

Сравнителна морфологична и биохимична характеристика на семена от видове на род *Sorghum*

Ирена Голубинова^{1*}, Петя Иванова², Пламен Маринов-Серафимов¹, Станимир Енчев³, Анна Илиева¹

¹ Институт по фуражните култури, Плевен

² Институт за изследване и развитие на храните, Пловдив

³ Земеделски институт, Шумен

*E-mail: golubinova@abv.bg

Резюме

През периода 2016-2017 година в лабораторни условия са проучени някои от основните морфологични и биохимични различия на семена при видове от род *Sorghum*, включващи показателите: размер на семената (mm), индекс на ексцентричност (EI), оцветяване на семената и цвят на перикарпа. Определени са и някои от основните биохимични показатели: суров протеин (СП), сурови мазнини (СМ), фосфор (Р), калций (Са), магнезий (Mg), водоразтворими захари, общи полифеноли (mg GAE/100g), както и антиоксидантна активност ($\mu\text{mol TE}/100\text{g}$). Установено е, че оцветяването на семената при *S. bicolor* и *S. halepense* е в червения цветови тон (a е 6.26 и 6.79), докато при *S. sudanense* и *S. vulgare* var. *technicum* то е в жълто-оранжевия тон (b е 12.73 и 15.62). Съотношението между червения и жълтия цветови тон (a/b) е най-високо при *S. bicolor* (6.1) и най-ниско при *S. vulgare* var. *technicum* (1.5). Доказано е, че съдържанието на суров протеин е най-високо в семената на *S. vulgare* var. *technicum* (11.90%) в сравнение с това на *S. bicolor* (6.43%), *S. sudanense* (7.83%) и *S. halepense* (8.13%). Семената на *S. vulgare* var. *technicum* съдържат най-голямо количество общи полифеноли (615 mg GAE/100 g) и са с най-ниска антиоксидантна активност (44166.67 $\mu\text{mol TE}/100$ g), докато при *S. bicolor* съдържанието на общи полифеноли е най-ниско (230 mg GAE/100 g), а антиоксидантната активност е най-висока (82500.00 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$). Установени са статистически значими корелационни зависимости между масата на 1000 семена и: ширина на семената ($r = 0.944$) и яркост на цвета ($r = 0.992$); между съдържанието на суров протеин и: сурови мазнини ($r = 0.936$) и общи полифеноли ($r = 0.993$), както и при взаимовръзката между сурови мазнини и общи полифеноли ($r = 0.945$). Установените зависимости придобиват практическо значение при извършване на предварителен скрининг и оценка на качеството на семената. Според направената комплексна оценка, *S. vulgare* var. *technicum* се откроява с най-високо съдържание на суров протеин (11.90%), сурови мазнини (5.00%) и водоразтворими захари (1.330%) в семената.

Ключови думи: видове от род *Sorghum*; семена; морфологични характеристики; биохимични характеристики

Comparative morphological and biochemical characteristics of seeds of *Sorghum* species

Irena Golubinova^{1*}, Petya Ivanova², Plamen Marinov-Serafimov¹, Stanimir Enchev³, Anna Ilieva¹

¹ Institute of Forage Crops, Pleven

² Food Research and Development Institute, Plovdiv

³ Agricultural Institute, Shumen

*E-mail: golubinova@abv.bg

Abstract

Golubinova, I., Ivanova, P., Marinov-Serafimov, P., Enchev, S. & Ilieva, A. (2017). Comparative morphological and biochemical characteristics of seeds of Sorghum species. *Rastenievadni nauki*, 54(5), 21-29 (Bg).

During the period 2016-2017, some of the basic morphological and biochemical characteristics of seeds in *Sorghum* species are studied, including seed size (mm), eccentricity index (EI), seed coloring, and color of pericarp. Some of the basic biochemical parameters - crude protein (SP), crude fat (SM), phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), water soluble sugars, total polyphenols (mg GAE/100g) as well as antioxidant activity ($\mu\text{mol TE}/100\text{g}$) were studied in laboratory conditions. It was found that the coloring of the seeds of *S. bicolor* and *S. halepense* is in red color tone (a is 6.26 and 6.79), while the coloring of the seeds of *S. sudanense* and *S. vulgare* var. *technicum* is in the yellow-orange color tone (b is 12.73 and 15.62). The ratio of red and yellow color tone (a/b) is highest for *S. bicolor* (6.1) and lowest for *S. vulgare* var. *technicum* (1.5). It is proved that the crude protein content was highest in the seeds of *S. vulgare* var. *technicum* (11.90%) compared to *S. bicolor* (6.43%), *S. sudanense* (7.83%) and *S. halepense* (8.13%). The seeds of *S. vulgare* var. *technicum* contain the greatest amount of total polyphenols (615 mg GAE/100g) and they are with lowest antioxidant activity (44166.67 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$), while the *S. bicolor* content of the general polyphenols is lowest (230 mg GAE/100g) and its antioxidant activity is highest (82500.00 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$). Statistically significant correlation relationships were found between 1000 seeds weight and: width of the seeds ($r = 0.944$) and color brightness ($r = 0.992$); between crude protein content and: crude fat ($r = 0.936$) and total polyphenols ($r = 0.993$), as well as between crude fat and total polyphenols ($r = 0.945$). Established correlation relationships are important in assessing and pre-screening for seed quality evaluation. According to the complex evaluation *S. vulgare* var. *technicum* stands out with the highest crude protein content (11.90%), crude fat (5.00%) and water-soluble sugars (1.330%) in the seeds.

Keywords: Sorghum species; seeds; morphological characteristics; biochemical characteristics

Според различни проучвания и таксономически класификации, към род *Sorghum* принадлежат 25-30 вида диви и културни форми с разностранно приложение (Dahlberg, 2000). В зависимост от морфологичните признаци и характера на използването им, различните форми от този род се групират в четири вариетета – зърнесто сорго *Sorghum bicolor* (L.) Moench., захарна метла *Sorghum vulgare* var. *saccharatum* L., техническо сорго (метла) *Sorghum vulgare* var. *technicum* (Körn.), суданка *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf. и балур *Sorghum halepense* (L.) Pers.

Видовете от род *Sorghum* притежават висок продуктивен потенциал и могат да се използват като храна за човека, фураж за животните, суровина за промишлеността и за производството на биогорива (Kikindonov et al., 2008; Bibi et al., 2010; Serna-Saldívar et al., 2012). Благодарение на високата си екологична пластичност (Moyer et al., 2003) и повишена устойчивост към неблагоприятни абиотични фактори на средата (високи температури, продължително засушаване, високо рН на почвата и др.), както и адаптив-

ност към специфичните условия за всеки един регион на света, видовете от род *Sorghum* се определят като перспективни култури в сеитбоображенията, в условия на глобално затопляне и засушаване (Berenji and Dahlberg, 2004; Ahmerov, 2007; Dahlberg et al., 2011). От гледна точка на многостранното приложение и широкообхватното икономическо, социално и екологично значение, видовете от род *Sorghum* са включени в научно-изследователски програми, като в много от тях се извършват систематични изследвания на диви и местни сортове и популации (Khan et al., 2000; Angelova et al., 2011; Dahlberg et al., 2011; Serna-Saldívar et al., 2012; Mikić and Mihailović, 2014).

В значителен брой изследвания са проучвани редица морфологични показатели и биохимични качества на семената от *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf., *Sorghum vulgare* var. *technicum*, *Sorghum halepense* (L.) Pers., но не е направена сравнителна морфологична характеристика и биохимична оценка на семена между диви и културни видове от род *Sorghum*.

Целта на изследването е да се проучи и направи сравнителна морфологична характеристика и биохимична оценка на семена от видове на род *Sorghum*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

За периода 2016–2017 е извършена сравнителна морфологична характеристика и биохимична оценка на семена от видове на род *Sorghum* (Табл. 1). Семената от сорго за зърно (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), суданка (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.) и техническо сорго (метла) (*Sorghum vulgare* var. *technicum*) са реколтирани във фенофаза ВВСН 89 (Hess et al., 1997) от конкурсни и сравнителни полски опити, а семената от балур (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) са събирани от парцели с естествен фон на заплевеляване в Института по фуражните култури – Плевен.

Определени са някои от основните морфологични характеристики - дължина и ширина на семената (mm), индекс на ексцентричност (Eccentricity Index - EI), цвят на перикарпа (по Cervantes et al., 2016), маса на 1000 броя семена и брой семена в една метлица. Формата на семената е определяна дорзално (UPOV, 2015). Цветовете характеристики на семената са определяни след предварително смилане в мелница Retsch SM-1 с големина на ситата 1.0 mm, чрез спектрални анализи по Gardner - инструментално с колориметър “Colorgard 2000” на фирма BYK-Gardner Inc., USA. Показателите са отчетени по системата CIE Lab. При измерването са взети 3

цветови координати: L , a и b , съответно L – яркост на цвета ($L = 0$ – черно, $L = 100$ – бяло); a – положителните стойности на показателя характеризират количеството на червения цвят, а отрицателните – на зеления цвят; b – положителните стойности характеризират жълтия цвят, а отрицателните – синия цвят; съотношение a/b (Tiryaki et al., 2016).

Анализирани са и някои от биохимичните показатели: суров протеин (СП) в процент от сухото вещество (СВ) по класическия метод на Келдал, след определяне на количеството азот (N) по формулата: $СП = N \times 6.25$; сурови мазнини (СМ) по остатъчния метод на Соксле в процент; фосфор (P) в процент от сухото вещество – по ванадат-молибдатния метод на Герике и Кумис (Sandev, 1979); калций (Ca) в процент от сухото вещество – комплексометрично (Sandev, 1979); магнезий (Mg) - колориметрично, метод с титаново жълто (Menshikov, 1987); съдържание на водоразтворими захари, % (Ermakov et al., 1987); съдържание на общи полифеноли (mg GAE/100 g) по модифицирания метод на Singleton and Rossi (1965). Получените резултати са представени като еквиваленти на галова киселина (GAE) за 100 g екстракт. Антиоксидантната активност ($\mu\text{mol TE}/100\text{g}$) е определяна (DPPH тест) по модифицирания метод на Brand-Williams et al. (1995). Получените резултати са представени като еквиваленти Trolox (TE) за 100 g екстракт.

Получените резултати са обработени математико-статистически с програмните продукти STATGRAPHICS Plus for Windows, Version 2.1 и Statistica 10.

Таблица 1. Видове от род *Sorghum*
Table 1. Species of the genus *Sorghum*

| Вид / Species | Метод на създаване / Method of creation |
|---|---|
| Сорго за зърно - <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench | Експериментален мутагенез / Experimental mutagenesis |
| Суданка - <i>Sorghum sudanense</i> (Piper) Stapf. | Експериментален мутагенез / Experimental mutagenesis |
| Техническо сорго (метла) - <i>Sorghum vulgare</i> var. <i>technicum</i> | Местен сорт / Local variety |
| Балур - <i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers. | Местна популация / Local population |

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Морфологичните характеристики на семена от видове на род *Sorghum* са представени в Таблица 2.

Дължината на семената варира в относително тесни граници – от 4.06 до 5.11 mm, а по отношение на ширината се установяват съществени различия – относително най-широки са семената на *S. bicolor* (3.90 mm), следвани от *S. vulgare* var. *technicum* (3.18 mm) и най-тесни при *S. halepense* (1.74 mm). Ширината на семената при *S. sudanense* заемат междинна позиция (2.10 mm) в сравнение с останалите видове. Тези разлики могат да бъдат обяснени с формата на зърното – удължено-елиптично за *S. sudanense* и *S. halepense*, овално при *S. vulgare* var. *technicum* и кръгло при *S. bicolor*. Броят на семена в една

метлица за конкретните условия на проучване при тестваните видове варира от 516 до 1042 бр. Най-голям брой семена в една метлица (от 980 до 1042) са отчетени при *S. vulgare* var. *technicum*, а най-малък (от 255 до 450) – при *S. sudanense*. Масата на 1000 семена при видовете от род *Sorghum* е в границите от 4.67 до 28.51 g. Относително най-голямо абсолютно тегло на семената е установено при *S. bicolor*, следван от *S. vulgare* var. *technicum* и *S. sudanense*, които превишават проучвания показател от 3.2 до 6.1 пъти спрямо масата на 1000 семена при *S. halepense*. Установена е силна отрицателна корелационна зависимост между масата на 1000 семена и EI коефициента ($r = -0.923$). Оцветяването на зърното при видовете от род *Sorghum* е видов белег, а интензивността на оцветяване на перикарпа зависи от метеорологичните условия през вегетационния

Таблица 2. Морфологични и цветови характеристики на семената при видове от род *Sorghum*
Table 2. Morphological and color characteristics of seeds of *Sorghum* species

| Показатели Indicators | | Вид / Species | | | |
|---|--|----------------------------|---------------------------|--|---------------------|
| | | <i>S. bicolor</i> | <i>S. sudanense</i> | <i>S. vulgare</i> var. <i>technicum</i> | <i>S. halepense</i> |
| Размер на семената, mm/ Seed size, mm | Дължина, mm/ Length, mm | 4.06a ± 0.10* | 5.11c ± 0.15* | 4.52a ± 0.24* | 4.67bc ± 0.2* |
| | Ширина, mm Width, mm | 3.90c ± 0.03* | 2.10a ± 0.10* | 3.18b ± 0.28* | 1.74a ± 0.06* |
| Индекс на ексцентричност/ Eccentricity index (EI) | | 1.04a ± 0.02* | 2.49c ± 0.14* | 1.52b ± 0.13* | 2.71c ± 0.16* |
| Цветови характеристики на семената/ Color characteristics of seeds | L - яркост на цвета/ L - color brightness | 73.06a ± 0.231* | 55.37b ± 0.248* | 61.73c ± 0.365* | 47.28d ± 0.084* |
| | a - червен цветови тон/ a - red color tone | 6.26a ± 0.074* | 11.13d ± 0.068* | 10.21c ± 0.170* | 6.79b ± 0.023* |
| | b - жълт цветови тон/ b - yellow color tone | 10.17b ± 0.032* | 12.73c ± 0.043* | 15.62d ± 0.130* | 8.75a ± 0.026* |
| a/b съотношение a/b ratio | | 0.62 ± 0.032* | 0.87 ± 0.054* | 0.65 ± 0.081* | 0.78 ± 0.025 |
| Маса на 1000 семена, g/ 1000 seeds weight, g | | 28.51 ± 0.8* | 14.85 ± 0.6* | 18.26 ± 0.9* | 4.67 ± 0.2* |
| Брой семена на една метлица/ Number of seeds per broom | | 573 ÷ 868 | 516 ÷ 684 | 980 ÷ 1042 | 255 ÷ 450 |
| Цвят на перикарпа на семената/ Color of the pericarp of the seeds | | Тъмно кафяв/ Dark brown | Тъмно червен/ Dark red | Керемидено кафяв/ Brick brown | Черен/ Black |

Легенда: a, b, c, d, e – статистически доказани разлики LSD при P=0.05; * ± стандартна грешка на средната аритметична

Legend: a, b, c, d, e – statistically proven differences LSD in P=0.05; * ± standard error of the arithmetic mean

период на културите (Wanuska, 2000; Pedersen and Toy, 2001; Funnell and Pedersen, 2006).

Цветовата чистота (яркост на цвета) на семената при *S. bicolor* и *S. halepense* е в червения цветови тон (*a* е съответно 6.26 и 6.79). При *S. sudanense* и *S. vulgare* var. *technicum* е от 1.5 до 1.8 пъти по-висока (до 77.7%), докато доминиращата дължина на вълната е в жълто-оранжевия цветови тон (*b* е съответно 12.73 и 15.62). Яркостта на цвета (*L*) при четирите вида *Sorghum* е в диапазона от 47.28 до 73.06. Съотношението между червения и жълтия цветови тон (*a/b*) е най-високо при *S. bicolor* (6.1) и най-ниско при *S. vulgare* var. *technicum* (1.5) (Табл. 2).

Оцветяването на перикарпа варира от тъмно кафяво при *S. bicolor* до черно при *S. halepense*, докато при *S. sudanense* е виненочервен, а при *S. vulgare* var. *technicum* е керемиденокафяв. Според проучванията на Hahn and Rooney (1986) различията в оцветяването на перикарпа при видовете от род *Sorghum* е вследствие натрупване на флавоноидни съединения и антоцианинови и антоцианидни пигменти, както и на танини (Earp and Rooney, 1986; Earp et al., 2004).

Установени са статистически значими корелационни зависимости между редица морфо-

логични и цветови характеристики на семената при разглежданите видове от род *Sorghum* (Табл. 3). Анализът на получените резултати показва, че дължината на семената е в отрицателна корелационна зависимост с ширината ($r = -0.822$). Масата на 1000 семена е в положителна корелационна зависимост с ширината ($r = 0.944$) и с яркостта на цвета (*L*) ($r = 0.992$), в отрицателна с дължината ($r = -0.649$) и с индекса на ексцентричност ($r = -0.923$). Яркостта на цвета (*L*) на семената е в положителна корелационна зависимост с ширината ($r = 0.975$) и в отрицателна ($r = -0.740$) с дължината на семената (Табл. 3).

В Таблица 4 са представени резултатите от биохимичните анализи на семената от видове на род *Sorghum*. Установено е, че съдържанието на суров протеин (азот) е най-високо в семената на *S. vulgare* var. *technicum* (11.90%) в сравнение с това при *S. bicolor*, *S. sudanense* и *S. halepense*, съответно 6.43, 7.83 и 8.13%. Резултатите от дисперсионния анализ показват статистически значими разлики ($p = 0.05$) в съдържанието на суров протеин при изследваните видове (Табл. 4). Съдържанието на сурови мазнини в семената следва установените тенденции по отношение съдържанието на суров протеин - най-високо е

Таблица 3. Коефициенти на корелация (Pearson correlation) между морфологични и цветови характеристики на семена от видове на род *Sorghum*

Table 3. Coefficients of correlation (Pearson correlation) between morphology and color characteristics of seeds from *Sorghum* species

| Показатели/Parameters | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Дължина, mm/ Length, mm | 1 | 1.000 | | | | | | | |
| Ширина, mm/ Width, mm | 2 | -0.822 | 1.000 | | | | | | |
| Индекс на ексцентричност (EI)/ Eccentricity index (EI) | 3 | 0.830 | -0.998 | 1.000 | | | | | |
| L - яркост на цвета)/ L - color brightness) | 4 | -0.741 | 0.975 | -0.960 | 1.000 | | | | |
| a - червен цветови тон/ a - red color tone) | 5 | 0.727 | -0.251 | 0.247 | -0.208 | 1.000 | | | |
| b - жълт цветови тон/ b - yellow color tone) | 6 | 0.213 | 0.250 | -0.275 | 0.201 | 0.809 | 1.000 | | |
| a/b съотношение/ a/b ratio | 7 | 0.931 | -0.874 | 0.898 | -0.753 | 0.462 | -0.141 | 1.000 | |
| Маса на 1000 семена, g/ 1000 seeds weight, g | 8 | -0.649 | 0.944 | -0.923 | 0.992 | -0.112 | 0.243 | -0.666 | 1.000 |

съдържанието на сурови мазнини при *S. vulgare* var. *technicum* (5.00%) и най-ниско при *S. bicolor* (3.15%). Съдържанието на фосфор в семената на анализиранияте видове е с близки стойности, съответно от 0.547% при *S. vulgare* var. *technicum* до 0.461% при *S. sudanense*, като разликите в процентното съдържание са статистически недоказани при $p = 0.05$.

Количественото съдържание на магнезий в семената на анализиранияте видове зависи основно от видовата принадлежност. Относително най-високо е съдържанието му в семената на *S. vulgare* var. *technicum* и *S. halepense*, съответно 0.157 и 0.116%. При *S. bicolor* и *S. sudanense* са отчетени относително ниски стойности - съответно 0.070% и 0.090% при средна стойност за проучвания показател 0.104%.

По съдържание на водоразтворими захари в семената анализиранияте видове могат условно

да се разделят в две групи: с относително високо съдържание (от 1.150 до 1.330%) - *S. halepense* и *S. vulgare* var. *technicum* и с ниско (от 0.330 до 0.675%) - *S. sudanense* и *S. bicolor*, като разликите между двете групи са статистически доказани при $p = 0.05$. Аналогични са и получените резултати при определяне съдържанието на общи полифеноли в семена. Общото полифенолно съдържание варира в сравнително широки граници - най-високо е при *S. vulgare* var. *technicum* (615 mg GAE/100g) и най-ниско при *S. bicolor* (230 mg GAE/100g), докато *S. halepense* и *S. sudanense* заемат междинна позиция – съответно 355 и 370 mg GAE/100g.

Антиоксидантната активност е най-висока при *S. bicolor* (82500.00 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$) и най-ниска при *S. vulgare* var. *technicum* (44166.67 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$), а значителните разлики могат да бъдат обяснени с видовата им принадлежност. Следо-

Таблица 4. Химичен състав на семена при видове от род *Sorghum*

Table 4. Chemical composition of seeds of *Sorghum* species

| Показатели Indicators | Вид / Species | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|--|---------------------------|
| | <i>S. bicolor</i> | <i>S. sudanense</i> | <i>S. vulgare</i> var. <i>technicum</i> | <i>S. halepense</i> |
| Суров протеин (СП) **/ Crude protein (SP) ** | 6.43a \pm 0.020* | 7.83b \pm 0.070* | 11.90c \pm 0.090* | 8.13b \pm 0.12* |
| Сурови мазнини (СМ) **/ Crude fat (CF)** | 3.15a \pm 0.010* | 3.98b \pm 0.110* | 5.00d \pm 0.010* | 4.29 \pm 0.03* |
| Азот (N) **/ Nitrogen (N)** | 1.03a \pm 0.003* | 1.25b \pm 0.0110* | 1.90c \pm 0.0150* | 1.30b \pm 0.019* |
| Фосфор (P) **/ Phosphorus (P)** | 0.485a \pm 0.055* | 0.461a \pm 0.022* | 0.547a \pm 0.014* | 0.479a \pm 0.004* |
| Калций (Ca) **/ Calcium (Ca)** | 0.070a \pm 0.0021* | 0.090a \pm 0.0200* | 0.110a \pm 0.070* | 0.055a \pm 0.015* |
| Магнезий (Mg) **/ Magnesium (Mg)** | 0.070a \pm 0.0020* | 0.072a \pm 0.0115* | 0.157c \pm 0.007* | 0.116b \pm 0.008* |
| Водоразтворими захари, %/ Water-soluble sugars, % | 0.675a \pm 0.115* | 0.330a \pm 0.015* | 1.330b \pm 0.110* | 1.150b \pm 0.115* |
| Общи полифеноли, mg GAE/100g/ Total polyphenols, mg GAE/100g | 230.0a \pm 0.2* | 370.0a \pm 0.1* | 615.0d \pm 0.3* | 355.0b \pm 0.1* |
| Антиоксидантна активност, $\mu\text{mol TE}/100\text{g}/$ Antioxidant activity, $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ | 82500.00b \pm 0.006* | 50833.33a \pm 0.024* | 44166.67a \pm 0.005* | 64166.67b \pm 0.005* |

Легенда: a, b, c, d, e – статистически доказани разлики LSD при $P=0.05$; * \pm стандартна грешка на средната аритметична, ** процент от сухото вещество

Legend: a, b, c, d, e – statistically proven differences LSD in $P=0.05$; * \pm standard error in the arithmetic mean; ** percent of dry matter

вателно видове с по-тъмно и по-интензивно оцветяване на перикарпа са с по-висока антиоксидантна активност в сравнение с по-светло оцветените. Установените зависимости са в унисон с публикуваните резултати от Dykes et al. (2005).

Установени са корелационни зависимости между проучваните показатели от извършените анализи на биохимичния състав на семената при видове на род *Sorghum* (Табл. 5). Високи положителни корелационни зависимости са установени между съдържанието на суров протеин и: сурови мазнини ($r = 0.936$), макроелементи - фосфор, калций и магнезий (r е в диапазона от 0.744 до 0.922), общи полифеноли ($r = 0.993$), както и при взаимовръзката сурови мазнини и общи полифеноли ($r = 0.945$). Подобни зависимости са изследвани в експерименталната работа на Uchimiya et al. (2016) и Jeon et al. (2017).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направена е комплексна оценка по морфологични признаци и биохимични показатели

на семена от видове на род *Sorghum* - *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf., *Sorghum vulgare* var. *technicum* и *Sorghum halepense* (L.) Pers. Определени са цветовите характеристики на семената (L , a и b), като при *S. bicolor* и *S. halepense* те са в червения цветовеи тон, (a е съответно 6.26 и 6.79), докато при *S. sudanense* и *S. vulgare* var. *technicum* са в жълто-оранжевия тон (b е съответно 12.73 и 15.62). Съотношението между червения и жълтия цветовеи тон (a/b) е най-високо при *S. bicolor* (6.1) и най-ниско при *S. vulgare* var. *technicum* (1.5).

Доказано е, че съдържанието на суров протеин е най-високо в семената на *S. vulgare* var. *technicum* (11.90%) в сравнение с това при *S. bicolor* (6.43%), *S. sudanense* (7.83%) и *S. halepense* (8.13%). Семената на *S. vulgare* var. *technicum* съдържат най-голямо количество общи полифеноли (615 mg GAE/100g) и са с най-ниска антиоксидантна активност (44166.67 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$), докато при *S. bicolor* съдържанието на общи полифеноли е най-ниско (230 mg GAE/100g), а антиоксидантна активност е най-висока (82500.00 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$).

Таблица 5. Коефициенти на корелация (Pearson correlation) между химичния състав на семената на видове от род *Sorghum*

Table 5. Coefficients of correlation (Pearson correlation) between chemical compositions of seeds of *Sorghum* species

| Показатели/Parameters | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Суров протеин (СП)/ Crude protein (SP) | 1 | 1.000 | | | | | | | |
| Сурови мазнини (СМ)/ Crude fat (CF)* | 2 | 0.936 | 1.000 | | | | | | |
| Азот (N)/ Nitrogen (N) | 3 | 1.000 | 0.936 | 1.000 | | | | | |
| Фосфор (P)/ Phosphorus (P) | 4 | 0.864 | 0.668 | 0.865 | 1.000 | | | | |
| Калций (Ca)/ Calcium (Ca) | 5 | 0.744 | 0.554 | 0.743 | 0.826 | 1.000 | | | |
| Магнезий (Mg)/ Magnesium (Mg) | 6 | 0.922 | 0.905 | 0.923 | 0.811 | 0.441 | 1.000 | | |
| Водоразтворими захари, %/ Water-soluble sugars,% | 7 | 0.698 | 0.686 | 0.700 | 0.790 | 0.102 | 0.916 | 1.000 | |
| Общи полифеноли, mg GAE/100g/ Total polyphenols, mg GAE/100g | 8 | 0.993 | 0.945 | 0.992 | 0.805 | 0.779 | 0.880 | 0.618 | 1.000 |
| Антиоксидантна активност, $\mu\text{molTE}/100\text{g}$ / Antioxidant activity, $\mu\text{molTE}/100\text{g}$ | 9 | -0.809 | -0.868 | -0.807 | -0.422 | -0.740 | -0.601 | -0.241 | -0.873 |

Установени са статистически значими корелационни зависимости между редица морфологични признаци на семена от видове на род *Sorghum* - между масата на 1000 семена и: ширина ($r = 0.944$) и яркост на цвета ($r = 0.992$) на семената, както и между редица биохимични показатели – между съдържанието на суров протеин и: сурови мазнини ($r = 0.936$), общи полифеноли ($r = 0.993$), както и при взаимовръзката между сурови мазнини и общи полифеноли ($r = 0.945$). Тези зависимости придобиват практическо значение при извършване на предварителен скрининг и оценка на качеството на семената. Според направената комплексна оценка, *S. vulgare* var. *technicum* (Körn.) се откроява с най-високо съдържание на суров протеин (11.90%), сурови мазнини (5.00%) и водоразтворими захари (1.330%).

ЛИТЕРАТУРА

- Ahmerov, N. I.** (2007). Effectiveness of using Sudan grass from stored in preserving silos when feeding calves for meat. Abstract, Doctoral thesis. Agricultural Science, Orenburg (Ru).
- Angelova, V. R., Ivanova, R. V., Delibaltova, V. A., & Ivanov, K. I.** (2011). Use of sorghum crops for in situ phytoremediation of polluted soils. *Journal of Agricultural Science and Technology, A*, 1(5), 693-702.
- Bibi, A., Sadaqat, H. A., Akram, H. M., Khan, T. M., & Usman, B. F.** (2010). Physiological and agronomic responses of sudangrass to water stress. *Journal of Agricultural Research*, 48(3), 369-380.
- Berenji, J., & Dahlberg, J.** (2004). Perspectives of sorghum in Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190(5), 332-338.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T.** (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Cervantes, E., Martín, J. J., & Saadaoui, E.** (2016). Updated methods for seed shape analysis. *Scientifica*, 2016. doi:10.1155/2016/5691825
- Dahlberg, J. A.** (2000). Classification and characterization of sorghum. *Sorghum: origin, history, technology, and production*, Wiley Series in Crop Science. Wiley, New York, pp. 99-130.
- Dahlberg, J., Berenji, J., Sikora, V., & Latkovic, D.** (2011). Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses. *Maydica*, 56(1750), 85-92.
- Dykes, L., Rooney, L. W., Waniska, R. D., & Rooney, W. L.** (2005). Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6813-6818.
- Earp, C. F., & Rooney, L. W.** (1986). Fluorescence characterization of the mature caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Food Structure*, 5(2), 257-264.
- Earp, C. F., McDonough, C. M., & Rooney, L. W.** (2004). Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Journal of Cereal Science*, 39(1), 21-27.
- Ermakov, A. I., Arasimovich, V. V., Yarosh, N. P., Peruanskii, Y., & Lukovnikova, G.** (1987). Methods for biochemical study of plants. Ed. *AI Ermakov. Leningrad, Agropromizdat*, Moskva, pp. 134-135 (Ru).
- Funnell, D. L., & Pedersen, J. F.** (2006). Association of plant color and pericarp color with colonization of grain by members of *Fusarium* and *Alternaria* in near-isogenic sorghum lines. *Plant disease*, 90(4), 411-418.
- Hahn, D. H., & Rooney, L. W.** (1986). Effect of genotype on tannins and phenols of sorghum. *Cereal Chem*, 63(1), 4-8.
- Hess, M., Barralis, G., Bleiholder, H., Buhr, L., Eggers, T. H., Hack, H., & Stauss, R.** (1997). Use of the extended BBCH scale - general for the descriptions of the growth stages of mono; and dicotyledonous weed species. *Weed Research*, 37(6), 433-441.
- Kikindonov, T., Slanev, K., & Kikindonov, G.** (2008). Green mass productivity of sorghum origins. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, 11(3), 503-511.
- Khan, Z. R., Pickett, J. A., Berg, J. V. D., Wadhams, L. J., & Woodcock, C. M.** (2000). Exploiting chemical ecology and species diversity: stem borer and striga control for maize and sorghum in Africa. *Pest management science*, 56(11), 957-962.
- Menshikov, V.** (1987). *Laboratory methods of research in the clinic*. Moskva (Ru).
- Mikić, A., & Mihailović, V.** (2014). Potential of Some Neglected European Annual Legume Crops for Forage Production. In *Quantitative Traits Breeding for Multifunctional Grasslands and Turf* (pp. 151-155). Springer, Dordrecht.
- Moyer, J. L., Fritz, J. O., & Higgins, J. J.** (2003). Relationships among forage yield and quality factors of hay-type sorghums. *Crop Management*, 2(1), doi: 10.1094. CM-2003-1209-01-RS.
- Pedersen, J. F., & Toy, J. J.** (2001). Germination, Emergence, and Yield of 20 Plant-Color, Seed-Color Near-Isogenic Lines of Grain Sorghum. *Crop science*, 41(1), 107-110.
- Sandev, S.** (1979). Chemical methods for analysis of forages. Zemizdat, Sofia (Bg).
- Serna-Saldívar, S. O., Chuck-Hernández, C., Pérez-Carrillo, E., & Heredia-Olea, E.** (2012). Sorghum as a multifunctional crop for the production of fuel ethanol: Current status and future trends. In: *Bioethanol*. InTech, London, UK.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A.** (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid

- reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Jeon, S. H., Kim, I. S., Park, S. K., Jung, K. Y., Kim, S. W., & Cho, Y. S.** (2017). Dependence of Sorghum bi-color antioxidant activity on harvest time. *ScienceAsia*, 43(3), 155-162.
- Tiryaki, Y. G., Cil, A., & Tiryaki, I.** (2016). Revealing Seed Coat Colour Variation and Their Possible Association with Seed Yield Parameters in Common Vetch (*Vicia sativa* L.). *International Journal of Agronomy*, 2016.
- Uchimiya, M., Ni, X., & Wang, M. L.** (2016). Structure-reactivity relationships between the fluorescent chromophores and antioxidant activity of grain and sweet sorghum seeds. *Food science & nutrition*, 4(6), 811-817.
- UPOV** (2015). Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Sorghum. TG/122/4. International Union for the Protection of new Varieties of Plants, Geneva. <http://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg122.pdf>
- Wanuska, R. D.** (2000). Structure, phenolic compounds and antifungal proteins of sorghum caryopses In: *Technical and institutional options for sorghum grain mold management*. In: (Chandrashekar, A., Bandyopadhyay, R., Hall, A. J., eds.) *Proceedings of an International Consultation*. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

Статията е докладвана на научна конференция “Иновации в аграрната наука за ефективно земеделие”, организирана със съдействието на ФНИ по Договор ДПМНФ № 01/31 от 17.08.2017 г.