

<https://doi.org/10.61308/GUCW9362>

Параметри на зависимостта „добив – евапотранспирация по подрасти“ при тревна смеска от английски райграс (*Lolium perenne* L.) и червена власатка (*Festuca rubra* L.)

Нора Лозанова¹, Александър Матев^{2*}, Станислав Стаматов², Катя Узунджалиева², Веселина Машева², Живко Живков¹

¹Лесотехнически университет – София, ²Институт по растителни генетични ресурси „К. Малков“ – Садово, Селскостопанска академия

*E-mail: sab_m@abv.bg

Резюме: Целта на разработката е да се установят параметрите на зависимостта „Добив - ЕТ по подрасти“ при тревна смеска от Английски райграс (*Lolium perenne* L.) и Червена власатка (*Festuca rubra* L.). Използвани са данни от експеримент с прилагане на регулиран воден дефицит, проведен в ЛТУ – София. Изходните данни представляват относителните стойности на добива и евапотранспирацията (ЕТ) за всеки от подрастите поотделно. Използвани са два типа формули – за зависимостта „Добив-сумарна ЕТ“ и за зависимостта „Добив-ЕТ по фенофази“. От първата група се препоръчва двустепенната зависимост, според която по-големи изисквания към ЕТ предявяват първите три подраста, които могат да формират добив при осигуряването на поне 40 – 50% от максималната ЕТ. Четвърти и пети подрасти показват по-малки изисквания, но разликите спрямо първите три подраста са в диапазона 10 - 30%. От втората група формули се препоръчва линейната формула на Steward, преработена за използване при откосни култури. Тя изразява връзката най-реално при $R=0.983$ и минимална разлика между отделните подрасти по отношение на тяхната чувствителност.

Ключови думи: тревни смеси; поливен режим; воден стрес; евапотранспирация; добив; зависимост вода-добив;

Parameters of the relationship „Yield-evapotranspiration by swaths” in a grass mixture of english ryegrass (*Lolium perenne* L.) and red fescue (*Festuca rubra* L.)

Nora Lozanova¹, Alexander Matev^{2*}, Stanislav Stamatov², Katya Uzundzhaliyeva², Veselina Masheva², Zhivko Zhivkov¹

¹Forestry University - Sofia, ²Institute of Plant Genetic Resources – Sadovo, Agricultural Academy, Bulgaria

*E-mail: sab_m@abv.bg

Citation: Lozanova, N., Matev, A., Stamatov, S., Uzundzhaliyeva, K., Masheva, V., & Zhivkov, Zh. (2024). Parameters of the relationship „Yield-evapotranspiration by swaths” in a grass mixture of english ryegrass (*Lolium perenne* L.) and red fescue (*Festuca rubra* L.). *Bulgarian Journal of Crop Science*, 61(3) 60-74 (Bg).

Abstract: The aim of the study is to establish the parameters of the relationship „Yield-ET by swaths” in a grass mixture of English ryegrass (*Lolium perenne* L.) and Red fescue (*Festuca rubra* L.). Data from an experiment with the application of a regulated water deficit, conducted at the Forestry University - Sofia, were used. The output data included the relative values of yield and evapotranspiration (ET) for each of the sub-crops separately. Two types of formulas were used: for the relationship „Yield-seasonal ET” and for the relationship „Yield-ET by phenophases”. From the first group, the two-power equation is recommended, according to which the first three swaths have greater requirements for ET, which can form some yield when providing at least 40-50% of the

maximum ET. The fourth and fifth swaths show smaller requirements, but the differences compared to the first three swaths are in the range of 10-30%. Of the second group of equations, Steward's linear formula, modified for use in swath crops, is recommended. It presents the relationship most realistically with $R=0.983$ and minimal difference between different swaths in terms of their sensitivity.

Keywords: grass mixtures; irrigation regime; water stress; evapotranspiration; yield; water-yield relationship

ВЪВЕДЕНИЕ

Евапотранспирацията (ЕТ) на всяка една култура, независимо от това, дали се отглежда за продоволствени нужди или за озеленяване на площи в урбанизирани територии, има косвено, но в същевременно много силно изразено влияние върху растежа, развитието, количеството и качеството на произведената продукция. ЕТ е част от водния баланс в системата „почва-растение-атмосфера”, като освен от климатичните фактори, тя се влияе от условията на почвеното овлажняване. В голяма част от случаите то се поддържа в оптимални граници чрез напояване, но при съвременните условия (ограничени водни ресурси и висока цена на поливната вода) това много често се оказва трудно осъществимо агротехническо мероприятие. Като решение на този проблем се явява прилагането на така наречения регулиран воден дефицит, при който се допуска спадане на почвената влажност под оптималната, като според конкретните условия и вида на културата, продължителността може да бъде различна. Това води до понижаване на интензивността на ЕТ и съответните последици. Тъй като изменението на ЕТ и на добива от съответната култура са еднопосочни, логично е между тях да бъде потърсена зависимост, която в последствие да бъде използвана за по-прецизно контролиране на ЕТ в условията на воден дефицит и прогнозиране на добивите.

Въпросът с установяването на такава зависимост е застъпен в много научни разработки с различни селскостопански култури. Изведени са основно два типа формули. Първият тип разглежда зависимостта между добива и ЕТ общо за цялата вегетация, а вторият – между

ЕТ през отделните фенофази и добива, като те отчитат чувствителността на конкретната фенофаза към промяната в интензивността на ЕТ. Международната научна общност в областта на поливните режими се обединява върху предложените от FAO формули, удовлетворяващи двата типа на зависимостта. Те са линейни.

Когато става въпрос за откосни култури, зависимостта между добива и ЕТ е по-специфична, тъй като вегетационният им период е разделен на подрасти (откоси). При окосяването на всеки един от тях, може да се отчете добив, който в общи линии не зависи от резултатите на предходния подраст и не определя тези, за следващия подраст. Това означава, че тук, за разлика от останалите култури, не съществува разлика в чувствителността през отделните периоди от вегетацията (в случая подрастите). Поради това, решаващо се оказва влиянието на факторите на средата и количеството на натрупаната надземна биомаса. При тези условия, зависимостта между добива от отделните подрасти и съответстващата им ЕТ може да бъде представена чрез формулите от двата типа, което разширява възможностите за намиране на оптимален вариант за нуждите на практиката.

Публикациите в специализираната научна литература, съдържащи анализ на резултати за зависимостта „Добив-ЕТ” касаят основно селскостопански култури, при които растенията преминават през всички фази от вегетационния период. Тези, свързани с откосните култури са твърде ограничени, като вниманието е съсредоточено основно към люцерната. Най-често се предлагат регресионни уравнения, които често са линейни (Grimes

et al., 1992; Lindenmayer et al., 2011). Hanson & Putnam (2000) също потвърждават линейния характер на връзката, но уточняват, че тя е с различни параметри, в зависимост от условията на отглеждане. Авторите не препоръчват редуциране на поливните норми и ограничаване на ЕТ при формирането на първия подраст.

Тъй като през последните години се забелязва нарастване на площите, заети с тревни смеси за целите на фуражното производство, както и за озеленяване на площи в населените места, по-детайлното проучване на зависимостта „Добив-ЕТ” би спомогнало за оптимизиране на напояването в условията на ограничени водни ресурси. Освен това, с известна актуализация, резултатите от едно такова изследване могат да бъдат използвани успешно и при други откосни култури или тревни смеси. Настоящата разработка цели детайлно проучване на зависимостта по подрасти при тревна смеска от *Английски райграс* (*Lolium perenne* L.) и *Червена власатка* (*Festuca rubra* L.), намиращи широко приложение при озеленяване на урбанизирани територии.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

За установяване параметрите на зависимостта „Добив-ЕТ по подрасти” са използвани данни от експеримент, свързан с проучване върху регулирания воден дефицит при тревна смеска от *Английски райграс* (*Lolium perenne* L.) и *Червена власатка* (*Festuca rubra* L.). Опитът е проведен в ЛТУ – София през периода 2009 – 2011 година върху тревни площи, създадени през 2006. Вариантите на експеримента са следните: 1) напояване при поддържане на почвената влажност над 80% от ППВ за слоя 0 – 30 cm (100%*m*); варианти 2) и 3) напояване заедно с вариант 1, но с редуциране на поливните норми съответно с 40% (60%*m*) и 60% (40%*m*); 4) без напояване. Поливките при вариантите 2 и 3 са провеждани заедно с тези при вариант 1, като е правена съответната корекция на поливната норма. За реализирането

на тези варианти, опитната площ е обособена от отделни площадки, като в границите на всяка една от площадките са очертани по три повторения, с големина на реколтните парцели - 5m². ЕТ е изчислена по балансовия метод при всички варианти на опита, като за целите на настоящата работа са определени нейните стойности по подрасти и сумарно за цялата вегетация. Добивът (суха биомаса) е отчитан след окосяване на реколтните парцели при височина на тревостоя 10 cm.

Настоящото проучване е разделено основно две части, в зависимост от спецификата на формулите, които са използвани, както следва:

1. Формули за връзката „Добив-сумарна ЕТ”. Тези формули са приложими при откосните култури, тъй като от всеки подраст се реколтира отделен добив, в рамките на общия и принципно независещ от останалите подрасти. Същевременно, ЕТ при формирането на конкретния подраст няма отношение към ЕТ при останалите подрасти, т.е. всеки подраст може да бъде разглеждан като отделен вегетационен период.

• *Формула на FAO* – линейна зависимост между добива и евапотранспирацията (Doorenbos & Kassam, 1979, Ilcheva, 2017; Ayas, 2019; Matev et al., 2022, 2022a; Şahin, et al., 2023; Kaman, et al., 2023)

$$Y=1-K_c(1-x)$$

където: **Y** е относителният добив, в зависимост от поливния режим

x – относителната евапотранспирация при добив **Y**

K_c – коефициент на добива

• *Едностепенна формула на Davidov* – (Kalaydjieva, 2014; Petrova & Matev, 2020)

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

където: **a** е коефициент на добива

n – степенен показател

• *Двустепенна формула* (Davidov, 1994, 1998 и 2004; Ilcheva, 2017; Matev et al., 2022, 2022a)

$$Y=[1-(1-x)^N]^M$$

където: N – степенният показател за конкретния подраст

M – степенен показател, зависещ от културата.

II. Формули за връзката „Добив-ЕТ” по фенофази. За целта на настоящото проучване, фенофазите се заменят с подрасти.

• Двустепенна зависимост между добива и евапотранспирацията по фенофази (Davidov, 1994, 2004)

$$Y = \prod_1^s [1 - (1 - X)^N]^{M_i}$$

където: П е произведение от чувствителността на подрастите

s – броят на подрастите

M_i – степенен показател по подрасти

N – степенен показател за вегетационния период

X – относителна ЕТ за дадения подраст, в зависимост от поливния режим

• Едностепенна зависимост между добива и евапотранспирацията по фенофази (Davidov, 1994, 2004)

$$Y = \prod_1^s [1 - A_i(1 - X)]^{N_i}$$

където: A_i е коефициент, определящ чувствителността на съответния подраст;

N_i – степенен показател по подрасти;

• Линейна по фази /на ФАО/ (Doorenbos & Kassam, 1979) Тази формула е частен случай на предходната формула, при степенен показател N_s = 1.

$$Y = \prod_1 [1 - A_i(1 - X)]$$

• Сумарна по фази (Steward & Hagan, 1969, 1973)

$$Y = [1 - \sum A_i(1 - X)]$$

където: A_i е коефициент, определящ чувствителността на подрастите

Чрез посочените формули, експерименталните данни, включващи относителните стойности добива и ЕТ по подрасти, са обработени по метода на най-малките квадрати, а получените резултати са представени под формата на таблици и графики.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Исходните данни за установяване параметрите на зависимостта са нанесени в Таблица 1.

Таблица 1. Относителен добив и относителна ЕТ по подрасти. Исходни данни за връзката „Добив – ЕТ”
Table 1. Relative yield and relative ET by swaths. Output data for determination of the relationship “Yield-ET”

Вариант/ Variant	Подрасти (Swaths)									
	I		II		III		IV		V	
	ЕТ	Y	ЕТ	Y	ЕТ	Y	ЕТ	Y	ЕТ	Y
2009										
сух/dry	0.640	0.200	0.594	0.161	0.532	0.176	0.501	0.207	0.412	0.181
40% <i>m</i>	0.781	0.610	0.743	0.571	0.774	0.526	0.796	0.596	0.550	0.641
60% <i>m</i>	0.866	0.842	0.816	0.846	0.877	0.851	0.899	0.928	0.723	0.836
2010										
сух/dry	0.512	0.148	0.379	0.104	0.494	0.114	0.382	0.202	0.581	0.177
40% <i>m</i>	0.674	0.385	0.699	0.444	0.840	0.401	0.607	0.456	0.718	0.579
60% <i>m</i>	0.798	0.780	0.798	0.682	0.873	0.799	0.756	0.634	0.831	0.659
2011										
сух/dry	0.597	0.243	0.489	0.212	0.614	0.152	0.513	0.186	0.537	0.158
40% <i>m</i>	0.764	0.584	0.716	0.549	0.701	0.436	0.677	0.492	0.751	0.476
60% <i>m</i>	0.844	0.688	0.781	0.682	0.780	0.751	0.755	0.727	0.849	0.690

m - напоителна норма/irrigation rate

Те съдържат относителните стойности на добива и ЕТ варианти и по подрасти, установени спрямо тези – при оптимално напояване. Данните от таблицата са използвани при двете групи формули.

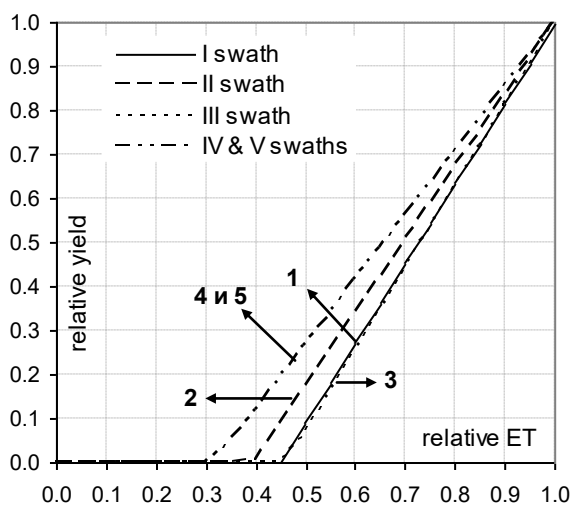
I. Параметри на зависимостта, определени по формулите за връзката „Добив-сумарна ЕТ“.

1) Връзка „Добив - ЕТ“ по линейна формула на FAO.

Тази формула е утвърдена, както от научните среди, така и в практиката, като в общи линии се счита за безалтернативна.

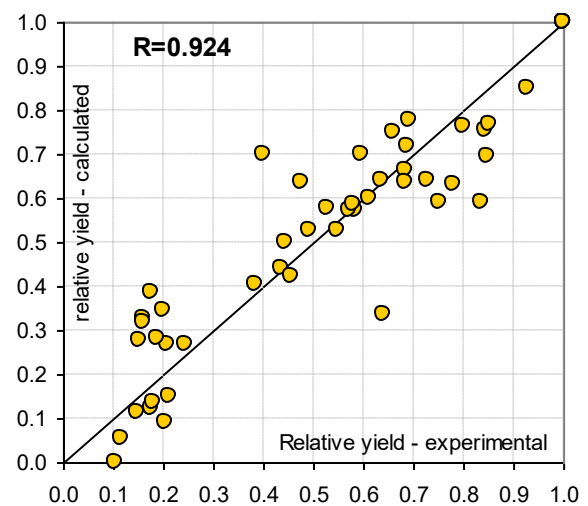
На Фигура 1 е представена връзката между добива и сумарната ЕТ по подрасти. В този случай всеки подраст се приема като отделна вегетация, която е протекла при конкретни условия на средата. Поради това, зависимостта е специфична по отношение на параметрите. От графиката става ясно, че няма много съществени разлики между отделните подрасти, като първите три подраста имат малко по-големи са изискванията към ЕТ. При тях за получаването на минимален добив трябва да се осигури водоразход, равен на 40-50% от този при оптимално напояване, докато за IV

и V подрасти са нужни около 30%. В същото време, линиите, характеризиращи връзката за I, II и III подрасти са малко по-стръмни, в сравнение с тази, отнасяща се за последните два подраста. Това показва, че увеличаването на относителната ЕТ има по-голям положителен ефект върху добива. Разликата в този ефект е по-съществена (15-20%) при напояване с по-малки норми, при които сумарната ЕТ респективно е по-малка. С приближаването на относителната ЕТ към максималната, разликите по подрасти намаляват и са в диапазона 0 - 10%. Резултатите за IV и V подраст, в известна степен са повлияни и от натрупания с напредването на вегетацията воден дефицит в почвата при вариантите с намалени норми, и особено при неполивния вариант. Този отрицателен ефект се появява още по-силно при липса на валежи, като интензивността на ЕТ и ефекта от напояване с намалени норми намаляват. И при този начин на представяне на връзката, линейната формула на FAO показва добри резултати и както се вижда в Таблица 2, коефициентът на корелация, при който линиите апроксимират опитните точки по подрасти е висок ($R=0.808\div 0.996$). Освен това, с увеличаване стойностите на K_s , се отчита на-



Фигура 1. Линейна зависимост „Добив-ЕТ“ по подрасти

Figure 1. Linear relationship “Yield-ET” by swaths



Фигура 2. Връзка между опитния и изчисления добив по формулата на FAO

Figure 2. Correlation between experimental and calculated yield through the FAO’s formula

растване на изискванията към ЕТ за получаването на минимален добив, като паралелно с това се повишава и нейната ефективност.

На Фигура 2 са съпоставени опитните към изчислените по формулата добиви общо за всички варианти, години и подрасти при $R=0.924$. Освен това, на Фигура 7 са представени средните (за всички варианти и години) отклонения по подрасти. Същите варират от $-3,9\%$ за първи подраст до $+8,3\%$ за трети. При отделните подрасти отклоненията са най-съществени при неполивния вариант.

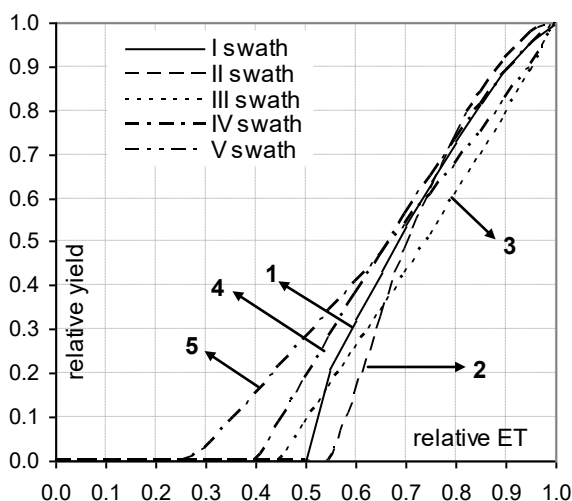
2) Връзка „Добив - ЕТ“ по степенната формула на Davidov

От една страна, степенната формула на Davidov може да се разглежда като усъвършенстван вариант на формулата на FAO, тъй като при същата структура е въведен променлив степенен показател, който дава възможност за допълнително увеличаване на точността. От друга страна, формулата на FAO може да се разглежда като частен случай на степенната формула при $n=1$.

Като са използвани данните от Таблица 1, за всеки един от петте подраста са установе-

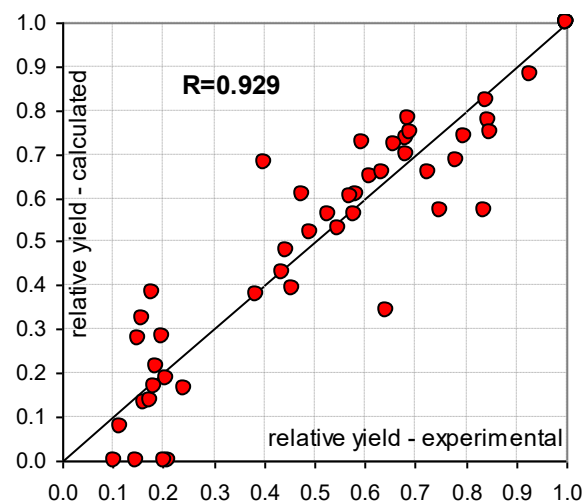
ни поотделно параметрите на връзката „Добив-ЕТ“ по степенната формула на Давидов. Въз основа на получените резултати е начертана графика (Фигура 3). Тук се запазва същата тенденция по отношение изискванията на отделните подрасти към относителната ЕТ. Отново първите три изискват най-голяма относителна ЕТ (45-55%) за формирането на някакъв минимален добив. Близко до тях е подраста, който се развива при сравнително високо напрежение на метеорологичните фактори (20 VIII – 20 IX). Същият, формира минимален добив при осигуряване на минимум 40% от ЕТ валидна за оптималния вариант, докато при последния подраст са достатъчни само 25% от нея.

Кривите, представящи зависимостта при отделните подрасти апроксимират с висока точност съответстващите им опитни точки, като стойностите на корелационния коефициент R варират в диапазона $0.814 - 0.970$. На Фигура 4 са съпоставени опитните и изчислените по степенната формула добиви при $R=0.929$. При сравнение на резултатите от Фигура 7. става ясно, че степенната формула е по-точна от линейната. Средните отклоне-



Фигура 3 Степенна зависимост „Добив-ЕТ“ по подрасти

Figure 3. Power relationship “Yield-ET” by swaths



Фигура 4. Връзка между опитните и изчислените добиви по степенната формула ($R=0.929$)

Figure 4. Correlation between experimental and calculated yield through the power formula

ния на изчисления добив варират по откоси от -5.9% до +5.1%.

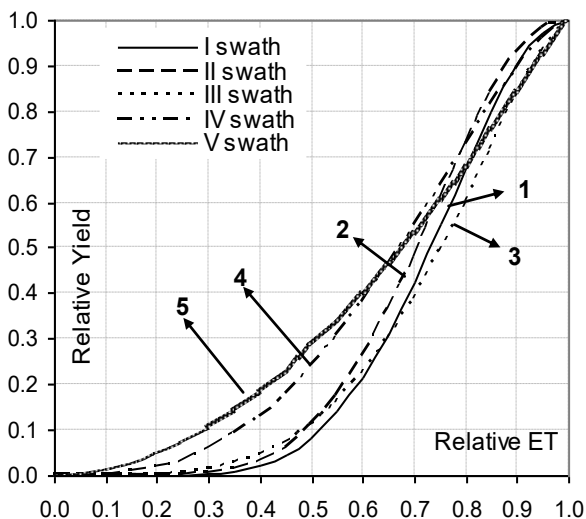
3) Връзка „Добив - ET“ по двустепенната формула на Davidov

Наличието на два променливи степенни показателя при тази формула дава възможност за още по-точна апроксимация на експерименталните данни, тъй като характерната за тази формула S – образна крива може много плавно да описва изменението на добива с нарастването на сумарната ET. На Фигура 5 е представена нагледно зависимостта по подрасти, установена по двустепенната формула на Davidov. И тук първите три подраста са с приблизително еднакви изисквания към ET и въпреки разликите в параметрите, съответстващите им криви почти съвпадат при стойности на $R > 0.9$. Запазва се тенденцията за по-малки изисквания на IV и V подрасти, като при последния е налице добре изразено понижение на ефективността на относителната ET по отношение на относителния добив. На Фигура 6 е представена връзката между опитните и изчислените по двустепенната формула добиви при $R=0.934$.

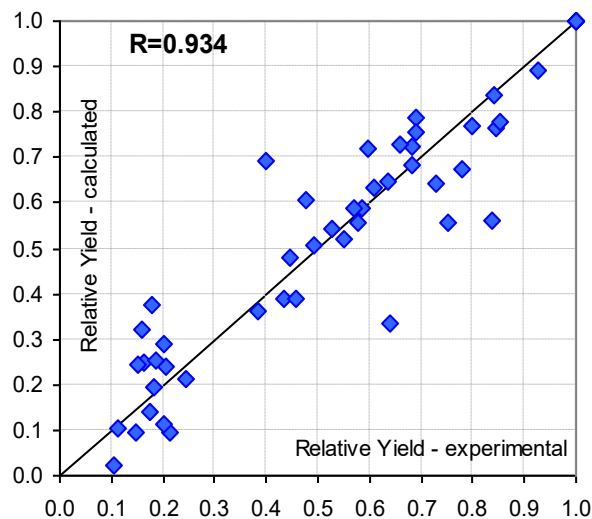
На базата на получените резултати относно връзката „Добив – сумарна ET“, могат да бъдат направени основни изводи:

- Използваните три формули показват достатъчно висока точност, поради което получените в този раздел на разработката параметри могат да бъдат прилагани директно за прогнозни и проектни цели, когато става въпрос за тревна смеска от английски райграс и червена власатка.

- По-големи изисквания към ET предявяват първите три подраста, които могат да формират добив при осигуряването на поне 40 – 50% от водоразхода, нужен за получаването на максимален добив. Въпреки това, ефективността на ET при тези подрасти е по-голяма, което на графиките (Фиг. 1, 2 и 3) се демонстрира чрез по-големия наклон на съответните линии в диапазона, обхващащ реалния добив. Четвърти и пети подрасти показват по-малки изисквания към относителната ET, но разликите спрямо първите три подраста при използването отделните формули е в диапазона 10 - 30%. Натрупаният воден дефицит в почвата при вариантите с редуцирани норми, понижава ефективността на ET през



Фигура 5. Двустепенна зависимост „Добив-ET“ по подрасти
 Figure 5. Two power relationship “Yield-ET” by swaths

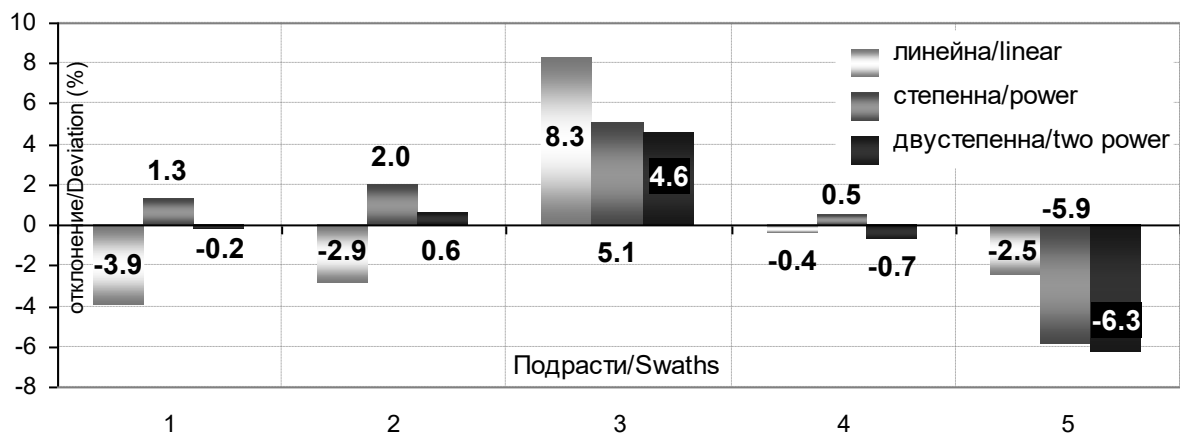


Фигура 6. Връзка между опитните и изчислените добиви по двустепенната формула
 Figure 6. Correlation between experimental and calculated yield through the two power formula

Таблица 2. Параметри на връзката „Добив - ET”

Table 2. Parameters of the ”Yield-ET” relationship

Подраст/ Swath	Линейна/ Linear equation		Едностепенна/ Power equation		Двустепенна/ Two power equation			
	Kc	R	a	n	R	n	m	R
I	1.82	0.972	3.05	1.42	0.970	1.89	7.88	0.976
II	1.66	0.963	4.01	1.70	0.966	2.00	7.75	0.976
III	1.87	0.915	1.73	0.92	0.916	1.41	4.66	0.919
IV	1.47	0.996	1.88	1.21	0.953	1.45	3.15	0.972
V	1.47	0.808	1.33	0.88	0.814	1.06	1.94	0.810



Фигура 7. Средно отклонение (за всички варианти и години) на изчислените спрямо опитните добиви по подрасти в зависимост от използваната формула

Figure 7. Deviation (average for all variants and years) of the calculated swats yield relative to experimental one, depending on used equation

втората половина на вегетацията, по отношение на добива, по-силно изразена при последния V-ти подраст. В резултат на това, линиите, описващи връзката (за четвърти и пети подрасти) имат по-голям наклон.

• При избор на формула за връзката „Добив - ET” приоритет трябва да се даде на двустепенната формула, тъй като чрез двата променливи степенни показатели, тя представя най-точно зависимостта, с оглед стойностите на R и малките отклонения на изчисления спрямо опитния добив. На второ място се препоръчва степенната формула, която чрез променливия степенен показател дава възможност за постигане на достатъчна точ-

ност. Въпреки че линейната формула на FAO е утвърдена отдавна в научните среди и за условията на опита дава добри резултати, по точност тя отстъпва на степенната и двустепенната формули, като това трябва да се има предвид при използването ѝ.

II. Параметри на зависимостта, определени по формулите за връзката „Добив-ET” по фенофази.

Тези формули обикновено представляват произведение от параметрите на всички фенофази, т.е. при стойност „0” на поне една от фенофазите, добивът, изчислен по тази формула също трябва да бъде „0”. При откосните

култури това условие не е задължително, тъй като добивът от всеки подраст е самостоятелен и почти няма нищо общо с добива останалите подрасти, т.е. ако добивът от даден подраст се провали по някаква причина, напълно възможно е следващият подраст да даде нормален добив. Изключение от тези формули прави формулата на Stewart, която представлява сума от параметрите на фенофазите. При култури с еднократно реколтиране на добива в края на вегетацията, тази формула може да представи некоректно зависимостта. Това се случва, когато параметрите на една от фенофазите са нулеви, но това, както бе коментирано по-горе, не важи за откосните култури.

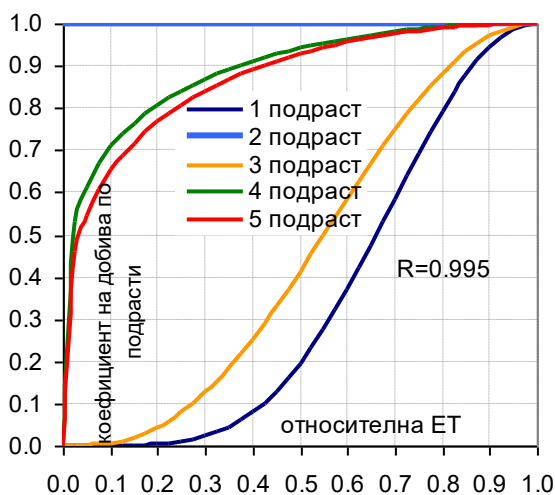
1) Връзка „Добив - ET“ по двустепенната формула на Davidov

Параметрите на зависимостта, установени по двустепенната формула са: Степенен показател за цялата вегетация $N=2.00$ и коефициент на корелация $R=0.995$. Степенният показател m по подрасти има следните стойности: $m_1=5.70$, $m_2=0.00$, $m_3=3.08$, $m_4=0.21$, $m_5=0.26$.

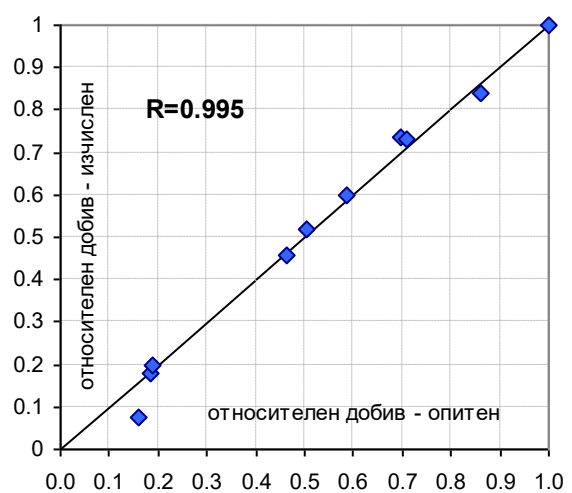
Като са използвани посочените параметри, е начертана графика, показваща наглед-

но зависимостта по подрасти (Фигура 8), според която най-чувствителен към ET е първият подраст, следван от третия. Значително по-малка и приблизително еднаква е чувствителността на четвърти и пети подрасти, а втори подраст е с нулева чувствителност, т.е. стойностите на ET през този подраст не влияят върху общия добив. От една страна, високите на R гарантират високата математическа точност, с която са апроксимирани експерименталните данни. Това се потвърждава и от графиките на Фигура 9, където са съпоставени опитните и изчислените относителни сумарни. Само в един от случаите отклонението надвишава 5%.

От друга страна, нулевата чувствителност в един от подрастите (втори подраст) и значителната разлика между параметрите при останалите четири не съответства на реалния ритъм на натрупване на биомаса и свързания с това водоразход. Въпреки разликата между отделните варианти в абсолютните стойности на добива и ET по откоси, относителните стойности варират в много тесни граници. Това дава основание да се счита, че вероятно формулата не интерпретира подрастите при откосните култури така, както фенофазите



Фигура 8. Двустепенна зависимост между добива и ET по подрасти
Figure 8. Two power relationship between Yield and ET by swaths



Фигура 9. Връзка между опитни и изчислени добиви по двустепенната формула
Figure 9. Correlation between experimental and calculated yield through the two power formula

те при останалите култури. Освен това, тук е налице реално и ясно изразено въздействие на метеорологичните условия в границите на дадения подраст. Така например, валежите през периода на формирането на втория подраст (от третата декада на юни - до към 20 юли) и през трите години на опита превишават съществено нормата за района на София. Това се отразява директно върху добива, ET по варианти и параметрите точно на този подраст. Не трябва да се пренебрегва и натрупаният се воден дефицит в активния почвен слой при всеки следващ подраст, особено при по-продължителни засушавания.

2) Връзка „Добив - ET“ по едностепенната формула на Davidov

Параметрите на зависимостта, установени по едностепенната формула са: степенен показател $N=1.8$ и коефициент на корелация $R=0.995$. Коефициентът A по откоси има следните стойности: $A_1=1.88$, $A_2=0.52$, $A_3=1.43$, $A_4=1.37$, $A_5=0.61$.

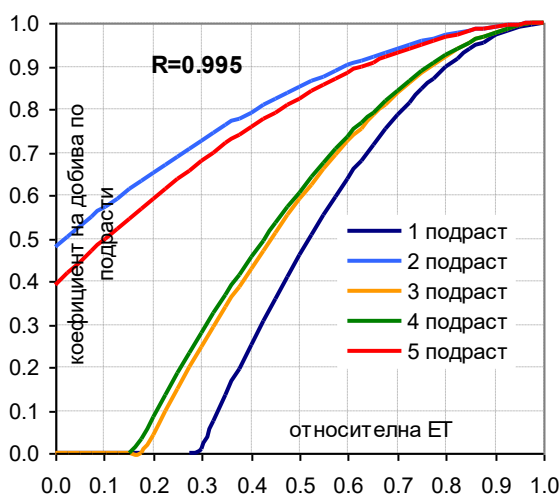
На Фигура 10 е показана нагледно зависимостта по подрасти, а на Фигура 11 са съпоставени опитните и изчислени добиви, в резултат на което се вижда ясно степента на

апроксимация при представяне на връзката чрез тази формула. Според получените резултати, отново най-чувствителен е първият подраст, следван от трети и четвърти. Значително по-малка и близка като значение е чувствителността на втори и пети подраст. За разлика от двустепенната формула, при използването на тази формула не се отчита нулева чувствителност при нито една от фазите, което дава основание да се счита, че тя по-реалистично интерпретира експерименталните данни. Това потвърждава направената по-горе хипотеза, относно мощното влияние на абиотичните фактори върху параметрите на връзката и свързаната с това отново най-малка чувствителност на втория подраст.

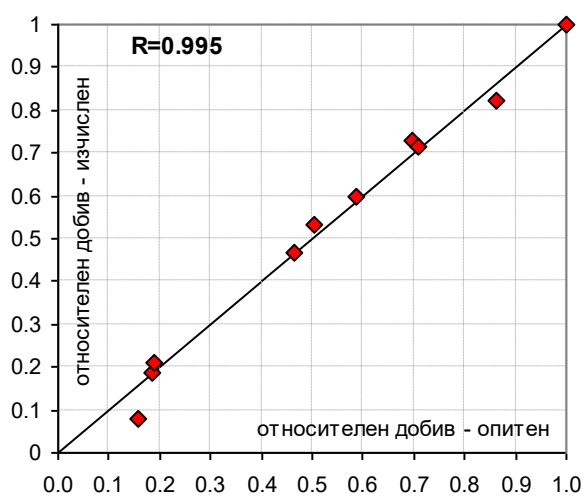
По отношение на точността, за условията на опита тази формула не отстъпва на двустепенната, като стойностите на R съвпадат напълно, а отклоненията на изчисления спрямо опитния добив надвишава 5% само в два от случаите и то при неполивния вариант.

3) Връзка „Добив - ET“ по линейната формула на FAO

Параметрите на зависимостта, установени по линейната формула на FAO са следните:



Фигура 10. Степенна зависимост между добива и ET по подрасти
 Figure 10. Power relationship between Yield and ET by swaths



Фигура 11. Връзка между опитни и изчислени добиви по степенната формула
 Figure 11. Correlation between experimental and calculated yield through the power formula

Коефициент А по подрасти: $A_1=1.72$, $A_2=0.00$, $A_3=0.37$, $A_4=0.00$, $A_5=0.00$. коефициентът на корелация между опитните и изчислени добиви е $R=0.967$.

На Фигура 12 е представена нагледно връзката по подрасти, като и тук най-голяма чувствителност има първият подраст, отново следван от трети подраст, но при значително по-голяма разлика. Според резултатите, получени на база изчисленията по тази формула, всички останали подрасти са с нулева чувствителност, т.е. добивът е максимален, независимо от това, какви са относителните стойности на евапотранспирацията за всеки от тях. Въпреки, че тази формула е най-широко препоръчвана и използвана за изразяване на зависимостта „Добив - ET по фази“, за условията на настоящата работа резултатите не следват никаква логическа последователност. В сравнение с предходните формули, тук стойностите на R са по-ниски и както се вижда на Фигура 13, отклоненията на изчислените от опитните добиви са по-съществени.

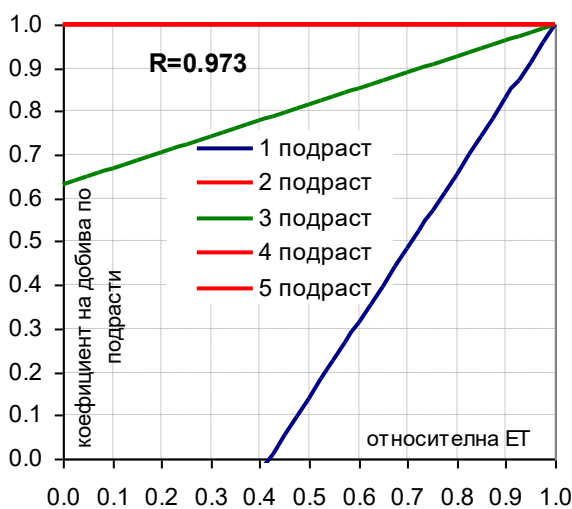
4) Връзка „Добив - ET“ по линейната формула на Steward при $R=0.986$. Коефициентът

А по откоси има следните стойности: $A_1=0.68$, $A_2=0.00$, $A_3=0.31$, $A_4=0.45$, $A_5=0.24$.

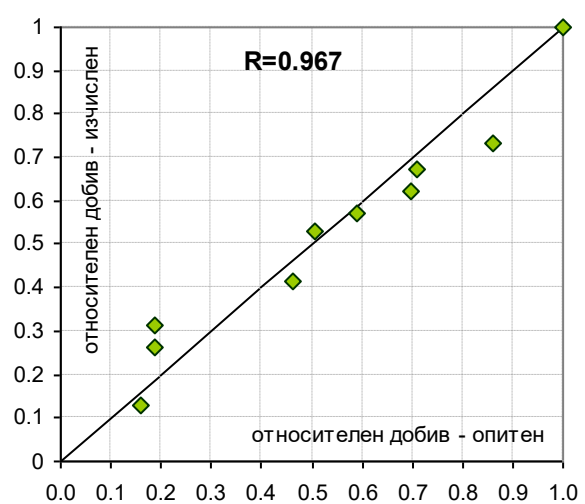
Както бе споменато по-горе, тази формула представлява не произведение, а сума от влиянието на отделните фази (откоси), т.е. при липса на добив в един от подрастите, е възможно теоретически да се отчете добив при останалите. Това дава основание да се счита, че формулата на Steward би била по-подходяща за интерпретацията на зависимостта.

Резултатите показват отново най-голяма чувствителност на първия подраст и нулева чувствителност на втория. Останалите три подраста заемат междинно положение, без да съществува някаква логическа последователност в тяхното подреждане по отношение на чувствителност и последователност във времето (Фигура 14). Тези резултати са в подкрепа на направената по-горе хипотеза, за неспособността на този тип формули да отчитат влиянието на подрастите така, както отчитат влиянието на фенофазите.

На Фигура 15 са съпоставени опитните и изчислените по формулата относителни сумарни добиви за всички варианти и години при $R=0.986$.



Фигура 12. Линейна зависимост между добива и ET по подрасти по формулата на ФАО
Figure 12. Linear relationship between Yield and ET by swaths

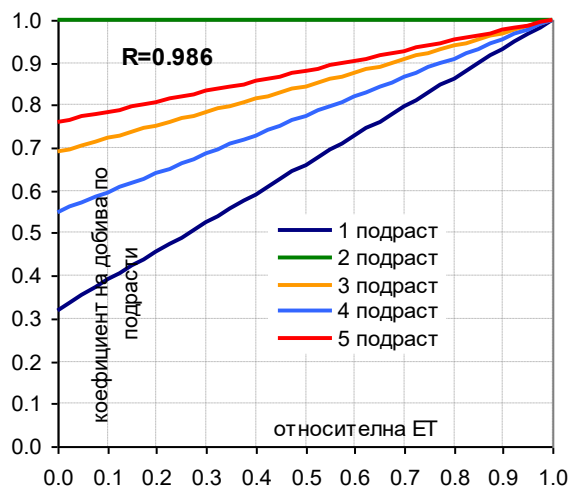


Фигура 13. Връзка между опитни и изчислени добиви по формулата на ФАО
Figure 13. Correlation between experimental and calculated yield through the FAO's formula

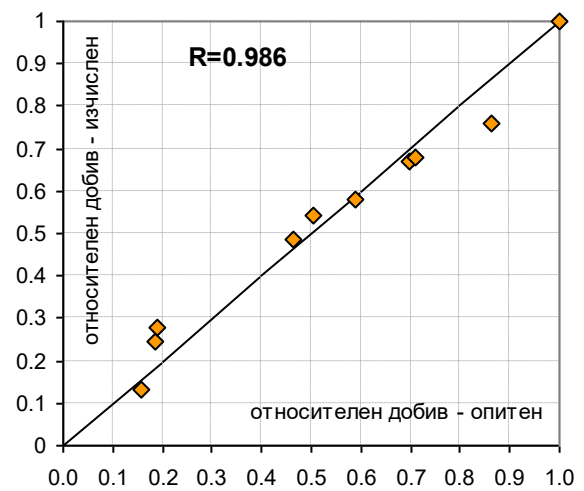
За условията на опита, тази формула демонстрира по-малка точност в сравнение с едностепенната и двустепенната, но е по-точна от линейната формула на FAO. Отклоненията на изчислените спрямо опитните добиви са съществени при неполивни условия (от -15,6 до + 46,4%), но при останалите варианти рядко надвишават 10%.

Тъй като представлява сума от влиянието на подрастите, тази формула позволява да бъдат коригирани параметрите на всеки от тях

така, че чувствителността да бъде реална (без нулеви стойности и в синхрон с относителните стойности на сумарния добив и ЕТ по откоси). В резултат на това, разликата между параметрите на отделните подрасти е минимална. В случая корекцията е извършена чрез редукция на коефициентите, валидни за линейната формулата на FAO, приложена поотделно за всеки един подраст (от Таблица 2 и нагледно – Фигура 1). За целта е изчислен относителният добив за всеки откос поотделно



Фигура 14. Линейна зависимост между добива и ЕТ по подрасти по формулата на Steward
Figure 14. Linear relationship between Yield and ET by swaths (Steward’s equation)



Фигура 15. Връзка между опитни и изчислени добиви по формулата на Steward
Figure 15. Correlation between experimental and calculated yield through the Steward’s formula

Таблица 3. Редуцирани коефициенти по подрасти за връзката „Добив - ЕТ“ по линейната формула на Steward
Table 3. Reduced swath coefficients for determination of the relationship “Yield-ET” by linear Steward’s equation

Подраст/ Swath	Относителен добив по подрасти/ Relative yield by swaths	Стойности на коефициента A/ Values of the coefficient A		R
		От таблица 2/From table 2	*Редуциран/Reduced	
I	2	3	4	0.983
I	0.17	1.82	0.318	
II	0.18	1.66	0.296	
III	0.19	1.87	0.355	
IV	0.24	1.47	0.359	
V	0.22	1.47	0.313	

*Коефициентите в колона 4 се получават, като стойностите в колона 2 се умножат със съответните коефициенти от колона 3
 *The coefficients in column 4 are obtained by multiplying the values in column 2 by the corresponding coefficients in column 3

(общо за всички варианти и години) спрямо сумарния добив (който се приема за единица). Получените стойности по подрасти са умножени със съответния коефициент от Таблица 1, в резултат на което са получени новите коефициенти (Таблица 3, колона 4).

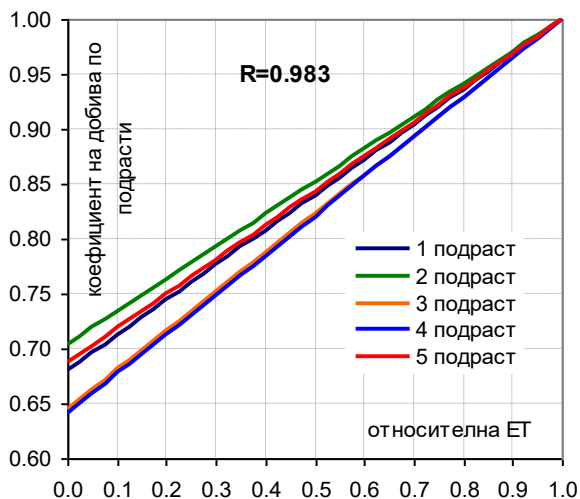
Резултатите за връзката по формулата на Steward на база редуцираните стойности на коефициента А по подрасти, са представени на Фигура 16, а на Фигура 17 е демонстрирана степента на апроксимация на връзката след корекцията на коефициентите. Както се вижда на графиките, точността по отношение на стойностите на R не се променя спрямо тази, която демонстрира първоначалния вариант на формулата, т.е. отклоненията на изчислените спрямо опитните добиви са съизмерими. В същото време е налице много по-реална интерпретация на връзката, като разликата в чувствителността между отделните подрасти е минимална, а разликата в стойностите на коефициента на добива е под 10% (Фигура16).

Въз основа на получените по четирите формули резултати, могат да се направят следните по-важни изводи:

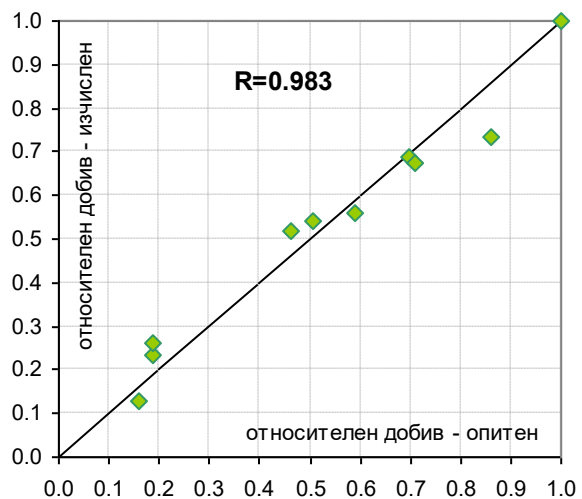
- За условията на опита и на база използваните за целта експериментални данни използ-

ваните формули показват много висока математическа точност, но не отразяват реално връзката между сумарния добив и ET по подрасти. С изключение на степенната формула на Davidov, останалите три формули регистрират по един или повече подрасти с нулева чувствителност по отношение на ET, което на практика не отговаря на действителността. Степента на чувствителност, установена при отделните подрасти не е подчинена на никаква логическа последователност и ясни закономерности. Причината за тези резултати е факта, че в този вид използваните формули не могат да отчитат влиянието на подрастите така, както отчитат влиянието на фенофазите. Освен това всеки един подраст има самостоятелно значение в рамките на сумарния добив и сумарната ET и метеорологичните условия по време на неговото формиране оказват съществено влияние върху параметрите на връзката, касаещи този подраст.

- От използваните четири формули най-подходяща за изразяване на зависимостта по подрасти е коригирания вариант на формулата на Steward. Същата изразява връзката най-реално при висок коефициент на корелация $R=0.983$ и минимална разлика между от-



Фигура 16. Зависимост „Добив-ET” по формулата на Steward – модифицирана
Figure 16. Linear relationship “Yield-ET” by swaths (Steward’s modified equation)



Фигура 17. Връзка между опитни и изчислени добиви по модифицираната формула на Steward
Figure 17. Correlation between experimental and calculated yield through the Steward’s modified formula

делните подрасти по отношение на тяхната чувствителност.

• Степенната формула на Davidov също може да се използва за изчисляване на сумарния добив по данни за ЕТ по подрасти, тъй като показва много висока точност ($R=0.995$). Освен това, отклоненията между опитни и изчислени добиви под 5% и не се отчита нулева чувствителност при никой от подрастите.

ИЗВОДИ

Относно използването на формулите, предназначени за определяне на зависимостта: "Добив – сумарна ЕТ"

При избор на формула за връзката „Добив - ЕТ“ приоритет трябва да се даде на двустепенната формула, тъй като чрез двата променливи степенни показатели, тя е най-точна, с оглед стойностите на R и малките отклонения на изчисления спрямо опитния добив. На второ място се препоръчва едностепенната формула, която чрез променливия степенен показател дава възможност за постигане на достатъчна точност.

По-големи изисквания към ЕТ предявяват първите три подраста, които могат да формират добив при осигуряването на поне 40 – 50% от водоразхода, нужен за получаването на максимален добив. Четвърти и пети подрасти показват по-малки изисквания към относителната ЕТ, но разликите спрямо първите три подраста при използването отделните формули е в диапазона 10 - 30%. Натрупаният воден дефицит в почвата при вариантите с редуцирани норми, понижава ефективността на ЕТ през втората половина на вегетацията, по отношение на добива, по-силно изразена при последния V-ти подраст.

Относно използването на формулите, предназначени за определяне на зависимостта: "Добив – ЕТ по фенофази"

Използваните формули показват много висока математическа точност, но не отразяват реално връзката между сумарния добив и

ЕТ по подрасти. С изключение на степенната формула на Davidov, останалите три формули регистрират по един или повече подрасти с нулева чувствителност по отношение на ЕТ, което на практика не отговаря на действителността. От използваните четири формули най-подходяща за изразяване на зависимостта по подрасти е коригирания вариант на формулата на Steward. Тя интерпретира връзката най-реално при $R=0.983$ и минимална разлика между отделните подрасти по отношение на тяхната чувствителност.

ЛИТЕРАТУРА

- Ayas, S. (2019). Water-Yield Relationships in Deficit Irrigated Onion. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(9), 1310-1320.
- Davidov, D. (1994). On the Grounds of the Relationship "Yield-Water". In: *17th European Regional Conference on Irrigation and Drainage ICID-CIID, Varna*, vol.1, 251- 253.
- Davidov, D. (1998). Yields and effect of irrigation. *Proceedings of the Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation*, vol. XXV, 34-45 (Bg).
- Davidov, D. (2004). The relationship "Water-Yield" – comparison and analysis of formulas. *Agricultural engineering*, (1), 28-33 (Bg).
- Doorenbos, J., & Kassam, A. (1979). Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage*, Paper, 33. FAO, Rome.
- Grimes, D. W., Wiley, P. L., & Sheesley, W. R. (1992). Alfalfa yield and plant water relations with variable irrigation. *Crop Science*, 32(6), 1381-1387.
- Hanson, B., & Putnam, D. (2000). Can alfalfa be produced with less water? In *Proc. 29th Natl. Alfalfa Symp. and 30th California Alfalfa Symp* (pp. 00-043). Davis, CA: Univ. CA, Dept. of Agronomy and Range Science.
- Pcheva, G. (2017). Productivity and evapotranspiration of common bean grown at conditions of regulated irrigation regime. *PhD Dissertation*, p.148 (Bg).
- Kalaydjieva, R. (2014). Irrigation regime and evapotranspiration of green beans (*Phaseolus vulgaris* L. ssp. *Nanos*), variety "Strike", for the Plovdiv region. Doctoral dissertation, Agricultural University-Plovdiv, Bulgaria.
- Kaman, H., Gübbük, H., Tezcan, A. H. M. E. T., Mehmet, C. A. N., & Özbek, Ö. (2023). Water-yield relationship of greenhouse-grown strawberry under limited irrigation. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(2), 13235-13235.

- Lindenmayer, R. B., Hansen, N. C., Brummer, J., & Pritchett, J. G.** (2011). Deficit irrigation of alfalfa for water-savings in the Great Plains and intermountain West: A review and analysis of the literature. *Agronomy Journal*, 103(1), 45-50.
- Matev, A., Пчева, G., Kuneva, V., Petrova, R., & Zhi-vkov, Zh.** (2022a). Crop Relationship “Yield - Evapotranspiration” for Common Bean. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, ISSN 2285-5785, Vol. LXV (1), pp. 422-433.
- Matev, A., Sabeva, M., Minev, N., & Petrova, R.** (2022). Influence of irrigation regime on the chemical composition of soybean grains. *Journal of Central European Agriculture*, 23(2), 365-383.
- Petrova, R., & Matev, A.** (2020). Irrigation of green bean. *Ychi, Plovdiv*, p. 341 (Bg).
- Şahin, Y., Uçar, Y., & Şanlı, A.** (2023). Water-Yield Relationships of Potato in Mediterranean Climatic Conditions. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 11(10), 1986-1993.
- Stewart, J. I., & Hagan, R. M.** (1969). Predicting Effects of Water Shortage on Crop Yield. *Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE*, vol.95, № IRI.
- Stewart, J. I., & Hagan, R. M.** (1973). *Function and Drainage Division ASCE*, vol.99, № IRI.

Received: February 08 2024; Approved: April 22 2024; Published: June 2024