Всички посочени разлики са статистически доказани с най-висок ранг. Средно за трите експериментални години добивът от зърно при оптимално напояване е 253 kg/da и надвишава този при неполивни условия със 78%.

Влияние на регулирания воден дефицит върху продуктивността на фасула

Редуцирането на поливните, респективно напоителната норма с 25% води до получаването на високи и стабилни добиви, близки по размер до получените при оптимално напояване (95-97%) и не се доказват статистически през нито една от опитните години. От една страна тези резултати може да се дължат на сравнително благоприятните в метеорологично отношение условия и през трите вегетации, но в същото време потвърждават становището на някои наши автори (цитирани в литературния праглед), че фасулът може да се отглежда успешно при поддържане на предполивна влажност в рамките на 70-75% от ППВ. Това сравнение е продиктувано от факта, че при този поливен режим, поради по-малките поливни норми се навлажнява по-плитък почвен слой (0-40 cm), в резултат на което почвената влажност преди поливката средно за слоя 0-60 cm спада до посочените по-ниски стойности. Средно за експерименталния период, напояването със 75% от максималната норма осигурява добив от 242 kg/da, който е с 4% по-нисък от получения при оптимално напояване и не се доказва статистически. Ако се сравнят добивите при този вариант спрямо получените при неполивни условия, разликите са съществени – между 80 и 130 kg/da (нарастване меж-

backdrop of unfavorable meteorological conditions during the reproduction period of the third experimental year, the yield of optimum irrigation increased more than twice compared to the no irrigated variant, reaching 267 kg/da. All these differences are statistically warranted. On average, for the three experimental years, grain yield under optimum irrigation amounts to 253 kg/da and exceeds that of non-irrigating conditions by 78%.

Influence of regulated water deficit on bean’s productivity

The reducing of the irrigation rate by 25% produces high and stable yields close to the optimum irrigation (95-97%) and unwarranted statistically during each of the years.

On the one hand, these results can be attributed to the meteorological conditions that are comparatively favorable during the three vegetations, but at the same time they confirm the opinion of some of our authors (cited in the literature) that beans can be grown successfully, maintaining 70-75% of FC pre-irrigation soil moisture.

This comparison is dictated by the fact that in this irrigation regime, because of the lower irrigation rates, a more shallower soil layer (0-40 cm) is moistened, as a result of which the soil moisture before irrigation for the layer 0-60 cm falls to lower values.

On average for the all experimental period, irrigation with 75% of the maximum rate provides a yield of 242 kg/da, which is 4% lower than that obtained with optimum irrigation and is not statistically warranted. Comparing the yields in this variant to those obtained under non-irrigating conditions, the differences are significant – between 80 and 130 kg/da (increase between 50 in ду 50% през влажната 2014 и 100% през най-сухата 2016 година) и се доказват статистически при най-висок ранг и през трите години на опита. Средно за експерименталния период нарастването на добива при вариант 4 спрямо този при вариант 1 е 100 kg/da или 70%.

По-същественото редуциране на поливните норми увеличава риска от поставянето на растенията в условията на воден стрес, особено през години с продължителни засушавания през периода от *бутонизация* до приключването на фаза *наливане на зърното*. Както вече бе споменато, годините включващи настояща работа не са екстремни дори през репродуктивния период. В резултат на това добивите, получени при напояване с 50% намаление на поливните норми са сравнително високи 210-230 kg/da, като разликите спрямо оптималния вариант се доказват само през третата опитна година. Средно за трите години при този вариант са получени 223 kg/da зърно или 88% от максималния добив. Анализирайки резултатите по отношение на допълнителния добив става ясно, че и тук разликата спрямо ненапоявания фасул е много голяма и статистически доказана във всеки един от случаите. Същата се изразява в увеличение с 60-100 kg/da или с 40-80%, в зависимост от условията на годината. Възможно е през години с екстремни и продължителни засушавания абсолютните стойности на общия и допълнителния добив при този поливен режим да са значително по-малки, но тук по-съществено е да се потърси алтернатива за по-ефективното му реализиране в условията на недостиг на поливна вода. В този смисъл, ако се сравнят добивите, получени при вариант 3 и при вариант 6 се вижда ясно, че разликите са несъществени, като средно за периода добивът при напояване във всяка бразда е 223 kg/da, а при напояване през бразда – 218 kg/da. Дори при получените доста

wet 2014 and 100% in the driest 2016) and are statistically warranted during the three years of the experiment. On average, for the experimental period, the yield increase in variant 4 compared to variant 1 is 100 kg/da (70%).

More substantial reduction of irrigation rates increases the risk of placing plants in water stress conditions, especially through years of prolonged droughts during the period from bud formation to the end of grain filling.

As has already been mentioned, the years involving current work are not extreme even during the reproduction period. As a result, the yields obtained by irrigation with a 50% reduction of the irrigation rate are relatively high 210-230 kg/da, while the differences compared to the optimal variant are warranted only in the third experimental year. On average, for the three years of this variant, 223 kg/da of grain or 88% of the maximum yield was obtained. Analyzing the results in terms of additional yield, it is clear that here the difference to non-irrigation variant is very large and statistically proven in each case.

This is an increase of 60-100 kg/da or 40-80%, depending on the conditions of the year. It is possible that in years of extreme and prolonged droughts the absolute values of the total and additional yield of this irrigation regime are considerably smaller, but here it is more important to find an alternative for its more efficient implementation in the conditions of irrigation water shortage.

In this respect, if the yields obtained under variant 3 and variant 6 are compared, it is clear that the differences are insignificant, with an average for the irrigation yield in each furrow being 223 kg/da, and for irrigation through the furrow – 218 kg/da. Even with the rather low GD values obtained, the yield ниски стойности на GD, разликата в добива между тези два варианта не се доказва статистически, което потвърждава изказаното по-горе твърдение, относно приложимостта на напояването през бразда, с цел – икономия на поливна вода. При напояване през бразда средният допълнителен добив за условията на опита е 76 kg/da или нараства спрямо този при ненапояваният фасул с 53%.

Независимо от това, че експерименталните години са сравнително благоприятни по отношение на метеорологичните фактори, а засушаванията не са екстремни и с голяма продължителност, напояването с малки поливни норми (12-15 mm) водят до значителни загуби на добив. Дори през най-влажната от трите години (2014) този поливен режим води до загуби на добив от 17%, а през най-неблагоприятната 2016 те са 35%. Средно за трите опитни години при реализилане на всички поливки, но със 75% намаление на поливните нолми, добивът е 188 kg/da или 74% от този, получен при оптимално напояване. Що се отнася до положителния ефект от реализирането на малките поливни норми, той се изразява в нарастване на добива средно с 32% спрямо този – при неполивни условия, като по години варира в тесни граници – от 30 до 37%. Този факт потвърждава схващането, че редовните поливки с намалени поливни норми се отразяват по-благоприятно върху продуктивността, в сравнение с поливен режим, при който се допуска продължителен воден дефицит, като се има предвид, че икономията на вода е приблизително една и съща.

difference between these two variants is not statistically proven, which confirms the above-mentioned assertion on the feasibility of irrigation through the furrow in order to save water from irrigation.

For furrow irrigation, the average additional yield for the conditions of this experiment is 76 kg/da or increases with 53% for no-irrigated beans.

Although the experimental years are comparatively favorable with regard to meteorological factors and droughts are not extreme and of long duration, irrigation with small irrigation norms (12-15 mm) leads to significant yield losses.

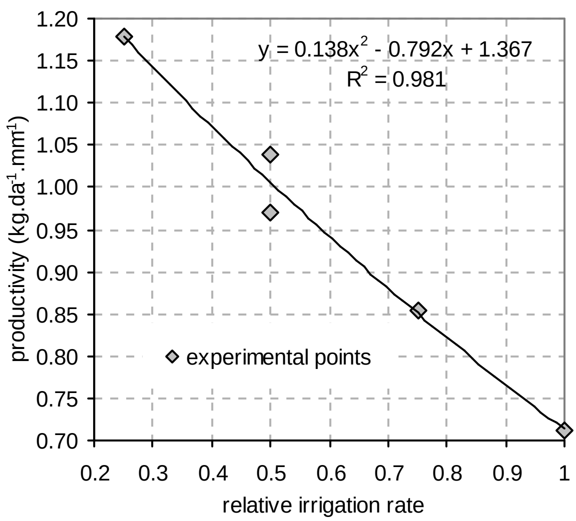
Even in the wettest of the three years (2014), this irrigation regime produces a yield loss of 17%, and in the worst 2016 it is 35%. On average, for the three years the watering with a 75% reduction of irrigation rate, the yield is 188 kg/da or 74% of that obtained with optimum irrigation.

Regarding the positive effect of the implementation of the small irrigation norms, it is expressed in an increase of the yield on average by 32% compared to no-irrigation conditions, with varying narrowly ranging from 30 to 37%.

This fact confirms the notion that regular irrigation with reduced irrigation rate has a more favorable effect on productivity than an irrigation regime that allows for a sustained water deficit, given that the water savings are approximately the same.

Таблица 4. Продуктивност на напоителната норма и загуби на добив
Table 4. Productivity of irrigation rate and yield losses

Вариант Variant	Загуби на добив Yield losses %				Продуктивност на напоителната норма Annual irrigation rate productivity kg.da^{-1}.mm^{-1}			
	2014	2015	2016	средно	2014	2015	2016	средно/average
1	36	42	53	44	–	–	–	
2	17	23	35	26	1.840	0.847	1.253	1.179
3	11	8	15	12	1.180	0.774	1.360	1.038
4	3	4	5	4	1.053	0.577	1.147	0.855
5	St.	St.	St.	St.	0.860	0.484	0.940	0.712
6	7	9	25	14	1.385	0.758	1.003	0.969



Фиг. 1. Зависимост между относителната напоителна норма и нейната продуктивност
Fig. 1. Relationship between the relative irrigation rate and its productivity

Допълнителният добив, получен от всеки един mm поливна вода е известен още като продуктивност на напоителната норма. Получава се, като допълнителният добив се раздели на напоителната норма. Зависи от поливния режим и от характера на годината, обуславящ броя на поливките. Данните са нанесени в Таблица 4. Поради нелинейния характер на нарастване на добива спрямо нарастващия размер на напоителната норма, нейната продуктивност при оптимално напояване е по-малка в сравнение с някои от вариантите, при които е

The additional yield obtained from each mm of irrigation water is also known as productivity of the annual irrigation rate. It is obtained by dividing the additional yield of the annual irrigation rate. It depends on the irrigation regime and on the year that determines the number of irrigations. The data are given in Table 4. Due to the non-linear character of the increase in yield compared to the increasing irrigation rate, its productivity in optimum irrigation is lower than in some of the variants with irrigation rate reduction that have been subjected to an irrigated irrigation regime, приложен нарушен поливен режим, т.е. с намаляване размера на напоителната норма, нейната продуктивност расте. Това условие е налице и през трите експериментални години. Въпреки че тенденцията в изменението на стойностите по години съвпада, разликите се дължат на факта, че при различен брой поливки и големина на напоителната норма добививите за даден вариант по години не се различават съществено. Посочената танденция е представена графически на Фигура 1, като тук математическото изражение при много висок коефициент на детерминация (R^2=0.98) има за цел по-скоро да онагледи изменението на продуктивността на нормата по варианти, без да се търси значението му като модел или приложимост в практиката.

Връзка „Напоителна норма – Добив”

Изходните данни за определяне параметрите на връзката „Общ добив – напоителна норма” са представени на Таблица 5. Същите са обработени по метода на най-малките квадрати, посредством степенната формула на Давидов и специализираната компютърна програма „YIELD”

i.e. by reducing the size of the irrigation rate, its productivity increases. This is available during the three experimental years. Although the trend in the change in values over the years is roughly the same, the differences are due to the fact that, for a different number of irrigation and irrigation rates, the yields for a determinate experimental variant by year do not differ significantly.

This trend is represented graphically in Figure 1, here the mathematical expression with very high coefficient of determination (R^2 = 0.98) aims to rather illustrate the change of the productivity of the annual irrigation rate by variants, without looking for its meaning as a model or relevance in practice.

Relationship "Irrigation rate – Yield"

The output data to establish the parameters of the "Yield - irrigation rate" relationship are presented in Table 5. These are processed by the smallest squares method, by means of the Davidov’s power equation through the specialized computer program "YIELD".

Таблица 5. Изходни данни за установяване на зависимостта „Добив-напоителна норма”
Table 5. Output data to establish dependence "Irrigation rate – yield"

Вариант Variant	M/M_0/X/ (relative irrigation rate)	Y/Y_0 (relative yield)			
		2014	2015	2016	средно average
100% m	1.00	1.000	1.000	1.000	1.000
75% m	0.75	0.971	0.956	0.955	0.957
50% m	0.50	0.887	0.917	0.854	0.881
25% m	0.25	0.833	0.766	0.648	0.743
0% m	0.00	0.640	0.583	0.472	0.561

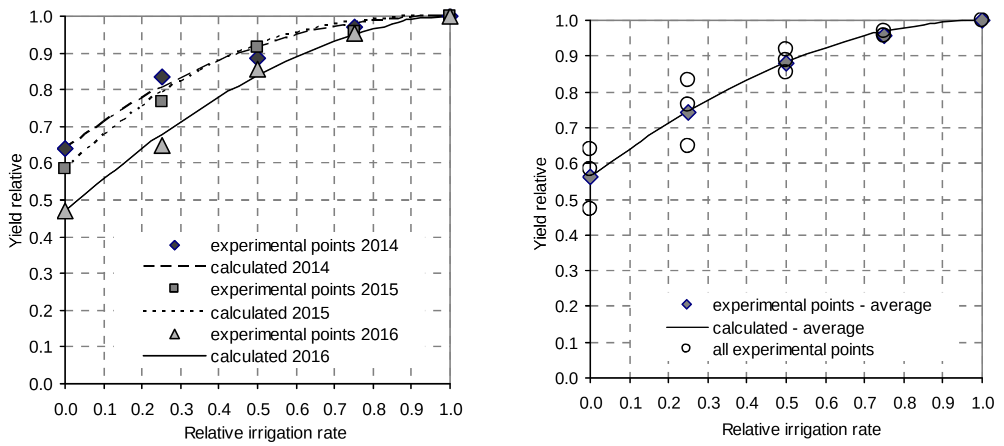
Резултатите по години и средно за периода на опита са представени нагледно на Фигура 2. Опитните точки са осреднени от криви, представляващи изпъкнали параболи. На графиката се вижда влиянието на характера на годината върху разположението на

The results by year and average are shown in Figure 2. The experimental points are approximated by curves representing convex parabolas. The graph shows the influence of the meteorological character of the year on the location of the empirical points on the емпиричните точки в координатната система, а от там и върху параметрите на зависимостта, които зависят от стойностите на променливия степенен показател n. За условията на настоящия експеримент същият варира в тесни граници, както следва: за 2014 година е 2.1, за 2015 – 2.4, а за 2016 – 1.7. Средно за трите години, експерименталните точки се апроксимират най-добре при n=1.9, като при всички споменати случаи R>0.9 (Таблица 6). При апроксимацията едновременно на всички опитни точки е същия (n=1.9) при много висока стойност на коефициента на корелация (R=0.994).

coordinate system and hence on the relationship parameters that depend on the values of the variable degree of n.

For the conditions of the present experiment it varies narrowly as follows: for 2014 it is 2.1, for 2015 – 2.4 and for 2016 – 1.7. On average, for three years, experimental points are best approximated at n=1.9, with all reported cases R> 0.9 (Table 6).

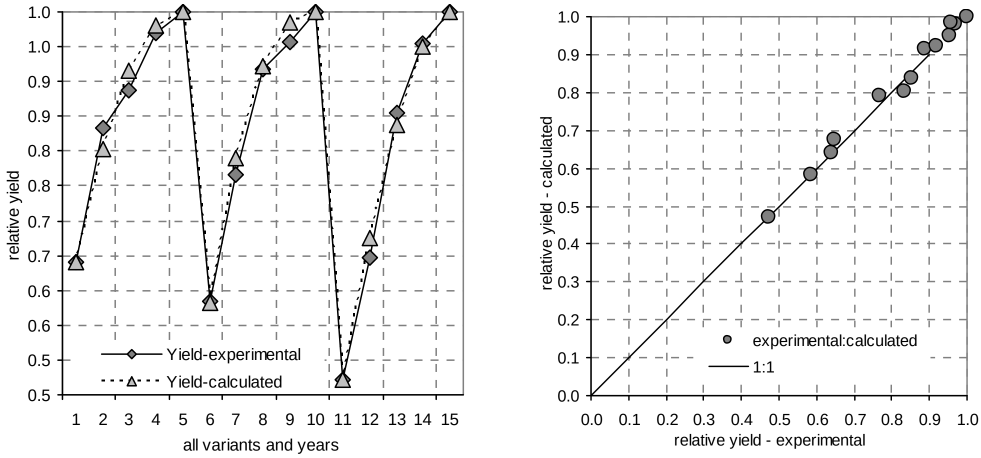
The approximation of all experimental points is the same (n=1.9) at a very high correlation coefficient (R=0.994).



Фиг. 2. Връзка „Общ добив-напоителна норма”
Fig. 2. Relationship "Yield-irrigation rate

Според така представената зависимост, през по-благоприятни в метеорологично отношение години, реализирането на 45-50% от оптималната поливна норма гарантира около 90% от максималния добив, а през по-сухи години, тези резултати се постигат с минимум 65% от оптималната норма.

According to the presented dependence, in more meteorologically favorable year, the realization of 45-50% of the optimal irrigation rate guarantees about 90% of the maximum yield, and in more dry years these results are attained with at least 65% of the optimal rate.



Фиг. 3. Връзка между опитни и изчислени добиви
Fig. 3. Relationship between experimental and calculated yields

Таблица 6. Параметри на връзката ”Общ добив – напоителна норма”
Table 6. “Yield – Irrigation rate” relationship parameters

година/year	формула/formula	Y_C	n	R
	$y=1–(1–Y_C)(1–x)^n$			
2014	$Y = 1 – 0.36(1 – x)^{2.1}$	0.64	2.1	0.990
2015	$Y = 1 – 0.42(1 – x)^{2.4}$	0.58	2.4	0.997
2016	$Y = 1 – 0.53(1 – x)^{1.7}$	0.47	1.7	0.998
средно/average	$Y = 1 – 0.44(1 – x)^{1.9}$	0.56	1.9	0.999
общо/total				0.994

Таблица 7. Отклонения на изчислените по формулата добиви спрямо опитно установените
Table 7. Deviations of the calculated yields from the formula compared to the experimental ones

M	добив/yield 2014			добив/yield 2015			добив/yield 2016		
	опитен experimental	изчислен (calculated) $Y=1–0.36(1–x)^{2.1}$		опитен experimental	изчислен (calculated) $Y=1–0.42(1–x)^{2.4}$		опитен experimental	изчислен calculated $Y=1–0.53(1–x)^{1.7}$	
	kg/da	kg/da	±%	kg/da	kg/da	±%	kg/da	kg/da	±%
0.00	153	153	0.0	147	147	0.0	126	126	0.0
0.25	199	192	-3.5	193	199	3.3	173	181	4.8
0.50	212	219	3.3	231	232	0.5	228	224	-1.6
0.75	232	234	1.0	241	248	3.0	255	255	-0.2
1.00	239	239	0.0	252	252	0.0	267	268	0.4

На Таблица 7 са нанесени стойностите на опитно установения и изчисления по формулата добив по варианти и години. Стойностите, показващи относителните отклонения потвърждават използваемостта на степенната зависимост, като същите не надвишават 5%. Тези малки разлики

On the Table 7 are presented the values of the experimentally established and the calculated yields by variants and years. The values indicating the relative deviations confirm the usability of the degree of dependency, the same not exceeding 5%.

се дължат основно на ограничения обем от експериментални данни, но въпреки това предложената степенна зависимост може да бъде използвана за прогнозиране на добива при полския фасул, отгледан в условията на ограничено напояване и за райони, сходни като почва и климат с района на Пловдив.

These small differences are mainly due to the limited amount of experimental data, but the proposed degree of dependence can still be used to predict the yield of field beans harvested under limited irrigation conditions and areas similar to soil and climate with the Plovdiv region.

ИЗВОДИ

В зависимост от условията на годината, биологически оптималният поливен режим при фасул – сорт Добруджански 7 се осъществява чрез реализирането на 2 до 4 поливки с норма 50 mm, всяка от които трябва да нвалажнава почвата до ППВ на дълбочина до 60 cm. При този поливен режим се получават високи и стабилни добиви, достигащи от 240 до 270 kg/da и превишаващи добива при неполивни условия от 50% до над 2 пъти, в зависимост от степента на засушаване през репродуктивния период.

Редовното напояване при редуциране на поливната норма с 25% осигурява над 95% от максималния добив, дори през години с продължителни летни засушавания. По икономически показатели този поливен режим е близък до оптималния и при недостиг на поливна вода може да се прилага успешно. Между 8 и 15% са загубите на добив при реализиране на 50% от оптималната поливна норма. Този поливен режим също може да бъде прилаган при недостиг на поливна вода, като при гравитачно напояване водата трябва да се подава през бразда. Не се препоръчва напояването с малки поливни норми (25%m), тъй като се постига незначителен икономически ефект, особено през сухи години.

Продуктивността на напоителната норма при оптимално напояване е средно 0.712 $kg.da^{-1}.mm^{-1}$. Прилагането на нарушен поливен режим, независимо от способа, води до нейното увеличаване, като при подаване на 50% от

CONCLUSIONS

Depending on the meteorological conditions of the year, the number of irrigations for beans (Dobrudzhanski 7 variety) is from 2 to 4 irrigations with optimum irrigation rate a 50 mm, each of which should be moisten the soil at a depth of 60 cm. This irrigation regime provide high and stable yields ranging from 240 to 270 kg/da and yields that exceed the yield under non-inferior conditions from 50% to more than 2 times, depending on the drought during the reproduction period.

Regular irrigation at 25% reduction of irrigation rate provides over 95% of the maximum yield even in years of prolonged summer droughts. By economic indicators, this irrigation regime is close to the optimum and can be successfully applied when irrigation water is deficient. Between 8% and 15% are yield losses in achieving 50% of the optimal irrigation rate.

This irrigation regime can also be applied in the absence of irrigation water. Irrigation with small irrigation regulations (25% m) is not recommended as there is little economic effect, especially in dry years.

The irrigation rate productivity at optimum irrigation is on average 0.712 $kg/ha^{-1}.mm^{-1}$. The application of an irrigated irrigation regime, irrespective of the method, leads to its increase, with 50% of the irrigation rate being 0.97-1.04

напоителната норма стойностите са 0,97-1,04 $kg.da^{-1}.mm^{-1}$.

Връзката "Добив–напоителна норма" представлява степенна зависимост, установена по формулата на Давидов. Графически тя се изразява чрез изпъкнала парабола при степенен показател n=1.9 и коефициент на корелация R=0.994.

$kg.\ da^{-1}.mm^{-1}$.

The relationship "Yield–Irrigation rate" is a degree of dependence, established according to Davidov's formula. Graphically it is expressed by a convex parabola with power value n=1.9 and a correlation coefficient R = 0.994.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Al-Kaisi, M., A. Berrada and M. Stack**, 1999. Dry bean yield response to different irrigation rates in southwestern Colorado. *Journal of Production Agriculture*, 12(3), 422-427.
2. **Atanasov, I.**, 1972. Practical guide of soil science. Hr. G. Danov, Plovdiv (Bg).
3. **Barbieri, G. and D. Pascale**, 1992. Effects of regimes and methods of irrigation on the yield of three cultivars of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Irrigazione e Drenaggio*, 39(1), 19-23.
4. **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.
5. **El-Noemani, A, H. El-Zeiny, A. El-Gindy, E. El-Sahhar and M. El-Shawadfy**, 2010. Performance of some bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties under different irrigation systems and regimes. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(12), 6185-6196.
6. **Erdem, Y., S. Sehirali, T. Erdem and D. Kenar**, 2006. Determination of crop water stress index for irrigation scheduling of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30 (3), 195-202.
7. **Gencoglan, C., H. Altunbey and S. Gencoglan**, 2006. Response of green bean (P. vulgaris L.) to subsurface drip irrigation and partial rootzone-drying irrigation. *Agricultural Water Management*, 84 (3), 274280.
8. **Nascimento, J., M. Pedrosa and J. Tavares Sobrinho**, 2004. Effect of different levels of available water in the soil on the growth and production of cowpea bean pods and green grains. *Horticultura Brasileira,* 22 (2), 174-177.
9. **Penchev, E.**, 1988. Evaluation of productivity and quality indicators of wheat with mathematical models. PhD Dissertation (Bg).
10. **Radkov, P.**, 1975. Beans as a second crop. Growing of second crops on irrigation conditions. Monogaph, pp. 181-190 (Bg).
11. **Sehirali, S., T. Erdem, Y. Erdem and D. Kenar**, 2005. Water-use characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drip irrigation. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 11(2), 212-216.
12. **Ucar, Y., H. I. Yilmaz, N. Yardimci, A. Kadayifci and G. I. Tuylu**, 2009. The effect of deficit irrigation on the grain yield of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in semiarid regions. Spanish Journal of Agricultural Research, 7(2), 474-485.
13. **Vitkov, M. and Ts. Gruev**, 1973. Experiments on the irrigation regime of beans. *Plant Science*, 10(9), 99-104 (Bg).
14. **Vitkov, M.**, 1974. Effect of irrigation and fertilization on the yield of beans grown on podzolic chernozem soils, in region of the institute of legume crops "Obrazcov Chiflik" near Russe. *Plant Science*, 11(10), 101-106 (Bg).

15. **Vitkov, M.**, 1975. Irrigation and fertilization of beans – second crop and their interaction under podzolic chernozem soil in the region of the "Obrazcov Chiflik" institute of cereal and leguminous crops near Russe. *Plant Science*, 12(3), 71-78 (Bg).
16. **Wakrim, R., S. Wahbi, H. Tahi, B. Aganchich and R. Serraj**, 2005. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 106 (2/3), 275-287.