

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЗАИМОЗАВИСИМОСТТА МЕЖДУ ФОТОСИНТЕТИЧНАТА АКТИВНОСТ И ВЕГЕТАЦИОННИ ИНДЕКСИ ПРИ СОЯ

**Илияна Илиева, Йордан Найденов, Илина Каменова, Георги Желев**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
e-mail: iliana\_ilieva@space.bas.bg*

**Ключови думи:** фотосинтеза; вегетационни индекси – REP, NDRE, PRI; соя.

**Резюме:** Фотосинтезата е най-важният процес в растенията, но измерването и чрез газообменен метод (най-точен за сега) е времеемко и изисква специализирана апаратура. В селскостопанската практика все по-често се използват вегетационни продукти получени от наземни, аеро- или спътникови данни за отражателните характеристики на растенията за оценка статуса на растенията и предприемане на съответната култивационна процедура. Цел на настоящето изследване е чрез пилотни данни да се потърси корелация между измерена чрез газообменен метод фотосинтеза и вегетационните индекси Red Edge Position (REP), Normalized Difference Red Edge Index (NDRE) и Photochemical Reflectance Index (PRI) при соя. От получените пилотни данни понижените стойности на REP и NDRE не могат да бъдат свързани с понижени стойности на фотосинтезата, докато тренда на индекса PRI съвпада с дневният ход на фотосинтезата, но с обратен знак. Направеният корелационен анализ между PRI и фотосинтезата показва обнадеждаващи резултати, но и необходимост от усъвършенстване на протокола на измерване за да се компенсира влиянието на отражателните характеристики на почвата и други фактори.

## EMPIRICAL STUDY OF THE CORRELATION BETWEEN PHOTOSYNTHESIS AND VEGETATION INDICES IN SOYBEAN

**Iliana Ilieva, Yordan Naydenov, Iliana Kamenova, Georgi Jelev**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: iliana\_ilieva@space.bas.bg*

**Key words:** photosynthesis; vegetation indices - REP, NDRE, PRI; soybean

**Abstract:** Photosynthesis is the most important process in plants, but its measurement by gas exchange method (most accurate for now) is time consuming and requires specialized equipment. Vegetation products derived from terrestrial, airborne or satellite data for reflective characteristics of plants are more often used in agricultural practices to assess plant status and take the appropriate cultivation action. The aim of this study is to access the correlations between photosynthesis measured by gas exchange method and the vegetation indices Red Edge Position (REP), Normalized Difference Red Edge Index (NDRE) and Photochemical Reflectance Index (PRI) by using pilot data for soybean. Diminished values of REP and NDRE that cannot be associated with decreases in photosynthesis were obtained from the pilot data, while the trend of the PRI reversely coincides with the daily course of photosynthesis. The correlation analysis between PRI and photosynthesis showed encouraging results, but also the need to improve the measurement protocol to offset the impact of soil's and other factors' reflective characteristics.

### **Въведение**

Фотосинтезата е най-важния процес в растенията и следователно най-определящият показател за моментното им физиологично състояние. Активността на фотосинтезата може да бъде определена чрез измерване на газообмена извършващ се в листата на растенията с помощта на редица преносими апарати. Работата с тях обаче изисква физическо присъствие на терен, специално обучение за използването им, измерванията с тях са времеемки и апаратите

са доста скъпи за използване извън научни цели. Следователно, поради тези фактори, тяхното използване в практиката, като средство за мониторинг статуса на големи селскостопански площи от самите агрономи, е трудно приложимо.

Дистанционните методи, използващи наземни, аеро- или спътникови данни за отражателните характеристики на растенията намират все по-голямо приложение за оценка на общия им физиологичен статус, но чрез информацията, предоставена от тях, не може директно да се определи фотосинтезата. От спектралните характеристики на растенията могат да се определят параметри, които индиректно или директно да бъдат свързани с активността на фотосинтезата.

Вегетационните индекси Red Edge Position (REP) [1], Normalized Difference Red Edge Index (NDRE) [2] и др. се използват за определяне на съдържанието на хлорофил в листата и съответно дават индиректна представа за активността на фотосинтезата.

По дистанционни данни могат да се определят косвено следните биофизични параметри: Leaf Area Index (LAI), който представлява площта на листата за единица площ земна повърхност ( $LAI = \text{leaf area} / \text{ground area}, m^2 / m^2$ ) [3, 4, 5] и Photosynthetically Active Radiation (PAR), който е абсорбираната фотосинтетична активна светлина [6, 7]. Изчислените параметри са индиректно свързани с фотосинтезата и дават предпоставка за потенциала на растенията да осъществяват този процес.

От дистанционни данни могат също да се определят температура на листата, влажност на почвата и др., и да се използват като входни параметри в различни математически модели, за индиректно определяне на фотосинтетичната активност на растенията [8, 9].

Вегетационният индекс Photochemical Reflectance Index (PRI), дава директна представа за активността на фотосинтезата, тъй като измерва ксантофиловия цикъл в растенията - процес конкурентен на електронния транспорт във Фотосистема II [10].

Въпреки голямата икономическа полза от използването на дистанционни методи при определяне статуса на даден посев с цел оптимизиране на култивационния план, все още липсва знание за корелацията между фотосинтезата, измерена чрез газообменен метод (най-точен за момента) и различните вегетационни индекси, определени на базата на спектралните характеристики на растенията.

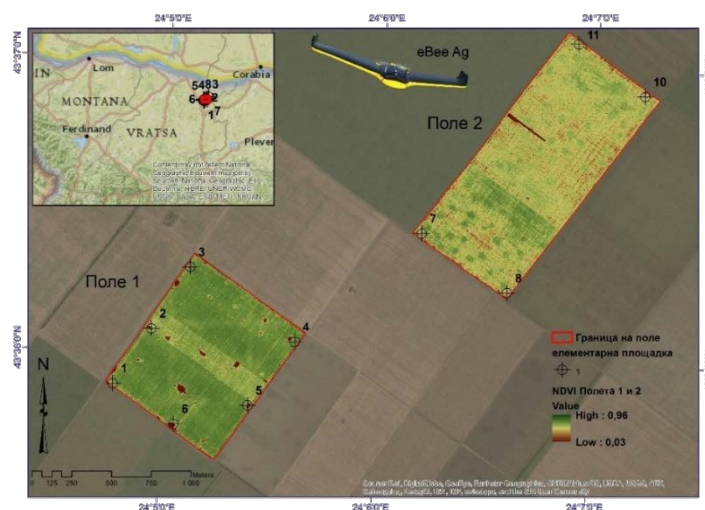
## Цел на изследването

Чрез пилотни данни да бъде изследвана корелацията между фотосинтетичната активност, измерена чрез газообменен метод и вегетационните индекси, изчислени въз основа спектрални характеристики на растенията.

## Методи и материали

### Обект на изследване

Изследван е посев от два сорта соя *Glycine max* cv. Galina и *Glycine max* cv. Neoplant, засят на две полета с обща площ 1947,18 dka, разположени на територията на гр. Кнежа (Фиг. 1.). Растенията се намират във фенологични фази на развитие - начало на бутонизация, цъфтеж и образуване на бобове.



Фиг. 1. Разположение на тестовите полета, тестови площадки и NDVI, генериран от БЛА eBee Ag

### Постановка на изследването

Измерванията на спектралните отражателни характеристики (COX) и фотосинтетичната активност на растенията са проведени на 08.07.2015г. от 12:00h до 14:30h и на 09.07.2015г. от 16:30h до 18:30h в 10 тестови площадки, разположени в двете полета на Фиг.1. (поле 1 и поле 2).

Местоположението на площадките е предварително определено с помощта на актуални спътникови изображения от Landsat 8 OLI, като критериите за избора са: различия в посева, определени въз основа визуална интерпретация на изображенията и възможност за достъп до съответните площадки. Положението на тестовите площадки и различията в посева в тях е точно пространствено локализирано, чрез аерофото заснемане с БЛА eBee Ag (дрон) с NIR камера Canon с пространствена разделителна способност 10 cm/pixel [11].

### Измерване на фотосинтетичната активност на растенията

Измерването е извършено с апарат LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, NE, USA) при следните условия: Камерата на апарата е с площ 6 cm<sup>2</sup>, измерването е осъществено като в камерата е поставяно всяко от листчетата на 1-ви и 2-ри напълно развит лист, считани от върха на растенията соя. Измерванията са извършени при интензитет на светлината в камерата 1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  и спектрален състав в синята и червената области от VIS.

### Измерване на спектрални отражателни характеристики

Измерванията на COX са извършени със спектрометър ASD FieldSpec 4 в диапазона 350 – 2500 nm със спектрална разделителна способност 3 nm във видимия и близкия инфрачервен диапазон (VNIR) и 8 nm в късовълновия инфрачервен диапазон (SWIR). За измерването е използван фибро-оптичен кабел с ъгъл на зрителното поле 25° на разстояние 150 cm от повърхността на земята. Във всяка тестова площадка са направени 12 измервания, които са разположени в 2 успоредни трансекта. Измерванията впоследствие са усреднени за получаване на обобщен спектър, характеризиращ цялата площадка. Отделно са направени единични измервания на COX върху субплощадка с размер 75×75 cm, където са направени и измерванията на фотосинтетичната активност. От субплощадката са взети растителни проби за лабораторно измерване на COX на ниво лист, посредством приставка за контактено измерване на растителни образци, използваща халогенно осветление. Измерени са 1-ви и 2-ри напълно развит лист, считано от върха на растенията соя.

Изчислени са следните индекси:

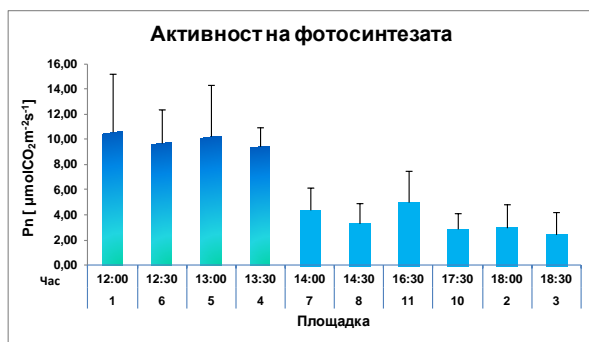
$$\text{REP} = (((R670+R780)/2-R700)/(R740-R700))*40+R700;$$

$$\text{NDRE} = (R740-R705)/(R740+R705);$$

$$\text{PRI} = (R531-R570)/(R531+R570).$$

## Резултати

### Активност на фотосинтезата

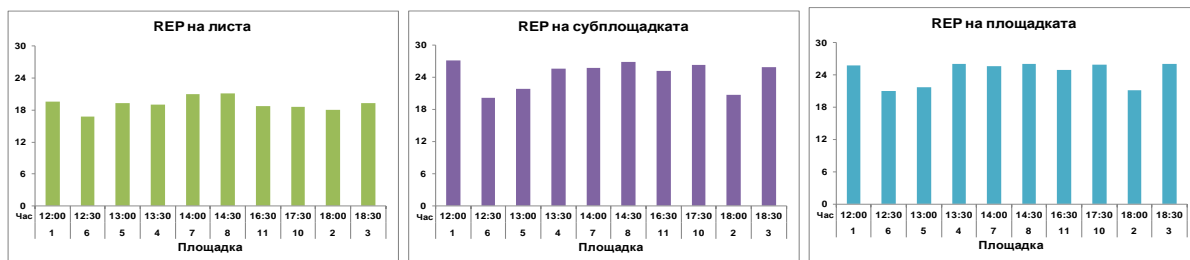


Фиг. 2. Фотосинтетична активност на растенията по Площадки

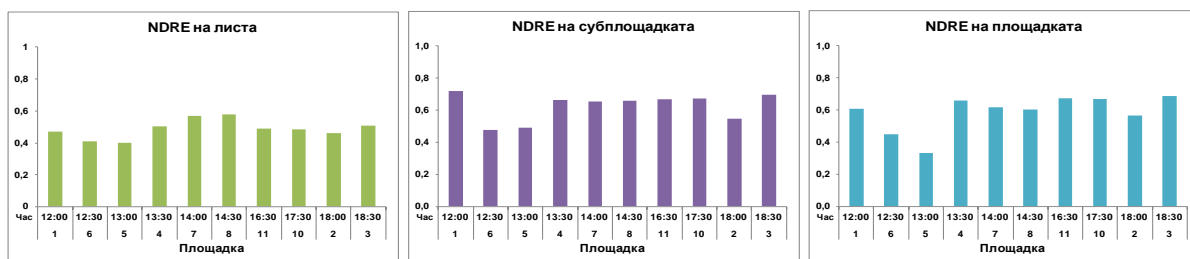
Фотосинтетичната активност на растенията от Площадка 1 е  $10,60 \pm 4,58 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; от Площадка 6 -  $9,73 \pm 2,66 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; от Площадка 5 -  $10,21 \pm 4,09 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  и от Площадка 4 -  $9,42 \pm 1,57 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Разликите в измерените стойности не са статистически значими при  $p=0.05$ , изследвани чрез еднофакторен дисперсионен анализ (ANOVA). Организацията на изследването на площите със соя предвиждаше да се продължи измерването на фотосинтезата и след 13:30h, поради което наблюдаваното понижение на

фотосинтезата в останалите площадки е вследствие на дневния ход на фотосинтезата и не може да бъде обвързано със стрес, дори да има такъв.

### Вегетационни индекси свързани със съдържанието на хлорофил в растенията



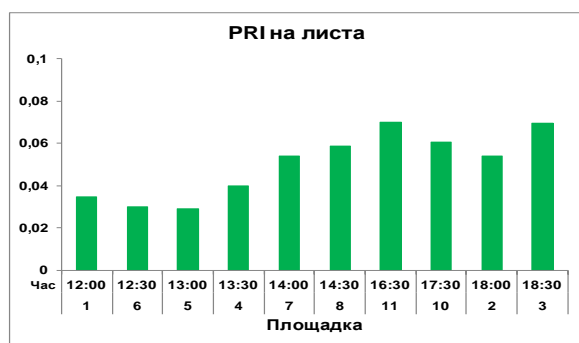
Фиг. 3. Вегетационен индекс REP на растенията по Площадки



Фиг. 4. Вегетационен индекс NDRE на растенията по Площадки

Стойностите на индексите REP (Фиг.3) и NDRE (Фиг.4) за Площадки 6, 5 и 2 се отличават от стойностите при останалите площадки. Този резултат предполага, че в тази област на полето съществува проблем с посева. Съпоставяйки, обаче, данните от REP и NDRE с реално измерената фотосинтеза на Площадки 6 и 5 (Фиг. 2), това предположение не може да бъде потвърдено. Фотосинтезата на Площадки 6 и 5 не е статистически различна от тази на Площадки 1 и 4. Фотосинтезата на Площадка 2 няма да бъде разглеждана, тъй като попада във фазата на дневно понижение. Връзката на активността на фотосинтезата със съдържанието на хлорофил (отразено в индексите REP и NDRE) е индиректна и се влияе от много фактори. От друга страна, индексите REP и NDRE се влияят и от странични фактори като: гъстотата на посева, отражателните характеристики на почвата, почвената влажност и др.

### Вегетационни индекси свързани директно с процеса фотосинтеза

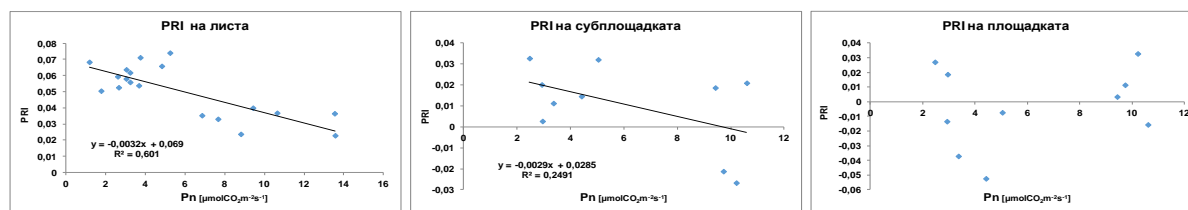


Фиг. 5. Вегетационен индекс PRI на растенията по Площадки

Тренда на PRI (Фиг. 5.) в хода на деня следва тренда на фотосинтезата с обратен знак.

Корелационният анализ показва силно изразена отрицателна линейна връзка ( $r = -0.775$ ) между фотосинтезата, измерена чрез газообменния метод и PRI, определен въз основа спектралните характеристики на директно измерени листа.

## Корелационен анализ на PRI и фотосинтетичната активност



Фиг. 6. Корелационна зависимост между фотосинтезата и вегетационен индекс PRI

Върху PRI оказват влияние отражателните характеристики и на други обекти най-вече почва, при което линейната корелацията между фотосинтетичната активност и PRI намалява, когато използваните спектрални данни са от субплощадката ( $r = -0.499$ ). Корелацията между фотосинтетичната активност и PRI, определен въз основа спектралните данни, осреднени за всяка площадка не се наблюдава, тъй като данните са малко и силно дисперсирани ( $r = 0.237$  и  $r_s = -0.006$ ).

### Заклучение

Вегетационният индекс PRI е обещаващ метод за определяне на фотосинтезата чрез дистанционни методи. Най-голям интерес представлява корелацията между фотосинтезата и PRI, определен над субплощадка. Наличната макар и слаба корелация между него и фотосинтезата, измерена чрез газообменен метода, дава основание да се усъвършенства протокола на измерване и да се създаде методология за полеви измервания на CO<sub>2</sub> на растенията, с която да се компенсира влиянието на отражателните характеристики на почвата и други фактори.

### Благодарности

Изследването е извършено с апаратура закупена по Проект „Информационен комплекс за аерокосмически мониторинг на околната среда“ (ИКАМОС), Договор за безвъзмездна финансова помощ BG161PO003-1.2.04-0053-C0001, по ОП „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика“ 2007-2013, процедура BG161PO003-1.2.04 „Развитие на приложните изследвания в изследователските организации в България“.

### Литература:

1. Filella, I., J. Peñuelas. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 15, No. 7, pp 1459-1470, 1994.
2. Gitelson, A.A., M.N. Merzlyak. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, Vol. 22, pp. 247-252, 1994.
3. Kazandjiev, V., E. Roumenina, V. Georgieva, P. Dimitrov, G. Jeleu. Comparative Study of Some Features of winter Wheat Crops by Applying Ground Based Measurements and Satellite Images with Different Resolution. *BALWOIS 2012 - Ohrid, Republic of Macedonia*, 28 May - 2 June 2012, pp 1-15, 2012.
4. Roumenina, E., V. Kazandjiev, P. Dimitrov, L. Filchev, V. Vassilev, G. Jeleu, V. Georgieva, and H. Lukarski. Validation of LAI and assessment of winter wheat status using spectral data and vegetation indices from SPOT VEGETATION and simulated PROBA-V images. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 34, No 8, pp. 2888-2904, 2013.
5. Roumenina, E., P. Dimitrov, L. Filchev, G. Jeleu. Validation of MERIS LAI and FAPAR products for winter wheat-sown test fields in North-East Bulgaria. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 35, No. 10, pp 3859-3874, 2014.
6. Alados, I., I. Foyo-Moreno, L. Alados-Arboledas. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 78, pp 121-131, 1996.
7. Naydenova, V., P. Dimitrov, G. Jeleu, E. Roumenina. Analysis of the Dynamics of Vegetation Parameters LAI, EVI and FPAR for Forest Areas using MODIS Data Proceedings. 30th EARSeL Symposium - Remote Sensing for Science, Education, Natural and Cultural Heritage, 31st May - 3rd June 2010 UNESCO Headquarters, Paris, France, pp. 257-263, 2010.
8. Dadhwal, K. Crop Growth and Productivity Monitoring and Simulation Using Remote Sensing and GIS. In *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, edited by M.V.K. Sivakumar, P.S. Roy, K. Harmsen, and S.K.Saha, World Meteorological Organisation, Geneva, pp 263-289, 2004.
9. Dente, L., G. Satalino, F. Mattia, M. Rinaldi. Assimilation of Leaf Area Index Derived from ASA Rand MERIS Data into Ceres - Wheat Model to Map Wheat Yield. *Remote Sensing of Environment*, Vol.112, No.4, pp 1395-1407, 2008.
10. Peñuelas, J., M. Garbulsky, I. Filella. Photochemical reflectance index (PRI) and remote sensing of plant CO<sub>2</sub> uptake. *New Phytologist*, Vol.191, pp. 596-599, 2011.
11. <https://www.sensefly.com/drones/ebee-ag.html> - senseFly, eBee Ag, The precision agriculture drone.