

## ИЗПОЛЗВАНЕ НА ИНФРАЧЕРВЕНИЯ ТЕРМОМЕТЪР ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ВОДЕН СТРЕС ПРИ ГРАДИНСКИЯ ФАСУЛ, НАПОЯВАН ПРИ РАЗЛИЧНА ПРЕДПОЛИВНА ВЛАЖНОСТ

РАДОСТ КАЛАЙДЖИЕВА, ВЕЛИКА КУНЕВА, АЛЕКСАНДЪР МАТЕВ\*

*Аграрен университет, Пловдив*

\*E-mail: sa6\_m@abv.bg

### Using on Infrared Thermometer for Establishment of Water Stress in Green Beans Irrigated by Different Pre-Irrigation Soil Moisture

R. Kalaidjieva, V. Kuneva, A. Matev\*

*Agricultural University, Plovdiv, Bulgaria*

#### Abstract

The aim of the work is to explore the possibility for using the infrared thermometer as an indicator of water stress in the green beans and establishment of a link between soil moisture and temperature difference (dt) between the surface of the leaves and that of the environment. The experiment was conducted in the period 2010 – 2012, at experimental field of Agricultural University – Plovdiv, on Alluvial Meadow Soil (Arenic Fluvisols, WRBSR, 2006). Used data from options in which the bean is irrigated at different pre-irrigation soil moisture, namely 60, 70, 80 and 90% of FC (field capacity) and option without irrigation. Under irrigated conditions and lack of rainfall, dt values reach up to +5 °C, and in conditions of optimum irrigation (pre-irrigation soil moisture 80% of FC) values decreased and were negative. The conditions of the experiment were reach about –4.5 °C. The irrigation by lower than 80% of FC soil moisture influence on the dT° values. Established a linear relationship between the values of dT° and soil moisture as follows: for the layer 0 – 40 cm:  $Y = 79.49 - 4.32x$  at  $R^2 = 0.847$ ; for the layer 0 – 60 cm:  $Y = 80.52 - 3.67x$  at  $R^2 = 0.801$ .

**Key words:** green beans, water stress, irrigation infrared thermometer

За индиректно определяне водния статус на растенията и почвената влажност могат да бъдат използвани и някои дистанционни методи, като: гама излъчване (Gutwein, 1986), микровълни (Estes, 1977; Schmugge, 1980), инфрачервен термометър (Shih et al., 1986), радар и сателитни изображения (Carlson, 1984). Още през 80-те години на миналия век Hiller, Clark (1973) установяват, че температурата на добре полети растения е по-ниска от тази на околния въздух. Във връзка с това Berliner (1984) предлага като детектор на воден стрес за посев да се използва разликата между измерените с инфрачервен дистанционен термометър температури на посева и тази на добре полят посев. Авторът намира линейна зависимост между тази разлика и водния потенциал на листа с  $R^2 = 0,65$ , и смята, че това е надежден показател

за установяване наличието на воден стрес. През последното десетилетие, като показател за определяне водния статус на растенията все по-често се използва температурата на повърхността на листата, обвързвана с температурата на околната среда. Това става с помощта на инфрачервен термометър, който е с ниска цена, може да се използва ежедневно, като според Myhre, Shih (1990) резултатите се получават бързо и са с достатъчно висока точност. За условията на страната съществуват изследвания с различни селскостопански култури, при които са уточнени стойностите на dT (разликата между  $t^\circ$  на въздуха и  $t^\circ$  на повърхността на листата), при които трябва да се извършва поливка. Проучвайки възможностите за използване на този метод при редица селскостопански култури, в това число и

фасул, Стоименов (2001) извежда квадратни зависимости между  $dT$  и водния потенциал на почвата, влажността на почвата, както и между  $dT$  и интензивността на транспирацията, на фотосинтезата и концентрацията на солите в почвата. Насрочването на поливките при градинския фасул при  $dT = -2$  гарантира получаването на максимални добиви (Киркова, 2003). Според авторката възможността за ежедневни измервания на температурата на листата чрез ИЧТ предполага навременно реализиране на поливките, което се отразява положително върху добива. На база изследване, проведено в Колумбия с 12 сорта фасул Vascor et al. (1985) също така определят метода на ИЧТ като подходящ за ранно (навременно) установяване на воден дефицит, както и за определяне степента на сухоустойчивост при отделните сортове. Bonano, Mack (1983) провеждат изследвания с фасул в Орегонския университет (САЩ) за проучване възможностите за използване на ИЧТ при назначаване поливките при фасула и за определяне степента на водния стрес. Резултатите показват, че напояването при акумулирана положителна разлика между температурата на листата и тази на въздуха води до понижаване на добива особено през години с по-висок дефицит на влажността на въздуха. През по-влажни години същият е съизмерим с получения при оптимално напояване. Coulson et al. (1988) правят сравнително проучване на различни методи за измерване температурата на листата при фасула. Най-добри резултати се получават при използване на Порометър и ИЧТ, като първият отчита малко по-високи стойности на листната температура. Lima Filho (1983) и Köksal et al. (2010) също препоръчват ИЧТ като подходящ за измерване температурата на листата на фасула и установяване на воден стрес, а Erdem et al. (2006) установяват стойностите на индекса на водния стрес (CWSI) в зависимост от поливния режим, както и линейна зависимост между добива и CWSI. Въз основа на проучване, проведено в Унгария, Helyes et al. (1992) формулират извода, че при достигане на температурата на листата на градинския фасул до 29 – 30 °C, напояването е оправдано мероприятие. Lobo, Francisco de Almeida et al. (2004) установяват, че напояването на фасула трябва да започне при температурна разлика между повърхността на листата и околната среда между 3 и 4 °C.

Целта на разработката беше да се проучи възможността за използване на инфрачервения термометър като индикатор за воден стрес при градински фасул и установяването на връзка между влажността на почвата и температурната разлика ( $dt$ ) между повърхността на листата и тази на околната среда.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

За целта на разработката са използвани данни от тригодишен полски опит за проучване поливния режим на градински фасул (сорт Страйк), проведен в опитното поле на Аграрния университет – Пловдив през периода 2010 – 2012 г. върху Алувиално-ливадна почва. Опитът е залаган по блоковия метод в четири повторения, като за целта на тази разработка са използвани данните от следните варианти: 1) без напояване; 2) напояване при предполивна влажност 60% от ППВ; 3) напояване при предполивна влажност 70% от ППВ; 4) напояване при предполивна влажност 80% от ППВ; 5) напояване при предполивна влажност 90% от ППВ. Посочените предполивни влажности са валидни за слоя 0 – 40 cm, а поливните норми са изчислявани за навлажняване на почвения слой 0 – 60 cm.

Измерването на температурата с инфрачервен термометър е безконтактно. Същият отчита топлинното излъчване от предметите. Това го прави удобен за измерване на температурата на листата на растенията, а при слят посев – температурата на посева. Съвременните инфрачервени термометри притежават характеристики, позволяващи измерване без предварително калибриране, като преди да се покаже стойността на дисплея, уредът прави няколко измервания и показва средна стойност от измерванията за период от 2-3 секунди (Salder, 2002). Най-точни резултати се получават, когато измерването на температурата на посева се прави в средните часове на деня, върху добре огрята от слънцето листна повърхност (Peters, Evett, 2004). За да се получи по-голяма повърхност (площ) на измерване, препоръчва се уредът да се насочи под 45° спрямо измерваната повърхност и разстояние от измерваната повърхност около 1 m.

За условията на експеримента измерванията с ИЧТ са правени през интервал от 1 – 3 дни около 14 h, като паралелно с това е отчитана температурата на въздуха (измерена на

сянка). Правени са по пет последователни измервания при всички варианти на опита и от всяко повторение (т. е. всички опитни парцели). Тъй като фасулът дори и при максималното си развитие не покрива напълно почвената повърхност, измерванията са правени от разстояние 20 – 30 cm върху пряко огрети от слънцето листа. Осреднените от всеки вариант стойности се умножават с т. нар. емисионен коефициент, който според упътването на производителя на уреда има стойност 0,9 за условията на изследването. Стойностите на  $dT$  ( $^{\circ}C$ ) представляват разликата между температурата на листата ( $T_c$ ) и температурата на околната среда ( $T_a$ ):  $dT = (T_c - T_a)$ .

За да се потърси зависимост между стойностите на  $dT$  и влажността на почвата, в деня на вземане на почвени проби около мястото на всяка от пробите са правени паралелни измервания с ИЧТ. Данните, използвани в разработката, включват периода от 1 юни до края на беритбите през всяка една от годините.

### РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Специфична особеност при нискостъблените сортове градински фасул е, че е налице по-съществено влияние, както на високата температура на почвата, така и на оазисния ефект (след валежи и напояване) върху температурата на листата. Това влияние е наблюдавано и през трите опитни години, които се различават значително помежду си по отношение на основните метеорологични показатели (табл. 1).

На фигури 1, 2 и 3 е представено по години влиянието на понижената предполивна влажност върху динамиката на стойностите на  $dT^{\circ}$ , като в графиките са включени и данните за неполивния и оптималния варианти (съответно варианти 1 и 4).

Таблица 1. Метеорологични фактори за периода V – VII за района на Пловдив

Table 1. Meteorological factors for V – VII period for region of Plovdiv

| Factor  |             | Average for 101 years | 2010  | 2011 | 2012  |
|---|-------------|-----------------------|-------|------|-------|
| $\Sigma N$  | mm          | 170.2 mm              | 197.8 | 96.9 | 205.6 |
|   | P %         |                       | 24.8  | 89.2 | 23.5  |
| $\Sigma T^{\circ}$  | $^{\circ}C$ | 1910 $^{\circ}C$      | 1960  | 1993 | 2089  |
|   | P %         |                       | 30.4  | 21.6 | 4.9   |
| * $\Sigma N$ – precipitations; $\Sigma T^{\circ}$ – temperature; P% – probability |             |                       |       |      |       |

От графиките се вижда ясно, че почвената влажност влияе значително върху стойностите на  $dT^{\circ}$ , като при неполивни условия и липса на валежи стойностите нарастват и достигат до  $+5^{\circ}C$ , а при оптимално напояване (при предполивна влажност 80% от ППВ) обикновено са отрицателни, като за условията на опита достигат до около  $-4,5^{\circ}C$ . Обикновено в началото на вегетацията влажността на почвата е оптимална и наличието на валежи се задържа в благоприятни за растенията граници през целия растежен период. Това е много добре изразено през първата и третата опитна година, в резултат на което стойностите на  $dT^{\circ}$  са отрицателни. При падане на значителни валежни количества, независимо от прилагания до момента поливен режим, влажността в разчетния почвен слой нараства до толкова, че стойностите  $dT^{\circ}$  стават отрицателни, независимо от това какви са били преди това. Типичен пример в това отношение са първата и в известна степен втората опитна година, характеризиращи се с по-значителни количества в края на отчетния период.

Поддържането на различна предполивна влажност се съпътства с разлики в началото на поливния период и продължителността на междуполивните периоди, но тъй като поливната норма се изчислява за допълване на разчетния почвен слой до ППВ, при вариантите 2 и 3 съществуват периоди от вегетацията, през които почвената влажност е оптимална. Тогава стойностите на  $dT^{\circ}$  са значително по-ниски и са обикновено отрицателни. Според графиките, когато почвената влажност клони към 70% от ППВ,  $dT^{\circ}$  е в диапазона  $2,5 - 3,5^{\circ}C$ . При допускане на почвената влажност да достигне до 60% от ППВ, стойностите най-често достигат

Таблица 2. Влажност на почвата (в % от ППВ) в зависимост от стойностите на  $dT^{\circ}$

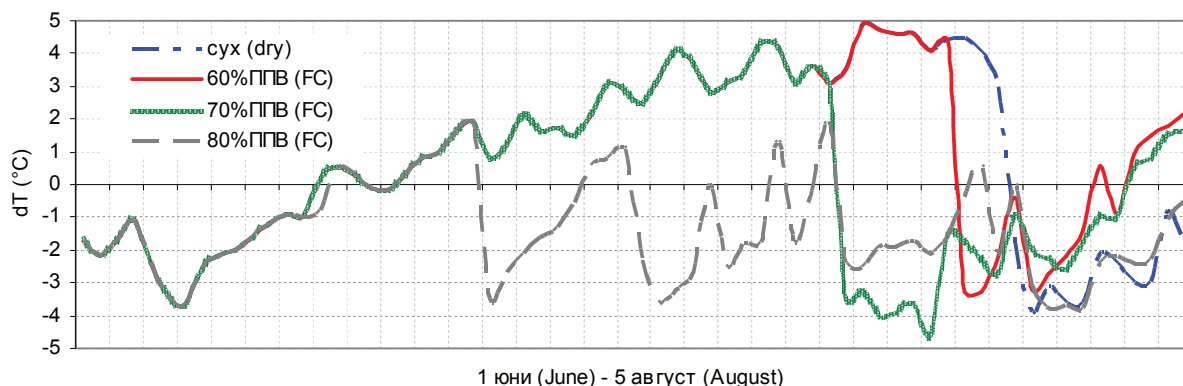
Table 2. Soil moisture (in % of FC) depending on the values of  $dT^{\circ}$

| $dT$ ( $^{\circ}C$ ) | Soil moisture (in % of FC) |           |
|----------------------|----------------------------|-----------|
|                      | 0 – 40 cm                  | 0 – 60 cm |
| -2.0                 | 88.1                       | 87.9      |
| -1.5                 | 86.0                       | 86.0      |
| -1.0                 | 83.8                       | 84.2      |
| -0.5                 | 81.6                       | 82.4      |
| 0.0                  | 79.5                       | 80.5      |
| 0.5                  | 77.3                       | 78.7      |
| 1.0                  | 75.2                       | 76.9      |
| 1.5                  | 73.0                       | 75.0      |
| 2.0                  | 70.8                       | 73.2      |

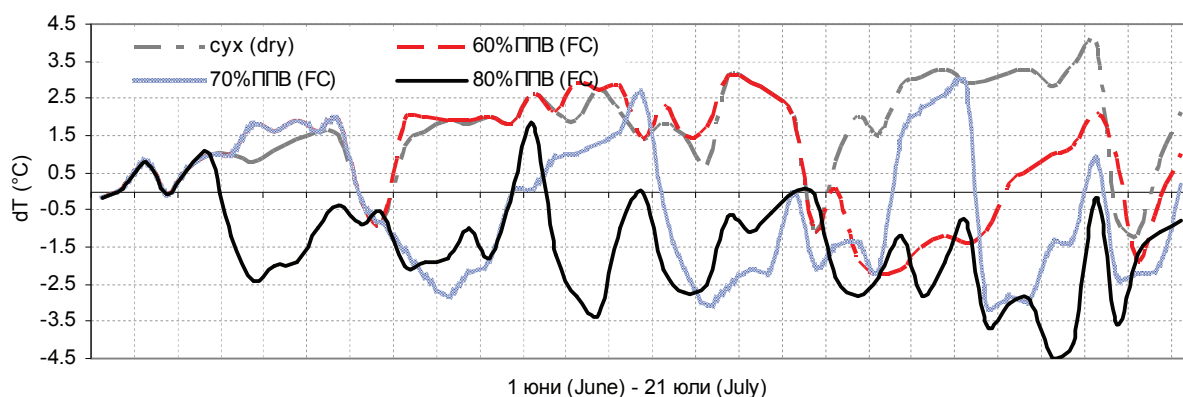
границите 3,5 – 4,5 °С. На графиките много ясно се откроява и времето, когато са реализирани съответните поливки. Тогава, при тези варианти на опита, влажността на почвата е реално около ППВ, а  $dT^{\circ}$  спада от –2,5 до –4,5 °С, като по-голяма разлика се наблюдава през по-горещите дни.

Поддържането на висока предполивна влажност (90% ППВ) изисква подаване на поливките

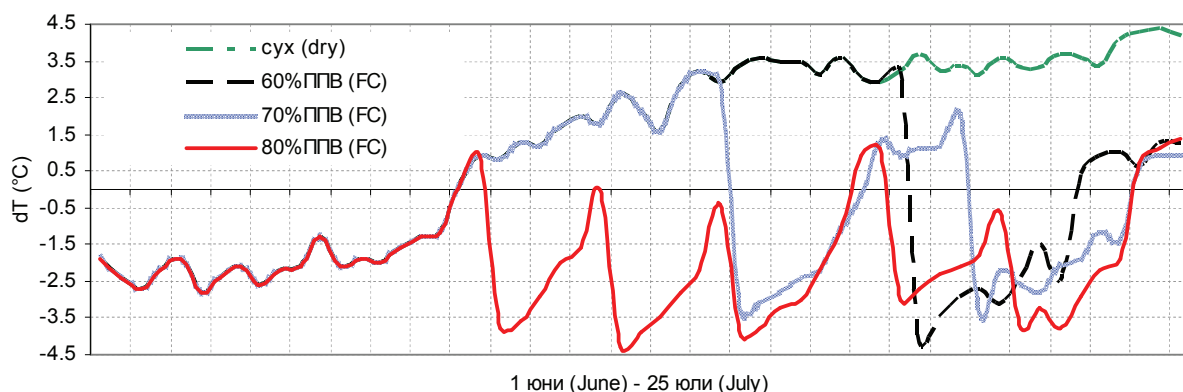
при малки междуполивни периоди (около 3 дни през репродуктивната част от вегетацията), което засилва въздействието на оазисния ефект и намалява чувствително колебанието на почвената влажност. В резултат на това температурата на листата е почти винаги по-ниска от температурата на въздуха, измерена на сянка. Налице е и по-слабо вариране в стойностите



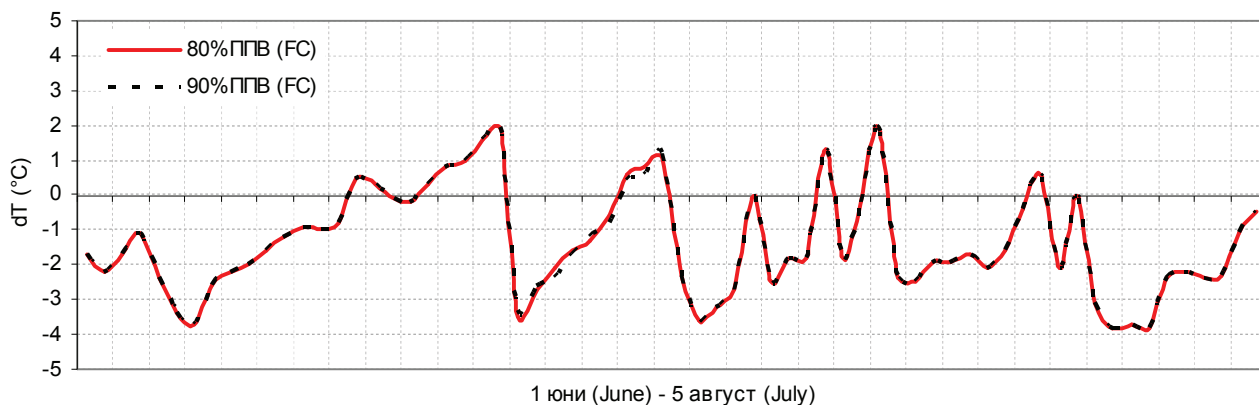
Фиг. 1. Динамика на стойностите на  $dT^{\circ}$  по варианти през 2010 година  
 Fig. 1. Dynamics of  $dT^{\circ}$  values depending on pre-irrigation soil moisture during 2010



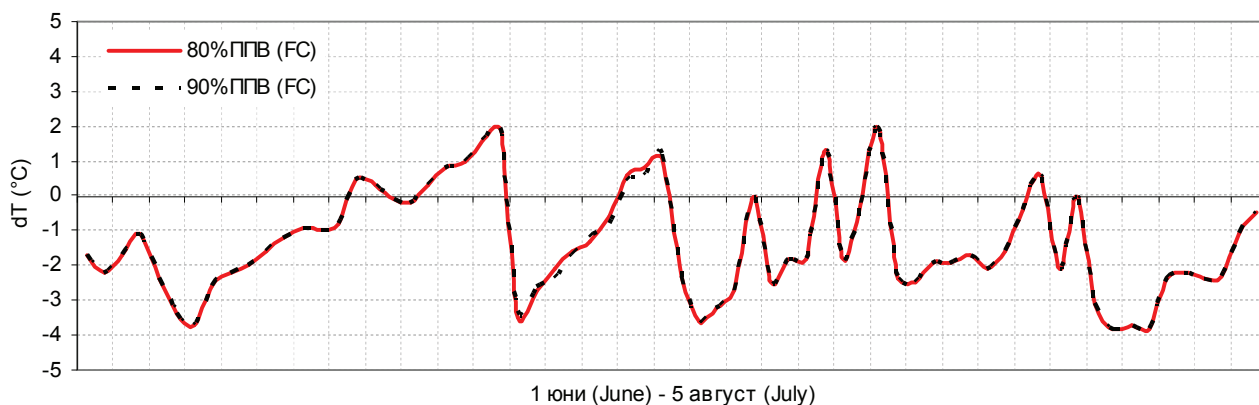
Фиг. 2. Динамика на стойностите на  $dT^{\circ}$  по варианти през 2011 година  
 Fig. 2. Dynamics of  $dT^{\circ}$  values depending on pre irrigation soil moisture during 2011



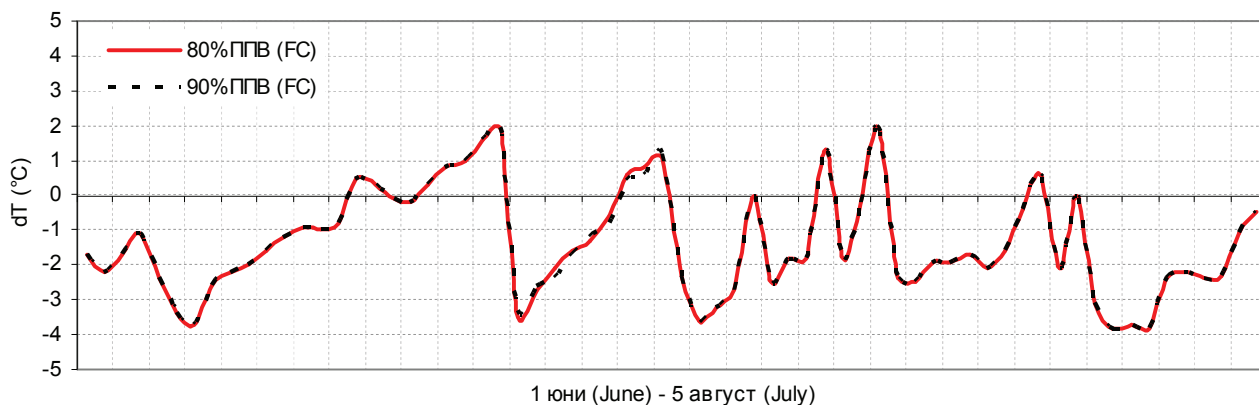
Фиг. 3. Динамика на стойностите на  $dT^{\circ}$  по варианти през 2012 година  
 Fig. 3. Dynamics of  $dT^{\circ}$  values depending on pre irrigation soil moisture during 2012



Фиг. 4. Динамика на  $dT^{\circ}$  при оптимална и висока предполивна влажност през 2010 година  
 Fig. 4. Dynamics of  $dT^{\circ}$  values by optimum and high pre-irrigation soil moisture during 2010



Фиг. 5. Динамика на  $dT^{\circ}$  при оптимална и висока предполивна влажност през 2011 година  
 Fig. 5. Dynamics of  $dT^{\circ}$  values by optimum and high pre-irrigation soil moisture during 2011

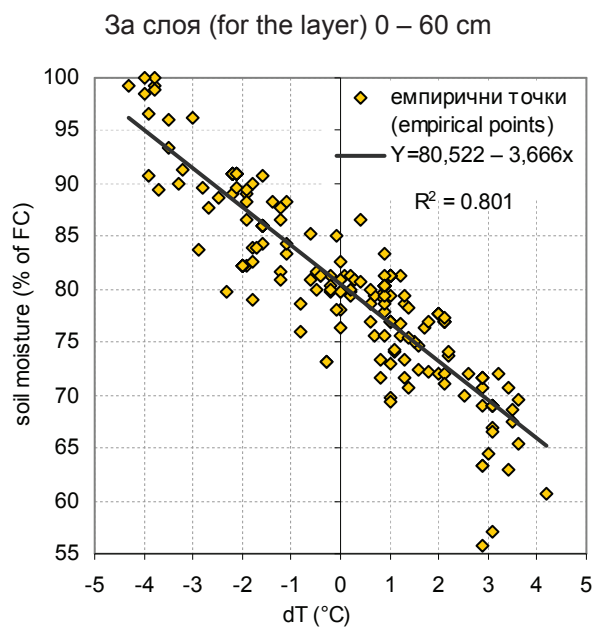
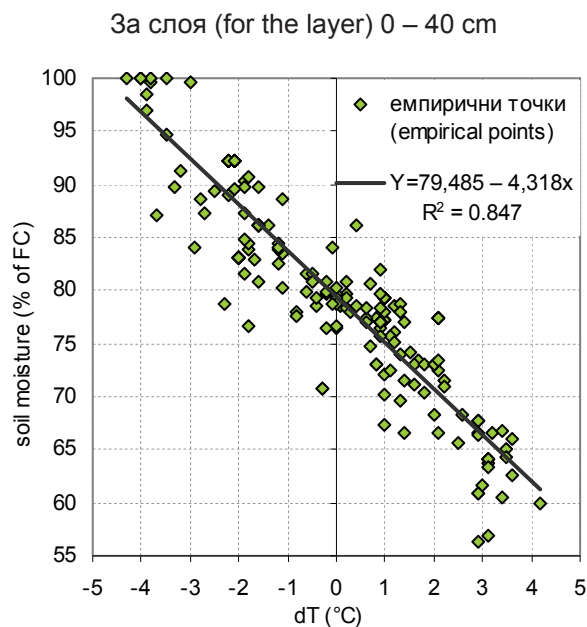


Фиг. 6. Динамика на  $dT^{\circ}$  при оптимална и висока предполивна влажност през 2012 година  
 Fig. 6. Dynamics of  $dT^{\circ}$  values by optimum and high pre-irrigation soil moisture during 2012

на  $dT^{\circ}$  в сравнение с еталона, но същите отново достигат максимум до  $-4,5^{\circ}\text{C}$ , който всъщност се отчита и при останалите три варианта (фиг. 4, 5 и 6).

От направения анализ на резултатите при отделните групи варианти става ясно, че с промяна на почвената влажност се променят и стойностите на  $dT^{\circ}$ , което дава основание да

се потърси конкретна зависимост между тях. От практическа гледна точка интерес представлява връзката между стойностите  $dT^{\circ}$  и водния запас на почвата. За условията на настоящата работа тази зависимост е представена за слоя 0 – 40 cm (съобразно влажността, при която се насрочват поливките) и 0 – 60 cm (определен като активен почвен слой).



Фиг. 7. Линейна зависимост между почвената влажност и стойностите на  $dT^\circ$   
 Fig. 7. Linear relationship between the soil moisture and the values of  $dT^\circ$

На фиг. 7 са нанесени емпиричните точки, въз основа на които е определена зависимостта. Данните са събирани конкретно за тази цел, като при всяко вземане на почвени проби, до мястото на пробата през същия ден, е измервана температурата на листата на растенията. При така определената координатна система по данни за  $dT^\circ$  може да бъде установена индиректно почвената влажност (представена като % от ППВ). Както се вижда на двете графики, връзката е линейна и при много високи стойности на коефициента на детерминация ( $R^2 > 0,8$ ). По-тъсна е обаче зависимостта между  $dT^\circ$  и влажността на почвата в слоя 0 – 40 cm, което дава основание да се счита, че критерият, по който е определяно времето за напояване в рамките на настоящия експеримент, е правилен.

Така представената на двете графики връзка е с възможности за директно практическо приложение, като свободният член на съответните уравнения показва каква е влажността на почвата в конкретния почвен слой при  $dT^\circ = 0$ . За слоя 0 – 40 cm тя е 79,5% от ППВ, а за слоя 0 – 60 cm е 80,5% от ППВ.

На табл. 2 са представени стойности на почвената влажност, изчислени при няколко такива за  $dT^\circ$ .

### ИЗВОДИ

Инфрочервеният термометър може успешно да се използва за прогнозиране напоява-

нето при градинския фасул посредством стойностите на  $dT^\circ$ . Установена е линейна зависимост при  $R^2 > 0,8$ , според която температурата на посева се изравнява с тази на околната среда ( $dT^\circ = 0$ ), когато влажността на почвата в слоя 0 – 40 cm е 79,5% от ППВ, а в слоя 0 – 60 cm е 80,5% от ППВ.

При неполивни условия и липса на валежи стойностите на  $dT$  достигат до  $+5^\circ\text{C}$ , а в условията на оптимално напояване (предполивна влажност 80% от ППВ) стойностите намаляват и са отрицателни. За условията на опита те достигат до около  $-4,5^\circ\text{C}$  и не надвишават  $0^\circ\text{C}$ .

Поддържането на по-ниска от оптималната предполивна влажност влияе върху температурата на листата и респективно върху стойностите на  $dT^\circ$ . При спадане на почвената влажност до 70% от ППВ стойностите на  $dT^\circ$  варират в диапазона 2,5 – 3,5  $^\circ\text{C}$ , а при 60% от ППВ – между 3,5 и 4,5  $^\circ\text{C}$ .

Поради честите поливки и оазисния ефект при поддържането на почвената влажност над 90% от ППВ, стойностите на  $dT^\circ$  са винаги отрицателни.

### ЛИТЕРАТУРА

Киркова, Й. 2003. Ефективност на използване на водата при различни поливни режими на културите. Хабилитационен труд. НЦАН, София.

Стоименов, Г. 2001. Оценка и управление на водния режим на растенията с електронни устройства за преодоляване на водния стрес. Автореферат.

- Bascur, G., M. Oliva, D. Laing.** 1985. Termometria infrarroja en seleccion de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a la sequia. I. Bases fisiologicas. *Turrialba*, 35 (1), 43-47
- Berliner, P.** 1984. Evaluation of the infrared thermometer as a crop stress detector. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31, 219-230
- Bonano, A. R., H. J. Mack.** 1983. Use of canopy-air temperature differentials as a method for scheduling irrigations in snap beans. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 108, (5), 826-831.
- Carlson, T. N.** 1984. *Agronomy Journal*, 76, 972-978
- Coulson, C. L.** 1988. Instrument-based distortions of leaf/air temperature differences and interpretations of bean drought stress resistance. *Tropical Agriculture*, 65 (4), 352-354 (UK)
- Erdem, Y., S. Sehirali, T. Erdem, 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
- Estes, J.** 1977. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43 (10): 1273-1281
- Gutwein, B. J.** 1986. ASAE Paper № 86-2004, St. Joseph, MI: ASAE.
- Helyes, L., Gy. Varga, K. Termeloszov.** 1992. Regulation and timing of green bean irrigation with the aid of infrared remote thermometers. *Kertgazdasag*, 0133-3410, v. 24(6), p. 33-39
- Hiller, E. A., R. N. Clark.** 1973. Plant measurements as indicators of crop water deficit. *Crop Sci.*, 13, 466-469
- Köksal, E., S. Kodal, H. Üstün, Y. Yildirim.** 2010. Estimation of dwarf green bean water use under semi-arid climate conditions through ground-based remote sensing techniques. *Agricultural Water Management*, 98(2): 353-360.
- Lima Filho, J. M. P.** 1983. Temperatura foliar de genotipos de feijao sob duas condicoes de umidade de solo. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 18 (7), 703-706
- Lobo, Francisco de Almeida, M. A. Oliva, M. Resende, N. F. Lopes, M. Maestri.** 2004. Infrared thermometry to schedule irrigation of common bean. *Embrapa Informação Tecnológica Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 39, № 2.
- Myhre, B., S. Shih.** 1990. ASAE, v. 33 (5), 1479-1486
- Peters, R. T., St. R. Evett.** 2004. Complete Center Pivot Automation Using the Temperature-Time Threshold Method of Irrigation Scheduling. An ASAE/CSAE Annual International Meeting Presentation, Ottawa, Ontario, Canada, 1 - 4 August 2004, Paper Number: 042196, p. 13
- Salder, E. J., C. R. Camp, D. E. Evans, J. A. Millen.** 2002. Corn Canopy Temperatures Measured With a Moving Infrared Thermometer Array. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, vol. 45 (3): 581-591
- Schmugge, T. J.** 1980. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46 (4): 495-507.
- Shih, S. F., D. S. Harrison, A. G. Smajstrla, F. S. Zazueta.** 1986. Using infrared thermometry data in soil moisture estimation. ASAE, Paper, № 86-2112, St. Joseph, MI: ASAE.