



Poletka doświadczalne w Radzikowie  
*Fot. Jerzy Koronczok, AGROCOM Polska*



BIULETYN  
INSTYTUTU HODOWLI  
I AKLIMATYZACJI ROŚLIN  
Nr 302 / 2024



Poletka doświadczalne w Radzikowie  
*Fot. Jerzy Koronczok, AGROCOM Polska*

RADZIKÓW 2024  
INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN  
— PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY  
RADZIKÓW, 05-870 BŁONIE pod WARSZAWĄ

INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN  
– PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY  
Dyrektor: dr inż. Michał Rokicki

Komitet Redakcyjny:  
Editorial Team:

DARIUSZ R. MAŃKOWSKI (Redaktor Naczelny — Editor-in-Chief),  
TOMASZ GÓRAL,  
KRYSTYNA RYBKA,  
KRZYSZTOF TREDER,  
DOROTA SOŁTYS-KALINA (Sekretarz Redakcji — Editorial Secretary)

CZASOPISMO UKAZUJE SIĘ OD 1951 ROKU

# Heterosis for seed yield related traits in *Brassica napus* L. hybrids – preliminary studies

M. Sakibur Alam<sup>1</sup>, M. S. Raihan<sup>1</sup>, M. M. Haque<sup>2</sup>, A. K. M. Aminul Islam<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Department of Genetics and Plant Breeding, <sup>2</sup>Department of Agronomy Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University, Gazipur 1706

✉aminulgp@bsmrau.edu.bd

An experiment was conducted to evaluate 14 selected hybrids of *Brassica napus* L. with their 10 pollen parents and two standard varieties (BARI Sarisha-13, 18) as a control for seed yield related traits. The experiment was laid out in Randomized Complete Block Design with three replications. The analysis of variance showed significant variability among the genotypes for studied traits. It was also evident for the estimates of heterosis over pollen parent and standard checks, several hybrids exhibited heterosis in desirable directions for most of the yield related traits. The highest level of heterosis (or heterosis effect) (70.64%) over pollen parent was observed in the hybrid 248A × 001(3) for number of siliques (or pods) per plant. Besides, the highest pollen parent heterosis (58.24%) in positive direction was found for thousand seed weight (g) in hybrid 248A × 30(2). The estimates of standard heterosis for the experimental hybrids revealed that the hybrid 206A × 004(1) and 248A × 004(1) exhibited the highest negative heterosis (-13.95% and -11.62%, respectively) for days to flowering and seeds per silique, and the hybrid 248A × 001(3) for plant height (-22.08%). For number of siliques per plant, the hybrids 248A × 017(1) (114.41%) and 206A × 001(2) (106.11%) exhibited the highest significant standard heterosis over both controls. The hybrids 248A × 30(2) produced the heaviest seed (48.45%) and 206A × 017(1) and 206A × 001(2) produced the highest seed yield per plant (90.20% and 89.40%, respectively) which was exhibited from their significant positive heterosis (48.45%). In conclusion, the hybrids could be selected as promising hybrid combinations and forwarded for CMS based hybrid variety development of *Brassica napus*.

**Keywords:** rapeseed, hybrid, CMS line, pollen parent, check variety, standard heterosis

## Introduction

The youngest species of *Brassicaceae* family, *B. napus*, is commonly used as an oil crop and has several common names – rapeseed, oilseed rape, colza and canola (Raboanatahiry *et al.*, 2021). Rapeseed is an allotetraploid species (AACC genome,  $2n=4x=38$  chromosomes), ancestrally originated from an interspecific hybridization between two extant diploid progenitors, *B. rapa* (AA genome,  $2n=2x=20$  chromosomes) and *B. oleracea* (CC genome,  $2n=2x=18$  chromosomes) (Chalhoub *et al.*, 2014, Song *et al.*, 2020). Rapeseed is of significant economic interest worldwide, providing high-quality oil with excellent health-promoting properties. Rapeseed-mustard occupied third position after oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and soybean (*Glycine max* L.) (Dina *et al.*, 2019) among the sources of edible oils in the world. Thus, its cultivation has risen significantly in most parts of the world over the last few decades (Filipova *et al.*, 2017). In Bangladesh, rapeseed occupies the first position both in terms of area (1.1 million hectares) and production (1.42 million Metric ton) among the oilseeds crop (USDA, 2024). Rapeseed production worldwide has increased by about 3.3 times between 1994 and 2018, while cultivated areas have almost doubled (Fridrihsone *et al.*, 2020).

Cultivation of low yielding local varieties and late sowing are the major causes for poor yield of

rapeseed in Bangladesh (Malek *et al.*, 2012, Sarkar *et al.*, 2021, Yesmin *et al.*, 2022). Major cropping pattern in Bangladesh is T Aman-Fallow-Boro rice (*Oryza sativa* L.) which occupies more than 45% area (Khatun *et al.*, 2019). Usually, farmers keep their land fallow rather than cultivation of rapeseed-mustard after harvest of T Aman to avoid the risk of delaying cultivation of Boro rice. The turn-around date between T Aman and Boro is about 80-85 days. This stipulated date may be utilized through cultivation of short duration high yielding varieties of rapeseed-mustard in between T Aman and Boro rice (Talukder *et al.*, 2020); will increase cropping intensity simultaneously accelerating the oil seed production in Bangladesh. Therefore, development of short duration high yielding rapeseed-mustard variety is essential to fulfill the edible oil demand in Bangladesh (Islam *et al.*, 2020a; Islam *et al.*, 2020b). There are many rapeseed varieties are available in Bangladesh such as BINA Sarisha-3, BINA Sarisha-4, BARI Sarisha-7, BARI Sarisha-8, BARI Sarisha-13, Safal, Agrani, etc., but no hybrid variety (Helal *et al.*, 2022). The exploitation of genetic variation present in the breeding material is very important to obtain high yielding and early maturing varieties. The utilization of hybridization, leading to hybrid vigor, or heterosis, is a successful strategy in increasing yield and vigor for many field crops including rapeseed (Wang *et al.*, 2021). Another powerful tool is heterosis which provides infor-

mation about valuable hybrid combination. Line × Tester is very helpful in the breeding program because it helps to estimate the different genetic variation among the population (Anum *et al.*, 2019; Saroj *et al.*, 2021). The production of rapeseed can be boosted at commercial level by using hybrid variety (Anum *et al.*, 2019). Therefore, the present study was undertaken to develop experimental hybrids of rapeseed through CMS Lines × Restorer cross and assess their performance (heterosis) for seed yield related traits, and utilize the best one as hybrid variety in commercial production.

## Materials and Methods

### Experimental site and climate

The research work was conducted at the experimental farm, Department of Genetics and Plant Breeding, Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University, Gazipur. Experimental farm consists with silt loam soil texture having soil pH 5.5. The area was situated under sub-tropical climate zone having scanty of rain from October to April and plenty from May to September. The average daily temperature was 26.92°C (max) and 17.33°C (min), rainfall was 8.52 mm per month and relative humidity was 85.63% during the experimental period.

### Experimental materials

Two CMS lines (248A and 206A) of rapeseed were used in this research and these lines are the introgressed lines of Ogura CMS system which is one of the important methods of hybrid seed production in cruciferous crops. Fourteen experimental hybrids were developed by controlled pollination and hand pollination between CMS lines and the selected restorers i.e. 248A × BNR-001(3), 248A × BNR-004(1), 248A × BNR-017(1), 248A × BNR-27(2), 248A × BNR-30(2), 248A × BNR-37(1), 206A × BNR-001(2), 206A × BNR-004(1), 206A × BNR-017(1), 206A × BNR-027(2), 206A × BNR-037(1), 206A × BNR-037(2), 206A × BNR-37(3), 206A × BNR-030(1) with 10 pollen parents (restorers) i.e. BNR-001(3), BNR-004(1), BNR-017(1), BNR-27(2), BNR-30(2), BNR-37(1), BNR-001(2), BNR-037(2), BNR-37(3), BNR-030(1). Experimental hybrids along with 10 restorer lines and two standard check varieties (BARI Sarisha 13 and BARI Sarisha 18, as there is no released hybrid variety of rapeseed in Bangladesh) were used as experimental materials to evaluate the heterotic performance of the hybrids.

### Experimental design, seed sowing and crop management

The experiment was laid out in a randomized complete block design with three replications. Each plot has three rows and the spacing between rows was 30 cm having plant spacing of 15 cm within the row, the individual plot size was 4.20 m<sup>2</sup> (1.05 m × 4.0 m). Soil fertility was ensured by

applying additional quantities of urea, triple super phosphate (TSP), muriate of potash (MoP), gypsum, zinc sulphate, boron at the rate of 250 kg·ha<sup>-1</sup>, 170 kg·ha<sup>-1</sup>, 85 kg·ha<sup>-1</sup>, 150 kg·ha<sup>-1</sup>, 5 kg·ha<sup>-1</sup>, 10 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively (Miah *et al.*, 2015). Total TSP, MoP, zinc sulphate and cow dung (10 t·ha<sup>-1</sup>) was applied during the final land preparation. Total urea was applied in three installments, at 15, 30 and 50 days after sowing (DAS). Seeds of 26 genotypes (14 hybrids, 10 pollen parents and two standard cultivars) of rapeseed were sown in different row in the experimental field. Intercultural operations were done as and when necessary for proper growth and development of the crop plants (Khaleque 1985, Saha *et al.*, 2011).

### Data collection and statistical analysis

Twenty randomly selected competitive plants from each replication were used for recording data on DFF: days to 50% flowering, DTM: days to maturity, PHT: plant height (cm), PBP: primary branches per plant (nos.), SPP: siliques per plant (nos.), SLT: silique length (cm), SPS: seeds per silique (nos.), TSW: thousand seed weight (g), and SYP: seed yield per plant (g). Simple analysis of variance (ANOVA), mean, standard error (SE), coefficient of variation (CV) was done from the replicated data of different characters by using computer software STAR (Statistical Tools for Agricultural Research) and Statistix 10.0 according to Panse and Sukhatme (1957). Hybrid performances were done through estimation of heterosis (Singh and Chaudhary, 1985) as percent increase or decrease over the pollen parent and standard check (standard heterosis).

#### Heterosis over pollen parent (H1) (%)

$$\frac{\bar{F}_1 - \bar{PP}}{\bar{PP}} \times 100$$

Where,  $\bar{F}_1$  = Mean performance of hybrid,

$\bar{PP}$  = Mean performance of pollen parent

#### Standard heterosis (SH) (%)

$$\frac{\bar{F}_1 - \bar{SC}}{\bar{SC}} \times 100$$

Where,  $\bar{F}_1$  = Mean performance of hybrid,

$\bar{SC}$  = Mean variance of standard cultivars (BARI Sarisha 13 or BARI Sarisha 18).

## Results and Discussion

### Analysis of variance (ANOVA)

Analysis of variance was carried out for nine yield related characters of selected hybrids and ten pollen parent and two standard varieties of rapeseed. The results revealed highly significant genetic variability among 14 experimental hybrids, 10

*Heterosis for seed yield related traits in Brassica napus L. hybrids - preliminary studies*

pollen parents and two standard variety of rapeseed (Tab. 1).

**Mean performance of hybrids and their pollen parents**

Days to 50% flowering ranged from 37 to 52 days in hybrid population. Khan *et al.*, (2023) reported that the days of 50% flowering ranged from

30 to 32 days in rapeseed. The highest value for days to 50% flowering was observed in the hybrid combination 206A × 37(3) (52 days) followed by 206A × 037(2) (51 days). The minimum days to 50% flowering was observed in the hybrid combination 206A × 004(1) (37 days) and BARI Sarisha-13 (37 days) (Tab. 2).

**Table 1**  
Analysis of variance (ANOVA) for yield and yield related characteristics in 26 genotypes of *Brassica napus L.*

SV	DF	DFE	DTM	PHT	PBP	SPP	SPS	SLT	TSW	SYP
Replication	2	0.01	154.39	81.44	0.1	480.39	11.57	0.70	0.005	0.87
Genotype	26	42.34***	280.82***	391.15***	0.36***	867.32***	601.26***	1.60**	0.01***	0.87****
Error	52	0.12	0.68	52.35	0.07	253.99	93.06	0.60	0.002	0.23

SV: Sources of variation; DF: Degrees of freedom; DFE: Days to 50% flowering (days); DTM: Days to maturity (days); PHT: Plant height (cm); PBP: Number of primary branches per plant; SPP: Number of siliques per plant; SPS: Number of seeds per siliques; SLT: Silique length (cm); TSW: Thousand seed weight (g); SYP: Seed yield per plant (g).

**Table 2**  
Mean performance of 16 *Brassica napus L.* hybrids for yield and yield related characters

Genotypes	DFE	DTM	PHT	PBP	SPP	SPS	SLT	TSW	SYP
248A × 001(3)	40.00	88.00	113.89	3.86	107.76	108.40	8.03	4.10	4.50
248A × 004(1)	38.00	88.00	121.82	3.24	93.58	117.22	8.50	3.60	4.38
248A × 017(1)	41.00	89.00	123.25	3.51	125.65	112.87	8.40	4.00	3.90
248A × 27(2)	39.00	89.00	129.07	3.69	81.71	122.21	7.90	4.50	4.22
248A × 30(2)	39.00	89.00	134.13	3.32	67.04	104.77	7.80	4.80	3.17
248A × 37(1)	41.00	90.00	137.28	3.65	93.61	124.49	8.40	4.60	4.36
206A × 001(2)	41.00	90.00	134.42	3.65	120.79	104.83	9.10	3.30	4.70
206A × 004(1)	37.00	90.00	127.33	3.68	101.39	105.70	7.47	4.00	4.14
206A × 017(1)	43.00	92.00	133.69	3.53	87.26	113.94	8.40	4.70	4.73
206A × 027(2)	43.00	92.00	132.36	3.39	66.90	115.20	9.73	4.60	3.38
206A × 37(1)	40.50	92.00	138.75	3.42	70.44	113.47	8.63	4.10	3.82
206A × 037(2)	51.00	99.00	119.68	3.49	73.60	99.21	8.80	4.30	3.81
206A × 37(3)	52.00	99.00	122.39	3.43	82.79	99.23	8.33	3.30	3.31
206A × 030(1)	41.00	92.00	145.89	3.29	73.54	106.00	8.50	3.80	2.76
BARI-13	37.00	82.00	146.17	4.00	93.47	93.47	8.03	3.20	2.48
BARI-18	43.00	85.00	107.13	5.02	58.61	58.61	8.90	3.60	3.74
Mean	41.66	90.38	129.20	3.64	87.39	110.53	8.43	4.00	3.84
CV (%)	1.11	3.23	5.22	9.11	19.02	9.00	5.38	7.34	12.93
LSD (5%)	0.33	13.84	4.87	0.24	12.00	7.17	0.32	0.02	0.35

DFE: Days to 50% flowering (days); DTM: Days to maturity (days); PHT: Plant height (cm); PBP: Number of primary branches per plant; SPP: Number of siliques per plant; SPS: Number of seeds per siliques; SLT: Silique length (cm); TSW: Thousand seed weight (g); SYP: Seed yield per plant (g).

In case of pollen parents, days to 50% flowering ranged from 37 to 49 days (Tab. 3). The tallest plant was observed in the hybrid 206A × 030(1) (145.89 cm) followed by 206A × 37(1) (138.75 cm) and 248A × 37(1) (137.28 cm). The shortest plant was observed in BARI Sarisha-18 (107.13

cm) followed by 248A × 001(3) (113.89 cm), 206A × 037(2) (119.68 cm) and 248A × 004(1) (121.82 cm) (Tab. 2). The minimum plant height was observed in the pollen parent BNR-001(3) (122.15 cm) followed by BNR-017(1) (125.14 cm) and BNR-037(2) (127.88 cm)

(Tab. 3). Plant height should be lower for *Brassica napus* to avoid lodging. Anum *et al.*, (2019) reported varying plant height in rapeseed from 142 cm to 251 cm. The experimental hybrid produces varying number of primary branches per plant that was ranged from 3.24 to 5.02 (Tab. 2). Maximum number of primary branches per plant was ob-

served in BARI Sarisha-18 (5.02) followed by BARI Sarisha-13 (4.00), 248A × 001(3) (3.86), 248A × 27(2) (3.69), 206A × 004(1) (3.68), and minimum in 248A × 004(1) (3.24). The maximum number of primary branches per plant was observed in the pollen parent BNR-017(1) (4.01) followed by BNR-37(3) (3.79) (Tab. 3).

Table 3  
Mean performance of 10 pollen parent of *Brassica napus* L. for yield and yield related characters

Genotypes	DDF	DTM	PHT	PBP	SPP	SPS	SLT	TSW	SYP
BNR-001(3)	41.00	84.00	122.15	3.38	63.15	106.34	8.23	4.20	3.45
BNR-004(1)	42.00	84.00	139.72	3.77	84.88	83.10	7.90	2.80	3.87
BNR-017(1)	39.00	76.00	125.14	4.01	90.18	100.15	7.27	3.30	3.65
BNR-27(2)	41.00	85.00	130.50	3.61	68.61	83.43	9.33	3.40	3.45
BNR-30(2)	43.00	88.00	153.07	3.39	90.71	80.04	8.97	3.00	3.56
BNR-37(1)	42.00	88.00	151.64	3.77	104.64	94.06	9.83	3.50	3.73
BNR-001(2)	49.00	81.00	134.90	3.77	81.63	102.60	8.07	3.40	3.94
BNR-037(2)	37.00	75.00	127.88	3.64	82.53	83.29	10.37	3.00	3.89
BNR-37(3)	40.00	84.00	130.75	3.79	69.96	100.60	9.10	3.20	3.24
BNR-030(1)	43.00	88.00	153.07	3.39	90.71	80.04	8.97	3.00	3.56
Mean	41.64	83.45	136.30	3.65	81.42	90.64	8.85	3.30	3.62
CV (%)	7.32	5.43	9.38	6.62	19.28	10.32	12.51	19.01	12.06
LSD (5%)	0.21	2.37	6.305	0.122	14.978	8.863	1.035	0.051	0.421

DDF: Days to 50% flowering (days); DTM: Days to maturity (days); PHT: Plant height (cm); PBP: Number of primary branches per plant; SPP: Number of siliques per plant; SPS: Number of seeds per siliques; SLT: Silique length (cm); TSW: Thousand seed weight (g); SYP: Seed yield per plant (g).

Fatima *et al.* (2022) reported maximum number of branches per plant (6.5) in the genotype ZM-M-6 of winter rapeseed. Days to maturity of rapeseed hybrids ranged from 82 to 99 days. The earliest hybrids were 248A × 001(3) and 248A × 004(1) took 88.0 day for maturity and the latest was the hybrid 206A × 037(2) and 206A × 37(3) (99 days). The minimum days to maturity was taken by BARI Sarisha-13 (82 days) and BARI Sarisha-18 (85 days) (Tab. 2). The pollen parent BNR-037(2) (75 days) followed by BNR-017(1) (76 days) were found most earliest for days to maturity (Tab. 3).

Number of siliques per plant ranged from 58.61 to 125.65 among the hybrids. The highest number of siliques per plant was observed in the hybrid combination 248A × 017(1) (125.65) followed by 206A × 001(2) (120.79) and 248A × 001(3) (107.76). Maximum number of siliques per plant (235) was reported by Anum *et al.* (2019) reported maximum number of silique per plant (256) in a hybrid ZM-R-21 × Hyola-401 of winter rapeseed. In the present study, minimum number of siliques per plant (58.61) was observed in BARI Sarisha-18 (Tab. 2) and maximum in the

pollen parent BNR-37(1) (104.64) followed by pollen parent BNR-030(1) (90.71), BNR-30(2) (90.71) and BNR-017(1) (90.18). Number of seed per five siliques was counted for hybrids and pollen parents. The SPS ranged from 58.61 to 124.49 in hybrid and from 80.04 to 106.34 in paternal components (Tab. 2 and Tab. 3). The highest number of seeds per five siliques was observed in the hybrid 248A × 37(1) (124.50) followed by 248A × 27(2) (122.21). The minimum number of seeds per siliques was observed in the standard varieties BARI Sarisha-18 (58.61) followed by BARI Sarisha-13 (93.47), and two hybrids 206A × 037(2) (99.21) 206A × 37(3) (99.23) (Tab. 2). The highest number of seeds per siliques was observed in the pollen parent BNR-001(3) (106.34) followed by pollen parent BNR-001(2) (102.60), BNR-37(3) (100.60) and BNR-017(1) (100.15), respectively. Silique length ranged from 7.47 to 9.73 cm among the hybrids and 7.27 to 10.37 cm in pollen parents (Tab. 2 and Tab. 3). The longest siliques were observed in the hybrid 206A × 027(2) (9.73 cm) followed by 206A × 001(2) (9.10 cm). The shortest siliques were observed in the hybrid 206A × 004(1) (7.47 cm) followed



by 248A × 30(2) (7.8 cm), 248A × 27(2) (7.9 cm) (Tab. 2). The shortest siliques were observed in the pollen parent BNR-017(1) (7.27 cm) followed by BNR-004(1) (7.9 cm) and the longest in BNR-037(2) (10.37) (Tab. 3).

Thousand seed weight ranged from 3.20 g to 4.80 g in the hybrid genotypes where the heaviest or bold seed was observed in the hybrid 248A × 30(2) (4.80 g) followed by 206A × 017(1) (4.70 g). On the contrary, the lightest seed weight was observed in BARI Sarisha-13 (3.20 g) followed by 206A × 001(2) (3.30 g), 206A × 37(3) (3.30 g) and 248A × 004(1) (3.60 g) (Tab. 2). The bold seed was observed in the pollen parent BNR-001(3) (4.20 g) followed by pollen parent BNR-37(1) (3.50), BNR-27(2) (3.40 g) and BNR-017(1) (3.30) (Tab. 3). Liu *et al.*, (2022) reported that thousand seed weight ranged from 3.70 g to 4.0 g. The hybrid 206A × 017(1) produces the highest seed yield per plant (4.73 g) followed by 206A × 001(2) (4.70 g) and the lowest seed yield per plant was produced by BARI Sarisha-13 (2.48 g). Similar results were also revealed by the hybrids 206A × 030(1) (2.76 g) and 248A × 30(2) (3.17 g) (Tab. 2). In case of pollen parent, seed yield per plant was ranged from 3.24 g to 3.94 g where the highest seed yield per plant was exhibited by the pollen parent BNR-001(2) (3.94g). Azim *et al.*, (2024) found the highest seed yield per plant (4.81 g) in hybrid combination NAP-0724-2 × BD7118 of *Brassica napus*.

#### Correlation among yield related traits in restorer lines and hybrids

Correlation coefficient among nine traits (days to 50% flowering, days to maturity (days), plant

height, number of primary branches, number of siliques per plant, number of seeds per five siliques silique length, thousand seed weight, seed yield per plant) of 10 parental genotypes and 14 hybrids were estimated and are presented in Table 4. Some characters showed non-significant correlations and some characters showed significant correlation among them. Magnitude and directions of correlation values among traits had differences. Days to maturity showed significant negative correlation with days to 50% flowering (-0.945\*\*) and significant positive correlation with seeds per silique (0.505\*\*) and thousand seed weight (0.631\*\*). Days to 50% flowering also showed significant negative correlation with seeds per silique (-0.516\*\*) and thousand seed weight (-0.609\*\*). Laghari *et al.*, (2020) noticed significant negative correlation of days to 75% flowering with silique per plant. Number of primary branches per plant showed significant positive correlation with number of silique per plant (0.522\*\*). Seed yield per plant had significant positive correlations with number of seeds per plant (0.461\*) and thousand seed weight (0.239\*\*). Meena *et al.*, (2017) also reported significant positive correlation of seed yield per plant with thousand seed weight in Indian mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.). Negative and nonsignificant correlation of seed yield per plant with plant height (Laghari *et al.*, 2020). Significant and positive correlation between seeds per silique and seed yield per plant (Guang *et al.*, 2011), and silique per plant and seed yield per plant (Abideen *et al.*, 2013, Tariq *et al.*, 2020) in rapeseed.

Table 4

Correlation coefficient for nine yield related traits in 10 restorers, 14 hybrids and two standard check

Traits	DTM	DFE	PHT	PBP	SPP	SPS	SLT	TSW	SYP
DTM	1.00								
DFE	-0.945**	1.00							
PHT	-0.313	0.341	1.00						
PBP	-0.092	-0.012	-0.376	1.00					
SPP	0.116	-0.163	0.141	-0.078	1.00				
SPS	0.505**	-0.516**	-0.062	0.522**	0.235	1.00			
SLT	-0.251	0.299	0.184	-0.063	-0.111	-0.313	1.00		
TSW	0.631**	-0.609**	-0.275	-0.221	-0.166	0.671	-0.223	1.00	
SYP	0.197	-0.204	-0.309	0.035	0.461*	0.322	-0.046	0.239*	1.00

DTM: Days to maturity (days); DFE: Days to 50% flowering (days); PHT: Plant height (cm); PBP: Number of primary branches per plant; SPP: Number of siliques per plant; SPS: Number of seeds per siliques; SLT: Silique length (cm); TSW: Thousand seed weight (g); SYP: Seed yield per plant (g).

#### Heterosis over pollen parent

Heterosis over pollen parent ranged from -16.33% to 37.84% for days to 50% flowering. The desired negative and significant heterosis was observed in the cross 206A × 001(2) (-16.33%)

followed by 206A × 004(1) (-11.90%) and 248A × 004(1) (-9.52%) indicating their suitability as early hybrid (Tab. 5). Surin *et al.* (2018) and Barupal *et al.* (2017) found the highest negative heterosis (-7.93% and -20.83%, respectively) for

days to flowering. The lowest significant but positive heterosis was observed in the hybrids 248A × 30(2) (1.14%) for days to maturity followed by 206A × 030(1) (4.55%), 206A × 37(1) (4.55%), 248A × 27(2) (4.71%), 248A × 004(1) and 248A × 001(3) (4.76%), respectively revealing the fact that they might be potential candidates as short duration rapeseed hybrids (Tab. 5). Kaur *et al.* (2019) in *Brassica juncea* and Liton *et al.* (2017) in *Brassica rapa* reported the highest negative heterosis -5.58% and -4.71%, respectively for days to maturity in mustard.

Heterosis over pollen parent ranged from -12.81% to 6.84%, and only five hybrids 248A × 004(1), 248A × 30(2), 248A × 37(1), 206A × 004(1) and 206A × 037(1) exhibited significant results while the rest of the nine hybrids had non-significant heterosis for plant height. However, negative heterosis is desirable for plant height and consequent significant negative heterosis ranged from -8.50% to -12.81% whereas the hybrid 248A × 004(1) showed the highest signifi-

cant negative heterosis (-12.81%). Thus, the hybrid 248A × 004(1) might be the best hybrid with the shortest plant height (Tab. 5). The highest negative heterosis (-43.88% and -14.34%, respectively) was observed by Channa *et al.* (2018) and Liton *et al.* (2017) for plant height in mustard. Four hybrids 248A × 004(1), 248A × 001(3), 248A × 017(1) and 206A × 017(1) exhibited significant heterosis for number of primary branches per plant (Tab. 5). However, the highest negative heterosis was observed in the hybrid 248A × 004(1) (-14.15%) followed by 248A × 017(1) (-12.38%) and 206A × 017(1) (-12.04%). Whereas the highest positive significant heterosis was revealed by 248A × 001(3) (14.30%) (Tab. 5). Nassimi *et al.* (2006) and Liton *et al.* (2017) found the highest positive heterosis 50% and 16.67%, respectively for number of primary branches per plant.

The magnitude of significant heterosis ranged from -32.68% to 70.64% for number of siliques per plant. Out of 14 hybrids, three crosses 248A × 001(3), 248A × 017(1), and 206A × 001(2)

Table 5

Percentage of heterosis over pollen parent for nine characters in *Brassica napus* L. hybrids

Genotypes	DDF	DTM	PHT	PBP	SPP	SPS	SLT	TSW	SYP
248A × 001(3)	-2.44 **	4.76 **	-6.77 ns	14.30 *	70.64 **	1.94 ns	-2.43 ns	-3.15 ns	30.21 *
248A × 004(1)	-9.52 **	4.76 **	-12.81 **	-14.15 **	10.26 ns	41.07 **	7.59 ns	27.38 *	13.19 ns
248A × 017(1)	5.13 **	17.11 **	-1.51 ns	-12.38 *	39.34 *	12.70 ns	15.60 ns	23.23 *	6.86 ns
248A × 27(2)	-4.88 **	4.71 **	-1.09 ns	2.40 ns	19.09 ns	46.49 **	-15.36 *	31.37 **	22.22 ns
248A × 30(2)	-9.30 *	1.14 **	-12.38 **	-2.16 ns	-26.09 ns	30.90 **	-13.01 ns	58.24 **	-10.96 ns
248A × 37(1)	-2.38 **	2.27 **	-9.47 *	-3.09 ns	-10.54 ns	32.36 **	-14.58 *	31.73 **	17.07 ns
206A × 001(2)	-16.33 **	11.11 **	-5.61 ns	-3.09 ns	47.98 **	2.17 ns	12.81 ns	-3.92 ns	19.37 ns
206A × 004(1)	-11.90 **	7.14 **	-8.87 *	-2.39 ns	19.45 ns	27.20 **	-5.49 ns	41.67 **	7.16 ns
206A × 017(1)	10.26 **	21.05 **	6.84 ns	-12.04 *	-3.23 ns	13.76 ns	15.60 ns	42.42 **	29.52 **
206A × 027(2)	4.88 **	8.24 **	1.43 ns	-6.01 ns	-2.48 ns	38.08 **	4.29 ns	33.33 **	-2.03 ns
206A × 37(1)	-3.57 **	4.55 **	-8.50 *	-9.37 ns	-32.68 *	20.64 *	-12.20 ns	18.27 ns	2.32 ns
206A × 037(2)	37.84 **	32.00 **	-6.41 ns	4.30 ns	-10.82 ns	19.10 *	-15.11 *	42.70 **	-2.06 ns
206A × 37(3)	30.00 **	17.86 **	-6.39 ns	-9.33 ns	18.34 ns	-1.37 ns	-8.42 ns	2.06 ns	2.26 ns
206A × 030(1)	-4.65 **	4.55 **	-4.69 ns	-2.95 ns	-18.92 ns	32.43 **	-5.20 ns	24.18 *	-22.57 *

DDF: Days to 50% flowering (days); DTM: Days to maturity (days); PHT: Plant height (cm); PBP: Number of primary branches per plant; SPP: Number of siliques per plant; SPS: Number of seeds per siliques; SLT: Silique length (cm); TSW: Thousand seed weight (g); SYP: Seed yield per plant (g).

revealed significant positive heterosis and one cross 206A × 37(1) showed negative significant heterosis. The highest positive heterosis was observed in the hybrid 248A × 001(3) (70.64%) (Tab. 5). All hybrids except 206A × 37(3) revealed positive heterosis for number of seeds per silique while nine out of 14 explored significant positive heterosis that ranged from 19.10% to 46.49%. Where the highest positive heterosis was observed for 248A × 27(2) (46.49%) followed by 248A × 004(1) (41.07%) and 206A × 027(2)

(38.08%) signifying their potentiality for developing varieties with the highest number of seeds per silique (Tab. 5). Radoev *et al.*, (2008) and Surin *et al.*, (2018) found the highest positive heterosis 12.7% and 15.81%, respectively.

Both positive and negative magnitudes of heterosis were exhibited predominantly when heterosis was calculated for pod length. All the hybrids showed non-significant heterosis over pollen parent except three hybrids 248A × 27(2), 248A × 37(1), and 206A × 037(2) for pod length (Tab. 5). How-

ever, significant positive heterosis was preferable for pod size and unfortunately magnitude of all significant heterosis were negative. The highest negative heterosis was observed in the cross 248A × 27(2) (-15.36%) followed by 206A × 037(2) (-15.11%) and 248A × 37(1) (-14.58%) (Tab. 5). Kaur *et al.* (2019) and Liton *et al.* (2017) found the highest negative heterosis (-12.86% and 17.80%, respectively) for pod length in mustard.

Positive heterosis is desirable for thousand seed weight and the estimates of heterosis revealed that all the hybrids except two 248A × 001(3) and 206A × 001(2) showed positive heterosis. The significant positive heterosis ranged between 23.23% and 58.24%, and the hybrid 248A × 30(2) showed the highest (58.24%) positive heterosis (Tab. 5). The magnitude of significant heterosis over pollen parent ranged from -22.57% to 30.21% for seed yield per plant. Positive heterosis is desirable for seed yield per plant and it was found in two hybrids 248A × 001(3) (30.21%) followed by 206A × 017(1) (29.52%) (Tab. 5). Surin *et al.* (2018) and Radoev *et al.* (2008) also found the highest positive heterosis (109.08% and 13.0%, respectively) for seed yield per plant in mustard.

#### **Heterosis over standard varieties**

Significant standard heterosis was observed for almost all hybrids for days to 50% flowering. The highest positive heterosis over standard variety (BARI Sarisha-13) was found in the hybrid 206A × 37(3) (40.54%) followed by 206A × 037(2) (37.84%) and the highest negative was observed in 248A × 004(1) (-11.63%) over BARI Sarisha-13 (Tab. 6). The magnitude of significant negative heterosis over standard variety (BARI Sarisha-18) varied from -13.95% to -4.65% (Tab. 6). The highest negative heterosis over BARI Sarisha-18 was obtained from the cross 206A × 004(1) (-13.95%). Bharti *et al.* (2018) and Liton *et al.* (2017) found the highest negative heterosis (-9.79% and -18.05%, respectively) over standard. The cross 206A × 037(2) and 206A × 37(3) showed the highest (20.73%) heterosis over standard variety (BARI Sarisha-13) followed by 206A × 030(1), 206A × 017(1), 206A × 027(2) and 206A × 037(1) (12.20%) for days to maturity (Tab. 6). On the other hand, significant positive heterosis were observed in all hybrids over BARI Sarisha-18. The cross 206A × 037(2) and 206A × 37(3) showed the highest (16.47%) heterosis over BARI Sarisha-18 (Tab. 5). Kaur *et al.*, (2019) and Surin *et al.*, (2018) found highest negative heterosis (-8.58% and -5.98%, respectively) over BARI Sarisha-18. Negative heterosis is desirable for days to 50% flowering and days to maturity to develop short duration hybrid variety of *Brassica napus*.

Negative heterosis was exhibited for all the hybrids over BARI Sarisha-13 which was ranged from -22.08% to -8.04% for plant height (Tab. 6).

The hybrid 248A × 001(3) showed the highest negative heterosis (-22.08%) over BARI Sarisha-13 followed by 206A × 037(2) (-18.12%), 248A × 004(1) (-16.66%) and 206A × 37(3) (-16.27%). In contrary, significant positive heterosis over BARI Sarisha-18 was revealed from all the hybrids except 248A × 001(3) which was non-significant. Negative heterosis is desirable for plant height which helps to develop shorter plants leading to tolerant against lodging (Karim *et al.*, 2018). Channa *et al.* (2018) and Surin *et al.* (2018) found the highest negative heterosis (-86.48% and -30.20%, respectively) over standard variety. Six hybrids out of 14 had significant heterosis over standard checks and rest of the eight had non-significant heterosis for number of primary branches per plant (Tab. 6). The highest significant negative heterosis over BARI Sarisha-13 was found for the hybrid 248A × 004(1) (-19.08%) followed by hybrids 206A × 030(1) (-17.67%) and 248A × 30(2) (-17%). Significant negative heterosis was observed for all the hybrids over both the varieties BARI Sarisha-13 and BARI Sarisha-18. Significant negative heterosis over BARI Sarisha-18 ranged from -35.70% to -23.25%. The hybrid 248A × 004(1) showed the highest negative heterosis (-35.70%) over BARI Sarisha-18 followed by 206A × 030(1) (-34.57%), 248A × 30(2) (-34.04%), and 206A × 027(2) (-32.65%) (Tab. 6). Bharti *et al.* (2018) and Surin *et al.* (2018) found the highest positive heterosis (25.74% and 34.78%, respectively) over standard check in mustard.

Non-significant negative heterosis over BARI Sarisha-13 was recorded in majority of the hybrids except 248A × 017(1) (34.44%) for number of siliques per plant. On the other hand, significant positive heterosis over BARI Sarisha-18 was ranged from 48.90% to 114.41% (Tab. 6). The highest significant positive heterosis over BARI Sarisha-18 was observed in the hybrid 248A × 017(1) (114.41%) followed by 206A × 001(2) (106.11%) (Tab. 6). Positive heterosis is desirable for number of siliques per plant. Therefore, the hybrids '248A × 017(1)' and '206A × 001(2)' could be selected as the most promising for number of siliques per plant. Radoev *et al.* (2008) and Kaur *et al.* (2019) also reported significant positive heterosis (7.9% and 183.94%, respectively) over standard check in rapeseed mustard. Significant standard heterosis ranged from 19.9% to 37.81% for number of seeds per five siliques over BARI Sarisha-13 (Tab. 6). Eight hybrids out of 14 exhibited significant positive level of heterosis effect and rest of the six exhibited non-significant heterosis. The highest positive heterosis was observed in the hybrid 248A × 37(1) (37.81%) followed by 248A × 27(2) (35.29%) and 248A × 004(1) (29.76%). Significant negative heterosis was observed in all hybrids over BARI Sarisha-18 for number of seeds per five siliques. Kaur *et al.* (2019) and Surin *et al.*

Table 6

Percentage of heterosis over standard varieties (BARI-13 and BARI-18) for nine characters in *Brassica napus* L. hybrids

Genotypes	DFP		DTM		PHT		PBP		SPP		SPS		SLT		TSW		SYP	
	BARI-13	BARI-18	BARI-13	BARI-18	BARI-13	BARI-18	BARI-13	BARI-18	BARI-13	BARI-18	BARI-13	BARI-18	BARI-13	BARI-18	BARI-13	BARI-18	BARI-13	BARI-18
248A × 001(3)	8.11**	-6.98**	7.32**	3.53**	-22.08**	6.31 ns	-3.42 ns	-23.25**	15.30 ns	83.88**	19.90*	-16.99*	0.00 ns	-9.74*	26.80**	14.95*	81.07*	20.23 ns
248A × 004(1)	-11.63**	-11.63**	7.32**	3.53**	-16.66**	13.72*	-19.08**	-35.70**	0.12 ns	59.68*	29.76**	-10.23 ns	5.81 ns	-4.49 ns	10.31 ns	0.00 ns	76.24**	17.02 ns
248A × 017(1)	10.81**	-4.65**	8.54**	4.71**	-15.68**	15.05**	-12.08 ns	-30.13**	34.44*	114.41**	24.94**	-13.56*	4.56 ns	-5.62 ns	25.77**	14.02*	56.91**	4.19 ns
248A × 27(2)	5.41**	-9.30**	8.54**	4.71**	-11.69**	20.49**	-7.67 ns	-26.62**	-12.58 ns	39.42 ns	35.29**	-6.41 ns	-1.66 ns	-11.24*	38.14**	25.23**	69.80**	12.75 ns
248A × 30(2)	5.41**	-9.30**	8.54**	4.71**	-8.24*	25.20**	-17.00*	-34.04*	-28.27 ns	14.40 ns	15.98 ns	-19.76**	-2.90 ns	-12.36**	48.45**	34.58**	27.65 ns	-15.24 ns
248A × 37(1)	10.81**	-4.65**	9.76**	5.88**	-6.08 ns	28.14**	-8.67 ns	-27.42**	0.15 ns	59.73*	37.81**	-4.66 ns	4.56 ns	-5.62 ns	41.24**	28.04**	75.84**	16.76 ns
206A × 001(2)	10.81**	-4.65**	9.76**	5.88**	-8.04*	25.47**	-8.67 ns	-27.42**	29.23 ns	106.11**	16.04 ns	-19.72**	13.28**	2.25 ns	1.03 ns	-8.41 ns	89.40**	25.76*
206A × 004(1)	0.00 ns	-13.95**	9.76**	5.88**	-12.88**	18.86**	-8.00 ns	-26.89**	8.47 ns	73.00**	17.01 ns	-19.05**	-7.05 ns	-16.10**	22.68**	11.21 ns	66.85**	10.78 ns
206A × 017(1)	16.22**	0.00 ns	12.20**	8.24**	-8.53*	24.80**	-11.75 ns	-29.87**	-6.64 ns	48.90*	26.12**	-12.75*	4.56 ns	-5.62 ns	45.36**	31.78**	90.20**	26.29*
206A × 027(2)	16.22**	0.00 ns	12.20**	8.24**	-9.44*	23.56**	-15.25*	-32.65**	-28.42 ns	14.16 ns	27.52**	-11.78 ns	21.16**	9.36*	40.21**	27.10**	36.11*	-9.63 ns
206A × 037(1)	9.46**	-5.81**	12.20**	8.24**	-5.07 ns	29.52**	-14.58*	-32.12**	-24.63 ns	20.20 ns	25.60**	-13.11*	7.47 ns	-3.00 ns	26.80**	14.95*	53.69**	2.05 ns
206A × 037(2)	37.84**	18.60**	20.73**	16.47**	-18.12**	11.72*	-12.83 ns	-30.73**	-21.26 ns	25.58 ns	9.82 ns	-24.03**	9.54*	-1.12 ns	30.93**	18.69**	53.29**	1.78 ns
206A × 37(3)	40.54**	20.93**	20.73**	16.47**	-16.27**	14.25**	-14.17*	-31.79**	-11.42 ns	41.27 ns	9.84 ns	-24.01**	3.73 ns	-6.37 ns	2.06 ns	-7.48 ns	33.42*	-11.41 ns
206A × 030(1)	10.81**	-4.65**	12.20**	8.24**	-0.19 ns	36.18**	-17.67*	-34.57**	-21.32 ns	25.49 ns	17.34 ns	-18.82**	5.81 ns	-4.49 ns	16.49*	5.61 ns	11.01 ns	-26.29**

DFP: Days to 50% flowering (days); DTM: Days to maturity (days); PHT: Plant height (cm); PBP: Number of primary branches per plant; SPP: Number of siliques per plant; SPS: Number of siliques per plant; SLT: Siliques length (cm); TSW: Thousand seed weight (g); SYP: Seed yield per plant (g).

(2018) found the highest positive heterosis (40.74% and 15.32%, respectively) over standard check in mustard. The highest significant positive heterosis (21.16%) over BARI Sarisha-13 was obtained from the hybrid 206A × 027(2) followed by 206A × 001(2) giving the value of 13.28% for silique length and only one hybrid 206A × 027(2) exhibited significant positive heterosis (9.36%) over BARI Sarisha-18.

Estimates of standard heterosis over BARI Sarisha-13 revealed positive heterosis in all hybrids for thousand seed weight except three hybrids and significant positive heterosis over BARI Sarisha-13 ranged from 16.49% to 48.45%. The highest significant heterosis was obtained from the hybrid 248A × 30(2) (48.45%) followed by 206A × 017(1) (45.36%), 206A × 027(2) (40.21%) over BARI Sarisha-13 (Tab. 6). The highest level of heterosis effect was obtained from the hybrid 248A × 30(2) (34.58%) followed by 206A × 017(1) (31.78%) over the BARI Sarisha-18 for thousand seed weight. Positive heterosis effect is considered to be desirable for thousand seed weight and the hybrid with the highest value will produce bold seeds. Thus, the hybrids 248A × 30(2), 206A × 017(1) and 206A × 027(2) might be considered as promising for the bold seed (Tab. 6). Channa *et al.* (2018) and Bharti *et al.* (2018) also reported significant positive heterosis (17.40% and 22.02%, respectively) over standard varieties for thousand seed weight. Two hybrids 248A × 30(2) and 206A × 030(1) out of 14 showed non-significant and rest 12 hybrids had positive significant heterosis effect over control variety BARI Sarisha-13 for seed yield per plant. The highest standard heterosis was observed in the hybrid 206A × 017(1) (90.20%) followed by 206A × 001(2) (89.40%), and 248A × 001(3) (81.07%) (Tab. 6). Significant heterosis over the variety BARI Sarisha-18 ranged from -26.29% to

26.29% for seed yield per plant. The highest positive standard heterosis for this trait was obtained for the hybrid 206A × 017(1) (26.29%) followed by 206A × 001(2) (25.76%) and the highest negative standard heterosis over BARI Sarisha-18 was obtained from the hybrid 206A × 030(1) (-26.29%). Positive heterosis was considered to be desirable for seed weight per plant.

## Conclusions

The present research was conducted to estimate heterosis over two standard varieties (BARI Sarisha-13 and BARI Sarisha-18) and pollen parent for 14 experimental hybrids for days to flowering, days to maturity, plant height, length of silique, seeds per siliques, thousand seed weight and seed yield per plant. Considering these yield related traits and the estimates of standard heterosis the experimental hybrids 248A × 004(1) for days to flowering and seeds per silique, 248A × 017(1) for plant height and number of siliques per plant, 206A × 001(2), 206A × 001(2) and 206A × 017(1) for thousand seed weight and seed yield per plant were found promising and could be utilized in the CMS based hybrid variety development breeding program in *Brassica napus*.

## Acknowledgements

The author(s) would like to acknowledge their gratitude towards Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University, Gazipur 1706, Bangladesh authority for the financial support to carry out the project entitled "Development of *Brassica napus* Hybrid utilizing CMS System".

## Conflicts of interest

Author declares that there is no conflict of interest in publication of the manuscript.

## References

- Abideen, S.N.U., Nadeem, F., Abideen, S.A. 2013. Genetic variability and correlation studies in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. International Journal of Innovation and Applied Studies, 2(4), 574–581.
- Anum, H.H., Waseem, H.M., Awais, M., Tabusam, J., Hafiza, B.S., Asim, M., Raza, M.H.A., 2019. Heterosis study of agronomic characters of *Brassica napus* L. Nature and Science, 17(8), 71–78.
- Azim, J.B., Chowdhury, N., Khan Robin, A.H., 2024. Combining ability and heterosis studies for yield improvement in rapeseed (*Brassica napus*). Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4818498/v1>.
- Barupal, H.L., Sharma, A.K., Shekhawat, H.S., Kumar, P., Kumar, M. 2017. Heterosis studies in Indian mustard [*Brassica Juncea*]. International Journal of Agricultural Innovation and Research, 5(6), 1473–2319.
- Bharti, R., Gupta, S.K., Chaudhary, N., and Rai, S.K., 2018. Estimate the relative heterosis and heterobeltiosis for yield components in Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern and Coss]. International Journal of Engineering Sciences and Research Technology, 3, 682–691.
- Chalhoub, B., Denoeud, F., Liu, S., Parkin, I.A., Tang, H., Wang, X., Wincker, P. 2014. Early allopolyploid evolution in the post-Neolithic *Brassica napus* oilseed genome. Science, 345(6199), 950–953.
- Channa, S.A., Tian, H., Mohammed, M.I., Zhang, R., Faisal, S., Guo, Y., Hu, S., 2018. Heterosis and combining ability analysis in Chinese semi-winter × exotic accessions of rapeseed (*Brassica napus* L.). Euphytica, 214(8), 134.
- Dina, M.M.A., Sultana, S., Bhuiyan, M.S.U., 2019. Development of high frequency in vitro plant regeneration protocol of *Brassica napus*. Journal of Advanced Biotechnology and Experimental Therapeutics, 2, 114–119.
- Fatima, N., Hassan, M., Sarowar, S. 2022. Combining ability and heterosis analysis for seed yield related traits in *Brassica Napus*. Journal of Global Innovations in Agriculture, 10(4), 179–190.
- Filipova, M., Zheleva, I., Sulejmenova, N., Abildaev, E., 2017. An analysis of growth factors of rapeseed at modern resource-saving technology. AIP Conference Proceedings 1895, 030001.

- Fridrihsone, A., Romagnoli, F., Cabulis, U. 2020. Environmental life cycle assessment of rapeseed and rapeseed oil produced in Northern Europe: A Latvian case study. *Sustainability*, 12(14), 5699.
- Guang, L.U., Zhang, F., and Zheng, P. 2011. Relationship among yield components and selection criteria for yield improvement in early rapeseed (*Brassica napus* L.). *Agricultural Sciences in China*, 10(7), 997–1003.
- Helal, M.M.U., Islam, D.M.N., Biswas, D.M., Kadir, D.M., Miah, D.M.N.H. 2022. Performance of rapeseed and mustard (*Brassica* sp.) Varieties/lines in north-east region (Sylhet) of Bangladesh. *Scientific Journal of Seoul Sciences*, 4(2), 6–13.
- Islam, A.K.M.A., Chowdhury, N.K., Era, F.M., Rasul, M.G., 2020b. Interrelationships among grain yield and related traits of candidate restorer lines of *Brassica napus* L. *Annals of Bangladesh Agriculture*, 24(1), 51–64. <https://doi.org/10.3329/aba.v24i1.51935>.
- Islam, A.K.M.A., Era, F.M., Chowdhury, N.K., 2020a. Production of restorer lines from segregating progenies of *Brassica napus* L. having good agronomic value. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 8(4), 400–409. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v8i4.31352>.
- Karim, A.N.M.S., Ahmed, S., Akhi, A.H., Talukder, M.Z.A. 2018. Combining ability and heterosis study in maize (*Zea mays* L.) hybrids at different environments in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 43(1), 125–134.
- Kaur, S., Kumar, R., Kaur, R., Singh, I., Singh, H., Kumar, V. 2019. Heterosis and combining ability analysis in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Journal of Oilseed Brassica*, 10(1), 38–46.
- Khaleque, M.A. 1985. A Guide Book on Production of Oil crops in Bangladesh. DAE and FAO/UNDP Project BGD/79/034, 'Strengthening the Agricultural Extension Service' Khamarbari, Farmgate, Dhaka, p. 3.
- Khan, M.H., Kundu, B.C., Uddin, M.S., 2023. Yield potency assessment and characters association of promising lines of mustard (*Brassica rapa* L.) in southern region of Bangladesh. *Advances in Modern Agriculture*, 4(2), 2216.
- Khatun, M.U.S., Ferdous, Z., Haque, Z., Alam, M.A.U., Hasan, M., Islam, M.K., 2019. Increasing cropping intensity of Fallow Boro-T. Aman cropping pattern with inclusion of mustard in Tista Mender flood plain soil. *Progressive Agriculture*, 30, 360–370.
- Laghari K., Baloch, M., Sootaher, J.K., Menghwar, K.K., Kachi, M., Kumbhar, Z.M., Shah, W.H., Sootahar, M.K., and Daudpotto, I. 2020. Correlation and heritability analysis in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Pure and Applied Biology*, 9(1), 507–516.
- Liton, M.U.A., Bhuiyan, M.S.R., Zeba, N., and Rashid, M.H., 2017. Estimation of heterosis for yield and its attributes in *Brassica rapa* L. *Asian Research Journal of Agriculture*, 4(4), 1–13.
- Liu, H., Wang, J., Zhang, B., Yang, X., Yuan, P., Ding, G., Shi, L. 2022. Genome-wide association study identifies new loci for 1000-seed weight in *Brassica napus*. *Euphytica*, 218(10), 142.
- Malek, M.A., Ismail, M.R., Monshi, F.I., Mondal, M.M.A., Alam, M.N. 2012. Selection of promising rapeseed mutants through multilocation trials. *Bangladesh Journal Botany*, 41, 111–114.
- Meena, H.S., Kumar, A., Singh, V.V., Meena, P.D., Ram B., Kulshrestha, S. 2017. Genetic variability and interrelation of seed yield with contributing traits in Indian mustard (*Brassica juncea*). *Journal of Oilseed Brassica*, 8(2), 131–137.
- Miah, M.A., Rasul, M.G., Mian, M.A.K., Rohman, M.M. 2015. Evaluation of rapeseed lines for seed yield stability. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7, 12–19.
- Nassimi, A.W., Ali, S., and Ali, N. 2006. Study on heterosis in agronomic characters of rapeseed (*Brassica napus* L.) using diallel. *Journal of Agronomy*, 5(3), 505–508.
- Panse, V.G., Sukhatme P.V. 1957. Genetics of quantitative characters in relation to plant breeding. *Indian Journal of Genetics*, 17(2), 318–328.
- Rabooanahiry, N., Li, H., Yu, L., Li, M. 2021. Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, utilization, and genetic improvement. *Agronomy*, 11(9), 1776.
- Radoev, M., Becker, H.C., Ecke, W. 2008. Genetic analysis of heterosis for yield and yield components in rapeseed (*Brassica napus* L.) by quantitative trait locus mapping. *Genetics*, 179(3), 1547–1558.
- Saha, S.C., Yeasmin, S., Islam, A.K.M.A., Rasul, M.G., Mian, M.A.K. 2011. Performance of source nursery of pollen parent and CMS lines of *Brassica napus* L. *Journal of Agricultural Science*, 3(2), 114–122.
- Sarkar, S., Monshi, F.I., Uddin, M.R., Tabassum, R., Sarkar, M.J., Hasan, A.K. 2021. Source-sink manipulation influences the grain-filling characteristics associated with the grain weight of rice. *Journal of Innovative Agriculture*, 8, 20–29.
- Saroj, R., Soumya, S.L., Singh, S., Sankar, S.M., Chaudhary, R., Yashpal, Yadava, D.K., 2021. Unraveling the relationship between seed yield and yield-related traits in a diversity panel of *Brassica juncea* using multi-traits mixed model. *Frontiers in Plant Science*, 12, 651936.
- Singh, R.K., Chaudhary, B.D., 1985. Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis. Kalyani Publishers, p. 318.
- Song, J.M., Guan, Z., Hu, J., Guo, C., Yang, Z., Wang, S., Liu, D., Wang, B., Lu, S., Zhou, R., Xie, W.Z., Cheng, Y., Zhang, Y., Liu, K., Yang, Q.Y., Chen, L.L., Guo, L. 2020. Eight high-quality genomes reveal pan-genome architecture and ecotype differentiation of *Brassica napus*. *Nature Plants*, 6(1), 34–45. <https://doi.org/10.1038/s41477-019-0577-7>.
- Surin, S., Kumar, A., Kumari, S., Kumar, Y., Tuti, A., Suman, A. 2018. Heterosis for Yield and Its Component in Indian mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern & Coss). *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 7, 3866–3871.
- Talukder, A.H.M.M.R., Biswas, M., Miah, M.N.H., Kashem, M.A., Nahar, L., 2020. Effect of harvesting stages on seed and oil yield of rapeseed-mustard to suitable in a cropping pattern. *International Journal of Plant and Soil Science*, 32, 1–10.
- Tariq, H, Tanveer, S.K, Qamar, M., Javaid, R.A., Vaseer, S.G., Jhazab, H.M., Hassan, M.J., and Iqbal, H. 2020. Correlation and path analysis of *Brassica napus* genotypes for yield related traits. *Life Science Journal*, 17(8), 22–34.
- USDA. 2024. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Services, Oilseeds and Products Annual of Bangladesh, p. 3.
- Wang, Q., Yan, T., Long, Z., Huang, L.Y., Zhu, Y., Xu, Y., Jiang, L. 2021. Prediction of heterosis in the recent rapeseed (*Brassica napus*) polyploid by pairing parental nucleotide sequences. *PLoS Genetics*, 17(11), 1009879.
- Yesmin, M. A., Salim, M., Monshi, F.I., Hasan, A.K., Hannan, A., Islam, S.S., and Tabassum, R. 2022. Morphophysiological and genetic characterization of transplanted Aman rice varieties under old Brahmaputra flood plain (AEZ-9) in Bangladesh. *Tropical Agricultural Research and Extension*, 25, 71–84.

# Rola grzybów endofitycznych rodzaju *Epichloë* w ekosystemie traw oraz wpływ na zdrowie roślin i zwierząt

## Przegląd literatury

The role of endophytic fungi of the genus *Epichloë* in the grass ecosystem and the impact on plant and animal health  
A review

Barbara Wiewióra

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin –Państwowy Instytut Badawczy, Radzików, 05-870 Błonie

✉ [b.wiewiora@ihar.edu.pl](mailto:b.wiewiora@ihar.edu.pl)

Grzyby endofityczne rodzaju *Epichloë* tworzą symbiotyczne relacje z trawami, a ich koegzystencja może mieć charakter jednocześnie pozytywny dla roślin i negatywny dla zwierząt hodowlanych. Alkaloidy wytwarzane przez endofity, jeśli występują w wysokich stężeniach, mogą być toksyczne dla zwierząt. Jednocześnie, obecność endofita może zwiększyć odporność trawy na stres biotyczny i abiotyczny, m.in. suszę, żerowanie szkodników, porażenie przez patogeny. Artykuł prezentuje i przybliża wyniki dotychczasowych prac prowadzonych nad asocjacjami endofitów rodzaju *Epichloë* z trawami w kontekście ich roli w ekosystemie oraz wpływu na roślinę żywicielską i zwierzęta.

**Słowa kluczowe:** alkaloidy, endofity, stresy biotyczne, stresy abiotyczne, symbioza z trawami

Endophytic fungi of the genus *Epichloë* form symbiotic relationships with grasses and their coexistence may be both positive for plants and negative for farm animals. Alkaloids produced by endophytes, when present in high concentrations, can be toxic to animals. At the same time, the presence of an endophyte can enhance the grass's resistance to biotic and abiotic stressors, such as drought, herbivory by pests, and pathogen attacks. This article presents and discusses the results of previous research on the associations of *Epichloë* endophytes with grasses in the context of their role in ecosystems and their impact on host plants and animals.

**Keywords:** abiotic stresses, alkaloids, biotic stresses, endophytes, symbiosis with grasses

## Wstęp

W Polsce trwałe użytki zielone odgrywają kluczową rolę w gospodarce rolnej i ekologii, zajmując powierzchnię przekraczającą 3 miliony hektarów, co stanowi około 30% całkowitej powierzchni kraju. Są one ważnym elementem krajobrazu, zapewniającym nie tylko paszę dla zwierząt hodowlanych, ale też przyczyniającym się do zachowania różnorodności biologicznej, ochrony gleb przed erozją oraz magazynowania węgla w ekosystemach (Burczyk i in. 2018). Wśród roślin stanowiących użytki zielone, szczególną uwagę zwraca występowanie kilku gatunków traw, które mają istotne znaczenie dla ich produktywności i opłacalności. Należą do nich: życica trwała (*Lolium perenne* L.), kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.), kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.) oraz kostrzewa trzciniowa (*Festuca arundinacea* Schreb.). Te gatunki traw charakteryzują się wysoką wartością odżywczą oraz dobrą adaptacją do lokalnych warunków klimatyczno-glebowych, co sprawia, że są szeroko wykorzystywane w uprawach pastwiskowych i łąkowych (Goliński i Golińska 2020).

Grzyby endofityczne rodzaju *Epichloë* zasiedlają głównie trawy takich rodzajów jak: *Festuca*, *Lolium* i *Poa*. Występują na różnych kontynentach, w tym w Europie, Ameryce Północnej i Australii. Kolonizują głównie tkanki nadziemne traw, w tym pochewki liściowe, blaszki liściowe, łodygi, a także nasiona, co umożliwia im transmisję wertykalną w roślinach, czyli z pokolenia na pokolenie, chociaż jest też możliwa transmisja horyzontalna (McGrail i in. 2024, Gundel i in. 2020, Wiewióra i in., 2015). Grzyby te tworzą specyficzne, bezobjawowe symbiozy z roślinami, zasiedlając ich tkanki bez negatywnego wpływu na wzrost i rozwój gospodarzy (Petroni i in. 1986, Żurek i in. 2010a). Wręcz przeciwnie, obecność endofitów może poprawiać tolerancję traw na stesy środowiskowe, takie jak susza, niska jakość gleby czy presja ze strony patogenów i szkodników, co czyni je szczególnie ważnym elementem ekosystemów użytków zielonych (Stach 2016, Tian i in. 2017, Lee i in. 2021, Nataraja i in. 2022, Zhao i in. 2022).

Do najczęściej występujących endofitów traw rodzaju *Epichloë* zaliczane są:

- *Epichloë festucae* var. *lolii* (Latch, Christensen & Samuels) C.W. Bacon & Schardl, który współżyje z życicą trwałą (*Lolium perenne*),
- *Epichloë coenophiala* (Morgan-Jones & W. Gams) C.W. Bacon & Schardl, zasiedlający kostrzewę trzcinową (*Festuca arundinacea*),
- *Epichloë uncinata* (W. Gams, Petrini & D. Schmidt) Leuchtm. & Schardl, który kolonizuje kostrzewę łąkową (*Festuca pratensis*), czy
- *Epichloë typhina* (Pers.) Tul. & C. Tul. związany z wieloma gatunkami, między innymi tomką wonną (*Anthoxanthum odoratum*), kłosownicą (*Brachypodium* spp.), kupkówką pospolitą (*Dactylis glomerata*), prosownicą rozpierzchlą (*Milium effusum*), tymotką łąkową (*Phleum pratense*), wiechliną zwyczajną (*Poa trivialis*) czy mannica odstającą (*Puccinellia dystans*) (Leuchtmann i in. 2014).

Wszystkie te gatunki potencjalnie mogą wpływać korzystnie na zasiedlone trawy podnosząc ich odporność na stresy środowiskowe, jak i negatywnie na zwierzęta gospodarskie z powodu wytwarzania szkodliwych alkaloidów. Obecność, któregoś z nich w roślinach sugeruje z dużą dozą prawdopodobieństwa toksyczność trawy, nawet bez bezpośredniego badania zawartości alkaloidów (Sęk i Stawrakakis 2023).

### Obecność grzybów *Epichloë* w trawach

Symbioza grzybów *Epichloë* z trawami została szczególnie udokumentowana. Wykazano, że endofity są zdolne do zasiedlania około 290 gatunków traw na całym świecie (Leuchtmann 1992). W skali globalnej szacuje się, że 20-30% wszystkich gatunków traw jest potencjalnie zasiedlanych przez endofity, co wskazuje na ich powszechność i znaczenie. Obecność grzybów endofitycznych w Europie jest dość częsta, zwłaszcza w życicach i kostrzewach, które stanowią kluczowy element użytków zielonych (Zabalogoegazcoa i in. 2003, Wiewióra i in. 2008, Wiewióra 2011). Jednak dzięki bogatej różnorodności gatunkowej europejskich trwałych użytków zielonych, potencjalne zagrożenie ze strony endofitów dla zwierząt w związku z produkcją szkodliwych alkaloidów jest mniejsze, ponieważ infekcja grzybami endofitycznymi nie dotyczy wszystkich traw w runi pastwiskowej.

W Polsce, mimo że badania nad grzybami *Epichloë* na trawach prowadzone są na stosunkowo małą skalę, to uzyskane wyniki wskazują na dość częste ich występowanie na użytkach trawiastych. Z przeprowadzonych analiz wynika, że zasiedlają one rośliny wielu powszechnie występujących gatunków traw, co ma znaczenie w kontekście zdrowia zwierząt oraz jakości paszy. Przykładowo, badania przeprowadzone przez Pańkę i Żurka (2005) oraz Wiewiórę i in. (2008) wykazały, że

grzyby endofityczne są obecne w nasionach oraz roślinach takich traw jak życica trwała, życica wielokwiatowa, kostrzewa łąkowa, kostrzewa trzcinowa, śmiałek darniowy oraz wielu innych. W wyniku analiz traw zebranych z ponad 300 użytków zielonych stwierdzono, że grzyby endofityczne zasiedlają rośliny z 230 miejsc, co stanowi ponad 76% badanych miejsc. Obecność tych grzybów stwierdzono w różnych gatunkach traw, w tym w najbardziej wartościowych trawach pastewnych, takich jak *L. perenne*, *L. multiflorum*, *F. pratensis*, *F. arundinacea* oraz *F. ovina* (Żurek i in., 2010a, Wiewióra 2011). Warto zwrócić uwagę, że te gatunki traw stanowią nieodłączny element niemal wszystkich mieszanek siewnych dostępnych na rynku krajowym.

### Rozprzestrzenianie się endofitów

Grzyby endofityczne są zwykle przenoszone z pokolenia na pokolenie poprzez nasiona (Shahzad i in. 2018, Rétif i in. 2023). Grzybnia zlokalizowana jest głównie w warstwie aleuronowej, co umożliwia skuteczne rozprzestrzenianie się endofitów pomiędzy generacjami roślin. Proces ten zapewnia trwałość symbiozy i potencjalne korzyści dla gospodarza w zmieniających się warunkach środowiskowych. Rzadszym zjawiskiem jest transmisja horyzontalna, która obejmuje przenoszenie zarodników grzyba między roślinami, np. przez owady zapylające czy grzybni podczas koszenia (Wiewióra i in., 2015). Wtedy grzyb przechodzi ze stadium bezpłciowego do płciowego zdolnego do wytwarzania zarodników — askospor, które infekują sąsiednie rośliny (Clay 1988, Clay 1990, Schardl 1996).

Badania przeprowadzone w Polsce na próbach nasion traw pastewnych wykazały, że w zależności od gatunku trawy nasiona są zasiedlane przez grzyby endofityczne w różnym stopniu (Cagaš i Hofbauer 1991, Pańka i Łukanowski 2000, Pańka i Sadowski 2002, Pańka i in. 2004). Badania Wiewióry (2011) przeprowadzone na 367 próbach nasion 12 gatunków traw wykazały, że w przypadku kostrzewy czerwonej oraz wiechliny łąkowej, grzyby te występowały w 6,2-6,8% nasion, u kostrzewy trzcinowej zasiedlenie wynosiło średnio 9,1%, zaś u życicy trwałej i kostrzewy łąkowej było ono na poziomie 12,5-14,2%. Najwyższy poziom zasiedlenia nasion przez *Epichloë*, który wyniósł aż 32,6% autorka obserwowała w nasionach kostrzewy owczej. Ponadto, badania przeprowadzone na nasionach dziesięciu losowo wybranych mieszanek łąkowo - pastwiskowych, dostępnych na rynku, wykazały, że wszystkie z nich, niezależnie od przeznaczenia i składu gatunkowego zawierały nasiona zasiedlane przez grzyby rodzaju *Epichloë*. Stopień zasiedlenia był zróżnicowany i wynosił od 8,5% do 33,5% (Wiewióra i in. 2010). Te mieszanki traw są często stosowane w rolnictwie, więc mogą zawierać endofity, które



wpływają na właściwości paszy i potencjalnie mogą wpływać na zdrowie zwierząt. W badanych mieszkankach traw endofity obserwowano najczęściej w nasionach życicy trwałej i kostrzewy czerwonej. W przypadku życicy trwałej, grzyby te wystąpiły w 9 na 10 badanych mieszanek, a w przypadku kostrzewy czerwonej, w 5 na 7 mieszanek traw. Obecność endofitów w materiale siewnym tych gatunków traw jest szczególnie istotna, ponieważ są one szeroko stosowane w mieszkankach traw wykorzystywanych w produkcji paszowej. Jednocześnie podkreślić należy, że nawet jeżeli pastwisko jest początkowo zakładane z materiału siewnego wolnego od endofitów lub zawierającego minimalne ilości tych grzybów, to z biegiem lat stopień zasiedlenia przez endofity wzrasta (Hume i Barker 2005). Zjawisko to może wynikać z dwóch głównych czynników:

- a) pozostałości w glebie nasion zasiedlonych endofitami, które mogą kiełkować w kolejnych latach, zasiedlając nowe rośliny (Cheplick 2017, Jayasinghe i in. 2023),
- b) selektywności bydła podczas wypasu (Hopkins i Alison 2006).

Badania nad preferencjami żywieniowymi bydła wykazały, że zwierzęta te potrafią unikać roślin zawierających szkodliwe alkaloidy. Dzięki rozwiniętemu zmysłowi smaku i węchu, bydło jest w stanie rozpoznawać i omijać toksyczne rośliny podczas wypasu. Jednak skuteczność tego unikania zależy od kilku czynników, takich jak dostępność alternatywnego pożywienia, doświadczenie zwierząt oraz koncentracja toksyn w roślinach. W sytuacjach, gdy pastwisko jest ubogie w różnorodność roślin, bydło może być zmuszone do spożywania mniej preferowanych gatunków, w tym tych zawierających alkaloidy (Oliveira i in. 2004, Zabalgoeazcoa i in. 2006, Soto-Barajas i in. 2016).

### Znaczenie symbiozy pomiędzy trawami, a grzybami endofitycznymi

Trawy zasiedlone przez grzyby endofityczne, takie jak życica trwała czy kostrzewa łąkowa i trzcinowa, mają ogromne znaczenie w produkcji pasz dla zwierząt, szczególnie w kontekście hodowli bydła, owiec i innych zwierząt gospodarskich. Ze względu na wysoką wartość żywieniową tych traw, ich zasiedlenie grzybami endofitycznymi może mieć zarówno pozytywne (dla roślin), jak i negatywne konsekwencje (dla zwierząt).

#### Pozytywne efekty symbiozy

Obecność grzybów endofitycznych pomaga trawom przetrwać w trudnych warunkach środowiskowych, takich jak susze, ekstremalne temperatury czy ograniczona dostępność składników odżywczych (Morales-Vargas i in., 2024, Nombamba i in. 2024). Dokumentuje to wiele badań, których wyniki jednoznacznie wskazują, że trawy będące siedliskiem endofitów charakteryzują się

zwiększoną odpornością na suszę, a przyczyną tego są trzy główne mechanizmy: zwiększona biomasa korzeni (De Battista i in., 1990 i 1997), lepsza regulacja zamykania szparek (Malinowski i Belesky 2000, Rho i in. 2018) i większa akumulacja substancji rozpuszczonych do regulacji osmotycznej (Elmi 1995). W badaniach przeprowadzonych przez Zhang i in. (2019) zaobserwowano, że podczas okresów suszy trawy z endofitami miały niższe tempo transpiracji i wyższą zawartość wody w liściach w porównaniu do roślin bez endofitów. Podobnie w pracy Li i in. (2019) wykazano, że obecność endofitów zwiększała akumulację osmolitów oraz aktywność enzymów antyoksydacyjnych, co przekładało się na lepszą adaptację roślin do warunków suszy. Xu i in. (2021) badali powiązanie *E. sinensis* z *Festuca sinensis* przy różnej zawartości wody w glebie i w roślinach zasiedlonych przez endofity obserwowali lepszy wzrost korzeni i pędów, szybkość fotosyntezy, akumulację jonów i akumulację składników odżywczych. Ponadto odkryli, że rośliny z endofitami miały wyższy poziom kwasu abscysynowego w warunkach suszy w porównaniu z trawami bez endofitów. Inne badania wskazują, że te symbiotyczne relacje mogą prowadzić do lepszego przyswajania składników odżywczych, wspomagając wzrost rośliny w warunkach niedoboru składników odżywczych (Liu i in. 2021, Hou i in. 2021). Wang i in. (2018) analizowali mechanizmy, dzięki którym *Achnatherum inebrians* zasiedlona przez endofity była bardziej tolerancyjna na środowisko o niskiej zawartości azotu, który to pierwiastek jest często pierwszym ograniczającym składnikiem odżywczym w uprawach (Hu i in. 2021). Trawy zasiedlone przez endofity wykazały także większą tolerancję na zanieczyszczenia gleby, w tym metale ciężkie, co wskazuje na ich potencjalne zastosowanie w fitoremediacji (Žurek i in. 2021, Verma i in. 2022).

Dodatkowo endofity zwiększają odporność traw na szkodniki, w tym owady, oraz patogeny wywołujące choroby grzybowe i bakteryjne (Li i in. 2018, Lee i in. 2021; Deng i in. 2024; Cibils-Steward i in. 2023), a mechanizm tej ochrony opiera się głównie na produkcji bioaktywnych alkaloidów. Alkaloidy te działają odstraszańco lub toksycznie na szkodniki i patogeny, co prowadzi do zmniejszenia presji ze strony fitofagów (Meister i in., 2006). Dzięki temu rośliny zasiedlone przez *Epichloë* wykazują zwiększoną odporność nie tylko na choroby, ale również na stres wywołany np. przez owady, co czyni je bardziej konkurencyjnymi w ekosystemach trawiastych.

Zdolność grzybów *Epichloë* do ochrony gatunku żywiciela przed różnymi patogenami grzybowymi jest dobrze udokumentowana (Clarke i in., 2006; Li i in., 2011; Górzyńska i in., 2017; Wiewióra i in., 2015). Wiele badań potwierdza antagonistyczny wpływ endofitów na patogenicz-

ne grzyby, takie jak *Bipolaris sorokiniana*, *Microdochium nivale*, *Gaeumannomyces graminis*, *Drechslera* spp., *Fusarium avenaceum*, *F. equiseti* czy *Rhizoctonia solani* (Pańka 2010, Pańka 2011, Koczwarą i in. 2015). Mechanizmy, za pomocą których grzybowe endofity mogą chronić roślinę żywicielską przed chorobami, są liczne, a najbardziej oczywistym jest to, że endofit zajmuje tę samą niszę ekologiczną, co patogen wewnątrz rośliny (Clarke i in., 2006). Niektóre endofity rodzaju *Epichloë*, takie jak *E. festucae* i *E. inebrians* produkują białko przeciwgrzybicze, Efe-AfpA, które bezpośrednio utrudnia działanie patogenów grzybowych (Ambrose i Belanger, 2012). Endofity mogą także łagodzić uszkodzenia spowodowane chorobami poprzez zwiększoną produkcję i aktywność przeciwutleniaczy (Ma i in., 2015).

Ponadto trawy zasiedlone przez grzyby endofityczne charakteryzują się wyższą wartością odżywczą oraz lepszymi parametrami użytkowymi, co ma istotne znaczenie w produkcji pasz (Mikołajczak i in., 2005). Wynika to ze wspomaganie rośliny żywicielskiej przez endofity w pobieraniu składników odżywczych poprzez zwiększanie powierzchni systemu korzeniowego i ułatwianie rozpuszczania substancji odżywczych. Ponadto endofity wytwarzają organiczne związki chemiczne chelatujące jony żelaza tj. syderofory, zwiększając w ten sposób jego pobieranie oraz rozpuszczanie i pobieranie fosforanów, co sprzyja wzrostowi rośliny nawet na ubogich glebach (Verma i in., 2022). Dodatkowo biodegradowują ściółkę i zwiększają produkcję biomasy oraz pobieranie składników odżywczych (Idbella i in., 2019).

Dzięki obecności endofitów, trawy są bardziej konkurencyjne względem traw niezasiedlonych, co pozwala im dominować w runi i poprawiać produktywność łąk i pastwisk (Wu i in. 2016).

#### **Negatywny wpływ zasiedlenia traw przez grzyby endofityczne**

Grzyby endofityczne mogą produkować toksyczne metabolity, które akumulują się w roślinach, a spożywanie takiej paszy przez zwierzęta może prowadzić do poważnych problemów zdrowotnych. Alkaloidy sporyszowe, takie jak: klawiny, kwas lizergowy i jego amidy oraz ergopeptyny (np. ergowalina) są odpowiedzialne za chorobę zwaną "*fescue toxicosis*". Objawy tej toksykozy to spadek masy ciała zwierząt, zmniejszenie produkcji mleka, obniżenie dziennych przyrostów masy ciała (Poole i Poole 2019). Lolitremy, toksyny diterpenowe takie jak: paxilina, paxitriole i lolitriol powodują schorzenie neurotoksyczne znane jako "*ryegrass staggers*" (kołowaczna rajgrasowa). Objawy choroby obejmują zaburzenia układu nerwowego, takie jak porażenie tylnych kończyn, spazmy oraz trudności w poruszaniu się czy obniżenie produkcji mleka u zwierząt hodowlanych. Choroba ta została dokładnie opisana przez Mali-

nowskiego i Belesky'ego (2000) oraz Miyazakiego i współpracowników (2004).

Z dostępnych danych literaturowych wynika, że nawet niewielkie stężenia ergowaliny w paszy mogą znacząco wpływać na fizjologię zwierząt gospodarskich. Już przy poziomie 0,05 ppm ergowaliny obserwowano zmiany w reakcjach fizjologicznych bydła, takie jak podwyższenie temperatury ciała podczas upalnych dni, co dodatkowo nasila stres termiczny u zwierząt (Cornell i in. 1990). Takie efekty, choć subtelne, mogą prowadzić do obniżenia wydajności zwierząt i ich dobrostanu. Zgodnie z wynikami badań przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych, progowe poziomy ergowaliny w diecie, które wywołują objawy kliniczne u różnych gatunków zwierząt, wynoszą: 0,4-0,7 ppm dla bydła, 0,3-0,5 ppm dla koni, 0,8-1,2 ppm dla owiec (Aldrich-Markham i Pirelli, cyt. za Vázquez de Aldana i in., 2001). Warto jednak zaznaczyć, że graniczne stężenia mogą różnić się w zależności od warunków środowiskowych, takich jak temperatura, wilgotność czy dostępność innych składników pokarmowych, które mogą modulować rozwój objawów klinicznych choroby wywołanej przez ergowalinę (Aldrich i in. 1993). Stężenia ergowaliny w zakresie 0,2-0,3 ppm mogą powodować toksyczność chroniczną, która objawia się zmniejszeniem produkcji mleka (istotny spadek wydajności mlecznej krów, co ma bezpośrednie skutki ekonomiczne dla gospodarstw hodowlanych), spadkiem masy ciała (ograniczenie przyrostów masy ciała, co wpływa na efektywność produkcji mięsa) i obniżoną odpornością na stres środowiskowy (w tym na wysokie temperatury). Objawy te, choć mogą nie być natychmiastowo zauważalne, wpływają na długoterminową kondycję i wydajność zwierząt, co czyni ergowalinę istotnym czynnikiem ograniczającym efektywność produkcji zwierzęcej.

Zgodnie z literaturą, choroby zwierząt wywołane przez endofity, a dokładniej przez ich metabolity, stanowią poważny problem zdrowotny i ekonomiczny w wielu krajach, w tym w Nowej Zelandii oraz Stanach Zjednoczonych (Zabalgoatza i in. 2003). Jednakże, pomimo że alkaloidy produkowane przez grzyby endofityczne osiągną najwyższe stężenia w trawach w określonych okresach, objawy kliniczne u zwierząt mogą pojawić się w innym terminie. Wynika to z faktu, że alkaloidy mogą kumulować się w tkankach tłuszczowych zwierząt, a ich uwalnianie następuje stopniowo, zwłaszcza w warunkach stresu termicznego lub innych czynników środowiskowych (Miyazaki i in. 2004).

Alkaloidy produkowane przez endofity wpływają nie tylko na zdrowie zwierząt, ale również na ich zachowanie, zwłaszcza jeśli chodzi o pobieranie paszy. Badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych wykazały, że bydło wypasane na pastwiskach porośniętych trawami zakażonymi

endofitami spędzało mniej czasu na pobieraniu pokarmu w porównaniu z bydłem wypasany na terenach wolnych od tych grzybów (Hopkins i Alison, 2006). Wynika to z preferencji zwierząt do roślin wolnych od grzybów endofitycznych, co może prowadzić do zmniejszenia spożycia paszy, a w konsekwencji wpłynąć na ich zdrowie i wydajność. Chociaż inne badania mówią, że trawy zasiedlone przez grzyby rodzaju *Epichloë* charakteryzują się większą wartością odżywczą, gdyż mogą poprawiać ich zdolność do przyswajania składników odżywczych, co przyczynia się do lepszego wzrostu i jakości biomasy (Mikołajczak i in. 2005),

Spożycie paszy zawierającej szkodliwe alkaloidy może mieć również wpływ na jakość produktów pochodzenia zwierzęcego. W Australii przeprowadzono badania, które wykazały, że bydło wypasane na pastwiskach porośniętych życią trwałą, z wysoką zawartością lolitremu B, wytwarzało gorszej jakości mleko. Mleko to zawierało mniej tłuszczu i białka, a więcej komórek somatycznych, co obniżało jego wartość rynkową (Reed 2002). Te zmiany w jakości mleka mogą mieć poważne konsekwencje ekonomiczne dla hodowców.

Produkcja alkaloidów przez grzyby endofityczne jest ściśle związana z warunkami klimatycznymi. W szczególności ilość opadów atmosferycznych oraz temperatura powietrza mają kluczowy wpływ na wytwarzanie toksycznych metabolitów przez te grzyby (Salminen i in. 2005). Zwiększona produkcja alkaloidów następuje w wyniku stresu, zwłaszcza suszy, na roślinach zasiedlonych przez endofity (Zabalgoeazcoa i Bony 2005). W ostatnich latach zmiany klimatyczne, takie jak coraz częstsze susze, mogą prowadzić do wzrostu liczby roślin zawierających endofity na krajowych pastwiskach, co stanowi może dodatkowe zagrożenie dla zwierząt gospodarskich. Dodatkowo zawartość alkaloidów, takich jak lolitrem B, ergowalina czy peramina zmienia się w zależności od pory roku. Badania przeprowadzone w Nowej Zelandii wykazały, że najniższe stężenia tych substancji występują na przełomie zimy i wczesnej wiosny, a najwyższe na przełomie lata i jesieni (Fletcher i in. 2000). Podobne wyniki uzyskali Ball i in. (1995) w badaniach nad lolitremem B i peraminą w życicy trwałej. W tych okresach najwyższe stężenie alkaloidów może stanowić szczególne zagrożenie dla zwierząt, zwłaszcza w czasie intensywnego wypasu. Ponadto na stężenie alkaloidów w roślinach wpływają także genotyp rośliny, rodzaj komórek zasiedlonych przez endofity, które mogą różnić się pod względem aktywności metabolicznej oraz zdolności do biosyntezy związków wtórnych, a także agrotechnika, np. poziom nawożenia czy typ gleby. Przykładem może być badanie przeprowadzone przez Lyons i in. (1986), które wykazało, że wyższe dawki nawozów azoto-

wych skutkują wyższą koncentracją alkaloidów sporyszowych, w tym ergowaliny w kostrzewie łąkowej. Zauważono również, że najwyższe stężenia tych alkaloidów występują w pochwach liściowych, a nie w blaszkach liściowych, co może wskazywać na specyficzne mechanizmy ich kumulacji w roślinach.

### Produkcja ergowaliny przez grzyby endofityczne w Polsce

Badania prowadzone w Polsce wykazały, że grzyby endofityczne, szczególnie z gatunków *Epichloë coenophiala* i *E. festucae* var. *lolii*, są zdolne do produkcji ergowaliny. Badania nad produkcją ergowaliny przez endofity przeprowadzone w IHAR-PIB wykazały, że nie wszystkie gatunki traw zasiedlone przez grzyby rodzaju *Epichloë* zawierają ten alkaloid (Żurek i in. 2017). Na przykład zasiedlona przez endofity wiechlina łąkowa (*Poa pratensis*) i tymotka łąkowa (*Phleum pratense*) nie produkowały ergowaliny, natomiast inne trawy, takie jak życica trwała i kostrzewa trzcinowa, wytwarzały znaczące ilości tego alkaloidu. Stężenie ergowaliny w próbach traw wahało się od 0,011 ppm (dla życicy wielokwiatowej) do 0,868 ppm (dla kostrzewy trzcinowej), a w niektórych przypadkach wartości te były na tyle wysokie, że mogłyby stanowić zagrożenie dla zdrowia zwierząt (1,517 ppm u kostrzewy trzcinowej i 1,058 ppm dla życicy trwałej) (Żurek i in. 2010b). Takie zawartości ergowaliny w roślinach traw sugerują, że mogą one prowadzić do wystąpienia objawów chorobowych u bydła. Zostało to niedawno potwierdzone w pracy Marczuk i in. (2019), w której opisano przypadki zatrucia ergowaliną w stadzie krów mlecznych, głównie rasy holsztyńsko-fryzyskiej. U krów obserwowano zmianami w kształcie ogona oraz jego wykrzywienie na bok, ponadto pojawiał się ropny naciek zapalny, dochodziło do martwicy tkanek, a następnie do samoistnego odpadnięcia ogona. Równocześnie u niektórych krów obserwowano zmiany w oczach w postaci: wytrzeszczu gałek ocznych, ropnego zapalenia spojówek oraz całkowitej ślepoty spowodowanej zmętnieniem soczewki. W stadzie nie obserwowano zaburzeń w rozrodzie, ale w okresie zachorowania doszło do obniżenia dziennej wydajności mlecznej i obniżenia zawartości białka w mleku.

Te obserwacje powinny skłonić zarówno naukowców, jak i hodowców bydła do intensyfikacji działań mających na celu ustalenie, czy endofity traw oraz wytwarzane przez nie szkodliwe alkaloidy mogą być przyczyną zachorowań zwierząt oraz obniżenia ich wydajności w naszym kraju.

### Podsumowanie

Symbioza traw z grzybami endofitycznymi jest zjawiskiem dwojakiej natury. Z jednej strony oferuje korzyści w postaci większej odporności roślin na stesy środowiskowe i biotyczne, co

zwiększa efektywność produkcji paszowej. Z drugiej strony, produkcja toksyn przez grzyby stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia zwierząt, ograniczając bezpieczeństwo i wartość użytkową traw. Ponadto zmiany klimatyczne, w tym częściej występujące okresy suszy, mogą sprzyjać wzrostowi liczby roślin zasiedlonych przez grzyby endofityczne na pastwiskach, co zwiększa ryzyko wystąpienia chorób zwierząt spowodowanych spożyciem alkaloidów. Nawet niskie stężenia ergowaliny w paszy mogą być potencjalną przyczyną strat ekonomicznych w hodowli zwierząt gospodarskich. Dlatego istotne jest monitorowanie zawartości tego alkaloidu w paszach oraz podejmowanie działań mających na celu ograniczenie ekspozycji zwierząt na toksyny endofityczne. Przykładowe strategie powinny obejmować:

- wybór gatunków traw pozbawionych toksycznych endofitów;

- stosowanie odpowiednio zbilansowanej diety, która łagodzi efekty toksyn;
- monitorowanie warunków środowiskowych, które mogą nasilać toksyczność alkaloidów, zwłaszcza ergowaliny.

Podsumowując, toksyczność alkaloidów wytwarzanych przez grzyby endofityczne stanowi istotne wyzwanie w hodowli zwierząt, wymagające zarówno zrozumienia mechanizmów ich działania, jak i identyfikacji czynników środowiskowych wpływających na ich toksyczność. Skuteczne zarządzanie użytkami zielonymi i paszami może ograniczyć ryzyko negatywnych skutków, poprawiając wyniki produkcyjne i dobrostan zwierząt. Dodatkowo, wprowadzanie do roślin endofitów pozbawionych zdolności do syntezy szkodliwych alkaloidów może zwiększyć ich odporność na stresi biotyczne i abiotyczne, co pozwoli na ich wykorzystanie zarówno w uprawach trawnikowych, jak i pastewnych.

## Literatura

- Aldrich C.G., Paterson J.A., Tate J.L., Kerley M.S. 1993. The effects of endophyte infected tall fescue consumption on diet utilization and thermal regulation in cattle. *J. Anim. Sci.* **71**: 164–170.
- Ambrose K.V., Belanger F.C. 2012. SOLiD-SAGE of endophyte-infected red fescue reveals numerous effects on host transcriptome and an abundance of highly expressed fungal secreted proteins. *PLoS ONE* **7**, e53214
- Ball O.J.P., Prestidge R.A., Sprosen J.M. 1995. Interrelationships between *Acremonium lolii*, peramine, and lolitrem B in perennial ryegrass. *Applied and Environmental Microbiology* **61**(4): 1527 – 1533.
- Burczyk P., Gamrat R., Gałczyńska M., Saran E. 2018. Rola trwałych użytków zielonych w zapewnieniu stanu równowagi ekologicznej środowiska przyrodniczego. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, **T. 18**, **Z. 3**(63): 21-37.
- Čagaš B., Hofbauer J. 1991. *Acremonium coenophialum* Morgan-Jones et W. Gams a obsah alkaloidu u košťavy rákosovile, *Genet. a Šlecht.* **27** (2-3): 205 — 212.
- Cheplick G.P. 2017. Persistence of endophytic fungi in cultivars of *Lolium perenne* grown from seeds stored for 22 years. *American Journal of Botany* **104**(4): 627-631.
- Cibils-Stewart X., Putra R., Islam T., Fanna D.J., Wuhler R., Mace W.J., Hartley S.E., Popay A.J., Johnson S.N. 2023. Silicon and *Epichloë*-endophyte defences in a model temperate grass diminish feeding efficiency and immunity of an insect folivore. *Functional Ecology* **37**: 3177-3192.
- Clarke B.B., White J.F., Hurley R.H., Torres M.S., Sun S., Huff D.R. 2006. Endophyte-mediated suppression of dollar spot disease in fine fescues. *Plant Dis.* **90**: 994–998
- Clay K. 1988. Fungal endophytes of grasses: a defensive mutualism between plants and fungi. *Ecology* **69**, 10-016.
- Clay K. 1990. Fungal endophytes of grasses. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **21**: 275-297.
- Cornell C.N., Lueker J.V., Garner G.B., Ellis J.L. 1990. Establishing ergovaline levels for fescue toxicosis, with and without endoparasites, under controlled climatic conditions. In: Joost R.E., Quisenberry S.E. (Eds.). *Proceedings of the International Acremonium/Grass Interactions*. Louisiana Agricultural Experiment Station, Baton Rouge: 75-79.
- De Battista J., Altier N., Galdames D.R., Dall'Agnol M. 1997. Significance of endophyte toxicosis and current practices in dealing with the problem in South America. In *Neotyphodium/Grass Interactions*; Bacon, C.W., Hill, N.S., Eds.; Springer US: Boston, MA, USA, pp. 383–388.
- De Battista J.P., Bouton J.H., Bacon C.W., Siegel M.R. 1990. Rhizome and herbage production of endophyte-removed tall fescue clones and populations. *Agron. J.* **82**: 651–654.
- Deng Y., Yu X., Yin J., Chen L., Zhao N., Gao Y., Ren A. 2024. *Epichloë* endophyte enhanced insect resistance of host grass *Leymus chinensis* by affecting volatile organic compound emissions. *J. Chem. Ecol.* **50**: 1067-1076. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-023-01459-6>.
- Elmi A.A., West C.P. 1995. Endophyte infection effects on stomatal conductance, osmotic adjustment and drought recovery of tall fescue. *New Phytol.* **131**: 61–67.
- Fletcher L. R., Lane G. A., Baird D. B., Davies E. 2000. Seasonal variations of alkaloids concentrations in two perennial ryegrass-endophyte associations. *Proceedings of the 4th International Neotyphodium/Grass Interactions Symposium*. 535- 542.
- Goliński P., Golińska B. 2020. Analiza stanu nasiennictwa wybranych gatunków traw I bobowatych drobnonasiennych w Polsce na tle rynku europejskiego. *Biul. IHAR* **Nr 289**: 21-29.
- Górzynska K., Ryszka P., Anielska T., Turnau K., Lembicz M. 2017. Effect of *Epichloë typhina* fungal endophyte on the diversity and incidence of other fungi in *Puccinellia distans* wild grass seeds. *Flora* **228**: 60 – 64.
- Gundel P.E., Sun P., Charlton N.D., Young C.A., Miller T.E.X. Rudgers J.A. 2020. Simulated folivory increases vertical transmission of fungal endophytes that deter herbivores and alter tolerance to herbivory in *Poa autumnalis*. *Annals of Botany* **125**: 981–991, DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa021>.
- Hopkins A. A., Alison M. W. 2006. Stand persistence and animal performance of tall fescue endophyte combinations in South Central USA. *Agronomy Journal*, **98**: 1221-1226.

- Hou W., Wang J., Christensen M.J., Liu J., Zhang Y., Liu Y., Cheng C. 2021. Metabolomics insights into the mechanism by which *Epichloë gansuensis* endophyte increased *Achnatherum inebrians* tolerance to low nitrogen stress. *Plant Soil* 463: 487–508.
- Hume D. E., Barker D. J. 2005. Growth and management of endophytic grasses in pastoral agricultures. *Neotyphodium* in cool-season grasses. Blackwell Publ. 201-223.
- Idbella M., Zotti M., Cesarano G., Fechtali T., Mazzoleni S., Bonanomi G. 2019. Fungal endophytes affect plant response to leaf litter with contrasting chemical traits. *Community Ecology* 20: 205–213. DOI: <https://doi.org/10.1556/168.2019.20.2.10>.
- Jayasinghe C., Jacobs J., Thomson A., Smith K. 2023. Evaluation of the relationship between cultivar, endophyte and environment on the expression of persistence in perennial ryegrass populations using high-throughput phenotyping. *Agronomy* 13, 2292, DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13092292>.
- Koczwara K., Pańska D., Lisiecki K., Juda M. 2015. Możliwość wykorzystania endofitów w biologicznej ochronie roślin. *Journal of Education, Health and Sport* 5(6):333-340.
- Lee K., Missaoui A., Mahmud K., Presley H., Lonnee M. 2021. Interaction between grasses and *Epichloë* endophytes and its significance to biotic and abiotic stress tolerance and the rhizosphere. *Microorganisms* 9, 2186. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9112186>.
- Leuchtman A. 1992. Systematics, distribution and host specificity of grass endophytes. *Natural Toxins* 1: 150 - 162.
- Leuchtman A., Bacon C.W., Schardl C.L., White J.F., Jr. 2014. Nomenclatural realignment of *Neotyphodium* species with genus *Epichloë*. *Mycologia* 106(2): 202-215, DOI: <https://doi.org/10.3852/106.2.202>.
- Li F., Deng J., Nzabanita C., Duan T.Y. 2019. Growth and physiological responses of perennial ryegrass to an AMF and an *Epichloë* endophyte under different soil water contents. *Symbiosis* 79:151–161. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-019-00633-3>.
- Li F., Duan T., Li Y. 2011. Effect of fungal endophytes against rust disease of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) on growth and physiological indices. *Acta Prataculturae Sin.* 20: 150–156.
- Li F., Guo Y.E., Christensen M.J., Gao P., Li Y.Z., Duan T.Y. 2018. An arbuscular mycorrhizal fungus and *Epichloë festucae* var. *lolii* reduce *Bipolaris sorokiniana* disease incidence and improve perennial ryegrass growth. *Mycorrhiza* 28:159–169. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-017-0813-9>.
- Liu Y., Hou W., Jin J., Christensen M.J., Gu L., Cheng C., Wang J. 2021. *Epichloë gansuensis* increases the tolerance of *Achnatherum inebrians* to low-P stress by modulating amino acids metabolism and phosphorus utilization efficiency. *J. Fungi* 7: 390.
- Lyons P.C., Plattner R.D., Bacon C.W. 1986. Occurrence of peptide and clavinet ergot alkaloids in tall fescue grass. *Science* 232: 487 - 489.
- Ma M., Christensen M.J., Nan Z. 2015. Effects of the endophyte *Epichloë festucae* var. *lolii* of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) on indicators of oxidative stress from pathogenic fungi during seed germination and seedling growth. *Eur. J. Plant Pathol.* 141: 571–583
- Malinowski D. P., Belesky D. P. 2000. Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Sci.* 40: 923 - 940.
- Marczuk J., Ziętek J., Michalak K., Winiarczyk S., Lutnicki K., Brodzki P., Adaszek Ł. 2019. Zatrucie ergowaliną w stadzie krów mlecznych-opis przypadku. *Med. Weter.* 75 (10): 635-639.
- McGrail R.K., Carlisle A.E., Nelson J.A., Dinkins R.D., McCulley R.L. 2024. Tall fescue and endophyte genetics influence vertical transmission and seed characteristics under climate change scenarios. *Phytobiomes Journal* 8:272-281, DOI: <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-09-23-0102-R>.
- Meister B., Krauss J., Härrä S.A., Schneider M.V., Müller, C.B. 2006. Fungal endosymbionts affect aphid population size by reduction of adult life span and fecundity. *Basic Appl Ecol* 7(3): 244-252.
- Mikołajczak J., Podkówka L., Podkówka Z., Staszak E. 2005. Effects of endophyte infection of grasses on the chemical composition, quality and stability of silage. *Folia biologica*, vol. 53: 67-72.
- Miyazaki S., Ishizaki I., Ishizaka M., Kanbara T., Ishiguro-Takeda Y. 2004. Lolitrem B residue in fat tissues of cattle consuming endophyte-infected perennial ryegrass straw. *J Vet Diagn Invest* 16:340-342.
- Morales-Vargas A.T., López-Ramírez V., Álvarez-Mejía C., Vázquez-Martínez J. 2024. Endophytic fungi for crops adaptation to abiotic stresses. *Microorganisms* 12, 1357, DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12071357>.
- Nataraja K.N., Dhanyalakshmi K.H., Govind G., Oelmüller R. 2022. Activation of drought tolerant traits in crops: endophytes as elicitors. *Plant Signaling & Behavior* 17 (1), e2120300, DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2120300>.
- Nombamba A., Fadji A.E., Babalola O.O. 2024. Exploring the role of endophytic fungi in the amelioration of drought stress in plants. *Plant Protection Science* 60(3): 213-228. DOI: <https://doi.org/10.17221/25/2024-PPS>.
- Oliveira J. A., González E., Alonso P. C., Costal L. 2004. Effects of endophyte infection on dry matter yield, persistence and nutritive value of perennial ryegrass in Galicia (north-west Spain). *Span. J. Agric. Res.* 4, 558–63.
- Pańska D. 2010. Grzyby endofityczne traw – znaczenie i możliwości wykorzystania w ochronie roślin. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 50(2): 878-882.
- Pańska D. 2011. *Neotyphodium/Epichloë* endophytes of perennial ryegrass, meadow fescue and red fescue cultivars cultivated in Poland. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 20 (2): 115-131.
- Pańska D., Łukanowski A. 2000. Occurrence of *Acremonium lolii* in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivated in the Kujawy and Pomerania region of Poland. *Proc. of the 4<sup>th</sup> International Neotyphodium/Grass Interactions Symposium*, Soest, Germany: 419 - 421.
- Pańska D., Podkówka L., Lamparski R. 2004. Preliminary observations on the resistance of meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) infected by *Neotyphodium uncinatum* to diseases and pests and native value. In: *Proc. of the 5<sup>th</sup> International Symposium on Neotyphodium/Grass Interactions*. Kallenbach R et al. (eds.). Fayetteville, AR USA, May 23-26, 2004, 401:88 - 90.
- Pańska D., Sadowski C. 2002. Occurrence of fungal endophytes in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars in Poland. In: *Multi-functional grasslands quality forages, animal products and landscapes*. Durand J.L. et al., (eds.). Grassland science in Europe. Vol. 7: 540 - 541.
- Pańska D., Żurek G. 2005. Występowanie grzybów endofitycznych w trawach gazonowych a ich podatność na stres suszy. *Łąkarstwo w Polsce*, 8, 45 - 54.
- Petroni O. 1986. Taxonomy of endophytic fungi of aerial plant tissues. In *Microbiology of Phyllosphere*. Cambridge. Cambridge University Press: 175-187.
- Poole R.K., Poole D.H. 2019. Impact of ergot alkaloids on female reproduction in domestic livestock species. *Toxins* 11, 364, DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11060364>.

- Reed K. 2002. The significance of the ryegrass endophyte, *Neotyphodium lolii*, In Victorian pasture. [www.animalwelfare.org.au/comm/download/abs02.html](http://www.animalwelfare.org.au/comm/download/abs02.html).
- Rétif F., Kunz C., Calabro K., Duval C., Prado S., Baily C., Baudouin E. 2023. Seed fungal endophytes as biostimulants and biocontrol agents to improve seed performance. *Front. Plant Sci.* 14:1260292. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1260292>.
- Rho H., Van Epps V., Wegley N., Doty S.L., Kim S. H. 2018. Salicaceae endophytes modulate stomatal behavior and increase water use efficiency in rice. *Front. Plant Sci.* 9:188. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00188>
- Salminen S. O., Richmond D. S., Grewal S. K., Grewal P. S. 2005. Influence of temperature on alkaloid levels and fall armyworm performance in endophytic tall fescue and perennial ryegrass. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 115: 417-426.
- Schardl C.L. 1996. *Epichloë* species, fungal symbionts of grasses. *Ann. Rev. Phytopathol.* 34: 109-130.
- Sęk O., Stawrakakis K. 2023. Toksyczny buffet roślinożerców. *Kosmos Problemy Nauk Biologicznych* 72(3): 379-388.
- Shahzad R., Khan A.L., Bilal S., Asaf S., Lee I.J. 2018. What is there in seeds? Vertically transmitted endophytic resources for sustainable improvement in plant growth. *Front. Plant Sci.* 9: 24. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00024>.
- Soto-Barajas M. C., Zabalgogezcoa I., Gómez-Fuertes J., González-Blanco V., Vazquez de Aldana B. R. 2016. *Epichloë* endophytes affect the nutrient and fiber content of *Lolium perenne* regardless of plant genotype. *Plant Soil* 405, 265–77.
- Stach A.J. 2016. Grzyby endofityczne traw – nasi wrogowie czy sprzymierzeńcy? *Kosmos, Problemy Nauk Biologicznych*, T. 65, Nr 2(311): 257-266.
- Tian Z., Wang R., Ambrose K.V., Clarke B.B., Belanger F.C. 2017. The *Epichloë festucae* antifungal protein has activity against the plant pathogen *Sclerotinia homeocarpa*, the causal agent of dollar spot disease. *Scientific Reports* 7: 5643, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06068-4>.
- Vázquez de Aldana B. R., García Ciudad A., Zabalgogezcoa I., García Criado B. 2001. Ergovaline levels in cultivars of *Festuca arundinacea*. *Animal Feed Science and Technology*. 93: 169 - 176.
- Verma A., Shameem N., Jatav H.S., Sathyanarayana E., Parray J.A., Poczai P., Sayyed R.Z. 2022. Fungal endophytes to combat biotic and abiotic stresses for climate-smart and sustainable agriculture. *Front. Plant Sci.* 13:953836, DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.953836>.
- Wang J., Nan Z., Christensen M.J., Zhang X., Tian P., Zhang Z., Niu X., Gao P., Chen T., Ma L. 2018. Effect of *Epichloë gansuensis* endophyte on the nitrogen metabolism, nitrogen use efficiency, and stoichiometry of *Achnatherum inebrians* under nitrogen limitation. *J. Agric. Food Chem.* 66: 4022–4031.
- Wiewióra B. 2011. Grzyby endofityczne z rodzaju *Neotyphodium* występujące w trawach wieloletnich w Polsce oraz ich znaczenie dla upraw pastewnych i trawnikowych. *Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR-PIB* Nr 38: 1-115.
- Wiewióra B., Prończuk M., Ostrowska A., Żurek G. 2008. Endophyte occurrence in breeding strains of meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) cv. 'PASJA'. *Phytopatologia Polonica* 46: 5 – 11.
- Wiewióra B., Żurek G., Pańka D. 2015. Is the vertical transmission of *Neotyphodium lolii* in perennial ryegrass the only possible way to the spread of endophytes? *Plos One* 10(2): e 0117231. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117231>.
- Wiewióra B., Żurek G., Żurek M. 2010. Ocena zasiedlenia przez grzyby endofityczne nasion wybranych mieszanek traw pastewnych dostępnych na rynku krajowym. *Biuletyn IHAR* 256: 183-191.
- Wu L., Ren A., Jing Y., Zhou Y., Wang X., Qin J., Gao Y. 2016. Endophytic benefit for a competitive host is neutralized by increasing ratios of infected plants. *Acta Oecologica* V. 70: 112-120.
- Xu W., Li M., Lin W., Nan Z., Tian P. 2021. Effects of *Epichloë sinensis* endophyte and host ecotype on physiology of *Festuca sinensis* under different soil moisture conditions. *Plants* 10: 1649.
- Zabalgogezcoa I., Bony S. 2005. *Neotyphodium* research and application in Europe. *Neotyphodium* in cool-season grasses. Blackwell Publ. 27-33.
- Zabalgogezcoa I., Garcia Ciudad A., Vázquez de Aldana B. R., Garcia Criado B. 2006. Effects of the infection by the fungal endophyte *festucae* in the growth and nutrient content of *Festuca rubra*. *Eur. J. Agron.* 24, 374–84.
- Zabalgogezcoa I., Vazquez de Aldana B. R., Ciudad G., Criado G. 2003. Fungal endophytes in grasses from semi-arid permanent grasslands of western Spain. *Grass and forage science* 58: 94-97.
- Zhang S., Xu B., Gan Y. 2019. Seed treatment with *Trichoderma longibrachiatum* T6 promotes wheat seedling growth under NaCl stress through activating the enzymatic and nonenzymatic antioxidant defense systems. *J. Mol. Sci.*, 20, 3729; DOI: <https://doi.org/10.3390/jms20153729>
- Zhao Z., Ju Y., Kou M., Tian M., Christensen M.J., Zhang X., Nan Z. 2022. Cuticular wax modification by *Epichloë* endophyte in *Achnatherum inebrians* under different soil moisture availability. *J Fungi*8(7): 725, DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8070725>.
- Żurek G., Wiewióra B., Rybka K., Prokopiuk K. 2021. Different response of perennial ryegrass - *Epichloë* endophyte symbiota to the elevated concentration of heavy metals in soil. *J. Appl. Genet.*: 1–13
- Żurek G., Wiewióra B., Żurek M., Łyszczarz R. 2017. Environmental effect on *Epichloë* endophyte occurrence and ergovaline concentration in wild populations of forage grasses in Poland. *Plant and Soil* 410:383–399, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3028-5>.
- Żurek M., Ochodzki P., Wiewióra B. 2010b. Ocena zawartości ergowaliny w trawach runi wybranych trwałych użytków zielonych na terenie województwa mazowieckiego. *Biuletyn IHAR* 257/258: 39-47.
- Żurek M., Wiewióra B., Żurek G. 2010a. Występowanie grzybów endofitycznych na trwałych użytkach zielonych województwa mazowieckiego. *Biul. IHAR* 256: 171- 18.

# Metody badawcze stosowane w ocenie i klasyfikacji zbiorowisk roślinnych łąk w polskich pracach badawczych

Research methods used in the assessment and classification of meadow plant communities in Polish research works

Gabriela Skowron

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie

✉ [g.skowron@ihar.edu.pl](mailto:g.skowron@ihar.edu.pl)

Zbiorowiska roślinne łąk odgrywają istotną rolę w gospodarce rolniczej. Ich ocena i klasyfikacja mają znaczenie zarówno dla ochrony bioróżnorodności, jak i optymalizacji użytkowania terenów zielonych. W polskich badaniach naukowych stosowane są różnorodne metody oceny i klasyfikacji zbiorowisk łąkowych, obejmujące zarówno podejścia fitosocjologiczne, jak i nowoczesne techniki analityczne. Celem niniejszego artykułu jest przegląd oraz analiza metod badawczych wykorzystywanych w polskich pracach naukowych w zakresie oceny roślinności łąkowej. Omówione zostały klasyczne metody botaniczno-szacunkowe, botaniczno-wagowe oraz metody wskaźnikowe. Przedstawiono także klasyfikacje łąk według podziałów typologicznych i fitosocjologicznych, a ich wzajemne relacje zostały poddane dyskusji. Szczególną uwagę zwrócono na znaczenie analiz botaniczno-wagowych w ocenie wartości paszowej oraz możliwości monitorowania zmian zachodzących w zbiorowiskach roślinnych. Wyniki badań podkreślają potrzebę łączenia różnych metod badawczych w celu uzyskania kompleksowego obrazu dynamiki łąk i pastwisk. W artykule zwrócono także uwagę na znaczenie dostosowania metod oceny do współczesnych wyzwań związanych z ochroną środowiska i zmianami klimatycznymi. W przedstawionym opracowaniu odwołano się do 91 źródeł literatury, powołując się na artykuły naukowe polskich badaczy; literaturę zagraniczną oraz podręczniki akademickie z dziedziny łąkarstwa.

**Słowa kluczowe:** analiza botaniczno-wagowa, klasyfikacja fitosocjologiczna, metody badawcze, ocena roślinności, syntaksonomia łąk, łąkarstwo

Meadow plant communities play a significant role in agricultural management. Their assessment and classification are essential for both biodiversity conservation and the optimization of green land use. Polish scientific research employs various methods for evaluating and classifying meadow vegetation, encompassing both phytosociological approaches and modern analytical techniques. The aim of this article is to review and analyze research methods used in Polish scientific studies on meadow vegetation assessment. The paper discusses classical botanical-estimation and botanical-weight analysis methods. It also presents meadow classifications based on typological and phytosociological divisions, with a discussion of their interrelations. Special attention is given to the importance of botanical-weight analyses in assessing forage value and the potential for monitoring vegetation changes. The research findings emphasize the need to integrate different research methods to obtain a comprehensive picture of the dynamics of meadows and pastures. The article also highlights the importance of adapting assessment methods to contemporary challenges related to environmental protection and climate change. The presented study refers to 91 sources of literature, citing scientific articles by Polish researchers, foreign literature and academic textbooks in the field of meadow management.

**Key words:** botanical-weight analysis, forage assessment, meadow classification, meadow science, phytosociological classification, vegetation assessment

## Wstęp

Zbiorowiska roślinne łąk stanowią istotny element krajobrazu Polski, odgrywając kluczową rolę w funkcjonowaniu ekosystemów rolniczych i pastwiskowych oraz gospodarce rolnej. Ich badanie i klasyfikacja są niezbędne zarówno dla zrozumienia dynamiki zjawisk zachodzących w przyrodzie, jak i dla skutecznej ochrony bioróżnorodności oraz zrównoważonego zarządzania zasobami naturalnymi. Współczesna fitosocjologia oraz nauki pokrewne rozwijają coraz bardziej zaawansowane metody oceny i klasyfikacji zbiorowisk łąkowych, wykorzystując zarówno podejścia tradycyjne, jak i nowoczesne techniki analityczne. Na przestrzeni lat w polskich badaniach nad zbiorowiskami roślinnymi łąk stosowano szeroki wachlarz metod, od kla-

sycznych technik fitosocjologicznych po nowoczesne narzędzia analizy wielowymiarowej oraz metody oparte na technologii teledetekcyjnej. Istotną rolę odgrywa również integracja wyników badań florystycznych, ekologicznych i biogeograficznych, umożliwiającą kompleksową charakterystykę siedlisk łąkowych oraz ich zmian w odpowiedzi na czynniki naturalne i antropogeniczne.

Celem niniejszej pracy jest przegląd i analiza metod badawczych stosowanych w polskich pracach naukowych w zakresie oceny i klasyfikacji zbiorowisk roślinnych łąk. Przegląd ten ma na celu syntetyczne przedstawienie dostępnych narzędzi badawczych oraz ich efektywności w kontekście współczesnych wyzwań związanych z ochroną i zarządzaniem siedliskami łąkowymi.

### Znaczenie badań nad zbiorowiskami łąkowymi

Łąka to trwały użytek rolny lub okresowo zadarniony przez roślinność wieloletnią z przewagą traw wysokich, znoszących kilkakrotne koszenie w ciągu roku (Dzieżyc, 1967). Zbiorowiska roślinne łąk odgrywają doniosłe funkcje przyrodnicze oraz gospodarcze. Ich potencjał produkcyjny, wymagania siedliskowe, metody i sposoby klasyfikacji niosą podstawowe informacje, które mają na celu zaznajomienie użytkownika ze skomplikowanymi zależnościami między szatą roślinną a jej możliwościami produkcyjnymi, warunkami przyrodniczymi i ekologicznymi (Rogalski, 2004). Badania roślinności łąk są prowadzone najczęściej w celu określenia ich produktywności i wartości gospodarczej. Na podstawie oceny roślinności waloryzuje się wysokość oraz jakość plonu masy zielonej i/lub siana oraz możliwości i sposoby podniesienia wydajności i wartości paszy przez wykorzystanie środków agrotechnicznych jakimi rolnik dysponuje. Formowanie się ekosystemu łąkowego uwarunkowane jest czynnikami siedliskowymi takimi jak warunki meteorologiczne, gleba, poziom wody gruntowej oraz działalnością gospodarczą człowieka (Moraczewski, 1986). W zależności od zmiany tych czynników trwałe zmiany we florze zbiorowiska są obserwowane szybciej lub wolniej. Szczególne znaczenie dla dynamiki kształtowania się zbiorowisk roślinnych łąk mają: poziom wody gruntowej oraz zasobność w składniki pokarmowe i tlen (Ralski i in., 1957). Jednym z badaczy, który opisał wpływ żyzności i stosunków wodnych na kształtowanie się typów

florystycznych łąk i pastwisk, jest Klapp (1962) (Tab. 1). Typ florystyczny poszczególnych łąk, ich wydajność oraz wartość paszową ocenia się zazwyczaj na podstawie zbiorowisk roślinnych tworzących daną ruń trawiastą. Z kolei typ florystyczny zbiorowiska określa się wg roślin przewodnich, tj. zajmujących 25-30% powierzchni, stanowiących najważniejszy składnik szaty roślinnej (Moraczewski, 1986). W zależności od składu botanicznego, zbiorowiskom trawiastym nadaje się nazwy od dominujących w runi gatunków, na przykład łąki wyczyńcowe, mozgowe czy pastwiska koniczynowo-życicowe. W Polsce najważniejszymi podziałami trwałych użytków zielonych są: podział typologiczny i fitosocjologiczny (Łyszczarz, 2004). W praktyce, na podstawie zdjęć fitosocjologicznych określa się zbiorowisko roślinne badanej łąki zgodnie z klasyfikacją typologiczną lub fitosocjologiczną. Następnie wybiera się reprezentatywny płat roślinności, z którego sporządza się spis gatunków. Zawartość nadziemnej części łąki określa się metodą szacunkową lub botaniczno-wagową, wyrażając ją jako procent masy ogólnej (Moraczewski, 1986).

### Podział typologiczny łąk

Podział typologiczny uwzględnia różnorodność siedlisk i znaczenie podstawowych czynników w kształtowaniu siedlisk i zbiorowisk łąkowych (Łyszczarz, 2004). Podstawą tej klasyfikacji są dwa główne kryteria. Pierwszym z nich są czynniki fizjograficzne, takie jak wysokość nad poziomem morza, rzeźba terenu oraz jego budowa geologiczna. Drugim kryterium są czynniki siedli-

**Tabela 1**  
**Table 1**

**Kształtowanie się typów florystycznych łąk i pastwisk w zależności od żyzności gleby i stosunków wodnych wg Klappa (1962)**  
**Formation of floristic types of meadows and pastures depending on soil fertility and water conditions according to Klapp (1962)**

		Rodzaj gleby; Soil type		
		gleby żyzne o odczynie obojętnym lub słabo kwaśnym; fertile soils with a neutral or slightly acidic pH	gleby średnio żyzne o odczynie słabo kwaśnym; medium fertile soil with a slightly acidic pH	gleby ubogie z brakiem niektórych składników pokarmowych o odczynie przeważnie kwaśnym i mało przewiewne; poor soils with a lack of some nutrients, mostly acidic and poorly permeable
Warunki wilgotnościowe; Humidity conditions	stanowiska mokre z okresami zalegania wody i podmokłe wet sites with periods of standing water and waterlogged sites	<i>Glyceria maxima</i> , <i>Phalaris arundinacea</i>	turzyce wysokie rozłogowe / tall creeping sedges, <i>Agrostis stolonifera</i> , <i>Alopecurus geniculatus</i> , <i>Glyceria fluitans</i>	turzyce wysokie kępowe / tall tufted sedges, <i>Calamagrostis canescens</i> , <i>Eriophorum angustifolium</i>
	stanowiska wilgotne i umiarkowanie wilgotne; moist and moderately moist locations	<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Festuca pratensis</i>	<i>Deschampsia cespitosa</i> , <i>Festuca arundinacea</i> , <i>Poa pratensis</i>	<i>Carex panicea</i> , <i>Carex nigra</i> i inne turzyce niskie / and other low sedges
	stanowiska świeże i umiarkowanie suche; fresh and moderately dry sites	<i>Arrhenatherum elatius</i> , <i>Dactylis glomerata</i>	<i>Trisetum flavescens</i> , <i>Avena pubescens</i>	<i>Nardus stricta</i> , <i>Agrostis capillaris</i>
	stanowiska półsuche i suche; semi-dry and dry sites	<i>Bromus inermis</i> , <i>Bromus erectus</i>	<i>Festuca ovina</i>	<i>Corynephorus canescens</i> , <i>Ammophila arenaria</i> , <i>Leymus arenarius</i>



skowe, obejmujące stosunki wodne, stopień natlenienia wód, rodzaj gleby i jej zasobność w składniki pokarmowe, a także dostępność światła i temperaturę (Prończuk, 1962; Piekut i Pawluśkiewicz, 2005). Ważnym jest, iż wymienione czynniki nie oddziałują na daną cenozę oddzielnie, lecz kompleksowo. Siedliska pod względem podstawowych warunków przyrodniczych i odpowiadających im cenoz, zalicza się do odpowiadającego im typu. Każdy gatunek ma swoje optimum rozwojowe przy określonych dla niego warunkach siedliska (Podbielkowski, 1982; Dmitrijew, 1951). Według Bury-Zalewskiej i Prończuka (1954) wiodącą rolę w klasyfikacji typologicznej pełnią stosunki wodne w danym siedlisku, ponieważ decydują o podziale grup na mniejsze jednostki systematyczne. Określenie „łąka” w podziale typologicznym odnosi się do wszystkich użytków zielonych tj. kośnych, wyłącznie wypasanych lub użytkowanych zmiennie (Grzyb, 1996). Dotyczy to także wszystkich form użytkowych, tj. właściwych, czyli systematycznie użytkowanych, jak również tzw. ochronnych, na których użytkowanie podporządkowuje się ich roli ochronnej (np. przeciwerozryjnej), a także tzw. potencjalnych, które użytkuje się

tylko sporadycznie lub nie użytkuje się w ogóle (np. z powodu zabagnienia), ale które po melioracji są jednoznacznie siedliskami łąkowymi właściwymi. W Polsce pierwszy typologiczny podział łąk został opracowany przez Bury-Zalewską i Prończuka (1954), którzy podczas badań florystycznych, glebowych i hydrologicznych doliny Narwi napotkali na od dawna stosowany w tym regionie, lokalny podział użytków zielonych na grupy i podstawowe rodzaje. Modyfikacji podziału typologicznego polskich łąk dokonali Prończuk (1962), a następnie Grzyb (1996). Modyfikacje przedstawione przez Grzyba (1993) dotyczyły wyodrębnienia samodzielnej grupy murszowisk, zajmujących ówczesnie 32% ogólnej powierzchni łąk dolinowych. Murszowiska wg modyfikacji łączą się z grupą grądów podmokłych oraz z grupą bielaw poprzez bielawy podtopione (Łyszczarz, 2004). Według Grzyba (1996) typologiczny podział użytków zielonych jest wielopoziomowym układem hierarchicznym, zawierającym w najbardziej rozwiniętym układzie siedem jednostek hierarchicznych, tj. strefy wysokościowe, typy, podtypy, grupy, podgrupy, rodzaje oraz odmiany; co przedstawione jest w tabeli 2.

Tabela 2  
Table 2Typologiczny podział łąk polskich (schemat) wg Grzyba i Prończuka (Grzyb 1996)  
Typological classification of Polish meadows (scheme) according to Grzyb (1996)

Cechy fizjograficzno-siedliskowe; Physiographic and habitat features			Cechy siedliskowe; Habitat features		
strefa wysokościowa w m n.p.m.; altitude zone in m above sea level	typ; type	podtyp; subtype	podgrupa* (rzeźba); subgroup* (sculpture)	grupa; group	rodzaj; type
0-300	niżowe dolinowe; lowland valley			łągi; floodplain	zgrądowiałe; overgrown właściwe; proper rozlewiskowe; floodplains zastoiskowe; stagnant zubożale; impoverished właściwe; proper podmokłe; waterlogged popławne; floating
				grądy; oak-hornbeam forests	grądowiejące; mesophilous undergoin g succession zdegradowane; degraded
				murszowiska (pobagienne); mudflats (post- barsh)	właściwe; proper ługowiejące; alluval undergoing succwsson
				bielawy (bagienne); whitish (marsh)	podtopione; flooded wododziałowe; watershed właściw; proper zalewne; alluval

Tabela 2 (cd.)  
Table 2 (cont.)

Cechy fizjograficzno-siedliskowe; Physiographic and habitat features				Cechy siedliskowe; Habitat features	
strefa wysokościowa w m n.p.m.; altitude zone in m above sea level	typ; type	podtyp; subtype	podgrupa* (rzeźba); subgroup* (sculpture)	grupa; group	rodzaj; type
150-300	niżowe pozadolinowe; lowlands outside valley	stokowe; stock	płaskie, „połogie”, strome; flat, gradual, steep	grądy; oak-hornbeam forests	zubożałe; impoverished właściwe; proper podmokłe (młaki); waterlogged
		wierzychowinowe; montane	płaskie, faliste; flat, wavy	grądy oak-hornbeam forests	zubożałe; impoverished właściwe; proper
300-500 „pogórze” / „foothills”	terenów górzys- tych; mountainous areas	dolinowo-kotlinowe valley-basin	płaskie, faliste; flat, wavy	łągi; floodplain	zgrądowiałe; overgrown zubożałe; impoverished właściwe; proper podmokłe; waterlogged
				grądy; oak-hornbeam forests	właściwe; proper podmokłe; waterlogged
				murszowiska; mudflats bielawy; whitish	właściwe; proper zubożałe; impoverished
		stokowe; stock	płaskie, „połogie”, strome, spadziste; flat, gradual, steep, sloping	grądy; oak-hornbeam forests	właściwe; proper podmokłe; waterlogged
		wierzychowinowe; montane	płaskie, faliste; flat, wavy	murszowiska; mudflats	zubożałe; impoverished właściwe; proper
500-1000 górskie / mountain				dalszy podział jak w strefie pogórza / further division as in the foothill zone	
>1000 wysokogór- skie / high mountain				dalszy podział jak w strefie pogórza / further division as in the foothill zone	

\* spadki płaskie &lt;5°, „połogie” 5-10°, strome 10-20°, spadziste &gt;20°

\* flat drops &lt;5°, gradual 5-10°, steep 10-20°, sloping &gt;20°

### Klasyfikacja fitosocjologiczna

Fitosocjologiczna klasyfikacja trwałych użytków zielonych, w tym łąk, wykazuje wielogatunkowy i niekiedy bardzo złożony skład botaniczny. Klasyfikacja ta służy do powszechnego stosowania przy wydzieleniu jednostek systematycznych m.in. na łąkach Polski (Jargiełło, 1976a; Szoszkiewicz, 1975, 1977). Głównymi zadaniami fitosocjologii są przede wszystkim badania nad składem gatunkowym zespołów roślinnych, ich wyróżnianiem i opisywaniem. Podstawową jednostką systemu fitosocjologicznego jest zespół roślinny. W odróżnieniu od realnie istniejącego zbiorowiska naturalnego, zespół fitosocjologiczny jest pojęciem abstrakcyjnym. Przedstawia on nieistniejący model roślinności, aczkolwiek jest opisany na przykładzie konkretnych i istniejących płatów (Wysocki i Sikorski, 2009). W Europie w badaniach nad klasyfikacją zespołów roślinności najczęściej przyjmuje się system podziału zaproponowany w latach dwudziestych XX wieku przez Brauna-Blanquetta, uważanego za twórcę szkoły francusko-szwajcarskiej wydzielenia i klasyfikowania zespołów roślinnych (Braun-Blanquet,

1928 i kolejne wznowienia 1951, 1964). Zdaniem Brauna-Blanquetta (1962) gatunki „wiernie” nie muszą występować w dużej ilości, mogą być nawet rzadkie, ale powinny towarzyszyć stale określonej grupie. W fitosocjologii stosowanej gatunek „wierny” to taki, który wykazuje wysoką specyficzność względem określonego zbiorowiska roślinnego, czyli występuje głównie lub wyłącznie w danym typie fitocenozy. Wierność gatunku określa stopień jego powiązania ze zbiorowiskiem, a tym samym jego przydatność jako gatunku diagnostycznego. Im wyższy stopień wierności, tym bardziej dany gatunek jest charakterystyczny dla konkretnej jednostki roślinnej i rzadziej pojawia się w innych fitocenozach (Wysocki i Sikorski, 2009). Fitosocjologiczna klasyfikacja szaty roślinnej wg Brauna-Blanquetta znalazła w Polsce najwięcej zwolenników. W Polsce określenie „fitosocjologia” użył po raz pierwszy Paczoski w 1896 roku (którego zdaniem fitosocjologia jest nauką o współistnieniu roślinności, o ich życiu, rozwoju i rozmieszczeniu (Paczoski, 1925, 1951). Zadaniem stosowania klasyfikacji fitosocjologicznej m.in. w łąkarstwie jest jak najlepsze poznanie

i charakterystyka ekosystemów. Badania fitosocjologiczne łąk służą określaniu składu florystycznego oraz ilościowych i towarzyskich stosunków między gatunkami. Na podstawie wykonanych zdjęć fitosocjologicznych danej łąki można również wyznaczyć kierunki sukcesji roślinnej i sterować nią dla potrzeb rolnictwa (Łyszczarz, 2004). Pierwszym dziełem ujmującym syntetycznie polskie zbiorowiska trawiaste i turzycowe była publikacja Mariana Nowińskiego z 1967 roku. Autor opisał występujące w obrębie niektórych zespołów liczne podzespoły - Interesującą pozycją w zakresie badań fitosocjologicznych polskich łąk jest praca Gryni (1995), w której autorka przedstawiła gatunki charakterystyczne klas z roślinnością łąkową oraz wyodrębniła ważniejsze gospodarczo zespoły roślinne, co przedstawiono w tabeli 3. Do

2001 roku większość polskich fitosocjologów, w tym również łąkarzy, opierała się na podziale syntaksonomicznym szaty roślinnej Polski opracowanym przez Matuszkiewicza (1982). Duży postęp w badaniach krajowej roślinności oraz rozwój syntaksonomi w drugiej połowie XX wieku stworzył potrzebę komplementarności z zasadami Kodeksu Nomenklatury Fitosocjologicznej (Barkman i in., 1995). To z kolei przyczyniło się do opracowania nowego „Przewodnika do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski”, który ukazał się w 2001 roku (Matuszkiewicz, 2001), ze wznowieniem w 2005, 2008, 2011 oraz 2022 roku. Zawiera on pełny wykaz gatunków charakterystycznych, wyróżniających oraz innych wymienionych taksonów.

Tabela 3  
Table 3

Najczęściej występujące fitosocjologiczne jednostki systematyczne zbiorowisk łąkowych i pastwiskowych wg Gryni (1995)  
The most common phytosociological systematic units of meadow and pasture communities according to Grynia (1995)

Klasa; Class	Rząd; Order	Związek; Alliance	Zespół; Association
<i>Phragmitetea</i>	<i>Phragmitetalia</i>	<i>Phragmition</i>	<i>Phragmitetum australis</i> <i>Glycerietum maximae</i> <i>Caricetum acutiformis</i> <i>Caricetum paniculatea</i> <i>Caricetum rostratae</i> <i>Caricetum elatae</i> <i>Caricetum pseudocyperi</i> <i>Caricetum gracilis</i> <i>Caricetum vulpinae</i> <i>Glycerietum plicatae</i>
		<i>Magnocaricion</i>	<i>Sparganio-Glycerion fluitantis</i> <i>Sparganio-Glycerietum fluitantis</i>
<i>Molinio-Arrhenetheretea</i>	<i>Molinietalia</i>	<i>Molinion</i>	<i>Molinietum caeruleae medioeuropaeum</i> <i>Junco-Molinietum</i> <i>Cirsio-Polygonetum</i> <i>Junco-Cynosuretum</i> <i>Scirpetum silvatici</i> <i>Deschampsietum caespitosae</i> <i>Holcetum lanati</i> <i>Arrhenatheretum eliatoris medioeuropaeum</i> <i>Alopecuretum pratensis</i> <i>Gladiolo-Agrostidetum</i> <i>Trisetum flavescens</i> <i>Lolio-Cynosuretum</i> <i>Festuco-Cynosuretum</i>
		<i>Calthion</i>	<i>Hieracio-Nardetum</i> <i>Carici-Nardetum</i> <i>Leontodono-Nardetum</i> <i>Polygalo-Nardetum</i> <i>Nardo-Juncetum</i> <i>Calluno-Nardetum</i>
		<i>Arrhenatherion eliatoris</i>	<i>Caricetum Davallianae</i> <i>Carici canescentis-Agrostidetum caninae</i> <i>Lolio-Plantaginetum maioris</i> <i>Agropyron-Rumicon crispi</i> <i>Rumici-Alopecuretum</i> <i>Rorippo-Agrostietum</i> <i>Potentillo-Festucetum arundinaceae</i>
		<i>Polygono-Trisetion</i>	
<i>Nardo-Callunetea</i>	<i>Nardetalia</i>	<i>Cynosurion</i>	
		<i>Eu-Nardion</i>	
<i>Scheuchzeno-Caricetea fuscae</i>	<i>Scheuchzerietalia palustris</i> <i>Caricetalia fuscae</i>	<i>Caricion lasiocarpae</i>	
		<i>Caricion canescentis fuscae</i>	
<i>Plantaginetea maioris</i>	<i>Plantaginetalia maioris</i>	<i>Polygonion avicularis</i>	
<i>Festuco-Bromeatea</i>	<i>Brometalia erecti</i> <i>Festucetalia valesiacae</i>	<i>Festuco-Stipion</i>	
		<i>Corynephorion canescentis</i> <i>Armerion elongatae</i>	<i>Spergulo vernalis-Corynephorum</i> <i>Corynephorum-Silenetum tataricae</i> <i>Diantho-Armerietum=Armero-Festucetum</i> <i>Festuco psammophilae-Koelerietum glaucae</i>
<i>Sedo-Scleranthetea</i>	<i>Festuco-Sedetalia</i>	<i>Koelerion glaucae</i>	

## Synteza podziałów typologicznego i fitosocjologicznego

W praktyce podział typologiczny i fitosocjologiczny powinny współistnieć w celu wykorzystania, zebranych różnymi metodami danych do syntetycznych opracowań warunków siedliskowych oraz szaty roślinnej. Synteza obu podziałów została przedstawiona przez Grzyba i Prończuka (1995). Należy jednak nadmienić, że typologiczny podział użytków zielonych nie ma jednoznacznego odnie-

sienia do klasyfikacji fitosocjologicznej (Wysocki i Sikorski, 2009; Łyszczarz, 2004), ponieważ fitosocjologiczny system zbiorowisk roślinnych jest oparty na podstawie florystycznej. Natomiast podział typologiczny łąk oparty jest na właściwościach siedliska (Pawłowski i in., 1962). W typologii łąkarskiej jednostki fitosocjologiczne przedstawia się często w postaci wyższych syntaksonów, tj. na poziomie klasy, rzędu, związku; co przedstawia tabela 4.

Tabela 4  
Table 4

Podział typologiczny łąk a przynależność fitosocjologiczna zbiorowisk roślinnych  
(Grzyb, 1996; Kucharski, 1996; Rogalski i in., 2004) – opracowanie (Wysocki i Sikorski, 2009)  
Typological classification of meadows and their phytosociological affiliation of plant communities  
(Grzyb, 1996; Kucharski, 1996; Rogalski et al., 2004) – study by Wysocki and Sikorski (2009)

Podział typologiczny; Typological division		Podział fitosocjologiczny; Phytosociological division	
grupy typologiczne; typological groups	rodzaje; types	klasy, rzędy; class, order	związki; alliance
Łąki łąkowe (grądy); oak-hornbeam meadows	grądy zubożałe; impoverished oak-hornbeam forests	<i>Koelerio-Corynephoretea</i> <i>Nardo-Callunetea</i> <i>Festuco-Brometea</i>	<i>Vicio-Potentillion argentear</i> <i>Nardo-Galion saxatilis</i> <i>Cirsio-Brachypodium</i>
	grądy właściwe; proper oak-hornbeam forests	<i>Arrhenatheretalia</i>	<i>Arrhenatherion</i> <i>Cynosurion</i>
	grądy popławne; floating oak-hornbeam forests	<i>Arrhenatheretalia</i>	<i>Arrhenatherion</i> <i>Cynosurion</i>
	grądy połęgowe; after floodplain oak-hornbeam forests grądy podmokłe; waterlogged oak-hornbeam forests	<i>Molinietalia</i>	<i>Alopecurion pratensis</i> <i>Calthion</i> <i>Molinion caeruleae</i>
Łąki zalewne (łągi); floodplain (floodplain)	łągi właściwe; proper floodplain	<i>Molinietalia</i> <i>Phragmitetea</i>	<i>Calthion</i> <i>Magnocaricion</i>
	łągi rozlewiskowe; backwater floodplain	<i>Phragmitetea</i>	<i>Phragmition</i> <i>Magnocaricion</i>
	łągi zastoiskowe; stagnant floodplain	<i>Molinio-Arrhenatheretea</i> <i>Phragmitetea</i>	<i>Agryporo-Rumicion crispi</i>
Łąki bagienne (bielawy); Marsh meadows (whitish)	bielawy zalewne; flooded whitish		<i>Caricion fusae</i> <i>Magnocaricion</i>
	bielawy podtapiane; submerged whitish bielawy właściwe; proper whitish	<i>Scheuchzerio-Caricetea nigrae</i>	<i>Caricion davallianae</i> <i>Caricion lasiocarpae</i>
Łąki pobagienne (mursze); Post-marsh meadows (muck meadows)		<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>	<i>Alopecurion pratensis</i> <i>Arrhenatherion elatioris</i>

## Metody badań oceny składu roślinnego łąk

Metody oceny składu roślinnego łąk i pastwisk można podzielić na dwie główne grupy:

- 1) Metody botaniczno-szacunkowe i botaniczno-pomiarowe – opierają się na szacowaniu pokrycia powierzchni użytków zielonych przez poszczególne gatunki roślin lub analizie struktury zespołu roślinnego. Do najważniejszych metod należą:
  - Metoda Hult-Sernandera (1912) – szacowanie pokrycia w skali pięciostopniowej.
  - Metoda Brauna-Blanquetta (1951) – analiza struktury zespołu roślinnego w skali siedmiostopniowej.
  - Metoda Klappa (1962) – szacowanie pokrycia w skali jedenastostopniowej.
- 2) Metody analiz botaniczno-wagowych – pozwalają na określenie udziału poszczególnych

gatunków roślin w jednostce masy plonu siana lub zielonki. Wśród nich wyróżnia się:

- Metodę Steblera-Schötera (1892).
- Metodę kwadratów stałych Clementsa (1905) oraz Webera (1909).
- Metodę punktową Levy'ego (1933), zmodyfikowaną przez Dzieżyca (1954).

Analiza botaniczno-wagowa umożliwia precyzyjne określenie udziału poszczególnych gatunków roślin na łąkach i pastwiskach. Choć jest czasochłonna i kosztowna, zapewnia najdokładniejsze wyniki spośród metod oceny składu florystycznego. Jest niezastąpiona w precyzyjnych badaniach nad trwałością gatunków i odmian traw stosowanych w mieszankach oraz niezbędna przy ocenie wartości pokarmowej paszy. Z kolei metoda szacunkowa jest szybsza, lecz mniej precyzyjna. Może być wykorzystywana do monitorowania zmian w grupach roślin zachodzących w zbiorowiskach łąkowych pod wpływem czynników siedlisko-

wych. Jest szczególnie przydatna w badaniach terenowych obejmujących duże obszary (Filipek, 1970). Kownacka (1961) sugeruje, że metody wagowe, mimo że czasochłonne, mogą dostarczyć dokładniejszych danych na temat struktury roślinności łąkowej w porównaniu do mniej skomplikowanych metod szacunkowych. W pracy tej analizowano również korelacje między wynikami uzyskanymi za pomocą różnych metod, co pozwoliło ocenić, w jakim stopniu metoda wagowa jest bardziej miarodajna. Kulik (2010) omawia wykorzystanie metod botaniczno-wagowych do oceny efektywności regeneracji runi łąkowej. W badaniach tych porównywano różne metody analizy florystycznej, w tym metodę wagową jako bardziej szczegółową alternatywę dla klasycznych metod szacunkowych, które mogą nie oddać w pełni zmian w składzie florystycznym runi. Dębska-Kalinowska (2005) wskazuje, iż metoda szacunkowa jest szybsza i mniej kosztowna, to jednak metoda wagowa daje bardziej precyzyjny obraz składu florystycznego i lepiej uwzględnia zmiany w dominacji poszczególnych gatunków roślinnych w runi łąkowej.

Dodatkowym zagadnieniem w analizach botaniczno-wagowych jest ocena ilościowa i jakościowa plonów z łąk i pastwisk. Pozwala ona na rejestrowanie skutków zabiegów agrotechnicznych, co ma kluczowe znaczenie gospodarcze.

Metody ilościowej oceny plonowania:

- Metoda poletek próbnych Stählina i Bommera (1963).
- Metoda płytkowa, zmodyfikowana przez Kreuza i Arnolda (1966) oraz Kostucha (1975).

Metody jakościowej oceny runi łąk i pastwisk:

- Dziesięciostopniowa skala wartości pastwicznej roślin łąkowo-pastwiskowych według Klappa (1962, 1965, 1971).
- Czternastostopniowa klasyfikacja roślin łąkowo-pastwiskowych według Filipka (1973).
- Metoda oceny użytków zielonych według Šostarič-Pisačič i Kovačoviča (1974).

Podział metod badań składu roślinnego łąk pozwala na dobór odpowiednich technik w zależności od celu badań – czy jest nim szybka ocena pokrycia, szczegółowa analiza struktury roślinności, czy precyzyjna ocena ilościowa i jakościowa plonowania.

### Metody botaniczno-szacunkowe

Metody botaniczno-szacunkowe polegają na subiektywnej ocenie stopnia pokrycia danych gatunków w runi wg określonej skali i klucza, oraz następnie zaklasyfikowanie badanego zbiorowiska do możliwie jak najniższej jednostki syntaksnonomicznej. Określenie stopnia pokrycia szacowane jest „na oko” w miejscu fitocenozy. Dla uchwycenia liczebności poszczególnych gatunków w zbiorowisku każdy autor swojej metody wprowadził własną skalę stopniowania. Zestawienie wybranych skal szacowania pokrycia roślinnego przedstawia tabela 5.

Skala Hulta-Sernandera (1912) przy wartościach 1 oraz 5 jest znacznie mniej dokładna w porównaniu, ze skalą Brauna-Blanquetta (1951), natomiast wartości 2 i 3 są zbyt silnie zróżnicowane i w terenie często z trudem dają się wyodrębnić. Mimo większej trudności w szacun-

Tabela 5  
Table 5

Zestawienie skal wybranych metod botaniczno-szacunkowych  
Comparison of selected botanical-estimation method scales

		Skala; Scale	
Hult-Sernander (1912)		Braun-Blanquet (1951)	
1	– pokrywa mniej niż 6,25% powierzchni; – covers less than 6.25% of the area	r	– rzadkie; – rare
		+	– nieliczne; – few
		1	– dość liczne, poniżej 5%; – quite numerous, less than 5%
		2	– licznie pokrywa 5%-25% powierzchni; – covers 5%-25% of the area in large numbers
		3	– pokrywa 25%-50% powierzchni; – covers 25%-50% of the area
2	– pokrywa 6,25%-12,5% powierzchni; – covers 6.25%-12.5% of the area	4	– pokrywa 50%-75% powierzchni; – covers 50%-75% of the area
		5	– pokrywa ponad 75% powierzchni; – covers over 75% of the area
3	– pokrywa 12,5%-25% powierzchni; – covers 12.5%-25% of the area	6	– pokrywa 25%-50% powierzchni; – covers 25%-50% of the area
		7	– pokrywa 50%-75% powierzchni; – covers 50%-75% of the area
4	– pokrywa 25%-50%; – Cover 25%-50%	8	– pokrywa 75%-100% powierzchni; – covers 75%-100% of the area
		9	– pokrywa ponad 100% powierzchni; – covers more than 100% of the area
5	– pokrywa ponad 50% powierzchni; – covers more than 50% of the area	10	– pokrywa ponad 100% powierzchni; – covers more than 100% of the area
		11	– pokrywa ponad 100% powierzchni; – covers more than 100% of the area

Źródło / Source: (Ralski i in., 1957; Fukarek, 1967) – opracowanie własne / own work

kach pokrycia zbiorowiska przez gatunki względem skali Brauna-Blanquetta (1951), metoda Hulta-Sernandera (1912) jest szeroko stosowana w krajach północnoeuropejskich (Fukarek, 1967). Z podobną trudnością wyceny stopni niższych spotkała się metoda Klappa (1962). Wyznaczenie stopni 4, 5 i 6 jest za mało zróżnicowane i wymagało przeliczenia z ilości poszczególnych gatunków na procenty pokrycia powierzchni.

Metoda Brauna-Blanquetta (1951) okazała się prosta oraz dostatecznie dokładna dla fitosocjologów, m.in. ze względu na możliwość międzynarodowego porównywania wyników. Obecny stan badań fitosocjologicznych wg metody Brauna-Blanquetta (1951) prowadzony w zbiorowiskach trawiastych Polski, jest obszerny, rozbudowany i zależny od regionu kraju, w którym ma „swoich” badaczy. Wśród badaczy o dużych osiągnięciach z zakresu polskiej fitosocjologii łąkarskiej Trąba (2009) wyróżnia m.in.: Fijałkowskiego i Chojniczkę-Fijałkowską (1990), Mosek i Miazgę (2006), Baryłę i Urban (2002), Kucharczyka (1996), Trąbę (1994), Wyłupek (1999), Brzeg (1991), Grynię (1996), Grzelak (2004), Kryszak (2001), Ratyńską (2001) oraz Stachowicza (1998). Przez lata publikowali oni opracowania szaty roślinnej Lubelszczyzny oraz Wielkopolski. Wśród istotnych osiągnięć polskiej fitosocjologii łąkarskiej wyróżniają się m.in. badania nad klasyfikacją zbiorowisk roślinnych użytków zielonych, oceną wpływu użytkowania i zmian siedliskowych na różnorodność gatunkową oraz analizą dynamiki sukcesji roślinności. Istotne wyniki dotyczą również opracowania wskaźników ekologicznych dla fitocenoz łąkowych oraz charakterystyki roli gatunków diagnostycznych w monitoringu ekosystemów trawiastych. Badania te przyczyniły się do pogłębienia wiedzy o strukturze i funkcjonowaniu zbiorowisk łąkowych w Polsce oraz ich znaczeniu w ochronie bioróżnorodności. Obecnie badania fitosocjologiczne na użytkach zielonych prowadzą m.in. następujący badacze (Warda i Kowalski, 2014; Dajdok i Wuczyński, 2018; Wójcik-Gront i Stypiński, 2019; Szymura i Szymura, 2020; Kącki 2021). Małą cegiełką do osiągnięć badań fitosocjologicznych zbiorowisk łąkowych wg szkoły Brauna-Blanquetta (1951) dołożyła praca inżynierska autorki niniejszego artykułu, wykonana w 2021 r. na terenie „Bagna Bubnów” w Poleskim Parku Narodowym w województwie lubelskim. Celem pracy był opis roślinności łąk występujących na obszarze „Bagna Bubnów” w Poleskim Parku Narodowym. W ramach pracy były wykonane spisy florystyczne metodą Braun-Blanquetta oraz zostały pobrane próby glebowe. Wykonane badania pozwoliły określić fizjonomię zbiorowisk oraz ich strukturę gatunkową i syntaksonomiczną. W charakterystyce zbiorowisk zostały również uwzględnione wybrane wskaźniki różnorodności gatunkowej oraz struktura form życiowych wg

Raunkiaera. Zostały również opisane warunki siedliskowe, w których występowały badane zbiorowiska (Skowron, 2022).

### Metody botaniczno-wagowe

Metody botaniczno-wagowe mają zastosowanie w określaniu ilości biomasy zielonej oraz siana. Z tego względu są one istotne dla gospodarki łąkowo-pastwiskowej prowadzonej przez człowieka. Wykonanie analizy botaniczno-wagowej przeprowadza się na podstawie średnich prób, pobranych zazwyczaj w czasie koszenia łąki. W tym celu zbiera się próby o masie około 1-2 kg z każdego pokosu. Analizę botaniczną przeprowadza się zazwyczaj na świeżej masie roślin, aby łatwiej oddzielić poszczególne gatunki (Ralski i in., 1957).

Metoda Steblera-Schrötera (1892) polega na wyborze miejsca o runi charakterystycznej dla całego obszaru i wydzieleniu kwadratu o powierzchni około 1000 cm<sup>2</sup>. Następnie należy spisać wszystkie gatunki roślin tam występujące. Kolejnym etapem jest ścięcie, suszenie i segregacja na gatunki, pobranej biomasy runi. Posortowane gatunki waży się, a otrzymane wyniki przelicza na procenty, określając udział wagowy poszczególnych gatunków w runi dla danego obszaru. Omówiona metoda nie została powszechnie przyjęta ze względu na konieczność rozpoznania gatunków roślin w stanie zarówno kwiatowym jak i bezkwiatowym (Moraczewski, 1986). W Polsce metoda Steblera-Schrötera została zaadaptowana i zmodyfikowana przez naukowców związanych z Polską Akademią Nauk, aby dostosować ją do specyficznych warunków siedliskowych oraz potrzeb badawczych. Modyfikacje te obejmowały optymalizację wielkości pobieranych próbek (Filipek, 1970). Dodatkowo Kownacka (1961) podjęła próbę ustalenia korelacji między wynikami analizy punktowej a botaniczno-wagowej, co miało na celu ocenę efektywności i dokładności obu metod w różnych warunkach siedliskowych.

Metoda kwadratów stałych, wprowadzona przez Clementsa (1905) polega na zaznaczeniu (palikowaniu) powierzchni 1 m<sup>2</sup> lub większej na danym użytku zielonym i obserwowanie występującej na nim roślinności przez kilka lat. W ten sposób możliwa jest obserwacja zmienności zespołu roślinnego i nasilenia poszczególnych gatunków w ciągu określonego czasu (Dzieżyc, 1954).

Metoda kwadratów Webera (1909) polega na wylczeniu procentowego pokrycia powierzchni gleby przez poszczególne gatunki runi z wykorzystaniem drewnianej lub metalowej kwadratowej ramy o boku 50 cm (25 dm<sup>2</sup>), dodatkowo podzielonej na 25 mniejszych kwadratów, każdy o boku 10 cm (1 dm<sup>2</sup>). Tak samo jak w metodzie Steblera-Schrötera (1892), należy wybrać charakterystyczne miejsce w runi, jak najbardziej zbliżone do całości badanego obszaru. Po wyznaczeniu takiego miej-

sca, obecne w kwadratach rośliny wycenia się w odniesieniu do całej powierzchni, gdzie obszar 1 dm<sup>2</sup> stanowi 4% udziału. Po kilkakrotnym powtórzeniu pomiarów wylicza się średni wynik z wykonanych pomiarów. Opracowana przez Webera metoda daje wierne wyniki, szczególnie przy niskiej runi i wyrównanym rozmieszczeniu w przestrzeni. Natomiast przy wysokiej runi o kępowym sposobie rozrastania się pędów, Weber świadomy niedoskonałości wypracowanej przez siebie metody, zalecił uwzględnianie roślinności również poza kwadratami, szacując je w 10-stopniowej skali (Dzieżyca, 1954).

Inny sposób oceny zbiorowisk roślinnych łąk i pastwisk zaproponował Levy (1933). Do wykonania badań wg tej metody potrzebny jest specjalny aparat do prowadzenia pomiarów. U podstaw tej metody leży założenie, iż każde dotknięcie końcem druta rośliny lub gleby można uważać za jednostkę powierzchniową. Aparat składa się z szeregu prętów jednakowo od siebie oddalonych i umieszczonych w jednej płaszczyźnie pod kątem 45 stopni do powierzchni łąki lub pastwiska. Pomiar przeprowadza się poprzez opuszczanie prętów (które na swojej drodze natrafiają na jedną lub kilka roślin, tego samego lub różnych gatunków) następnie rejestracji każdego gatunku lub różnych gatunków. Wielokrotne dokonanie pomiaru przez aparat w różnych miejscach zbiorowiska daje szereg wyników dotyczących stosunków ilościowych panujących w runi. Opracowana metoda, mimo

otrzymania wyniku wiernego szacowania runi, jest pracochłonna i mozolna. Dodatkowo wymaga zastosowania wzoru w celu uzyskania danych liczbowych (Dzieżyca, 1954). Wzór określający procentowy udział poszczególnych gatunków w runi ( $D$ ) zamieszczono poniżej (Kryszak, 1995).

$$D = \frac{C \times 100}{e}$$

Dzieżyca (1954) badając tą metodą użytki zielone wprowadził do metody opracowanej przez Levy'ego (1933) pewne uproszczenia, stosując rozwiązania na wzór zastosowanej ówczesznie w Czechowicach (obecnie Czechowicach-Dziedzicach). W tym celu przyjął ostrze każdego pręta za jeden punkt i przy jednorazowym postawieniu aparatu o dziesięciu prętach otrzymywał dziesięć punktów, przypisanych do wyróżnionych w pomiarze grup roślin. Dziesięciokrotne powtórzenie pomiaru dało sto punktów, a liczbę punktów przypadającą na poszczególne grupy roślin można wyrazić w procentach. Przykład zawierający wyniki z 10 postawień aparatu wg uproszczonej metody Dzieżyca (1954) przedstawiono w tabeli 6. Następnie, aby obliczyć procentowy udział poszczególnych gatunków w runi, sumę wszystkich dotknięć danego gatunku, mnoży się przez 100, a następnie dzieli przez sumę wszystkich dotknięć dotyczących wszystkich gatunków (Grynia, 1995).

Tabela 6  
Table 6

Zestawienie wyników 10 postawień aparatu wg modyfikacji Dzieżyca (1954)  
Summary of results from 10 apparatus placements according to Dzieżyca's (1954) modification

Wyróżnione grupy lub gatunki roślin; Featured groups or species of plants	Ilość punktów uzyskana przy postawieniu aparatu; Number of points obtained when placing the camera										Pokrycie w %; Coverage in %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Mniszek lekarski; Dandelion	2	3	2	4	3	3	4	4	3	5	33
Krwawnik pospolity; Common Yarrow	1	2	1	1	2	2	1	2	-	1	13
Inne dwuliścienne; Other dicotyledons	-	1	2	1	1	-	1	-	1	-	7
Trawy; Grasses	6	4	4	4	4	5	3	4	5	4	43
Puste miejsca; Empty spaces	1	-	1	-	-	-	1	-	1	-	4
Razem; Total	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	100%

### Ocena wartości użytkowej łąk i pastwisk

W praktyce łąkarskiej, na przestrzeni lat, zaszła potrzeba określenia jakości i ilości plonu. Poniżej omówione zostały wybrane systemy klasyfikacji wartości użytkowej runi łąkowej lub pastwiskowej.

Metoda poletek próbnych Stählina i Bommera (1963) jest jedną z najbardziej uniwersalnych. Do poprawnego scharakteryzowania wielkości plonów wg tej metody, do pobrania próbek należy użyć kwadratowych ram o bokach od 0,5 m do

1 m. Należy ustalić plonowanie na poletkach o powierzchni 10-15 m<sup>2</sup> w sześciu powtórzeniach lub 20-25 m<sup>2</sup> w czterech powtórzeniach, na powierzchni 1ha. Próbkę rozdziela się na poszczególne gatunki (analiza szczegółowa) lub grupy roślin (analiza frakcyjna). Następnie oblicza się udział w % wagowych w stosunku do całej próbki. Opracowana metoda, mimo uzyskania wiernych wyników jest kłopotliwa w zastosowaniu przez duże nakłady pracy, jednakże jest stosowana w badaniach nad produktywnością użytków zielonych

(Oomes i Mooi, 1981; Bakker, 1989; Pötsch i in., 2004).

Metoda oznaczania wielkości plonów runi pastwiskowej wg Kreuza i Arnolda (1966), mimo znacznie prostszego sposobu pomiaru w porównaniu z metodą Stählina i Bommera (1963), nie nadawała się do szacowania plonów łąk. Modyfikację opracowanej metody zaproponował Kostuch w 1975 r. Oryginalna metoda Kreuza i Arnolda (1966) polegała na uproszczonym pomiarze plonów runi pastwiskowej, co miało na celu ułatwienie i przyspieszenie procesu oceny wydajności pastwisk. Jednakże, jej zastosowanie w przypadku łąk napotkało na trudności związane z różnorodnością składu florystycznego oraz zmiennością warunków siedliskowych, co wpłynęło na precyzję i wiarygodność uzyskiwanych wyników. W odpowiedzi na te wyzwania, Kostuch w 1975 roku wprowadził modyfikację metody, uwzględniającą specyfikę użytków zielonych. Modyfikacja polegała na określaniu wysokości runi pastwiskowej przed i po wypasie oraz procentowej ocenie zadarnienia pastwiska. Docelowo pomiar wysokości runi przeprowadzano w losowo wybranych miejscach co 1 cm na długości 1 m, jednocześnie oceniając stopień zadarnienia. Następnie wydajność pastwiska oblicza się według wzoru (Kostuch, 1975):

$$Pzm = (Wpw - Wpw_1) \times Z \times 0,6$$

gdzie:  $Pzm$  – plon zielonej masy (t/ha);  $WpW$  – średnia wysokość runi przed wypasem (cm);  $Wpw_1$  – średnia wysokość runi po wypasie;  $Z$  – zadarnienie (%); 0,6 – stała wartość, przyjmowana na podstawie założenia, iż z 1 ha przy 100% zadarnieniu uzyskuje się około 6 t zielonej masy.

Modyfikacja Kostucha (1975) pozwoliła na bardziej precyzyjne oszacowanie plonów łąk, uwzględniając zarówno strukturę runi, jak i stopień pokrycia gleby roślinnością, co jest kluczowe dla dokładnej oceny wydajności użytków zielonych. Obecnie zmodyfikowana metoda jest często stosowana przy pracach inwentaryzacyjnych (Twardy, 1995; Kostuch i Twardy, 2004; Twardy i Kopacz, 2015).

W praktyce łąkarskiej zachodzi często potrzeba określenia jakości plonu, tzw. wartości użytkowej. Jakościową ocenę łąk i pastwisk przeprowadza się, badając ukształtowane na nich zbiorowiska roślinne, które są odbiciem panujących warunków ekologicznych i sposobu użytkowania (Falkowski i in., 1983).

Klapp (1962, 1965, 1971) w swej metodzie uwzględniał wartość pastewną wszystkich gatunków, występujących w liczących się ilościach na łąkach i pastwiskach. Wycenę przeprowadza się na powierzchni  $5 \times 5 \text{ m} = 25 \text{ m}^2$ , spisując wszystkie gatunki wg kolejności: trawy, bobowate i inne.

Klapp oparł swoją metodę na 10 stopniowej skali, wydzielając trzy podstawowe grupy: gatunki wyraźnie szkodliwe dla zwierząt (trujące), określając je cyfrą „-1”, gatunki całkowicie bezwartościowe – „0” oraz gatunki pozostałe o różnej wartości pastewnej – „od 1 do 8”, przy czym cyfrą „8” oznacza gatunki pełnowartościowe (Klapp, 1971).

Najbardziej rozległą skalę oceny wartości paszowej zaproponował Filipek (1973). Za wskaźnik wartości poszczególnych gatunków autor przyjął „liczbę wartości użytkowej” ( $L_{wu}$ ). Rośliny bardzo dobre oznacza się liczbami „10-9”; dobre „8-7”; średnie „6-4”; rośliny o małej wartości użytkowej „3-1”; gatunki bezwartościowe „0”; natomiast rośliny trujące oznacza się „od -1 do -3”. Czterna-stopniowy system klasyfikacji roślin łąkowo-pastwiskowych wg Filipka (1973), uwzględnia określenie wartości paszowej i plenności roślin łąkowych jednocześnie. Dodatkowo autor metody przewiduje zmniejszenie liczby przyznawanej liczby wartości w stosunku do niektórych roślin. W ramach swojej pracy magisterskiej wykonałam analizę botaniczno-wagową runi z określeniem wartości użytkowej wg Filipka (1973). Masa roślinna została pobrana z certyfikowanego użytku zielonego w Miedniewicach, za pomocą ramy Webera. Następnie posegregowana na poszczególne gatunki, wysuszona i zważona, co przedstawia rysunek 1. Metoda oceny wartości paszowej opracowana przez Filipka w 1973 roku jest najczęściej stosowana. Popularność tej metody wynika z kilku kluczowych czynników. Po pierwsze, metoda ta została dostosowana do specyfiki polskich warunków agroklimatycznych i rodzajów pasz dostępnych w kraju, co czyni ją szczególnie przydatną w lokalnych badaniach. Po drugie, jej zastosowanie pozwala na uzyskanie wyników porównywalnych z wcześniejszymi badaniami, co jest istotne dla monitorowania zmian w wartości pasz na przestrzeni lat. Dodatkowo, metoda ta jest zgodna z oficjalnymi standardami i normami stosowanymi w Polsce, co ułatwia jej implementację w praktyce laboratoryjnej (Filipek, 1959; Szymańska 2000; Korol i in., 2014).

Metoda opracowana w Jugosławii przez Šostariča-Pisačića i Kovačoviča (1974) zakłada, iż idealny skład botaniczny wynosi 100, a mnożąc go przez przypisane poszczególnym grupom roślin współczynniki uzyskamy w procentach wagowych udział poszczególnych gatunków w runi. Opracowana metoda dzieli roślinność na dziewięć klas, o określonych współczynnikach jakości. Roślinność znakomitą ( $zn$ ) określono współczynnikiem 1,0; bardzo dobrą ( $bd$ ) – 0,8; dobrą ( $db$ ) – 0,6; umiarkowaną ( $um$ ) – 0,4; ubogą ( $ub$ ) 0,2; bezwartościową ( $bw$ ) – 0, depresyjną ( $dp$ ) – „-0,2”; szkodliwą ( $sk$ ) – „od -1 do -2”; bardzo szkodliwą ( $bs$ ) od „-2,5 do -4”





Rys. 1. Ocena składu gatunkowego runi metodą botaniczną wagową) runi przeznaczona do ścięcia, b) próby zebrane z polełka i przetransportowane do laboratorium, c) próby po segregacji gatunkowej d) próba przygotowana do wysuszenia (Fot. G. Skowron)

Fig. 1. Evaluation of the species composition of the sward using the botanical weight method a) sward intended for cutting, b) samples collected from the plot and transported to the laboratory, c) samples after species segregation d) sample prepared for drying (Phot. G. Skowron)

### Metody wskaźnikowe oceny składu roślinnego łąk

W ocenie plonów runi oraz jej jakości stosuje się również metody wskaźnikowe. Do opracowanych metod należą m.in.: metoda Ramińskiego (1950), metoda de Vriesa (1959), metoda Ellenberga (1952) w modyfikacji Zarzyckiego (2002), metoda Oświta (liczby wilgotnościowe) (2000), a także ocena bioróżnorodności za pomocą współczynnika bioróżnorodności indeksu Shannon-Wienera (Shannon- Wiener, 1949). Wśród polskich autorów prac naukowych stosujących metody wskaźnikowe w badaniach łąkarskich w ciągu ostatnich lat należą m.in. Zarzycki i Misztal (2015); Kitczak i Jankowski (2018); Murawski i wsp. (2017), Janicka i wsp. (2016).

Metoda Ramińskiego, opracowana w 1950 roku, jest oparta na ilościowym określeniu pokrycia roślinności w różnych stadiach rozwoju. Autor metody wprowadził klasyfikację roślin na podsta-

wie ich cech morfologicznych i fenologicznych, co pozwalało na określenie kondycji runi. Kluczowym elementem tej metody jest obserwacja częstotliwości występowania gatunków roślinnych oraz ich pokrycia w obrębie badanego terenu. Metoda ta umożliwia również ocenę zmian w jakości runi w zależności od sezonu wegetacyjnego oraz wpływu różnych czynników środowiskowych (Ramiński, 1950).

Metoda de Vriesa, opracowana przez holenderskiego badacza w 1959 roku, jest techniką oceny produktywności runi na podstawie analizy biomasy roślinnej. Podstawą tej metody jest pomiar wysokości roślinności oraz ilości suchej masy w różnych strefach runi. Zmierzone wartości służą do obliczenia wskaźników związanych z efektywnością wykorzystania zasobów, takich jak tempo wzrostu roślin, czas trwania okresu wegetacyjnego oraz wydajność plonów w odniesieniu do różnorodnych warunków środowiskowych. Metoda

de Vriesa jest szczególnie cenna w badaniach nad produktywnością pastwisk oraz łąk, ponieważ umożliwia dokładną ocenę dynamiki wzrostu roślin w czasie (de Vries, 1959).

Metoda Ellenberga (1952), wprowadzona przez niemieckiego ekologa, jest szeroko stosowaną metodą oceny jakości roślinności na podstawie wskaźników ekologicznych poszczególnych gatunków roślin. Autor metody podzielił rośliny łąkowe na 5 grup użytkowych; *A* – dobre rośliny pastewne, *B* – rośliny o średniej wartości pokarmowej, *C* – rośliny o niskiej wartości pokarmowej, *D* – rośliny trujące, *E* – rośliny niskie, pomijane przy spasanii i koszeniu. Każdej z tych grup roślin Ellenberg przydzielił odpowiedni mnożnik i podał wzór na obliczanie wartości pokarmowej siana lub zielonki – ( $W_p$ ), postaci (Ellenberg, 1952):

$$W_p = A\% + \frac{1}{2}B\% + \frac{1}{4}C\% + 2D\%$$

W Polsce modyfikację tej metody wprowadził Zarzycki i jego współpracownicy w 2002 r., adaptując ją do warunków polskich. W tej metodzie kluczową rolę odgrywa przypisanie każdemu gatunkowi roślinnemu określonych wskaźników ekologicznych, takich jak preferencje w zakresie wilgotności, zasobności gleby w składniki odżywcze oraz wymagania dotyczące nasłonecznienia. Metoda ta pozwala na kompleksową ocenę środowiska glebowego oraz warunków klimatycznych, w jakich występuje dana roślinność, co ma kluczowe znaczenie w zarządzaniu łąkami i pastwiskami.

Metoda liczb wilgotnościowych Oświta (2000), polegająca na obliczaniu liczb wilgotnościowych, jest techniką służącą do oceny jakości runi na podstawie jej zdolności do magazynowania wody. Celem opracowanej metody jest pomiar zawartości wody w roślinach oraz analiza tego parametru w kontekście całej łąki lub pastwiska. Zawartość wilgoci w roślinach wpływa na ich wartość paszową oraz na ich odporność na warunki suszy. Metoda ta jest szczególnie użyteczna w badaniach nad plonowaniem w rejonach o zmiennej wilgotności.

Ocena bioróżnorodności stanowi kluczowy element w badaniach nad jakością ekosystemów łąkowych i pastwiskowych. Wskaźnik  $H'$  (Shannon-Wiener Index) jest jednym ze stosowanych narzędzi w ekologii do określenia różnorodności gatunkowej w danym ekosystemie (Shannon i Wiener, 1949; Magurran, 2004). Indeks ten mierzy zarówno liczebność, jak i równomierność rozmieszczenia poszczególnych gatunków w badanej populacji. Wyższa wartość indeksu  $H'$  oznacza większą bioróżnorodność. Zastosowanie tego wskaźnika pozwala na ocenę wpływu m.in. intensywności użytkowania terenu na strukturę ekologiczną roślinności.

## Nowoczesne metody oceny składu roślinnego łąk

Współcześnie ocenę jakościową runi łąkowo pastwiskowej można przeprowadzić przy pomocy m.in.: mierników płytowych (herbometrów), technologii satelitarnych (w tym wykorzystaniu dronów). Mierniki płytowe to urządzenia stosowane w rolnictwie do oceny struktury runi łąkowej oraz określania wysokości i biomasy roślin. Metoda ta pozwala na szybkie i nieniszczące określenie potencjalnej produkcji paszowej łąk i pastwisk. Jak wykazano w badaniach Stypińskiego (2011), stosowanie herbometru umożliwia precyzyjne oszacowanie ilości biomasy dostępnej dla zwierząt gospodarskich. Satelitarne systemy teledetekcyjne, takie jak dane z programów Sentinel-2 i Landsat, pozwalają na ocenę stanu roślinności na podstawie wskaźników wegetacyjnych (np. NDVI, EVI). Badania Piekarskiego i in. (2020) wykazały, że analizy te mogą służyć do monitorowania wzrostu roślin i przewidywania plonów na dużych obszarach, co ma istotne znaczenie dla precyzyjnego rolnictwa. Bezzałogowe statki powietrzne (UAV) wyposażone w kamery multispektralne umożliwiają dokładną ocenę kondycji roślin i ich składu chemicznego. Jak wskazują badania Kędzierskiego i wsp. (2019), zastosowanie dronów do pomiarów NDVI oraz chlorofilu w roślinach pozwala na szybkie wykrywanie niedoborów składników pokarmowych, co umożliwia optymalizację nawożenia i poprawę jakości plonów. Technologię GIS w badaniach możliwości wykorzystania zdjęć fitysocjologicznych przy opracowywaniu wieloaspektowej waloryzacji terenu wykorzystali także Kłarzyńska i wsp. (2016).

## Dyskusja i podsumowanie

Obecny system klasyfikacji krajowych łąk opracowany przez Polskich badaczy, uwzględnia dynamikę zmian gatunkowych i kierunki sukcesji. Jest to niezwykle istotne ze względu na możliwość uniknięcia degradacji zbiorowiska łąkowego oraz zachowania pożądanych fitocenozy, z często cennymi gatunkami. Podział typologiczny łąk, zakłada, iż czynniki siedliskowe je tworzące ulegają ciągłym zmianom w danym okresie i kierunku. Na podstawie poziomu i ruchu wody gruntowej, dane zbiorowisko roślinne łąki przechodzi z jednej grupy do drugiej (Bury-Zalewska i Prończuk, 1954; Kiełpiński i Nowak, 1954). Uwzględnienie na pierwszym miejscu dynamiki czynników siedliskowych łąk ułatwia badaczom ocenę zbiorowiska, mimo wpływu działalności gospodarczej człowieka tj. wypas, koszenie, nawożenie i poziom użytkowania. Klasyfikacja fitysocjologiczna wg szkoły francusko-szwajcarskiej rozpowszechnionej w polskich pracach badawczych, skupiona jest na obecności gatunków charakterystycznych poszczególnych jednostek syntaksonomicznych. Zarówno Kryszak (2003) jak i Trąba (2009) pod-

kreślają, iż wskazane jest szersze opracowanie systematyki zbiorowisk łąkowych, zawierających aktualnie występujące w Polsce zespoły i zbiorowiska łąkowe nie tylko pod względem florystycznym, ale też syntaksonomicznym. Obecnie od czasów publikacji Nowińskiego (1967) brakuje opracowania ujmującego klasyfikacje zbiorowisk roślinnych kompleksowo (Trąba, 2009). Podziały typologiczny i fitosocjologiczny, mimo wzajemnych zależności, nie posiadają jednoznacznych odpowiedników. Może to powodować niespójność w metodach charakteryzacji zbiorowisk, a także wydłużać i komplikować interpretację zebranych danych. Dlatego konieczne jest publikowanie prac ujmujących zbiorowiska łąkowe pod kątem wieloaspektowym.

Ustalenie składu botanicznego runi jest niezbędne w badaniach fitosocjologicznych, mających na celu poznanie struktury zbiorowisk roślinnych łąk, w zależności od układu czynników siedliskowych. Dodatkowo na podstawie poznanego składu botanicznego runi, można przeprowadzić ocenę ekologiczną i określić wartość użytkową (Falkowski i in., 1983). Opisane metody botaniczno-szacunkowe mają najszersze zastosowanie w łąkarstwie. Natomiast analizy botaniczno-wagowe najczęściej są stosowane w pracach, których celem jest natychmiastowe rejestrowanie skutków wykonanych zabiegów agrotechnicznych w odniesieniu do szaty roślinnej. Metody botaniczno-szacunkowe ze względu na subiektywne szacowanie przez badacza obarczone są błędem, w przeciwieństwie do analiz botaniczno-wagowych. Przy szacowaniu „na oko” składu procentowego runi występuje tendencja do zaniżania udziału traw i zawyżania udziału roślin szerokolistnych. Ocena zbiorowisk wg metod botaniczno-wagowych jest najpewniejsza i najdokładniejsza w badaniach ścisłych, szczególnie gdy potrzebne jest uchwycenie nawet małych różnic między udziałem poszczególnych gatunków w plonie (Moraczewski, 1986; Grynia, 1995).

Jakościowa ocena runi ma zastosowanie w ścisłych doświadczeniach łąkarskich, w których zmiany składu gatunkowego, obok wydajności, stanowią ważne kryterium celowości stosowania badanych zabiegów pratotechnicznych. Wypracowane metody oceny wartości użytkowej opierają się na dedukcji i przypadkowych obserwacjach, przez co obarczone są pewną dozą subiektywizmu. Ocena wartości paszowej i smakowitości zależy od wielu czynników m.in.: rasy zwierząt gospodarskich, stadium rozwojowego rośliny czy pory roku. Biorąc pod uwagę ogólną charakterystykę biologiczną i gospodarczą roślin łąkowo-pastwiskowych, można zakładać, iż wartość pokarmowa: runi pastwiskowej, siana, sianokiszonki

lub zielonego suszu pastewnego jest m.in. wypadkową składu botanicznego darni (Falkowski i in., 1983; Moraczewski, 1986).

Dobór odpowiednich metod badawczych w fitosocjologii łąkarskiej powinien uwzględniać zarówno specyfikę badanego ekosystemu, jak i wyzwania związane z ochroną środowiska oraz zmianami klimatycznymi (Kryszak, 2003; Moraczewski, 1986). Współczesne badania wskazują, że zmiany klimatyczne wpływają na przesunięcia zasięgów gatunków oraz tempo sukcesji roślinności łąkowej, co wymaga dostosowania metod klasyfikacyjnych i monitoringu. W tym kontekście kluczowe staje się łączenie klasycznych metod fitosocjologicznych z nowoczesnymi narzędziami analitycznymi oraz danymi teledetekcyjnymi, co umożliwia precyzyjną ocenę zmian w ekosystemach trawiastych i wdrażanie skutecznych strategii ochrony. Rozwój technologii umożliwia coraz dokładniejszą ocenę składu roślinnego łąk. Zastosowanie technik teledetekcji, analizy obrazu czy sensorów multispektralnych pozwala na szybkie monitorowanie zmian w zbiorowiskach roślinnych bez konieczności pracochłonnych badań terenowych. Fotogrametria lotnicza oraz obrazy satelitarne wykorzystywane są do oceny biomasy i różnorodności roślinnej na dużą skalę. Coraz większą rolę odgrywa również zastosowanie modeli predykcyjnych opartych na sztucznej inteligencji, które umożliwiają prognozowanie zmian składu gatunkowego w zależności od warunków siedliskowych i klimatycznych.

Porównując metody stosowane w Polsce i za granicą, należy zauważyć, że ekologiczne liczby wskaźnikowe są szeroko używane w wielu krajach Europy, zwłaszcza w Niemczech i Szwajcarii, jednak z modyfikacjami dostosowanymi do lokalnych warunków siedliskowych (Grynia, 1995). W badaniach międzynarodowych coraz częściej podkreśla się konieczność łączenia metod wskaźnikowych z analizami fitosocjologicznymi oraz danymi środowiskowymi uzyskanymi za pomocą nowoczesnych technologii, takich jak teledetekcja czy modele predykcyjne zmian siedliskowych. Badania nad klasyfikacją i oceną składu roślinnego łąk w Polsce stanowią istotny wkład w rozwój fitosocjologii stosowanej (Wysocki i Sikorski, 2009). Integracja metod wskaźnikowych, analiz fitosocjologicznych oraz nowoczesnych narzędzi technologicznych stanowi klucz do skutecznego monitorowania zmian w zbiorowiskach roślinnych oraz ich ochrony w obliczu wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi i intensyfikacją działalności rolniczej. Dalsze badania powinny koncentrować się na doskonaleniu metod oceny łąk, uwzględniając zarówno aspekty ekologiczne, jak i gospodarcze.

**Literatura:**

- Bakker, J.P. (1989) Nature management by grazing and cutting: On the ecological significance of grazing and cutting regimes applied to restore former species-rich grassland communities. Kluwer Academic Publishers, ss. 410
- Barkman J.J., Moraviec J., Rauschert S (1995) Kodeks nomenklatury fitosocjologicznej. Polish Bot. Studies. Guidebook series 16, str. 1-58
- Baryła R., Urban D. (2002) Ekosystemy łąkowe. W: Poleski Park Narodowy (red. Radwan S.), Wydawnictwo MORPOL, str. 199-214.
- Braun-Blanquet J. (1928, 1951, 1964) Pflanzensoziologie. Springer. Wien, New York ss. 886
- Braun-Blanquet J. (1962) Zur pflanzensoziologischer Systematik. Erinnerungen und Ausblick. Comn de SIGMA nr 159, Montpellier, str. 1-11
- Brzeg A. (1991) Zbiorowiska łąkowe i pastwiskowe okolic Konina. Prace Komisji Biologicznej PTPN, 70, str. 103-140
- Bury-Zalewska J., Prończuk J. (1954) Projekt typologicznego podziału łąk polskich na niżu, Postępy Nauki Rolniczej, 4, str. 51-70
- Clements F. E. (1905) Reserch methods in Ecology. The University Publishing Company, Lincoln, Nebraska, ss. 364
- Dajdok J., Wuczyński A. (2018) Wpływ użytkowania rolniczego na skład florystyczny łąk wilgotnych. Biodiversity Issues, 4(2), str.75-89.
- de Vries, J. (1959) Methods of Biomass Measurement in Grasslands. Journal of Ecology, 47, str. 347-366.
- Dębska-Kalinowska Z. (2005) Porównanie metody szacunkowej i metody botaniczno-wagowej w ocenie składu florystycznego runi łąkowej. Łąkarstwo w Polsce (08), 55-60.
- Dmitrijew A. (1951) Łąkarstwo. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, str. 89
- Dzieżyc J. (1954) Metody bonitacji łąk i pastwisk. Postępy Nauki Rolniczej, Warszawa, str. 64-72
- Dzieżyc J. (1967) Podstawy Rolnictwa. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, str. 359
- Ellenberg H. (1952) Wiesen und Weiden und ihre standörtliche Bewertung. Pflanzensoz Landwirtschafthl, Ludwigsburg, t.2 str.1-143.
- Falkowski M. i in. (1983) Łąkarstwo i gospodarka łąkowa. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, str. 109-215
- Fijałkowski D., Chojnicka-Fijałkowska E. (1990) Zbiorowiska z klas Phragmitetea, Molinio-Arrhenatheretea i Scheuchzerio-Caricetea fuscae w makroregionie lubelskim. Roczniki Nauk Rolniczych, D, 217, ss. 414.
- Filipek J. (1970) Zagadnienie wielkości próbek przeznaczonych do analizy botaniczno-wagowej w doświadczeniach łąkarskich. Cz. III. Postępy Nauk Rolniczych, 17(5), str.77-96.
- Filipek J. (1973) Projekt klasyfikacji roślin łąkowych i pastwiskowych na podstawie liczb wartości użytkowej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 4 str. 59-68.
- Filipek, J. (1959) Indykatorowa metoda wyceny produkcyjności pastwisk. Postępy Nauk Rolniczych, 06(4), str. 85-89.
- Fukarek F. (1967) Fitosocjologia. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, str. 13-37
- Grynia M. (1995) Podział fitosocjologiczny zbiorowisk roślinnych łąk i pastwisk oraz charakterystyka ważniejszych zbiorowisk. W: Łąkarstwo, Red. M. Grynia, Wydawnictwo Akademii Rolniczej Poznań, str. 310-337
- Grynia M. (1996) Kierunki zmian szaty roślinnej zbiorowisk łąkowych w Wielkopolsce. Roczniki AR Poznań CCLXXXIV, 47, str.15-27
- Grynia M., Kryszak A. (2003) Zbiorowiska roślinne łąk i pastwisk w fitosocjologicznym systemie klasyfikacyjnym. Biuletyn IHAR, str. 225; 211-220.
- Grzelak M. (2004) Zróżnicowanie fitosocjologiczne szuwaru mozgowego Phalaridetum arundinaceae (Koch 1926 n.n.) Libb. 1931 na tle warunków siedliskowych w wybranych dolinach rzecznych Wielkopolski. Roczniki AR Poznań, Rozprawy Naukowe, 354, 1-138.
- Grzyb S. (1993) Łąki łąkowe w polskim rolnictwie i środowisku przyrodniczym, Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, 412, str. 41-50
- Grzyb S. (1996) Typologiczny podział użytków zielonych w Polsce oraz charakterystyka i zasady identyfikacji ważniejszych jednostek. W: Podstawy Typologicznego podziału użytków zielonych i zasady ich inwentaryzacji Instytut Melioracji i Użytków Zielonych. Falenty, str. 8-9
- Grzyb S., Prończuk J. (1995) Podział i waloryzacja siedlisk łąkowych oraz ocena ich potencjału produkcyjnego, Ogól. Konf. Łąk, nt. „Kierunki rozwoju łąkarstwa na tle aktualnego poziomu wiedzy w najważniejszych jego działach”, SGGW, Warszawa, str. 51-63
- Hult-Sernander R. (1927) Morphologie und Biologie der Diasporen. Nova Acta Reg. Soc. Upsal, ss. 104
- Janicka M., Pawluśkiewicz B., Dąbrowski P. (2016) Waloryzacja przyrodniczo-użytkowa zbiorowisk łąkowych z udziałem *Arrhenatherum elatius* i *Bromus inermis* ukształtowanych w wyniku zaniechania użytkowania na terenie rezerwatu „Skarpa Ursynowska”, Polish Journal of Agronomy, 27, str.38-47
- Jargiełło J. (1976) Stosunki geobotaniczne i gospodarcze torfowisk Krowie Bagno i Hańsk. Cz. I. Zbiorowiska roślinne klasy Phragmitetea i Scheuchzeriocaricetea fuscae. Ann. Univer. M. C. Skłodowska, Lublin XXXI, 6, Sectio E, str. 83-100
- Kącki A. S. (2021). Nowe spojrzenie na typologię fitosocjologiczną łąk użytkowanych ekstensywnie. Plant Ecology and Evolution, 154(3), str. 245-258.
- Kędzierski M., Wójtowicz M., Kowalski R. (2019) Możliwości zastosowania dronów w rolnictwie precyzyjnym – analiza metod i technologii. Inżynieria Rolnicza, 23(2), str. 89-102.
- Kiełpiński J., Nowak M. (1954) Projekt podziału typologicznego łąk górskich. Postępy Nauki Rolniczej, t.4
- Kiteczak T., Jankowski K. (2018) Charakterystyka florystyczna runi oraz ocena wybranych walorów łąki środkowej na terenie Puszczy Goleniowej, Łąkarstwo w Polsce, 21, str. 71-82.
- Klapp E. (1962) Łąki i pastwiska. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa ss. 600
- Klapp E. (1965) Grünlandvegetation und Standort. P. Parey, Berlin-Hamburg ss. 620
- Klapp E. (1971) Wiesen und Weiden. IV wyd. P. Parey, Berlin-Hamburg ss. 644
- Klarzyńska A., Maćkowiak A., Kryszak A., Kryszak J. (2016) Zastosowanie metody fitosocjologicznej w wieloaspektowej waloryzacji terenu oraz jej wizualizacja technologią GIS, Łąkarstwo w Polsce, 19, str. 149-161
- Korol W., Bielecka G., Rubaj J., Koncewicz M. (2014). Ocena wartości odżywczej pasz na podstawie badań chemicznych. Pasze Przemysłowe, 23(3), str. 37-43.
- Kostuch R. (1975) Metody i sposoby szacowania „na pniu” wydajności użytków zielonych. Wydawnictwo WUS, Kraków, str. 25-45

- Kostuch R., Twardy S. (2004) Badania produktywności użytków zielonych w Karpatach polskich. *Woda-Srodowisko-Obszary Wiejskie*, 4(1), str.247–258.
- Kownacka M. (1961) Próba ustalenia korelacji między wynikami analizy punktowej a botaniczno-wagowej, *Postępy Nauk Rolniczych* 8(1), str. 95-100.
- Kreuz E., Arnold H. (1966) Methoden zur Ermittlung der Pflanzenertrag auf der Weide. *Fledwirtschaft*, 12, str. 643-645
- Kryszak A. (1995) Metody określania składu botanicznego runi. W: *Łąkarstwo*, Red. M. Grynia, Wydawnictwo Akademii Rolniczej Poznań, str. 310-337
- Kryszak A. (2001) Różnorodność florystyczna zespołów łąk i pastwisk klasy Molinio-Arrhenatheretea R. Tx. 1973 w Wielkopolsce w aspekcie ich wartości gospodarczej. *Roczniki AR Poznań, Rozprawy Naukowe*, 314 ss. 182.
- Kucharczyk M. (1996) Zespoły i zbiorowiska roślinne Kazimierskiego Parku Krajobrazowego. I. Zespoły łąkowe i pastwiskowe. *Annales UMCS, Sectio C*, vol. LI, 105-131.
- Kucharski L. (1996) Szata roślinna gleb heterogenicznych Kujaw Południowych. III. Zespoły i zbiorowiska roślinne łąk, torfowisk i zarośli. *Acta Universitatis Lodzensis, Folia Botanicae*, 11, str.33-63.
- Kulik M. A. (2010) Wpływ technologii regeneracji runi łąkowej na zmiany jej składu gatunkowego, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Lublin*, 65(1), str. 94-104
- Levy E. B. (1933) Strain testing and strain building in Technique employed in grassland research in New Zeland. *Im. Comm. Bur. Plt. Genet. (Herba Plata)*, 11, str. 6-16
- Łyszczarz R. (2004) Klasyfikacja łąk. W: *Łąkarstwo*, Red. Rogalski M., Wydawnictwo Kurpisz, Poznań str.21-28
- Magurran A. E. (2004) Measuring biological diversity. *Blackwell Publishing*, ss.261
- Matuszkiewicz W. (1982; 2001; 2005; 2008; 2011; 2022) Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, ss. 537 (wyd. 2008)
- Moraczewski R. (1986) *Łąkarstwo*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, ss. 341
- Mosek B., Miazga S. (2006). Zróżnicowanie fitosocjologiczne zbiorowisk roślinnych w zmeliorowanych dolinach rzecznych Lubelszczyzny. *Annales UMCS, Sectio E*, 61, str. 377-387.
- Murawski M., Grzelak M., Kniola A., Jaśkowski M. (2017) Ekstensywne zbiorowisko łąkowo-pastwiskowe z dużym udziałem kłosówki wełnistej *Holcus lanatus* L. *Fragm. Agron.* 34(4), str.117–124. Nowiński M. (1967) Polskie zbiorowiska trawiaste i turzycowe. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, ss.284
- Oomes, M.J.M., Mooi, H. (1981) The effect of cutting and fertilizing on the species composition and production of a grassland in the Netherlands. *Vegetatio*, 47(3), str. 233–239. Oświt J. 200 Metoda przyrodniczej waloryzacji mokradeł i wyniki jej zastosowania na wybranych obiektach. *Mater Inf.* 35, Falenty, Wydawnictwo IMUZ., str. 36
- Paczoski J. (1925) *Szkice Fitosocjologiczne*, Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Botanicznego, Warszawa, ss. 131
- Paczoski J. (1951) *Dzieła wybrane*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa ss. 392
- Pawłowski B., Pawłowska S., Zarzycki K. (1962) Badania fitosocjologiczne łąk, ze szczególnym uwzględnieniem kośnych łąk Podtatrza i polskich Tatr W: *Zastosowanie metody fitosocjologicznej i typologicznej do badań i ekspertyz łąkarskich*, Red, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, str. 12
- Piekarski W., Jankowski A., Nowakowski T. (2020) Zastosowanie danych satelitarnych Sentinel-2 do oceny stanu upraw. *Postępy Nauki i Techniki*, 67(3), str. 45-60.
- Piekut K., Pawluśkiewicz B. (2005) *Rolnicze podstawy kształtowania środowiska*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, str.35-39
- Podbielkowski Z. (1982) *Roślinność kuli ziemskiej*. Państwowe Wydawnictwo Szkolnie i Pedagogiczne. Warszawa ss. 278
- Pötsch, E.M., Resch, R., Krautzer, B. (2004) The effect of different grazing intensities on pasture production and plant composition. *Grassland Science in Europe*, 9, str. 513–516. Prończuk J. (1962) Podział łąk i wydzielanie typów florystycznych na zasadach typologicznych. *Rocz. Nauk rol., ser. F*, 75, str. 2
- Ralski E., Grzyb S., Tołwińska M. (1957) *Łąkarstwo*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, ss. 466
- Ramiński M. (1950) *Metody oceny roślinności łąkowej*. Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, str. 21.
- Ratyńska H. (2001) *Roślinność Poznańskiego Przełomu Warty i jej antropogeniczne przemiany*. Wydawnictwo Akademia Bydgoska str. 213-220.
- Rogalski M. (2004) *Łąkarstwo jako dziedzina nauki*. W: *Łąkarstwo*, Red. Rogalski M. Wydawnictwo Kurpisz Poznań, Poznań, str. 10.
- Shannon C. E., Weaver W. (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, IL: The University of Illinois Press, str. 1-117
- Skowron G. (2023) Zbiorowiska roślinne łąk występujących na obszarze „Bagna Bubnów” w Poleskim Parku Narodowym. praca dyplomowa inżynierska wykonana pod kierunkiem dr inż. Doroty Sienkiewicz-Paderewskiej, SGGW w Warszawie, ss.65
- Skowron G. (2024) Wartość użytkowa i plonowanie runi bobowato-trawiastej w zależności od zróżnicowanej intensywności użytkowania w uprawie ekologicznej. praca dyplomowa magisterska wykonana pod kierunkiem dr inż. Grażyny Mastalerczuk, SGGW w Warszawie, ss. 66
- Šostarič-Pisačič K., Kovačovič J. (1974) Kompleksna metoda za utvdivanje kvalitete i sumarne vrijednosti travnjaka i djetelišta. *Zagreb*, ss. 443
- Stachnowicz W., 1998. Zróżnicowanie i powiązania florystyczne ziołorośli wiązkowych ze związku Filipendulion (DUVIGN 1946) SEGAL 1966 na poligonie wojskowym Biedrusko i w jego okolicy. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria B*, 47, str. 137-158.
- Stählin A., Bommer D. (1963) Zur Frage der Teilstückgrösse bei Wiesendüngungsversuchen Das wirtschaftseigene Futter, 1, str. 41-53
- Stebler F. C., Schröter C. (1892) Versuch eine übersicht über die Wiesentypen der Schweiz. *Landw. Jahrb. d. Schweiz*, 6, str. 95-212
- Stypiński, P. (2011). Metody oceny plonów łąkowych na podstawie pomiarów wysokości runi. *Rocznik Naukowy PTL*, 13, 233-242.
- Szoszkiewicz J. (1975) *Uprawa łąk i pastwisk*. Wydawnictwo AR, Poznań, str. 70
- Szoszkiewicz J. (1977) Stan aktualny i potencjalna wartość produkcyjna trawistych zbiorowisk łągowych w Wielkopolsce. *Rocz. AR w Poznaniu, Rozprawy*, str. 75
- Szymańska E. (2000). Wybrane elementy oceny gospodarki paszowej w gospodarstwach rolniczych. *Zeszyty Naukowe SGGW - Ekonomia i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 39, str. 167-177
- Szymura T. H., Szymura M. (2020) Wpływ czynników środowiskowych na różnorodność gatunkową użytków zielonych. *Acta Agrobotanica*, 73(1), str. 1-12.

- Trąba Cz. (1994) Florystyczna i rolnicza charakterystyka łąk i pastwisk w dorzeczu Łabuńki. Rozprawy Naukowe, 163, Wydawnictwo AR Lublin, ss. 102.
- Trąba Cz. (2009) Fitosocjologia w łąkarstwie dziś i w przyszłości. łąkarstwo w Polsce, t.12, Poznań, str. 209-221.
- Twardy S., Kopacz M. (2015). Funkcje trwałych użytków zielonych w obszarach górskich. Studium nad rolnośrodowiskowym znaczeniem TUZ – na podstawie badań w zlewni górnego Dunajca oraz potoku Grajcarek. Wydawnictwo ITP, Falenty, Rozprawy naukowe i monografie, 39, str.158.
- Twardy, S. (1995) Wpływ zmiennego nawożenia mineralno-organicznego na produktywność pastwiska górskiego. Wiadomości IMUZ Falenty, XVIII(3), str. 113–126.
- Warda M., Kowalski R. (2014). Skład botaniczny oraz wartość paszowa runi łąk użytkowanych ekstensywnie. Wiadomości Melioracyjne i łąkarskie, 1, str. 45-56.
- Weber C. A. (1909) Wiesen und Weiden in den Weichselmarschen. Arb. DLG, Berlin, str. 165
- Wójcik-Gront, E., & Stypiński, P. (2019) „Zmiany w składzie florystycznym trwałych użytków zielonych w Polsce. Polish Journal of Agronomy, 39, str.12-25.
- Wyłupek T. (1999) Florystyczna i rolnicza charakterystyka łąk i pastwisk w dolinie Poru. Praca doktorska (msk) wykonana w Zakładzie Technologii Produkcji Roślinnej INR w Zamościu, AR Lublin, ss. 137.
- Wysocki C., Sikorski P. (2009) Fitosocjologia Stosowana, Warszawa, str. 238-239; 357-361
- Zarzycki J. i Misztal A. (2015) Zamiany składu gatunkowego łąki górskiej i cech funkcjonalnych roślin spowodowane różnymi sposobami ekstensywnego użytkowania i nawożenia, łąkarstwo w Polsce, 18, str. 255-265
- Zarzycki K., Trzcńska-Tacik H., Różański W., Szelaż Z., Wołek J., Korzeniak U. (2002) Ecological Indicator Values of Vascular Plants of Poland. Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski, W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków str. 21.

# Zmienność cech morfologicznych i plonu nowych, polskich form hodowlanych sorgo zwyczajnego (*Sorghum bicolor* L.)

Variability of morphological and yield traits of new Polish breeding forms of common sorghum (*Sorghum bicolor* L.)

Danuta Martyniak , Dariusz R. Mańkowski 

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Radzików, 05-870 Błonie

[✉ d.mankowski@ihar.edu.pl](mailto:d.mankowski@ihar.edu.pl)

W pracy przedstawiono charakterystykę dwóch form hodowlanych sorgo zwyczajnego. Formy sorgo porównywano pod względem poziomu wybranych cech morfologicznych oraz cech charakteryzujących plonowanie. Uzyskane wyniki uzasadniały przeznaczenie gospodarcze materiału uzyskanego z tych form. Zaprezentowane wyniki analiz świadczyły również o wysokiej wartości hodowlanej tych form jako materiału wyjściowego do wyprowadzenia nowych polskich odmian sorgo dwubarwnego.

**Słowa kluczowe:** formy hodowlane, sorgo, cechy morfologiczne, plon, zmienność, *Sorghum bicolor* L.

The paper presents the characteristics of two breeding forms of common sorghum. These forms were compared based on selected morphological traits and yield-related features. The results obtained support the agronomic potential of the material derived from these forms. The presented results of analyses also indicated the high breeding value of these forms as the starting material for developing new Polish varieties of common sorghum.

**Key words:** breeding forms, sorghum, morphological features, yield, variability, *Sorghum bicolor* L.

## Wstęp

Sorgo zwyczajne, dwubarwne (*Sorghum bicolor* L.) jest rośliną tropikalną należącą do rodziny wiechlinowatych (*Poaceae*), blisko spokrewnioną z kukurydzą. Pochodzi z Afryki, gdzie do dziś występuje w formie dzikiej. Obecnie jest uprawiane w rejonach o klimacie tropikalnym i podzwrotnikowym, a także w rejonach o klimacie umiarkowanym (*Sorghum bicolor* L. Moench, strona www, 2009). Sorgo zwyczajne znajduje się w czołowej piątce zbóż uprawianych na świecie, wraz z pszenicą, kukurydzą, ryżem, jęczmieniem i owsem (Business Standard, 2023). Ze względu na szerokie możliwości wykorzystania tego zboża, sorgo zwyczajne jest bardzo atrakcyjną rośliną uprawną z punktu widzenia żywieniowego, paszowego i energetycznego.

Postępujące ocieplenie klimatu Polski i rosnący deficyt wody sprawiają, że zainteresowanie uprawą sorgo zwyczajnego w naszym kraju z dużym prawdopodobieństwem będzie wzrastać. Prognozuje się, że w przyszłości może stać się cenną alternatywą dla kukurydzy, a także innych gatunków zbóż (Żurek i in., 2019; Stachowiak i in., 2022). Mimo że sorgo zwyczajne ma stosunkowo małe wymagania glebowe i wodne, uprawa jego w Europie, a zwłaszcza w Polsce jest marginalna. Łączna powierzchnia uprawy sorgo w krajach Unii Europejskiej w okresie od lipca 2022 do czerwca 2023 wyniosła 138 tys. ha, a największymi producentami ziarna były Francja i Włochy.

Wzrastał również areal uprawy w Austrii, na Węgrzech i w Hiszpanii (Wolska, 2021; Stachowiak i in., 2022). Sorgo, ze względu na swoje pochodzenie, ma wysokie wymagania termiczne. Jest wrażliwe na chłodny klimat i przymrozki wiosenne. Dlatego też w Polsce należy je wysiewać po 15 maja, gdyż siewki podczas wschodów są najbardziej wrażliwe na chłód. Postępujące ocieplenie klimatu w Polsce, a także pogłębiające się niedobory wody (okresowe susze) sprawiają, że zainteresowanie uprawą sorgo zaczyna wzrastać.

Sorgo zwyczajne jest gatunkiem diploidalnym, podobnie jak kukurydza, ale nie wytwarza kolb. Posiada głęboki i dobrze rozwinięty system korzeniowy, dzięki temu znosi niedobory wody. Łodyga zawiera dużą ilość celulozy i hemicelulozy. Kolor nasion sorgo jest różny od ciemnoczerwonego, żółtego do białego. Różnorodność kolorów wynika z różnej ilości polifenoli w ziarnie (Stachowiak i in., 2022). Ziarno sorgo jest źródłem cennych składników odżywczych – witamin (głównie witaminy z grupy B i witaminy E), minerałów, węglowodanów, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych oraz licznych substancji bioaktywnych korzystnych dla człowieka (de Moraes Cardoso i in., 2017). Ma niski indeks glikemiczny i ze względu na wolniejsze, niż ma to miejsce u innych zbóż, uwalnianie cukrów jest zalecane dla diabetyków (Frankowski, 2017). Sorgo w formie zielonki, siana lub kiszonki może być stosowane jako pasza dla przeżuwaczy i trzody chlewnej, a dojrzałe ziarno mogą być stosowane w żywieniu drobiu

(Stachowiak i in., 2022). Sorgo ze względu na skład chemiczny, w tym wysoką zawartość skrobi w ziarnie, jest opłacalną rośliną do produkcji biopaliw (w tym bioetanolu) oraz biogazu (Szambelan i in., 2018).

W Krajowym Rejestrze Odmian prowadzonym przez Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych nie ma obecnie żadnej polskiej odmiany sorgo. Intensywne prace badawcze i wstępne prace hodowlane pozwoliły na wytworzenie pierwszych dwóch form hodowlanych sorgo zwyczajnego, które wytwarzają nasiona. Główne kryteria selekcji, to: wczesność, plon, morfologia, odporność na choroby (wirusowe i grzybowe). W wyniku prac hodowlanych przeprowadzonych w Zakładzie Bioenergetyki, Analiz Jakości i Nasiennictwa Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowego Instytutu Badawczego w Radzikowie wytworzono dwie formy hodowlane sorgo dwubarwnego, które są zdolne do wydania nasion w klimacie umiarkowanym, w tym w klimacie Polski (Martyniak, 2014). Celem pracy jest charakterystyka poziomu i zmienności cech morfologicznych i plonu tych form hodowlanych sorgo.

## Material i metody

Materiał do badań stanowiły dwie formy hodowlane sorgo zwyczajnego wyhodowane w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowym Instytucie Badawczym w Radzikowie, w Zakładzie Bioenergetyki, Analiz Jakości i Nasiennictwa:

**Forma niska - Sorgo RAD-N/z** – materiał otrzymano z Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR-PIB w Radzikowie, pochodzenie materiału wyjściowego – ekotyp, obiekt wywodzący się z Mołdawii, forma miejscowa, nasiona zebrane w 2000 r. W wyniku prac badawczo-hodowlanych wytworzono formę średnio wysoką od 150-160 cm, o dużym ulistnieniu i wyróżniającym się kwiatostanie o zwisających i rozpięchłych wiechach długości do 30 cm. Posiada nasiona koloru ciemnobieżowego o masie tysiąca nasion od 16-18 g i zdolności kiełkowania na poziomie ponad 80%. Biomasa tej formy może być przeznaczona na wielokierunkowe wykorzystanie ze wskazaniem na kiszonkę. Plon biomasy suchej z ha to 16-20 ton, zaś nasion 5-8 ton.

**Forma wysoka - Sorgo RAD-W/r** – materiał otrzymano z Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR-PIB w Radzikowie, pochodzenie materiału wyjściowego – obiekt wywodzący się z Mołdawii, forma miejscowa, nasiona zebrane w 2000 r. W wyniku prac badawczo-hodowlanych uzyskano formę o rozpięchłej wieście, nasionach kulistych, połyskliwych ciemnobordowych, cechujących się masą tysiąca ziaren 24,0-25,0 g, o bardzo dobrej zdolności kiełkowania na poziomie ponad 90%. Rośliny wysokie od

250-280 cm. Plon suchej biomasy z ha to 18-22 ton zaś plon nasion około 8-10 ton·ha<sup>-1</sup>. Biomasa może być przeznaczona na wielokierunkowe wykorzystanie z wskazaniem na energetyczne, paszowe i żywieniowe.

W celu zbadania poziomu i zmienności cech morfologicznych oraz plonowania wytworzonych form hodowlanych sorgo założono doświadczenie polowe w sezonie 2022-2023, w Radzikowie (52° 12'48"N 20°38'33"E). Doświadczenie zostało założone w układzie bloków losowych, w czterech powtórzeniach, na glebie średniozwięzłej kl. IV. Powierzchnia poletek wynosiła 3,2 m<sup>2</sup>. Nasiona sorgo wysiano na głębokość 2 cm, w rozstawie rzędów 80 cm. Norma wysiewu wynosiła 11,2 kg·ha<sup>-1</sup> co odpowiada 26 roślinom na 1 m<sup>2</sup>.

Obserwacje i pomiary cech morfologicznych przeprowadzono na roślinach w fazie generatywnej wykształconych wiech (faza dojrzewania nasion). Warunki pogodowe panujące w trakcie doświadczenia zostały odczytane z automatycznej stacji meteorologicznej zlokalizowanej w odległości ok. 300 m od pola doświadczalnego. Sezon wegetacyjny dla sorgo trwa się od maja do października. Odnotowane temperatury w trakcie prowadzenia doświadczenia były sprzyjające dla sorgo i wynosiły średnio dobowo 15,7°C w maju oraz 11,3°C w październiku. Natomiast w przypadku opadów warunki były trudne – bardzo mało opadów odnotowano we wrześniu (3,7 mm) zaś w lipcu (63,8 mm) i w październiku (58,3 mm) bardzo dużo.

Analiza statystyczna wyników. Wszystkie analizowane zmienne spełniały kryteria określone w twierdzeniu Lindeberga-Lévy'ego, dzięki czemu można było uznać, że ich rozkład był asymptotycznie zbliżony z teoretycznym rozkładem normalnym (Klenke, 2007, Billingsley, 2012, Shiryaev, 2013). Wykonano wstępną analizę opisową, analizę homogeniczności wariacji z wykorzystaniem testu Levene'a (Levene, 1960), i zależnie od wyników tego testu – test F analizy wariacji (Fisher, 1930, 1947) lub analizę wariacji Welcha (Welch, 1951). Grupy jednorodnie wyznaczono dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$  z wykorzystaniem testu HSD Tukeya (Tukey, 1949). Przeprowadzono również analizę współczynników korelacji liniowej Pearsona (Pearson and Henrici, 1997). Analizy statystyczne wykonano z wykorzystaniem programu Statistica w wersji 13.3 (TIBCO Software Inc., 2017).

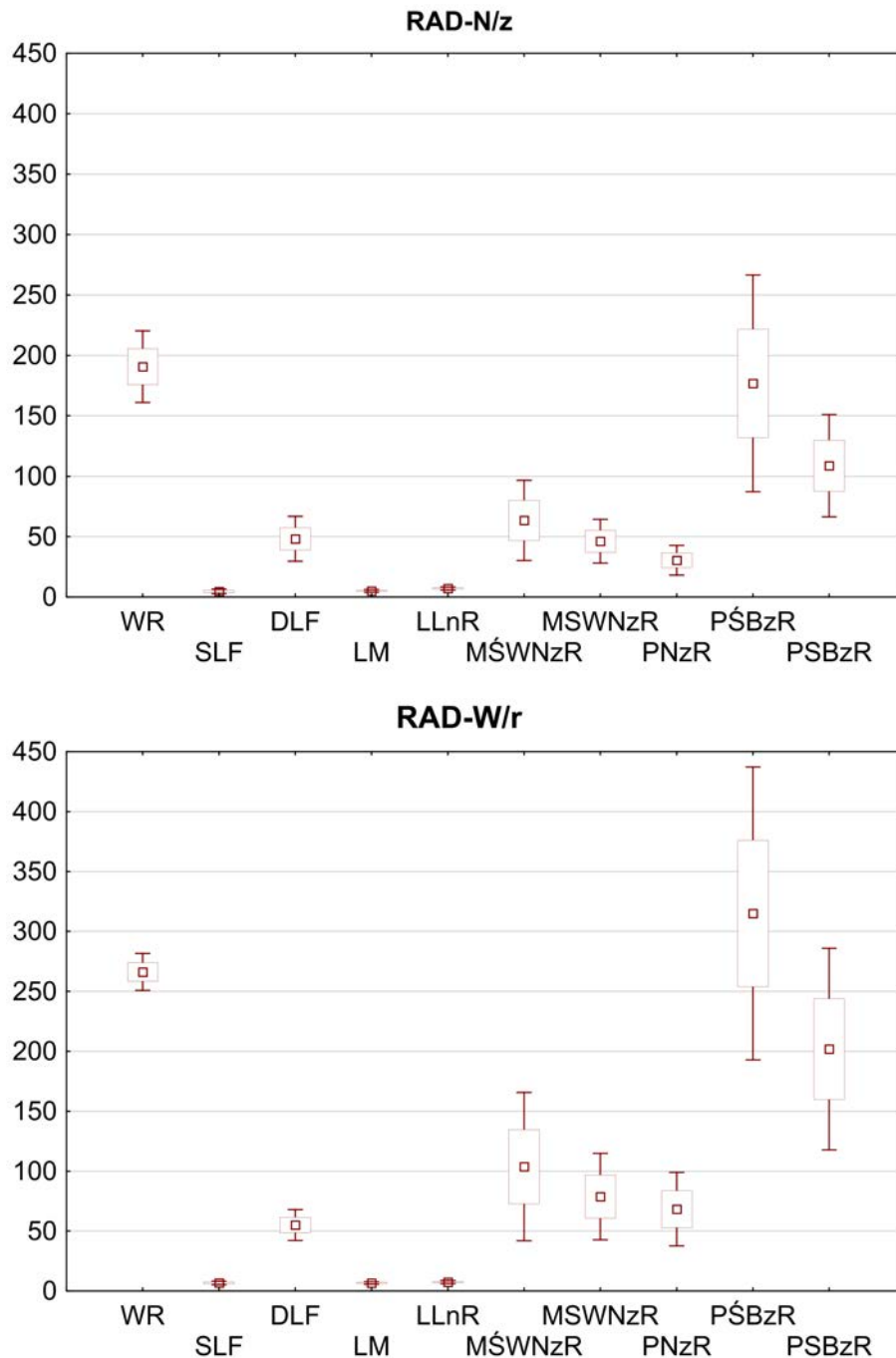
## Omówienie wyników i dyskusja

Zobrazowano wyznaczone podstawowe statystyki opisowe dla analizowanych zmiennych badanych obiektów (Rys. 1). Stwierdzono, że największą zmienność odnotowano dla plonu świeżej wiechy z nasionami z rośliny: dla RAD-N/z współczynnik zmienności CV wynosił 26,2%, a dla RAD-W/r 29,8%. Najniższą zmiennością



cechowała się natomiast wysokość roślin – dla RAD-N/z CV = 7,7%, a dla RAD-W/r CV = 2,9%. Porównując obydwie badane formy, można stwier-

dzić, że relatywnie większą zmiennością (wahaniem) analizowanych zmiennych cechowała się forma niska RAD-N/z.



Rys. 1. Wykresy ramka-wąsy prezentujące wartości średnie i odchylenia standardowe analizowanych zmiennych dla porównywanych form hodowlanych sorga.

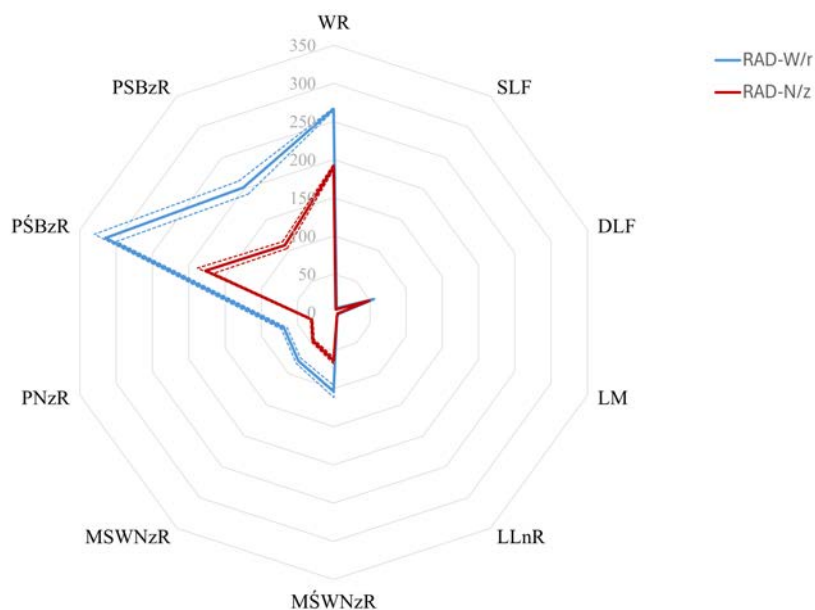
Zmienne: WR – wysokość roślin (cm), SLF – szerokość liścia flagowego (cm), DLF – długość liścia flagowego (cm), LM – liczba międzywęźli, LLnR – liczba liści na roślinie, MŚWNzR – masa świeżej wiechy z nasionami z rośliny (g), MSWNzR – masa suchej wiechy z nasionami z rośliny (g), PNzR – plon nasiona z rośliny (g), PŚBzR – plon świeżej biomasy z rośliny (g), PSBzR – plon suchej biomasy z rośliny (g); kwadrat – wartość średnia, ramka – średnia  $\pm$  odchylenie standardowe, wąsy – średnia  $\pm 2 \times$  odchylenie standardowe.

Fig. 1. Box-and-whisker plots presenting mean values and standard deviations of the analyzed variables for the compared sorghum breeding forms.

Variables: WR – plant height (cm), SLF – flag leaf width (cm), DLF – flag leaf length (cm), LM – number of internodes, LLnR – number of leaves per plant, MŚWNzR – fresh panicle mass with seeds per plant (g), MSWNzR – dry panicle mass with seeds per plant (g), PNzR – seed yield per plant (g), PŚBzR – fresh biomass yield per plant (g), PSBzR – dry biomass yield per plant (g); square – mean value, box – mean  $\pm$  standard deviation, whiskers – mean  $\pm 2 \times$  standard deviation.

Na rysunku 2 przedstawiono średnie wartości poszczególnych cech morfologicznych i plonowania dla porównywanych form sorga. Takie zestawienie pozwala na porównanie profili cech dla porównywanych obiektów. Spośród cech morfologicznych (Rys. 2) prezentowane formy różniły się tylko pod względem wysokości roślin. W przypadku pozostałych cech morfologicznych różnice nie były już takie wyraźne. Cechy powiązane z plonem wyraźnie różnicowały badane formy hodowlane. Forma wysoka RAD-W/r charakteryzowała się wyższą masą wiech z nasionami z rośliny (zarówno świeżą jak i suchą masą) i plonem

nasion z rośliny. Natomiast w przypadku plonu biomasy z rośliny różnice były bardziej znaczące. To zestawienie (Rys. 2) wyraźnie wskazuje, że forma RAD-W/r wytwarza znacznie więcej biomasy, więc stanowi bardziej obiecujący materiał roślinny w zastosowaniach w żywieniu zwierząt, czy też do produkcji bioenergii. Forma niska RAD-N/z pomimo mniejszej wytwarzanej biomasy nie różniła się zbyt wiele pod względem morfologii (poza wysokością) od formy wysokiej. Pozwala to na uzyskanie z tej formy wartościowej kiszonki przy relatywnie mniejszej objętości surowca.



**Rys. 2.** Wykres radarowy prezentujący wartości średnie i błędy standardowe dla analizowanych zmiennych. Zmienne: WR – wysokość roślin (cm), SLF – szerokość liścia flagowego (cm), DLF – długość liścia flagowego (cm), LM – liczba międzywęźli, LLnR – liczba liści na roślinie, MŚWNzR – masa świeżej wiechy z nasionami z rośliny (g), MSWNzR – masa suchej wiechy z nasionami z rośliny (g), PNzR – plon nasiona z rośliny (g), PŚBzR – plon świeżej biomasy z rośliny (g), PSBzR – plon suchej biomasy z rośliny (g); Liniami przerywanymi zaznaczono obszar średnia  $\pm$  błąd standardowy

**Fig. 2.** Radar chart showing mean values and standard errors for the analyzed variables.

Variables: WR – plant height (cm), SLF – flag leaf width (cm), DLF – flag leaf length (cm), LM – number of internodes, LLnR – number of leaves per plant, MŚWNzR – fresh panicle mass with seeds per plant (g), MSWNzR – dry panicle mass with seeds per plant (g), PNzR – seed yield per plant (g), PŚBzR – fresh biomass yield per plant (g), PSBzR – dry biomass yield per plant (g); The dashed lines indicate the mean  $\pm$  standard error area

W celu szczegółowego zidentyfikowania i opisanie różnic pomiędzy opisywanymi formami hodowlanymi sorga przeprowadzono analizę wariancji w układzie bloków losowych. Zależnie od spełnienia założenia o równości wariancji (homogeniczności) przeprowadzono test F analizy wariancji lub test Welcha analizy wariancji. Wyniki dla danych morfologicznych zebrano w tabeli 1, a dla danych o plonach w tabeli 2. W przypadku cech morfologicznych statystycznie istotne różnice pomiędzy porównywanymi formami sorga stwierdzono dla wszystkich zmiennych z wyjątkiem liczby liści na roślinie (Tab. 1). Dla wysokości roślin, szerokości liścia flagowego, długości liścia flagowego oraz liczby międzywęźli istotnie niższe wartości odnotowano dla formy niskiej sor-

ga RAD-N/z. Natomiast dla plonów statystycznie istotne różnice pomiędzy formami stwierdzono dla wszystkich analizowanych zmiennych (Tab. 2). I w tym przypadku również istotnie niższe wartości zmiennych obserwowano dla formy niskiej RAD-N/z.

W celu określenia współzależności pomiędzy analizowanymi zmiennymi w obrębie porównywanych form przeprowadzono analizę współczynników korelacji liniowych. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

Forma niska RAD-N/z charakteryzowała się występowaniem istotnych i dość silnych korelacji pomiędzy masą suchych wiech z nasionami z rośliny a plonem nasion z rośliny oraz masą świeżych wiech z nasionami z rośliny a plonem świe-

Tabela 1  
Table 1

**Wyniki testu homogeniczności wariancji i analizy wariancji wraz z średnimi i grupami jednorodnymi dla porównania form sorga ze względu na cechy morfologiczne**  
**Results of the variance homogeneity test and variance analysis with means and homogeneous groups for the comparison of sorghum forms with respect to morphological features**

	Wysokość rośliny(cm) Plant height (cm)		Szerokość liścia flagowego (cm) Flag leaf width (cm)		Długość liścia flagowego (cm) Flag leaf length (cm)		Liczba międzywęźli Number of internodes		Liczba liści na roślinie Number of leaves per plant	
Statystyka F dla testu Levene'a F-statistic for Levene's test	3,56	NS	1,63	NS	0,13	NS	0,99	NS	1,05	NS
Statystyka F dla porównania form ‡ F-statistic for compar- ison of forms ‡	336,57	**	62,85	**	5,72	*	98,68	**	3,46	NS
MS dla błędów ‡ MSE ‡	136,00		0,61		66,16		0,20		0,23	
RAD-N/z	190,625	A	4,606	A	48,188	A	5,125	A	7,125	A
RAD-W/r	266,250	B	6,794	B	55,063	B	6,687	B	7,438	A

‡ – wartość statystyki F dla testu F analizy wariancji przy statystycznie nieistotnej statystyce testowej dla testu Levene'a (wariancje homogeniczne) lub wartość statystyki F dla testu analizy wariancji Welcha przy statystycznie istotnej statystyce testowej dla testu Levene'a (brak homogeniczności wariancji); NS – brak istotnych różnic; \* – istotne przy  $\alpha = 0,05$ ; \*\* – istotne przy  $\alpha = 0,01$ ; A / B – oznaczenie przynależności do grup jednorodnych

‡ – F statistic value for the F test of analysis of variance with a statistically insignificant test statistic for Levene's test (homogeneous variances) or F statistic value for Welch's analysis of variance test with a statistically significant test statistic for Levene's test (lack of homogeneity of variances); NS – no significant differences; \* – significant at  $\alpha = 0.05$ ; \*\* – significant at  $\alpha = 0.01$ ; A / B – designation of membership in homogeneous groups

Tabela 2  
Table 2

**Wyniki testu homogeniczności wariancji i analizy wariancji wraz z średnimi i grupami jednorodnymi dla porównania form sorga ze względu na plonowanie**  
**Results of the variance homogeneity test and variance analysis with means and homogeneous groups for the comparison of sorghum forms with respect to yield**

	Masa świeżej wiechy z nasionami z rośliny (g) Fresh panicle mass with seeds per plant (g)		Masa suchej wiechy z nasionami z rośliny (g) Dry panicle mass with seeds per plant (g)		Plon nasion z rośliny (g) Seed yield per plant (g)		Plon świeżej biomasy z rośliny (g) fresh biomass yield per plant (g)		Plon suchej biomasy z rośliny (g) dry biomass yield per plant (g)	
Statystyka F dla testu Levene'a F-statistic for Levene's test	11,88	**	18,99	**	22,87	**	1,33	NS	7,33	*
Statystyka F dla porównania form ‡ F-statistic for com- parison of forms ‡	23,95	**	43,51	**	92,07	**	58,70	**	75,14	**
MS dla błędów ‡ MSE ‡	542,90		194,20		124,61		2600,00		923,30	
RAD-N/z	63,438	A	46,250	A	30,463	A	176,875	A	108,750	A
RAD-W/r	103,750	B	78,750	B	68,331	B	315,000	B	201,875	B

‡ – wartość statystyki F dla testu F analizy wariancji przy statystycznie nieistotnej statystyce testowej dla testu Levene'a (wariancje homogeniczne) lub wartość statystyki F dla testu analizy wariancji Welcha przy statystycznie istotnej statystyce testowej dla testu Levene'a (brak homogeniczności wariancji); NS – brak istotnych różnic; \* – istotne przy  $\alpha = 0,05$ ; \*\* – istotne przy  $\alpha = 0,01$ ; A / B – oznaczenie przynależności do grup jednorodnych

‡ – F statistic value for the F test of analysis of variance with a statistically insignificant test statistic for Levene's test (homogeneous variances) or F statistic value for Welch's analysis of variance test with a statistically significant test statistic for Levene's test (lack of homogeneity of variances); NS – no significant differences; \* – significant at  $\alpha = 0.05$ ; \*\* – significant at  $\alpha = 0.01$ ; A / B – designation of membership in homogeneous groups

żej i suchej biomasy z rośliny. Słabsze i odwrotnie proporcjonalne relacje stwierdzono pomiędzy wysokością roślin a plonem biomasy z rośliny. W przypadku formy wysokiej RAD-W/r istotne i dość silne korelacje stwierdzono dla współzależ-

ności pomiędzy szerokością liścia flagowego a wszystkimi zmiennymi charakteryzującymi plonowanie. Istotne statystycznie i silne korelacje zaobserwowano pomiędzy cechami charakteryzującymi plonowanie tej formy sorga.

Tabela 3  
Table 3

Zestawienie współczynników korelacji liniowej Pearsona pomiędzy analizowanymi zmiennymi dla dwóch porównywanych form hodowlanych sorga  
Summary of Pearson linear correlation coefficients between analyzed variables for two compared breeding forms of sorghum

RAD-N /z	WR	SLF	DLF	LM	LLnR	MŚWNzR	MSWNzR	PNzR	PŚBzR	PSBzR
RAD-W/r										
WR	1	-0,198	-0,214	0,304	-0,445	-0,294	-0,355	-0,155	-0,574*	-0,507*
SLF	-0,298	1	0,128	0,319	0,427	0,343	0,234	0,171	0,382	0,415
DLF	-0,139	0,544*	1	-0,063	-0,201	-0,078	0,100	0,106	0,102	0,059
LM	0,275	0,221	0,136	1	-0,054	-0,216	0,111	-0,064	-0,249	-0,268
LLnR	0,524*	0,223	0,091	0,263	1	0,409	-0,089	-0,115	0,423	0,445
MŚWNzR	-0,324	0,651**	0,116	0,084	0,047	1	0,569*	0,443	0,727**	0,881**
MSWNzR	-0,077	0,797**	0,213	0,145	0,287	0,863**	1	0,840**	0,545*	0,671**
PNzR	-0,072	0,782**	0,192	0,157	0,273	0,869**	0,997**	1	0,283	0,491
PŚBzR	-0,140	0,680**	0,364	0,125	0,269	0,786**	0,811**	0,801**	1	0,916**
PSBzR	0,022	0,730**	0,151	0,197	0,471	0,799**	0,934**	0,943**	0,855**	1

Zmienne: WR – wysokość roślin (cm), SLF – szerokość liścia flagowego (cm), DLF – długość liścia flagowego (cm), LM – liczba międzywęźli, LLnR – liczba liści na roślinie, MŚWNzR – masa świeżej wiechy z nasionami z rośliny (g), MSWNzR – masa suchej wiechy z nasionami z rośliny (g), PNzR – plon nasiona z rośliny (g); \* – istotne przy  $\alpha = 0,05$ ; \*\* – istotne przy  $\alpha = 0,01$   
Variables: WR – plant height (cm), SLF – flag leaf width (cm), DLF – flag leaf length (cm), LM – number of internodes, LLnR – number of leaves per plant, MŚWNzR – fresh panicle mass with seeds per plant (g), MSWNzR – dry panicle mass with seeds per plant (g), PNzR – seed yield per plant (g), PŚBzR – fresh biomass yield per plant (g), PSBzR – dry biomass yield per plant (g); \* – significant at  $\alpha = 0,05$ ; \*\* – significant at  $\alpha = 0,01$

## Podsumowanie

Badane formy sorga zwyczajnego różniły się pod względem cech plonotwórczych (masy świeżej wiechy z nasionami z rośliny, masy suchej wiechy z nasionami z rośliny) oraz morfologicznych (wysokość roślin). Parametry te miały wyższe wartości w przypadku formy wysokiej RAD-W/r. Zarówno plon nasion z rośliny jak i plon świeżej i suchej biomasy były o 48-55% większe w porównaniu z formą niską RAD-N/z. W przypadku długości i szerokości liścia flagowego oraz liczby międzywęźli różnice były już znacznie mniejsze (12-32%), a w przypadku liczby liści na roślinie nieistotne statystycznie. U formy wysokiej, szerokość liścia flagowego korelowała z ce-

chami plonotwórczymi. Istotne korelacje stwierdzono pomiędzy zmiennymi opisującymi plonowanie roślin sorga, zarówno w przypadku formy wysokiej jak i niskiej.

Uzyskane wyniki wskazują na potencjał badanych form dla gospodarki rolnej. Obydwie formy nadają się do wielokierunkowego wykorzystania. U formy wysokiej, RAD-W/r, przeważają cechy sugerujące jej przydatność dla bioenergetyki oraz na cele żywieniowe. Forma niska, RAD-N/z, powinna się dobrze sprawdzić w przeznaczeniu na paszę, głównie w formie kiszonek. Badane formy hodowlane są więc wartościowym materiałem wyjściowym do uzyskania nowych polskich odmian sorga zwyczajnego.

## Literatura

- Billingsley, P., 2012. Probability and Measure. John Wiley & Sons.
- Business Standard, 2023. World cereal production projected to reach record high in 2023-2024: FAO [strona WWW]. URL: [https://www.business-standard.com/world-news/world-cereal-production-projected-to-reach-record-high-in-2023-2024-fao-123070900066\\_1.html](https://www.business-standard.com/world-news/world-cereal-production-projected-to-reach-record-high-in-2023-2024-fao-123070900066_1.html) (weryfikacji 21-08-24).
- de Morais Cardoso, L., Pinheiro, S.S., Martino, H.S.D., Pinheiro-Sant'Ana, H.M., 2017. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 57, 372–390.
- Fisher, R.A., 1947. The design of experiments. Oliver and Boyd, Edinburgh, UK.
- Fisher, R.A., 1930. Statistical Methods for Research Workers. Oliver and Boyd, Edinburgh, UK.
- Frankowski, J., 2017. Nutritional and therapeutic properties of sorghum (*Sorghum Moench*). Postępy Fitoter. 209–214. DOI: <https://doi.org/10.25121/PF.2017.18.3.209>
- Klenke, A., 2007. Probability Theory: A Comprehensive Course. Springer Science & Business Media.
- Levene, H., 1960. Robust Tests for Equality of Variances, in: Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling. Stanford University Press, pp. 278–292.
- Martyniak D. 2014. Polskie sorgo (*Sorghum bicolor*) na biogaz i paszę. Biomasa Ogólnopolski Miesięcznik Klasy Biznes. Październik 2014, 12–15. [www.magazynb.pl / ISSN2353-9321biomasa](http://www.magazynb.pl/ISSN2353-9321biomasa).
- Pearson, K., Henrici, O.M.F.E., 1997. VII. Mathematical contributions to the theory of evolution —III Regression, heredity, and panmixia. Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. Contain. Pap. Math. Phys. Character. 187, 253–318. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.1896.0007>

- Shiryaev, A., 2013. Probability. Springer Science & Business Media.
- Sorghum bicolor* (L.) Moench [strona WWW], 2009. Prota 1 Cereals Pulses Céréales Légumes Secs Affichage Fiche. URL: [https://web.archive.org/web/20091021070855/http://database.prota.org/PROTAhtml/Sorghum%20bicolor\\_Fr.htm](https://web.archive.org/web/20091021070855/http://database.prota.org/PROTAhtml/Sorghum%20bicolor_Fr.htm) (weryfikacji 21-08-24).
- Stachowiak, B., Nowak, J., Szambelan, K., Bajon, A., 2022. Sorgo – potencjał rolniczy i przemysłowy. Zagadnienia Doradz. Rol. 49–61.
- Szambelan, K., Nowak, J., Frankowski, J., Szwengiel, A., Jeleń, H., Burezyk, H., 2018. The comprehensive analysis of sorghum cultivated in Poland for energy purposes: Separate hydrolysis and fermentation and simultaneous saccharification and fermentation methods and their impact on bioethanol effectiveness and volatile by-products from the grain and the energy potential of sorghum straw. *Bioresour. Technol.* 250, 750–757. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.096>
- TIBCO Software Inc., 2017. Statistica (data analysis software system). Version 13. <http://statistica.io>.
- Tukey, J., 1949. Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. *Biometrics.* 5, 99–114.
- Welch, B.L., 1951. On the Comparison of Several Mean Values: An Alternative Approach. *Biometrika.* 38, 330–336. DOI: <https://doi.org/10.2307/2332579>
- Wolska, A., 2021. W UE uprawia się coraz więcej sorgo. Przez zmiany klimatyczne [strona WWW]. [www.euractiv.pl](https://www.euractiv.pl/section/rolnictwowpr/news/unia-europejska-sorgo-afryka-zmiany-klimatyczne-ekologia-ziemia/). URL: <https://www.euractiv.pl/section/rolnictwowpr/news/unia-europejska-sorgo-afryka-zmiany-klimatyczne-ekologia-ziemia/> (weryfikacja 21-08-24).
- Żurek, G., Wiewióra, B., Starzycki, M., Nowakowski, M., Nowacki, W., Warzecha, R., Bodzon, Z., Fu Dostatny, D., Martyniak, D., Żurek, M., 2019. Przeciwdziałanie negatywnym skutkom zmian klimatu w rolnictwie - postęp biologiczny i innowacje w agrotechnice. Fundacja na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju, Warszawa.



# Nowe dopuszczalne limity zawartości toksyn fuzaryjnych (deoksynivalenol, toksyny T-2/HT-2) w ziarnie zbóż i produktach zbożowych

Komunikat

Short  
Communication

New limits for *Fusarium* toxins (deoxynivalenol, T-2/HT-2 toxins) in cereal grains and products

Tomasz Góral  

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Biologii Stosowanej, Radzików, 05-870 Błonie

 t.goral@ihar.edu.pl

W komunikacie przedstawiono najnowsze dane dotyczące dopuszczalnych zawartości toksyn fuzaryjnych w ziarnie zbóż i kukurydzy oraz w zbożowych i kukurydzianych produktach spożywczych. Komunikat stanowi suplement do publikacji na temat fuzariozy kłosów pszenicy (Góral, 2023)

**Słowa kluczowe:** *Fusarium*, toksyny, rozporządzenie Unii Europejskiej, zboża

The notice presents the latest data on the permissible levels of *Fusarium* toxins in cereal and maize grains and in cereal and maize food products. The notice is a supplement to the publication on *Fusarium* head blight of wheat (Góral, 2023)

**Key words:** *Fusarium*, toxins, European Union regulation, cereals

## Wstęp

W roku 2024 ukazały się dwa nowe rozporządzenia komisji (UE) obniżające najwyższe dopuszczalne zawartości deoksynivalenolu (DON) oraz ustanawiające najwyższe dopuszczalne zawartości toksyn T-2 i HT-2 wytwarzanych przez grzyby z rodzaju *Fusarium*. Modyfikują one obowiązujące dotychczas rozporządzenia i zalecenia donośnie tych dwóch grup toksyn (Góral 2023). Oba powyższe rozporządzenia weszły w życie 1 lipca 2024 r (Komisja UE 2024 a oraz b).

W przypadku DON Komisja argumentuje obniżenie limitów faktem, że przy ustalaniu szkodliwości DON należy brać również jego acetylowane pochodne 3-Ac-DON, 15-Ac-DON oraz zmodyfikowaną formę DON czyli DON-3-glukozyd (Dellafiora i Dall’Asta, 2016). Pochodne oraz zmodyfikowany DON nie podlegają obecnie rutynowej kontroli w ziarnie zbóż oraz produktach zbożowych. Ustalenie dopuszczalnych zawartości toksyn T-2 i HT-2 wynika z kumulacji danych dotyczących szkodliwości tych toksyn obecnych w żywności (Meneely i in. 2023). Komisja zwraca szczególną uwagę na ziarno owsa, w którym zawartości toksyn T-2 i HT-2 są najwyższe i postuluje podjęcie dalszych starań w celu zredukowania ich obecności w ziarnie tego zboża (Edwards, 2009).

Rozporządzenie Komisji UE, nr 2024/1022 (2024) (Komisja UE 2024 a), obniża poziom DON

w nieprzetworzonym ziarnie zbóż do 1000  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (poprzednio 1250  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Dla ziarna pszenicy twardej i kukurydzy jest to obecnie 1500  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (poprzednio 1750  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). W przypadku produktów przetworzonych obniżono zawartości w mące zbożowej (poza kukurydzianą) do 600  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (poprzednio 750  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), w wyrobach piekarniczych, przekąskach zbożowych i śniadaniowych przetworach zbożowych do 400  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (poprzednio 500  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oraz w makaronie do 600  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (poprzednio 750  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) (Tab. 1).

Drugie Rozporządzenie Komisji UE, nr 2024/1038 (2024) (Komisja UE 2024 b) ustanawia dopuszczalne limity zawartości toksyn fuzaryjnych T-2 i HT-2. Wcześniej obowiązywało jedynie Zalecenie Komisji UE, nr 2013/16 (Komisja UE 2024 b). Obecne rozporządzenie ustanawia dopuszczalną zawartość 50  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  w ziarnie zbóż dla toksyn T-2 i HT-2 łącznie. Dla ziarna kukurydzy i pszenicy twardej jest to 100  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , natomiast dla ziarna owsa z niejadalną łuską 1250  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Dla ziarna jęczmienia browarnego zawartość dopuszczalna wynosi 200  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a dla innych rodzajów ziarna jęczmienia 150  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Niższe dopuszczalne zawartości obowiązują dla ziarna przeznaczonego do konsumpcji oraz dla produktów zbożowych. Przykładowo dla mąki zbożowej jest to 20  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (z wyjątkiem owsianej 100  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  i kukurydzianej 50  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Dla płatków owsianych najwyższa dopuszczalna zawartość toksyn T-2 i HT-2 wynosi 100  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Tab. 2).

Tabela 1  
Table 1

**Limity zawartości deoksyniwalenolu (DON) w ziarnie i produktach zbożowych wg najnowszego Rozporządzenia Komisji UE nr 2024/1022**  
**Limits of deoxynivalenol content (DON) in grain and cereal products according to the latest EU Commission Regulation N° 2024/1022**

Lp. No.	Potencjalne źródło toksyn / Potential source of toxins	Limit zawartości DON ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) / Limit of DON content ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
1.	Nieprzetworzone ziarna zbóż, z wyjątkiem produktów wymienionych w pkt 2 i 3 rozporządzenia	1 000
2.	Nieprzetworzone ziarna pszenicy durum i nieprzetworzone ziarna kukurydzy	1 500
3.	Nieprzetworzone ziarna owsa z niejadalną łuską	1 750
4.	Zboża wprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego, kukurydza do prażenia i prażona kukurydza	750
5.	Produkty przemiału zbóż, z wyjątkiem produktów wymienionych w pkt 6	600
6.	Produkty mielenia kukurydzy	
6.1	Produkty mielenia kukurydzy wprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego	750
6.2	Produkty mielenia kukurydzy niewprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego	1 000
6.3	Wstępnie gotowana polenta gotowa do spożycia	250
7.	Wyroby piekarnicze, przekąski zbożowe i śniadaniowe przetwory zbożowe	400
8.	Makaron	600
9.	Żywność dla dzieci i przetworzona żywność na bazie zbóż dla niemowląt i małych dzieci	150
10.	Żywność specjalnego przeznaczenia medycznego przeznaczona dla niemowląt i małych dzieci	150

Tabela 2  
Table 2

**Limity zawartości toksyn T-2 oraz HT-2 w ziarnie i produktach zbożowych wg najnowszego Rozporządzenia Komisji UE nr 2024/1038**  
**The limits of T-2 and HT-2 toxins content in grain and cereal products according to the latest EU Commission Regulation N° 2024/1038**

Lp.	Potencjalne źródło toksyn / Potential source of toxins	Limit sumy toksyn T-2 i HT-2 ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) / Limit of the sum of T-2 and HT-2 toxins ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
1.	Nieprzetworzone ziarna zbóż, z wyjątkiem produktów wymienionych w pkt 1.1, 1.2, 1.3 i 1.4	50
1.1	Nieprzetworzone ziarna jęczmienia browarnego	200
1.2	Nieprzetworzone ziarna jęczmienia inne niż ziarna jęczmienia browarnego	150
1.3	Nieprzetworzone ziarna kukurydzy i nieprzetworzone ziarna pszenicy durum	100
1.4	Nieprzetworzone ziarna owsa z niejadalną łuską	1 250
2.	Zboża wprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego, z wyjątkiem produktów wymienionych w pkt 2.1 i 2.2	20
2.1	Owies wprowadzany do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego	100
2.2	Jęczmień, kukurydza i pszenica durum wprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego	50

## Wnioski

Obniżenie limitów zawartości DON w ziarnie oraz wprowadzenie limitów zawartości dla toksyn T-2 i HT-2 rodzi potrzebę ochrony upraw zbóż przed fuzariozą kłosów. Fuzariozę kłosów można

zwalczać stosując chemiczne środki ochrony lub uprawiając odmiany odporne. W przypadku odmian potrzebna jest wiarygodna informacja o poziomie ich odporności. Informację taką można uzyskać stosując sztuczną inokulację kłosów grzybami *Fusarium* w doświadczeniach odmianowych.



## Literatura

- Dellafiora, L., Dall'Asta, C., 2016. Masked mycotoxins: An emerging issue that makes renegotiable what is ordinary. *Food Chem.* 213, 534–535. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.112>
- Edwards, S.G., 2009. *Fusarium* mycotoxin content of UK organic and conventional oats. *Food Addit. Contam. - Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.* 26, 1063–1069. <https://doi.org/10.1080/02652030902919418>
- Góral, T., 2023. Fuzarioza kłosów pszenicy. Część 1. Opis choroby i charakterystyka patogenów. *Biul. Inst. Hod. i Aklim. Roślin* 300, 33–45. <https://doi.org/10.37317/biul-2023-0010>
- Meneely, J., Greer, B., Kolawole, O., Elliott, C., 2023. T-2 and HT-2 toxins: toxicity, occurrence and analysis: a review. *Toxins* 15(8), 481. <https://doi.org/10.3390/toxins15080481>
- Komisja UE. 2024 a. Rozporządzenie Komisji UE 2024/1022 z dnia 8 kwietnia 2024 r. zmieniające rozporządzenie (UE) 2023/915 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów deoksyniwalenolu w żywności. 2024. Dziennik Urzędowy L 1022. <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1022/oj>
- Komisja UE. 2024 b. Rozporządzenie Komisji (UE) 2024/1038 z dnia 9 kwietnia 2024 r. zmieniające rozporządzenie (UE) 2023/915 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów toksyn T-2 i HT-2 w żywności. 2024. Dziennik Urzędowy L 1038. <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1038/oj>
- Komisja UE. 2013. Zalecenie Komisji (UE) 2013/165 z dnia 27 marca 2013 r. w sprawie obecności toksyn T-2 i HT-2 w zbożach i produktach zbożowych. 2024. Dziennik Urzędowy L 91. <http://data.europa.eu/eli/reco/2013/165/oj>





**LISTA RECENZENTÓW — 2024**  
**LIST OF REVIEWERS—2024**

Imię i nazwisko Recenzenta Reviewer first and last name	Afiliacja Affiliation
Błaszczyk Lidia	Instytut Genetyki Roślin - Polska Akademia Nauk, Poznań
Dynkowska Wioletta Monika	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Gozdowski Dariusz	Instytut Rolnictwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Góral Tomasz	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Janicka Maria	Instytut Rolnictwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Latocha Piotr	Instytut Ogrodnictwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Liersch Alina	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Małuszyńska Elżbieta	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Mirzwa-Mróż Ewa	Instytut Ogrodnictwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Orłowska Renata	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Pańka Dariusz	Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Radecka-Janusik Magdalena	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Rahman Habibur	Faculty of Agricultural, Life and Environmental Sciences, University of Alberta
Rucińska Anna	Ogród Botaniczny - Polska Akademia Nauk, Powsin
Szafrańska Anna	Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego – Państwowy Instytut Badawczy
Tratwal Anna	Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Wiewióra Barbara	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Żurek Monika	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy



**SPIS TREŚCI**  
**TABLE OF CONTENTS**

Autor / Tytuł Author / Title	Strony / Pages	
	od / from	do / to
M. SAKIBUR ALAM, M. S. RAIHAN, M. M. HAQUE, A. K. M. AMINUL ISLAM Heterosis for Seed Yield Related Traits in <i>Brassica napus</i> L. Hybrids — preliminary studies	3	12
BARBARA WIEWIÓRA Rola grzybów endofitycznych rodzaju <i>Epichloë</i> w ekosystemie traw oraz wpływ na zdrowie roślin i zwierząt — Przegląd literatury The role of endophytic fungi of the genus <i>Epichloë</i> in the grass ecosystem and the impact on plant and animal health — A review	13	20
GABRIELA SKOWRON Metody badawcze stosowane w ocenie i klasyfikacji zbiorowisk roślinnych łąk w polskich pracach badawczych Research methods used in the assessment and classification of meadow plant communities in Polish research works	21	36
DANUTA MARTYNIAK, DARIUSZ MAŃKOWSKI Zmienność cech morfologicznych i plonu nowych, polskich form hodowlanych sorgo zwyczajnego ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) Variability of morphological and yield traits of new Polish breeding forms of common sorghum ( <i>Sorghum bicolor</i> L.)	37	43
TOMASZ GÓRAL Nowe dopuszczalne limity zawartości toksyn fuzaryjnych (deoksyniwalenol, toksyny T-2/HT-2) w ziarnie zbóż i produktach zbożowych New limits for <i>Fusarium</i> toxins (deoxynivalenol, T-2/HT-2 toxins) in cereal grains and products	45	47