

<https://doi.org/10.61308/XOE09584>

## Биофизични коефициенти на евапотранспирацията на главеста целина (*Apium graveolens*) за района на Пловдив

Биляна Харизанова- Петрова

Аграрен Университет - Пловдив

ORCID ID: 0000-0001-8437-7718

E\_mail: [bilqna.harizanova@abv.bg](mailto:bilqna.harizanova@abv.bg)

**Резюме:** Проведен е тригодишен полски опит с главеста целина при поливни условия в района на Пловдив (42° 08' 06" N 24° 44' 43" E и 160m н.в.). Целта на разработката е да се установят биофизичните коефициенти (Z, R и Kc) на евапотранспирацията на културата и да се препоръча най-подходящия за управление на поливния режим. Трите години на провеждане на опита са много различни една от друга по отношение на климатичните фактори. И през трите години вегетационните валежи са недостатъчни и неравномерно разпределени през вегетацията. След статистическа обработка на данните, годините са определени като влажна, средна и суха. Почвата е алувиално ливадна с обемна плътност 1.33 g/cm<sup>3</sup> за слоя 0-0.4m, в който е проследена влажността на почвата. Използвани са данни за реалната евапотранспирация на целината, установена по теглово-термостатния метод с регулярни взимания на почвени проби. Отчетени са три фази на развитие при целината, като първата е от прихващането на расада до начало на формиране на кореноплода, втората – обхваща начало на нарастване на кореноплода, а трета фаза – от интензивно нарастване до прибиране. Стойностите на коефициента Z по фази са 0.14, 0.21 и 0.24, за R – 0.24, 0.4 и 0.6, а за Kc – 0.65, 1.01 и 1.51.

**Ключови думи:** главеста целина; напояване; биофизични коефициенти; водоразход

## Biophysical coefficients of evapotranspiration of celery (*Apium graveolens*) for the Plovdiv area

Bilyana Harizanova-Petrova

Agricultural University, Plovdiv, Bulgaria

ORCID ID: 0000-0001-8437-7718

E\_mail: [bilqna.harizanova@abv.bg](mailto:bilqna.harizanova@abv.bg)

**Citation:** Petrova-Harizanova, B. (2024). Biophysical coefficients of evapotranspiration of celery (*Apium graveolens*) for the Plovdiv area. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 61(5) 73-80 (Bg).

**Abstract:** A three-year field experiment was conducted with celery under irrigated conditions in the Plovdiv region 42° 08' 06" N 24° 44' 43" E and 160 m above sea level. The purpose of the development is to establish the biophysical coefficients (Z, R and Ks) of the evapotranspiration of the crop and to recommend the most suitable ones for managing the irrigation regime. The experiment spanned three distinct years, each characterized by varying climatic factors. Throughout all three years, vegetation precipitation was insufficient and unevenly distributed. Post statistical analysis, they were defined as wet, medium and dry. The soil is an alluvial meadow with a bulk density of 1.33 g/cm<sup>3</sup> for the 0-0.4m layer where soil moisture was monitored. Real evapotranspiration data of celery, obtained via the weight-thermostat method with regular soil sampling, were used. Three phases of celery development are distinguished, the first being from the interception of seedlings to the beginning of the formation of the root crop, the second - covering the beginning of growth of the root crop and the third phase - from intensive growth to harvest. The Z-factor values by phase were 0.14, 0.21, and 0.24 for R – 0.24, 0.4 and 0.6, and for Kc – 0.65, 1.01 and 1.51.

**Key words:** celery; irrigation; biophysical coefficients; water consumption

## ВЪВЕДЕНИЕ

Съществуват различни методики за управление на поливния режим на селскостопанските култури. Индиректният метод, базиран на изчисления, е част от тях. Тъй като въпросът за ефективното използване на водата става все по-актуален, прилагането на такъв метод за прогнозиране и управление на поливния режим е добро и бързо решение за проследяване на водните запаси в почвата. Чрез индиректният метод може да се установи евапотранспирацията на културата (ЕТ<sub>c</sub>) по емпиричен начин, използвайки биологичните ѝ особености и един или няколко климатични фактора. Точно поради тези причини стойностите, получени при една култура, но при различни сортове, могат да бъдат различни. Същото важи и за едни и същи култури, отглеждани при различни климатични условия и географски ширини. Според Munitz et al. (2019) моделът на напояване на лозя, позволяващ прецизното им напояване, трябва да се основава на промените в потреблението на вода за лозята като функция на климатичните условия и площта на короната. Чрез шестгодишен полски опит в Израел те определят К<sub>c</sub> на лоза, сорт Совиньон Блан и установяват стабилна многогодишна връзка между листната площ и коефициента, което доказва, че измерването на площта на короната на винените лози е надежден подход за оценка на техния К<sub>c</sub>. Hu YongXiang et al. (2012) установяват К<sub>c</sub> при хинап, отглеждан в експерименталната станция Mizhi в лъсовото плато на Китай.

Treder et al. (2017) работят по проекта IRRINURS за определяне на К<sub>c</sub> на някои многогодишни декоративни видове. Според авторите, определените коефициенти могат да бъдат много полезни при реализиране на прецизно напояване на трайни насаждения, въз основа на климатични данни.

Чрез различни проучвания се установява, че използването на коефициенти за управление на поливния режим е оправдано и се получават високи и качествени добиви (Harel et al., 2014; Favati et al., 2009). Kireva (2018), уста-

новява биофизичния коефициент Z при ягоди, отглеждани чрез система за капково напояване. Според нея, коефициентът представлява обективна основа за определяне на проектния поливен режим и прогнозиране времето за напояване на културата. Проведени са и много изследвания за определяне на биофизичните коефициенти на евапотранспирацията на различни култури в България (Petrova et al., 2016; Bazitov & Gospodinov, 2012; Bazitov, 2018; Tsvetanov & Kumanov, 2016).

Целта на настоящата разработка е да се установят коефициентите Z, R и К<sub>c</sub> при главеста целина за района на Пловдив по десетдневки и по фази на развитие. Получените данни могат да послужат и за управление на поливния режим на главеста целина в райони със сходни климатични условия.

## МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Проведено е тригодишно изследване на главеста целина, отглеждана при поливни условия, върху алувиално-ливадни почви в района на Пловдив, България. Водно-физичните свойства за слоя 0-40 cm са: обемна плътност  $\alpha - 1,33\text{g/cm}^3$  и тегловна влажност при ППВ – 30,9% от сухата маса на почвата, а за слоя 0-50 cm -  $\alpha - 1,35\text{g/cm}^3$  и тегловна влажност при ППВ – 30,5% от сухата маса на почвата. Влажността се поддържа над 80% от ППВ в слоя 0-0,4 m. Опитът е изведен по метода на дългите парцелки. Използвана е система за капково напояване с дебит на капкопускателите q- 4 l/h, разстояние между капкопускателите – 0,2 m.

Определени са коефициентите на евапотранспирацията за слоевете 0-40 и 0-50 и е изчислен биофизичният коефициент на културата К<sub>c</sub>, който представлява отношение между реалната евапотранспирация на културата (ЕТ<sub>c</sub>) и еталонната евапотранспирация (ЕТ<sub>0</sub>):

$$K_c = ET_c / ET_0$$

Исходната формула, от която е изразен коефициентът К<sub>c</sub> е:  $ET_c = K_c \cdot ET_0$  и е известна още като методът „К<sub>c</sub> ET<sub>0</sub>“ (Doorenbos & Pruitt,

1975). Еталонната евапотранспирация ( $ET_0$ ) е изчислена с помощта на специализираната компютърна програмата CROPWAT 8.0 (FAO, 1992), по формулата на Penman-Monteith / FAO, №56/ (Allen et al., 1998).

$ET_c$  е реално установената евапотранспирация на културата, изчислена по водобалансовото уравнение:

$$ET_c = W_{нач} - W_{кр} + N + m,$$

$ET$  е евапотранспирация в mm,

$W_{нач}$  – воден баланс в началото на изследвания период в mm,

$W_{кр}$  – воден баланс в края на изследвания период в mm,

$N$  – количество валежи, паднали в изследвания период в mm,

$m$  – поливна норма в mm.

За определянето на моментната влажност за слоя 0-40 и 0-50cm, регулярно са взимани почвени проби в дълбочина, през 10 cm.

Определен е и коефициентът  $Z$ , който представлява отношение между реалната  $ET_c$  за определен период от време и сумата от средноденонощната температура на въздуха за същия този период. Изчислява се по следната формула:

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

Изходната формула, за изразяване на коефициента  $Z$  е:  $ET = Z \cdot \Sigma T^\circ$  (Delibaltov et al., 1963).

Третият коефициент на  $ET$ , който е определен за главеста целина е  $R$ . 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:  $ET = R \cdot \Sigma D$  (Alpatiev, 1957).

## РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

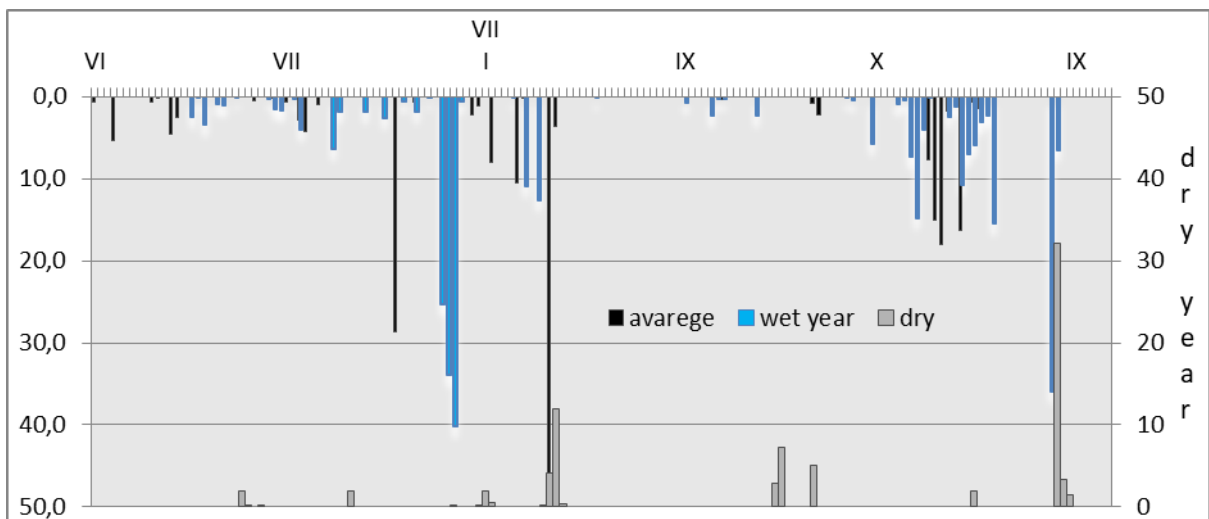
Периодът на изследването е тригодишен и обхваща години, значително различаващи се една от друга в климатично отношение. Направена е статистическа обработка, като

са използвани данните за валежите и температурата за период от 70 години. По отношение на валежите, резултатите от анализа показват, че първата вегетационна година е влажна (с обезпеченост  $P=13.3$ ), втората средна ( $P=60\%$ ), а третата е суха ( $P=90\%$ ). Що се отнася до температурите, годините са както следва: средно топла ( $P=39.3\%$ ), топла (19.1%) и гореща (2.4%). Целината е с по-дълъг вегетационен период (VI-X), в сравнение с повечето зеленчукови култури, като по-голямата част от него съвпада с времето на най-горещите и сухи месеци за страната, поради което напояването е неизбежно. Сумата на валежите е 287.5 mm за първата вегетационна година, 198.3 mm за втората и 78,2 mm за третата, което е над три пъти по-малко количество, спрямо първата година. Разликата в сумата от среднодневните температури също е значителна, като през първата вегетационна година тя е 3095 °C, за средната е 3182 °C, а за сухата – 3415 °C, което е с 320 градуса повече от първата година.

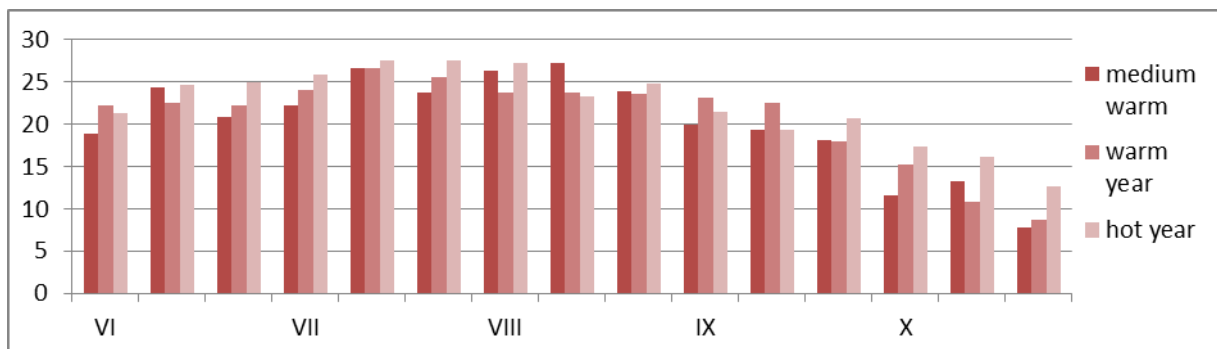
От Таблица 1 се вижда, че въпреки реализирания поливен режим, фазите на развитие при целината са с различна продължителност през трите вегетационни години. От засаждането до прихващането на растенията са необходими 16 – 17 дни. Началото на формиране на кореноплодите през първата и втората опитна година е започнало съответно на 40 и 41 ден след засаждането, а през третата – на 87 ден. Този факт се обяснява с неблагоприятните климатични условия, проявени през времето от прихващането на растенията до начало на формиране на кореноплода. Тогава са отчетени, както три периода на засушаване с продължителност 58 дни, така и период на атмосферна суша, проявен в средата на двете фенологични наблюдения. Въпреки приложеният поливен режим, тези фактори оказват влияние и върху началото на интензивното нарастване на кореноплодите, което започва с месец по-късно в сравнение с това през първите две години. На Фигури 1 и 2 са представени разпределенията на валежите и температурите за вегетационния период по години.

**Таблица 1.** Фази на развитие при главеста целина и продължителността им, според климата през вегетацията.  
**Table 1.** Phases of development in celeriac and their duration, according to the climate during the growing season.

Година/Year	Фаза 0 Прихващане на разсада/ Phase 0 Seedling interception	Фаза 1 Начало на формиране на кореноплод/ Phase 1 Beginning of head formation	Фаза 2 Начало на интензивно нарастване/ Phase 2 Beginning of intensive growth/	Фаза 3 Прибиране / Phase 3 Harvesting
	Дни от засаждането / Days from planting			
Влажна година/Wet year	17	48	83	143
Средна година/Average year	16	40	80	147
Суха година/Dry year	17	87	114	144
Средна продължителност на вегетацията /Average duration of vegetation				145



**Фигура 1.** Разпределение на валежите през вегетацията.  
**Figure 1.** Distribution of precipitation during the growing season.

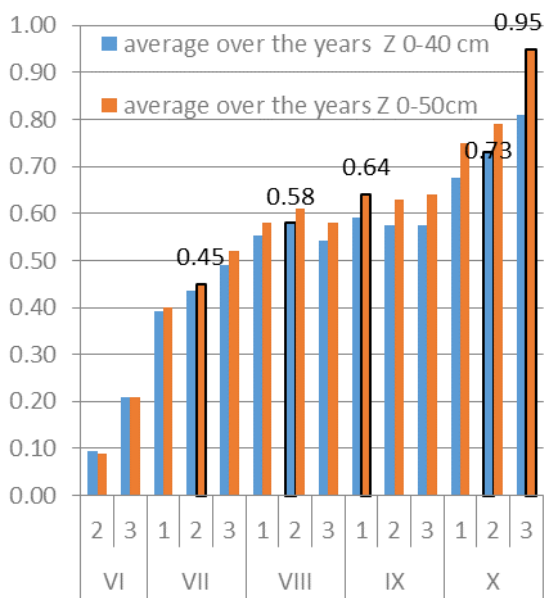


**Фигура 2.** Среднодневни температури по десетдневки през вегетацията.  
**Figure 2.** Average daily temperatures for ten days during the growing season

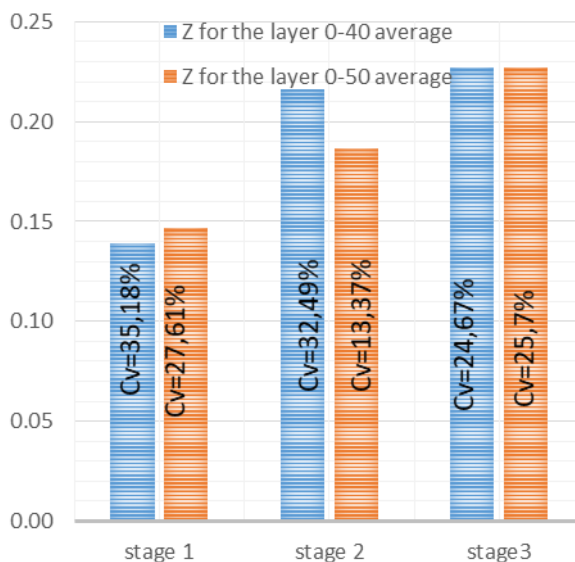
През сухата година не липсват валежи през вегетацията, но те са с незначителни количества и оказват влияние повече на атмосферната влажност, отколкото на влажността на почвата. През вегетацията има само два валежа, които са с количество над 5 mm. През средната в климатично отношение година, са отчетени валежи (два на брой през месеците юни и август) с количества близки или по-големи от поливната норма. През сухата година също са измерени два валежа с големина равна или по-голяма от прилаганата норма, но също така са отчетени повече на брой валежи през цялата вегетация, които макар и с малки количества, помагат за влагозапасяемостта на почвата. Валежи са отчетени през всички десетдневки на месеците, с изключение на третото десетдневие на август и второто на септември. На Фигура 2 са представени среднодневните температури на въздуха по десетдневия за периода на вегетацията. Вижда се ясно, че температурите през най-топлата година, в повечето десетдневия превишават тези, отчетени през топлата и среднотоплата. Значителни са разликите през последните десетдневки.

На графиките по-долу са представени стойности на коефициентите на ЕТ по десетдневки, а именно – Z, R и Кс. На Фигура 3 е представен хода на коефициента Z по десетдневки. Стойностите и за двата слоя в началото на вегетацията са ниски (0.19 и 0.28), като постепенно нарастват (средно около 0.6) и достигат максимума си в предпоследната седмица от вегетацията (0.8-0.95). Вариационният коефициент Cv варира по фази, но незначително (35.18% , 32.49% и 24.67%) за слоя 0 -0.4m. Почти двойно е варирането му в слоя 0 – 0.5 m във фаза начало на нарастване на кореноплода (Фигура 4). Коефициентите в третата фаза са равни за двата слоя Z = 0.23, съществено се различават във втора (0.19 и 0.22) и са сходни в първа (0.14 и 0.15).

Стойностите на биофизичния коефициент R са представени на Фигури 5 и 6. И при двата слоя се наблюдава тренд на покачване на коефициента от началото на вегетацията към края ѝ, когато е отчетен и максимума за коефициента. В слоя 0-0.50 m се наблюдава интензивното му покачване в последните три десетдневки. През отделните десетдневия се наблюдават спадове и повишения на стой-



Фигура 3. Коефициент Z по десетдневия  
Figure 3. Coefficient Z by death days

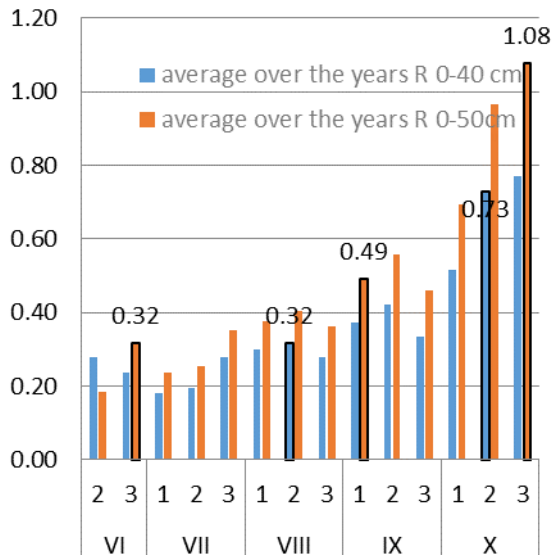


Фигура 4. Коефициент Z по фази на развитие  
Figure 4. Coefficient Z by phases of development

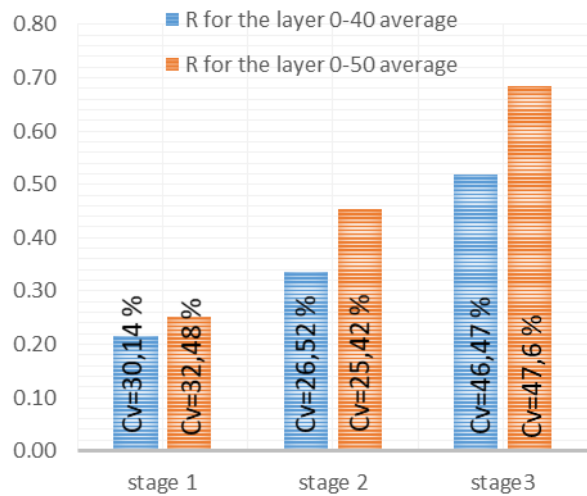


ностите на коефициента, като най-ниската за слоя 0-0.40 m е отчетена през втората десетдневка на юни (0.19), а за слоя 0-0.50m – първата десетдневка на юли (0.18). Най-висок е коефициента за слоя 0- 0,5m в последните две седмици на вегетацията – 0.97 и 1.08, а за слоя 0-0.40 m – 0.73 и 0.77, също в този период. По

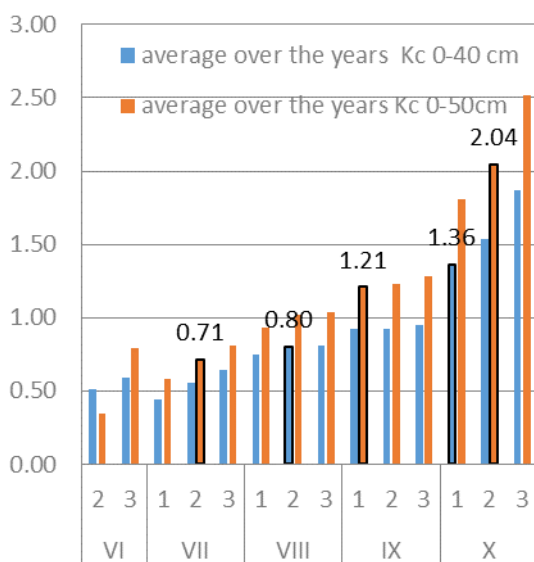
фази в слоя 0-0.04m R е 0.22, 0.34 и 0.52, а за слоя 0-0.50 m – 0.25, 0.45, 0.68. (Фигура 6) Коефициентите на вариация Cv са близки помежду си, разгледани по слоеве и фази, като много високи са изчислени в третата фаза от развитието на целината – интензивно нарастване на главите.



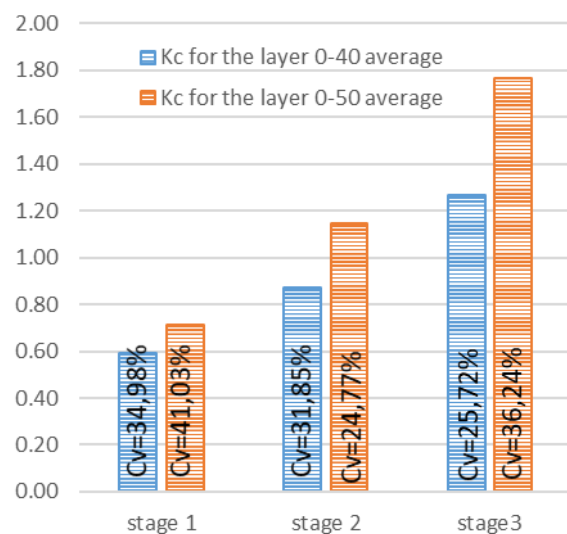
Фигура 5. Коефициент R по десетдневки  
Figure 5. Coefficient R by death days



Фигура 6. Коефициент R по фази на развитие  
Figure 6. Coefficient R by phases of development



Фигура 7. Коефициент Kc по десетдневки  
Figure 7. Coefficient Kc by death days



Фигура 8. Коефициент Kc по фази на развитие  
Figure 8. Coefficient Kc by phases of development

Коефициентът на културата  $K_c$  повтаря хода на коефициента  $Z$  – ниски стойности в началото на вегетацията, нарастване в средата ѝ и интензивно нарастване в последните три десетдневки (Фигура 7). За слоя 0 – 0,4 m  $K_c$  нараства от около 0,7 до 1,2 в средата и 2,5 - в края на вегетацията, с  $C_v$  – 34.98%, 31.85 и 25.72%, съответно за първа, втора и трета фаза. За слоя 0 – 0,5 m - около 0,5 в началото до 0,8-0,9 в средата и 2.52 в края на периода, при коефициенти на вариация от 41, 24.77 и 36.24%. Стойностите на коефициента по фази, съществено се различават по слоеве (Фигура 8).

## ИЗВОДИ

Установени са коефициентите  $Z$ ,  $R$  и  $K_c$  по декади и фази за слоевете 0-0.4m и 0-0.5m. Средните стойности от двата слоя за коефициента  $Z$  са 0.15, 0.21 и 0.24, съответно за първа (от прихващането на разсада до начало на формиране на кореноплод), втора (начало на нарастване на кореноплода) и трета фаза (интензивно нарастване до прибиране), като нарастването по десетдневки е с малки стъпки.

За  $R$  установените стойности са: 0.24, 0.4 и 0.6, съответно за първа, втора и трета фаза на развитие на главеста целина.

Коефициентът на културата  $K_c$  повтаря хода на коефициента  $Z$  – ниски стойности в началото на вегетацията, нарастване в средата ѝ и интензивно нарастване в последните три десетдневки. Като за първа, втора и трета фаза стойностите са както следва: 0.65, 1.01, 1.51.

Обвързан с данни за температурата, които са значително по-достъпни от останалите климатични елементи, необходими за изчисляване на коефициентите  $K_c$  и  $R$ , изчисляването на коефициента  $Z$  е значително по-лесно и точно. Изчислените коефициенти на вариация  $C_v$  при него дават най-малки отклонения. Всичко това е основание коефициентът  $Z$  да бъде препоръчан като метод за индиректно установяване на ЕТ при главеста целина.

**Проучването е докладвано на международна научна конференция „Предизвикателства пред животновъдната наука в условията на глобални климатични промени“, проведена през 2024 г. в Земеделски институт - Стара Загора, България.**

## ЛИТЕРАТУРА

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109.
- Alpatiev, A. M. (1957). Water consumption issues cultivated plants. „*Sat. Biological basis irrigated agriculture.*“ Moscow (Ru).
- Bazitov, R. (2018). Evapotranspiration and biophysical coefficients of the water treatment mask at waste polishing mode. *Science & Technologies*, VIII,(6), *Agrobiological science*, 13-18 (Bg).
- Bazitov, R., & Gospodinov I. (2012). Establishment of evapotranspiration and biophysical coefficients of maize for silage. *Science & Technologies Volume II*, Number 6, *Plant studies*, 132-135 (Bg).
- Delibaltov, Y., Hristov Khr., & Tsonev Iv. (1963). Designed irrigation regime on selskostopanskite kulturi; *Izvestia on IKhM*; vol.V; (5 – 52) (Bg).
- Doorenbos, J., W.O., & Pruitt. 1975. Crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome*. 179p.
- Favati, F., Lovelli, S., Galgano, F., Miccolis, V., Di Tommaso, T., & Candido, V. (2009). Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 562-571.
- FAO. (1992). CROPWAT — A Computer Program for Irrigation Planning and Management. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No. 46, Food and Agriculture Organization, Rome.
- Harel, D., Sofer, M., Broner, M., Zohar, D., & Gantz, S. (2014). Growth-stage-specific  $k_c$  of greenhouse tomato plants grown in semi-arid mediterranean region. *J. Agric. Sci*, 6, 132-142.
- Hu YongXiang, H. Y., Li YuanNong, L. Y., & Zhang Ying, Z. Y. (2012). Experiment on Crop Coefficient and Water Requirement of Drip-irrigation Jujube in Loess Plateau of China [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(11), 87-91
- Kireva, R. (2018). Evapotranspiration and biophysical coefficients of strawberries grown under surface drip irrigation. *Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 52, 1/2018, 22-28 (Bg)

- Munitz, S., Schwartz, A., & Netzer, Y.** (2019). Water consumption, crop coefficient and leaf area relations of a *Vitis vinifera* cv. 'Cabernet Sauvignon' vineyard. *Agricultural Water Management*, 219, 86-94.
- Petrova R., Harizanova B., Matev A., Kumanov K., Nikolova M., & Kuneva V.** (2016). Biophysical coefficients of evapotranspiration in urban beans for the Plovdiv region, Scientific works Sadovo, *Management and sustainable development* 5/2016 (60), 91-96 (Bg).
- Treder, J., Treder, W., & Klamkowski, K.** (2017). Determination of irrigation requirements and crop coefficients using weighing lysimeters in perennial plants. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (III/2), 1213-1228.
- Tsvetanov E., & Kumanov K.** (2016). Biophysical coefficients for calculating the evapotranspiration of vine roots, *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, vol. 19, 4, 183-198, Research Institute of Mountain Stockbreeding and Agriculture, Troyan (Bg).

Received: July, 15, 2024; Approved: August, 22, 2024; Published: October, 2024