



**ВЛИЯНИЕ НА GSM900 ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ПОЛЕТА ВЪРХУ ПАРАМЕТРИ НА ХЛОРОФИЛНАТА ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ ПРИ КУЛТУРНИТЕ РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦА, ЦАРЕВИЦА И ГРАХ
EFFECTS OF GSM900 ELECTROMAGNETIC FIELDS ON SOME PARAMETERS OF CHLOROPHYLL FLUORESCENCE IN CROP PLANTS WHEAT, MAIZE AND PEAS**

**Маргарита Кузманова^{1*}, Мария Гурманова¹, Савина Тинчева¹, Василий Голцев¹,
Габриела Атанасова², Николай Атанасов³
Margarita Kouzmanova^{1*}, Maria Gurmanova¹, Savina Tincheva¹, Vasilij Goltsev¹,
Gabriela Atanasova², Nikolai Atanasov³**

¹Катедра "Биофизика и радиобиология", Биологически факултет
Софийски университет „Св. Кл. Охридски“

²Катедра "Телекомуникационни технологии"

³Катедра "Безжични комуникации и разпръскване"
ВДУ „Колеж по телекомуникации и пощи“

¹Department of Biophysics and Radiobiology
Biological Faculty, Sofia University

²Department of Telecommunication Technologies

³Department of Wireless Communications and Broadcasting
Higher College of Telecommunications and Posts

*E-mail: kouzmanova@biofac.uni-sofia.bg

Резюме

През последните години нараства интересът към ефектите на електромагнитни полета (ЕМП), излъчвани от мобилни телефони, върху растения. Резултатите показват, че растенията реагират на тези ЕМП като на стресов фактор. Хлорофилната флуоресценция е информативен показател за изследване на ефектите на слаби стресори върху фотосинтетичния апарат *in vivo* и *in situ*. Целта на настоящото проучване е да се изследват ефектите на различни условия на облъчване с GSM900 ЕМП върху параметри на хлорофилната флуоресценция при различни видове културни растения – пшеница (*Triticum aestivum* L.), царевица (*Zea mays* L.) и грах (*Pisum sativum* L.).

Индукционните криви на бързата хлорофилна флуоресценция са записвани с флуориметър Handy PEA (Hansatech Instruments Ltd, UK). Анализирани са някои параметри на JIPтеста.

Наблюдаваните ефекти на 900 MHz ЕМП, излъчвано от мобилни телефони, зависят от вида на растението, от времето на въздействие с ЕМП и се запазват известно време след прекратяване на въздействието. От двата вида растения с различен механизъм на CO₂ фиксация царевицата (C₄) показва по-голяма чувствителност от пшеницата (C₃) към 900 MHz ЕМП при изследваните условия на експониране. Въздействието през тъмния период с GSM900 ЕМП, симулиращо излъчване от базова станция в час пик, не предизвиква стрес в граховите растения, оценен по параметрите на бързата хлорофилна флуоресценция.

Abstract

For some years now the interest in the effects of mobile phones electromagnetic fields (EMF) on plants has been increasing steadily. The results show that plants respond to these EMFs as to a stress factor. Chlorophyll fluorescence is a sensitive and information-rich method for investigation of the effects of weak stressors of the photosynthetic process *in vivo* and *in situ*.

The aim of our study was to investigate the effects of different conditions of exposure to GSM900 EMF on some parameters of chlorophyll fluorescence in different crop plants: wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.) and peas (*Pisum sativum* L.).

The induction curves of prompt chlorophyll fluorescence were recorded with the fluorimeter Handy PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech Instruments Ltd, UK). Some parameters of the JIP-test were analyzed.

The observed effects of 900 MHz EMF emitted by mobile phones depended on the plant species, duration of exposure to EMF and time elapsed after the end of exposure. Out of the two species of plants with different mechanisms of CO₂ fixation, maize (C4) showed greater sensitivity to 900 MHz EMF compared to wheat (C3) under the investigated exposure conditions.

Dark period exposure to GSM900 EMF, simulating radiation from a base station during rush hours, did not induce stress in pea plants estimated by prompt chlorophyll fluorescence parameters

Ключови думи: 900 MHz електромагнитно поле, мобилни телефони, културни растения, стрес, хлорофилна флуоресценция.

Key words: 900 MHz electromagnetic fields, mobile phones, crop plants, stress, chlorophyll fluorescence.

ВЪВЕДЕНИЕ

Бързото развитие на мобилните комуникации води до увеличаване на броя базови станции извън населените места. Флората и фауната около тях са изложени на излъчваните електромагнитни полета (ЕМП). През последните години нараства интересът на учените към ефектите на ЕМП от мобилни телефони върху растения. Резултатите от проведените изследвания показват, че растенията реагират на тези ЕМП като на стресов фактор (Beaubois, 2007; Roux, 2008; T.Selga and M.Selga, 1996; Tafforeau, 2004; Tkalec, 2005, 2007; Vian, 2006).

Има данни за изменение на концентрациите на пигменти в растения, облъчени с радиочестотни ЕМП. Sandu et al. облъчват фиданки на бяла акация (*Robinia pseudoacacia L.*) с 400 MHz ЕМП в продължение на 1, 2, 3 и 8 часа дневно 3 седмици и установяват увеличаване на концентрациите на хлорофил *a* и хлорофил *b* в листата след 2-часовото въздействие и намаляване при всички останали времена на въздействие. Отношението на двата вида хлорофил намалява логаритмично с увеличаване на времето на облъчване [Sandu, 2005]. Еднократно едночасово облъчване на декоративни растения (*Plectranthus sp.*) с 900 MHz ЕМП, излъчвано от мобилен телефон, води до понижаване на съдържанието на хлорофил *a* на 2-рия и 24-тия час, на каротеноидите – до 2-рия час след прекратяване на въздействието [Kouzmanova, 2009]. Еднократно облъчване в продължение на 1 час с 900 MHz ЕМП не предизвиква промени в концентрациите на пигментите при пшеницата (*Triticum aestivum*), но на 48-мия час след двучасово въздействие се регистрира увеличаване на концентрациите на хлорофил *a* и на каротеноидите [Dimitrova, 2009]. При царевица (*Zea mays*) се регистрира увеличаване на количеството хлорофил след 1 час експониране на 900 ЕМП и липса на ефект след 2 часа въздействие [непубликувани данни]. Тези резултати показват, че измененията в концентрациите на пигментите зависят от вида на растението, от времето на въздействие, както и от времето, изминало след прекратяване на въздействието. Schmutz et al. [1996] изследват дългосрочните ефекти от облъчване на смърч (*Picea abies (L.) Karst.*)

и бук (*Fagus silvatica L.*) с 2.45 GHz ЕМП. Хлорофилната флуоресценция на буквите листа е използвана като бърз метод за получаване на информация за функционирането на фотосинтетичния апарат (ФСА). Не е установено увреждане на ФСА, предизвикано от микровълновото облъчване. Единственият ефект от облъчването е понижаване на концентрациите на калций и сяра в буквите листа с увеличаване на плътността на мощността на полето. В достъпната литература няма други данни за влиянието на ЕМП върху параметри на хлорофилната флуоресценция.

Фотосинтетичният апарат на висшите растения има сложна структура и е много чувствителен към стресови въздействия. Той помага на растенията да постигнат оптимално функциониране при непрекъснато променящите се условия на околната среда. Хлорофилната флуоресценция е много чувствителен и информативен показател, подходящ за изследване на ефектите на слаби стресори върху фотосинтетичния апарат *in vivo* и *in situ*. Този метод позволява на неоткъснат лист от цяло растение да се измерват индукционни кинетики на бързата и забавената хлорофилна флуоресценция и да се охарактеризират различни участъци на фотосинтетичната електрон-транспортна верига и ефективността на работата на ФСА като цяло. Това го прави изключително подходящ за анализ на динамиката на стресовия отговор по време на растежа и развитието на растението.

За да се изяснят ефектите от въздействието на ЕМП, излъчвани от мобилни телефони, е необходимо провеждане на експерименти с различни растения със стопанско значение. Особено важно е прилагането на неинвазивни биофизични методи за проследяване на молекулно ниво на физиологичната реакция на растенията *in vivo* и *in situ*. Интерес представлява сравнението на стресовата реакция в растения с различен тип въглероден метаболизъм и различна ефективност на фотосинтезата (С3 и С4 растения).

Целта на настоящото проучване е да се изследват ефектите на различни условия на облъчване с GSM900 електромагнитно поле върху параметри на хлорофилната флуоресценция при различни видове културни растения – пшеница, царевица и грах.



Проследено е влиянието на еднократно облъчване с ЕМП, създавано от мобилен телефон (стандарт GSM 900), върху хлорофилната флуоресценция на културни растения с различен механизъм на CO_2 фиксация – пшеница (*Triticum aestivum*) (С3) и царевица (*Zea mays*) (С4) на различни срокове след прекратяване на въздействието, както и ефектите на продължително облъчване с ЕМП, симулиращо излъчване от базова станция в режим на максимално натоварване, върху грахови растения (*Pisum sativum* L.), нискорасъл сорт РАН-1.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Отглеждане на растенията

Всички растения са отглеждани като водна култура в хранителен разтвор (КНОП).

Пшеницата е отглеждана при естествени условия. Царевицата е отглеждана във фитостатна камера при стайна температура, осветяване $250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ и денонощен режим 12h светло/12h тъмно. Граховите растения са отглеждани във фитостатна камера при стайна температура, осветеност $160 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ и фотопериод 12/12 h.

Облъчване с 900 MHz ЕМП

Облъчването на пшеницата с 900 MHz ЕМП е провеждано на 7-мия ден след засаждането, а на царевицата – на 10-тия ден. Целите растения пшеница и царевица са облъчвани еднократно в продължение на 1 час или 2 часа с GSM мобилен телефон тип NSM-3 (Nokia), който е свързан с компютър и посредством специален софтуер излъчва ЕМП с носеща честота 902 MHz и стандартна GSM модулация. GSM сигналът е с продължителност на импулса 577 μs , което съответства на един времеви интервал на TDMA цикъл (Time Division Multiple Access – множествен достъп с разделяне по време) с продължителност 4.615 ms. Изходната мощност на импулса на мобилния телефон е 2 W. Растенията са поставяни на 20 cm от антената на телефона. На различни срокове след прекратяване на облъчването – веднага след въздействието, на 1, 2, 24 и 48 час, са измервани фотосинтетичната активност и структурно-функционалните характеристики на фотосистема 2.

В същото време контролните растения са поставяни при същите условия на температура, осветяване и влажност, но без облъчване.

Едно от основните изисквания при провеждане на експерименти с биологични обекти е те да бъдат изолирани от влиянието на други полета, както и стриктно да се контролират параметрите на изследваното поле. За тази цел проучваните обекти трябва да бъдат поставяни в камери, изолирани от външни ЕМП. За извършване на биологични

изследвания при контролирани условия на ЕМП облъчване бе конструирана камера за облъчване, базирана на обемен резонатор. Тя осигурява хомогенност на електрическото поле. За обектите, поставени в тази камера, може с достатъчно добра точност да се определи погълнатата доза. Размерите на камерата (128 mm) налагат ограничения в размерите на изследваните обекти. Обект с подходящи размери за облъчване с ЕМП в тази камера е нискораслият сорт грах (*Pisum sativum* L.) РАН-1.

Растенията са разделени на 3 групи по 5 растения – контрола, лъжливо експонирани и експонирани. Направени са по 4 повторения. Лъжливо експонирани и експонирани растения са поставяни в камерата 30 min след началото на тъмния период за 1 час на ден от първия ден след тяхното засаждане до 14-тия ден. Експонирани растения са облъчвани в продължение на 14 дни по 1 час на ден с хомогенна електрична компонента 42,6 V/m на 947,5 MHz непрекъснато ЕМП, което имитира излъчване от базова станция (БС) в час пик. БС излъчват с максимална мощност в периода с най-голям трафик (час пик), който е със средна продължителност 1 час на ден. През този период излъчването е практически непрекъснато.

Индукционните криви на бързата хлорофилна флуоресценция са записвани след пълното разлистване, от 10-тия до 14-тия ден след засаждането, за всяко от 5-те растения в групата, на цял неоткъснат лист от растението, непосредствено преди и след експонирането или лъжливото експониране. За контролната група измерванията са правени 30 min и 1,5 часа след началото на тъмния период.

Индукционни криви на бързата хлорофилна флуоресценция

Индукционните криви на бързата хлорофилна флуоресценция са записвани с флуориметър Handy PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech Instruments Ltd, King's Lynn, Norfolk, UK).

Индукционната крива (ИК) на бързата флуоресценция (БФ) се характеризира със стойности на флуоресценцията във фазите O, J, I и P (отбелязвани на ИК съответно като F_0 , F_J , F_I и F_P). Те са свързани с промени в нивото на редуцираност на Q_A – първичния хионов акцептор на електрони във Фотосистема II (ФС II), което се променя при осветяване, преминавайки през няколко междинни стационарни състояния (квазистационарни състояния). Началното ниво на флуоресценция (F_0) съответства на тъмнинно състояние на ФСА при изцяло отворени реакционни центрове на ФС II, т.е. изцяло окислен Q_A , и максимална ефективност на първичната фотохимична реакция. Фазата J се появява при установяване на равновесие между скоростта на подаване на електрони от P_{680} към

Q_A , от една страна, и, от друга – скоростта на реокисляването на Q_A^- от пластохиноновия пул. Нивото J , наблюдавано на втората милисекунда на осветяването, отразява ефективността на преноса на електрони по фотосинтетичната електрон-транспортна верига (ФС ЕТВ) в акцепторната страна на ФС II, а флуоресцентното ниво на фазата I – електронния пренос от редуцирания пластохинон ($PQ.H_2$) през P_{700} към акцепторите на фотосистема I (ФС I) (окисления НАДФ). Фазата I характеризира равновесието между електронните потоци към и от пластохиноновия пул. Нивото на това равновесие характеризира способността на ФС I (и най-вече на наличните електронни акцептори на ФС I) да окислява редуцираните форми на PQ. Преходът I – P отразява фотоиндуцираната редукция на тези акцептори.

От стойностите на флуоресценцията в характеристикните точки може да се пресметнат квантовите добиви на трансформация на енергията:

- максимален квантов добив на първичната фотохимична реакция в реакционния център на ФС II: $j_{P_0} = 1 - F_0/F_M$;

- квантов добив на електронния транспорт в акцепторната страна на ФС II от Q_A^- към PQ:

$$j_{E_0} = 1 - F_J/F_M;$$

- квантов добив на електронния транспорт от $PQ.H_2$ през P_{700} към крайните акцептори на ФС I:

$$j_{R_0} = 1 - F_I/F_M.$$

Като общ критерий за физиологичното състояние на ФСА се въвежда т.нар. индекс на производителност (Performance Index, PI) или индекс на жизненост на растението. Той се изчислява от посочените квантови добиви в трите участъка на ФС ЕТВ и от относителния брой на активните реакционни центрове на ФС II. Тоталният индекс на производителността ($PI_{tot,ABS}$) е мярка на производителността на ФСА от реакционния център на ФС II чак до крайните акцептори на ФС I и е показател за жизнеността на растенията в стресови условия на средата [Tsimilli-Michael and Strasser, 2008].

За да може бързо и лесно да се прилага измерването на ИК на БФ за изучаване на ФСА, в лабораторията на Strasser [B.Strasser and R.Strasser, 1995] е разработен JIP тест, наречен така по името на стъпките в ИК. С помощта на JIP теста от индукционната крива на флуоресценцията се извлича информация за поведението (структура, конформация и функция) на ФСА във всяко физиологично състояние.

Статистическа обработка

Индукционните криви на 3Ф при пшеница и царевица са записвани в по 6 повторения за всеки вариант. Параметрите на JIP теста са изчислявани от осреднените криви, затова на представените фигури

експерименталните стойности са дадени без отклонения.

Параметрите на JIPтеста за 3Ф при грах са осреднени стойности от четири повторения на 14-дневното облъчване в камерата (общо по 20 растения в група).

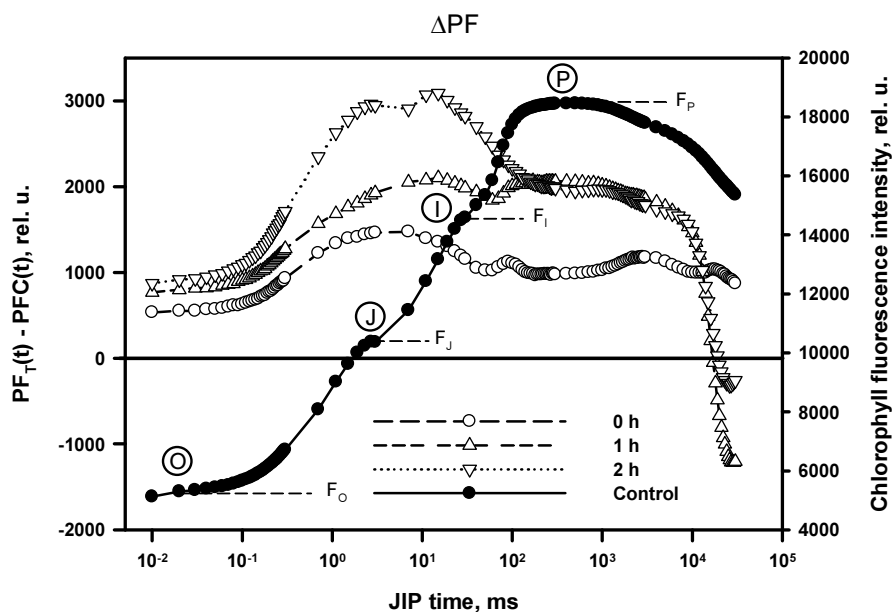
За оценка на статистическата достоверност на разликите е използван t -критерий на Стюдънт-Фишер.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Фините промени в състоянието на ФСА на растенията може да се проследят чрез запис на промените в хлорофилната флуоресценция при прехода от тъмнинно адаптирано към светлинно адаптирано състояние. При осветяване на тъмнинно адаптиран фотосинтезиращ обект с фотосинтетично активна светлина в течение на една секунда интензитетът на бързата хлорофилна флуоресценция нараства от минималната начална стойност F_0 до максималната F_P , преминавайки през междинни фази със стойности F_J и F_I . Типична полифазна $O-J-I-P$ крива на нарастване на БФ е представена на фиг. 1 на полулогаритмична времева скала от 50 ms до 30 s. Характеристичните стойности на флуоресценцията, отбелязани с буквите J, I и P, се използват в JIP теста за пресмятане на структурни и функционални параметри [Tsimilli-Michael, R.Strasser, 2008]. Използваните флуоресцентни стойности са F_0 (50 μ s), F_J (2 ms) и F_I (30 ms); максималният интензитет $F_P = F_M$ (в момент $t_{F_{max}} \sim 0,5-1$ s).

Анализът на промените в ИК на БФ показва, че 1-часовото облъчване слабо влияе върху квантовия добив на първичната фотохимична реакция (което показва, че структурата на реакционния център на ФС II е силно консервативна и устойчива към слаби стресови въздействия), а засяга предимно реакциите на електронния пренос между двете фотосистеми (максимумите в диапазона между 2 и 30 ms на фиг. 1). От всички изследвани параметри (фиг. 2) най-чувствително реагира индексът на производителност PI, при който промените достигат 50%. Характерно е, че едночасовото облъчване води до понижаване на квантовия добив на изследваните реакции във ФСА.

Двучасовото облъчване на царевицните растения предизвиква коренно различна реакция на ФСА (фиг. 3). Веднага след облъчването се наблюдава известно повишаване на квантовите добиви на реакциите във ФС II – както на първичната фотохимична реакция ($\psi_{(P_0)}$), така и на електронния транспорт ($\psi_{(E_0)}$). Същевременно ефективността на задвижвания от ФС I електронен транспорт намалява, което компенсира повишаването на ефективността на другите реакции и PI при тези обекти остава почти непроменен. Това показва, че при по-продължителното облъчване в



Фиг. 1. Индукционни криви на бързата хлорофилна флуоресценция: влияние на 1 h облъчване с 900 MHz ЕМП върху фотосинтетичния апарат на 10-дневни царевични растения

С черни точки и непрекъснатата линия е представена индукционната крива в контролни листа от 10-дневни растения царевича. С буквите в кръгчета са обозначени характеристикните точки на O-J-I-P прехода, а с буквата F със съответния индекс – стойностите на хлорофилната флуоресценция в тези точки. С празни символи и пунктирани линии са представени разликите в стойностите на флуоресценцията в третираните с ЕМП и контролните растения. С цифрите в легендата са показани сроковете (в часове) на инкубация на растението след третирането. Флуоресценцията е измерена на листа от цяло растение след 5 min тъмнинна адаптация на листа и интензитет на възбуждащата светлина $3000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

Fig.1. Induction curves of prompt chlorophyll fluorescence: influence of 1 h exposure to 900 MHz EMF on photosynthetic apparatus of ten-days maize plants

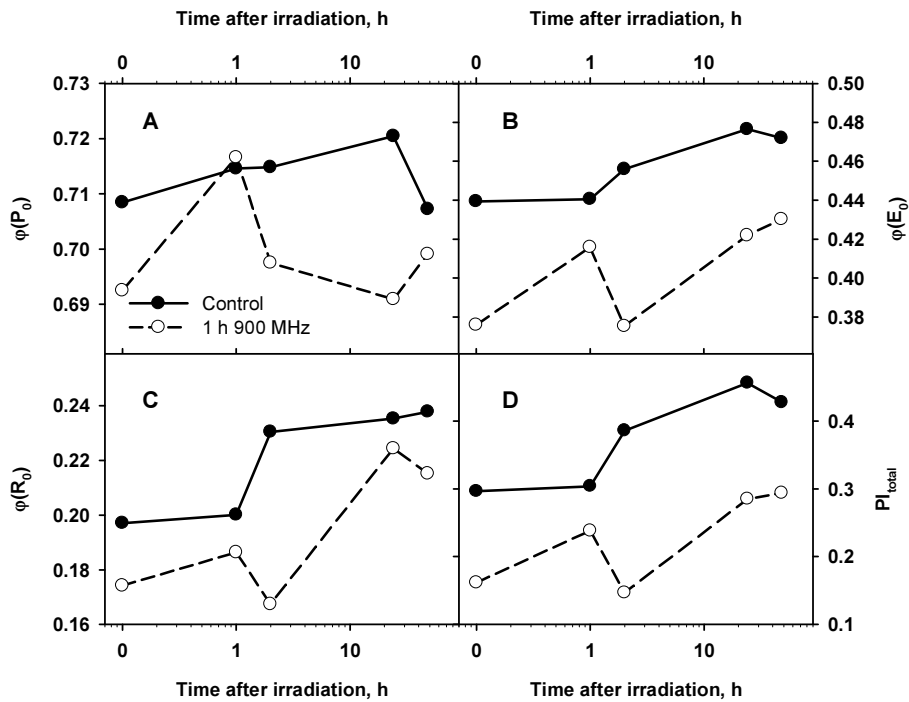
растението настъпват процеси, компенсирани предизвиканите от стреса промени и възстановяване на фотосинтетичната ефективност.

Интересно е да се сравни характерът на стресовата реакция в друго растение, различаващо се по принципната схема на тъмнинните фотосинтетични процеси, протичащи по цикъла на Калвин-Бенсън – пшеница (C3 тип фотосинтеза). За разлика от царевичата ФСА в листата на пшеницата реагира на двучасовото облъчване с еднопосочно потискане на ФС електронен транспорт след 2-рия час след прекратяване на въздействието (фиг. 4). Последващото отглеждане на растенията в отсъствие на ЕМП води до постепенно монотонно намаляване на ефекта и заличаване на разликите между облъчените и контролните растения.

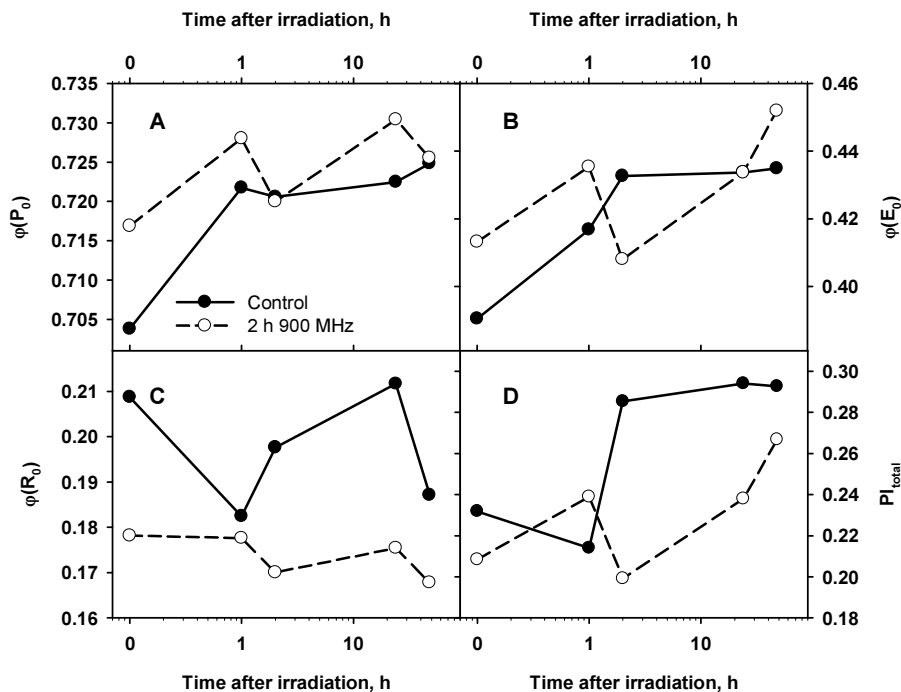
Сравнението на поведението на двата вида растения показва, че независимо от типа на фотосинтезата ФСА на растенията е чувствителен към 1-2-часова експозиция в ЕМП с честота 900 MHz, генерирано от мобилен телефонен апарат. В

продължение на 1-2 дни след облъчването растенията възстановяват ФС показатели, характерни за контролните растения. Царевичата, притежаваща висока фотосинтетична активност, реагира по-чувствително. При по-продължителен стрес във ФСА настъпват приспособителни реакции, намаляващи силата на стресовия отговор.

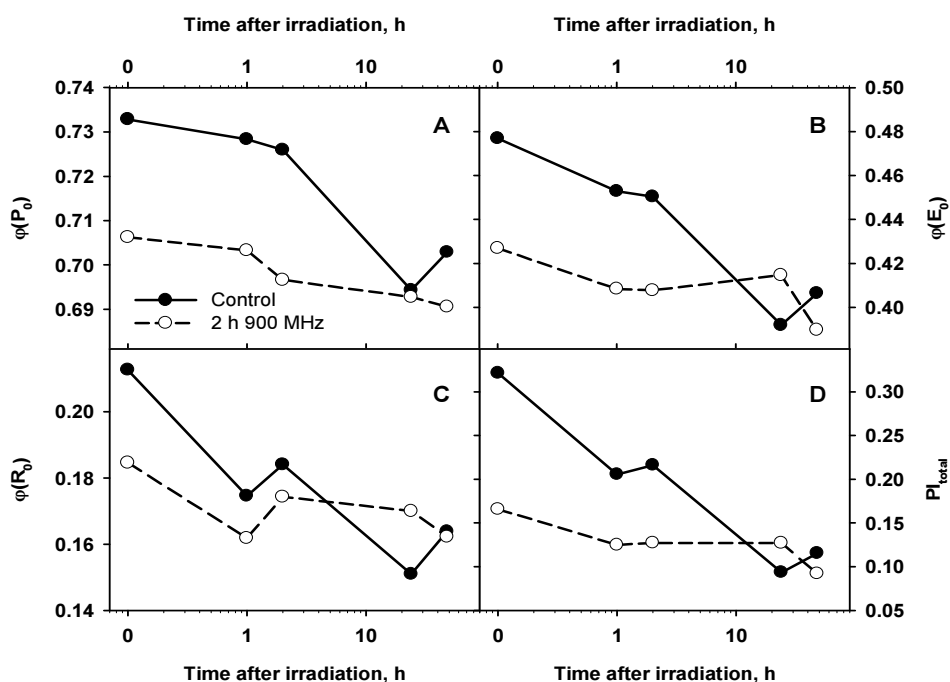
Облъчването на грахови растения в продължение на 14 дни по 1 час на ден през тъмния период с непрекъснато ЕМП, симулиращо излъчването от базова станция в час пик, не предизвиква статистически достоверни изменения в параметрите на бързата хлорофилна флуоресценция (фиг. 5). Грахът е чувствително към промени в околната среда растение. Липсата на реакция при тези условия на облъчване може да се дължи на няколко причини. Облъчването е продължително (14 дни), започва веднага след засаждането, още преди разлистването на растенията, и те имат време да се адаптират към прилаганото ЕМП. Въздействието е по време на тъмната фаза, когато



Фиг. 2. Промени в характеристиките на фотосинтетичния апарат, отчетени по параметрите на JIP теста, в листа от 10-дневни царевични растения след едновременно облъчване с 900 MHz ЕМП
Fig.2. Changes in the characteristics of photosynthetic apparatus, reported by the parameters of the JIP-test, in leaves of ten-days maize plants after 1 hour exposure to 900 MHz EMF

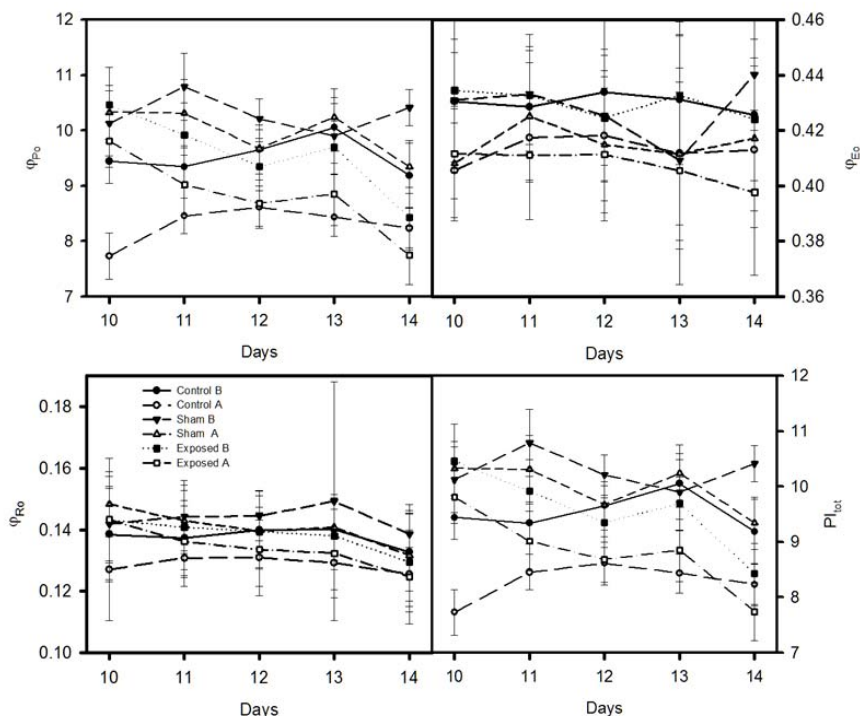


Фиг. 3. Промени в характеристиките на фотосинтетичния апарат, отчетени по параметрите на JIP теста, в листа от 10-дневни царевични растения след 2-часово облъчване с 900 MHz ЕМП
Fig.3. Changes in the characteristics of photosynthetic apparatus, reported by the parameters of the JIP-test, in leaves of ten-days maize plants after 2 hours exposure to 900 MHz EMF



Фиг. 4. Промени в характеристиките на ФСА, отчетени по параметрите на JIP теста, в листа от 7-дневни пшенични растения (*Triticum aestivum*) след 2-часово облъчване с 900 MHz ЕМП

Fig. 4. Changes in the characteristics of photosynthetic apparatus, reported by the parameters of the JIP-test, in leaves of seven-days wheat plants (*Triticum aestivum*) after 2 hours exposure to 900 MHz EMF



Фиг. 5. Параметри на JIP теста, измервани от 10-тия до 14-тия ден при облъчване на грах (*Pisum sativum*) в продължение на 14 дни по 1 час на ден с хомогенна електрична компонента 42,6 V/m на 947,5 MHz непрекъснато ЕМП

Fig. 5. Parameters of the JIP-test, measured from the 10th to 14th day in the exposure of peas (*Pisum sativum*) for 14 days, 1 hour a day with a homogeneous electric component 42,6 V/m on 947,5 MHz EMF constant

растенията не са фотосинтетично функционално активни и затова не се регистрира реакция на ФСА. Излъчването от мобилния телефон е импулсно. ЕМП, симулиращо излъчване от базова станция, е непрекъснато и растенията са изложени само на електричната компонента. Импулсните ЕМП са биологично по-ефективни от постоянните.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати показват, че растенията реагират на нискоинтензивното импулсно ЕМП, излъчвано от мобилни телефони. Наблюдаваните ефекти зависят от вида на растението, от времето на въздействие с 900 MHz ЕМП и се запазват известно време след прекратяване на въздействието. От двата вида културни растения с различен механизъм на CO₂ фиксация царевичата (*Zea mays*) (C4) показва по-голяма чувствителност от пшеницата (*Triticum aestivum*) (C3) към 900 MHz ЕМП при изследваните условия на експониране.

Въздействието през тъмния период с електричната компонента на непрекъснато GSM900 ЕМП, симулиращо излъчване от базова станция в час пик, не предизвиква стрес в граховите растения, оценен по параметрите на бързата хлорофилна флуоресценция.

ЛИТЕРАТУРА

- Димитрова, М., М. Кузманова, Д. Драголова, 2009. Изменения в концентрацията на пигменти в листата на пшеница (*Triticum aestivum*) след облъчване с 900 MHz електромагнитно поле. – В: Юбилейна научна конференция „България и българите в Европа“, Велико Търново, 17 октомври 2009 г.
- Beaubois, E., S. Girard, S. Lallechere, E. Davies, F. Paladian, P. Bonnet, G. Ledoigt, A. Vian, 2007. Intercellular communication in plants: evidence for two rapidly transmitted systemic signals generated in response to electromagnetic field stimulation in tomato. – *Plant Cell Environ*; 30 (7) 834–844.
- Kouzmanova, M., M. Dimritrova, D. Dragolova, G. Atanassova, N. Atanassov, 2009. Effects of GSM900 electromagnetic field on pigment levels in leaves of *Plectranthus sp.* – В: Сборник доклади на „Семинар по екология“, април, 2009, София, 143-150.
- Roux, D., A. Vian, S. Girard, P. Bonnet, F. Paladian, E. Davies, G. Ledoigt, 2008. High frequency (900 MHz) low amplitude (5 V m⁻¹) electromagnetic field: a genuine environmental stimulus that affects transcription, translation, calcium and energy charge in tomato. – *Planta*, 227 (4) 883–891.
- Sandu, D.D., I.C. Goiceanu, A. Ispas, I. Creanga, S. Miclaus, D.E. Creanga, 2005. A preliminary study on ultra high frequency electromagnetic fields effect on

- black locust chlorophylls. – *Acta Biol Hung*; 56 (1-2) 109–117.
- Selga, T., M. Selga, 1996. Response of *Pinus sylvestris* L. needles to electromagnetic fields. Cytological and ultrastructural aspects. – *The Science of the Total Environment*, 180 (1) 65–73.
- Schmutz, P., J. Siegenthaler, C. Staeger, D. Tarjan, J.B. Bucher, 1996. Long-term exposure of young spruce and beech trees to 2450-MHz microwave radiation. – *The Science of the Total Environment*, 180 (1): 43–48.
- Strasser, B.J., R.J. Strasser, 1995. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP test. – In: P. Mathis (Ed.), *Photosynthesis: from Light to Biosphere: Proceedings of the Xth International Photosynthesis Congress, Montpellier-France, 1995*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, vol. V, pp. 977-980.
- Tafforeau, M., M.C. Verdus, V. Norris, G.J. White, M. Cole, M. Demarty, M. Thellier, C. Ripoll, 2004. Plant sensitivity to low intensity 105 GHz electromagnetic radiation. – *Bioelectromagnetics*; 25 (6) 403–407.
- Tkalec, M., Malarix K., Pevalek-Kozlina B., 2005. Influence of 400, 900, and 1900 MHz electromagnetic fields on *Lemna minor* growth and peroxidase activity. – *Bioelectromagnetics*, 26 (3) 185-193.
- Tkalec, M., K Malarix B Pevalek-Kozlina, 2007. Exposure to radiofrequency radiation induces oxidative stress in duckweed *Lemna minor* L. – *Science of the Total Environment*, 388, 78–89.
- Tsimilli-Michael, M., R.J. Strasser, 2008. *In vivo* assessment of plants' vitality: applications in detecting and evaluating the impact of Mycorrhization on host plants. – In: A. Varma (Ed.), *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics* (3-rd edition), Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 679-703.
- Vian, A., D. Roux, S. Girard, P. Bonnet, F. Paladian, E. Davies, G. Ledoigt, 2006. Microwave Irradiation Affects Gene Expression in Plants. – *Plant Sign Behav*, 1 (2) 67-70.

Това изследване е финансирано от Софийския университет „Св. Кл. Охридски“, договор за научни изследвания № 007/30.03.2010 г.

Статията е приета на 12.07.2010 г.
Рецензент – доц. д-р Златко Златев
E-mail: zl_zlatev@abv.bg