

БИОФИЗИЧНИ КОЕФИЦИЕНТИ НА ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЯТА ПРИ ГРАДИНСКИ ФАСУЛ ЗА РАЙОНА НА ПЛОВДИВ

Радост Петрова¹, Биляна Харизанова-Петрова¹, Александър Матев¹, Куман Куманов¹,
Милена Николова², Велика Кунева¹
¹Аграрен Университет, Пловдив
²ИРГР, Садово

Резюме

Целта на разработката е да се установят стойностите на биофизичните коефициенти на ЕТ при градински фасул (пролетна сеитба) за района на Пловдив. С решаването на тази задача се дава възможност за избор на подходяща формула за индиректно изчисляване на евапотранспирация на културата и управление на поливния режим. Експерименталната работа е проведена през периода 2010 – 2015 година в опитната база на АУ – Пловдив върху алувиално-ливадна почва. Използван е нискостъбленият сорт СТРАЙК. Стойностите на биофизичните коефициенти са изчислени по десетдневки и по фенофази, като са използвани данни за реалната ЕТ, отчетена при оптимално напояване (поддържане на почвената влажност в слоя 0-40cm през цялата вегетация над 80% от ППВ) и съответните метеорологични показатели. Установени са стойностите на следните коефициенти: 1) $K_c = ET_c / ET_0$ (на база еталонната ЕТ), 2) $Z = ET / \Sigma T^\circ$ (на база температурната сума), 3) $R = ET / \Sigma D$ (на база дефицита на влажността на въздуха), 4) $K_i = ET / E_0$ (на база изпарението от свободна водна повърхност). Установени са корелационните зависимости между десетдневните стойности на ЕТ и биофизичните коефициенти. Според получените резултати четирите коефициента могат да бъдат използвани успешно за индиректно изчисляване на ЕТ при градинския фасул, но методът на температурната сума (коефициента Z) е за предпочитане, поради високата точност и лесното набиране на нужните изходни данни. Надеждни са и данните от изпарител „клас А“. Много точен е и метода с еталонната ЕТ (формула 1), но за използването му са нужни голям брой метеорологични показатели, които се обработват чрез специализирана компютърна програма.

Ключови думи: градински фасул, евапотранспирация, напояване, биофизични коефициенти.

Key words: french beans, evapotranspiration, irrigation, biophysical coefficients.

JEL: Z19.

Увод

Въпросът за ефективното използване на водата за напояване става все по-актуален. За районите с неустойчиво естествено овлажняване, към които спада и нашата страна, валежите са недостатъчни като количество и много често са неравномерно разпределени през вегетационния период, поради което повечето селскостопански култури се отглеждат ефективно само при поливни условия. Важно условие за постигане на максимален ефект от напояването е точното определяне на времето за извършване на поливките. Съществуват редица методи (директни и индиректни) за неговото прогнозиране, като от десетилетия насам интерес за науката и практиката представлява метода на емпиричните зависимости. Той дава възможност за индиректно установяване на евапотранспирацията (за определен период от време) и решаване на водобалансовото уравнение. Най-често тези зависимости обвързват ЕТ на културата с даден климатичен фактор (Ф) и съответстващия му биофизичен коефициент (К). Общият вид на уравнението е: $ET = K \cdot F$ [6, 15]. Като без алтернативен и то в световен мащаб се лансира метода на ФАО [25], който обвързва Реалната ЕТ на културата с еталонната евапотранспирация. От всички съществуващи методи този е най-сложен, тъй като за установяване на еталонната ЕТ се използват голям

брой показатели, а набавянето им от официални източници е скъпо от финансова гледна точка. Изследвания, проведени у нас с различни селскостопански култури доказват, че изчисляването на ЕТ само чрез един климатичен фактор демонстрира точност, не по-малка от тази, която предлага метода на ФАО. Така например, метода на температурната сума, предложен преди повече от пет десетилетия от Й. Делибалтов и др. (1959) се препоръчва като най-подходящ при царевица [13, 17, 18, 20, 21], соя [5], тревни смеси [16], рапица [4], производство на лозов посадъчен материал [23], малини [14, 15], целина [22], оранжерийен пипер [3], праскова [10, 11], ябълка [11, 12], захарно цвекло [19] и др. и се доказва математически от Д. Давидов и др. (1983).

Целта на разработката е да се установят стойностите на биофизичните коефициенти K_c , Z , R , K_i , на ЕТ на градински фасул (ранно полско производство) за района на Пловдив и да се направят съответните препоръки за практиката на база достъпност и точност.

Материал и методи

Експерименталната работа е проведена през периода 2010–2015 година в опитната база на АУ – Пловдив върху алувиално-ливадна почва. Използван е сорт СТРАЙК, който е високо добивен, с нисък хабитус и е подходящ за механизано прибиране. Напояването е извършвано

при спадане на почвената влажност до 80% от ППВ в слоя 0–40 cm. Напояването е извършвано гравитачно по къси затворени бразди. Поливната норма е изчислявана за навлажняване на почвата до ППВ (пределна полска влагоемност) в слоя 0–60 cm. Евапотранспирацията е изчислявана по десетдневки и по фази, чрез последователен баланс на водния запас в почвата, като за целта на разработката са използвани данните за слоя 0–60 cm.

Определени следните биофизични коефициенти:

K_c – коефициент на културата, който представлява отношение между реалната евапотранспирация на културата (ET) и еталонната евапотранспирация (ET₀):

$$K_c = ET_c/ET_0$$

Изходната формула, от която е изразен коефициентът K_c е $ET_c = K_c \cdot ET_0$ и е известна още като методът "K_c ET₀" [25]. Еталонната евапотранспирация (ET₀) е изчислена с помощта на специализираната компютърна програмата CROPWAT 8.0 (FAO, 1992), по формулата на Penman-Monteith /FAO, №56/ [24], която има следния вид:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

където: ET₀ е еталонната евапотранспирация (mm.day⁻¹); R_n – нетната радиация върху тревната повърхност (MJ.m².day⁻¹); G – топлинният поток от почвата (MJ.m².day⁻¹); T – среднодневната температура на въздуха на 2 m височина (°C); u₂ – скорост на вятъра на 2 m височина (m.s⁻¹); e_s – налягане на наситените водни пари (kPa); e_a – действително налягане на водните пари (kPa); (e_s - e_a) – дефицит на налягането на наситените водни пари (kPa); Δ - наклон на кривата на налягането на водните пари (kPa.°C⁻¹); и γ – психрометрична константа (kPa.°C⁻¹).

Z – коефициентът представлява отношение между реалната ET за определен период от време и сумата от средноденонощната температура на въздуха за същия този период. Изчислява се по следната формула:

$$Z = ET/\Sigma T^\circ$$

Изходната формула, за изразяване на коефициента Z е: $ET = Z \cdot \Sigma T^\circ$ [7, 8, 9].

R – коефициентът представлява отношение между реалната ET и сумата от дефицита на влажността на въздуха /HPa/. Изчислява се по следната формула:

$$R = ET/\Sigma D$$

Изходната формула, от която е изразен коефициентът R е: $ET = R \cdot \Sigma D$ [1, 2].

K_i – коефициентът представлява отношение между реалната ET и изпарението от сво-

бодна водна повърхност (E₀), отчетено от изпарител „клас А“. Изчислява се по следната формула:

$$K_i = ET/E_0$$

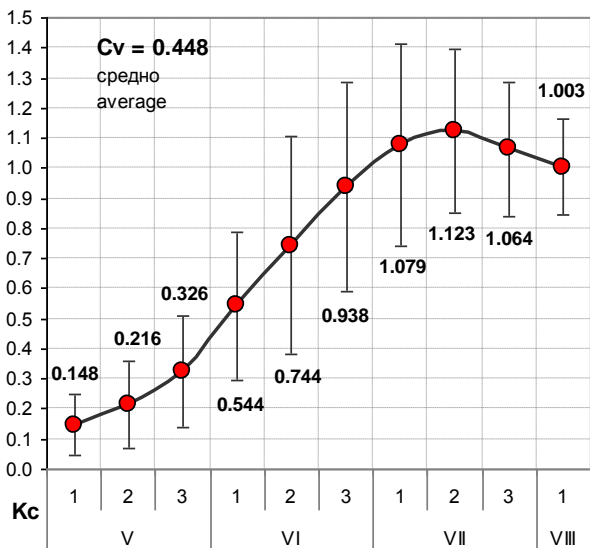
Изходната формула, за изразяване на коефициента K_i е: $ET = K_i \cdot E_0$ (Allen, R.G. et. al, 1998).

Стойностите на биофизичните коефициенти са установени по десетдневки, както и за следните шест периода: 1) масово поникване, 2) първи същински лист, 3) бутонизация, 4) масов цъфтеж, 5) плодообразуване, 6) беритбен период.

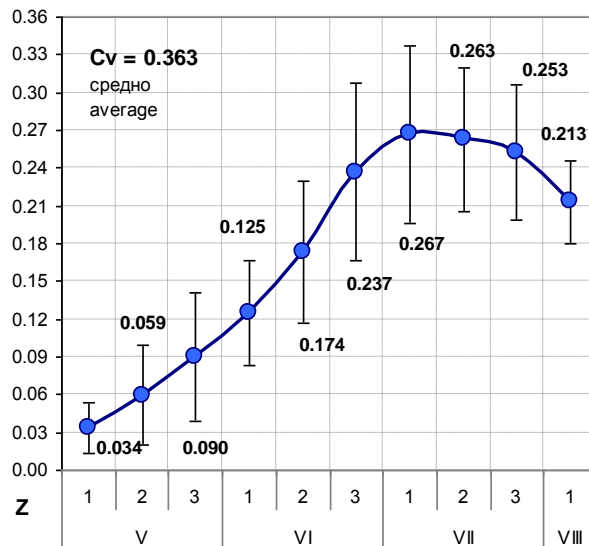
Резултати

За установяване стойностите на K_c предварително се изчислява еталонната евапотранспирация ET₀, която не зависи от вида на културата, а от продължителността на нейния вегетационен период. Определя се за култура-еталон „хипотетична култура“ с височина 0,12 m, която се отглежда в условията на оптимална водообезпеченост. Коефициентът K_c представлява частното между ET и ET₀. На фиг. 1 е изобразен неговият ход по десетдневки, средно за трите години, като са отчетени стойностите на средното квадратично отклонение за всяка от десетдневките и тези на Cv. Коефициентът K_c започва да нараства интензивно през третата десетдневка на май и достига максимални стойности през беритбения период (първата и втората десетдневки на юли), като в края на юли и началото на август започва постепенно да намалява. Ходът на стойностите му следват този на средно-денонощната ET. На графиката се вижда ясно варирането по десетдневки, а средно за вегетацията Cv=0,448. Стойностите му са най-големи в началото на вегетационния период (Cv>0,6), като в последствие постепенно намаляват през последните две декади Cv<0,2 (фиг. 9).

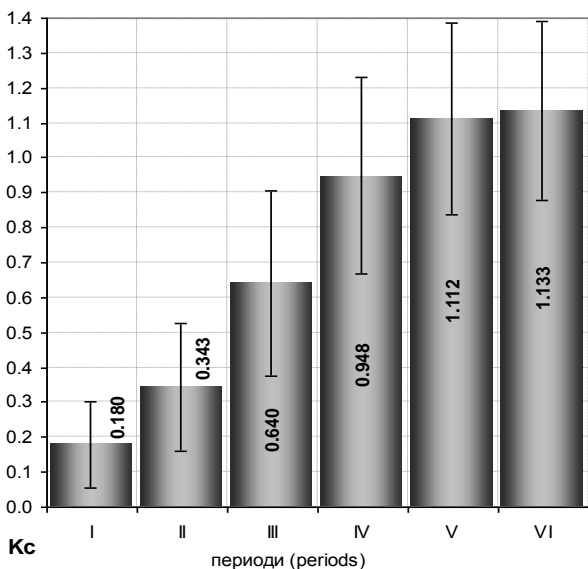
Освен по декади, K_c е представен и по фази, като осреднените за шестте опитни години данни са представени на фиг. 2. Варирането е по-съществено до бутонизацията (таблица 1), когато за условията на страната фасулът рядко се напоява. През репродуктивната част от вегетацията (цъфтеж, плодообразуване и беритби) Cv<0,3. Поради това, стойности на коефициента по периоди дават възможност за по-точно изчисляване на реалния водоразход на културата, в сравнение с десетдневните.



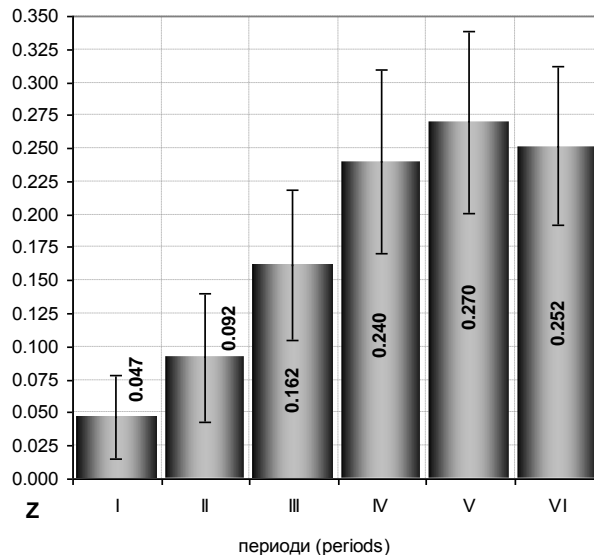
Фиг. 1. Стойности на Kc по десетдневки средно за шест години



Фиг. 3. Стойности на Z по десетдневки средно за шест години



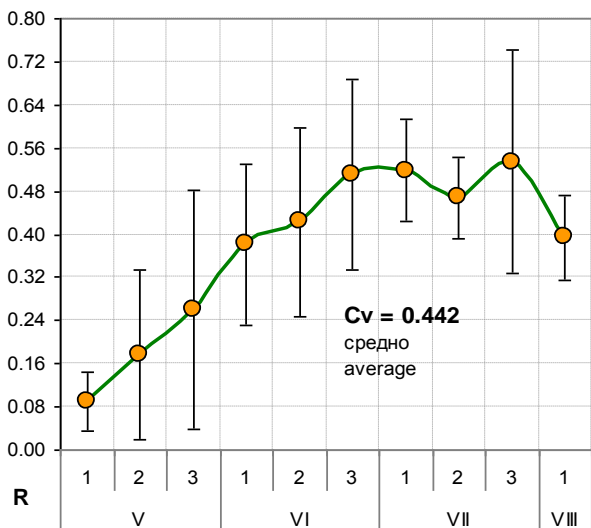
Фиг. 2. Стойности на Kc по периоди средно за шест години



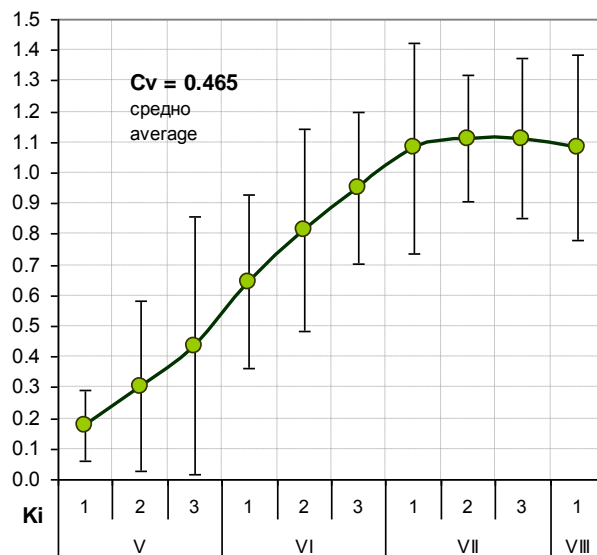
Фиг. 4. Стойности на Z по периоди средно за шест години

Въпреки че се използва само един климатичен фактор (в случая ΣT°), характерът на тренда, описващ стойностите на коефициента Z по десетдневки е сходен с този на коефициента K_c (фиг. 3). Освен това, при сравнение между фиг. 1 и фиг. 3 се вижда ясно, че отклоненията при еднофакторното уравнение са по-малки, което се потвърждава и от по-ниската средна стойност на C_v . Стойностите на C_v като цяло са по-ниски и по десетдневки и с напредването на вегетацията постепенно намаляват (фиг. 9).

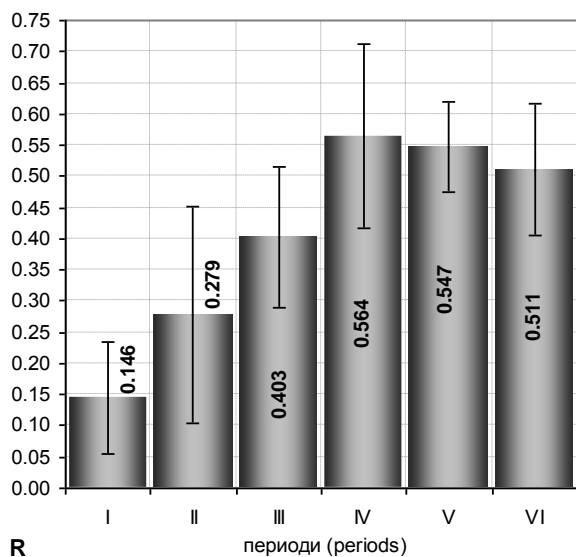
На фиг. 4 е изобразен Z по периоди. И тук максимални стойности се отчитат през репродуктивния период (цъфтеж, бобообразуване и беритби), когато напояването е интензивно, а правилното определяне на ET и насрочването на поливките е от решаващо значение за добива. През тази част от вегетацията, както бе споменато по-горе, варирането на Z не превишава това при K_c . Тези резултати потвърждават предимството на метода на температурната сума пред метода на ФАО относно точност, приложимост и достъпност.



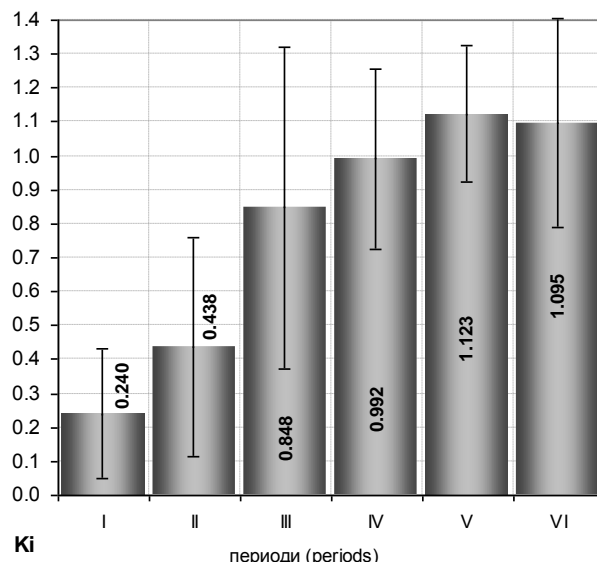
Фиг. 5. Стойности на R по десетдневки средно за шест години



Фиг. 7. Стойности на Ki по десетдневки средно за шест години



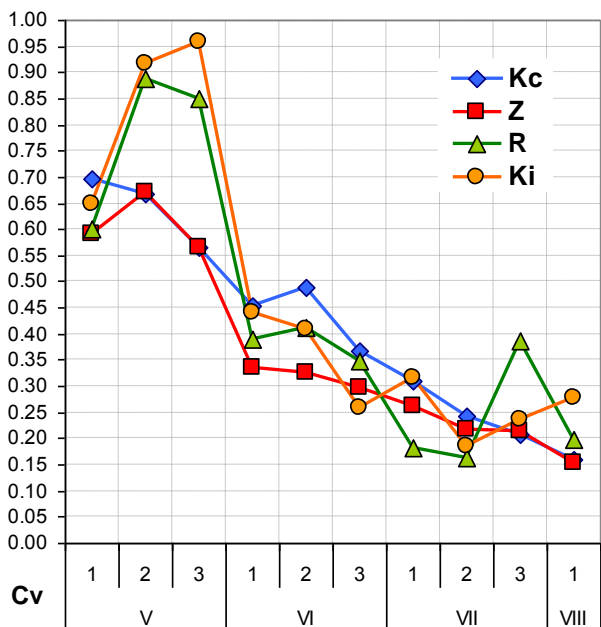
Фиг. 6. Стойности на R по периоди средно за шест години



Фиг. 8. Стойности на Ki по периоди средно за шест години

Интензивността на на ET зависи в голяма степен от дефицита на влажността на въздуха, но за разлика от температурната сума, този показател е много по-неустойчив през вегетационния период. Въпреки това, коефициентът R се предлага от много автори като подходящ за индиректно определяне на ET. Стойностите на R по декади средно за експерименталния период са представени на фиг.5. В сравнение с предходните два коефициента, ходът на R е неравномерен, но Cv през юли и август е с по-ниски стойности. Максимумът е през цъфтежа (фиг. 6) и както се вижда на таблица 1, за всички фази от бутонизация до края на беритбения период Cv е значително по-нисък от този при Kc и Z.

През последните няколко десетилетия, масово в световен мащаб, за индиректно определяне ET на земеделските култури и прогнозиране поливките се използва изпарението от свободна водна повърхност, отчетено най-често чрез изпарител клас A. В някои случаи поливките се насрочват директно на база определено изпарение, но по-коректно е да се изчислява ET посредством изпарението от свободна водна повърхност и опитно изчислен коефициент Ki. В настоящата разработка стойностите на този коефициент са определени както по декади, така и по периоди, а резултатите са представени нагледно на фигурите 7 и 8. Десетдневният ход наподобява много този на Z вариането е по-голямо (Cv=0,465).



Фиг. 9. Стойности на Cv по десетдневки

Таблица 1. Стойности на Cv по периоди

период	Cv			
	Kс	Z	R	Ki
масово поникване	0.533	0.673	0.621	0.791
първи същински лист	0.683	0.525	0.622	0.734
бутонизация	0.417	0.350	0.282	0.559
масов цъфтеж	0.297	0.291	0.263	0.267
плодообразуване	0.247	0.254	0.132	0.178
беритбен период	0.225	0.238	0.207	0.281

Изводи и препоръки

Установените стойности на биофизичните коефициенти Kс, Z, R и Ki са приложими за индиректното изчисляване евапотранспирацията на градинския фасул и прогнозиране на поливките. Варирането и при четирите коефициента е слабо и почти еднакво през репродуктивния период, който на практика е определящ за поливния режим и положителния ефект от напояването.

Препоръчва се използването на стойностите, установени по фази, тъй като те са по-надеждни от тези по десетдневки.

По отношение на точност и достъпност, коефициентът Z, който е обвързан с температурната сума е най-подходящ, което би следвало да се вземе предвид при избор на метод за индиректно установяване на ET при градинския фасул.

Литература

1. Алпатыев, А. М. (1954). *Влагооборот культурных растений*. Ленинград, (in Bulgarian).
2. Алпатыев, А. М. (1957). *Вопросы водопотребления культурных растений*. „Сб. Биологические основы орошаемого земеделия“. Москва, (in Russian).
3. Базитов, Р. (2007). *Поливен режим на пипер в неопляема оранжерия*. Дисертация, Пловдив, (in Bulgarian).

4. Гилова, А. (2016). *Поливен режим на зимна маслодайна рапица (Brassica napusq L.) в условията на умерено континентален климат*. Дисертация, ССА, ИП – Никола Пушкарков – София, (in Bulgarian).
5. Горанов, Хр. (1977). *Техниката на поливане като средство за реализация на режима на напояване на царевицата и соята*. Дисертация, София, ССА, (in Bulgarian).
6. Давидов, Д., Ст. Гайдарова (1983). *Върху точността на формулите за изчисляване на евапотранспирацията*. „В помощ на техническия прогрес във водното стопанство“ № 6, 1983, стр. 12–22, (in Bulgarian).
7. Делибалтов, Й., Хр. Христов, Ив. Цонев (1959). *По въпроса за определяне на водопотреблението на селскостопанските култури*. „Научни трудове на НИИХИМ“ 1959, т.VI, (in Bulgarian).
8. Делибалтов, Й., Хр. Христов, Ив. Цонев (1963). *Проектен поливен режим на селскостопанските култури*. „Известия на ИХМ“, 1963, т. V, стр. 5–52, (in Bulgarian).
9. Делибалтов, Й. (1972). *Прогнозиране на проектния и експлоатационен поливен режим на селскостопанските култури*. „Напояване на селскостопанските култури“, Земиздат, София (in Bulgarian).
10. Дочев, Д., К. Дойчев, А. Иванов (1982). *Параметри на поливния режим при основните овощни култури*. „В помощ на техническия прогрес във водното стопанство“, № 1, 1982, стр. 4–12, (in Bulgarian).
11. Дочев, Д., М. Господинов (1987). *Усъвършенстване на научно-методичната основа на експлоатационната прогноза при микронапояването на овощните култури*. „В помощ на техническия прогрес във водното стопанство“ № 2, 1987, стр. 5–8, (in Bulgarian).
12. Дочев, Д. (1979). *Изследвания върху напояването на ябълката. VII. Параметри на поливния режим на плододаващи палметни градини от сорт Ричърд*. „Градинарска и лозарска наука“, № 7, 1979, (in Bulgarian).
13. Живков, Ж., Д. Давидов (2008). *Коефициенти и параметри за изчисляване на евапотранспирацията и добива на средно-късен хибрид царевица за зърно*. „Растениевъдни науки“, № 5, 2008, стр. 426–428, (in Bulgarian).
14. Корнов, Г. (2014). *Отглеждане на ремонтантния малинов сорт „Люлин“ (Rubus ideaus) в равнинни условия*. Дисертация, ССА, ИО – Пловдив, (in Bulgarian).
15. Куманов, К., М. Мотева, В. Казанджиев (2010). *Изчисляване Евапотранспирацията на прасковена градина от метеорологични данни – просто или сложно?* „Journal of Mountain Agriculture on the Balkans“, vol. 13, 6, 2010, стр. 621–1634, (in Bulgarian).
16. Лозанова, Н. (2014). *Поливен режим и евапотранспирация на тревни площи в урбанизирани територии*. Дисертация, ЛТУ – София, (in Bulgarian).
17. Матев, А. (2001). *Режим на напояване на царевица за зърно при оптимум и недостиг на вода*. Дисертация, ССА, ИММ – София, стр. 115. (in Bulgarian).
18. Матев, А., Ж. Живков. (2002). *Евапотранспирация и биофизични коефициенти при царевицата за зърно, отглеждана в условията на софийското равно поле*. „Научни трудове на АУ – Пловдив“, т. XLVII, кн. 2, 2002, стр. 171–180, (in Bulgarian).

19. Матев, А., З. Червенкова, Г. Гоцис. (2005). *Евапотранспирация и биофизични коефициенти на захарното цвекло, отглеждано в района на Пловдив*. „Научни трудове на АУ – Пловдив”, т. L, кн. 4, 2005, стр. 73–78, (in Bulgarian).
20. Мотева, М. (2005). *Параметри на поливния режим на царевицата за зърно при напояване през бразди на канелена горска почва*. Дисертация, ССА, ИММ – София, (in Bulgarian).
21. Стоянова, А. (2008). *Параметри за напояването на царевицата отглеждана във втора агроклиматична група*. Дисертация, ЗИ – Стара Загора, (in Bulgarian).
22. Харизанова-Петрова, Б. (2014). *Изследване продуктивността на целина (*Arium graveolens L.*), сорт „IBIS”*. Дисертация, АУ – Пловдив, (in Bulgarian).
23. Цветанов, Е. (2015). *Напояване на вкоренилище за производство на лозов посадъчен материал в района на Плевен*. Дисертация, 2015, АУ – Пловдив, (in Bulgarian).
24. Allen, R. G. L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. „Irrigation and Drainage Paper 56”, 1998, FAO.
25. Doorenbos, J., W. O. Pruitt. (1975). *Crop water requirements*. „Irrigation and Drainage Paper 24”, FAO, Rome, 1975, p. 179.
26. Kuźniar, A., St. Twardy, A. Kowalczyk, M. Kostuch. (2011). *An assessment of the water requirements of a mountain pasture sward in the Polish Western Carpathians*. „Journal of Water and Land Development”, No.15, 2011, p.193–208.

EVAPOTRANSPIRATION'S BIOPHYSICAL COEFFICIENTS OF FRENCH BEANS FOR THE REGION OF PLOVDIV

Radost Petrova¹, Biliana Harizanova-Petrova¹, Alexander Matev¹, Kouman Koumanov¹,
Milena Nikolova², Velika Kuneva¹

¹Agricultural University, Plovdiv, Bulgaria

²Institute of Plant Genetic Recourses, Sadovo, Bulgaria

Abstract

The aim of this work is to determine values of evapotranspiration's biophysical coefficients for French beans. With this task is given a choice of a suitable formula to calculate indirectly evapotranspiration and management of irrigation scheduling. The experiment was conducted during the period 2010 - 2015 year on the experimental field of AU - Plovdiv on alluvial soil with variety STRIKE. The values of biophysical coefficients are calculated for ten-day periods and by phenophases, using data on actual ET established at optimum irrigated treatment (maintaining soil moisture in the layer 0-40cm throughout the growing season over 80% of FC) and the appropriate meteorological factors. The values of the following coefficients are established: 1) $K_c=ET_d/ET_0$ (on the basis of the reference ET), 2) $Z=ET/\Sigma T^\circ$ (on the basis of the temperature sum) 3) $R=ET/\Sigma D$ (base of vapour pressure deficit /VPD/), 4) $K_{ei}=ET/E_0$ (based on evaporation from a free water surface). The correlations between ten-day values of ET and biophysical coefficients are established. According to the obtained results, all type of coefficients may be used successfully, but the method of the temperature sum (Z) is preferable due to its high accuracy and easily dial the required output data. The data from evaporator "Class A" are reliable too. Very accurate method is the reference ET, but its use is needed large number of meteorological factors /data/ that is processed through a specialized computer program.