

Подходи и методи за неразрушително диагностициране на заболяването Фузариоза (*Fusarium spp.*) по царевични зърна

Пламен Даскалов

Approaches and methods for non-destructive diagnosis of Fusarium disease (*Fusarium spp.*) on maize grains: Color image processing methods, spectral analysis and statistical approaches are present in the paper as tools for assessment of corn kernels Fusarium diagnostics. Soft and Robust independent modeling of class analogy (SIMCA and RSIMCA) and discriminating power were used for informative wavelengths obtaining. Wavelets "Mexican hat" and AR models were used for features selection for classification.

Key words: Corn kernels, Fusarium diagnostics, NIR spectroscopy, SIMCA, Wavelets, AR models

ВЪВЕДЕНИЕ

Царевичата е основна зърнена култура в света, като за България тя е на второ място по площ и значение след житото. От 10 до 20 % от годишната продукция на царевични зърна в света е увредена вследствие на болести, причинени от развитието на микроорганизми и плесени. При това се нарушават качествените показатели на зърната и се причиняват алергии и токсични реакции при хора и животни.

Едно от най-вредоносните и икономически значими заболявания по житни и царевични зърна в световен мащаб е Фузариозата (*Fusarium spp.*). Съществуващите методи за идентификация на заболяването са ориентирани към изследване на биологичните и органолептичните особености на причинителя на болестта. Тези методи изискват значително време за обработка на пробите и отчасти нарушават целостта на царевичните зърна. Напоследък усилено се провеждат изследвания за диагностициране на заболяването чрез използване на неразрушителни методи. Оценка на заболяването Фузариоза се извършва посредством анализ на външни [2,9] и вътрешни признаци [8,11], които възникват при заразяването на зърната.

Съгласно БДС [14] у нас досега диагностицирането на заболяването се извършва по три метода: макроскопски, центрофугиране и биологичен, като се допускат до 3% заразени семена в изследваната партида. Най – често прилаганият метод за разпознаване на заболяването е макроскопският метод. Той се основава на преглеждането на пробата семена от експерт с око, лупа или микроскоп. Този метод е обективен и изисква повече време за обработка на контролни проби семена. На база на получения резултат от обработката на пробата се взема решение за цяла партида семена от порядъка на няколко десетки тона. Точността на разпознаване на заболелите зърна зависи от рутината на експерта. Това прави метода неприложим в промишлени условия, където се обработват големи количества царевични зърна. Субективността, еднообразността, нееднаквостта, които придружават окомерната оценка, налага в индустрията да се прилага и автоматизиране на операциите на разпознаване на заболяването.

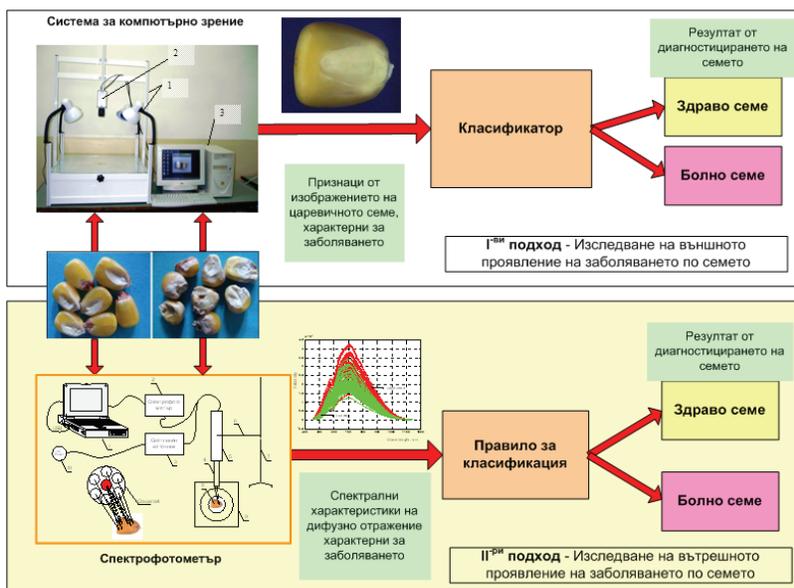
Изискванията за по-добро качество на зърната, постигащо се с по-точно разпознаване на заболяването Фузариоза наложи създаването на нови методи за експресно, неразрушително и обективно диагностициране на царевичните зърна. Тези методи се базират на анализ на цветовете [15] и спектралните [12,1,13] характеристики на зърната.

Цел на настоящата публикация е да се представи един обзор на използваните напоследък модерни неразрушителни методи за диагностициране на заболяването Фузариоза (*Fusarium spp.*) по царевични зърна и резултатите от провежданите у нас изследвания в тази област.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Окачествяването на царевични зърна у нас се извършва по основни показатели, които са регламентирани в БДС 607-73 и БДС ISO EN 13 690:2008 и които определят потребителната и търговската стойност на зърното. Един от основните качествени показатели е заболяемостта. Използват се основно два подхода (Фиг.1): 1^{st} *подход* – изследване на външното проявление на заболяването, чрез анализ на цветни цифрови изображения на зърната и 2^{nd} *подход* – изследване на вътрешното проявление на заболяването, чрез анализ на анализ на спектралните им характеристики на дифузно отражение във видимата и близката инфрачервена област.

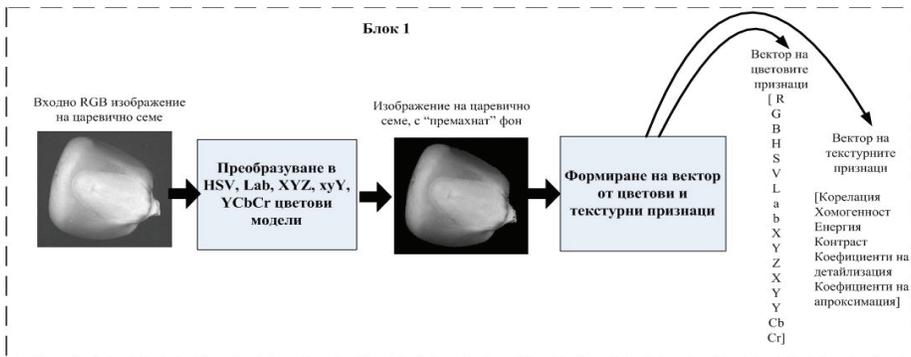
Поради това, че основно заболяването фузариоза се разпознава по външни признаци (цвет и повърхност) се търсят методи, които да наподобяват визуалната оценка на експерта. Методите, базирани на анализ на цифрови изображения най – много се доближават до човешкото зрение и са най – често използвани за оценяване на външни качествени показатели на голямо разнообразие от продукти [10]. Оценката по външни признаци само не е достатъчна поради факта, че те не винаги се проявяват [16,15]. Поради това се използват вътрешните признаци за диагностициране на състоянието на царевичните зърна. Те се оценяват с използване на спектрален анализ във видимата и близката инфрачервена област. Изследват се промените, които настъпват в зърната, при които се променя и повърхността им (цвет и текстура) чрез измерване на дифузното им отражение [17,22].



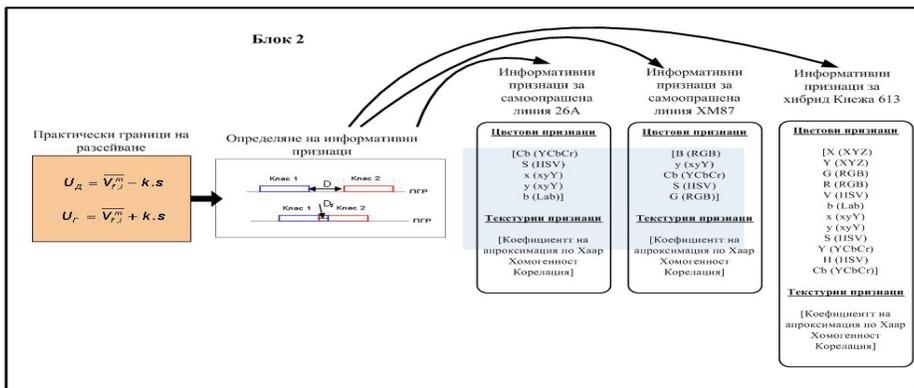
Фиг. 1. Подходи за диагностициране на заболяването фузариоза по царевични зърна

Методи за неразрушително диагностициране на заболяването (*Fusarium spp.*) на царевични зърна, чрез анализ на цветни цифрови изображения

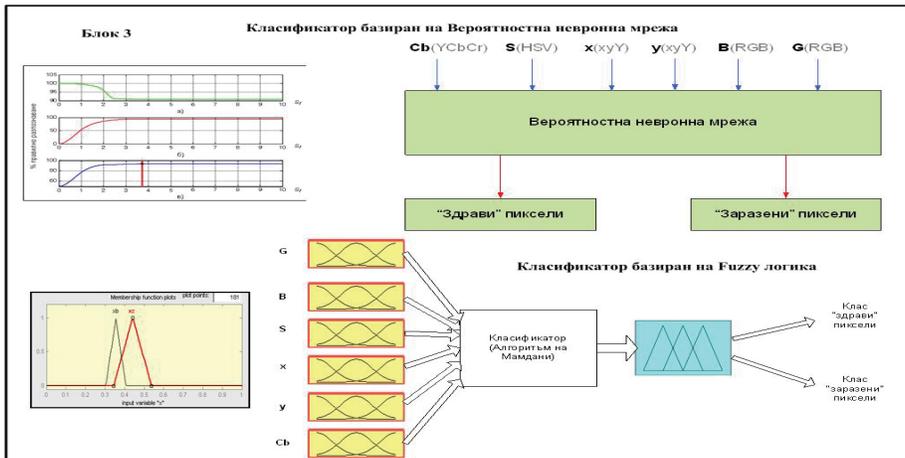
Методите, базирани на анализ на цифрови изображения се основават на информацията за изследвания обект, получена под формата на изображение. От получаването на информацията за семето до крайната оценка за вида му – здраво или заразено се извършват последователно редица процедури, описани по – долу.



а) предварителна обработка на цифровите изображения



б) Определяне на информативни признаци



в) Класификация на семената

Фиг. 3. Детайлно описание на структурата на информационния модел:

а) Блок 1, б) Блок 2, в) Блок 3

Създаването и настройването на класификаторите при различни информативни признаци също е трудоемка задача. Получаването на крайната оценка за вида на семето е свързано с дефиниране на критерии, на база на изхода на използвания класификатор. Те са най – често логически условия, които причисляват семето към единия или другия вид.

Описаните дотук процедури, са основни стъпки при разпознаване на заболяването фузариоза по царевични семена чрез анализ на цифрови изображения. Те биха могли да се обединят в т.нар. информационен модел на програмна система за автоматично разпознаване на заболяването фузариоза по царевични семена (ПСАРФ). Основните блокове формиращи информационния модел са представени на фиг. 3, а детайлните им описания в [5,19,20 и 11].

Експериментални резултати

Формираният информационен модел е приложен при разпознаване на заболяването розова фузариоза (*Fusarium Moniliforme*), по царевични семена от три вида – самоопрашени линии 26А и ХМ 87, и един хибрид Кнежа 613. Постигнатата точност на разпознаване е представена в табл. 1.

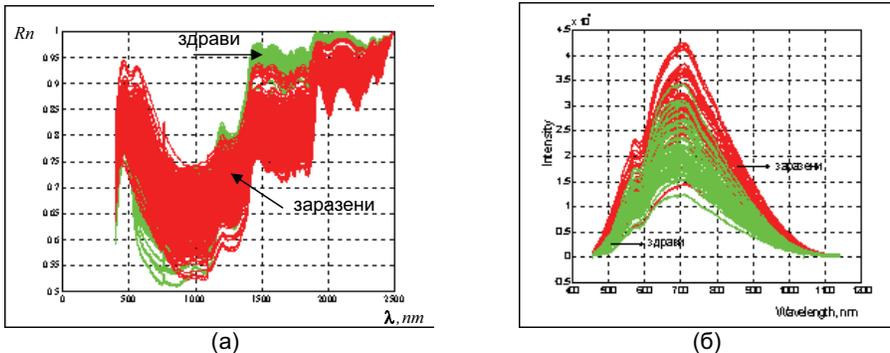
Обобщени резултати от диагностициране на розова фузариоза (*Fusarium Moniliforme*) по цветови и текстурни признаци Таблица 1

Вид царевича	% точност за здрави семена		% точност за заразени семена	
	Класификатор, базиран на PNN	Класификатор, базиран на Fuzzy логика	Класификатор, базиран на PNN	Класификатор, базиран на Fuzzy логика
ХМ 87	100	100	98,00	94,00
26А	98,57	98,57	97,14	95,71
Кн - 613	85,00	80,00	90,00	90,00

Методи за неразрушително диагностициране на заболяването (*Fusarium spp.*) на царевични зърна, чрез анализ на спектралните им характеристики на дифузно отражение във видимата и близката инфрачервена област

Спектралният анализ е приложим в случаите когато се търси връзка между показатели за качество и химични структури, характерни за определени заболявания както във видимия, така и в близката инфрачервена област на електромагнитния спектър [11]. За диагностицирането на заболяването (*Fusarium spp.*) се използва информацията от спектралните данни на царевичните зърна. Измерва се спектралното разпределение на химичните компоненти, намиращи се в зърната, като се отчита коефициентите на дифузно отражение $r(\lambda_i)$ във видимата и близката инфрачервена област на дължината на вълната (λ_i) от 400 до 2500 nm. Информация за двата класа зърна се съдържа в стойностите на тези коефициенти, които формират спектралната отражателна характеристика $R\{r(\lambda_i)\}$ на всеки от изследваните обекти (Фиг.4).

Спектралните характеристики на царевичните зърна се нормират с цел минимизиране на влиянието на външни "смуцаващи" фактори като естествени биологични различия в обектите и по този начин се подобрява точността и надеждността на резултатите.



Фиг. 4. Спектрални характеристики на отражение (а) и на интензивност (б) на здрави и заразени царевични зърна

Проблемът при използване на спектрални данни е това, че трябва да се определят първо подходящ диапазон, в който да се снимат тези данни и второ подходящи признаци за всеки от изследваните класове, които да се използват за диагностициране на заболяването по царевичните зърна. Анализът на получените данни показва, че те не могат да бъдат използвани като признак за диагностициране на заболяването без допълнителна обработка. От тях трябва да се отделят информативните участъци от спектъра, както и информативни признаци, по които да се формулират критерии за разпознаването на вида на зърната.

За целта спектралните характеристики се обработват по три подхода.

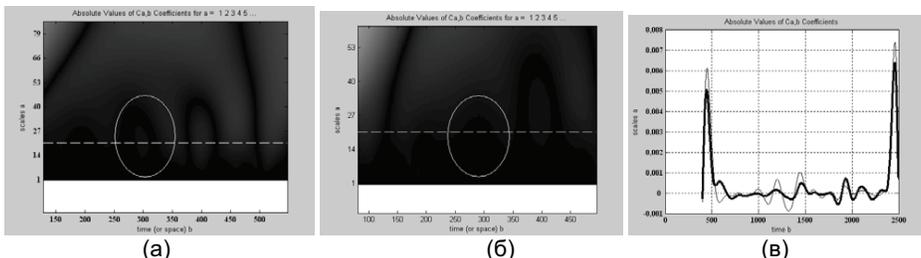
Първият подход се основава на уейвлит трансформации [17,6]. Преобразуване от семействата на непрекъснатите уейвлит преобразувания се прилага върху спектралните характеристики. Те се описват с уравнение:

$$C_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} R(\lambda) \psi\left(\frac{\lambda - b}{a}\right) d\lambda, \text{ където } C_{a,b} \text{ са уейвлит коефициентите;}$$

$R(\lambda)$ – спектралните характеристики на дифузно отражение на царевичните зърна; λ – диапазона на дължината на вълната; a и b – променливите за мащаба и положението на дължината на вълната, ψ – базовата уейвлит функция. Използва се функция от семейството на т. нар. “Мексиканска шапка”, описваща се с уравнение:

$$\psi(x) = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{-1/4}\right) (1 - x^2) e^{-x^2/2}.$$

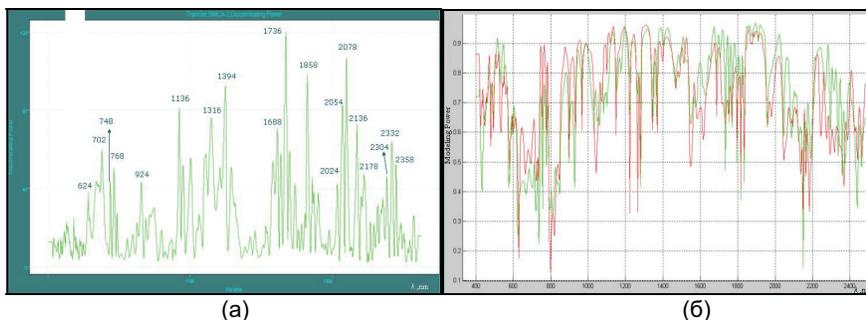
При това се получава декомпозиране на характеристиката и по-детайлно представяне на спектралните данни (Фиг.5).



Фиг. 5. Уейвлит трансформации на спектрални данни на здрави (а) и заразени (б) царевични зърна и уейвлит коефициенти $C_{a,b}$ (в)

Впоследствие уейвлет коефициентите $C_{a,b}$ се използват като признаци за разпознаване на заболяването Фузариоза. В [6] е доказана възможността знакът на уейвлет коефициента $C_{a,b}$ при $a = 21$ и $\lambda = 620nm$ да се използва като признак за разпознаване, като се постига точност на разпознаване на здравите зърна 100% , а на заразените 93,3%.

Вторият подход за обработка на спектралните данни се основава на метода SIMCA (Soft Independent Modeling of Class Analogy). Този метод се основава на подобие и дава информация за дължините на вълните, на които се базира разграничаването между отделните класове, т.нар. способност за разделяне (*Discriminating power*) (Фиг.6). Чрез използване на първа и втора производна за предварителна обработка на данните могат да се получат характерни дължини на вълните от спектъра, които да покажат има ли наличие на ензимите, присъстващи в стените на клетките за гъбите и да се оцени вида на зърното – заразено от Фузариум или не. Въз основа на тези дължини на вълните се създават водни индекси, индекси за наличие на Фузариум и др., използващи коефициента на дифузно отражение, които служат като критерии за класификация на зърната [17].



Фиг. 6. Показатели *Discriminating power* (а) и *Modeling power* (б)

На фиг. 6(б) е представена способността за моделиране на двата класа здрави и заразни царевични зърна, т.нар. способност за моделиране (*Modeling power*). Този показател дава информация относно областите от спектъра, в които могат да се търсят разлики в двата класа.

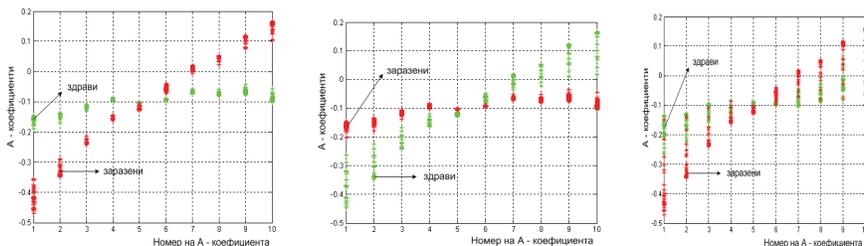
За да се преодолее негативното влияние на сортовата принадлежност на царевичните зърна и големите различия в техните спектрални характеристики се прилага робастна версия на SIMCA метода (Robust Soft Independence Model of Class Analogy – RSIMCA). В [3] е изследвана приложимостта на този метод за диагностициране на заболяването Фузариоза на царевични зърна от 7 български сорта царевица и е доказано повишение на точността на диагностицирането в 5 от тях, сравнено с използване на стандартния SIMCA метод.

Третият подход за обработка на спектралните данни се основава на апроксимация на спектралните характеристики на царевичните зърна с линейни дискретни параметрични модели от типа авторегресия (AR), описващи се със следното уравнение [4]:

$$S_{\lambda}(k) + A_1 S_{\lambda}(k-1) + \dots + A_n S_{\lambda}(k-n) = e(k),$$

където k е k -тата стойност на дължината на вълната λ , в nm; $A_i, i = (1 - n)$ - коефициентите на авторегресионния модел (AR); $S_{\lambda}(k)$ - интензитета на отразеното лъчение от царевичните семена за k -тата стойност на дължината на вълната λ ; n – ред на модела; $e(k)$ – разликата (грешката) между моделираната и реалната

характеристики. Методът е базиран на анализ на коефициентите при ред $n=10$ на линейния авторегресионен модел. Коефициентите $A_i, i=1,2...10$ се използват като признаци за разпознаване (Фиг.7).



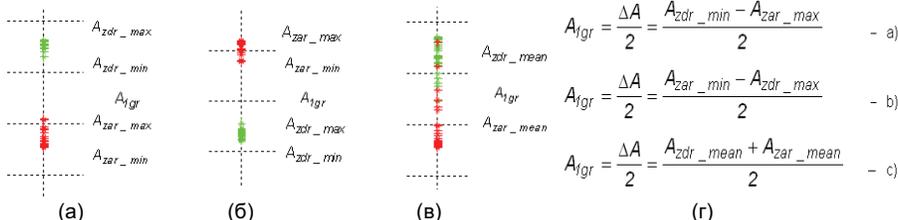
(а)

(б)

(в)

Фиг. 7. Варианти на разпределение на А-коефициентите царевичните зърна

Разпознаването на семената се основава на критерий, който определя граничната стойност на първия коефициент A_{1gr} между групата на здравите и групата на заразните зърна (Фиг.8).



Фиг.8. Условия за класификация на царевичните зърна (г) за вариантите (а),(б) и (в)

Експериментални резултати

Описани по-горе методи са приложени при разпознаване на заболяването розова Фузариоза (*Fusarium Moniliforme*), по царевични семена от седем сорта – Кнежа 308, Кнежа 436, Кнежа 613, Кнежа 620, 26А, ХМ87/136 и Русе 424. Обобщени резултати от постигнатата точност на разпознаване са представени на табл.2.

Обобщени резултати от диагностицирането на заболяването розова фузариоза (*Fusarium Moniliforme*) чрез анализ на спектрални характеристики Таблица 2

Сорт	Клас	Точност на разпознаване, %			
		SIMCA	RSIMCA	AR модели	Уейвлити по прагова ст-ст
Кнежа 308	зdravi	95	72,5	55	96,25
	заразени	97,5	100	50	86,25
Кнежа 436	зdravi	40	100	95	95
	заразени	100	75	100	90
Кнежа 613	зdravi	100	100	52,5	93,75
	заразени	97,5	100	50	90,83
Кнежа 620	зdravi	97,5	100	82,5	100
	заразени	97,5	97,5	75	95
26А	зdravi	100	90	95	100
	заразени	95	100	100	78,75
ХМ87/136	зdravi	100	92,5	100	99,17
	заразени	97,5	100	100	90,83
Русе 424	зdravi	100	100	100	98,75
	заразени	100	100	97,5	93,75

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сортовата принадлежност на царевичните зърна съществено влияе върху точността на диагностициране на заболяването Фузариоза при всички изследвани методи.

При комбинирано диагностициране на заболяването Фузариоза чрез анализ на цветови и текстурни признаци се повишава точността на диагностициране и при трите изследвани сорта царевични зърна, като максималната точност достига до 100% за здравите семена и до 98% за заразените семена от самоопрашена линия ХМ 87.

С уейвлит подхода се получава класификационна точност над 95% при четири сорта царевица – Кнежа 436, Кнежа 613, Кнежа 620 и Русе 424.

Стойностите на параметъра Interclass Distance от метода SIMCA показват добра разделяемост на класовете (зdravi и заразени) за шест от изследваните седем сорта царевица.

Обработката със SIMCA метод дава сравнително висока точност на разпознаване на заразени с Фузариоза царевични зърна. Най-добри резултати са получени при модела с втора производна на спектралните данни. Средната точност за всички сортове царевични зърна достига 96.43% правилно разпознати.

При използването на робастен SIMCA метод за класификация на спектралните данни за здрави и заразени от Фузариоза царевични зърна се наблюдава подобряване на резултатите в сравнение с направения стандартен SIMCA анализ на данните при пет от изследваните седем сорта.

Използването на класификатор от тип линейни дискретни модели се характеризира с лесна и бърза изчислителна процедура. Този подход е приложим за разпознаване на здрави и заразени от Фузариоза царевични зърна за четири сорта – 26А, Кнежа 436, ХМ87/136 и Русе 424.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Bauriegel, E., Early detection of Fusarium infection in wheat using hyper-spectral imaging, Computers and Electronics in Agriculture, Vol.75(2), p.304-312, 2011.

[2] Choudhary, R., J.Paliwal, D.S.Jayas, Classification of cereal grains using wavelet, morphological, colour, and textural features of non-touching kernel images. Biosystems Engineering, 2008, 330–337.

[3] Daskalov P., V. Mancheva, Ts. Draganova, Improvement of healthy and Fusarium diseased corn kernels classification using Robust SIMCA method, Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, № 12 (166) 2011, ISSN 1998-7927.

[4] Daskalov, P., V. Mancheva, Ts. Draganova, R. Tsonev, 2010. An approach for *Fusarium* diseased corn kernels recognition using linear discrete models, Agricultural Science and Technology, Vol.2, Number 2, p.90-95

[5] Draganova Ts., P. Daskalov, R. Tsonev, Model of Software System for automatic corn kernels Fusarium (spp.) disease diagnostics, Proceedings of 14th WSEAS International Conference on COMPUTERS, Corfu island, Greece, July 23-25, 2010, pp. 362 – 367.

[6] Draganova Ts., V. Mancheva, P. Daskalov, R. Tsonev, Wavelet based approach for Fusarium corn kernels recognition using spectral data processing, Proceedings of 10th IFAC workshop on Programmable Devices and Embedded Systems (PDeS), Psczyna, October 6th – 7th, 2010, pp. 19 – 23.

[7] Ford A., A. Roberts., "Colour space conversions", 1998.

[8] Maghirang, E.B., F.E.Dowell, J.E.Baker, J.E.Throne, Automated detection of single wheat kernels containing live or dead insect using near-infrared reflectance spectroscopy. Transactions of the ASAE, 2003, 46,1277–1282.

[9] Majumdar, S., D.S. Jayas, Classification of cereal grains using machine vision. IV. Morphology, color, and texture models. Transactions of the ASAE, 2000, 43, 1689–1694.

[10] Ng, H.F., Wilcke, W.F., Morey, R.V., Lang, J.P. Machine vision evaluation of corn kernel mechanical and mold damage. Transactions of the ASAE, 1998, Vol. 41(2), p. 415–420.

[11] Pimstein, A., A. Karnieli, D. Bonfil, Wheat and maize monitoring based on ground spectral measurements and multivariate data analysis, Journal of Applied Remote Sensing, 2007, Vol. 1, 1 – 16.

[12] Scotford, I.M., P.C.H. Miller Applications of Spectral Reflectance Techniques in Northern European Cereal Production: A Review. Biosystems Engineering, 2005, (90) 235–250.

[13] Williams, P., M. Manley, 2010. Indirect detection of *Fusarium verticillioides* in maize (*Zea mays* L.) kernels by near infrared hyperspectral imaging, Journal of Near Infrared Spectroscopy, 18, p.49–58

[14] БДС 14852-79. Методи за определяне на пораженията от болести и неприятели на семенния материал. 1980.

[15] Драганова, Ц., Изследване на диагностицирането на заболяването фузариоза (*Fusarium spp.*) по царевични семена чрез използване на цифрови изображения и спектрални характеристики., Докторска дисертация, 2006

[16] Драганова Ц., Р.Цонев, Пл.Даскалов. "Оценяване на заболяването фузариоза на царевични зърна чрез анализ на цветовете им изображения.", „Научни трудове на Русенски Университет „Ангел Кънчев“, Том 40, Серия 1.1, 2003 , с.25-32.

[17] Драганова Ц., П. Даскалов, П. Велева – Донева, Информационни характеристики на спектралните данни на царевични семена при диагностициране на заболяването фузариум, Международна научна конференция УНИТЕХ'10, Габрово, 2010, с. 1543 – 1547.

[18] Драганова Ц. "Изследване информативността на цветови признаци използвани при разпознаване на *Fusarium* по царевични семена." Научни трудове на РУ "Ангел Кънчев", 2005, с. 106-112.

[19] Драганова Ц., П. Даскалов, Р. Цонев, Класификация на царевични семена по цветови характеристики, Международна конференция по Автоматика и Информатика, София, 2008, ISSN 1313 – 1850, VII – 13.

[20] Драганова Ц., П. Даскалов., Р. Цонев, Разпознаване на заболели от фузариоза царевични семена по текстурни признаци, Научна конференция с международно участие "Хранителна наука, техника и технологии", Пловдив, 2007, стр. 83 – 88.

[21] Драганова Ц., Р. Цонев, П. Даскалов., Сравнителен анализ на статистически методи за оценяване информативност на признаци, използвани за разпознаване на заболяването фузариоза по царевични семена, Научна конференция с международно участие "Хранителна наука, техника и технологии", Пловдив, 2007, стр. 77 – 8.

[22] Манчева, В., Оценка възможностите за диагностициране на заболели от Фузариоза царевични семена чрез спектрален анализ и SIMCA метод, Научна конференция на РУ "А. Кънчев", 2010, (под печат).

За контакти:

Доц. д-р инж. Пламен Иванов Даскалов, Катедра "Автоматика, информационна и управляваща техника", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 668, e-mail: daskalov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.