



ПРИЛОЖЕНИЕ НА СПЕКТРАЛНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗА АНАЛИЗ НА ВОДЕН СТРЕС ПРИ КРАСТАВИЦИ

*Мирослав Василев, Сивелина
Делчева, Геновева Милушева*

Резюме: При настъпване на воден стрес при краставиците се създават условия за изменения, свързани с цветовата повърхностна текстура по листата им. Търсенето на връзки между данни, получени от спектрални характеристики и такива от определяне на физиологични показатели на краставици е цел на настоящата работа. Установено е, че разделимостта на отделните етапи от развитието на воден стрес при краставици не зависи от избора на метод за редуциране на обема от данни на спектрални характеристики, а от използваните разделящи функции на дискриминантния анализ. При използване на линейни разделящи функции, общата грешка на класификация достига стойности над 10%, което прави използването на тези функции нецелесъобразно. Оценена е възможността за прогнозиране на физиологични показатели на краставици чрез използване на редуцирани данни от спектрални характеристики. Получените резултати като цяло остават незадоволителни. Необходими са допълнителни изследвания, които да направят предложените в настоящата работа методи и инструментариум подходящи за използване в практиката.

Ключови думи: Краставици, воден стрес, спектрални характеристики, дискриминантен анализ, прогнозиране

1. Увод

Водният стрес представлява важно ограничение на условията за отглеждане

APPLICATION OF SPECTRAL CHARACTERISTICS FOR WATER STRESS ANALYSIS OF CUCUMBERS

*Miroslav Vasilev, Sivelina
Delcheva, Genoveva Milusheva*

Abstract: When water stress occurs in cucumbers, it creates conditions for changes related to the color surface texture of their leaves. The purpose of this work is to search for relationships between data obtained from spectral characteristics and those from determining physiological indices of cucumbers. It is established that the separation of the different stages of the development of water stress in cucumbers does not depend on the choice of a method for reducing the amount of data of spectral characteristics, but on the used separation functions of discriminant analysis. When using linear separator functions, the total classification error reaches values above 10%, which makes the use of these functions inappropriate. The ability to predict physiological parameters of cucumbers by using reduced spectral data was evaluated. The results obtained are generally unsatisfactory. Further research is needed to make the methods and tools proposed in this paper suitable for use in practice.

Keywords: Cucumbers, water stress, spectral characteristics, discriminant analysis, prediction

1. Introduction

Water stress is an important

на краставици [11]. Различните сортове краставици се адаптират към това неблагоприятно състояние по различни начини. Някои растения могат да завършат жизнения си цикъл при оптимални условия. Други да намалят загубата на вода чрез намаляване на размера на листата или порите им [7].

Поради повърхностно разположената си коренова система и голяма изпаряваща повърхност на листата, краставиците се явяват едни от най-често засегнатите от воден дефицит. Различните сортове се адаптират към това неблагоприятно състояние по различни начини. Някои растения могат да завършат жизнения си цикъл при оптимални условия [1,2].

При настъпване на воден стрес при краставиците се създават условия за изменения, свързани с цветовата повърхностна текстура по листата им. Ето защо при насажденията с краставици, като алтернатива на посочените по-горе методи за сигнализиране на дефицита на вода по време на целият период на вегетация, могат да бъдат използвани съвременни оптични техники [3,14,17]. Такива са анализът на визуални изображения и спектралните характеристики във видимата и близка инфрачервена област [6,9,10,20].

За реализиране на задачата за анализ на водния стрес при краставици са необходими предварителни изследвания, свързани с възможността за безконтактно определяне степента на воден стрес по спектрални характеристики. Тези данни са подходящи за използване при разработване на математически модели, описващи развитието на водния стрес. Чрез тях може да се търси връзка и да се правят съпоставки с процеси, които влияят върху развитието на водния стрес

limitation of cucumber growing conditions [11]. Different varieties of cucumbers adapt to this disadvantage in different ways. Some plants can complete their life cycle under optimal conditions. Others reduce water loss by reducing leaf size or pores [7].

Due to its superficial root system and large evaporating surface of the leaves, cucumbers are among the most commonly affected by water deficiency. Different varieties adapt to this disadvantage in different ways. Some plants can complete their life cycle under optimal conditions [1,2].

When water stress occurs, cucumbers create conditions for changes related to the color surface texture of their leaves. Therefore, modern optical techniques can be used in cucumber plantations as an alternative to the above methods for signaling water shortages throughout the growing season [3,14,17]. Such are the analysis of visual images and spectral characteristics in the visible and near infrared region [6,9,10,20].

To perform the task of analyzing water stress in cucumbers, preliminary studies are needed related to the possibility of contactless determination of the degree of water stress by spectral characteristics. These data are suitable for use in the development of mathematical models describing the development of water stress. Through them, relationships can be sought and compared with processes that influence the development of water stress in cucumbers. The search for relationships between data obtained

при краставици. Търсенето на връзки между данни, получени от спектрални характеристики и такива от определяне на физиологични показатели е цел на настоящата работа.

2. Материал и методи

Като изходни данни за изменението на външни характеристики и физиологични показатели на листа на краставици при воден стрес, са използвани тези, представени от Sun и колектив [15] и Barickman и колектив [5]. Използваните данни за физиологични показатели на краставици, са представени в таблица 1.

from spectral characteristics and those from the determination of physiological parameters is the purpose of this work.

2. Material and methods

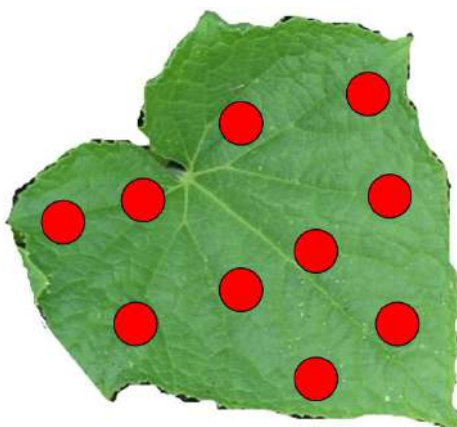
As input data for changes in external characteristics and physiological parameters of cucumber leaves under water stress, those presented by Sun et al. [15] and Barickman et al. [5] were used. The data used for physiological parameters of cucumbers are presented in Table 1.

Таблица 1.
Показатели на листа на краставици при воден стрес

		Table 1. Water stress cucumber leaf parameters			
		0	24	48	72
Показател Parameter	Мерна единица Measurement unit				
Нетна фотосинтеза Net photosynthesis	A, $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	19,5±1,29	16,5±1,29	12,75±1,26	10±1,41
Съдържание на CO₂ CO ₂ content	C _i , $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	363,5±1,29	351,25±2,75	354,25±1,71	360,5±2,65
Транспирация Transpiration	E, mmol H ₂ O/m ² s	8,75±0,96	6,5±0,58	6,5±0,58	7,5±0,58

От горната страна от листната петура на всяко листо са определени спектрални характеристики, както е показано на фигура 1. Измерванията обхващат частите близо до ръба на листната петура и в нейната средна част.

Spectral characteristics are defined on the upper side of the leaf blade on each leaf, as shown in Figure 1. The measurements cover the parts near the edge of the leaf blade and in its middle part.



Фиг.1. Схема за получаване на спектрални данни от листа на краставици

Fig. 1. Scheme for obtaining spectral data from cucumber leaves

Преобразуването на стойностите от XYZ модел в спектри на отражение във VIS областта, в обхвата 390-730nm е направено по математически зависимости като преобразуването е възможно и в двете посоки на равенството [8].

Математическите зависимости за преобразуване от RGB към спектри във видимата спектрална област са:

$$XYZ = RGB \cdot M_{XYZ} \tag{1}$$

$$M_{XYZ} = \begin{bmatrix} 0,5767 & 0,2974 & 0,027 \\ 0,1855 & 0,6273 & 0,0707 \\ 0,1882 & 0,0753 & 0,9911 \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$X = \int_{380}^{780} A(\lambda)\bar{X}(\lambda)d\lambda; Y = \int_{380}^{780} A(\lambda)\bar{Y}(\lambda)d\lambda; Z = \int_{380}^{780} A(\lambda)\bar{Z}(\lambda)d\lambda \tag{3}$$

$$\Delta E_{VIS} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \tag{4}$$

където M е матрица за преобразуване при посочените условия за наблюдател и осветеност. A(λ) е матрица за преобразуване на цвят към спектри на отражение във VIS областит, според използваните наблюдател и осветеност. Тези матрици са налични в [12] за VIS областта. Използвана е разликата между отделните компоненти ΔE.

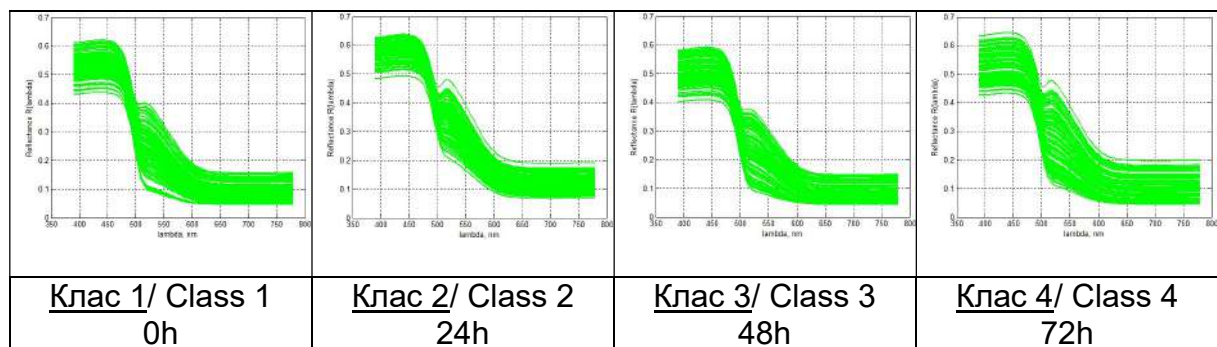
На фигура 2 са показани спектрални характеристики на краставици в период от 72h, при възникване на воден стрес. Дефинирани са 4 класа, в зависимост от етапа на развитие на водния стрес.

The transformation of the values from the XYZ model into reflection spectra in the VIS region, in the range 390-730nm, is made by mathematical dependencies, and conversion is possible in both directions of equality [8].

The mathematical dependencies for the conversion from RGB to spectra in the visible spectral region are:

where M is the transformation matrix under the specified observer and illumination conditions. A(λ) is a matrix for converting color to reflection spectra in the VIS region, according to the observer and illumination used. These matrices are available in [12] for the VIS area. The difference between the individual components ΔE was used.

Figure 2 shows the spectral characteristics of cucumbers over a period of 72h in the event of water stress. There are 4 classes defined, depending on the stage of water stress development.



Фиг.2. Спектрални характеристики на листа от краставици

FIG.2. Spectral characteristics of cucumber leaves

Оценката на възможността за определяне на степента на водния стрес при краставици е направена чрез дискриминантен анализ. Използвани са редуцирани данни от спектралните характеристики.

За редуциране обема от данни на спектралните характеристики са използвани главни компоненти, получени по метод Анализ на главните компоненти и латентни променливи, получени по метод Частична регресия на най-малките квадрати [6,16].

За класификация е използван метод дискриминантен анализ [4,14,18]. Дискриминантният анализ е многомерен анализ на данни, който се използва, когато има нужда от „прогнозиране“ стойностите на групираща променлива. Целта е да се получи правило за причисляване на едно ново наблюдение към даден клас. Причисляването или „разпределянето“ към определен клас характеристики е необходимо и относно настоящата разработка.

При дискриминантният анализ са използвани следните разделящи функции:

- ✓ *Linear* – линейна разделяща функция, разпределя данни с многовариантна нормална плътност чрез изчисление на ковариацията и ги събира в група;
- ✓ *DiagLinear* – подобен е на линейната разделяща функция, но използва изчисляване на диагонал на ковариационна матрица (диагонална линейна разделяща функция);
- ✓ *Quadratic* – квадратична разделяща функция (от втора степен), разпределя данни с многовариантна нормална плътност чрез изчисление на ковариацията и ги събира в група;
- ✓ *Diagquadratic* – подобен е на квадратичната разделяща функция, но използва изчисляване на диагонал на

The assessment of the possibility of determining the degree of water stress in cucumbers was made by discriminant analysis. Reduced spectral data are used.

To reduce the amount of data of the spectral characteristics, principal components obtained by the principal component analysis and latent variables obtained by the method of partial least squares regression were used [6,16].

The discriminant analysis method was used for classification [4,14,18]. Discriminant analysis is a multidimensional data analysis that is used when it is necessary to "predict" the values of a grouping variable. The goal is to get a rule for assigning a new observation to a class. The assignment or "allocation" to a particular class of characteristics is also necessary in relation to the present development.

The discriminant analysis uses the following separating functions:

- ✓ *Linear* - linear separation function, distributes data with multivariate normal density by calculating covariance and collecting them in a group;
- ✓ *DiagLinear* - is similar to a linear dividing function, but uses the calculation of the diagonal of a covariance matrix (diagonal linear separating function);
- ✓ *Quadratic* - a quadratic separating function (second degree), distributes data with multivariate normal density by calculating the covariance and grouping them;
- ✓ *Diagquadratic* - similar to the quadratic separating function but using the calculation of the diagonal of a covariance matrix

ковариационна матрица (диагонална нелинейна разделяща функция);

✓ *Mahalanobis* – разделя данните в групи чрез разстояние на Махаланопис като определя ковариацията в данните.

Оценката на работата на използваните класификатори е направена е чрез обща грешка на класификация [20], която се описва с формулата:

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{k=1}^n y_{ik} - y_{ii})}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n y_{ik}} \cdot 100, \% \quad (5)$$

където y_{ik} е брой проби от клас i , класифицирани от класификатора в клас k ; y_{ii} – брой правилно разпознати проби; $k=1\dots n$ – брой неправилно отнесени в даден клас i спрямо общият брой проби; n – брой класове.

Прогнозирането на физиологични показатели на листа от краставици по спектрални характеристики е реализирано с методите регресия на главните компоненти (PCR) и частична регресия на най-малките квадрати (PLSR) [13]. Използвани са критерии за оценка Коефициент на определеност (R^2), сума от квадрата на грешките (SSE) и корен от средноквадратична грешка (RMSE).

Всички анализи са направени с програмна среда Matlab 2013 (The MathWorks Inc.).

3. Резултати и дискусия

Редуцирането на данните от спектралните характеристики е направено чрез представянето им с латентни променливи и главни компоненти. Установено е, че за описание на спектралните характеристики са необходими две латентни променливи и две главни компоненти. Използването на по-голям

(diagonal nonlinear separating function);

✓ *Mahalanobis* - splits data into groups by Mahalanobis distance by determining the covariance in the data.

The performance of the classifiers used is estimated by a common classification error [20], which is described by the formula:

where y_{ik} is the number of samples in class i classified by the classifier in class k ; y_{ii} number of correctly identified samples; $k=1\dots n$ - number incorrectly assigned to a class i relative to the total number of samples; n - number of classes.

The prediction of physiological indices of cucumber leaves by spectral characteristics has been realized using principal component regression (PCR) and partial least squares regression (PLSR) methods [13]. The criteria used were the coefficient of determination (R^2), sum of squared errors (SSE) and root mean squared error (RMSE).

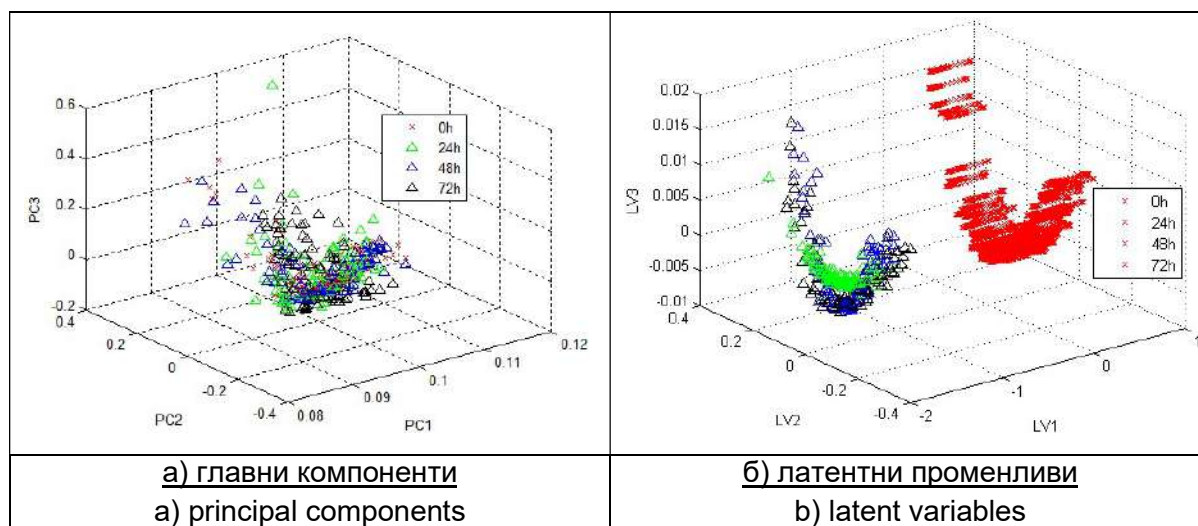
All analyzes were performed with the Matlab 2013 program environment (The MathWorks Inc.).

3. Results and discussion

The reduction of spectral characteristics data is done by presenting them with latent variables and principal components. It has been found that two latent variables and two principal components are required to describe the spectral characteristics. The use of a larger number of these coefficients does not

брой на тези коефициенти не променя получените резултати. При използване на главни компоненти се наблюдава видимо доближаване на опитните данни, докато при използване на латентни променливи, данните от първото измерване ясно се отличават от останалите измервания, както е показано на фигура 3.

change the results obtained. With the use of principal components, a visible overlap of the experimental data is observed, while when using latent variables, the data from the first measurement are clearly different from the other measurements, as shown in Figure 3.



Фиг.3. Редуциране на обема от данни на спектрални характеристики

Fig.3. Reducing the amount of data of spectral characteristics

В таблица 2 са нанесени резултати от класификация с дискриминантен класификатор. Използвани са редуцирани данни от спектралните характеристики чрез латентни променливи и главни компоненти. Най-високи стойности на общата грешка на класификация (10-16%) се получава при използване на линейни разделящи функции и функция на Махаланобис. При използване на нелинейни разделящи функции, независимо от използвания метод за редуциране на обема от данни на спектрални характеристики се получават по-ниски стойности на общата грешка на класификация.

Table 2 shows the results of the classification with the discriminant classifier. Reduced spectral characteristics data using latent variables and principal components were used. The highest values of the total classification error (10-16%) are obtained using linear separation functions and Mahalanobis function. When using nonlinear separation functions, regardless of the method used to reduce the amount of data of spectral characteristics, lower values of the total classification error are obtained.

Таблица 2.
Резултати от класификация с дискриминантен анализ

Table 2.
Results of classification by discriminant analysis

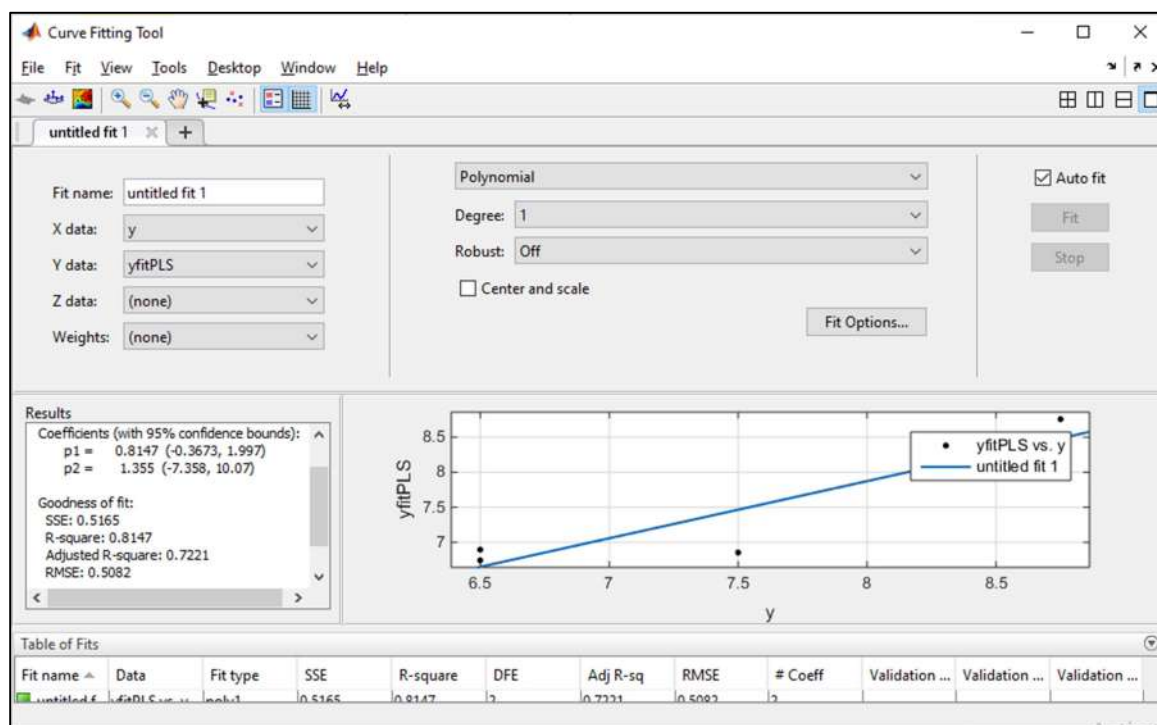
МРД DRM	PC					LV					
	РФ DF	L	DL	Q	DQ	M	L	DL	Q	DQ	M
Клас Class											
1-2		10%	10%	0%	0%	16%	0%	0%	0%	0%	0%
1-3		12%	13%	0%	0%	14%	0%	0%	0%	0%	0%
1-4		15%	15%	0%	0%	16%	0%	0%	0%	0%	0%
2-3		12%	13%	0%	0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%
2-4		15%	15%	0%	0%	14%	0%	0%	0%	0%	0%
3-4		15%	15%	0%	0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%

МРД-метод за редуциране обема от данни;
 PC-главни компоненти; LV-латентни променливи; РФ-разделящи функции:
 L-линейна; DL- диагонално-линейна;
 Q-квадратична; DQ-диагонално-квадратична;
 M-Махаланобис

DRM-data reduction method;
 PC-principal components; LV-latent variables; DF discriminant functions:
 L-linear; DL-diagonal-linear;
 Q-quadratic; DQ-diagonal-quadratic;
 M-Mahalanobis

На фигура 4 е показан пример за частична регресия на най-малките квадрати при прогнозиране на транспирация.

Figure 4 shows an example of partial least squares regression in predicting transpiration.



Фиг.4. Прогнозиране на транспирация по метод PLSR

Fig.4. Transpiration prediction by PLSR method

Вижда се, че при използване на две латентни променливи прогнозирането е с $R^2=0,82$, грешките SSE и RMSE са с стойности 0,5. Това показва, че 82% от изменението в транспирацията на листата на краставици може да бъде описано с изменението на латентните променливи, получени от спектралните им характеристики.

В таблица 3 са представени резултатите от прогнозирането на физиологични показатели на изследваните листа от краставици, чрез използване на редуцирани данни от спектрални характеристики. От данните е видно, че с точност от 61-81% могат да бъдат прогнозирани физиологичните показатели на листата по метод PCR. При използване на редуцирани данни от спектрални характеристики, чрез латентни променливи, по метод PLSR, с точност от 66-84% могат да бъдат прогнозирани физиологичните показатели. Високи стойности за коефициента на регресия R^2 при прогнозиране на физиологичните показатели по спектрални характеристики, са получени при прогнозиране на нетната фотосинтеза. В този случай прогнозирането е с точност над 80%, независимо от използвания метод. Най-ниски стойности на грешките SSE и RMSE, се получават при прогнозиране на транспирация.

It can be seen that when using two latent variables, the prediction is $R^2=0,82$, the SSE and RMSE errors are 0,5. This indicates that 82% of the change in transpiration of cucumber leaves can be described by the change in the latent variables obtained from their spectral characteristics.

Table 3 presents the results of the prediction of physiological indices of the cucumber leaves examined using reduced spectral data. It is evident from the data that the physiological parameters of the leaves by the PCR method can be predicted with an accuracy of 61-81%. When using reduced spectral characteristics data, latent variables using the PLSR method, physiological parameters can be predicted to an accuracy of 66-84%. High values for the regression coefficient R^2 for the prediction of physiological parameters by spectral characteristics were obtained for the prediction of net photosynthesis. In this case, the prediction is more than 80% accurate, regardless of the method used. The lowest SSE and RMSE error values are obtained when predicting transpiration.

Таблица 3.
Резултати от PCR и PLSR

Table 3.
PCR and PLSR results

<u>Метод</u> Method		PCR			PLSR		
<u>Критерий</u> Criterion		SSE	R^2	RMSE	SSE	R^2	RMSE
<u>Прогнозиран показател</u> Predicted parameter							
<u>Нетна фотосинтеза</u> Net photosynthesis	A	8,08	0,81	2,01	7,18	0,84	1,89
<u>Съдържание на CO₂</u> CO ₂ content	C _i	22,71	0,61	3,37	21,31	0,66	3,26
<u>Транспирация</u> Transpiration	E	0,58	0,78	0,54	0,52	0,81	0,51

Оценката на възможността за класификация и прогнозиране на физиологични показатели на краставици чрез използване на редуцирани данни от спектрални характеристики не показва добри резултати. Използването на спектрални характеристики ефективно е използвано при анализ на болести по краставиците [4]. Както болестите по растението, така и водния стрес са важни показатели при екологичното отглеждане на краставици [19].

Получените в настоящата работа резултати като цяло остават незадоволителни. Необходими са допълнителни изследвания, които да направят предложените в настоящата работа методи и инструментариум подходящи за използване в практиката.

4. Заключение

Направено е сравнително изследване на дискриминантен класификатор, базирани на линейни и нелинейни разделящи функции, за разпознаване на етапи на развитие на воден стрес при краставици. В резултат на анализ на емпирични данни е установено, че споменатите класификационни процедури, в комбинация с методи за редуциране обема от данни на спектрални характеристики, извършват разпознаване с най-голяма точност при използване на нелинейни разделящи функции.

Установено е, че разделимостта на отделните етапи от развитието на воден стрес при краставици не зависи от избора на метод за редуциране на обема от данни на спектрални характеристики, а от използваните разделящи функции. При използване на линейни разделящи функции, общата грешка на класификация достига стойности над 10%, което прави използването на тези функции нецелесъобразно.

The evaluation of the ability to classify and predict physiological parameters of cucumbers using reduced spectral data does not show good results. The use of spectral characteristics has been effectively used in the analysis of cucumber diseases [4]. Both plant diseases and water stress are important indicators in the ecological cultivation of cucumbers [19].

The results obtained in this paper are generally unsatisfactory. Further research is needed to make the methods and tools proposed in this paper suitable for use in practice.

4. Conclusion

A comparative study of a discriminant classifier based on linear and nonlinear separating functions was performed to identify stages of water stress development in cucumbers. As a result of the analysis of empirical data, it has been found that the mentioned classification procedures, in combination with methods for reducing the amount of data of spectral characteristics, make the most accurate recognition using non-linear separation functions.

It is established that the separation of the different stages of the development of water stress in cucumbers does not depend on the choice of a method for reducing the amount of data of spectral characteristics, but on the used separation functions. When using linear separator functions, the total classification error reaches values above 10%, which makes the use

Оценена е възможността за прогнозиране на физиологични показатели на краставици чрез използване на редуцирани данни от спектрални характеристики. Тази оценка не показва добри резултати при прогнозиране на съдържание на CO₂. Коефициентът R² достига максимална стойност 0,66. При прогнозиране на нетна фотосинтеза и транспирация, коефициентът на регресия достига стойности над 0,8, но от друга страна стойностите на грешките SSE и RMSE са 0,5-8. Получените резултати като цяло остават незадоволителни. Необходими са допълнителни изследвания, които да направят предложените в настоящата работа методи и инструментариум подходящи за използване в практиката.

of these functions inappropriate.

The ability to predict physiological indices of cucumbers by using reduced spectral data was evaluated. This estimate does not show good results in predicting CO₂ content. The coefficient R² reaches a maximum value of 0,66. When predicting net photosynthesis and transpiration, the regression coefficient reaches values above 0,8, but on the other hand, the SSE and RMSE error values are 0,5-8. The overall results remain unsatisfactory. Further research is needed to make the methods and tools proposed in this paper suitable for use in practice.

5. Литература

- [1] Al-Harbi, A., A. Al-Omran, K. Alharbi. (2018). Grafting improves cucumber water stress tolerance in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25 (2), pp. 298-304.
- [2] Alsaeedi, A., H. El-Ramady, T. Alshaal, M. El-Garawany, N. Elhawat, A. Al-Otaibie. (2019). Silica nanoparticles boost growth and productivity of cucumber under water deficit and salinity stresses by balancing nutrients uptake. *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 139, pp. 1-10.
- [3] Aragua, A., V. Mabayo. (2018). A cost-effective approach for chicken egg weight estimation through computer vision. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 2 (3), pp. 82-87. ISSN 2618-5946
- [4] Atanassova, S., P. Nikolov, N. Valchev, S. Masheva, D. Yorgov. (2019). Early detection of powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) on cucumber leaves based on visible and near-infrared spectroscopy. *AIP Conference Proceedings* 2075, pp. 160014-1-160014-5.
- [5] Barickman, T., C. Simpson, C. Sams. (2019). Waterlogging Causes Early Modification in the Physiological Performance, Carotenoids, Chlorophylls, Proline, and Soluble Sugars of Cucumber Plants. *Plants* 2019, 8 (6), art. 160, pp. 1-15.
- [6] Bosakova-Ardenska, A., A. Danev, H. Andreeva, Tz. Gogova. (2018). Bread porosity evaluation by histogram analysis. *CompSysTech'18 Proceedings of the 19th International Conference on Computer Systems and Technologies Ruse, Bulgaria - September 13-14*, pp. 68-72. ISBN 978-1-4503-6425-6
- [7] Bressan, R., P. Hasegawa, R. Locy. (2002). Stress physiology. In: *Plant physiology*, 3rd edited by Taiz, L., Zeiger, E., Sunderland, MA: Sinauer

5. References

- Associates Inc, pp. 591-623.
- [8] Glassner, A. (1989). How to derive a spectrum from an RGB triplet. IEEE Computer Graphics and Applications 9, 4 (July 1989), pp. 95-99.
- [9] Indrie, L, D. Oana, I. Marin, D. Ilieș, A. Lincu, A. Ilies, S. Baias, G. Herman, A. Onet, M. Costea, F. Marcu, L. Burta, I. Oana. (2019). Indoor air quality of museums and conservation of textiles art works. Case study: Salacea Museum House, Romania. Revista Industria Textilă, 70 (1), pp. 88-93. ISSN 1222-5347
- [10] Komitov, G., V. Rasheva, I. Binev. (2016). Innovation technology for using of disposals automobile tyres. European Journal of Technical and Natural Sciences, № 4, Vienna, pp. 20-22. ISSN 2414-2352
- [11] Li, S., Y. Li, X. He, Q. Li, B. Liu, X. Ai, D. Zhang. (2019). Response of water balance and nitrogen assimilation in cucumber seedlings to CO₂ enrichment and salt stress. Plant Physiology and Biochemistry, vol. 139, pp. 256-263.
- [12] Mather, J. (2010). Spectral and XYZ Color Functions, www.mathworks.com (available on 14.05.2019)
- [13] Mladenov, M., S. Penchev, M. Deyanov, M. Mustafa. (2015). Automatic classification of grain sample elements based on color and shape properties. University Politehnika of Bucharest, Scientific Bulletin, Series C, 73 (4), pp. 39-54.
- [14] Nakov, G. V. Jankuloska, M. Georgieva-Nikolova. (2019). Influence of food by-products addition on the spectral characteristics of bakery products. Innovation and entrepreneurship, 7 (3), pp. 138-149. ISSN 1314-9253,
- [15] Sun, Y., Y. Li, M. Wang, C. Wang, N. Ling, L. Mur, Q. Shen, S. Guoa. (2018). Redox imbalance contributed differently to membrane damage of cucumber leaves under water stress and *Fusarium* infection. Plant Science, vol. 274, pp. 171-180.
- [16] Taneva, I., M. Dimov, Z. Zlatev, S. Baycheva. (2018). Determination of the coefficient of diffusion of extracts from goji berry (*Lycium Barbarum*) fruits. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 24 (2), pp. 317-320. ISSN 2534-983X
- [17] Titova, T., V. Nachev, Ch. Damyanov, N. Bozukov, H. Dinkov. (2012). Determining the freshness of eggs using spectral data and wavelet network model. Zbornik radova 56. Konferencije za ETRAN, Zlatibor, 11-14. juna 2012, VI1.5-1-4.
- [18] Tsankov, P., I. Binev, N. Marazov. (2019). Complex stand for testing of a gear pumps and investigation of the influence of the hydraulic oil temperature on the pump characteristics. ICTTE, pp. 287-294. ISSN 2603-445X
- [19] Vateva, V., K. Trendafilov. (2016). Aspects of organic farming in Yambol region - status, opportunities and prospects. Journal of Innovation and entrepreneurship, 4 (3), pp. 38-54. ISSN 1314-9253
- [20] Zlatev, Z., T. Pehlivanova, A. Dimitrova, S. Baycheva, I. Taneva, K. Keremidchieva. (2018). Development of an ultrasonic device for quality evaluation of yogurt. Engineering Review, 38 (3), pp. 279-287. ISSN 1849-0433

Контакти

гл. ас. д-р инж. Мирослав Василев

Тракийски университет
Факултет „Техника и технологии” -
Ямбол, България
е-mail: miro8611@abv.bg

ас. инж. Сивелина Делчева

Тракийски университет
Факултет „Техника и технологии” -
Ямбол, България
е-mail: sivelina@abv.bg

**маг. инж. Геноева Милушева,
докторант**

Русенски университет
Факултет Електротехника,
електроника и автоматика
Катедра Телекомуникации
гр. Русе 7017, ул. Студентска № 8
е-mail: g_milusheva@abv.bg

Contacts

**chief assist. prof. Miroslav Vasilev,
PhD, eng.**

Trakia University – Stara Zagora
Faculty of Technics and Technologies,
Yambol, Bulgaria
е-mail: miro8611@abv.bg

assist. prof. Sivelina Delcheva, eng.

Trakia University – Stara Zagora
Faculty of Technics and Technologies,
Yambol, Bulgaria
е-mail: sivelina@abv.bg

**Genoveva Milusheva, M.Eng., PhD
student**

University of Ruse
Faculty of Electrical engineering,
electronics and automation
Department of Telecommunications
8 Studentska str., POB 7017 Ruse,
Bulgaria
е-mail: g_milusheva@abv.bg

