



Fasola. Fot. Lech Boros.

**BIULETYN  
INSTYTUTU HODOWLI  
I AKLIMATYZACJI ROŚLIN  
NR 296/2021**



INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY  
RADZIKÓW, 05-870 BŁONIE

INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: dr Michał Rokicki

Komitety Redakcyjne

NAUKA

Redaktor Naczelny: Danuta Boros

Maja Boczkowska, Renata Lebecka, Wiesław Mądry, Katarzyna Mikołajczyk, Sławomir Podlaski,  
Barbara Zagdańska

WDROŻENIA

Redaktor Tematyczny: Wojciech Nowacki

Józef Adamczyk, Karol Bujoczek, Andrzej Chodkowski, Wiesław Dzwonkowski, Edward Gacek, Piotr  
Kamiński, Karol Marciniak, Przemysław Matysik, Juliusz Młodecki, Jarosław Mostowski, Adam Stę-  
pień, Roman Warzecha, Sławomir Wróbel

KONFERENCJE

Redaktor Tematyczny: Magdalena Szechyńska-Hebda

Katarzyna Gacek, Wiesław Podyma

Czasopismo ukazuje się od 1951 roku

Redaktor techniczny i skład komputerowy: Aleksandra Pindor

---

# Effect of genotype and contrasting climate conditions on physical and chemical characteristics of soybean (*Glycine max* L. Merrill)

Wpływ genotypu i kontrastujących warunków klimatycznych na cechy fizykochemiczne nasion soi (*Glycine max* L. Merrill)

Lech Boros<sup>1</sup>, Anna Wawer<sup>1</sup>, Magdalena Wiśniewska<sup>2</sup>, Danuta Boros<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Seed Science and Technology, Institute of Plant Breeding and Acclimatization – National Research Institute, 05–870 Radzików. Poland

<sup>2</sup>Laboratory of Quality Evaluation of Plant Materials, Institute of Plant Breeding and Acclimatization – National Research Institute, 05–870 Radzików. Poland

✉ e-mail: d.boros@ihar.edu.pl

Global warming has increased interest in growing soya in Poland. Variable weather conditions during the vegetation seasons, however, still make its cultivation potentially risky. In this study we wanted to assess how contrasting climate conditions influence on seed yield, 1000 seed weight and other important physical traits, as well as on contents of nutrients, dietary fibre constituents, trypsin inhibitor and phenolic components in nine soybean genotypes of different earliness. The field experiments were conducted in two consecutive vegetation seasons at Radzików, located in central Poland. Comprehensive seed characteristics of physical and chemical traits allowed to identify the best varieties for different end-uses, food or feed. A significant effect of variety and year of cultivation were observed for all evaluated traits. With the exception for the length of vegetation period, seed yield, seed coat and soluble non-starch polysaccharide content, significant interactions between variety and year of cultivation were found for the remaining traits. Weather conditions, such as very low precipitation with an average temperature above the multi-year average temperature in the month of July, when pod and seed is in full development, had a negative effect on all seed traits evaluated, regardless of variety earliness.

**Key words:** soybean, seed yield, cooking properties, nutrients, dietary fibre

Globalne ocieplenie klimatu spowodowało wzrost zainteresowania uprawą soi w Polsce. Zmienne warunki pogodowe w okresie wegetacji sprawiają jednak, że jej uprawa jest nadal potencjalnie ryzykowna. W niniejszych badaniach chciano ocenić, jak kontrastujące warunki klimatyczne wpływają na plon nasion, masę tysiąca nasion i inne ważne cechy fizyczne, a także na zawartość składników pokarmowych, składników błonnika pokarmowego, inhibitora tripsyny i związków fenolowych w dziewięciu genotypach soi o różnej wczesności. Doświadczenia polowe przeprowadzono w dwóch kolejnych sezonach wegetacyjnych w Radzikowie, położonym w centralnej Polsce. Kompleksowa charakterystyka nasion pod względem cech fizycznych i chemicznych pozwoliła na wytypowanie najlepszych odmian do różnych zastosowań końcowych, spożywczych lub paszowych. Stwierdzono istotny wpływ odmiany i roku uprawy dla wszystkich ocenianych cech. Z wyjątkiem długości okresu wegetacji, plonu nasion, okrywy nasiennej i zawartości rozpuszczalnych polisacharydów nieskrobiowych, dla pozostałych cech stwierdzono istotne interakcje między odmianą a rokiem uprawy. Warunki pogodowe, takie jak bardzo niskie opady przy średniej temperaturze powyżej średniej wieloletniej w miesiącu lipcu, kiedy strąki i nasiona są w pełni wykształcone, miały negatywny wpływ na wszystkie oceniane cechy nasion, niezależnie od wczesności odmiany.

**Słowa kluczowe:** soja, plon nasion, właściwości kulinarne, składniki odżywcze, włókno pokarmowe

## Introduction

Soybean is the leading legume crop worldwide, and its production is steadily increasing, in line with the growing demand for plant proteins, essential for intensively growing animal production. According to the FAO latest data (FAOSTAT, 2020), in 2018, annual global production of soybeans was 349 million tonnes and was cultivated on the area of 125 million hectares.

In EU, soybean was grown on nearly 1 million hectares, with the annual production 2,9 million tonnes. In Poland, soybean production is still very small (annually about 20 thousand hectares). It is assumed that the progressive global warming and the activities undertaken in the Protein Initiative Program, established in 2017, shall lead to a significant increase in its cultivation in the coming years (COBORU, 2020). Increasing

soybean production is considered to be the best way to reduce import of genetically modified soybean meal (SBM) in Poland.

Soybean seeds are an excellent raw material for the food and feed industry. Dry seeds contain approximately 40% protein, 22% oil, 32% carbohydrates and lignin and 5% ash (NRC, 2012). Among others, seeds contain also various bioactive compounds, like vitamins and phytoestrogens (Banaszkiewicz, 2011; Medic *et al.* 2014; O'Bryan *et al.* 2014). However, phytoestrogens, the class of phenolic compounds, which in soybean are represented by isoflavones (daidzein, genistein), can cause reproductive disturbances in mammals (Wocławek-Potocka *et al.* 2005). The raw soybean seeds contain also several components, which diminish their nutritional value, among them protease inhibitors, active against trypsin and chymotrypsin, next lectins, phytates and allergens (Liener, 1994). Seeds of soybean are appreciable source of dietary fibre, a complex component that has beneficial effects in humans but is undesirable in large quantities in animal feed mixtures. A high intake of dietary fibre significantly lowers serum cholesterol level and blood pressure, prevents obesity, improves glucose tolerance, and has anti-inflammatory and anti-carcinogenic effect on digestive system (Scheppach *et al.* 2004, O'Bryan *et al.* 2014). Moreover, dietary fibre is recently receiving attention in animal feeding as a dietary component that can contribute to better gut health of the host (Jha *et al.* 2019). The relatively high oligosaccharide content of soybeans may play an important role in this effect. Seed yield and seed chemical composition are genetically controlled, however, they are known to be influenced by biotic and abiotic factors, such as fungal and viral infections, insect pests and weeds, maturity, growing season, geographic location, and agronomic practices (Vollmann *et al.* 2000; Medic *et al.* 2014; Bellaloui *et al.* 2015; Goyal *et al.* 2015; Assefa *et al.* 2019; Li *et al.* 2020). The seed chemical composition changes during soybean seed development (Saldivar *et al.* 2011), moreover depends on the seed node position along the main stem of plant (Huber *et al.* 2016).

Due to insufficient production, the EU countries cover 70% of their plant protein requirements by import. Breeding progress, economic and legal conditions in Poland and climatic changes favourable for thermophilic species should make soybean cultivation more profitable in a short time and increase its acreage together with other domestic legume species. The warming and lengthening

of the growing season, observed for several years in our latitude, makes the farmers more and more interested in crop species, such as soybean.

In recent years, several soybean varieties developed by domestic and foreign breeding companies have been introduced into cultivation in Poland, but the physicochemical characteristics of the seeds in relation to culinary quality parameters and chemical composition as effected by climate changes has not been evaluated. Moreover, knowledge of certain physical properties of soybean seeds can be helpful not only in selecting the best varieties for consumption, but also in selecting varieties for feed purposes. Such information should be useful for breeders and all end-users in feed and food processing chain.

## Materials and Methods

### *Field Trial Design, Whether Conditions and Seed Yield*

Nine various genotypes of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) were used in this study. Three varieties and two breeding lines (Aldana, Augusta, Jutro, LP-1 and LP-2) were of Polish origin, two of Ukrainian (Mavka and Annushka) and one of Austrian (Merlin). Varieties Mavka and Merlin belong to semi-late earliness group, while the other varieties and breeding lines belong to very early and early group of earliness. The varieties, except for Jutro and Progress, are listed in the Common Catalogue (2020). The field trials were carried out over a period of two growing seasons (2013 and 2014), at the Institute of Plant Breeding and Acclimatisation-National Research Institute at Radzików, located in the central part of Poland (52°13'38"N 20°36'55"E). Seeds of each variety were planted in four row plots of 10 m<sup>2</sup> with density of 80 seeds·m<sup>2</sup>, in four replicates, as a randomized complete block design. The basic elements of sustainable crop management were applied, that included seedbed preparation, fertilisation, sowing, rational chemical protection (selection of doses and adherence to deadlines for applications).

Weather conditions during field experiments were obtained from the meteorological station located at Radzików, together with those for the last 55 years (Figure 1a and Figure 1b).

The 2013 season was characterised by high average monthly temperatures, with the exception of the months of April and September compared to the long-term data. In contrast, temperatures in April, July and September of the 2014 growing season were higher than corresponding

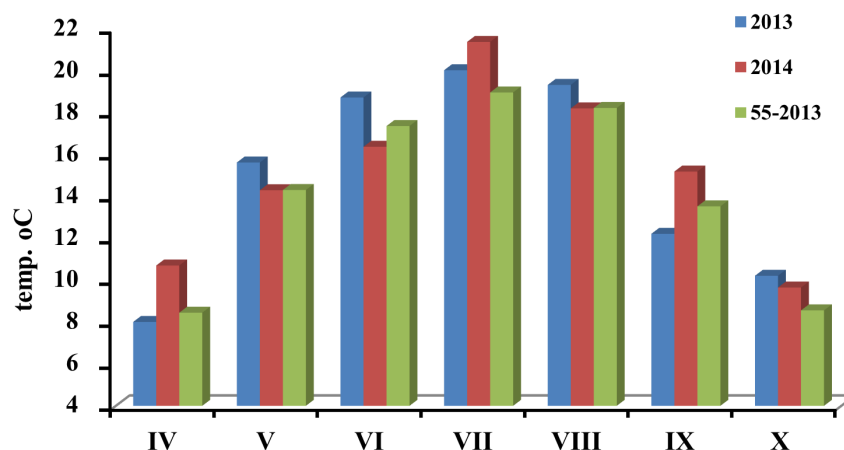


Figure 1a. Average monthly temperatures in two growing seasons in comparison to multi-year temperatures (1958-2013) for Radzików.

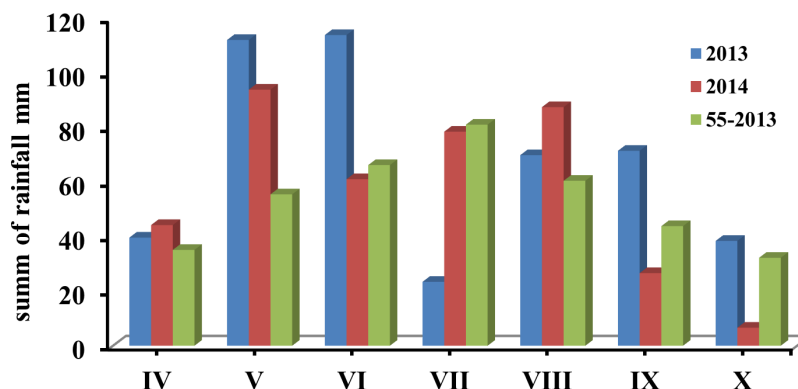


Figure 1b. Monthly precipitation in two growing seasons in comparison with precipitation in multi-year period (1958-2013) for Radzików

values in 2013 and long-term data (Fig.1 a.). Growing seasons in question differed significantly in their precipitation distribution (Fig.1b.) The season of 2013, with excessive precipitation in May and June, causing flooding, soil compaction, poorer nodulation and drought in the month of July had a significant impact on the quantity and quality of harvested soybean seeds. The 2014 growing season was characterised by a more even distribution of rainfall and a warm and dry autumn, thus favourable conditions for later maturing soybean varieties.

Harvested seeds from each plot were cleaned, weighed, and tested for moisture content. Reported yield was adjusted to 15% moisture content.

#### **Measurements of Seed Physical Properties**

Physical traits and chemical analyses were performed on laboratory seed samples, created

by combining seeds of a given variety from four field plots and after well mixing an average sample was taken. Each analysis of physical and chemical traits was performed in triplicate.

Random selected 100 seed samples from each genotype were weighed using a digital electronic balance having an accuracy of 0.001 g and then recalculated to 1000 seed weight in grams. Bulk density was determined as the ratio between the mass and the volume of 100 soybean seeds. The bulk density was expressed in kg per hectolitre ( $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ )

Percentage of seed coat was determined using 10 random seeds. The seeds were soaked in distilled water at 5°C for 12 h. After that, the seed coat was easily separated from each seed using a preparation needle. The dehulled seeds and the seed coats were dried in oven at 105°C for 24 h. After drying and cooling to ambient temperature, both parts

of seeds were weighed separately and the seed coat percentage was calculated of the seed weight. The absorption of water was determined for the sample of 50 seeds of known mass, soaked in distilled water for 18 hours at a temperature of 25°C. Hydration capacity ( $\text{g}\cdot\text{seed}^{-1}$ ) was recorded as gain in weight after 18 hours of soaking in distilled water. The swelling capacity per seed ( $\text{ml}\cdot\text{seed}^{-1}$ ) was determined as gain in volume after 18 hours of soaking in distilled water.

The cooking time was determined on Mattson Cooker, made according to the Jackson & Varriano-Morston model, which was applied to assess the cooking time of soybean, common beans and peas seeds (Destro *et al.* 2013; Boros and Wawer, 2018; Wang *et al.* 2010). The cooking time was measured from the time the water was boiled until 20 of 25 pins of a specified weight had penetrated 80% of the seeds (CT 80%).

#### **Measurements of Chemical Composition**

Prior to chemical analysis all seed samples were ground on a cyclone laboratory mill (Foss, CT 193 Cyclotec™), to pass a 0.5 mm screen. Error of each chemical analysis did not exceed 3%.

The contents of basic components: dry matter, crude protein, ash and available starch were analysed using standard procedures of AOAC (2010). A conversion factor 6,25 was used to estimate protein content from determined nitrogen content. Total lipids were determined by the gravimetric method, after extraction of the sample with a solution of chloroform, methanol and hydrochloric acid, mixed in proportions 60:40:1 (v/v/v), according to Marchello *et al.* (1971).

Determination of trypsin inhibitor activity (TIU) was performed using a BAPNA substrate, and the amount of p-nitroaniline released was measured spectrophotometrically at 410 nm (UV-1800 spectrophotometer, Beijing Rayleigh Analytical Instrument Corporation – BRAIC) according to the method of Kakade *et al.* (1974).

The amount of total phenolics (TPC) was determined according to the Folin-Ciocalteu procedure (Martinez-Villaluenga *et al.* 2009). Absorption at 765 nm was measured on UV-1800 spectrophotometer (BRAIC). The total phenolic content was expressed as gallic acid equivalents (GAE) in milligrams per gram dry matter. Condensed tannins content were determined by the vanillin HCl assay as described by Price *et al.* (1978). The absorption was measured at 500 nm on a UV-1800 spectrophotometer (BRAIC). Catechin was used as the standard for the calibration curve. Condensed tannin content

was expressed as mg catechin equivalents (CE) per g sample (dry basis).

Total dietary fibre (TDF) was determined by an enzymatic-chemical method with the Uppsala procedure (Theander *et al.* 1995), increased by nondigestible oligosaccharides, which is in compliance with the European Food Safety Authority definition of TDF (EFSA, 2010). In this method TDF is calculated as the sum of nonstarch polysaccharides (NSP), oligosaccharides, uronic acids and Klason lignin (AOAC, 2010). The nonstarch polysaccharides (NSP), with its soluble (S-NSP) and insoluble (I-NSP) fractions, were analysed according to Englyst and Cummings (1984). After purifying from free sugars and available starch, the samples were fractionated into soluble and insoluble fractions by centrifugation (Eppendorf, Centrifuge 5702). The I-NSP fraction, in the pellet, underwent first dispersion of cellulose with 12 M sulphuric acid (30°C, 0.5h), then hydrolysis into monosaccharides with 1 M sulphuric acid (100°C, 2h). The ethanol precipitated S-NSP fraction were hydrolysed into monosaccharides with 1 M sulphuric acid, the same as I-NSP. The released monosaccharides in both fractions, derivatized to alditol acetates, were quantified on a capillary column (30m length and 0.53mm id; cat #14049 from Restek Corporation, 110 Benner Circle, Bellefonte, USA) in a gas chromatograph (Clarus 500, Perkin-Elmer) equipped with an autosampler, a splitter injection port and a flame ionisation detector. Helium was used as a carrier gas. Temperature of the detector was 250°C and that of the injector 220°C. The column oven program started at 190°C increasing by 5°C/min up to 215°C and holding this temperature for 5 min. S-NSP and I-NSP were calculated as the sum of constituent sugars of each fraction and their values are presented as anhydrous sugars. A total NSP was calculated as a sum of both NSP fractions.

Raffinose family oligosaccharides (RFO) were determined by the method of Lahuta (2006). Oligosaccharides extracted with 50% ethanol were derivatized with a mixture of trimethylsilyl imidazole and pyridine (1:1, v/v). Trimethylsilyl derivatives of carbohydrates were separated on a capillary column (ZEBRON ZB-1, 15 m, 0.25 mm, packed with 0.1  $\mu\text{m}$  layer of 100% dimethylpolysiloxane) in gas chromatograph (AutoSystem XL, Perkin-Elmer). RFO were calculated as the sum of raffinose, stachyose and verbascose. Uronic acids (UA) analysed with the colorimetric method of Scott (1979), using 3,5-dimethylphenol, highly reactive to UA derivatives. UA were calculated

by measuring the difference between absorbance at 400 nm and 450 nm on a UV-1800 spectrophotometer (BRAIC). The solution of D-galacturonic acids was used as a standard. Klason lignin was determined gravimetrically as the ash-free acid insoluble residue after two-step acid hydrolysis with 72% sulphuric acid (30°C, 0.5h) and 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (100°C, 3 h) (Theander *et al.* 1995).

### Statistical Analysis

The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) by Tukey HSD test ( $p=0.05$ ) using Statgraphics 5.1 Software. The principal component analysis (PCA) were calculated for determining the relationship between different variable. The PCA results were graphically presented by the projection

of the two principal components.

### Results and Discussion

Analysis of variance, presented in Table 1, showed significant differences for all sources of variation (nine varieties, two growing seasons and 22 traits of physical and chemical characteristics). Predominant influence of the growing season was revealed for all evaluated traits. Except for length of vegetation period, seed yield, seed hull and soluble nonstarch polysaccharide content, a significant genotype x year interaction (G x Y) was observed for the remaining traits. The significance of the interaction indicated differences in the response of the tested soybean genotypes to varying weather conditions, which affected

Table 1

Tabela 1

Analysis of variance (mean square and significance) of genotype and harvest year effects on agronomic traits, physical and chemical characteristics of soybean  
Analiza wariancji (średni kwadrat i istotność) wpływu genotypu i roku zbioru na cechy agronomiczne, fizyczne i chemiczne soi

Trait and abbreviations	Mean squares		
	Genotype (G)	Year (Y)	G x Y
	<i>df</i>	<i>I</i>	<i>δ</i>
<i>Agronomic traits and physical properties</i>			
Length of growing season (LGS)	579.3 **	10976.7**	29.4 ns
Seed yield (SY)	0.51**	19.7**	0.06 ns
1000 seed weight (TSW)	1384.0**	45014.7**	137.2**
Bulk density (BD)	8.46**	123.58**	2.80**
Seed hull (SH)	1.52**	53.25**	0.06 ns
Hydration capacity (HC)	0.0031**	0.0824**	0.0003**
Swelling capacity (SC)	0.0061**	0.0996**	0.0014**
Cooking time (CT)	102.48**	320.81**	20.70**
<i>Seed components</i>			
Protein	0.72**	609.27**	0.96**
Lipids	3.34**	78.32**	3.49**
Ash	0.33**	7.14**	0.03**
Starch	0.97**	1.28**	0.16**
Trypsin inhibitor unit (TIU)	121.29**	730.26**	31.26**
Total phenolic components (TPC)	0.14**	0.84**	0.03**
Tannins (TA)	0.0023**	0.0337**	0.0033**
Nonstarch polysaccharides (NSP)	0.90**	9.72**	0.65**
Insoluble NSP (I-NSP)	0.92**	13.09**	0.62**
Soluble NSP (S-NSP)	0.0041*	0.2516**	0.0019 ns
Raffinose family oligosaccharides (RFOs)	0.33**	20.29**	0.93**
Total uronic acids (TUA)	0.14**	3.57**	0.04**
Lignin	0.50**	2.00**	0.28**
Total dietary fibre (TDF)	2.10**	21.24**	0.77**

*df* - degree of freedom; \*\* significant at  $p < 0.01$ ; \* significant at  $p < 0.05$ ; ns - not significant



the physicochemical properties of seeds. In turn, the significant year effect on all traits indicated the sensitivity of varieties to environmental factors that prevailed in each year. However, in our study we found only a small contribution of the G x Y interaction in the total variability of traits. Mourtzinis *et al.* (2018) and Assefa *et al.* (2019) reported that in the US about 70% of the yield variability of soybean was associated with environments defined as site-year effects.

### ***Effect of growing season on physicochemical characteristics***

Variable weather conditions during field experiments in two consecutive years had a significant effect on the values of determined soybean seed traits. The study showed, that a warm spring and a more even distribution of air temperatures and rainfall during the summer months of 2014 favoured soybean production in terms of yield, physical characteristics and chemical composition of the seed. In contrast, weather conditions in 2013, with high precipitation in May and June, little rainfall in July and relatively high air temperatures from the day of sowing in May to the end of August, had an adverse effect on all these traits (Tables 2–4). These unfavourable weather conditions primarily resulted in a shortened growing season of all soybean varieties (by 24.7 days on average), reduced seeds yield (by 1.05 t·ha), lower TSW (by 70.7 g) and bulk density (by 3.7 kg·hl) compared to seeds harvested the following year (Table 2). Seeds harvested in 2013 also had a higher proportion of hull (by almost 2%), lower hydration (by 0.08 g) and swelling (by 0.9 ml) capacity and required a shorter time for cooking (by nearly 5 minutes) than those origin from the 2014 growing season.

The shorter growing season lead to a drastic decrease in content of seed protein (by 8.2 percentage units), but an increase in lipids (by 3 percentage units), ash (by 0.9 percentage units), and to a lesser extent starch compared to seeds harvested in 2014 (Table 3). Among bioactive components, soybean seeds harvested in 2013 had significantly more trypsin inhibitor but fewer phenolic compounds, especially tannins (2.8 times less). Excessive soil moisture, due to high rainfall in the first two months of the 2013 growing season, may have probably partly contributed to lower seed yields as well as low protein content due to insufficient nodulation of the soybean and thus insufficient nitrogen fixation. Protein content under these weather conditions was exceptionally low, not previously recorded, and averaged 28.3%, ranging from

27.2 to 29.2%. The reverse situation was observed for lipids, whose average content of 27.4% was higher than that most commonly reported in the literature. For comparison, the protein content of 34 soybean varieties from post-registration varietal experiments conducted in 2019 and 2020 at ten COBORU experimental stations in Poland averaged 36.5% and 39.2%, respectively, while fat content averaged 23.1% and 22.1%, respectively (COBORU, 2021). It is worth noting that in the 2019 experiments, seeds of eight varieties from the late and very late maturity group and two varieties from the medium-early and medium-late maturity group could not be harvested from all locations due to persistent weather deterioration at the end of the growing season or frequent rainfall during the growing season, which for some varieties resulted in a lack of readiness for harvest (COBORU, 2021). The results of our study on the factors responsible for variability in yield, protein and fat content correspond to those of Vollmann *et al.* (2000). According to these authors, yield and protein content are most affected by weather conditions during the seed-filling period. High air temperature and moderate rainfall during this period favour high yielding and high accumulation of protein in soybean seeds.

The content of TDF and its components were also affected by climate conditions during the growing seasons (Table 4). Seeds of all varieties from the 2013 harvest had significantly more dietary fibre (by 1.5 percentage units) compared to seeds harvested in 2014, as a result of higher amounts of RFOs (by 1.5 percentage units), uronic acid and lignin by (0.5 percentage units in both cases). However, the content of total NSP in these seeds, including its insoluble fraction, was lower (by 1.0 and 1.2 percentage units, respectively) as in seeds originated from 2014. The TDF content of soybeans harvested in 2013 was 24.6%, while in 2014 it was 23.1%.

The distribution of temperature and precipitation during the growing seasons not deviating drastically from the multi-year data seems to be suitable for soybean cultivation in Poland. In such weather conditions, there is no risk of growing varieties with a longer growing season, which usually yield better. The yield of varieties under such conditions was relatively high, 3.5 t·ha on average, and the physical properties and chemical composition of seeds were comparable with the results most often cited recently in the literature (COBORU, 2021; Staniak *et al.* 2021). The higher content of raffinose family oligosaccharides (RFOs) and lignin found

Table 2

Tabela 2

**Agronomic and physical characteristics of nine soybean genotypes across two growing seasons.  
Cechy agronomiczne i fizyczne dziewięciu genotypów soi w dwóch sezonach wegetacyjnych.**

Variety	Length of growing season (days)	Seed yield (t/ha)	1000 seed weight (g)	Bulk density (kg/hL)	Seed hull (%)	Hydration capacity (g/seed <sup>-1</sup> )	Swelling capacity (mL/seed <sup>-1</sup> )	Cooking time (min)
<i>Growing season 2013</i>								
Aldana	99.5	2.55	120.8	71.5	8.12	0.227	0.187	17.80
Annushka	99.5	2.25	98.6	69.8	8.99	0.177	0.140	30.36
Augusta	99.0	2.19	94.7	69.6	9.38	0.157	0.133	21.04
Jutro	98.5	2.48	120.0	69.0	8.29	0.207	0.247	19.21
LP 1	99.0	2.35	93.2	71.2	8.85	0.180	0.180	21.94
LP 2	97.0	2.32	129.7	71.3	8.84	0.223	0.227	20.14
Mavka	122.0	2.61	130.1	68.7	7.69	0.227	0.247	16.70
Merlin	111.8	2.74	118.0	65.9	8.14	0.193	0.207	27.31
Progres	98.0	2.29	110.1	72.0	8.64	0.200	0.207	18.26
<i>Growing season 2014</i>								
Aldana	123.5	3.79	209.9	73.4	6.12	0.307	0.307	22.40
Annushka	127.3	3.20	159.3	72.1	6.77	0.240	0.247	27.10
Augusta	123.8	3.23	151.9	74.8	7.28	0.256	0.273	26.07
Jutro	123.3	3.70	199.8	74.3	6.16	0.300	0.327	22.63
LP 1	121.0	3.20	159.9	73.0	7.27	0.267	0.260	26.20
LP 2	121.3	3.09	193.1	73.7	6.77	0.287	0.280	25.57
Mavka	141.0	3.63	217.2	72.2	5.87	0.300	0.313	25.07
Merlin	144.5	4.03	187.1	72.3	6.30	0.277	0.287	37.50
Progres	121.0	3.33	173.6	76.5	6.58	0.260	0.253	24.10
<i>Mean value for growing season</i>								
2013	102.7	2.42	112.8	69.88	8.55	0.199	0.197	21.42
2014	127.4	3.47	183.5	73.59	6.56	0.277	0.283	26.29
<b>HSD for Y</b>	<b>1.80</b>	<b>0.13</b>	<b>0.63</b>	<b>0.29</b>	<b>0.15</b>	<b>0.004</b>	<b>0.012</b>	<b>0.54</b>
<i>Average across two growing seasons</i>								
Aldana	111.5	3.17	165.3	72.4	7.12	0.267	0.247	20.10
Annushka	113.4	2.73	129.0	70.9	7.88	0.208	0.193	28.73
Augusta	111.4	2.71	123.3	72.2	8.33	0.207	0.203	23.55
Jutro	110.9	3.09	159.9	71.6	7.22	0.253	0.287	20.92
LP 1	110.0	2.77	126.6	72.1	8.06	0.223	0.220	24.07
LP 2	109.1	2.70	161.4	72.5	7.80	0.255	0.253	22.86
Mavka	131.5	3.12	173.7	70.4	6.78	0.263	0.280	20.89
Merlin	128.1	3.39	152.6	69.1	7.22	0.235	0.247	32.40
Progres	109.5	2.81	141.9	74.2	7.58	0.230	0.230	21.18
<b>Mean value</b>	<b>115.0</b>	<b>2.94</b>	<b>148.2</b>	<b>71.7</b>	<b>7.56</b>	<b>0.24</b>	<b>0.24</b>	<b>23.86</b>
<i>CV (%)</i>	7.4	8.5	12.6	2.0	6.7	9.6	13.3	17.3
<b>HSD for G</b>	<b>6.30</b>	<b>0.43</b>	<b>2.23</b>	<b>1.10</b>	<b>0.53</b>	<b>0.02</b>	<b>0.041</b>	<b>1.87</b>
<b>HSD for G x Y</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>0.61</b>	<b>0.28</b>	<b>ns</b>	<b>0.005</b>	<b>0.014</b>	<b>0.67</b>

*CV* – coefficient of variation; *HSD* – high significant difference, *ns* – not significant; *Y* – year; *G* – genotype, *G x Y* – interaction

Table 3

Tabela 3

Content of nutrients, trypsin inhibitor and phenolic components in nine soybean genotypes across two growing seasons (on DM)

Zawartość składników pokarmowych, inhibitora trypsyny i składników fenolowych w dziewięciu genotypach soi w dwóch sezonach wegetacyjnych (w s.m.)

Variety	Protein (%)	Lipids (%)	Ash (%)	Starch (%)	Trypsin inhibitor	Total phenolic components	Tannins
<i>Growing season 2013</i>							
Aldana	28.4	29.3	7.10	2.47	54.8	2.82	0.02
Annushka	29.1	25.7	7.09	1.83	51.9	2.14	0.02
Augusta	27.7	26.4	7.33	1.10	67.9	2.49	0.02
Jutro	28.8	27.9	6.78	2.63	58.4	2.68	0.03
LP 1	28.6	26.1	7.22	1.19	64.7	2.81	0.08
LP 2	28.0	25.8	7.25	1.69	51.0	2.50	0.06
Mavka	27.2	29.0	6.96	1.72	48.5	2.27	0.05
Merlin	28.4	29.9	6.54	2.98	49.1	2.60	0.02
Progres	28.5	28.1	7.17	1.51	60.5	2.32	0.01
<i>Growing season 2014</i>							
Aldana	37.3	23.7	6.14	1.86	43.5	2.88	0.21
Annushka	35.1	26.1	6.10	1.67	39.0	2.62	0.13
Augusta	36.0	24.6	6.60	1.35	51.2	2.88	0.07
Jutro	36.8	25.1	6.20	1.95	51.1	2.87	0.07
LP 1	37.2	23.7	6.45	1.18	52.0	2.85	0.07
LP 2	36.8	24.4	6.28	1.06	53.5	2.79	0.09
Mavka	36.5	24.6	5.81	1.64	41.9	2.53	0.10
Merlin	36.1	25.8	5.47	1.96	43.8	3.17	0.10
Progres	37.0	23.7	6.36	1.04	49.7	2.79	0.05
<i>Mean value for growing season</i>							
2013	28.3	27.6	7.05	1.90	56.3	2.51	0.035
2014	36.5	24.6	6.16	1.52	47.3	2.67	0.097
<b>HSD for Y</b>	<b>0.14</b>	<b>0.16</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.27</b>	<b>0.03</b>	<b>0.003</b>
<i>Average across two growing seasons</i>							
Aldana	32.8	26.5	6.62	2.16	49.1	2.85	0.12
Annushka	32.1	25.9	6.60	1.75	45.4	2.38	0.07
Augusta	31.9	25.5	6.96	1.23	59.5	2.69	0.05
Jutro	32.8	26.5	6.49	2.29	54.7	2.77	0.05
LP 1	32.9	24.9	6.84	1.18	58.3	2.83	0.07
LP 2	32.4	25.1	6.77	1.38	52.2	2.65	0.08
Mavka	31.8	26.8	6.39	1.68	45.2	2.40	0.07
Merlin	32.2	27.9	6.00	2.47	46.4	2.88	0.06
Progres	32.8	25.9	6.76	1.28	55.1	2.56	0.03
<b>Mean value</b>	<b>32.4</b>	<b>26.1</b>	<b>6.60</b>	<b>1.71</b>	<b>51.8</b>	<b>2.67</b>	<b>0.07</b>
CV, %	1.3	3.5	4.3	28.7	10.6	7.1	36.0
<b>HSD for G</b>	<b>0.49</b>	<b>0.57</b>	<b>0.07</b>	<b>0.08</b>	<b>0.97</b>	<b>0.10</b>	<b>0.01</b>
<b>HSD for G x Y</b>	<b>0.132</b>	<b>0.157</b>	<b>0.018</b>	<b>0.020</b>	<b>0.266</b>	<b>0.028</b>	<b>0.002</b>

Trypsin inhibitor expressed as TIU·g<sup>-1</sup> DM; Total phenolic components expressed in mg of gallic acid equivalent per g (mg GAE·g<sup>-1</sup> DM); Condensed tannin content was expressed as mg of catechin equivalents per g DM sample (mg CE·g<sup>-1</sup> DM); CV – coefficient of variation; HSD – high significant difference; Y – year, G – genotype, G x Y – interaction.

Table 4  
Tabela 4

Content of total dietary fibre and its individual constituents (DM %) in nine genotypes across two growing seasons  
Zawartość włókna pokarmowego ogółem i jego poszczególnych składników (% s.m.) w dziewięciu genotypach soi dwóch sezonach wegetacyjnych

Variety	Insoluble nonstarch polysaccharides	Soluble nonstarch polysaccharides	Total nonstarch polysaccharides	Raffinose family oligosaccharides	Total uronic acid	Lignin	Total dietary fibre
<i>Growing season 2013</i>							
Aldana	11.15	0.89	12.04	6.47	3.84	2.63	24.98
Annushka	10.70	0.88	11.58	7.29	3.34	2.29	24.50
Augusta	9.88	0.85	10.73	7.77	3.56	2.34	24.40
Jutro	9.72	0.81	10.53	7.81	3.42	2.06	23.81
LP 1	10.92	0.76	11.69	8.42	3.60	2.15	25.86
LP 2	10.41	0.80	11.22	7.94	3.42	1.49	24.07
Mavka	10.36	0.85	11.21	7.59	3.49	2.43	24.72
Merlin	10.05	0.82	10.88	7.10	3.61	1.87	23.46
Progres	11.42	0.83	12.26	7.37	3.97	2.21	25.81
<i>Growing season 2014</i>							
Aldana	11.06	0.72	11.77	6.48	2.82	2.75	23.82
Annushka	11.73	0.62	12.35	6.01	2.84	1.46	22.67
Augusta	11.98	0.69	12.68	6.66	3.15	1.67	24.16
Jutro	10.95	0.67	11.63	5.44	2.75	1.68	21.49
LP 1	12.41	0.62	13.03	5.85	3.13	1.23	23.25
LP 2	12.84	0.70	13.53	5.35	2.79	1.26	22.94
Mavka	11.77	0.72	12.49	5.37	3.01	1.35	22.21
Merlin	10.95	0.64	11.59	6.31	2.75	2.38	23.03
Progres	11.79	0.63	12.42	6.79	3.35	1.44	24.00
<i>Mean value for growing season</i>							
2013	10.51	0.83	11.35	7.53	3.59	2.16	24.63
2014	11.72	0.67	12.39	6.03	2.96	1.69	23.07
<b>HSD for Y</b>	<b>0.18</b>	<b>0.03</b>	<b>0.18</b>	<b>0.13</b>	<b>0.04</b>	<b>0.03</b>	<b>0.25</b>
<i>Average across two growing seasons</i>							
Aldana	11.10	0.81	11.91	6.48	3.33	2.69	24.41
Annushka	11.21	0.75	11.96	6.65	3.10	1.88	23.59
Augusta	10.93	0.77	11.70	7.22	3.36	2.01	24.29
Jutro	10.34	0.74	11.08	6.63	3.08	1.87	22.66
LP 1	11.67	0.70	12.37	7.14	3.37	1.69	24.56
LP 2	11.63	0.75	12.38	6.65	3.11	1.38	23.52
Mavka	11.63	0.78	12.41	6.48	3.25	1.89	23.47
Merlin	10.05	0.73	10.78	6.71	3.18	2.13	23.25
Progres	11.61	0.73	12.34	7.08	3.67	1.82	24.91
<b>Mean value</b>	<b>11.12</b>	<b>0.75</b>	<b>11.87</b>	<b>6.78</b>	<b>3.27</b>	<b>1.93</b>	<b>23.85</b>
CV, %	4.1	4.2	3.8	4.0	5.4	17.3	2.9
<b>HSD for G</b>	<b>0.63</b>	<b>0.09</b>	<b>0.65</b>	<b>0.45</b>	<b>0.14</b>	<b>0.09</b>	<b>0.89</b>
<b>HSD for G x Y</b>	<b>0.172</b>	<b>ns</b>	<b>0.176</b>	<b>0.122</b>	<b>0.038</b>	<b>0.026</b>	<b>0.243</b>

CV – coefficient of variation; HSD – high significant difference; Y – year; G – genotype, G x Y – interaction; ns – not significant

in soy- bean seed from adverse weather conditions of 2013 growing season supports findings about their role in protecting plant against abiotic stress (ElSayed *et al.* 2014).

### ***Effect of variety on physicochemical characteristics***

Regarding physical seed characteristics, soybean varieties were most differentiated in CT (CV%=17.3), then in SC (CV%=13.3) and TSW (CV%=12.6). The variability of the other physical characteristics was below 10% (Table 2). Under the given experimental conditions, the Merlin variety yielded highest in each year (2.74 and 4.03 t/ha respectively), giving an average seed yield over the two years of 3.4 t/ha. Slightly lower seed yields were shown for the varieties Aldana, Mavka and Jutro, ranging from 3.17–3.09 t/ha, with insignificant differences between varieties. Among the best yielding varieties, only Merlin and Mavka belonged to the semi-late maturity group. The lowest-yielding varieties were varieties belonging to early and very early group of earliness, such as two breeding lines LP1 and LP2 and varieties Annushka, Augusta and Progress. The same ranking of varieties in terms of yielding was in each year of the study.

High variation among varieties was found in the content of bioactive components, such as tannins (CV%=36) and trypsin inhibitor (CV%=10.6) and also nutrients such as starch (CV%=28.7). For other seed physical characteristics and nutrient contents, soybean varieties showed little variation, in the range from 7.1% to 1.3% for content of total phenolic components and protein, respectively (Table 3). Although little varietal variability was shown, early maturing varieties like Aldana, Jutro, LP1 and Progres had significantly more protein (32.8–32.9%) than the other varieties (31.8–32.4%).

The dietary fiber (DF) is the sum of the nonstarch polysaccharides, oligosaccharides, uronic acids and lignin. Depending on its solubility in water, TDF is further divided into insoluble and soluble fractions. Each component of TDF is resistant to digestion and absorption in the small intestine with complete or partial fermentation in the large intestine (AACC Report, 2001). Dietary fibre showed several physiological effects that are beneficial to health, summarised recently by Barber *et al.* (2020). In present study, the coefficient of variation for the content of TDF as well as its main components within varieties was small (CV=2.9% to CV=5.4%). Only lignin content

showed high variability at CV=17.3% (Table 4). TDF content ranged from 22.7% to 24.9%, I-NSP from 10.5% to 11.7% and S-NSP from 0.70% to 0.81%. The Progres variety had the most TDF (24.9%), as well as uronic acids (3.7%). This variety, along with Mavka, LP1 and LP2, was in the group of varieties with the highest amount of I-NSP (12.3–12.4%). The contents of TDF in our study correspond well with the results reported by Medic *et al.* (2014) for raw seed of soybean genotypes. Soya beans are a good source of dietary fibre in our diet. In Asian countries soybean seeds are consumed on a mass scale, in Poland more and more people discover their advantages. However, the high content of dietary fibre in the feed mixture negatively affects the growth performance parameters of monogastric animals. The addition of feed enzymes, including endoxylanases, is commonly used strategy to eliminate the undesirable effect of high inclusion of dietary fibre in the feed mixture. Moreover, the formation of arabinoxylan oligosaccharides in the gut, as a result of xylanases, contributes to animal welfare through their prebiotic effects (Damen *et al.* 2012).

The significant impacts of genotype, environment and their interaction on seed RFOs concentrations have been reported in soybean (Kumar *et al.*, 2010). The correlation analysis, as expected, revealed that RFOs in seed was significantly positively correlated with percent of seed coat ( $r=0.77$ ), with TUI ( $r=0.81$ ) and TDF ( $r=0.62$ ) and negatively with TSW ( $r=-0.82$ ) and starch ( $r=-0.68$ ).

In many technological processes of soybean, the starting points is hydration followed by cooking to improve the aroma, thereby, improving the taste and texture of seeds for consumption (Destero *et al.* 2013). Cooking also increases nutritional value, inactivating antinutritional factors, and, consequently, improving nutrients digestion. By reducing cooking time, energy and meal preparation time are also saved (Destero *et al.* 2013). Hydration capacity varied between genotypes from 0.207 to 0.267 g·seed<sup>-1</sup> with an average of 0.24 g·seed<sup>-1</sup>, while swelling capacity 0.193 to 0.287 ml·seed<sup>-1</sup> (Table 2). Our results related to hydration capacity, and swelling capacity are within the range reported by Sridhara *et al.* (1997) and higher than that Goyal *et al.* (2015) as a result of much lower TSW of soybean varieties used in their studies. Accessions with higher seed weight had higher hydration and swelling capacity. It has recently been shown that knowledge of the physical characteristics of soybean is not only useful for the use

of the seed for food purposes, but also as a predictive parameter in feed formulation. Such a parameter is hydration capacity, as it seems to affect the transit time of ingesta, organ development (such as birds crop and gizzard), feed intake and satiety feeling (Brachet *et al.*, 2015).

The thousand seed weight, bulk density, water absorption and cooking time traits are important characteristics of soybean seed destined for canning industry and home preparation and uses. Cooking time revealed significant differences among tested accessions varied from 20.1 to 32.4 min with average of 23.9 min. Average cooking time for soybean seed were longer than average cooking time reported earlier for common bean (Boros and Wawer, 2018) or pea (Wang *et al.* 2010). There are several reports on cooking time of soybean seeds but direct comparison of our results is not possible since different cooking methods were used (Sridhara *et al.* 1997; Sharma *et al.* 2004; da Silva *et al.* 2009; Destero *et al.* 2013). Cooking time was negatively correlated with seed bulk density ( $r = -0.67$ ) and with hydration capacity ( $r = -0.52$ ) as well with ash content ( $r = -0.52$ ). Among tested genotypes four were fast cooking (Aldana, Progres, Jutro, Mavka), which may be effective for reducing processing cost, whereas two (Merlin and Annushka) were hard to cook. This information would be useful for breeders and geneticists in order to use source of tested genotypes to widen genetic base of currently cultivated soybean varieties.

Seed coat and closely correlated ash content ( $r = 0.72$ ) were in the range shown by Staniak *et al.* (2021). Average content of TPC in soybean seeds in our study was consistent with the range reported by other authors (Xu *et al.* 2007) while content of tannin (TA) in seeds lower than that of Singh *et al.* (2017). Similarly average content of seed starch in our study was higher than reported earlier (Medic *et al.* 2014).

The principal components analysis was used to limit the number of primary variables, to describe the total variation of a population and to explain the traits contribution to total variation (Figure 3). In the principal components analysis, five eigenvalues were higher than one, explaining 91.5% of the variance in the data set of 21 original variables (in analysis a total content of NSP was omitted, as it constitutes a sum of INSP and SNSP). Eigenvalues above one (1.0) generate components with significant quantities of information of the original variables. The eigenvalue for the first principal component (PC1) was 9.19, which corresponds to 43.77% of total variance. The eigenvalue for the second main component (PC2) was 3.75, which retained 17.86% of the total variance, the third main component (PC3) retained 14.03% of the variance fourth 9.5% and fifth 4.7% of the variance respectively. For each principal component some traits are positively and some negatively correlated. For PC1 traits vector to the right and for PC2 vectors above axis indicates positive correlations. The angle between

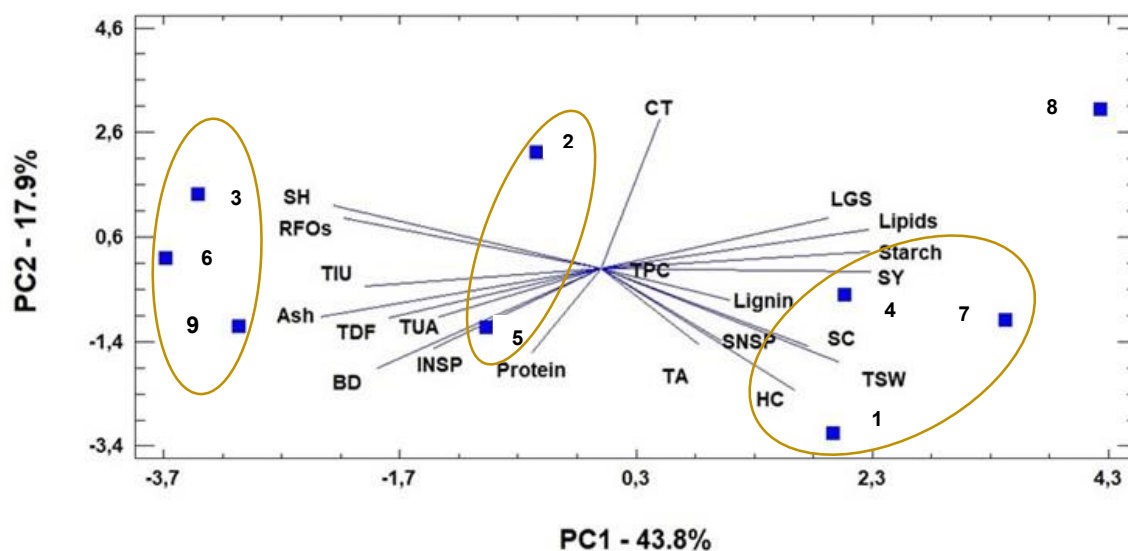


Figure 3. Biplot displaying eigenvectors and scores for first two principal components

Rysunek 3. Biplot przedstawiający wektory własne i wartości dla dwóch pierwszych składowych głównych

Footnote: numbers were assigned to genotypes as follows: 1. Aldana, 2. Annuszka, 3. Augusta, 4. Jutro, 5. LP1, 6. LP2, 7. Mavka, 8. Merlin, and 9. Progres. Abbreviations for trait vectors refer to abbreviations given in Table 1.

the vectors is an approximation of the correlation between the variables. Traits vector on biplot with small angle indicates that variables are positively correlated with each other, an angle of 90 degrees indicates the variables are not correlated, and an angle close to 180 degrees indicates the variables are negatively correlated. The dispersion of soybean varieties on biplot for first two principal components allowed to identified four groups. The first group of three genotypes (Augusta, LP-2 and Progres) are early maturing varieties with lower seed yield, the highest bulk density, high seed coat and ash content. The next group of two soybean varieties (Annushka and LP-1) differed from the first group mainly by the lowest TSW. The third group of soybean varieties (early maturing Aldana, Jutro and late maturing Mavka) placed in the lower right part of the graph, was characterised by high seed yield, highest TSW, highest hydration and swelling capacity and short cooking time. The highest-yielding, late-maturing variety Merlin differed from the previous group primarily in having higher starch and total phenolic contents and the longest cooking time among the varieties tested.

### Conclusion

A highly significant effect of genotype and harvest year on the evaluated soybean seed traits was found. Moreover, except for the length of growing season, seed yield, content of seed coat and non-starch polysaccharides, a significant genotype x year interaction was observed for the remaining traits. The significance of G x Y interaction indicates differences in the response of the tested soybean genotypes to given weather conditions. However, G x Y interaction contributed only a small proportion of the total variation of the trait. Soybean genotypes represented a fairly wide range of variability for most traits. Knowledge of these traits and their variability among varieties and breeding lines is important to plant breeders, food scientist, technologists and consumers. Some of soybean varieties tested have proven to be particularly interesting sources of genetic variation for traits such as earliness, seed yield potential and shorter cooking time. These may be available to breeders seeking to develop varieties that meet the expectations of end-users. Among several quality traits in need of improvement, reducing cooking time comes to the forefront, which would likely influence more frequent use of soybeans in the human daily diet. Cooking is essential to improve the taste of soybeans, thereby

improving their aroma and texture for consumers.

### Acknowledgements

This research has been funded by CORNET, in frame of ProLegu project, through the Polish National Centre for Research and Development (NCBR/CORNET-15/2012/2013).

### References

- AACC Report (American Association of Cereal Chemists). (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Food World*, 46 (3), 112–126.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). *Official Methods of Analysis*, AOAC International, 18th ed. Gaithersburg, MD, USA. (2010). Methods: 934.01 (dry matter); 955.04 (protein); 923.03 (ash) and 996.11 (starch available); 994.13 (dietary fibre).
- Assefa, Y., Purcell, L.C., Salmeron, M., Neave, S., Casteel, S.N., Kovac, P., Archontoulis, S., Licht, M., Below, F., Kancel, H., Lindsey, L.E., Gaska, J., Conley, S., Shapiro, C., Orłowski, J.M., Golden, B.R., Kaur, G., Singh, M., Thelen, K., Laurenz, R., Davidson, D., Ciampatti, I.A. (2019). Assessing variation in US soybean seed composition (protein and oil). *Front. Plant Sci.* 10, 1–13, doi: 10.3389/fpls.2019.00298,
- Banaszkiewicz, T. (2011). Nutritional value of soybean meal. In: El-Shemy H.A. (Ed.), *Soybean and Nutrition*, InTech.
- Barber, T. M., Kabisch, S., Pfeiffer, A., & Weickert, M. O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, 12 (10), 3209, doi.org/10.3390/nu12103209.
- Bellaloui, N., Bruns, H.A., Abbas, H.K., Mengistu, A., Fisher, D.K., Reddy, K.N. (2015) Effects of row-type, row-spacing, seeding rate, soil-type, and cultivar differences on soybean seed nutrition under US Mississippi delta conditions. *PLoS ONE*, 10 (6) e0129913, doi.org/10.1371/journal.pone.0129913.
- Boros, L., Wawer, A. (2018). Seeds quality characteristics of dry bean local populations (*Phaseolus vulgaris* L.) from National Center for Plant Genetic Resources in Radzikow"; *Legum. Res.*, 41 (5), 669–674.
- Brachet, M., Arroyo, J., Bannelier C., Cazals, A. (2015). Hydration capacity: A new criterion for feed formulation. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 209, 174–185.
- COBORU (2020). [https://coboru.gov.pl/Publikacje\\_COBORU/IB/Informator\\_2020.pdf](https://coboru.gov.pl/Publikacje_COBORU/IB/Informator_2020.pdf)
- COBORU (2021). Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych. Bobowate grubonasienne i soja 2020. No 163, COBO 42/2021 n.330.
- Damen, B., Pollet, A., Dornez, E. Broekaert, W.F., Van Haesendonck, I., Trogh, I., Arnaut, F., Delcour, J.A. (2012). Xylanase-mediated in situ production of arabinoxylan oligosaccharides with prebiotic potential in whole meal breads and breads enriched with arabinoxylan rich materials. *Food Chem.*, 131 (1), 111–118, doi: 10.1016/j.

- foodchem.2011.08.043
- da Silva, J.B., Carrão-Panizzi, M.C., Prudêncio, S.H. (2009). Chemical and physical composition of grain-type and food-type soybean for food processing. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 44 (7), 777–784.
- Destro, D., Faria, A., Destro, T.M., Faria, R., Gonçalves, L.S.A., Lima, W.F. (2013). Food type soybean cooking time: a review. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.*, 13, 194–199, doi.org/10.1590/S1984-70332013000300007.
- ElSayed, A.I., Rafudeen, M.S., Gollack, D. (2014). Physiological aspects of raffinose family oligosaccharides in plants: protection against abiotic stress. *Plant Biol.*, 16, 1–8.
- Englyst, H.N., Cummings, J.H. (1984). Simplified method for the measurement of total non-starch polysaccharides by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. *Analyst.*, 109, 937–942.
- EFSA, European Food Safety Authority (2010). Scientific opinion on dietary reference values for carbohydrates and dietary fibre. *EFSA Journal*, 8, 1508–1569, doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1462.
- FAOSTAT (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. <http://faostat.fao.org>.
- Goyal, R., Sharma, S., Gill, B.S. (2015). Effects of location and planting time on physicochemical and nutritional characteristics of soybean seed. *Legum. Res.*, 38, 810–815, doi: 10.18805/lr.v38i6.6728.
- Huber, S.C., Li K., Nelson, R., Ulanov, A., DeMuro, C.M., Baxter, I. (2016). Canopy positions has profound effect on soybean seed composition. *Peer J.*, 4, e2452, doi: 10.7717/peerj.2452.
- Jha, R., Foughse, J.M., Tiwari, U.P., Li, L., Willing, P.W. (2019). Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals. *Front. Vet. Sci.*, 6, 48, doi.org/10.3389/fvets.2019.00048.
- Kakade, M.L., Rackis, J.E., McGhee, Puski, G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.*, 51, 376–382.
- Kumar, V, Rani, A, Goyal, L, Dixit, AK, Manjaya, J, Dev, J, Swamy, M. (2010) Sucrose and raffinose family oligosaccharides (RFOs) in soybean seeds as influenced by genotype and growing location. *J. Agric. Food Chem.*, 58, 5081–5085, doi: 10.1021/jf903141s.
- Lahuta, L.B. (2006). Biosynthesis of raffinose family oligosaccharides and galactosyl pinitols in developing and maturing seeds of winter vetch (*Vicia villosa* Roth.). *Acta Soc. Bot. Pol.*, 75 (3), 219–227.
- Li, M., Liu, Y., Wang, C., Yang, X., Li, D., Zhang X., Xu, C., Zhang, Y., Li, W., Zhao, L. (2020). Identification of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes. *Front. Plant Sci.*, 10, no. 1642. doi.org/10.3389/fpls.2019.01642
- Liener, I.E. (1994). Implications of antinutritional components in soya bean feeds. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 34 (1), 31–67.
- Marchello, J.A., Dryden, F.D., Hale, W.H. (1971). Bovine serum lipids. I. The influence of added animal fat on the ration. *J. Anim. Sci.*, 32, 1008–1015.
- Martinez-Villaluenga, C., Zieliński, H., Frias, J., Piskula, M. K., Kozłowska, H., Vidal-Valverde, C. (2009). Antioxidant capacity and polyphenolic content of high-protein lupin products. *Food Chem.*, 112, 84–88.
- Medic, J., Atkinson, Ch., Hurburgh, Ch.R.Jr. (2014). Current knowledge in soybean composition. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 91, 363–384.
- Mourtzinis, S., Kaur, G., Orłowski, J. M., Shapiro, C. A., Lee, C. D., Wortmann, C., Holshouere D., Nafziger E.D., Kandelg, H., Niekampf, J., Rossh, W.J., Loftoni, J., Vonkf, J., Roozeboomj, K.L., Thelenk, K.D., Lindseyl, L.E., Statonm, M., Naeven, S.L., Casteelo, S.N., Wieboldp, W.J., Conley, S.P. (2018). Soybean response to nitrogen application across the United States: A synthesis-analysis. *Field Crops Res.*, 215, 74–82, doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.035.
- NRC (2012). National Research Council. Nutrient Requirements of swine. 11<sup>th</sup> rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington DC. doi.org/10.17226/13298.
- O'Bryan, C.A., Kushwaha, K., Babu, D., Crandall, P.G., Davis, M., Chen, P., Lee, S-O., Ricke, S.T. (2014). Soybean seed coats: A source of ingredients for potential human health benefits. A review of the literature. *J. Food Res.*, 3 (6), 188–201, doi: 10.5539/jfr.v3n6p188.
- Price, M.L., Van Scoyoc, S., Butler, L.G. (1978). A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.*, 26, 1214–1218.
- Xu, B.J., Yuan, S.H., Chang, S.K.C. (2007). Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. *J. Food Sci.*, 72 (2), S167- 177.
- Saldívar, X., Wang, Y-J., Chen, P, Hou, A. (2011). Changes in chemical composition during soybean seed development. *Food Chem.*, 124 (4), 1369–1375. doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.091.
- Scheppach, W., Luehrs, H., Melcher, R., Gostner, J. Schaubert, T. Kudlich, F. Weiler, T., Menzel, T. (2004). Antiinflammatory and anticarcinogenic effects of dietary fibre. *Clin. Nutr. Suppl.*, 1 (2), 51–58.
- Scott, R.W. (1979). Colorimetric determination of hexouronic acids in plant materials. *Analyt. Chem.*, 51, 936–941.
- Sharma, S., Saxena, A.K., Dhillon, S.K. (2004). Physicochemical and cooking quality characteristics of soybean (*Glycine max*). *J. Food Sci. Technol.-Mysore.*, 41, 554–556.
- Singh, B., Singh, J.P., Kaur, A., Singh, N. (2017). Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food Res. J.*, 101, 1–16, doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.026.
- Sridhara, S., Thimmegowda S., Chalapathi M.V. (1997).



- Nutritional values, physical and physico-chemical characteristics and cooking quality of soybean (*Glycine max* (L) Merr.) genotypes. *Crop Res.*, 13 (2), 259–266.
- Staniak, M., Stępień-Warda, A., Czopek, K., Kocira, A., Baca, E. (2021). Seed quality and quantity of soybean [*Glycine max* (L.) Merr] cultivars in response to cold stress. *Agronomy*, 11, 520, doi.org/10.3390/agronomy11030520.
- Theander, O., Åman, P., Westerlund, E., Andersson, R., Pettersson, D. (1995). Total dietary fiber determined as neutral sugar and uronic acid residues, and lignin (The Uppsala method): Collaborative study. *J. Assoc. Offic. Anal. Chem.*, 78, 1030–1044.
- The Common Catalogue (2020). [https://www.ec.europa.eu/food/sites/food/foles/docs/plant-variety-catalogues\\_agricultural-plant-species.pdf](https://www.ec.europa.eu/food/sites/food/foles/docs/plant-variety-catalogues_agricultural-plant-species.pdf)
- Vollmann, J., Fritz, C.N., Wagentrist, H. (2000). Environmental and genetic variation of soybean seed protein content under Central European growing conditions. *J. Sci. Food Agric.* 80, 1300–1306.
- Wang, N., Hatcher, D.W., Warkentin, T.D., Toews, R. (2010). Effect of cultivar and environment on physicochemical and cooking characteristics of field pea (*Pisum sativum*). *Food Chem.*, 118, 109–115, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.04.082.
- Wocławek, Potocka, I., Bah, M.M., Korzekwa, A., Piskula, M.K., Wiczkowski, W., Depta, A., Skarżyński, D.J. (2005). Soybean-derived phytoestrogens regulate prostaglandin secretion in endometrium during cattle oestrous cycle and early pregnancy. *Exp. Biol. Med.*, 230 (3), 189–199.

# Reakcja pszenicy hybrydowej na wysokie dawki azotu i nawożenie dolistne

Hybrid wheat response to high nitrogen application rates and foliar fertilisation

Jan Buczek<sup>✉</sup>, Marta Jańczak-Pieniążek<sup>✉</sup>

Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska, Zakład Produkcji Roślinnej, ul. Zelwerowicza 4, 35–601 Rzeszów,  
✉ e-mail: jbuczek@ur.edu.pl

Ścisłe doświadczenie polowe z pszenicą ozimą przeprowadzono w latach 2016–2019 w Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Przecławiu. Celem badań było określenie wpływu wzrastających dawek azotu oraz nawożenia dolistnego na plonowanie, parametry architektury łanu oraz cechy jakościowe i skład mineralny ziarna hybrydowej odmiany Hybiza. Nawożenie dawką azotu  $N_{200}$  w porównaniu do  $N_{150}$  wpłynęło istotnie na zwiększenie: indeksu powierzchni liści (LAI), kąta nachylenia liści (MTA), wskaźnika zieloności liścia (SPAD), obsady kłosów na jednostce powierzchni, wylegania roślin, MTZ oraz plonu ziarna z jednostki powierzchni. Dokarmianie dolistne w porównaniu do obiektu kontrolnego skutkowało istotnym zwiększeniem takich parametrów jak: wskaźnik SPAD, MTZ oraz plon ziarna. Wyższa dawka azotu  $N_{200}$  wpłynęła na wzrost wartości parametrów jakościowych ziarna oraz zwiększenie w nim ilości Fe i Cu. Nawożenie dolistne zwiększyło natomiast ilość Zn i Fe w ziarnie, nie wpływając na gęstość ziarna w stanie zsypanym i jego celność. Poziom plonowania oraz jakość i skład mineralny ziarna modyfikowane były zmiennymi w latach badań warunkami pogodowymi.

**Słowa kluczowe:** azot, dokarmianie dolistne, jakość ziarna, mikroelementy, plon, pszenica hybrydowa, SPAD

A close field experiment with winter wheat was conducted during 2016–2019, at the Experimental Station for Variety Evaluation in Przecław. The aim of the study was to determine the effect of increasing doses of nitrogen and foliar fertilization on yield, canopy architectural parameters, quality characteristics and mineral composition of grain of the hybrid cultivar Hybiza. The fertilization with  $N_{200}$  nitrogen dose as compared to  $N_{150}$  significantly increased: leaf area index (LAI), leaf tilt angle (MTA), Soil Plant Analysis Development (SPAD), spike density per area unit, plant lodging, MTZ and grain yield. Foliar feeding as compared to the control object resulted in a significant increase in such parameters as SPAD index, MTZ and grain yield. An increased dose of nitrogen  $N_{200}$  increased the values of quality parameters and the amount of Fe and Cu. Foliar fertilisation, on the other hand, increased the amount of Zn and Fe in grain without affecting the bulk density and accuracy of grain. The yield level as well as quality and mineral composition of grain were modified by weather conditions varying in the years of the research.

**Key words:** nitrogen, foliar nutrition, grain quality, micronutrients, yield, hybrid wheat, SPAD

Na wielkość i jakość plonu ziarna pszenicy wpływają zarówno czynniki odmianowe, agrotechniczne jak i środowiskowe (Klikocka i in. 2016, Jaskulska i in. 2018). Nawożenie azotem jest podstawowym czynnikiem plonotwórczym zwiększającym krzewienia produkcyjne oraz odgrywającym ważną rolę w kształtowaniu jakości białka w ziarnie (Podolska 2008, Faizy i in. 2017). Uzyskanie wysokich oraz jakościowo dobrych plonów pszenicy jest możliwe wówczas gdy w okresie wegetacji dawki azotu dostosowane są do potrzeb pokarmowych i faz rozwojowych roślin (Kulig i in. 2009, Skudra i Ruza 2016). W systemie zrównoważonego nawożenia pszenicy efekty zastosowanych dawek azotu są widoczne w przypadku zbilansowanego stosowania pozostałych składników

pokarmowych. Dokarmianie dolistne jest jedną z metod uzupełnienia niedoborów składników odżywczych, w tym również mikroelementów, których aplikacja na ogół korzystnie wpływa na wielkość plonu pszenicy, skład mineralny ziarna oraz jego cechy technologiczne (Gąsiorowska i Makarewicz 2008, Zeidan i in. 2010, Jarecki i Bobrecka 2011). Odmiany mieszańcowe pszenicy, w porównaniu z populacyjnymi, charakteryzują się wyższym plonem ziarna i większą tolerancją na uprawę w monokulturze oraz stresowe warunki klimatyczne (Witford i in. 2013). Jednak wpływ czynników środowiskowo-agrotechnicznych na jakość technologiczną i skład mineralny ziarna tych pszenic jest mało poznany (Zhao i in. 2013, Mühleisen i in. 2014).

Celem pracy było ocena wpływu wzrastających dawek azotu oraz nawożenia dolistnego na plonowanie, parametry architektury łanu oraz cechy jakościowe i skład chemiczny ziarna pszenicy hybrydowej odmiany Hybiza. W badaniach założono, że dogłębne nawożenie azotem bardziej zmodyfikuje wielkość i jakość uzyskanego plonu ziarna niż nawożenie dolistne mikroelementami.

### Material i Metody

Ścisłe doświadczenie polowe przeprowadzono w 3 sezonach wegetacyjnych w latach 2016–2019 w Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Przecławiu (50°11'N, 21°29'E). Doświadczenie dwuczynnikowe założono w układzie równoważnych bloków w czterech powtórzeniach a powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 16 m<sup>2</sup>.

Pierwszym badanym czynnikiem było nawożenia azotem (saletra amonowa 34%) w dawkach: N<sub>150</sub>–150 kg·ha<sup>-1</sup> (60 kg+50 kg+40 kg) i N<sub>200</sub>–200 kg·ha<sup>-1</sup> (60 kg+80 kg+40 kg+20 kg). Nawożenie azotem w przypadku dawki N<sub>150</sub> wykonano na wiosnę (po ruszeniu wegetacji) oraz w okresie wegetacji w fazach strzelania w źdźbło (32–33 BBCH) i liścia flagowego (39 BBCH).

Natomiast dawkę N<sub>200</sub> aplikowano na wiosnę (po ruszeniu wegetacji) i w okresie wegetacji w fazach strzelania w źdźbło (32–33 BBCH), liścia flagowego (39 BBCH) i kłoszenia (54–56 BBCH). Drugim czynnikiem był: Fomix<sup>2</sup> – nawóz dolistny FoliQ Mikromix (Agrii Sp. z.o.o., Polska) oraz C<sup>1</sup> – obiekt kontrolny (bez nawożenia dolistnego). Nawóz dolistny FoliQ Mikromix zawierał (w g·dm<sup>3</sup>) następujące makroelementy: N – 120; K<sub>2</sub>O – 150; MgO – 45 i SO<sub>3</sub> – 75 oraz mikroelementy: B – 4,35; Cu – 7,25; Fe – 14,50; Mn – 21,75; Mo – 0,15 i Zn – 14,50. Nawożenie dolistne FoliQ Mikromix w dawce 1,0 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, wykonano trzykrotnie w fazach: krzewienia (19 BBCH), strzelania w źdźbło (39 BBCH) oraz kłoszenia (55 BBCH). Pszenicę hybrydową odmiany Hybiza (Saaten Union Recherche SAS, Francja) uprawiano po rzepaku ozimym, wysiewając co roku 2,0 mln ziaren·ha<sup>-1</sup> w rozstawie rzędów 12,5 cm, na głębokość 3–4 cm.

Doświadczenie założono na madach brunatnych o składzie granulometrycznym pyłu ilastego (2016/2017 i 2018/2019) i glin ilastych (2017/2018). Glebę według WRB (2015) zaliczano do Fluvic Cambisols (CMfv). Analizę próbek gleby przeprowadzono w akredytowanym laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Rzeszowie, zgodnie z polskimi normami. Odczyn gleby był lekko kwaśny a zawartość próchnicy wynosiła

1,57%. Zawartość N<sub>min</sub> była niska, przyswajalnego fosforu i potasu wysoka a magnezu i mikroelementów średnia (tab. 2).

Nawożenie fosforem (superfosfat potrójny 46%) w dawce 100 kg·ha<sup>-1</sup> i potasem (sól potasowa 60%) w dawce 150 kg·ha<sup>-1</sup> zastosowano jednorazowo jesienią. Zachwaszczenie regulowano wiosną, stosując Maraton 375 SC (pendimetalina, izoproturon) i Huzar Activ 387 OD (jodosulfuron metylosodowy, 2,4-D) w dawkach 4,0 i 1,0 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Ponadto do ochrony roślin wykorzystano fungicydy Soligor 425 EC (protriokonazol, spirosamina, tebukonazol) i Artea 330 EC (propikonazol, cyprokonazol) – w dawkach 1,0 i 0,5 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, insektycydy Bi 58 Nowy EC 400 (0,5 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, dimetoat) i Karate Zeon 050 CS (0,1 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, lambda-cyhalotryna) oraz retardant wzrostu Moddus 250 EC (0,4 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, trineksapak etylu). Preparaty stosowano zgodnie z instrukcją producenta w odpowiednich fazach rozwojowych pszenicy.

Pszenicę zebrano w fazie pełnej dojrzałości ziarna (89–92 BBCH) za pomocą kombajnu poletkowego. Uzyskany plon ziarna przeliczono na 1 ha przy 14% wilgotności.

Obsadę kłosów policzono na powierzchni 1 m<sup>2</sup> przed zbiorem. Z każdego poletka pobrano po 20 kłosów i oznaczono liczbę ziaren z kłosa oraz masę tysiąca ziaren.

Pomiary chlorofilomierzem SPAD 502P (Konica Minolta) wykonywano w fazie dojrzałości młeczonej (75 BBCH) na 30 liściach flagowych. W tej samej fazie rozwojowej w godzinach porannych dokonano pomiaru indeksu powierzchni liści aparatem LAI 2000 firmy LI-COR (USA). Wyleganie roślin przed zbiorem podano w skali 9°, gdzie 1° oznaczało całkowite wylegnięcie łanu, zaś 9° brak wylegania. Zawartość białka (N x 6,25) określono metodą Kjeldahla, przy użyciu zestawu do mineralizacji Büchi Scrubber B414 i zestawu destylacyjnego Büchi 324 (PN-EN ISO 20483), ilość glutenu mokrego na aparacie Glutomatic 2200 (PN-A-74042), wskaźnik sedymentacyjny metodą Zeleny'ego (PN-EN ISO 5529) oraz liczbę opadania metodą Hagberga-Pertena (PN-EN ISO 3093). Gęstość ziarna w stanie zsypanym oznaczono za pomocą gęstościomierza wyposażonego w cylinder 1000 ml (PN-EN ISO 7971–3) a masę 1000 ziaren według PN-68/R-74017. Celność ziarna wyliczono po wcześniejszym wykonaniu jego separacji na próbce 100 g ziarna, przy czasie wytrząsania 3 minuty i wilgotności ziarna 14,5%, na separatorze laboratoryjnym Sortimat Pfeuffer. W celu oznaczenia mikroelementów próbki ziarna zmineralizowano w mieszaninie kwasów HNO<sub>3</sub>,

HClO<sub>4</sub>, i HS<sub>2</sub>O<sub>4</sub> w proporcji 20:5:1, w systemie otwartym w bloku grzejnym Tecator. W otrzymanych próbkach oznaczono zawartości Zn, Mn, Cu i Fe metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS), stosując aparat Hitachi Z-2000 (Japonia).

Warunki pogodowe w latach prowadzenia badań były różnicowane (tab. 1). W okresie jesiennej wegetacji roślin warunki pogodowe były korzystne, jedynie w sezonie 2018/2019 suma opadów w porównaniu do wielolecia była niższa o 43,3 mm. Średnia temperatura w czasie spoczynku zimowego była wyższa od wieloletniej

z wyjątkiem sezonu 2016/2017. Suma opadów w okresie wegetacji wiosenno-letniej w sezonach 2016/2017 i 2018/2019 była wyższa niż w sezonie 2017/2018. Jednak w sezonie 2018/2019 w porównaniu do wielolecia w czerwcu i lipcu wystąpił niedobór opadów a w czerwcu wyższa średnia temperatura.

Wyniki badań opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji (ANOVA), wykorzystując program statystyczny Analwar-5.1FR oraz Statistica 9.0 (StatSoft, Tulsa). Istotność różnic między obiektami weryfikowano testem Tukey'a (*LSD*), na poziomie istotności  $p \leq 0.05$ .

Tabela 1  
Table 1

Cecha Traits	Lata Years		
	2016/2017	2017/2018	2018/2019
	Value		
pH in KCl	7,42	6,10	6,00
C org. (g·kg <sup>-1</sup> )	21,6	20,5	19,8
N <sub>min</sub> (kg·ha <sup>-1</sup> )	60,1	53,4	65,0
	Zawartość składników przyswajalnych Content of available nutrients (mg·kg <sup>-1</sup> )		
P	204,0	129,5	73,0
K	270,1	180,4	250,3
Mg	127,5	140,1	229,6
Fe	2289,0	2523,0	2222,0
Zn	14,2	13,3	12,8
Mn	389,0	251,4	265,1
Cu	6,0	6,2	6,4

Tabela 2  
Table 2

Rok Year	A	W	Wegetacja wiosenno-letnia Spring-summer vegetation period					S/H
			III	IV	V	VI	VII	
			Temperatura – Temperature (°C)					
2016/2017	7,2	-2,9	4,9	7,1	12,5	17,4	17,9	6,6
2017/2018	8,1	-0,8	-2,4	12,2	12,6	16,9	17,7	7,5
2018/2019	8,6	-0,3	3,2	7,8	15,4	20,8	18,5	7,9
1956–2015	8,2	-1,7	3,3	7,9	13,9	16,9	18,9	7,3
			Opady – Rainfall (mm)					
2016/2017	234,2	68,0	38,4	78,3	111,9	41,6	44,4	616,8
2017/2018	231,4	75,3	40,9	15,7	68,8	47,4	108,3	587,8
2018/2019	93,5	88,2	24,3	62,1	182	19,2	45,1	514,4
1956–2015	136,8	104,0	35,2	49,8	38,1	82,1	99,2	545,2

A – wegetacja jesienna, autumn vegetation period (IX–XI), W – spoczynek zimowy, winter rest (XII–II), S/H – średnia, mean/suma, sum (od siewu do zbioru, from sowing to harvest).

## Wyniki i Dyskusja

Zastosowanie wyższej dawki azotu –  $N_{200}$  wpłynęło istotnie na wzrost plonu ziarna (o  $0,61 \text{ t ha}^{-1}$ ) pszenicy w porównaniu do dawki  $N_{150}$  (tab. 3). Wzrost plonowania pszenicy pod wpływem wyższych dawek azotu stwierdzili także Klikocka i in. (2016) i Faizy i in. (2017). Testowana pszenica najwyżej plonowała w sezonie 2017/2018 zaś najslabiej w 2018/2019, co spowodowane było niedoborem opadów i wysokimi temperaturami pod koniec wegetacji pszenicy. Svečnjak i in. (2013) podają, że na plonowanie pszenicy decydujący wpływ ma genotyp odmiany i lata badań, natomiast mniejszy interakcja odmiany i nawożenia azotem. Dokarmianie dolistne oddziaływało istotnie na przyrost plonu ziarna w porównaniu do obiektu kontrolnego, średnio o  $0,35 \text{ t ha}^{-1}$ . Wzrost plonu ziarna po zastosowaniu FoliQ Mikromix na tle dawki  $N_{150}$  w odniesieniu do kontroli wyniósł 3,3%, a z dawką  $N_{200}$  4,8%. Również w badaniach Jareckiego i Bobreckiej-Jamro (2011) dokarmianie dolistne korzystnie wpłynęło na przyrost plonu ziarna w odniesieniu do kontroli, przy czym istotną różnicę uzyskano po łącznej aplikacji mocznika z nawozem dolistnym Mikrokomples.

Zastosowanie dawki azotu  $N_{200}$  w porównaniu do  $N_{150}$  wpłynęło istotnie na zwiększenie liczby kłosów na jednostce powierzchni nie różnicując

statystycznie istotnie liczby ziaren w kłosie i MTZ. Również Podolska (2008) wykazała, że nawożenie azotem zwiększa liczbę kłosów na  $1 \text{ m}^2$ , przy czym jest on uzależniony od przebiegu pogody. Dokarmianie dolistne natomiast wpłynęło jedynie na istotny wzrost dorodności ziarna w odniesieniu do kontroli o 4,3% (tab. 3).

Wskaźniki LAI oraz MTA mierzone w fazie dojrzałości mleczonej (75 BBCH) wynosiły średnio  $4,43 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  oraz  $46^\circ$  (tab. 4). Parametry te były istotnie wyższe po zastosowaniu dawki azotu  $N_{200}$  w odniesieniu do  $N_{150}$ , a różnica wynosiła odpowiednio  $1,23 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  i  $5^\circ$ . Dokarmianie dolistne nie modyfikowało istotnie omawianych indeksów. W badaniach Baveca i in. (2007) oraz Olsena i Weinera (2007) wykazano, że na powierzchnię liściową pszenicy korzystnie wpływa nawożenie azotem i gęstość siewu. Natomiast w badaniach Biskupskiego i in. (2007) nad pszenicą jarą, wskaźnik LAI był zróżnicowany istotnie tylko w latach i nie zależał od zastosowanej dawki azotu. Jarecki i in. (2014) po zastosowaniu intensywnego poziomu agrotechniki, w porównaniu do niższego, uzyskali wyższe wartości nie tylko wskaźnika MTA, ale również LAI i SPAD. W prezentowanych badaniach własnych wskaźnik zieloności liścia (SPAD) przyjął istotnie większe wartości pod wpływem zastosowania wyższej dawki azotu  $N_{200}$  w porównaniu do  $N_{150}$ . Także dokarmianie dolistne wpłynęło istotnie

Tabela 3  
Table 3

Plon oraz wybrane elementy struktury plonu pszenicy hybrydowej (średnia z lat 2016–2019).  
Yield and selected elements of the yield structure of hybrid wheat (mean for 2016–2019).

Czynnik Treatment		Plon ziarna Grain yield ( $\text{t ha}^{-1}$ )	Liczba kłosów Number of ears per $\text{m}^2$	Liczba ziaren w kłosie Number of grains per ear	Masa 1000 ziaren 1000 grains weight (g)
Dawka azotu N rate ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Nawożenie dolistne Foliar fertilization ( $\text{dm}^3 \text{ ha}^{-1}$ )				
$N_{150}$	C <sup>1</sup>	8,25 <sup>d</sup>	550,6 <sup>b</sup>	35,6 <sup>a</sup>	42,3 <sup>a</sup>
	Fomix <sup>2</sup>	8,52 <sup>c</sup>	552,2 <sup>b</sup>	34,8 <sup>a</sup>	44,2 <sup>b</sup>
$N_{200}$	C <sup>1</sup>	8,79 <sup>b</sup>	568,7 <sup>a</sup>	36,1 <sup>a</sup>	43,0 <sup>a</sup>
	Fomix <sup>2</sup>	9,21 <sup>a</sup>	576,9 <sup>a</sup>	35,9 <sup>a</sup>	45,0 <sup>b</sup>
$N_{150}$		8,39 <sup>b</sup>	551,4 <sup>b</sup>	35,2 <sup>a</sup>	43,3 <sup>a</sup>
$N_{200}$		9,00 <sup>a</sup>	572,8 <sup>a</sup>	36,0 <sup>a</sup>	44,0 <sup>a</sup>
	C <sup>1</sup>	8,52 <sup>b</sup>	559,7 <sup>a</sup>	35,9 <sup>a</sup>	42,7 <sup>b</sup>
	Fomix <sup>2</sup>	8,87 <sup>a</sup>	564,6 <sup>a</sup>	35,4 <sup>a</sup>	44,6 <sup>a</sup>
	2016/2017	8,75 <sup>b</sup>	565,9 <sup>b</sup>	35,9 <sup>ab</sup>	43,7 <sup>ab</sup>
	2017/2018	9,12 <sup>a</sup>	580,3 <sup>a</sup>	36,8 <sup>a</sup>	44,6 <sup>a</sup>
	2018/2019	8,20 <sup>b</sup>	540,2 <sup>c</sup>	34,1 <sup>b</sup>	42,5 <sup>b</sup>
<b>Średnia – Mean</b>		<b>8,69</b>	<b>562,1</b>	<b>35,6</b>	<b>43,6</b>

C<sup>1</sup> – kontrola – control, Fomix<sup>2</sup> – FoliQ Mikromix, Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie – Different letters in the same column indicate significant differences,  $p \leq 0.05$

Tabela 4

Table 4

**Pomiary polowe lanu pszenicy hybrydowej (średnia z lat 2016–2019).  
Field measurements of the stand of hybrid wheat (mean for 2016–2019).**

Czynnik Treatment		LAI (m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> )	MTA (°)	SPAD	Stopień wylegania Lodging degree
Dawka azotu N rate (kg·ha <sup>-1</sup> )	Nawożenie dolistne Foliar fertilization (dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )				
N <sub>150</sub>	C <sup>1</sup>	3,75 <sup>b</sup>	43 <sup>b</sup>	24,2 <sup>b</sup>	8,4 <sup>a</sup>
	Fomix <sup>2</sup>	3,89 <sup>b</sup>	44 <sup>b</sup>	2,6 <sup>a</sup>	8,0 <sup>a</sup>
N <sub>200</sub>	C <sup>1</sup>	4,85 <sup>a</sup>	47 <sup>a</sup>	30,2 <sup>c</sup>	7,6 <sup>b</sup>
	Fomix <sup>2</sup>	5,24 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	32,2 <sup>d</sup>	7,8 <sup>b</sup>
N <sub>150</sub>		3,82 <sup>b</sup>	44 <sup>b</sup>	26,4 <sup>b</sup>	8,2 <sup>a</sup>
N <sub>200</sub>		5,05 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>	31,2 <sup>a</sup>	7,7 <sup>b</sup>
	C <sup>1</sup>	4,30 <sup>a</sup>	45 <sup>a</sup>	27,2 <sup>b</sup>	8,0 <sup>a</sup>
	Fomix <sup>2</sup>	4,57 <sup>a</sup>	47 <sup>a</sup>	30,4 <sup>a</sup>	7,9 <sup>a</sup>
	2016/2017	4,55 <sup>b</sup>	48 <sup>a</sup>	28,6 <sup>a</sup>	8,4 <sup>a</sup>
	2017/2018	4,80 <sup>a</sup>	45 <sup>b</sup>	31,8 <sup>a</sup>	7,9 <sup>b</sup>
	2018/2019	3,95 <sup>c</sup>	44 <sup>b</sup>	25,9 <sup>b</sup>	7,6 <sup>b</sup>
<b>Średnia – Mean</b>		<b>4,43</b>	<b>46</b>	<b>28,8</b>	<b>8,0</b>

C<sup>1</sup> – kontrola – control, Fomix<sup>2</sup> – FoliQ Mikromix, Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie – Different letters in the same column indicate significant differences, p≤0.05

na zwiększenie wartości wskaźnika SPAD. Według Panasiewicz i in. (2009) oraz Sulewskiej i in. (2011) nawożenie azotem oraz wapniowo-magnezowe poprawia stan odżywienia zbóż, przy czym Fotyma i Bezdusznik (2000) zwracają uwagę, że pogłówna aplikacja wyższych dawek azotu może powodować obniżenie wartości wskaźnika zieloności liścia SPAD.

Jak podaje Kara i Mujdeci (2010) również czynnik pogodowy, w tym wysokość opadów może modyfikować zawartość chlorofilu. W wilgotniejszych sezonach 2016/2017 i 2017/2018 wskaźnik SPAD osiągnął w prezentowanych badaniach własnych istotnie większą wartość niż w sezonie 2018/2019 o niższej sumie opadów. Pod wpływem wyższej dawki azotu N<sub>200</sub> w porównaniu do N<sub>150</sub> wyleganie roślin było istotnie wyższe, natomiast aplikacja dolistna nie miała wpływu na wartość tego czynnika powodującego straty w plonach zbóż. W badaniach Kuliga i in. (2009) stopień wylegania pszenicy mieścił się w zakresie od 4,7 do 7,1° i zależał od technologii uprawy oraz porażenia roślin przez choroby.

Zwiększenie dawki azotu ze 150 do 200 kg·ha<sup>-1</sup> istotnie wpłynęło na wzrost wartości parametrów jakościowych ziarna: zawartości białka ogólnego o 8,4%, ilości glutenu o 14,2%, wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego o 13,0%, gęstości ziarna w stanie zsypanym o 3,8% oraz celności ziarna

o 3,2% (tab. 5). Podolska (2008) podaje, że istotnym elementem technologii uprawy pszenicy powodującym wzrost zawartości białka w ziarnie pszenicy jest dawka azotu i sposób jej aplikacji. Skudra i Ruza (2016) oraz Jaskulska i in. (2018) stosując dawki azotu, odpowiednio od 85 do 175 kg·ha<sup>-1</sup> i od 100 do 200 kg·ha<sup>-1</sup> uzyskali korzystniejsze cechy jakościowe ziarna pszenicy.

W prezentowanych badaniach własnych dokarmianie dolistne w porównaniu do obiektu kontrolnego korzystniej wpływało na analizowane cechy jakościowe ziarna (zawartości białka i glutenu, wartości wskaźnika sedymentacji) za wyjątkiem gęstości ziarna w stanie zsypanym i celności ziarna. Zeidan i in. (2010) potwierdzili wpływ dolistnie zastosowanych mikroelementów na wzrost zawartości w ziarnie pszenicy białka ogólnego. Natomiast Jarecki i in. (2016) nie wykazali takiej zależności, a dokarmianie dolistne skutkowało jedynie wzrostem zawartości popiołu w ziarnie w porównaniu do kontroli.

Jak wynika z badań Rharrabtiego i in. (2003) oraz Podolskiej (2008) parametry jakościowe ziarna są również determinowane warunkami środowiskowymi, co potwierdzają prezentowane badania.

Ziarno zebrane w sezonie wegetacyjnym 2018/2019, charakteryzującym się wyższą od wielolecia temperaturą powietrza i opadami o wysokości 514,4 mm, miało niższą celność, lecz odznaczało się

wyższymi wartościami zwłaszcza zawartości białka ogólnego oraz ilości glutenu. Nadmiar opadów, jaki wystąpił w sezonie 2016/2017 spowodował istotne obniżenie cech jakościowych ziarna (białko, gluten, wskaźnik sedymentacji, gęstość ziarna w stanie zsypanym).

Wraz ze zwiększaniem dawki azotu, ilość Fe i Cu w ziarnie pszenicy istotnie wzrastała i była najwyższa po aplikacji dawki N<sub>200</sub>. W porównaniu do ilości tych mikroelementów w ziarnie pszenicy nawożonej dawką N<sub>150</sub> różnice wynosiły odpowiednio: 5,1 i 24,1% (tab. 6).

**Tabela 5**  
**Table 5**

**Parametry jakości ziarna pszenicy hybrydowej (średnia z lat 2016–2019).**  
**Quality parameters of grain of hybrid wheat (mean for 2016–2019).**

Czynnik Treatment		Zawartość białka Total protein (g kg <sup>-1</sup> )	Ilość glutenu Gluten content (%)	Wskaźnik sedymentacji Zeleny's index (ml)	Gęstość ziarna w stanie zsypanym Test weight (kg hl <sup>-1</sup> )	Celność ziarna Grain of uniformity (%)
Dawka azotu N rate (kg ha <sup>-1</sup> )	Nawożenie dolistne Foliar fertilization (dm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )					
N <sub>150</sub>	C <sup>1</sup>	117,8 <sup>de</sup>	23,7 <sup>d</sup>	37,3 <sup>ed</sup>	73,5 <sup>bc</sup>	90 <sup>b</sup>
	Fomix <sup>2</sup>	121,7 <sup>c</sup>	25,5 <sup>c</sup>	41,2 <sup>b</sup>	75,8 <sup>b</sup>	92 <sup>a</sup>
N <sub>200</sub>	C <sup>1</sup>	129,0 <sup>b</sup>	27,6 <sup>bc</sup>	43,8 <sup>cd</sup>	77,4 <sup>a</sup>	93 <sup>a</sup>
	Fomix <sup>2</sup>	132,7 <sup>a</sup>	29,7 <sup>a</sup>	46,6 <sup>a</sup>	78,0 <sup>a</sup>	94 <sup>a</sup>
N <sub>150</sub>		119,8 <sup>b</sup>	24,6 <sup>b</sup>	39,3 <sup>b</sup>	74,7 <sup>b</sup>	91 <sup>b</sup>
N <sub>200</sub>		130,9 <sup>a</sup>	28,7 <sup>a</sup>	45,2 <sup>a</sup>	77,7 <sup>a</sup>	94 <sup>a</sup>
C <sup>1</sup>		123,4 <sup>b</sup>	25,7 <sup>b</sup>	40,6 <sup>b</sup>	75,5 <sup>a</sup>	92 <sup>a</sup>
Fomix <sup>2</sup>		127,2 <sup>a</sup>	27,6 <sup>a</sup>	43,9 <sup>a</sup>	76,9 <sup>a</sup>	93 <sup>a</sup>
2016/2017		120,5 <sup>c</sup>	24,6 <sup>c</sup>	37,4 <sup>b</sup>	74,8 <sup>b</sup>	93 <sup>a</sup>
2017/2018		124,0 <sup>b</sup>	26,7 <sup>b</sup>	45,1 <sup>a</sup>	77,5 <sup>a</sup>	95 <sup>a</sup>
2018/2019		131,5 <sup>a</sup>	28,4 <sup>a</sup>	44,2 <sup>a</sup>	76,2 <sup>a</sup>	89 <sup>b</sup>
<b>Średnia – Mean</b>		<b>125,3</b>	<b>26,6</b>	<b>42,2</b>	<b>76,2</b>	<b>92</b>

C<sup>1</sup> – kontrola – control, Fomix<sup>2</sup> – FoliQ Mikromix, Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie – Different letters in the same column indicate significant differences, p≤0.05

**Tabela 6**  
**Table 6**

**Zawartość mikroelementów w ziarnie pszenicy hybrydowej (średnia z lat 2016–2019).**  
**Microelements content in grain of hybrid wheat (mean for 2016–2019).**

Czynnik Treatment		Żelazo Iron	Miedź Cooper	Cynk Zinc	Mangan Manganese
Dawka azotu N rate (kg ha <sup>-1</sup> )	Nawożenie dolistne Foliar fertilization (dm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )				
N <sub>150</sub>	C <sup>1</sup>	52,11 <sup>c</sup>	2,95 <sup>b</sup>	38,22 <sup>b</sup>	29,41 <sup>a</sup>
	Fomix <sup>2</sup>	52,38 <sup>c</sup>	3,42 <sup>b</sup>	41,91 <sup>a</sup>	31,25 <sup>a</sup>
N <sub>200</sub>	C <sup>1</sup>	53,76 <sup>bc</sup>	3,84 <sup>a</sup>	38,68 <sup>b</sup>	31,02 <sup>a</sup>
	Fomix <sup>2</sup>	56,34 <sup>a</sup>	4,56 <sup>a</sup>	40,33 <sup>a</sup>	30,92 <sup>a</sup>
N <sub>150</sub>		52,25 <sup>b</sup>	3,19 <sup>b</sup>	40,07 <sup>a</sup>	30,33 <sup>a</sup>
N <sub>200</sub>		55,05 <sup>a</sup>	4,20 <sup>a</sup>	39,51 <sup>a</sup>	30,97 <sup>a</sup>
C <sup>1</sup>		52,94 <sup>b</sup>	3,40 <sup>a</sup>	38,45 <sup>b</sup>	30,22 <sup>a</sup>
Fomix <sup>2</sup>		54,36 <sup>a</sup>	3,99 <sup>a</sup>	41,12 <sup>a</sup>	31,09 <sup>a</sup>
2016/2017		53,82 <sup>b</sup>	3,52 <sup>b</sup>	38,45 <sup>b</sup>	30,38 <sup>a</sup>
2017/2018		52,11 <sup>b</sup>	2,81 <sup>b</sup>	39,28 <sup>ab</sup>	30,56 <sup>a</sup>
2018/2019		55,02 <sup>a</sup>	4,62 <sup>a</sup>	41,65 <sup>a</sup>	31,02 <sup>a</sup>
<b>Średnia – Mean</b>		<b>53,65</b>	<b>3,69</b>	<b>39,79</b>	<b>30,65</b>

C<sup>1</sup> – kontrola – control, Fomix<sup>2</sup> – FoliQ Mikromix, Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie – Different letters in the same column indicate significant differences, p≤0.05

Nie stwierdzono istotnego wpływu dawki  $N_{200}$  na przyrost ilości Zn i Mn w ziarnie pszenicy. Z badań Pszczółkowskiej i in. (2018) wynika, że zwiększone nawożenie azotem nie różnicowało koncentracji Zn i Mn w ziarnie pszenicy, a zawartość Fe była najwyższa dla dawki 120 N  $kg\cdot ha^{-1}$ . Svečnjak i in. (2013) wykazali natomiast, że po aplikacji wzrastających dawek azotu ziarno zawierało najwięcej manganu, a najmniej cynku.

Dolistna aplikacja FoliQ Mikromix powodowała istotny wzrost w ziarnie pszenicy w stosunku do obiektu kontrolnego zawartości Fe i Zn, odpowiednio o 2,7 i 6,9%. Natomiast nie modyfikowała koncentracji Mn i Cu. Jak podaje Zhang i in. (2010) dolistne nawożenie pszenicy azotem oraz aplikacja różnych form mikroelementowych nawozów dolistnych ma kluczowe znaczenie dla zwiększenia koncentracji zwłaszcza Zn i Cu w ziarnie pszenicy.

W badaniach wykazano, że ziarno pszenicy mieszańcowej zawierało najwięcej żelaza (53,65  $mg\cdot kg^{-1}$ ), a najmniej miedzi (3,69  $mg\cdot kg^{-1}$ ). Średnie zawartości Fe były wyższe od wartości oznaczonych przez Rachonia i Szumiło (2009) w ziarnie *Triticum aestivum* L. (30,9  $mg\cdot kg^{-1}$ ), *Triticum durum* Desf. (29,0–33,7  $mg\cdot kg^{-1}$ ) i *Triticum spelta* L. (32,2–33,9  $mg\cdot kg^{-1}$ ). Natomiast średnia ilość Cu była zbliżona do zawartości tego pierwiastka prezentowanej w badaniach Suchowilskiej i in. (2012) – 3,50  $mg\cdot kg^{-1}$ . Średnie zawartości Zn (39,79  $mg\cdot kg^{-1}$ ) i Mn (30,65  $mg\cdot kg^{-1}$ ) w ziarnie pszenicy hybrydowej były wyższe od wartości oznaczonych przez Stępnia i Wojtkowiak (2015) w ziarnie form jarych i ozimych pszenicy. Należy jednak podkreślić, że różnica w zawartości pierwiastków u pszenic populacyjnych i mieszańcowych może być powodowana czynnikiem genetycznym, a ponadto porównywane badania prowadzono w różnych warunkach klimatyczno-glebowych.

Zawartość mikroelementów w ziarnie pszenicy była zmienna w latach badań. Na wpływ czynników środowiskowych na zawartość składników pokarmowych, w tym zwłaszcza Fe i Zn w ziarnie pszenicy zwraca uwagę Morgounov i in. (2007). Istotnie więcej Fe, Cu i Zn w ziarnie stwierdzono w sezonie 2018/2019 o umiarkowanych opadach i wyższych miesięcznych temperaturach w okresie formowania ziarna. Zmienne warunki pogodowe podczas trzech lat badań, nie zmieniały zawartości Mn w ziarnie pszenicy.

## Wnioski

1. Zastosowanie dawki azotu  $N_{200}$  w porównaniu do  $N_{150}$  powodowało wzrost plonu ziarna i zawartości w nim Fe oraz Cu, obsady kłosów,

badanych parametrów jakości ziarna, a także wartości wskaźników LAI, MTA i SPAD pszenicy hybrydowej.

2. Nawożenie dolistne w porównaniu do obiektu kontrolnego wpłynęło na istotny wzrost plonu ziarna oraz zawartości Zn i Fe wskaźnika SPAD, MTZ a także cech jakościowych (białko, gluten, wskaźnik sedymentacji).
3. Warunki pogodowe z mniejszą sumą opadów oraz wyższymi miesięcznymi temperaturami w okresie formowania i dojrzewania ziarna pszenicy powodowały obniżenie plonu ziarna i przyrost ilości białka, glutenu, Fe, Cu, oraz Zn w ziarnie.

## Źródło finansowania badań

Środki finansowe Ministerstwa Edukacji i Nauki na działalność naukową Instytutu Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Rzeszowskiego.

## Literatura

- Bavec M., Vuković K., Grobelnik Mlakar S., Rozman Č., Bavec F., 2007. Leaf area index in winter wheat: response on seed rate and nitrogen application by different varieties. *J. Cent. Eur. Agric.* 8 (3), 337–342.
- Biskupski A., Kaus A., Włodek S., Pabin J., 2007. Zróżnicowane nawożenie azotem a plonowanie i wybrane wskaźniki architektury łanu kilku odmian pszenicy jarej. *Inżynieria Rolnicza*. 3 (91), 29–36.
- Faizy S.E.D., Mashali S.A., Youssef S.M., Elmahdy S.M., 2017. Study of wheat response to nitrogen fertilization, micronutrients and their effects on some soil available macronutrients. *J. Sus. Agric. Sci.* 43 (1), 55–64. <https://doi.org/10.21608/JSAS.2017.3491>
- Fotyma E., Bezdusznik D., 2000. Valuation of nitrogen nutritional status of winter cereals on the ground of leaf greenness index. *Fragm. Agron.* 17 (4), 29–45.
- Gąsiorowska B., Makarewicz A., 2008. Wpływ nawożenia dolistnego na plony i jakość ziarna pszenicy jarej. *Annales UMCS. Sec. E.* 63 (4), 87–95.
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., Jarecka A., 2016. Reakcja pszenicy jarej na zróżnicowane nawożenie azotowe oraz dokarmianie dolistne. *Acta Agrophysica*. 23, 39–50.
- Jarecki W., Buczek J., Bobrecka-Jamro D., 2014. Reakcja pszenicy jarej odmiany Kandela na zróżnicowaną intensywność uprawy. *Fragm. Agron.* 31 (3), 58–65.
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., 2011. Reakcja pszenicy jarej odmiany Parabola na dolistne dokarmianie mocznikiem i Mikrokompleksem. *Biul. IHAR*. 262, 39–46.
- Jaskulska I., Jaskulski D., Gałęzowski L., Knapowski T., Kozera W., Waclawowicz R., 2018. Mineral composition and baking value of the winter wheat grain under



- varied environmental and agronomic conditions. *J. Chem.* 1–7. <https://doi.org/10.1155/2018/5013825>
- Kara B., Mujdeci M., 2010. Influence of late-season nitrogen application on chlorophyll content and leaf area index in wheat. *Sci. Res. Essays.* 5, 2299–2303.
- Klikocka H., Cybulska M., Barczak B., Narolski B., Szostak B., Kobiałka A., Nowak A., Wójcik E., 2016. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. *Plant Soil Environ.* 62, 230–236. <https://doi.org/10.17221/18/2016-PSE>
- Kulig B., Oleksy A., Zajac T., 2009. Wpływ sposobu uprawy roli i nawożenia azotem na plonowanie pszenicy jarej. *Fragm. Agron.* 26 (4), 81–94.
- Morgounov A., Gomez-Becerra H.F., Abugalieva A., Dzhususova M., Yessimbekova M., Muminjanov H., Zelenskiy Y., Ozturk L., Cakmak I., 2007. Iron and zinc grain density in common wheat grown in central Asia. *Euphytica.* 155, 193–203. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9321-2>
- Mühleisen J., Piepho H-P., Maurer H.P., Longin C.F., Reif J.C., 2014. Yield stability of hybrids versus lines in wheat, barley, and triticale. *Theor. Appl. Genet.* 127, 309–316. <https://doi.org/10.1007/s00122-013-2219-1>
- Olsen J., Weiner J., 2007. The influence of *Triticum aestivum* density, sowing pattern and nitrogen fertilization on leaf area index and its spatial variation. *Basic Appl. Ecol.* 8, 252–257.
- Panasiewicz K., Koziara W., Sulewska H., 2009. Reakcja pszenicy ozimej *Triticum durum* Desf. odmiany Komnata na gęstość siewu i nawożenie azotem. *Biul. IHAR.* 253, 125–134.
- Podolska G., 2008. Wpływ dawki i sposobu nawożenia azotem na plon i wartość technologiczną ziarna odmian pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol. Agricultura.* 7 (1), 57–65.
- Pszczołkowska A., Okorski A., Olszewski J., Fordoński G., Krzebietke S., Chareńska A., 2018. Effects of pre-preceding leguminous crops on yield and chemical composition of winter wheat grain. *Plant Soil Environ.* 64, 592–596. <https://doi.org/10.17221/340/2018-PSE>
- Rachoń L., Szumiło G., 2009. Comparison of chemical composition of selected winter wheat species. *J. Elem.* 14, 135–146.
- Rharrabti Y., Royo C., Villegas D., Aparicio N., Gracia del Maoral L. F., 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments I. Quality expression under different zones. latitudes and water regime across Spain. *Field Crops Res.* 80, 123–131.
- Skudra I., Ruza A., 2016. Winter wheat grain baking quality depending on environmental conditions and fertilizer. *Agron. Res.* 14, 1460–1466.
- Stępień A., Wojtkowiak K., 2015. Effect of meat and bone meal on the content of microelements in the soil and wheat grains and oilseed rape seeds. *J. Elem.* 20, 999–1010. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.1.811>
- Suchowilska E., Wiwart M., Kandler M., Krska R., 2012. A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four Triticum species. *Plant Soil Environ.* 58, 141–147. <http://dx.doi.org/10.17221/688/2011-PSE>
- Sulewska H., Koziara W., Panasiewicz K., Niewiadomska A., 2011. Reakcja pszenicy ozimej i jęczmienia jarego na nawożenie PRP SOL. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 56 (4), 129–133.
- Svečnjak Z., Jenel M., Bujan M., Vitali D., Dragojevic V.I., 2013. Trace element concentrations in the grain of wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization. *Agr. Food Sci.* 22, 445–451. <https://doi.org/10.23986/afsci.8230>
- Whitford R., Fleury D., Reif J.C., Garcia M., Okada T., Korzun V., Langridge P., 2013. Hybrid breeding in wheat: technologies to improve hybrid wheat seed production. *J. Exp. Bot.* 64, 5411–5428. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert333>
- Zeidan M.S., Mohamed M.F., Hamouda H.A., 2010. Effect of foliar fertilization of Fe, Mn and Zn on wheat yield and quality in low sandy soils fertility. *World J. Agric. Sci.* 6, 696–699.
- Zhang Y., Song Q., Jan Y., Tang J., Zhao R., Zhang Y., He Z., Zou C., Ortiz-Monasterio I., 2010. Mineral element concentrations in grains of Chinese wheat cultivars. *Euphytica.* 174, 303–313. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0082-6>
- Zhao Y., Zeng J., Fernando R., Reif J.C., 2013. Genomic prediction of hybrid wheat performance. *Crop Sci.* 53, 802–810. <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.08.0463>

# Species of the genus *Fusarium* and *Fusarium* toxins in the grain of winter and spring wheat in Poland

Gatunki z rodzaju *Fusarium* oraz toksyny fuzaryjne w ziarnie pszenicy ozimej i jarej w Polsce

Tomasz Góral<sup>1</sup>✉, Piotr Ochodzki<sup>1</sup>, Linda Kærsgaard Nielsen<sup>2</sup>,  
Dorota Walentyn-Góral<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Plant Breeding and Acclimatization Institute – National Research Institute, Radzików, Poland

<sup>2</sup> Sejet Plant Breeding, Horsens, Denmark

✉ e-mail: t.goral@ihar.edu.pl

The aim of the study was to determine the presence of *Fusarium* species and mycotoxins in wheat grain from harvest in 2009 and 2010 in Poland. Samples from different locations were analyzed for the content of DNA of *Fusarium* species and mycotoxins. In 2009, DNA of *F. graminearum* and *F. poae* was present in all samples, *F. culmorum* in 82% of samples, and *F. avenaceum* in 55% of samples. In 2010, the highest content of DNA was found for *F. graminearum* followed by *F. avenaceum*, *F. poae* and *F. langsethiae*. The amount of *F. culmorum* DNA was very low. The most frequently occurring species were *F. poae* and *F. graminearum*, however, the amount of *F. poae* DNA was lower. In 2009, deoxynivalenol was detected in all samples. In 2010, the average content of deoxynivalenol was lower than in 2009. Nivalenol was detected at very low concentration in both years. Significant correlations between content of *F. graminearum* DNA and deoxynivalenol concentration in the grain and between content of *F. poae* DNA and nivalenol concentration in the grain in 2009 were found.

**Keywords:** deoxynivalenol, DNA, *Fusarium* head blight, nivalenol, real-time PCR, trichothecenes, zearalenone

Celem badania było określenie obecności gatunków *Fusarium* i mykotoksyn występujących w ziarnie pszenicy w Polsce w latach 2009 i 2010. Próby ziarna pochodzące z różnych regionów Polski zostały przeanalizowane pod kątem zawartości DNA grzybów z rodzaju *Fusarium* oraz mykotoksyn. W 2009 roku DNA *F. graminearum* i *F. poae* było obecne we wszystkich próbach, *F. culmorum* w 82% prób, *F. avenaceum* w 55% próbek. W 2010 r. najwyższą zawartość DNA stwierdzono dla *F. graminearum*, a następnie *F. avenaceum*, *F. poae* i *F. langsethiae*. Ilość DNA *F. culmorum* była bardzo niska. Najczęściej występującymi gatunkami były *F. poae* i *F. graminearum*. Jednakże ilość DNA *F. poae* była niższa. W 2009 r. we wszystkich próbach wykryto deoksynivalenol. W 2010 r. średnia zawartość deoksynivalenolu była niższa niż w 2009 r. Niwalenol wykryto w bardzo niskim stężeniu w obu latach. Stwierdzono istotność korelacji między zawartością DNA *F. graminearum* a stężeniem deoksynivalenolu w ziarnie oraz między zawartością DNA *F. poae* a stężeniem niwalenolu w ziarnie w 2009 r.

**Słowa kluczowe:** deoksynivalenol, DNA, fuzarioza kłosów, niwalenol, real-time PCR, trichoteceny, zearalenon

## Introduction

*Fusarium* head blight (FHB) is a disease of wheat caused by a complex of toxicogenic fungi of the genus *Fusarium* (Parry *et al.* 1995). The main species of this complex in Europe are *F. graminearum* and *F. culmorum* identified as deoxynivalenol (DON), nivalenol (NIV) and zearalenone (ZEN) producers. However, other *Fusarium* species producing mycotoxins are also prevalent: *F. avenaceum* – moniliformin, enniatins and beauvericin (BEA) producer; *F. poae* – NIV, BEA producer. *Fusarium langsethiae* and *F. sporotrichioides* – T-2 and HT-2 toxins producers are also prevalent (Bottalico

and Perrone 2002; Jestoi *et al.* 2008; Vogelgsang *et al.* 2008; Somma *et al.* 2010; Imathiu *et al.* 2013). *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* are highly pathogenic species, which can cause severe epidemics of FHB. The other species are medium or weakly pathogenic, however, due to the wide prevalence, they may also cause mycotoxin contamination of grain (Uhlir *et al.* 2007; Yli-Mattila *et al.* 2008; Nielsen *et al.* 2011; Dinolfio and Stenglein 2014).

Because of the diversity of *Fusarium* species causing FHB, monitoring of changes in the *Fusarium* population on wheat is important. Frequency of species infecting wheat

is not stable and changes depending on the weather in particular year (Xue *et al.* 2019). Differences are also observed between regions of wheat production in Europe. For example, other species dominate in North-Eastern Europe (equal share of three species *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*) than in south-western part of the continent (mainly *F. graminearum*) (Bottalico and Perrone 2002). Species compositions changes over time, which is the results of climate warming, and changes in the acreage of major cereal crops – particularly increase of the maize area (Sundheim *et al.* 2013; Hofgaard *et al.* 2016; Maiorano *et al.* 2008; Vaughan *et al.* 2016). The main reported effect of the above factors is increase in *F. graminearum* occurrence and decrease in *F. culmorum* (Parikka *et al.* 2012; Miller 2008; Scherm *et al.* 2013; Hofgaard *et al.* 2016; Bilska *et al.* 2018). Chandelier *et al.* (2011) analysed winter wheat samples from Belgium over 2003–2009 period. They found that main species were *F. avenaceum* and *F. graminearum*; however, their frequency changed depending on year from 20 to 100%. The frequency of *F. poae* was relatively constant over the years (about 70%). The overall incidence of *F. culmorum* decreased during the study, from 80% in 2003 to 10% over the final three years. Similarly, Isebaert *et al.* (2009) observed that *F. graminearum* and *F. culmorum* were the most important species in Northern Belgium in 2002–2005. They found correlation between crop prevalence and both species frequency. *F. graminearum* dominated in areas of maize cultivation, *F. culmorum* in areas small grain cereals cultivation. In Luxemburg, the most common species isolated from wheat heads were *F. graminearum*, *F. avenaceum* and *F. poae*. Increase of frequency of *F. graminearum* and decrease in *F. culmorum* were observed (Giraud *et al.* 2010). Winter wheat cultivated in the Netherlands in 2009 was studied for *Fusarium* species and toxins (van der Fels-Klerx *et al.* 2012). In samples collected on harvest, authors found dominance of *F. graminearum*. *F. avenaceum* and *Microdochium nivale* were also frequent. However, in the pre-harvest samples, only *F. graminearum* and *M. nivale* were present. Waalwijk *et al.* (2004) analysed wheat heads and grain collected in the Netherlands in 2001 and 2002. In 2001, in samples collected at late milk stage, *F. graminearum* was predominant; however, some samples contained also *F. avenaceum* and/or *F. culmorum*. At harvest, *F. graminearum* dominated almost completely. In 2002 the weather conditions were more favorable for FHB, and they found relative dominance of *F. graminearum*

in grain from the Netherlands and almost complete in samples from France. According to Birzele *et al.* (2002) in 1997 and 1998 the dominating species in Germany in wheat grain were *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. culmorum* and *F. graminearum*. Frequencies of two last species were similar, however percentage of *F. graminearum* increased in 1998. In Germany in 2008, *F. graminearum* *sensu stricto* was the predominant species followed by *F. culmorum*. Other species (*F. poae*, *F. tricinctum*, *M. nivale* etc.) were identified in small amounts (Talas *et al.* 2011). Similar results were obtained by Birr *et al.* (2020) who analyzed winter wheat grain samples from seven locations in Germany from 2013 to 2017. In Hungary, in year 2010, which was very favorable for FHB development, predominantly *F. graminearum* was isolated from wheat grain (Laszlo *et al.* 2011).

Waalwijk *et al.* (2003) analyzed wheat ears with FHB symptoms collected in Netherlands in 2000 and 2001. They found that *F. graminearum* was the dominating *Fusarium* species in both years. As they stated, this was significant change comparing results from the 1980s and 1990s, which showed that *F. culmorum* was the predominant species in the Netherlands. They presume that this shift could be connected with an increase in maize acreage. *F. graminearum*, unlike *F. culmorum*, is a major pathogen on maize and, can survive on maize debris (Xu and Nicholson 2009; Maiorano *et al.* 2008). The other factor could be climate warming which favors *F. graminearum* as it has higher optimal temperature of development (Vaughan *et al.* 2016). The good example of this shift can be first detection of *F. graminearum* in wheat grain collected in 2017 in West Siberia, Russia (Gagkaeva *et al.* 2019) as well as absence of *F. graminearum* until 2012 in FHB infected cereal (Supronienė *et al.* 2010, 2016)

The prevalence of FHB pathogens differed significantly between studied countries in 2001 and 2002 (UK, Ireland, Italy and Hungary) (Xu *et al.* 2005). Overall, all pathogens (*F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* and *F. poae*) were commonly detected in Ireland and to a lesser extent in the UK. In contrast, only two species, *F. graminearum* and *F. poae*, were regularly detected in Italy and Hungary. *Fusarium culmorum* was rarely detected except in Ireland. The latter country has the coolest summer weather among four studied countries. Authors stated that the increase in *F. graminearum*, especially in the UK, appears to have been at the expense of *F. culmorum*. The replacement of *F. culmorum*

by *F. graminearum* as the predominant FHB pathogen was also reported in Bavaria (Obst *et al.* 1997) where the change was linked with increased maize production in Poland in years 2016 and 2017 more than 80% of isolates collected from symptomatic wheat heads were *F. graminearum*, and less than 4% were *F. culmorum* (Bilska *et al.* 2018). *F. graminearum* dominated in wheat grain in 2012, and was replaced by *F. poae* in 2013 (Wolny-Koładka *et al.* 2015). It is worth to notice that in Poland grain maize acreage increased considerably from 1990 (59 000 ha) to 2017 (above 1 215 500 ha).

The *Fusarium* species can be isolated from cereal kernels and identified using classical and/or molecular methods (Wiśniewska *et al.* 2014). The molecular method widely used for identification and quantification of *Fusarium* DNA concentration in samples is real time PCR (Niessen 2007; Nicolaisen *et al.* 2009; Nielsen *et al.* 2011, 2013; Horevaj *et al.* 2011).

The aim of the present study was to determine the presence *Fusarium* species and content of mycotoxins in wheat grain in Poland. Samples were collected in 2009 and 2010. Results were compared with *Fusarium* species frequency reported earlier and the results obtained after 2010.

## Material and methods

### Cereal grain samples

Fifty samples of wheat grain were collected during the harvesting season 2010. They originated from 25 experimental stations of COBORU (the Research Centre for Cultivar Testing) located in different regions of Poland (Figure 1; marked with numbers). Two winter wheat cultivars ‘Bogatka’ (medium resistant to FHB) and ‘Muszelka’ (susceptible) were included. The winter wheat was grown with a moderate nitrogen input (avg. 90 kg/ha of N) and without chemical control of diseases. The grain was harvested using combine harvester.

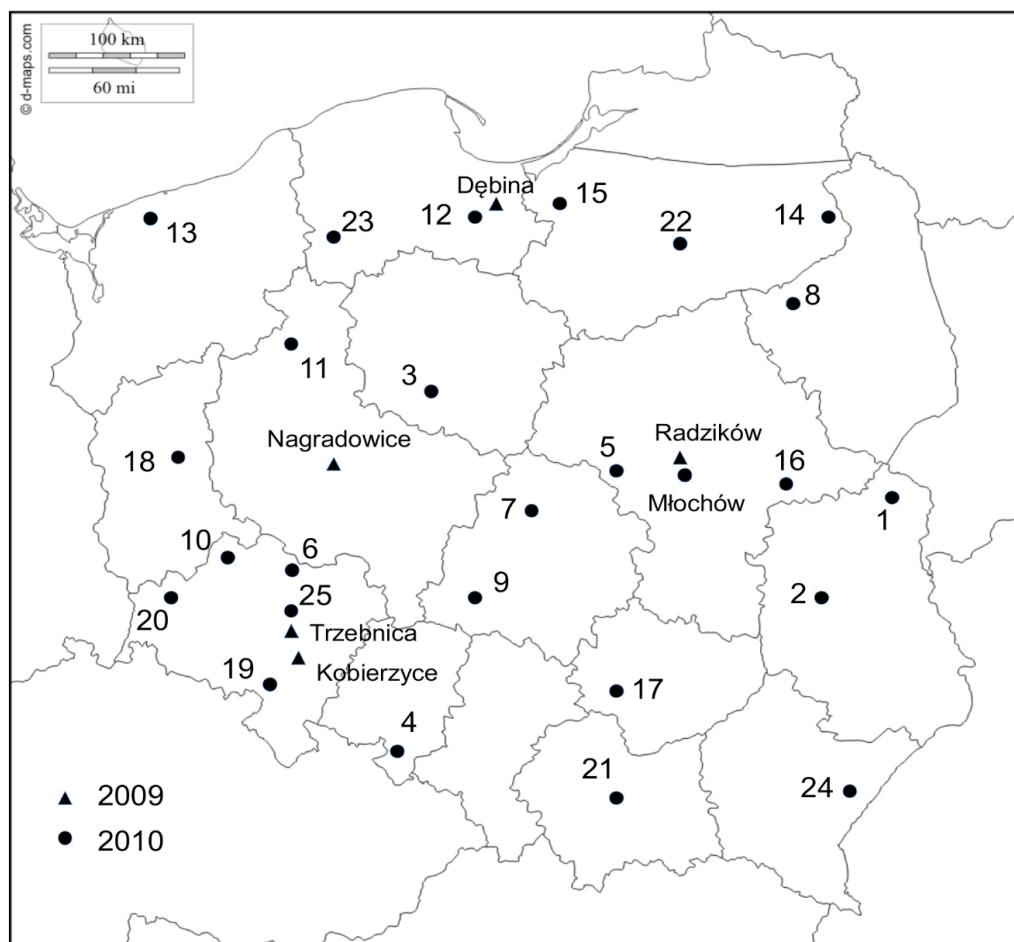


Figure 1. Map of Poland showing locations of sample collection of winter and spring wheat grain in 2009 (triangles) and 2010 (circles). Location numbers correspond to these in Table 2

Rysunek 1. Mapa Polski pokazująca miejsca pochodzenia prób ziarna pszenicy ozimej i jarej w latach 2009 (trójkąty) i 2010 (kółka). Numery miejscowości odpowiadają numerom w Tabeli 2

Additionally, 11 samples of wheat grain from 2009 (5 locations) and 8 samples from 2010 (2 locations) were analyzed. Samples were collected from different locations/fields and cultivars of spring and winter wheat (Figure 1, Table 1, Table 4).

Wheat grain samples were stored in a freezer at  $-20^{\circ}\text{C}$  before DNA and mycotoxins extraction.

#### **DNA extraction and analysis**

Grain samples of 300g were initially ground with a laboratory grinder and 5 g was powdered in liquid  $\text{N}_2$  with eight steel balls using Geno/Grinder 2000 (OPS Diagnostics, Bridgewater, NJ). DNA was extracted from 100 mg of that powdered sample using a modified CTAB method (<http://gmo-crl.jrc.ec.europa.eu/summaries/NK603-WEB-Protocol-Validation.pdf>) as described by Nicolaisen *et al.* (2009). DNA extracted from the wheat samples was further purified using a DNeasy kit (Qiagen) according to the manufacturer's instructions.

The *Fusarium* isolates: *F. avenaceum* 9605, *F. culmorum* 9560, *F. equiseti* 8752, *F. graminearum* 1955, *F. langsethiae* 8051, *F. poae* 8452, *F. sporotrichioides* 1926, and *F. tricinctum* 8048 were grown and extracted as described in Nielsen *et al.* (2011). They were grown on potato dextrose agar (PDA) medium at  $22^{\circ}\text{C}$  under 12 h of light and 12 h of darkness for 1–2 weeks prior to DNA extraction. PDA plates before inoculation were covered with sterile cellophane membranes (Horeváj *et al.* 2011). Mycelium was scraped off the cellophane membrane using a spatula and ground in liquid  $\text{N}_2$  with eight steel balls using a Geno/Grinder 2000 (OPS Diagnostics, Bridgewater, NJ). Powdered mycelium (100 mg) was used for DNA extraction, using the same method as for grain samples. The concentration of DNA from *Fusarium* isolates was determined using NanoDrop 1000 (Thermo Fisher Scientific, MA).

Qualitative and quantitative determinations of eight *Fusarium* species in grain were performed by real time-PCR. Primers used were based on fungal TEF-1 $\alpha$  gene sequences, designed by Nicolaisen *et al.* (2009), specific for the different *Fusarium* species: *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, *F. langsethiae*, *F. poae*, *F. sporotrichioides*, and *F. tricinctum*.

Real-time PCR was carried out in 12.5  $\mu\text{l}$  consisting of 6.25  $\mu\text{l}$  of 2 $\times$  SYBR Green PCR Master Mix (Applied Biosystems), 250 nM each primer, bovine serum albumin at 0.5  $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ , and 2.5  $\mu\text{l}$  of template DNA. PCR reactions were performed in duplicate on all samples. Genomic DNA from grain samples and pure cultures was diluted 1:10 before PCR.

PCR was performed on a 7900HT Sequence Detection System (Applied Biosystems) using the following cycling protocol: 2 min at  $50^{\circ}\text{C}$ ;  $95^{\circ}\text{C}$  for 10 min; 40 cycles of  $95^{\circ}\text{C}$  for 15 s and  $62^{\circ}\text{C}$  for 1 min; followed by dissociation analysis at 60 to  $95^{\circ}\text{C}$ . For the plant assay annealing and extension was performed at  $60^{\circ}\text{C}$ . Standard curves for *Fusarium* species and wheat were made of five-fold dilution series using pure fungal DNA and wheat DNA. The amount of fungal DNA was calculated from the cycle threshold (Ct) values using the standard curve. The result of each individual sample from each species-specific assay were evaluated by studying the dissociation curve and Ct value, as SYBR Green binds to all double stranded DNA and might create false positives. The plant EF1 $\alpha$  assay was used to provide a normalized measurement for *Fusarium* DNA in each sample, which was calculated as picograms of fungal DNA per micrograms of plant DNA according to Nicolaisen *et al.* (2009).

#### **Analysis of Fusarium toxins**

The type B trichothecenes – deoxynivalenol (DON), nivalenol (NIV) were quantified using gas chromatography with electron capture detection (GC-ECD) technique. Mycotoxins were extracted from 5 g of ground grains using 25 ml of an aqueous solution of acetonitrile (acetonitrile: water 84:16) in a shaker 90 min, 300 r.p.m.. Samples were centrifuged (3000 rpm  $\text{min}^{-1}$ , 5 min.), and the extract was purified with MycoSep® 227 Trich+ columns (Romer Labs Inc., Union, MO). One milliliter of the internal standard solution (chloralose) was added to 4 ml of purified extract. The solvent was evaporated to dryness in the stream of air. Mycotoxins were derivatized to the trimethylsilyl derivatives using a derivatizing agent Sylon BTZ (BSA + TMCS + TMSI, 3: 2: 3, Supelco). After dissolution of sample in iso-octane, excess of derivatizing agent was decomposed and removed with water. The organic layer was transferred to autosampler vial and analyzed chromatographically with gas chromatograph SRI 8610C, with BGB-5MS column of 30 m in length, and an internal diameter of 0.25 mm.

The carrier gas was hydrogen, adjusted to pressure 12 psi, with nitrogen as a make-up gas at 60 mL/min. Elution was carried out in the temperature gradient: Initial temperature was  $170^{\circ}\text{C}$ , increased to  $250^{\circ}\text{C}$  at  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ., and increased from  $250^{\circ}\text{C}$  to  $300^{\circ}\text{C}$  at  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ., followed by a holding time of 5 min., and decreased to  $170^{\circ}\text{C}$ . Mycotoxin detection was carried out using electron capture detector

(ECD). Identification of individual compounds was made by comparing the retention times of the pure standards of mycotoxins. The concentration of mycotoxins was established based on the calibration curve, using chloralose as the internal standard. Results were corrected for recoveries, ranged from 73% (NIV) to 85% (DON). The limits of detection (LOD) was on average 5 µg/kg, and limit of quantification 10 µg/kg.

The content of zearalenone (ZEN) was determined using a quantitative direct competitive enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) AgraQuant® ZON 25/1000 (Romer Laboratories). (LOD 10 µg/kg, LOQ 25 µg/kg). Based on results of reference sample (Quality Control Material, Biopure, Austria), correction for recovery was not applied.

### Statistical analysis

The original *Fusarium* DNA and toxin concentrations were transformed to logarithmic values to obtain a normal distribution for the variables. The relationships between the results for *Fusarium* DNA and *Fusarium* toxins were investigated

by Pearson correlation tests. Principal component analysis was used to analyze relationship between concentrations of DNA of *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. langsethiae* and *F. poae* in grain samples from 25 locations. Next, PCA was applied to analyze relationship between concentrations of *Fusarium* toxins (DON, NIV, ZEN) and DNA of producing species *F. culmorum*, *F. graminearum* and *F. poae* in grain samples from 25 locations. The correlation and PCA analyses were performed using Microsoft® Excel 2010/XLSTAT©-Pro (Version 2013.4.07, Addinsoft, Inc., Brooklyn, NY, USA).

## Results

### Samples from 2009

In 2009, the highest amount of *Fusarium* DNA was found in the grain of spring wheat 'Griwa' (Radzików 1) and winter wheat 'Muszelka' (Dębina 2), which is highly susceptible to FHB (Table 1). The lowest amounts were detected in the grain of winter wheat cultivars 'Zawisza' (Radzików 6) and 'Tonacja' (Radzików 5) and in spring wheat 'Raweta' (Radzików 3).

Table 1  
Tabela 1

Concentration of *Fusarium* species DNA and DON, NIV and ZEN mycotoxins levels in samples of grain of spring and winter wheat collected in 2009

Zawartość DNA gatunków *Fusarium* oraz mykotoksyn DON, NIV i ZEN w próbach ziarna pszenicy jarej i ozimej zebranych w 2009 r.

No. Lp.	Sample name Próba	<i>Fusarium</i> DNA (pg/µg) <sup>a</sup>				DON (µg/kg)	NIV (µg/kg)	ZEN (µg/kg)
		<i>Fa</i>	<i>Fc</i>	<i>Fg</i>	<i>Fp</i>			
1	Radzików 1 <sup>b</sup>	1300	153	60248	70	5719	43	63
2	Radzików 2 <sup>b</sup>	89	41	21804	0	2020	0	25
3	Radzików 3 <sup>b</sup>	53	31	911	9	104	0	0
4	Dębina 1	0	316	18966	63	2937	45	78
5	Dębina 2 <sup>c</sup>	533	8862	46102	287	7170	281	29
6	Kobierzyce	0	387	26384	949	n/a	n/a	n/a
7	Nagradowice <sup>c</sup>	366	22949	5462	67	9239	33	230
8	Radzików 4	0	34	4277	137	658	177	0
9	Radzików 5	63	38	2115	187	213	36	12
10	Radzików 6	0	0	207	33	47	0	17
11	Trzebnica	1753	252	2044	285	123	61	0
	Mean Średnia	378	3006	17138	190	2823	68	45

<sup>a</sup> – *F. langsethiae*, *F. sporotrichioides* and *F. tricinctum* were excluded; <sup>b</sup> – spring wheat; <sup>c</sup> – grain from collected symptomatic spikes; *Fa* = *F. avenaceum*, *Fc* = *F. culmorum*, *Fg* = *F. graminearum*, *Fp* = *F. poae*; n/a – not analysed

<sup>a</sup> – *F. langsethiae*, *F. sporotrichioides* i *F. tricinctum* nie zostały pokazane; <sup>b</sup> – pszenica jara; <sup>c</sup> – ziarno z kłosów z objawami fuzariozy; *Fa* = *F. avenaceum*, *Fc* = *F. culmorum*, *Fg* = *F. graminearum*, *Fp* = *F. poae*; n/a – nie analizowane

Of the eight *Fusarium* species tested, seven were detected in wheat grain, except for *F. langsethiae*. *Fusarium graminearum* was present in all samples, *F. poae* and *F. culmorum* in ten samples (91%), *F. avenaceum* in seven samples (64%). *Fusarium sporotrichioides* and *F. tricinctum* were found in two individual samples: first species in sample ‘Radzików 1’ at 69 pg/μg, and the second in wheat grain from Dębina (‘Dębina 2’) at 428 pg/μg. Traces

of *F. equiseti* were found in two samples (‘Dębina 2’, ‘Nagradowice’).

Despite large differences in *Fusarium* DNA content in the grain samples, amount of *F. graminearum* DNA was the highest in nine samples (Figure 2). *F. culmorum* dominated only in a sample from Nagradowice and in sample from Trzebnica concentrations of *F. avenaceum* and *F. graminearum* DNA were similar.

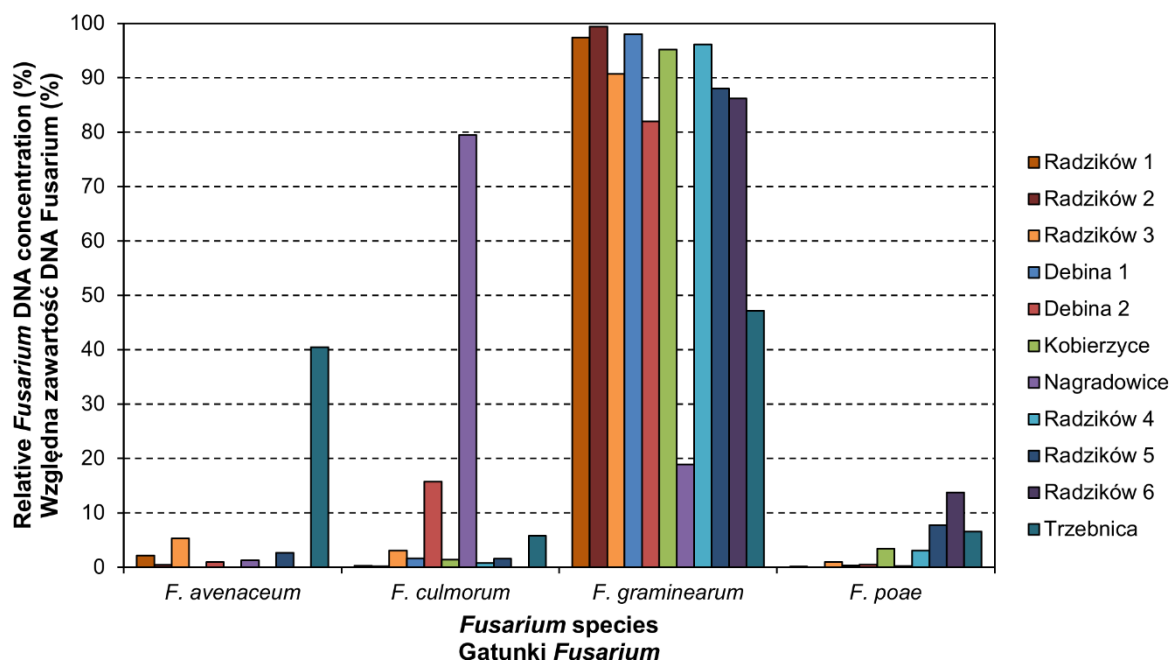


Figure 2. Relative concentration of DNA of four *Fusarium* species in 11 samples of spring and winter wheat collected in 2009. *F. equiseti*, *F. sporotrichioides* and *F. tricinctum* were excluded

Rysunek 2. Względna zawartość DNA czterech gatunków *Fusarium* w 11 próbach pszenicy jarej i ozimej zebranych w 2009 r. *F. equiseti*, *F. sporotrichioides* i *F. tricinctum* nie zostały włączone

DON was detected in all analysed samples at the average level of 2823 μg/kg (Table 1). The most contaminated were the grain samples of winter wheat ‘Nagradowice’ and ‘Debina 2’ and spring wheat ‘Radzików 1’. Levels of NIV were much lower. On average, it was 68 μg/kg. NIV was detected in seven samples. The highest concentration was in the grain of winter wheat from ‘Debina 2’ and winter wheat ‘Radzików 4’. ZEN was detected in six samples at the average level of 45 μg/kg. Considerable amounts of ZEN were found in samples from Nagradowice and in samples of spring wheat ‘Radzików 1’ and winter wheat ‘Dębina 1’.

DON concentration correlated significantly with total *Fusarium* DNA ( $r = 0.947$ ,  $p < 0.001$ ), for NIV and ZEN coefficients were insignificant ( $r = 0.537$ ,  $p = 0.109$  and  $r = 0.561$ ,  $p = 0.092$ , respectively). When looking at individual species, high

correlation between DON and DNA of *F. graminearum* and *F. culmorum* were evident ( $r = 0.885$ ,  $p = 0.001$  and  $r = 0.740$ ,  $p = 0.014$ , respectively). As regards NIV, significant correlation was observed with *F. poae* DNA ( $r = 0.875$ ,  $p = 0.001$ ).

#### Samples from 2010

In 2010, average concentration of *Fusarium* DNA was 1970 pg/μg (1430 pg/μg in ‘Bogatka’ grain and 3770 pg/μg in ‘Muszelka’ grain) (Table 2). The difference in *Fusarium* DNA concentration between cultivars was statistically significant according to paired samples t-test. The highest concentration of DNA was detected in the grain from Zadąbrowie, South-Eastern Poland (Figure 1). The DNA amount was five-six times lower in the grain from Czesławice (South-Eastern Poland), Rychliki, Radostowo (Northern PL) and Głubczyce (Southern PL). Very low concentration of DNA was

*Species of the genus Fusarium and Fusarium toxins in the grain of winter and spring wheat in Poland*

found in the grain from Naroczyce, Nowa Wieś Ujska (Western Poland), Kawęczyn (Central Poland), and Rarwino (North-Western Poland). At a regional scale, the highest *Fusarium* DNA concentration was observed in the grain from South-Eastern and North-Eastern Poland and the lowest concentrations was observed in the grain from Western, North-Western and Central Poland (Figure 1).

**Table 2**  
**Tabela 2**

**Concentration of total *Fusarium* DNA, and DON, NIV and ZEN mycotoxins levels in grain of winter wheat cultivars 'Bogatka' and 'Muszelka' from 2010 harvest**

**Sumaryczne stężenie DNA *Fusarium* oraz zawartość mykotoksyn DON, NIV i ZEN w ziarnie odmian pszenicy ozimej Bogatka i Muszelka ze zbiorów w 2010 r.**

No. Lp.	Location Miejscowość	<i>Fusarium</i> DNA (pg/μg) <sup>a</sup>		DON (μg/kg)		NIV (μg/kg)		ZEN (μg/kg)	
		Mean Średnia	SD	Mean Średnia	SD	Mean Średnia	SD	Mean Średnia	SD
1	Cicibór	2295	620	76.3	7.6	53.7	0.4	17.9	17.9
2	Czesławice	4126	1319	181.4	37.4	63.7	0.0	93.1	35.2
3	Głębokie	842	203	63.5	7.4	59.5	1.1	18.1	18.1
4	Głubczyce	2919	969	127.2	35.5	60.7	5.6	26.8	26.8
5	Kawęczyn	55	54	61.1	2.9	51.8	1.6	0	0
6	Krościna Mała	1327	1276	61.0	7.1	52.2	0.5	0	0
7	Lućmierz	315	36	110.7	54.3	61.5	8.0	0	0
8	Marianowo	1743	948	53.3	1.4	52.1	0.1	0	0
9	Masłowice	650	203	65.3	9.4	51.7	1.7	10.6	10.6
10	Naroczyce	38	38	63.0	5.3	50.8	1.9	9.9	9.9
11	Nowa Wieś Ujska	65	65	51.9	1.7	50.3	1.1	10,1	10.1
12	Radostowo	3466	1428	58.6	1.9	53.0	0.2	0	0
13	Rarwino	108	108	53.5	3.3	52.8	1.1	0	0
14	Ruska Wieś	951	73	55.4	2.7	51.8	0.7	13.5	13.5
15	Rychliki	3230	2138	87.9	9.2	54.3	0.6	42.0	21.5
16	Seroczyn	731	731	78.1	15.0	54.6	3.4	27.6	27.6
17	Słupia	1116	474	107.3	27.7	53.6	3.7	36.9	36.9
18	Świebodzin	303	165	51.2	1.8	51.9	0.2	13.8	13.8
19	Tarnów	1213	14	89.1	28.5	54.8	4.5	0	0
20	Tomaszów Boles.	231	148	76.3	3.5	55.1	0.2	0	0
21	Węgrzce	927	451	86.9	7.2	56.5	3.3	20.1	20.1
22	Wróćkowo	1679	723	165.8	96.7	61.6	9.2	0	0
23	Wyczechy	645	288	83.0	24.0	56.7	5.4	0	0
24	Zadąbrowie	19269	6931	420.3	131.7	57.7	1.3	227.0	21.3
25	Zybiszów	1017	97	76.9	12.4	56.6	0.6	29.3	29.3
Mean Średnia		1970	-	96.2	-	55.2	-	23.9	-
Mean Średnia 'Bogatka'		1430	-	78.2	-	53.4	-	11.4	-
Mean Średnia 'Muszelka'		3770	-	114.2	-	56.9	-	36.3	-

<sup>a</sup> – sum of DNA of detected *Fusarium* species

<sup>a</sup> – suma DNA wykrytych gatunków *Fusarium*



Of the eight *Fusarium* species tested, five were detected in wheat grain. DNA of *F. equiseti*, *F. sporotrichioides* and *F. tricinctum* was not detected in any sample. The highest was the content of *F. graminearum* DNA (1252 pg/ $\mu$ g), then *F. avenaceum* (259 pg/ $\mu$ g), *F. langsethiae* (237 pg/ $\mu$ g) and *F. poae* (168 pg/ $\mu$ g) (Figure 3). The content of *F. culmorum* DNA (55 pg/ $\mu$ g) was very low.

The most frequently occurring species were

*F. poae* (detected in 74% of samples) and *F. graminearum* (detected in 52% of samples) (Figure 3). In 18% of samples *F. poae* was the only species found. *F. langsethiae* was detected in six samples (five from three locations in Northern Poland – Wyczechy, Radostowo, Rychliki). The concentration of *F. langsethiae* in these samples was relatively high (1972 pg/ $\mu$ g) as compared with an average for samples containing *F. graminearum* DNA (2235 pg/ $\mu$ g).

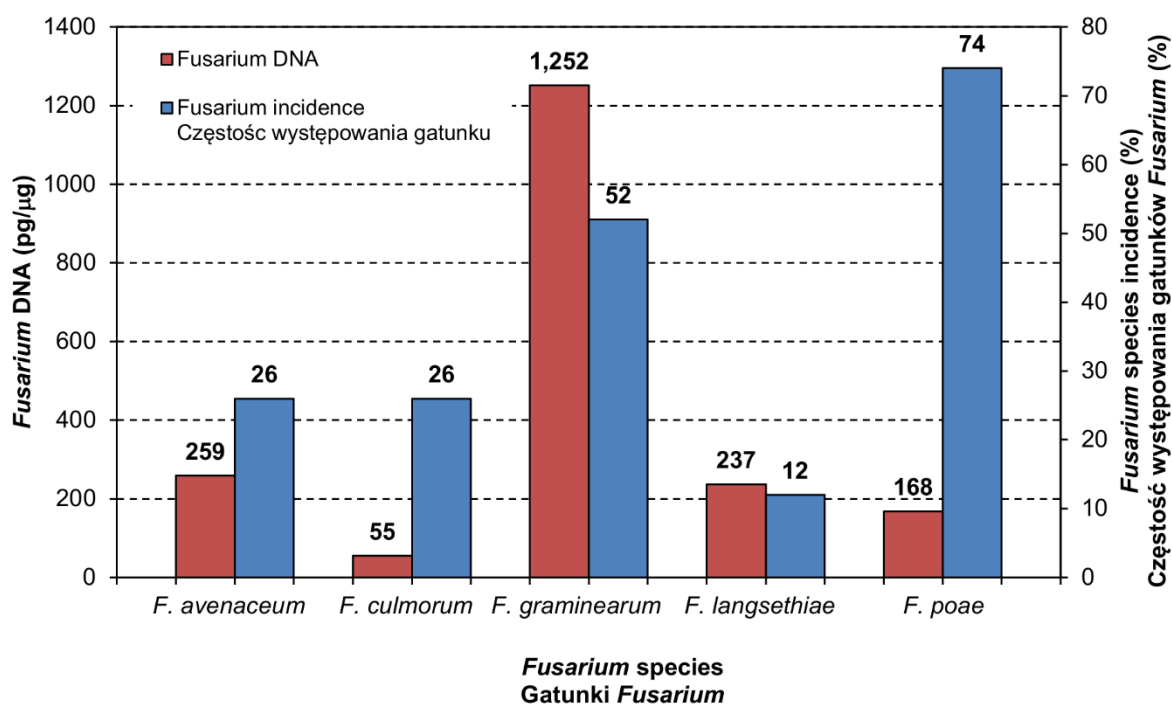


Figure 3. Average concentration of DNA (pg of fungal DNA/mg of wheat DNA) and incidence (percentages) of five *Fusarium* species in 50 samples of winter wheat collected in Poland in 2010

Rysunek 3. Średnie stężenie DNA (pg DNA *Fusarium*/μg DNA pszenicy) i częstość występowania (procent) pięciu gatunków *Fusarium* w 50 próbach pszenicy ozimej zebranych w Polsce w 2010 r.

*F. poae* was detected in all samples of medium resistant cultivar 'Bogatka' but only in 48% of samples of susceptible 'Muszelka'. Another species *F. avenaceum* was also found more frequently in the grain of 'Bogatka' (32%) than 'Muszelka' (20%). Three other species (*F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. langsethiae*) were detected in the grain of both cultivars with similar frequency.

Amounts of DNA of *Fusarium* species weakly correlated with each other. Only coefficient of correlation of *F. graminearum* with *F. culmorum* was statistically significant ( $r = 0.461$ ,  $p = 0.02$ ). Positive relationship was found between *F. avenaceum* and *F. culmorum* or *F. graminearum* ( $r = 0.306$ ,  $r = 0.162$ ) as DNA of the first species was mostly detected in the same locations as the other two

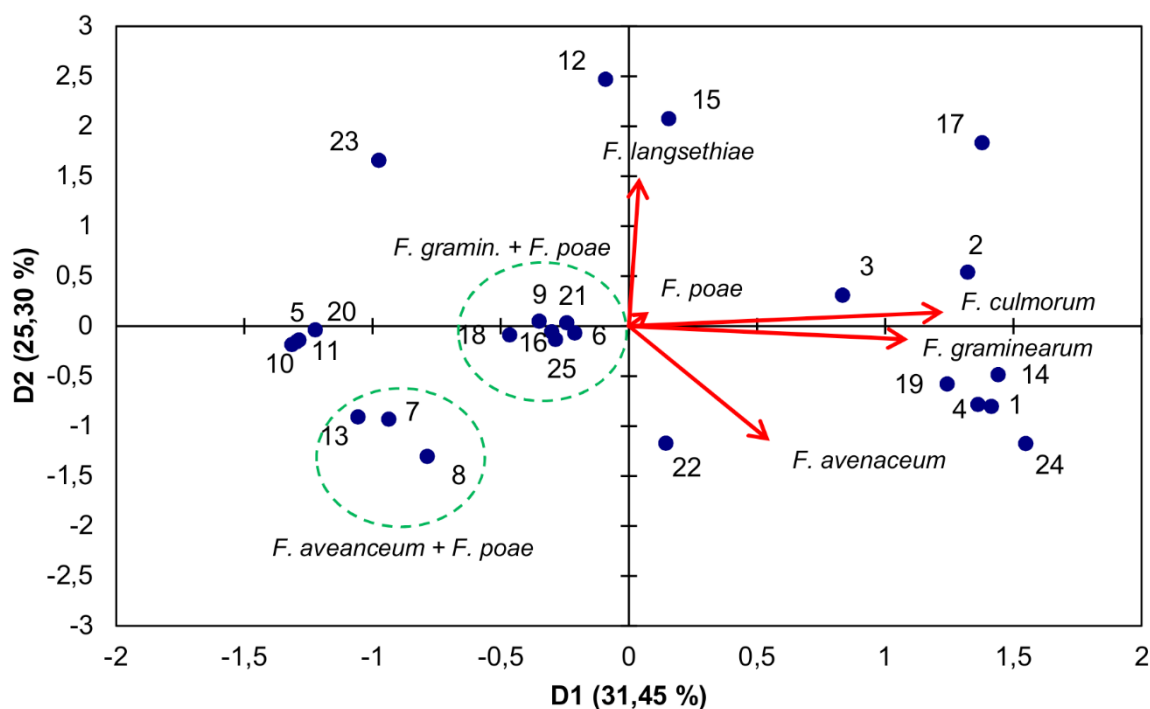
species – 1, 4, 14, 19, 22 (only *F. graminearum*), and 24. DNA of *F. langsethiae* did not correlate with other species, as it was found only in six samples. Otherwise, *F. poae* DNA did not correlate with other species because the species was present in the most of samples (74%) and in the most samples (except two) amounts of *F. poae* DNA were similar.

Biplot produced by PCA analysis on DNA concentration of five *Fusarium* species showed uneven distribution of these species in different locations (Figure 4). *F. culmorum* was present mostly in the same locations as *F. graminearum* (except 12). *F. avenaceum* was present in the same six locations as *F. culmorum* and *F. graminearum* (except 22, where only the second species was detected). In three locations (7, 8, 13) this species was

accompanied only by *F. poae*. As it was mentioned earlier, *F. langsethiae* was found in four locations (12, 15, 17, 23). In Słupia (17) it was accompanied

by *F. culmorum* and *F. graminearum*, in Radostowo (12) and Rychliki (15) by *F. culmorum* or *F. graminearum*, respectively.

**Biplot (axes D1 and D2: 56,75 %) after Varimax rotation**



**Figure 4.** Principal Component Analysis based on DNA of *Fusarium avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. langsethiae* and *F. poae* in grain samples of winter wheat collected from 25 locations in Poland in 2010. Location numbers correspond to those in table 3. Variables were log transformed prior to the analysis

**Rysunek 4.** Analiza składowych głównych dla zawartości DNA *Fusarium avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. langsethiae* i *F. poae* w próbach ziarna pszenicy ozimej zebranych z 25 lokalizacji w Polsce w 2010 roku. Numery lokalizacji odpowiadają numerom w Tabeli 3. Zmienne zostały przekształcone logarytmicznie przed analizą

Average content of DON was low and amounted to 96.2 µg/kg, at a range from 49.3 to 552.0 µg/kg (Table 3). The content of NIV was very low – 55.2 µg/kg, at a range 49.2 – 70.8 µg/kg. The average content of DON for ‘Bogatka’ was 78.2 µg/kg, and 114.2 µg/kg for ‘Muszelka’. Difference of DON content between cultivars was not statistically significant. The highest concentration of DON was found in samples of both cultivars from Zadąbrowie and Czesławice, South-Eastern Poland (Figure 1). High concentration of this toxin was also found in the samples of ‘Muszelka’ from Wróćkowo, Lućmierz and Głubczyce.

ZEN was detected in 12% of samples of ‘Bogatka’ and in 60% of samples of ‘Muszelka’ cultivars. Average content was 23.9 µg/kg and was 3 times higher in the grain of ‘Muszelka’ than in ‘Bogatka’. The difference in ZEN content between cultivars was statistically significant according to paired samples t-test. High concentration of ZEN was present in samples of ‘Muszelka’ and ‘Bogatka’

grain from Zadąbrowie (248 and 206 µg/kg, respectively) and in ‘Muszelka’ sample from Czesławice (128 µg/kg).

Six samples of the grain containing DNA of *F. langsethiae* were analyzed for T-2/HT-2 toxins. In all the samples, the total concentration of both mycotoxins was below detection limit of 35 µg/kg.

Amount of *Fusarium* DNA in grain correlated significantly with concentration of *Fusarium* toxins (DON, NIV, ZEN) (Table 3). *F. graminearum* DNA correlated significantly with DON and ZEN concentrations, whereas *F. culmorum* DNA with ZEN concentration only. DNA of *F. poae* did not correlate with DON and ZEN – toxins not produced by this species. There was some positive relationship between *F. poae* and NIV concentration. Summarized amount of *F. culmorum* and *F. graminearum* DNA did not improve the strength of correlation with the toxins. Correlation of NIV with *F. graminearum* + *F. poae* DNA (possible NIV producers) was statistically significant ( $r = 0.511$ ).

Table 3  
Tabela 3

Coefficients of correlation between concentration of DNA (pg/μg) of three *Fusarium* species and concentration (μg/kg) of mycotoxins DON, NIV and ZEN in grain of winter wheat cultivars ‘Bogatka’ and ‘Muszelka’ from 2010 harvest in 25 locations

Współczynniki korelacji między stężeniem DNA (pg/μg) trzech gatunków *Fusarium* a stężeniem (μg/kg) mykotoksyn DON, NIV i ZEN w ziarnach odmian pszenicy ozimej Bogatka i Muszelka ze zbiorów w 2010 r. w 25 lokalizacjach

n = 25	<i>Fusarium</i>	<i>Fg</i>	<i>Fc</i>	<i>Fg + Fc</i>	<i>F. poae</i>	DON	NIV	ZEN
DON	0.622	0.534	0.320	0.509	-			
NIV	0.467	0.381	0.242	0.354	0.300	0.695		
ZEN	0.400	0.672	0.406	0.658	-	0.438	0.186	
Toxins Toksyny	0.649	0.609	0.365	0.587	-0.035	0.974	0.643	0.612

Values in bold are different from 0 with a significance level of  $P \leq 0.05$ ; all variables were log transformed; *Fg* – *F. graminearum*, *Fc* – *F. culmorum*, toxins – sum of DON, NIV and ZEN.

Wartości pogrubione różnią się od 0 na poziomie istotności  $P \leq 0,05$ . Wszystkie zmienne zostały przekształcone logarytmicznie. *Fg* – *F. graminearum*, *Fc* – *F. culmorum*, toksyny – suma DON, NIV i ZEN.

Biplot produced by PCA analysis distinguished some locations based on concentrations of DNA of three *Fusarium* species and *Fusarium* toxins (Figure 5). In Zadąbrowie (24), we found the highest amount of DON and ZEN as well as amount of *F. graminearum* DNA. Grain from Czesławice (2) were characterized by the highest

amounts of *F. poae* DNA and NIV but also have high concentrations of the others toxins/DNA. On the other hand, in Słupia (17) concentration of *F. poae* DNA and NIV was low, but analysis showed high concentration of *F. culmorum* accompanied by moderate concentration of *F. graminearum* and DON.

Biplot (axes D1 and D2: 66,73 %) after Varimax rotation

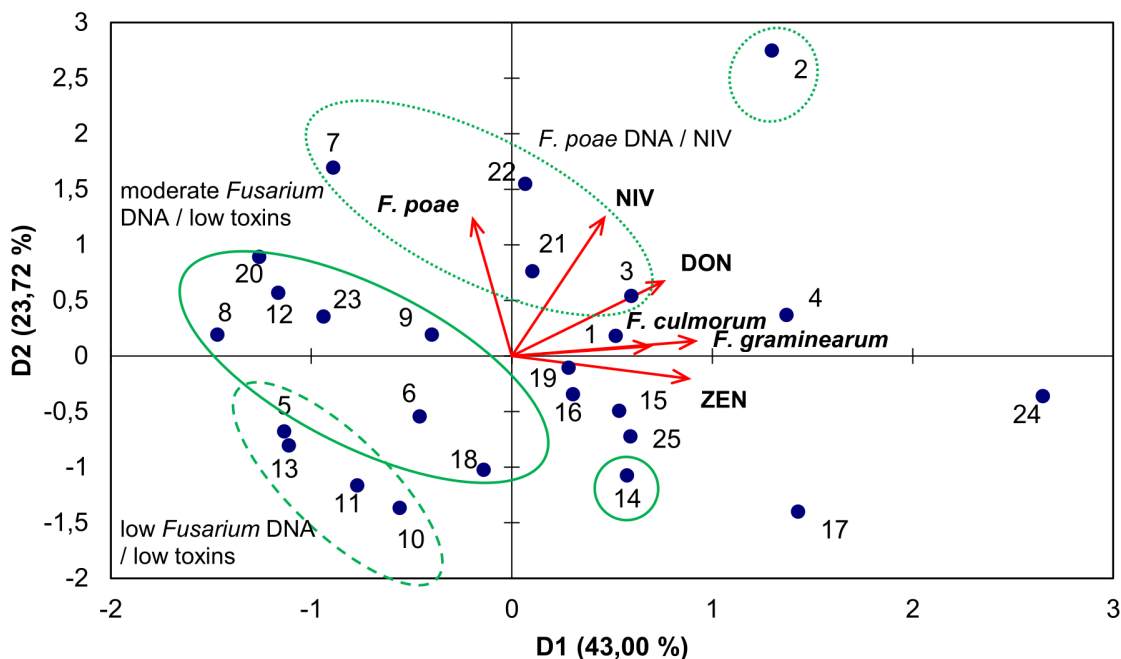


Figure 5. Principal Component Analysis based on DNA of *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* and *F. poae*, and concentration of *Fusarium* toxins (DON, NIV, ZEN) in grain samples of winter wheat collected from 25 locations in Poland in 2010. Location numbers correspond to these in table 3. Variables were log transformed prior to the analysis.

Rysunek 5. Analiza składowych głównych dla zawartości DNA *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* i *F. poae* oraz stężenia toksyn fuzaryjnych (DON, NIV, ZEN) w próbkach pszenicy ozimej pobranych z 25 miejsc w Polsce w 2010 r. Numery lokalizacji odpowiadają numerom w Tabeli 3. Zmienne zostały przekształcone logarytmicznie przed analizą.

In the four locations (5, 10, 11, 13) the concentration of DNA of three *Fusarium* species as well as the concentration of toxins were low. In another eight locations (Figure 5, solid line), concentration of toxins was low, but amount of *Fusarium* DNA varied from low (23) to high (6). In Ruska Wieś (14) we found the highest concentration of *F. culmorum* DNA (511.8 pg/μg). Five locations (2, 3, 7, 21, and 22) could be characterized by above average concentration of NIV and moderate to high concentration of *F. poae* DNA. This species was present at considerable amounts also in samples from other

locations (1, 8, 9, 12, 20) but NIV concentration was low.

In samples of the grain of spring and winter wheat collected from Radzików and neighboring Młochów we found more *Fusarium* DNA than in most samples of 'Bogatka' and 'Muszelka' (Table 4). The highest amount of DNA was present in samples of winter wheat 'Tonacja' and 'Zawisza' (6998 pg/μg and 5738 pg/μg, respectively). In spring wheat, it was lower, except for the sample of 'Raweta' from Radzików (Raweta R1) (5513 pg/μg).

Table 4  
Tabela 4

Concentration of DNA of four *Fusarium* species, and DON and NIV mycotoxins levels in grain of spring and winter wheat from 2010 harvest in Radzików (R) and Młochów (M)

Zawartość DNA czterech gatunków *Fusarium* oraz toksyn fuzaryjnych DON i NIV w ziarnie pszenicy jarej i ozimej z 2010 r. w Radzikowie (R) i Młochowie (M)

No. Lp.	Cultivar (location) Odmiana (lokalizacja)	<i>Fusarium</i> DNA (pg/μg)				<i>Fusarium</i> toxins (μg/kg) Toksyne fuzaryjne (μg/kg)	
		<i>Fa</i>	<i>Fc</i>	<i>Fg</i>	<i>Fp</i>	DON	NIV
1	Griwa (R) <sup>a</sup>	587	70	1146	262	60,8	50,4
2	Parabola (R) <sup>a</sup>	874	65	257	59	58,1	50,9
3	Raweta (R) <sup>a</sup>	0	57	379	58	61,6	50,0
4	Raweta (R1) <sup>a</sup>	3522	159	1671	161	92,1	51,1
5	Raweta (M) <sup>a</sup>	0	0	0	244	53,0	49,7
6	Tonacja (R)	3223	0	2566	434	64,6	52,3
7	Tonacja (M)	6169	0	0	829	54,5	50,9
8	Zawisza (R)	0	181	5441	116	135,3	52,6
	Mean Średnia	1797	67	1432	270	72,5	51,0

*Fa* = *F. avenaceum*, *Fc* = *F. culmorum*, *Fg* = *F. graminearum*, *Fp* = *F. poae*; <sup>a</sup> – spring wheat  
*Fa* = *F. avenaceum*, *Fc* = *F. culmorum*, *Fg* = *F. graminearum*, *Fp* = *F. poae*; <sup>a</sup> – pszenica jara

Four *Fusarium* species were detected in grain. *F. langsethiae* and *F. sporotrichioides* were not present. *F. avenaceum* dominated in three samples (on average 1797 pg/μg of DNA) and *F. graminearum* in three (1432 pg/μg). In one sample (Tonacja R) amounts of DNA of these species were similar. *F. poae* was present in all samples of winter wheat (270 pg/μg). In the grain of spring, wheat 'Raweta' from Młochów only this species was present. The concentration of *F. culmorum* DNA was generally the lowest of all species (67 pg/μg).

The concentration of trichothecene toxins was low (Table 4). ZEN amount was below limit of detection. The highest concentration of DON was found in the samples with high concentration of *F. graminearum* and *F. culmorum* DNA – Zawisza R and Raweta R1. The same was true

for NIV concentration in grain. No relation was found between *F. poae* and NIV; however, total concentration of *F. graminearum* and *F. poae* correlated the best with NIV amount.

## Discussion

Presence and concentration of *Fusarium* DNA in naturally infected wheat in two years of the study was generally in accordance with data on occurrence of *Fusarium* species on wheat in Poland. According to the published data, dominant species on wheat spikes and kernels were *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. avenaceum* and *F. poae* (Perkowski *et al.* 1990; Goliński *et al.* 1996; Bottalico and Perrone 2002; Stępień *et al.* 2008; Chełkowski *et al.* 2012; Wiśniewska *et al.* 2014; Kuzdraliński *et al.* 2017; Bilska *et al.* 2018; Iwaniuk *et al.* 2018). Proportions

of these four species changed depending on year and study as well as region of sampling. Other species were also detected were not present in all published results, for example *F. langsethiae* (Łukanowski & Sadowski 2008), *F. sporotrichioides* (Kuzdraliński

*et al.* 2017), *F. tricinctum* (Wiśniewska *et al.* 2014).

Weather in 2009 was more favorable for FHB development than in 2010, which is also reflected in the difference in amount of *Fusarium* DNA and mycotoxins (Table 5).

Table 5  
Tabela 5

Air temperature (°C) and sum of rainfall (mm) in May, June and July of 2009 and 2010 in Radzików and in 2010 in 25 locations

Temperatura powietrza (°C) i suma opadów (mm) w maju, czerwcu i lipcu 2009 i 2010 w Radzikowie i w 2010 w 25 miejscowościach

Month Miesiąc	25 locations (mean; range)			
	25 miejscowości (średnia; zakres)		Radzików	
	Rainfall	Temperature	Rainfall	Temperature
	Suma opadów	Temperatura	Suma opadów	Temperatura
<b>2009</b>				
May maj			71.8	13.7
June czerwiec			84.0	16.3
July lipiec			138.6	20.0
<b>2010</b>				
May maj	134.1 (74.5 — 227.8)	12.3 (8.7 — 14.7)	149.6	13.7
June czerwiec	59.0 (13.1 — 166.6)	16.8 (14.1 — 17.9)	64.6	17.8
July lipiec	110.4 (31.6 — 238.2)	20.9 (20.0 — 21.8)	131.6	21.7

In some regions (e.g., Radzików) in 2010, the drought conditions occurred in June and July with high temperatures and infrequent, heavy rainfalls. Despite differences in weather and limited number of samples in 2009, *F. graminearum* was occurring more frequently than *F. culmorum*. Amount of DNA of the first species was also higher in both years. While *F. culmorum* DNA was very low in 2010, we can conclude that dry weather is affecting to a large extent occurrence of this species (Scherm *et al.* 2013). In the Netherlands in 2009 incidence and amount of *F. culmorum* DNA was similarly low as in our study (van der Fels-Klerx *et al.* 2012). Authors found this species only in 2% of samples and DNA concentration was 80-times lower than for *F. graminearum*.

Tomczak *et al.* (2002) analyzed *Fusarium* species causing FHB epidemics in 1998 and 1999 in two regions of Poland. In 1998 in northern and central regions *F. avenaceum* dominated, being followed by *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* with similar frequency. In 1999, ranking of species was the same; however, frequency of *F. graminearum* was 3–5 times higher than

*F. culmorum*. Authors reminds that no *F. graminearum* was detected in the previous decade (1980's) in wheat grown in Northern Poland. Kuzdraliński *et al.* (2018) found dominance of *F. graminearum* in samples of wheat grain from South-Eastern Poland collected in 2013. *F. culmorum* was fifth species as regards frequency. Wiśniewska *et al.* (2014) found that *F. culmorum* was the most common species on strong infected heads of wheat in 2009. They analyzed samples from six locations, and only in two from Southern Poland *F. graminearum* prevailed over *F. culmorum*. Iwaniuk *et al.* (2018) observed variability in *F. culmorum* and *F. graminearum* frequency in grain of spring wheat collected in 2017 in North-Eastern Poland. First species dominated in two cultivars and the second in two others. Stępień and Chełkowski (2010) summarized frequencies of *Fusarium* species infecting wheat heads in Poland from 1985 to 2009. In 1985 *F. avenaceum* and *Microdochium nivale* dominated, *F. culmorum* being the third species. In 2009, *F. graminearum* dominated and *F. culmorum* was the second species with about half frequency of first species. Increase in *F. graminearum* was obvious;

however, differences between years were substantial. *F. culmorum* predominated in some localities in several studies. It may be explained by the influence of local weather conditions on the frequency of species. Variability of *Fusarium* species can be high even at the single field level (Xu *et al.* 2008b)

Sexual stage of *Fusarium graminearum* is *Gibberella zeae*, which produces sexual spores (ascospores) in perithecia (Desjardins 2003). For *F. culmorum* perfect stage is not known and fungus produces only asexual spores – macroconidia (Schermer *et al.* 2013). Thus *F. graminearum* can disperse and infect host plants with ascospores and macroconidia, whereas *F. culmorum* only with macroconidia. Nature of *F. graminearum* is the homothallic which allows the production of large masses of ascospores and effectively compete against *F. culmorum* (Waalwijk *et al.* 2003). In a German study, the important contribution of ascospores to inoculum pressure was emphasized (Obst *et al.* 2002). Ascospores required a relative humidity below 53%, whereas macroconidia required relative humidity of above 80% for germination, as was observed by Beyer *et al.* (Beyer *et al.* 2005). It can be another factor favoring *F. graminearum* over *F. culmorum* under dry conditions.

*Fusarium poae* was the most frequently species detected in grain (100% of samples in 2009 and 74% of samples in 2010). In 2010 in 9 samples out of 50 it was the only *Fusarium* species present. However, amount of *F. poae* DNA was about 10-times lower than *F. graminearum* DNA in dry 2010 year and up to 200 times lower in year 2009 of weather favorable for FHB. According to other reports *F. poae* was frequently isolated from wheat spikes and kernels in Poland (Goliński *et al.* 1996; Lenc *et al.* 2015; Kuzdrański *et al.* 2017; Iwaniuk *et al.* 2018). This is a weak pathogen of cereals, however, is widespread on wheat in Europe (Vogelgsang *et al.* 2008, 2019; Isebaert *et al.* 2009; Xu *et al.* 2003; Lindblad *et al.* 2013; Polišenská *et al.* 2021). Vogelgsang *et al.* (2019) in eight-year survey found similar pattern. The highest frequency of *F. graminearum* and *F. poae* in winter wheat, but 3-times higher amount of *F. graminearum*. Audenaert *et al.* (2009) observed dominance of *F. poae* in Flanders in 2007 and in 2008 it was isolated with lower frequency. In 2007, the infection pressure was very high as compared with 2008. The authors suggested that this is because *F. poae* was a secondary pathogen infecting the weakened heads. Additionally, high frequency of occurrence of *F. poae* was explained by its sporulation strategy. This species produces very large amounts of microconidia in a dry powdery

form that can easily invade cereal heads. It could be true for dry conditions and wind dispersal, because for splash dispersal Hörberg (2002) did not find any difference in patterns between *F. poae* microconidia and much larger macroconidia of *F. culmorum*. It is to add that *F. poae* as a weak pathogen was rarely isolated when only FHB symptomatic wheat kernels were analyzed (Bilska *et al.* 2018).

Xu *et al.* (2008a) associated *F. poae* with dry and warm weather conditions, whereas *F. graminearum* with warm/humid conditions. *F. avenaceum* and *F. culmorum* were both associated with niches of cooler/wet/humid conditions. This was confirmed for *F. poae* by Covarelli *et al.* (2013) but they observed that in dry season of 2009 *F. graminearum* was replaced by *F. poae* and also by *F. avenaceum*. Parikka *et al.* (2012) who expected increase of importance of *F. poae* (accompanied by *F. langsethiae*) in more dry conditions of Scandinavia stated the similar. Similarly, the results obtained by Chrpová *et al.* (2016) showed increase in *F. poae* occurrence in 2012 in Czech Republic. The weather in 2012 was warmer and drier than in the other studied years (2011, 2013). The weather conditions in the most regions of Poland in 2010 were dry and warm during and after flowering. Results showed that this favored *F. poae* spread on wheat. Only in the South/South-Eastern Poland weather was warm and humid, and *F. graminearum* dominated in the grain samples from this region.

Low *F. poae* DNA in the grain observed in our study could be explained by lower aggressiveness of this species as compared to *F. graminearum* (Vogelgsang *et al.* 2008; Stenglein 2009). It was also found that *F. poae* that predominated in wheat glumes was not detected in grain, which was infected by *F. culmorum*, *F. avenaceum* and *M. nivale* (Doohan *et al.* 1998). Authors did not detect *F. graminearum* in wheat samples (collected in England, UK in 1994) which is good example of later *Fusarium* species shift in Europe. Polley and Turner (Polley and Turner 1995) found that *F. poae* was associated with distinct glume spot lesions and was the most frequently isolated from glumes. Doohan (1998) supposed that the infection process and colonization by *F. poae* differs from that of other *Fusarium* species causing FHB.

*Fusarium poae* is known as NIV producer (Thrane *et al.* 2004; Schollenberger *et al.* 2006). Consequently, we detected NIV in most samples but at very low quantities. In Poland, NIV was found primarily in oats infected by *F. poae* (Perkowski *et al.* 1997). Edwards *et al.* (Edwards *et al.* 2012) found that correlation of nivalenol concentration

in oat grain and *F. poae* DNA was highly significant but only accounted for 9% of the variance. It showed that other species such as *F. graminearum* and *F. culmorum* were involved in NIV production. NIV chemotypes of these species are not frequent in Poland. Stępień *et al.* (2008) found that only 12% of *F. graminearum* isolates in Poland displayed the NIV chemotype.

Besides NIV, *F. poae* isolates were found to produce wide range of toxins including type A and B trichothecenes, beauvericin, enniatins, moniliformin, and others (Bottalico and Perrone 2002; Thrane *et al.* 2004; Uhlig *et al.* 2006; Stenglein 2009; Somma *et al.* 2010). The surveys of wheat harvested in Poland in 2006 and 2007 as well as in 2013 showed that increased importance of *F. poae* in the FHB complex in Poland (Kulik and Jestoi 2009; Wolny-Koładka *et al.* 2015).

In 1994 Norwegian researchers found “powdery *F. poae*” strains which were the most abundant potential producer of HT-2 and T-2 toxins in cereals (Kosiak *et al.* 2003). In 1999 these *F. poae* strains were proved to produce T-2 toxin (Torp and Langseth 1999). Strains originated mainly from Norwegian oats but were found also on wheat in Austria and the Netherlands. Further these strains were described as a new species *F. langsethiae* by Torp and Nierenberg (2004). The species was being found primarily in Northern Europe on oats and barley (Yli-Mattila *et al.* 2008; Edwards *et al.* 2012).

Occurrence of *F. langsethiae* on wheat in Poland was confirmed in 2008 (Lukanowski *et al.* 2008). This species was found mainly in Northern Poland (including Radostowo mentioned in present study), however it was present in some samples of wheat grain from Central Poland (Lukanowski and Sadowski 2008). In 2009 *F. langsethiae* was found on wheat grain in the Netherlands but at low level (8% of samples) (van der Fels-Klerx *et al.* 2012). Presence of *F. langsethiae* was detected by Czaban *et al.* (2015) in years 2008 – 2010 in South-Eastern Poland. Percentages of winter wheat kernels colonized by this species was low. It ranged from 0 to 2.9% in susceptible cultivar ‘Kris’ in 2010. In our research, we did not detect *F. langsethiae* in 2009, however limited number of samples was analyzed. In 2010, DNA of this species was found mainly in samples from Northern Poland and in only one from southern region at low concentration.

*F. langsethiae* and *F. poae* are favored by dry conditions (Supronienė *et al.* 2010; Parikka *et al.* 2012; Czaban *et al.* 2015), however it seems that the first species prefer lower temperatures than the former. Kokkonen *et al.* (2012) found

that *F. langsethiae* produced the highest amount of the type A trichothecenes at 15°C, whereas *F. poae* could produce beauvericin at both cool and warm conditions.

Deoxynivalenol (DON) was the toxin which amount was the highest in the analysed grain samples. In their review, Perkowski *et al.* (2004) summarized results of several papers on mycotoxins in cereal grain in Poland. Amounts of DON detected in wheat grain were similar to these in present work in 2010, but lower than in 2009. DON concentration in 2009 and 2010 was similar to that detected by Czaban *et al.* (2015) in four winter wheat cultivars in the same years. Authors found DON mainly in the grain from 2009 and in 2010, DON was present only in small concentrations. In 2017 (moist season) and 2018 (dry season), Bryła *et al.* (2019) observed similar pattern of DON concentration: low in 2018 and high in 2017. Lindblad *et al.* (2013) found similar amounts of DON in grain of winter wheat collected in Sweden in 2009 and 2011. We detected higher amounts of DON, especially in 2009. In 2010, it was also higher, however did not exceeded the legislative limit of 1250 µg/kg like in Swedish samples in 2011.

DON accumulation was closely associated with the presence of *F. graminearum* (Bryła *et al.* 2015; Lindblad *et al.* 2013). Coefficient was very high in 2009, because of high DON accumulation and high *F. graminearum* DNA amount in grain. In this year DON concentration correlated strongly also with *F. culmorum* DNA despite its low concentration in the most of samples. In 2010, coefficients were lower and significant only for *F. graminearum*.

Nivalenol (NIV) accumulation was much lower than DON and amounts was comparable to detected by Bryła *et al.* (2015) in 2017 and 2018. Its concentration was significantly associated with the presence of *F. graminearum* and *F. poae* in 2009. In 2010, coefficients were insignificant but positive for all three possible NIV producers: *F. culmorum*, *F. graminearum* and *F. poae*. Xu *et al.* (2003) studied wheat grain samples harvested in 2001 from UK, Ireland, Italy, and Hungary. They did not find quantitative relationships between amount of *Fusarium* DNA and the concentration of the mycotoxins in the grain. However, for total *F. graminearum* and *F. culmorum* DNA and DON concentration linear model was nearly significant. In the next survey (Xu *et al.* 2008a) they studied *Fusarium* species frequency and mycotoxin content in wheat samples from the same countries over two years (2003–2004). They found DON being

the most frequently detected toxin. DON amount correlated strongly with *F. graminearum* DNA. NIV was related significantly only to the amount of *F. culmorum* DNA. As regards ZEN, authors found strong association with both *F. culmorum* and *F. graminearum*. In 2005 in Poland, the highest amount of ZEN was found in wheat grain infected by *F. graminearum* (Gromadzka *et al.* 2008). In grain where *F. culmorum* was the main pathogen, ZEN content was 10-times lower. We found higher amounts of ZEN in both 2009 and 2010 comparing with results obtained by Czaban *et al.* (2015) for the same years (all values below LOD = 10 µg/kg). However, ZEN content was very diverse and high in individual samples (above 100 µg/kg).

### Conclusions

1. The most common species detected in wheat grain in 2009 was *F. graminearum* and *F. poae* in 2010. The highest DNA content in wheat grain in both years was found for *F. graminearum*.
2. *F. graminearum* DNA was detected in 100% of the grain samples in 2009 and in 50% of the samples in 2010.
3. In 2010 *F. culmorum* DNA was detected only in 25% of the grain samples and content of DNA of this species was low.
4. DNA of *F. langsethiae* was detected in 2010 mainly in the grain samples originating from Northern Poland.
5. Deoxynivalenol (DON) was detected in the most grain samples.
6. DON amount in the grain was higher in 2009 than in 2010.
7. DON accumulation in the grain was significantly correlated with the presence of *F. graminearum* DNA.

### References

Audenaert, K., van Broeck, R., van Bekaert, B., de Witte, F., Heremans, B., Messens, K., Höfte, M., & Haesaert, G. (2009). *Fusarium* head blight (FHB) in Flanders: population diversity, inter-species associations and DON contamination in commercial winter wheat varieties. *European Journal of Plant Pathology*, 125 (3), 445–458.

Beyer, M., Verreet, J.-A., & Ragab, W. S. M. (2005). Effect of relative humidity on germination of ascospores and macroconidia of *Gibberella zeae* and deoxynivalenol production. *International Journal of Food Microbiology*, 98 (3), 233–240.

Bilska, K., Jurczak, S., Kulik, T., Ropelewska, E., Olszewski, J., Żelechowski, M., & Zapotoczny, P. (2018). Species composition and trichothecene genotype profiling

of *Fusarium* field isolates recovered from wheat in Poland. *Toxins*, 10 (8), 325.

Birr, T., Hasler, M., Verreet, J.-A. & Klink, H. (2020) Composition and predominance of *Fusarium* species causing *Fusarium* head blight in winter wheat grain depending on cultivar susceptibility and meteorological factors. *Microorganisms*, 8, 617.

Birzele, B., Meier, A., Hindorf, H., Krämer, J., & Dehne, H. W. (2002). Epidemiology of *Fusarium* infection and deoxynivalenol content in winter wheat in the Rhineland, Germany. *European Journal of Plant Pathology*, 108, 667–673.

Bottalico, A., & Perrone, G. (2002). Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 108, 611–624.

Bryła, M., Ksieniewicz-Woźniak, E., Yoshinari, T., Waśkiewicz, A., & Szymczyk, K. (2019). Contamination of wheat cultivated in various regions of Poland during 2017 and 2018 agricultural seasons with selected trichothecenes and their modified forms. *Toxins*, 11 (2), 88.

Chandelier, A., Nimal, C., André, F., Planchon, V., & Oger, R. (2011). *Fusarium* species and DON contamination associated with head blight in winter wheat over a 7-year period (2003–2009) in Belgium. *European Journal of Plant Pathology*, 130 (3), 403–414.

Chełkowski, J., Gromadzka, K., Stępień, Ł., Lenc, L., Kostecki, M., & Berthiller, F. (2012). *Fusarium* species, zearalenone and deoxynivalenol content in preharvest scabby wheat heads from Poland. *World Mycotoxin Journal*, 5 (2), 133–141.

Chrpová, J., Šíp, V., Sumíková, T., Salava, J., Palicová, J., Štočková, L., Džuman, Z., & Hajšlová, J. (2016). Occurrence of *Fusarium* species and mycotoxins in wheat grain collected in the Czech Republic. *World Mycotoxin Journal*, 9 (2), 317–327.

Covarelli, L., Beccari, G., Prodi, A., Generotti, S., Etruschi, F., Juan, C., Ferrer, E., & Mañes, J. (2015). *Fusarium* species, chemotype characterisation and trichothecene contamination of durum and soft wheat in an area of central Italy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95 (3), 540–551.

Czaban, J., Wróblewska, B., Sułek, A., Mikos, M., Boguszewska, E., Podolska, G., & Nieróbca, A. (2015). Colonisation of winter wheat grain by *Fusarium* spp. and mycotoxin content as dependent on a wheat variety, crop rotation, a crop management system and weather conditions. *Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 32 (March), 799–807.

Desjardins, A. E. (2003). *Gibberella* from *A* (*venetae*) to *Z* (*aeae*). *Annual Review of Phytopathology*, 41, 177–198.



- Dinolfo, M. I., & Stenglein, S. A. (2014). *Fusarium poae* and mycotoxins: Potential risk for consumers. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 49 (1), 5–20.
- Doohan, F. M., Parry, D. W., Jenkinson, P., & Nicholson, P. (1998). The use of species-specific PCR-based assays to analyse *Fusarium* ear blight of wheat. *Plant Pathology*, 47 (2), 197–205.
- Edwards, S. G., Imathiu, S. M., Ray, R. V., Back, M., & Hare, M. C. (2012). Molecular studies to identify the *Fusarium* species responsible for HT-2 and T-2 mycotoxins in UK oats. *International Journal of Food Microbiology*, 156 (2), 168–175.
- Gagkaeva, T., Gavrilova, O., Orina, A., Lebedin, Y., Shanin, I., Petukhov, P., & Eremin, S. (2019). Analysis of toxigenic *Fusarium* species associated with wheat grain from three regions of Russia: Volga, Ural, and West Siberia. *Toxins*, 11 (5).
- Giraud, F., Pasquali, M., El Jarroudi, M., Vrancken, C., Brochot, C., Cocco, E., Hoffmann, L., Delfosse, P., & Bohn, T. (2010). *Fusarium* head blight and associated mycotoxin occurrence on winter wheat in Luxembourg in 2007/2008. *Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 27 (6), 825–835.
- Goliński, P., Perkowski, J., Kostecki, M., Grabarkiewicz-Szczęsna, J., & Chełkowski, J. (1996). *Fusarium* species and *Fusarium* toxins in wheat in Poland – a comparison with neighbour countries. *Sydowia*, 48 (1), 12–22.
- Gromadzka, K., Chełkowski, J., Stępień, Ł., & Goliński, P. (2008). Occurrence of zearalenone in wheat and maize grain in Poland. *Cereal Research Communications*, 36 (Supplement 6), 361–363.
- Hofgaard, I. S., Aamot, H. U., Torp, T., Jestoi, M., Lattanzio, V. M. T., Klemsdal, S. S., Waalwijk, C., van der Lee, T., & Brodal, G. (2016). Associations between *Fusarium* species and mycotoxins in oats and spring wheat from farmers' fields in Norway over a six-year period. *World Mycotoxin Journal*, 9 (3), 365–378.
- Hörberg, H. M. (2002). Patterns of splash dispersed conidia of *Fusarium poae* and *Fusarium culmorum*. *European Journal of Plant Pathology*, 108, 73–80.
- Horevaj, P., Milus, E. A., & Bluhm, B. H. (2011). A real-time qPCR assay to quantify *Fusarium graminearum* biomass in wheat kernels. *Journal of Applied Microbiology*, 111 (2), 396–406.
- Imathiu, S. M., Edwards, S. G., Ray, R. V., & Back, M. A. (2013). *Fusarium langsethiae* – a HT-2 and T-2 toxins producer that needs more attention. *Journal of Phytopathology*, 161 (1), 1–10.
- Isebaert, S., De Saeger, S., Devreese, R., Verhoeven, R., Maene, P., Heremans, B., & Haesaert, G. (2009). Mycotoxin-producing *Fusarium* species occurring in winter wheat in Belgium (Flanders) during 2002–2005. *Journal of Phytopathology*, 157 (2), 108–116.
- Iwaniuk, P., Konecki, R., Snarska, K., & Łozowicka, B. (2018). Quantitative evaluation of *Fusarium* species and crop quality traits in wheat varieties of northeastern Poland. *Journal of Plant Protection Research*, 58 (4), 413–419.
- Jestoi, M. N., Paavanen-Huhtala, S., Parikka, P., & Yli-Mattila, T. (2008). In vitro and in vivo mycotoxin production of *Fusarium* species isolated from Finnish grains. *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*, 41 (8), 545–558.
- Kokkonen, M., Jestoi, M., & Laitila, A. (2012). Mycotoxin production of *Fusarium langsethiae* and *Fusarium sporotrichioides* on cereal-based substrates. *Mycotoxin Research*, 28 (1), 25–35.
- Kosiak, B., Torp, M., Skjerve, E., & Thrane, U. (2003). The prevalence and distribution of *Fusarium* species in Norwegian cereals: a survey. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 53 (4), 168–176.
- Kulik, T., & Jestoi, M. (2009). Quantification of *Fusarium poae* DNA and associated mycotoxins in asymptotically contaminated wheat. *International Journal of Food Microbiology*, 130 (3), 233–237.
- Kuzdraliński, A., Nowak, M., Szerbera, H., Dudziak, K., Muszyńska, M., & Leśniowska-Nowak, J. (2017). The composition of *Fusarium* species in wheat husks and grains in south-eastern Poland. *Journal of Integrative Agriculture*, 16 (7), 1530–1536.
- Laszlo, E., Varga, B., & Veisz, O. (2011). Composition of *Fusarium* species causing natural spike infection in wheat. *Acta Agronomica Hungarica*, 59 (3), 255–260.
- Lenc, L., Czecholiński, G., Wyczling, D., Turów, T., & Kaźmierczak, A. (2015). *Fusarium* head blight (FHB) and *Fusarium* spp. on grain of spring wheat cultivars grown in Poland. *Journal of Plant Protection Research*, 55 (3), 266–277.
- Lindblad, M., Gidlund, A., Sulyok, M., Börjesson, T., Krska, R., Olsen, M., & Fredlund, E. (2013). Deoxynivalenol and other selected *Fusarium* toxins in Swedish wheat — Occurrence and correlation to specific *Fusarium* species. *International Journal of Food Microbiology*, 167 (2), 284–291.
- Lukanowski, A., Lenc, L., & Sadowski, C. (2008). First Report on the occurrence of *Fusarium langsethiae* isolated from wheat kernels in Poland. *Plant Disease*, 92 (3), 488–488.
- Lukanowski, A., & Sadowski, C. (2008). *Fusarium langsethiae* on kernels of winter wheat in Poland — Occurrence and mycotoxigenic abilities. *Cereal Research Communications*, 36, 453–457. <https://doi.org/10.1556/CRC.36.2008.Suppl.B.40>
- Maiorano, A., Blandino, M., Reyneri, A., & Vanara, F. (2008). Effects of maize residues on the *Fusarium* spp. infection and deoxynivalenol (DON) contamination of wheat grain. *Crop Protection*, 27 (2), 182–188.
- Miller, J. D. (2008). Mycotoxins in small grains and maize:


- old problems, new challenges. *Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 25 (2), 219–230.
- Nicolaisen, M., Suproniene, S., Nielsen, L. K., Lazzaro, I., Spliid, N. H., & Justesen, A. F. (2009). Real-time PCR for quantification of eleven individual *Fusarium* species in cereals. *Journal of Microbiological Methods*, 76 (3), 234–240.
- Nielsen, L. K., Jensen, J. D., Nielsen, G. C., Jensen, J. E., Spliid, N. H., Thomsen, I. K., Justesen, A. F., Collinge, D. B., & Jørgensen, L. N. (2011). *Fusarium* head blight of cereals in Denmark: species complex and related mycotoxins. *Phytopathology*, 101 (8), 960–969.
- Nielsen, L. K., Justesen, A. F., Jensen, J. D., & Jørgensen, L. N. (2013). *Microdochium nivale* and *Microdochium majus* in seed samples of Danish small grain cereals. *Crop Protection*, 43, 192–200.
- Niessen, L. (2007). PCR-based diagnosis and quantification of mycotoxin producing fungi. *International Journal of Food Microbiology*, 119, 38–46.
- Obst, A., Gunther, B., Beck, R., Lepschy-von Gleissenthall, J., & Tischner, H. (2002). Weather conditions conducive to *Gibberella zeae* and *Fusarium graminearum* head blight of wheat. *Journal of Applied Genetics*, 43A, 185–192.
- Obst, A., Lepschy-von Gleissenthall, J., & Beck, R. (1997). On the etiology of *Fusarium* head blight of wheat in south Germany – preceding crops, weather conditions for inoculum production and head infection, proneness of the crop to infection and mycotoxin production. *Cereal Research Communications*, 25 (3), 699–703.
- Parikka, P., Hakala, K., & Tiilikkala, K. (2012). Expected shifts in *Fusarium* species' composition on cereal grain in Northern Europe due to climatic change. *Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 29 (10), 1543–1555.
- Parry, D. W., Jenkinson, P., & McLeod, L. (1995). *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals—a review. *Plant Pathology*, 44 (2), 207–238.
- Perkowski J., Chelkowski J., Goliński P. (2004) Occurrence of mycotoxins in cereals, plants, foods and feeds in Poland. In: Logrieco A., Visconti A. (eds) An Overview on Toxigenic Fungi and Mycotoxins in Europe. Springer, Dordrecht.
- Perkowski, J., Plattner, R. D., Golinski, P., Vesonder, R. F., & Chelkowski, J. (1990). Natural occurrence of deoxynivalenol, 3-acetyl-deoxynivalenol, 15-acetyl-deoxynivalenol, nivalenol, 4,7-dideoxynivalenol, and zearalenone in Polish wheat. *Mycotoxin Research*, 6, 7–12.
- Perkowski, J., Stachowiak, J., Kiecana, I., Golinski, P., & Chelkowski, J. (1997). Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in Polish cereals. *Cereal Research Communications*, 25 (3), 379–380.
- Polišenská, I., Jirsa, O., Salava, J., Sedláčková, I., & Frydrych, J. (2021). *Fusarium* mycotoxin content and *Fusarium* species presence in Czech organic and conventional wheat. *World Mycotoxin Journal*, 14 (2), 201–211.
- Polley, R. W., & Turner, J. A. (1995). Surveys of stem base diseases and fusarium ear diseases in winter wheat in England, Wales and Scotland, 1989–1990. *Annals of Applied Biology*, 126 (1), 45–59.
- Scherm, B., Balmas, V., Spanu, F., Pani, G., Delogu, G., Pasquali, M., & Migheli, Q. (2013). *Fusarium culmorum*: causal agent of foot and root rot and head blight on wheat. *Molecular Plant Pathology*, 14 (4), 323–341.
- Schollenberger, M., Müller, H. M., Rühle, M., Suchy, S., Plank, S., & Drochner, W. (2006). Natural occurrence of 16 *Fusarium* toxins in grains and feedstuffs of plant origin from Germany. *Mycopathologia*, 161 (1), 43–52.
- Somma, S., Alvarez, C., Ricci, V., Ferracane, L., Ritieni, A., Logrieco, A., & Moretti, A. (2010). Trichothecene and beauvericin mycotoxin production and genetic variability in *Fusarium poae* isolated from wheat kernels from northern Italy. *Food Additives and Contaminants – Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 27 (5), 729–737.
- Stenglein, S. A. (2009). *Fusarium poae*: A pathogen that needs more attention. *Journal of Plant Pathology*, 91 (1), 25–36.
- Stępień, L., & Chelkowski, J. (2010). *Fusarium* head blight of wheat: pathogenic species and their mycotoxins. *World Mycotoxin Journal*, 3 (2), 107–119.
- Stępień, L., Popiel, D., Koczyk, G., & Chelkowski, J. (2008). Wheat-infecting *Fusarium* species in Poland – Their chemotypes and frequencies revealed by PCR assay. *Journal of Applied Genetics*, 49 (4), 433–441.
- Sundheim, L., Brodal, G., Hofgaard, I. S., & Rafoss, T. (2013). Temporal variation of mycotoxin producing fungi in Norwegian cereals. *Microorganisms*, 1 (1), 188–198.
- Supronienė, S., Justesen, A. F., Nicolaisen, M., Mankevičienė, A., Dabkevičius, Z., Semaskiene, R., & Leistrumaitė, A. (2010). Distribution of trichothecene and zearalenone producing *Fusarium* species in grain of different cereal species and cultivars grown under organic farming conditions in Lithuania. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 17 (1), 79–86.
- Supronienė, S., Sakalauskas, S., Mankevičienė, A., Barčauskaitė, K., & Jonavičienė, A. (2016). Distribution of B type trichothecene producing *Fusarium* species in wheat grain and relation to mycotoxins DON and NIV concentrations. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103 (3), 281–288.
- Talas, F., Parzies, H. K., & Miedaner, T. (2011). Diversity in genetic structure and chemotype composition of *Fusarium graminearum* sensu stricto populations causing wheat head blight in individual fields in Germany. *European Journal of Plant Pathology*, 131 (1), 39–48.
- Thrane, U., Adler, A., Clasen, P.-E., Galvano, F., Langseth, W., Lew, H., Logrieco, A., Nielsen, K. F., & Ritieni, A.

- (2004). Diversity in metabolite production by *Fusarium langsethiae*, *Fusarium poae*, and *Fusarium sporotrichioides*. *International Journal of Food Microbiology*, 95 (3), 257–266.
- Tomczak, M., Wiśniewska, H., Stępień, Ł., Kostecki, M., Chelkowski, J., & Goliński, P. (2002). Deoxynivalenol, nivalenol and moniliformin in wheat samples with head blight (scab) symptoms in Poland (1998–2000). *European Journal of Plant Pathology*, 108 (7), 625–630.
- Torp, M., & Langseth, W. (1999). Production of T-2 toxin by a *Fusarium* resembling *Fusarium poae*. *Mycopathologia*, 147 (2), 89–96.
- Torp, M., & Nirenberg, H. I. (2004). *Fusarium langsethiae* sp. nov. on cereals in Europe. *International Journal of Food Microbiology*, 95, 247–256.
- Uhlig, S., Jestoi, M., & Parikka, P. (2007). *Fusarium avenaceum* – the North European situation. *International Journal of Food Microbiology*, 119 (1–2), 17–24.
- Uhlig, S., Torp, M., & Heier, B. T. (2006). Beauvericin and enniatins A, A1, B and B1 in Norwegian grain: A survey. *Food Chemistry*, 94 (2), 193–201.
- Vaughan, M., Backhouse, D., & Del Ponte, E. M. (2016). Climate change impacts on the ecology of *Fusarium graminearum* species complex and susceptibility of wheat to Fusarium head blight: A review. *World Mycotoxin Journal*, 9 (5), 685–700.
- van der Fels-Klerx, H. J., de Rijk, T. C., Booiij, C. J. H., Goedhart, P. W., Boers, E. A. M., Zhao, C., Waalwijk, C., Mol, H. G. J., & van der Lee, T. A. J. (2012). Occurrence of Fusarium head blight species and *Fusarium* mycotoxins in winter wheat in the Netherlands in 2009. *Food Additives and Contaminants – Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 29 (11), 1716–1726.
- Vogelgsang, S., Beyer, M., Pasquali, M., Jenny, E., Musa, T., Bucheli, T. D., Wettstein, F. E., & Forrer, H. R. (2019). An eight-year survey of wheat shows distinctive effects of cropping factors on different *Fusarium* species and associated mycotoxins. *European Journal of Agronomy*, 105, 62–77.
- Vogelgsang, S., Sulyok, M., Hecker, A., Jenny, E., Krska, R., Schuhmacher, R., & Forrer, H. R. (2008). Toxicogenicity and pathogenicity of *Fusarium poae* and *Fusarium avenaceum* on wheat. *European Journal of Plant Pathology*, 122 (2), 265–276.
- Waalwijk, C., Kastelein, P., De Vries, I., Kerényi, Z., Van Der Lee, T., Hesselink, T., Köhl, J., & Kema, G. (2003). Major changes in *Fusarium* spp. in wheat in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology*, 109 (7), 743–754.
- Waalwijk, C., van der Heide, R., de Vries, I., van der Lee, T., Schoen, C., Costrel-de Corainville, G., Häuser-Hahn, I., Kastelein, P., Köhl, J., Lonnet, P., Demarquet, T., & Kema, G. H. J. (2004). Quantitative detection of *Fusarium* species in wheat using TaqMan. *European Journal of Plant Pathology*, 110 (5–6), 481–494.
- Wiśniewska, H., Stępień, Ł., Waśkiewicz, A., Beszterda, M., Góral, T., & Belter, J. (2014). Toxicogenic *Fusarium* species infecting wheat heads in Poland. *Central European Journal of Biology*, 9 (2), 163–172.
- Wolny-Koladka, K., Lenart-Boroń, A., & Boroń, P. (2015). Species composition and molecular assessment of the toxicogenic potential in the population of *Fusarium* spp. isolated from ears of winter wheat in southern Poland. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 144, 139–144.
- Xu, X.-M., Nicholson, P., Thomsett, M. A., Simpson, D., Cooke, B. M., Doohan, F. M., Brennan, J., Monaghan, S., Moretti, A., Mule, G., Hornok, L., Beki, E., Tatnell, J., Ritieni, A., & Edwards, S. G. (2008). Relationship between the fungal complex causing Fusarium head blight of wheat and environmental conditions. *Phytopathology*, 98 (1), 69–78.
- Xu, X. M., Parry, D. W., Nicholson, P., Thomsett, M. A., Simpson, D., Edwards, S. G., Cooke, B. M., Doohan, F. M., Brennan, J. M., Moretti, a., Tocco, G., Mule, G., Hornok, L., Giczey, G., & Tatnell, J. (2005). Predominance and association of pathogenic fungi causing Fusarium ear blight in wheat in four European countries. *European Journal of Plant Pathology*, 112 (2), 143–154.
- Xu, X. M., Parry, D. W., Nicholson, P., Thomsett, M. A., Simpson, D., Edwards, S. G., Cooke, B. M., Doohan, F. M., Monaghan, S., Moretti, A., Tocco, G., Mule, G., Hornok, L., Béki, E., Tatnell, J., & Ritieni, A. (2008). Within-field variability of Fusarium head blight pathogens and their associated mycotoxins. *European Journal of Plant Pathology*, 120 (1), 21–34.
- Xu, X., & Nicholson, P. (2009). Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight. *Annual Review of Phytopathology*, 47 (1), 83–103.
- Xu, X., Parry, D. W., Nicholson, P., Thomsett, M. A., Simpson, D., Edwards, S. G., Cooke, B. M., Doohan, F. M., Van Maanen, A., Moretti, A., Tocco, G., Mule, G., Hornok, L., Giczey, G., Tatnell, J., & Ritieni, A. (2003). Is the amount of mycotoxins in cereal grains related to the quantity of *Fusarium* DNA? *Aspects of Applied Biology*, 68, 101–108.
- Xue, A. G., Chen, Y., Seifert, K., Guo, W., Blackwell, B. A., Harris, L. J., & Overy, D. P. (2019). Prevalence of *Fusarium* species causing head blight of spring wheat, barley and oat in Ontario during 2001–2017. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 41 (3), 392–402.
- Yli-Mattila, T., Paavanen-Huhtala, S., Jestoi, M., Parikka, P., Hietaniemi, V., Gagkaeva, T., Sarlin, T., Haikara, A., Laaksonen, S., & Rizzo, A. (2008). Real-time PCR detection and quantification of *Fusarium poae*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides* and *F. langsethiae* in cereal grains in Finland and Russia. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 41 (4), 243–260.

# Stan i perspektywy produkcji nasiennej roślin bobowatych grubonasiennych w Polsce

The condition and perspectives of seed production of grain legumes in Poland

Tadeusz Oleksiak  , Dagmara Bronisz 

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy  
 t.oleksiak@ihar.edu.pl

Na podstawie danych o produkcji ziarna i trendów w produkcji nasiennej analizowano stan i perspektywy rynku nasiennego roślin bobowatych grubonasiennych. Przeprowadzono analizę zmian powierzchni upraw, wielkości produkcji w wieloletnim okresie 1990–2019 i oceniono możliwości wzrostu produkcji nasion.

Określono udział kwalifikowanego materiału siewnego (KMS) stosowanego w produkcji bobowatych i wielkość zapotrzebowania na materiał siewny w zależności od rozwoju produkcji paszowej wykorzystującej nasiona tych roślin. Uwzględniając ceny materiału siewnego oceniono rzeczywistą oraz potencjalną wartość rynku nasiennego. Oceniono możliwości dalszego rozwoju produkcji nasiennej bobowatych grubonasiennych w zależności od zmieniającego się zapotrzebowania na nasiona roślin bobowatych.

**Słowa kluczowe:** rośliny bobowate grubonasienne, produkcja rolna, rynek nasienny

Based on production data and trends in seed production, the state and prospects of the seed market of grain legumes were analyzed. Changes in the cultivated area and production volume of these plants over the years 1990–2019 were analyzed, together with an assessment of the potential for their seed production growth.

The share of certified seed (CS) used in the production of grain legumes and the demand for seeds in relation to the development of the domestic production of fodder plant protein were determined. Taking into account the prices of seeds, the actual and potential value of the seed market was assessed. The possibilities of further development of grain legume seed production were estimated depending on the changing demand for domestic legume seeds.

**Key words:** grain legumes, agricultural production, seed market

## Wstęp

O znaczeniu gospodarczym roślin bobowatych grubonasiennych decyduje przede wszystkim wysoka zawartość białka w nasionach. Stanowiąc one cenny komponent białkowy pożywienia człowieka oraz podstawowe źródło tego surowca do produkcji pasz dla zwierząt. Szczególnie istotne jest to w sytuacji pogłębiającego się deficytu krajowych zasobów pasz wysokobiałkowych. Zdolności wiązania azotu atmosferycznego i dodatni bilans reprodukcji materii organicznej mogą być także czynnikiem odgrywającym znaczącą rolę w produkcji roślinnej, polepszając wartość stanowiska w zmianowaniu. Poprawiają strukturę i zawartość próchnicy w glebie, a ich głęboki system korzeniowy umożliwia pobranie składników, które zostały wymyte w głąb profilu glebowego. Dzięki temu są bardzo dobrym przedplonem zapewniając wysokie plonowanie uprawianych po nich zbóż przy obniżonych dawkach nawozów azotowych. Uprawa roślin bobowatych

umożliwia ograniczenie stosowania nawozów pochodzenia mineralnego nawet o 20–25%, co ma znaczenie zarówno ekologiczne jak i ekonomiczne (Prusiński, Kaszkowiak i Borowska, 2018). Według szacunków Komisji Europejskiej (2018) włączenie ich do długoterminowego systemu płodozmianu skutkuje wzrostem plonowania roślin następczych o 10%. W badaniach prowadzonych w Polsce wykazywano nawet 30% wzrost plonowania pszenicy ozimej uprawianej po przedplonach roślin bobowatych porównaniu do jej uprawy po sobie (Małecka-Jankowiak, Blecharczyk, Sawińska i Waniorek, 2018). Właściwości następcze stanowisk po uprawach bobowatych są wykorzystywane w minimalnym stopniu. Jak wynika z badań prowadzonych w IHAR-PIB w ramach Programu Wieloletniego realizowanego, w latach 2015–2019, procentowy udział upraw roślin bobowatych wykorzystywanych jako przedplon dla pszenicy ozimej wynosił 7%. Dzięki korzystnemu oddziaływaniu na strukturę

gleby rośliny bobowate poprawiają także zdolności zatrzymywania i gromadzenia składników pokarmowych i wody w glebie, co w ostatnich latach staje się bardzo cenną cechą (Jerzak, 2014, Kapusta, 2017).

Dodatkowo nasiona roślin bobowatych mogą być głównymi zamiennikami śrutę sojowej GMO, której import pokrywa 2/3 krajowego zapotrzebowania przemysłu paszowego na białko.

Celem pracy jest ocena stanu i perspektyw produkcji nasiennej roślin bobowatych. Na podstawie trendów w produkcji towarowej próbujemy określić zapotrzebowanie na materiał siewny, wielkość i wartość rynku nasiennej tej grupy roślin.

### Material

W pracy wykorzystano dane statystyczne publikowane przez Główny Urząd Statystyczny (GUS), dotyczące produkcji oraz cen nasion roślin bobowatych w Polsce oraz dane Instytutu Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej (IERiGŻ) dotyczące krajowego zapotrzebowania na pasze wysokobiałkowe. Wykorzystano także dane Państwowej Inspekcji Nasiennictwa i Ochrony Roślin (PIORIN) odnośnie wielkości, struktury produkcji nasiennej i obrotu materiałem siewnym roślin bobowatych. Zalecane normy wysiewu potrzebne do obliczenia zapotrzebowania na kwalifikowany materiał siewny poszczególnych gatunków przyjęto na podstawie danych Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU).

### Metoda

Przeprowadzono analizę zmian wielkości produkcji towarowej roślin bobowatych grubonasiennych w wieloletnim okresie 1990–2019 i oceniono istniejące możliwości wzrostu ich produkcji w Polsce.

Na podstawie wielkości produkcji towarowej roślin bobowatych i wymagań technologicznych, dotyczących zalecanych norm wysiewu, określono zapotrzebowanie na materiał siewny i udział kwalifikowanego materiału siewnego (KMS) stosowanego w produkcji, a uwzględniając ceny nasion oceniono rzeczywistą oraz potencjalną wartość rynku nasiennej. Określono możliwości dalszego rozwoju produkcji nasiennej w zależności od zmieniającego się zapotrzebowania na nasiona krajowych roślin bobowatych.

### Wyniki i Dyskusja

Wielkość produkcji danej grupy roślin jest zazwyczaj funkcją krajowego zapotrzebowania i możliwości eksportu. W przypadku roślin

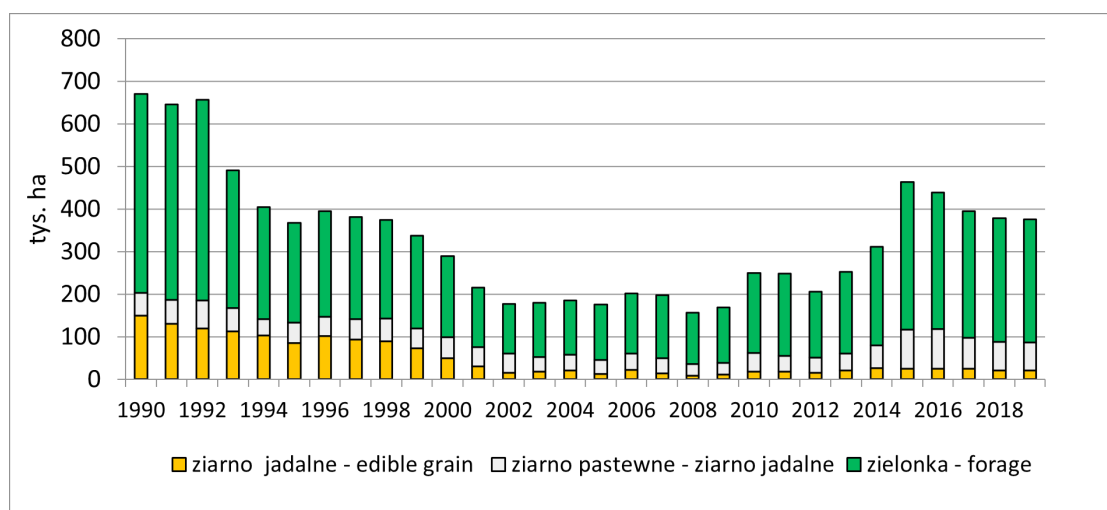
bobowatych produkowanych na cele konsumpcyjne zapotrzebowanie na kwalifikowany materiał siewny jest ściśle uzależnione od wielkości produkcji towarowej tej grupy roślin i od udziału kwalifikowanego materiału siewnego wykorzystywanego w zasiewach. Względnie stały popyt jest zaspakajany głównie krajową produkcją. Stąd też wahania wielkości produkcji są tu niewielkie i wynikają głównie ze zmian w zapotrzebowaniu na nasiona bobowatych grubonasiennych, kształtowane przez zmieniające się modele odżywiania. Z badań budżetów gospodarstw domowych (GUS, 2017) wynika, że spożycie nasion bobowatych w Polsce jest niskie i wynosi 0,9 kg/rok/osobę. Wg danych FAO spożycie jest wyższe, wynosi 1,8 kg/osobę, co i tak jest znacznie poniżej średniej UE, która wynosi 2,8 kg/osobę (Szczybyło, Halicka, Łuczyńska, 2018). Popularyzacja zdrowego stylu życia, w tym zdrowego odżywiania, rosnąca liczba wegetarian, wegan i osób ograniczających ilość mięsa w diecie będzie czynnikiem wpływającym na zwiększony popyt na nasiona bobowatych jadalnych. W związku z tym można oczekiwać wzrostu zapotrzebowania na nasiona i wiążące się z tym możliwości wzrostu powierzchni uprawy grochu, fasoli, soi na cele jadalne oraz poszukiwanych przez wegetarian i wegan gatunków takich jak soczewica i ciecierzycy. Może to stanowić bodziec do wzrostu popytu na materiał siewny odmian tych gatunków roślin.

Inaczej jest w przypadku roślin bobowatych uprawianych na cele paszowe, gdzie pomimo rosnącego zapotrzebowania na białko roślinne i pasze wolne od GMO oraz korzystnego oddziaływania na zasobność i strukturę gleby i ekonomicznej opłacalności uprawy (Jerzak i Krysztofiak, 2016, Florek, 2017), skala produkcji jest niewielka, a zapotrzebowanie na pasze wysokobiałkowe jest zaspakajane głównie przez import śrutę sojowej.

Powierzchnia zasiewów roślin bobowatych pastewnych na nasiona i zielonkę ulega dużym wahaniom w latach. Najwięcej bobowatych pastewnych uprawiano w latach 50. i na przełomie lat 80. i 90. minionego wieku – blisko 600 tys. ha, a ich maksymalny udział w łącznej powierzchni zasiewów razem z uprawami na zielonkę wynosił około 4%. W latach 90. powierzchnia uprawy roślin bobowatych w Polsce znacznie się zmniejszyła. Krajowe rośliny bobowate zastąpiono łatwo dostępną i konkurencyjną pod względem cenowym oraz jakościowym importowaną śrutą sojową. Nastąpił spadek, a później stagnacja ich powierzchni uprawy na poziomie 120–130 tys. ha, czyli 1,1% łącznej powierzchni zasiewów roślin.

Podjęmowane są próby odtworzenia i zwiększenia ich zasiewów. Od 2004 r. producenci roślin bobowatych mogą korzystać z mechanizmów wsparcia finansowego, tj. jednolitej płatności obszarowej (JPO) i dopłat do wykorzystania elitarnego i kwalifikowanego materiału siewnego, a od 2010 również z specjalnych dopłat do powierzchni uprawy roślin bobowatych. Przychody z uprawy oscylują w pobliżu poziomu opłacalności, stąd też zachęty ekonomiczne w formie

dopłat są istotnym czynnikiem decydującym o ich opłacalności i zainteresowaniu uprawą. Istotne oddziaływanie dopłat na wielkość produkcji roślin bobowatych potwierdzają wyniki badań wskazujące na korelację między wielkością wsparcia a wielkością produkcji (Florek i Czerwińska-Kayzer, 2018). Wprowadzone dodatkowe dopłaty do uprawy bobowatych wpłynęły na zwiększenie powierzchni i udziału w zasiewach do 347 tys. ha co stanowi 3,2% łącznej powierzchni zasiewów.



Rys.1 Powierzchnia zasiewów roślin bobowatych grubonasiennych (w tys. ha).

Fig.1 The total cultivation area of grain legumes (in thousand ha).

Tabela 1  
Table 1

Wielkość dopłat do 1 ha upraw roślin bobowatych [zł/ha]

The amount of subsidies up to 1 ha of legume cultivation [PLN/ha]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015*	2016*	2017*	2018*	2019*	2020*
Wielkość dopłat Amount of subsidies	207.4	219.5	672.6	719.4	566.4	422.0	430.5	606.5	721.0	765.8	724.4

\*) Zgodnie z art.15 Ustawy z dnia 5 lutego 2015 r. o płatnościach w ramach systemów wsparcia bezpośredniego od 2015 płatność jest przyznawana rolnikowi do powierzchni upraw roślin bobowatych na nasiona dla gatunków określonych w przepisach wydanych na podstawie art. 34 ust. 1 i 2, jeżeli dokonano zbioru nasion.

Z chwilą ograniczenia dopłat jedynie do powierzchni, z której dokonano zbioru nasion znów obserwowano zmniejszanie się uprawy bobowatych. Obecnie ich udział w łącznej powierzchni zasiewów wynosi 2,7%. Ponad 90% stanowią uprawy na nasiona, a powierzchnia zasiewów na zielonkę nie przekracza 10%. Spośród uprawianych gatunków największe znaczenie mają groch siewny, łubin i bobik, które stanowią 75% struktury zasiewów roślin bobowatych wykorzystywanych na cele pastewne.

Spośród bobowatych jadalnych ponad 2/3 upraw to groch i fasola.

Możliwości rozszerzenia powierzchni uprawy roślin bobowatych, warunkowane zapotrzebowaniem na pasze wysokobiałkowe są bardzo duże. Dotychczas wielkość produkcji tych gatunków roślin pokrywa niespełna 7% krajowego zapotrzebowania na pasze wysokobiałkowe. Warto tu nadmienić, że w naszym kraju blisko 60% wysokobiałkowych surowców używanych do produkcji pasz stanowi importowana śruta sojowa.

Tabela 2

Table 2

## Zużycie wysokobiałkowych surowców paszowych w Polsce.

## Consumption of high-protein feed raw materials in Poland.

	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20 szacunek estimation	2020/21 prognoza prediction
Razem zużycie Total consumption [tys. ton]	3074	3621	3770	3895	4349	4075	4252	4410
Śruty nasion oleistych Oil seed meal	2767	3258	3269	3475	3939	3724	3880	3885
w tym: including:								
Śruta sojowa Soybean meal	1719	2021	2311	2248	2423	2383	2704	2520
Śruta rzepakowa Rapeseed meal	596	849	593	858	1070	941	812	963
Śruta słonecznikowa Sunflower meal	446	383	360	363	440	395	346	394
Pozostałe Others	6	5	5	6	6	5	19	8
Mączka rybna Fishmeal	29	31	35	38	38	38	35	36
Nasiona bobowatych broad bean legumes	278	333	467	383	373	314	337	489
Struktura Structure [%]								
Nasiona bobowatych Seed of broad bean legumes	9,0	9,2	12,4	9,8	8,6	7,7	7,9	11,1
Śruta sojowa Soybean meal	55,9	55,8	61,3	57,7	55,7	58,5	63,6	57,1
Śruta rzepakowa Rapeseed meal	19,4	23,4	15,7	22,0	24,6	23,1	19,1	21,8
Śruta słonecznikowa Sunflower meal	14,5	10,6	9,5	9,3	10,1	9,7	8,1	8,9
Pozostałe Others	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2
Mączka rybna Fishmeal	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8
Razem zużycie Total consumption	100	100	100	100	100	100	100	100

Źródło: wg Analizy Rynkowe. Rynek pasz – Stan i perspektywy (Dzwonkowski, 2019)

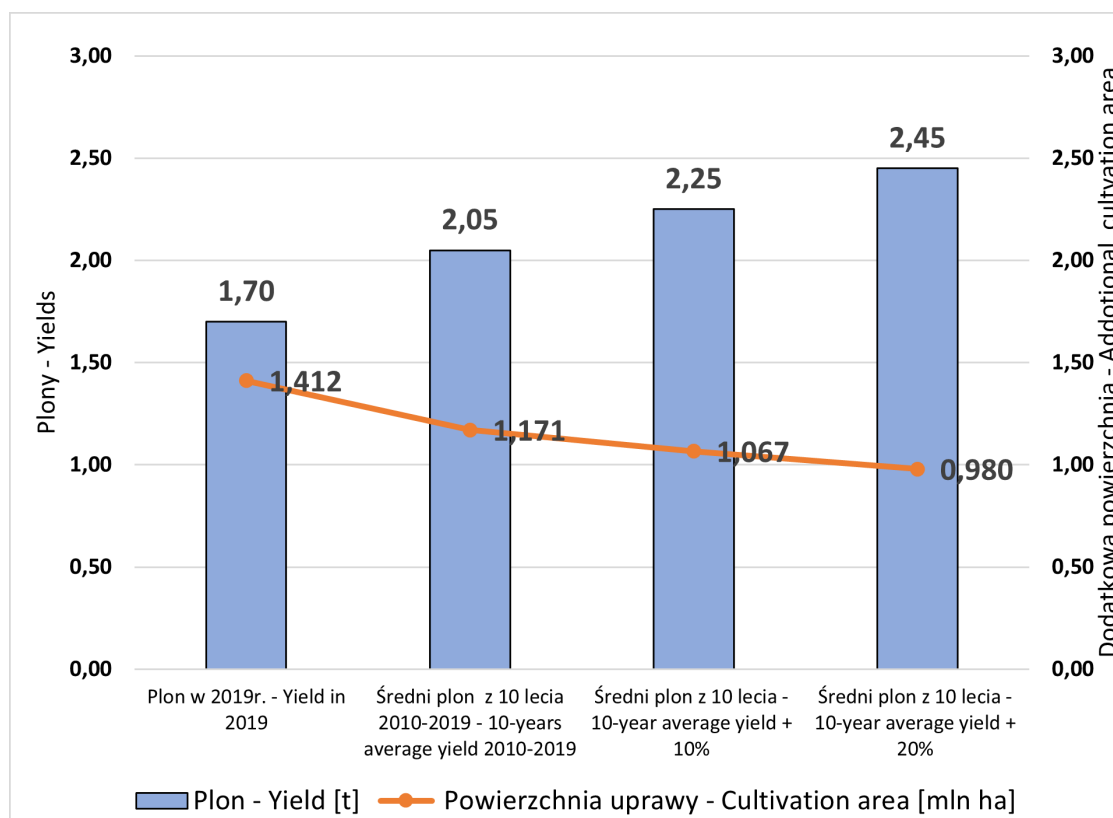
Według International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA, 2021) udział GMO w światowych zasiewach soi w 2018 roku wynosił 78%, a w krajach będących głównymi eksporterami udział ten przekracza 90%. Ograniczenie importu śruty sojowej, pochodzącej z upraw modyfikowanych genetycznie odmian i zastąpienie jej nasionami roślin bobowatych uprawianych w kraju, w krótkim czasie, jest możliwe jedynie teoretycznie. Wymagałoby to wielokrotnego wzrostu areału ich uprawy, pomimo wielu istotnych czynników limitujących możliwości rozwoju krajowej produkcji. Ograniczone możliwości całkowitego

zastąpienia importowanej śruty sojowej wynikają zarówno z potrzeby znacznych zmian struktury upraw jak i istniejących ograniczeń ekonomicznych związanych z technologicznymi możliwościami substytucji paszy sojowej, a w efekcie spadku wydajności i wzrostu kosztów produkcji zwierzęcej (Niwńska, Szymczyk i Szczurek, 2019).

Zwiększenie podaży nasion roślin bobowatych z krajowych upraw o 2,4 mln ton, bo taka jest wielkość importu soi w ostatnich latach, możemy osiągnąć poprzez wzrost powierzchni ich uprawy jak i wielkości uzyskiwanych plonów. Przyjmując poziom plonowania krajowych roślin bobowatych

ich plony średnie z 10 lecia 2010–2019 (2,05 dt/ha), to dla uzyskania zbiorów równoważących wielkość importu soi należałoby zwiększyć powierzchnię uprawy o 1171 tys. z obecnych 203 tys. ha do 1374 tys. ha. Przy przyjęciu optymistycznej hipotezy, że uda się odwrócić spadkowy trend plonowania oraz zwiększyć plonowanie o 20% czyli do 2,45 t/ha, powierzchnię uprawy pastewnych

roślin bobowatych uprawianych na nasiona należałoby zwiększyć o 980 tys. ha (rys 2). Skala wzrostu wydaje się nierealistyczna, ale istnieją przykłady porównywalnego a nawet większego wzrostu produkcji. Powierzchnia uprawy kukurydzy na ziarno w Polsce w okresie 1995–2004 wzrosła 9 krotnie, a w okresie 1995–2014 14 krotnie.



Rys.2 Warianty wzrostu krajowej produkcji roślin bobowatych umożliwiające zastąpienie importu soi.

Fig. 2 Variants of domestic production growth of legumes allowing the replacement of soybean imports.

Bardziej realistyczne wydaje się być zwiększenie areálu uprawy roślin bobowatych pozwalające na częściowe pokrycie zapotrzebowania na białko roślinne własną produkcją, podobnie jak to ma miejsce w Niemczech i Francji, gdzie krajowa produkcja roślin białkowych stanowi już 50% zaopatrzenia w białko roślinne wykorzystywane w przemyśle paszowym (Bartkowiak-Broda, Boros, Oleksiak i Boros, 2019). W tym przypadku niezbędny byłby co najmniej trzykrotny wzrost zasiewów roślin bobowatych uprawianych na cele paszowe jaki osiągnięto w okresie 2013–2018 w UE (Komisja Europejska, 2018).

Jako główny czynnik ograniczający możliwości wzrostu produkcji upraw krajowych roślin bobowatych, wskazywana jest niekorzystna relacja między kosztami krajowej produkcji, a cenami importowanych nasion. Liczne analizy ekonomiczne

wykazują, że możliwa jest ich uprawa zapewniająca opłacalność przy cenach skupu niższych niż ceny importowanej soi (Augustyńska i Bębniśta, 2019, Kania, Zajac i Śliwa, 2017). Jednak w znacznym stopniu możliwe jest to nie tyle dzięki wielkości zbieranych plonów, a poprzez system dopłat wspierających uprawę. Zmiany w systemie wsparcia wpływają na brak stabilności oraz przewidywalność rynku. Także oczywiste i niekwestionowane korzyści następcze, wynikające z poprawy zasobności i struktury gleby, nie są wystarczająco silnym czynnikiem zachęcającym do uprawy, prawdopodobnie ze względu na znaczne odsunięcie efektów w czasie. Potrzebne są szeroko rozumiane działania marketingowe popularyzujące różnorodne korzyści wiążące się z uprawą bobowatych. Nie mniej istotne niż opłacalność uprawy są trudności logistyczne wynikające z rozdrobnienia produkcji

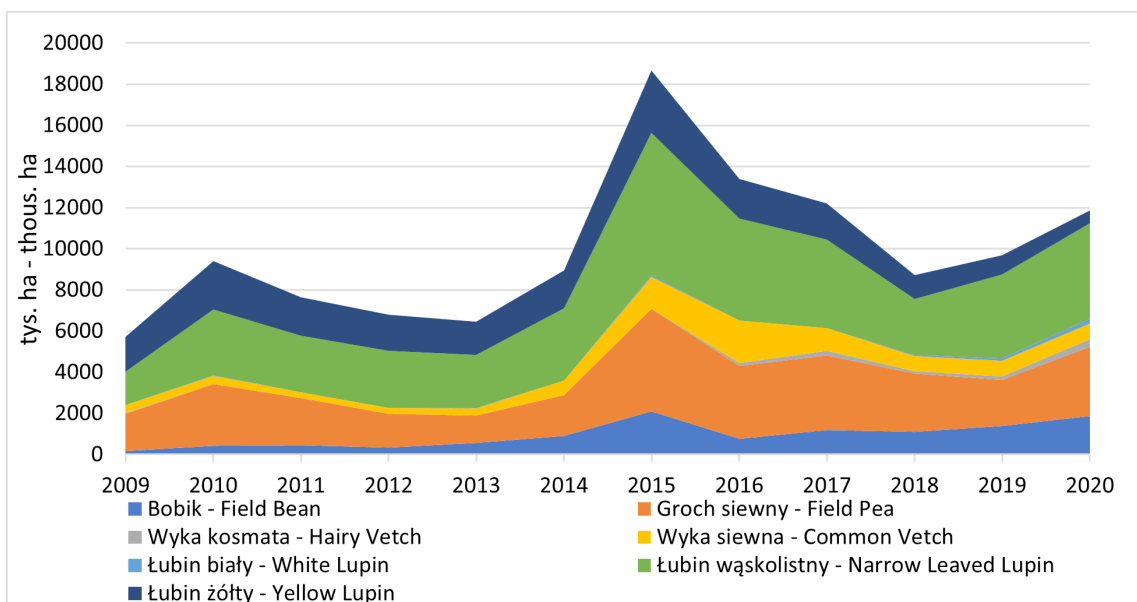


i braku mechanizmów rynkowych zapewniających sprawny system skupu i zaopatrzenia zakładów przetwórczych w ziarno bobowatych. Niewielkie powierzchnie plantacji praktycznie uniemożliwiają dostawy do przetwórcy dużych partii surowca, jednolitych pod względem wartości technologicznej. Skup małych partii nasion generuje dodatkowe koszty oraz podnosi cenę surowca (Florek, 2017). Wg GUS w 2019 r. bobowate pastewne uprawiano w 70 tys. gospodarstw co oznacza, że średnia wielkość plantacji w gospodarstwie wynosiła 2,5 ha. Oprócz problemów organizacyjnych istnieją też ograniczenia technologiczne związane z obecnością substancji antyodżywczych (oligosacharydy z rodziny rafinozy, inhibitory enzymów proteolitycznych trzuskici, taniny skondensowane oraz alkaloidy chinolizydynowe), które wpływają na wykorzystanie łubinu i bobiku w mieszankach dla poszczególnych grup zwierząt (Niwińska i in., 2019).

Reasumując, dla zapewnienia znaczącego wzrostu powierzchni uprawy i wielkości produkcji nasion roślin bobowatych istnieje potrzeba zwiększenia skali upraw oraz wykorzystania istniejącego i tworzonego potencjału genetycznego odmian. Możliwe będzie to jedynie przy zdecydowanym wzroście produkcji materiału siewnego potrzebnego do pokrycia zapotrzebowania wynikającego ze zwielokrotnienia powierzchni uprawy jak i zwiększonego udziału kwalifikowanego materiału siewnego używanego przez gospodarstwa rolne.

## Produkcja nasienna i sprzedaż nasion

Powierzchnia zasiewów roślin bobowatych i jej zmiany w czasie wskazują na ocenę sytuacji rynkowej i oczekiwania producentów w zakresie zapotrzebowania na materiał siewny. Rzeczywista wielkość produkcji nasiennej korygowana jest warunkami pogodowymi w okresie wegetacji. Zapotrzebowanie i wielkość sprzedaży materiału siewnego wynika z popytu na nasiona bobowatych i warunków ekonomicznych uprawy. Wielkość zasiewów bobowatych ulega znacznym wahaniom. Po kilku latach stagnacji, zapowiedzi zwiększenia udziału krajowej produkcji roślin bobowatych oraz wprowadzenie mechanizmu dopłat do ich uprawy, wpłynęło na wzrost powierzchni plantacji nasiennych. W latach 2013–2015, ich areał zwiększył się prawie trzykrotnie z 6,5 tys. ha do 18,7 tys. ha, a po uwzględnieniu soi przyrost areálu uprawy był jeszcze większy i wyniósł 322%. Dowodzi to, że istnieją mechanizmy umożliwiające zarazem szybki wzrost produkcji jak również jej zmniejszenie, co nastąpiło w kolejnych latach (2016–2018) (rys.3). Lata 2019–2020 to powrót tendencji wzrostowych w zasiewach roślin bobowatych na cele nasienne. W uprawie dominują trzy gatunki; groch, łubin wąskolistny i bobik. W 2020 roku stanowiły one prawie 83,4%. Znaczące udziały mają też soja 8,2% i wyka siewna 6,5%. Łubiny żółty i biały oraz wyka kosmata łącznie stanowiły 10% powierzchni plantacji nasiennych.



Rys. 3 Powierzchnia plantacji nasiennych roślin bobowatych [tys.ha].

Fig. 3 The area of legume seed plantations [thous. ha].

Wielkość produkcji i podaży materiału siewnego roślin bobowatych w Polsce jest głównie funkcją ich plonów i powierzchni zasiewów, ponieważ nasiona znajdujące się w obrocie pozyskiwane są głównie z krajowych plantacji i sprzedawane na rynku wewnętrznym, a udział importu w strukturze zaopatrzenia jest niewielki. Średni udział importu nasiennego w odniesieniu do łącznej sprzedaży nasion tej grupy roślin w okresie ostatnich 5 lat wynosił 2,7%, jednak widoczne są tendencje wzrostowe. Większe znaczenie ma eksport. Jego udział w łącznej sprzedaży nasion roślin bobowatych wynosił odpowiednio 17,1% w wieloletnim i 20,5% w ostatnim roku. Główne pozycje eksportowe to groch, łubin wąskolistny i wyka siewna, której udział w krajowej produkcji nasiennej jest marginalny i wynosi około 1%, a w strukturze eksportu stanowi aż 20%.

Po kilku latach wzrostu, począwszy od 2015 roku, nastąpił spadek produkcji i sprzedaży nasion. Stymulacja produkcji roślin bobowatych dopłatami nie przyniosła spodziewanych efektów. Produkcja nasienna z 31,4 tys. ton w roku gospodarczym 2015/2016 zmniejszyła się do 12,9 tys. ton w roku 2018/2019. Ostatnie dwa lata to stopniowe odbudowywanie produkcji nasiennej. Zmieniała się struktura gatunkowa produkcji nasiennej. Wzrosły udziały grochu i bobiku, zmalały udziały łubinów żółtego i wąskolistnego. Nasiona trzech gatunków dominujących w uprawie stanowiły ponad 84% produkcji nasiennej, znaczący jest też udział soi – 8,4%. W wielkości eksportu i importu nasion nie następowały większe zmiany. W roku gospodarczym 2020/2021 wyeksportowano 3,2 tys. ton nasion a zaimportowano 0,5 tys. ton.

Tabela 3

Table 3

## Produkcja nasion bobowatych grubonasiennych [tony]

## Seed production of legume seed [tons]

	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	
	Produkcja nasienna [tony] Seed production [tons]						Udział Share%	
Bobik – Field Bean	2546	4131	1869	3073	2144	2858	4529	23,6
Groch siewny – Field Pea	5121	10622	6375	8000	4428	5300	6752	35,1
Łubin wąskolistny – Narrow-Leaved Lupin	7158	11173	7187	4900	3463	4607	4928	25,6
Łubin żółty – Yellow Lupin	2037	1766	1700	947	583	399	240	1,2
Łubin biały – White Lupin	15	87	24	28	95	154	142	0,7
Wyka kosmata – Hairy Vetch	1	14	51	48	20	67	234	1,2
Wyka siewna – Common Vetch	827	1695	1952	861	629	824	769	4,0
Soja – Soya Bean	2664	1946	2120	2172	1508	1410	1623	8,4
Ogółem – Total	20369	31433	21279	20028	12871	15619	19216	100,0

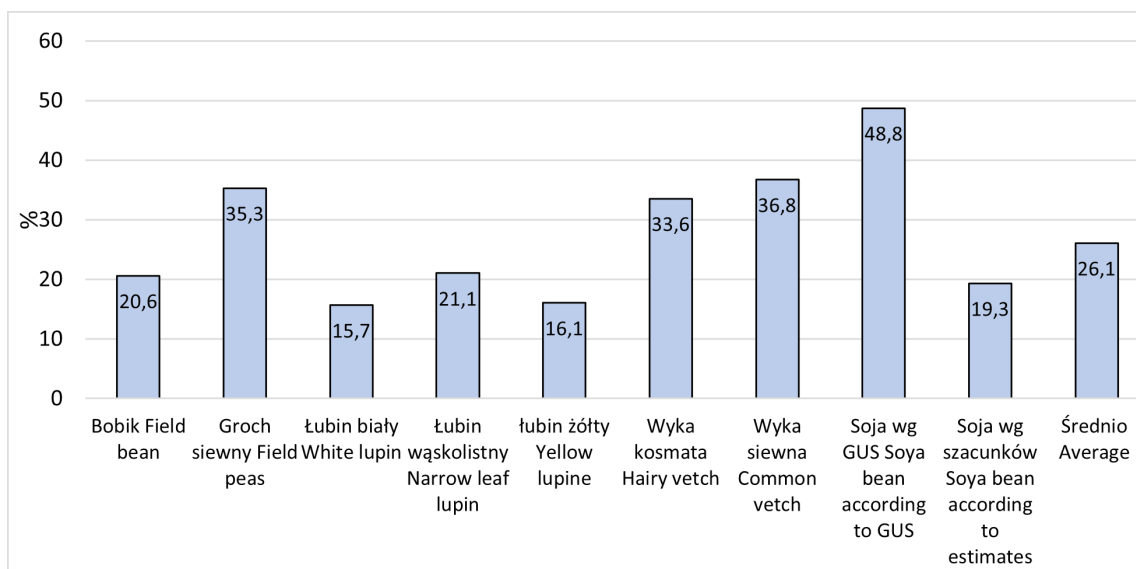
Wg PIORiN <http://piorin.gov.pl/nasiennictwo/ocena-materialu-siewnego/>

### Wartość rynku nasiennego

Wartość rynku nasiennego danego gatunku rozpatrywać możemy jako łączną wartość wszystkich nasion potrzebnych do obsiania aktualnej powierzchni jego uprawy (potencjalna wartość rynku) lub jako wartość rzeczywistą, czyli wartość kwalifikowanego materiału siewnego zakupywanego i wysiewanego na plantacjach. Przy ocenie wartości rynku rozpatrujemy wartość rzeczywistą.

Udział kwalifikowanego materiału siewnego (KMS) w zasiewach roślin bobowatych jest niski. Relatywnie wysokie są udziały kwalifikowanych nasion soi, wyki i grochu. Wysoki udział KMS wyki wiąże się z relatywnie dużym eksportem jej nasion, natomiast w przypadku soi może to być wynikiem zaniżonych danych o powierzchni zasiewów tego gatunku. Podobnie jak w przypadku pozostałych gatunków do wyliczeń przyjęto dane GUS, które mogą nie doszacowywać rosnącego

zainteresowania tą uprawą i związanym z tym rzeczywistym wzrostem zasiewów. Według GUS w 2019 powierzchnia zasiewów soi wynosiła 7,9 tys. ha. Istnieją jednak szacunki mówiące o znacznie większej powierzchni uprawy. Według agri24.pl już w 2017 uprawiano 15,5 tys. ha soi, wg Koteckiego (2019) soja uprawiana jest na 16,5 tys. ha a wg portalu topAgrar powierzchnia w 2019 wyniosła 20 tys. ha. Nasiona kwalifikowane łąbinu wąskolistnego, gatunku najczęściej uprawianego, stanowią 21%, a łąbinu żółtego 16%. Średnio jedynie co czwarty hektar upraw roślin bobowatych obsiewany jest kwalifikowanymi nasionami, czyli podobnie jak to ma miejsce w przypadku zbóż (Oleksiak, 2020). Jako minimum zapewniające sprawny transfer postępu hodowlanego i wykorzystanie potencjału biologicznego przyjmuje się 50% udział KMS co oznacza, że tylko z tego tytułu należałoby co najmniej dwukrotnie zwiększyć aktualne wielkości produkcji i sprzedaży nasion.



Rys.4 Udział kwalifikowanego materiału siewnego w zasiewach roślin bobowatych in Poland.

Fig. 4 Share of certified seed in grain legume sowing in Poland.

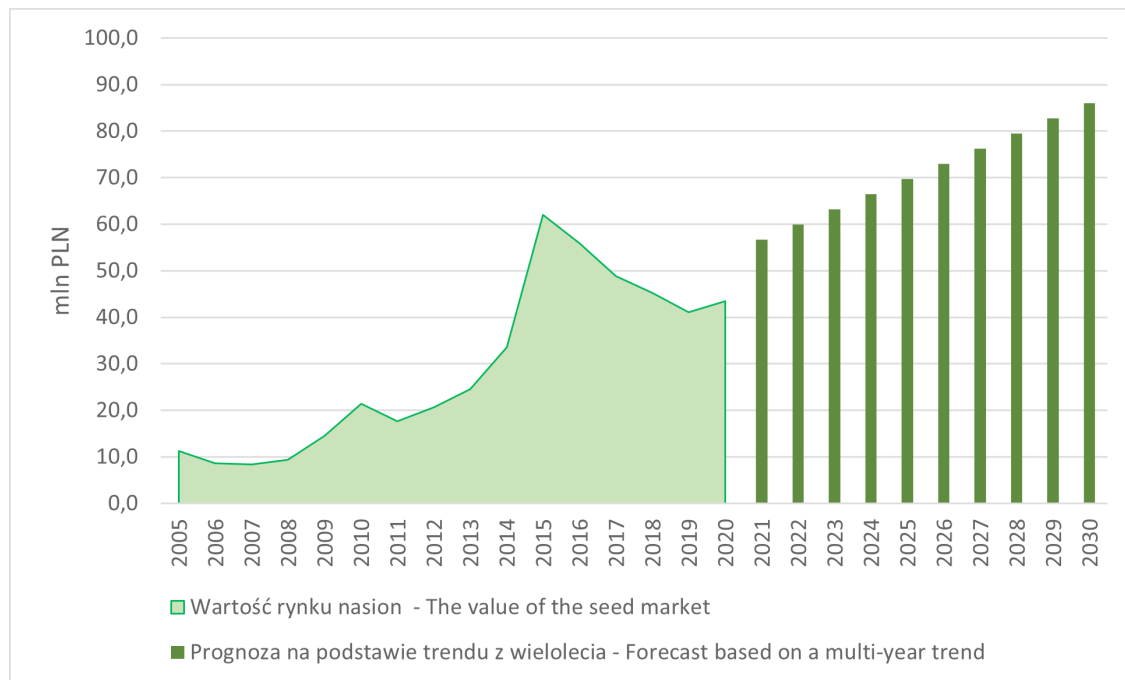
W znacznie większym stopniu na wzrost produkcji i sprzedaży nasion może wpłynąć zwiększenie powierzchni uprawy na cele paszowe, co jest niezbędnym warunkiem poprawy samowystarczalności w zakresie produkcji białka roślinnego.

W zależności od tego jaki przyjmujemy scenariusz produkcji roślin bobowatych i jak skutecznie i konsekwentnie będzie on realizowany, potrzebny byłby wielokrotny wzrost produkcji nasion. Przy przyjęciu realistycznego wariantu wzrostu areалу uprawy roślin bobowatych, pozwalającego na 50% pokrycie zapotrzebowania na białko roślinne

produkcją krajową, niezbędny byłby co najmniej trzykrotny wzrost podaży materiału siewnego. Przełożyłoby się to na zwiększenie wartości sprzedaży nasion roślin bobowatych i ich udziału w krajowym rynku nasiennym z obecnych 2% (40-60 mln zł) do poziomu 120-180 mln. i przyczyniłoby się istotnie do zwiększenia przychodów i możliwości prowadzenia efektywnej hodowli. Trudno przewidzieć w jakim kierunku pójdą zmiany struktury upraw bobowatych. Niemniej można zakładać utrzymanie znaczącego udziału łąbinów (wąskolistnego i żółtego), predysponowanych do uprawy w Polsce z powodu relatywnie niewielkich

wymagań glebowych, jak i z powodu wieloletniej tradycji ich uprawy. Perspektywicznym gatunkiem może okazać się soja. Przemawiają za tym zachęcające wyniki badań odmianowych prowadzonych w ramach Inicjatywy Białkowej COBORU wyraźnie wskazujące na duży potencjał wzrostu plonowania

nowych odmian tego gatunku w Polsce. Założenia te można opierać na dużym zainteresowaniu producentów, aktualnym znaczeniu nasion tego gatunku jako surowca w przemyśle paszowym jak i jego parametrach jakościowych zgodnych z oczekiwaniem rynku.



Rys.5 Wartość rynku nasion roślin bobowatych grubonasiennych.

Fig. 5 The value of the grain legumes market.

## Literatura

- Augustyńska I., Bębenista A. (2019) Ekonomiczne aspekty uprawy soi i łubinu słodkiego w Polsce. *Problemy Rolnictwa światowego* tom 19 (XXXIV), zeszyt 2: 256–268 DOI: 10.22630/PRS.2019.19.2.40
- Bartkowiak- Broda I., Boros L., Oleksiak T., Boros D. (2019). Stan badań dla hodowli roślin białkowych w Polsce w celu poprawy bilansu białkowego. *Biuletyn IHAR*, 285, 13-15.
- Dzwonkowski W., Łopaciuk W. (2019). Popyt krajowy na surowce paszowe i produkcja pasz przemysłowych. *Analizy Rynkowe. Rynek pasz - Stan i perspektywy*, 42, 20-26.
- Florek J. (2017). Możliwości wykorzystania roślin strączkowych do produkcji pasz w Polsce. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, XIX(4), 40-45.
- Florek J., Czerwińska-Kayzer D. (2018). Uwarunkowania rozwoju rynku rodzimych roślin strączkowych w Polsce, *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, XX(5), 55-61.
- GUS (2017) Budżety gospodarstw domowych w 2016 r. Informacje i opracowania statystyczne. [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl)
- ISAAA (2021) International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications <https://www.isaaa.org/search/default.asp>
- Jerzak M. A. (2014). Możliwości restytucji rynku rodzimych roślin strączkowych na cele paszowe w Polsce. *Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, Roczniki Naukowe*, XVI(3), 104-109.
- Jerzak M. A., Krysztosiak P. (2016). Ekonomiczne możliwości rozwoju produkcji i rynku rodzimych roślin białkowych w Polsce. *Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, Roczniki Naukowe*, XVIII (2), 130-135.
- Kania J., Zajac T., Śliwa J. (2017) Efektywność ekonomiczna uprawy soi i rzepaku w zachodniej części Polski. *Roczniki Naukowe*, tom XVIII, zeszyt 3, 133-138.
- Kapusta F. (2017). Rola roślin strączkowych w rolnictwie polskim. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 1, 68-78.
- Komisja Europejska (2018). Sprawozdanie Komisji dla Rady i Parlamentu Europejskiego w sprawie rozwoju produkcji białek roślinnych w Unii Europejskiej. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:52018DC0757>
- Kotecki A. (2019). Soja — nowe wyzwania polskiego rolnictwa. *Biuletyn IHAR*, 285, 49-50.

- Małecka-Jankowiak I., Bleharczyk A., Sawińska Z., Waniorek W. (2018). Wpływ następczy łubinu i grochu na plonowanie pszenicy ozimej w zależności od uprawy roli i nawożenia azotem. *Fragm. Agron.*, 35(4), 67–79. DOI: 10.26374/fa.2018.35.43
- Niwińska B., Szymczyk B., Szczurek W. (2019). Perspektywy krajowej produkcji pasz dla zwierząt gospodarskich oraz żywności pochodzenia zwierzęcego bez GMO. *Wiadomości Zootechniczne R.LVII(4)*, 107-120.
- Oleksiak T. (2020). Rynek nasion. Analizy Rynkowe. Rynek środków produkcji dla rolnictwa – stan i perspektywy. 47, 36-43.
- PIORIN Obrót materiałem siewnym. <http://piorin.gov.pl/nasiennictwo/ocena-materialu-siewnego/>
- Prusiński J., Kaszkowiak E., Borowska M.. (2008). Wpływ nawożenia i dokarmiania roślin azotem na plonowanie i strukturalne elementy plonu nasion bobiku. *Fragm. Agron.*, 25(4), 111-127.
- Szczebyło A., Halicka E, Łuczyńska K., (2018) Spożycie nasion roślin strączkowych w Polsce jako element modelu zrównoważonej konsumpcji żywności. *Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie*, z. XII, s. 35–45 [doi.org/10.16926/pto.2018.12.03](https://doi.org/10.16926/pto.2018.12.03)

# Flora roślin synantropijnych biotopów miejskich Olsztyna

Flora of synanthropic plants of urban biotopes in Olsztyn

Bartosz Tomaszewski ✉

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Ogród Botaniczny Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych, ul. Jeździecka 5, 85–687 Bydgoszcz

✉ b.tomaszewski@ihar.edu.pl

Na terenie biotopów miejskich Olsztyna zebrano 14950 not florystycznych i stwierdzono występowanie 578 gatunków naczyniowych roślin zielnych oraz siewek drzew i krzewów, a liczba gatunków w polach podstawowych (kwadratach o boku 1 km) wahała się od 18 (kwadraty 67 i 76 EB42) do 210 gatunków (kwadrat 35 EB52). Flora synantropijna Olsztyna liczyła 84 rodziny, z których najbardziej zasobne w gatunki są: *Asteraceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae* i *Fabaceae* (odpowiednio 78, 51, 39 i 38 gatunków). Najbardziej rozpowszechnioną formą życiową roślin na terenie zurbanizowanych obszarów miasta Olsztyna były hemikryptofity, które stanowiły ponad 40% analizowanej flory. Najliczniej reprezentowaną grupą geograficzno-historyczną we florze biotopów miejskich Olsztyna były gatunki synantropijne miejscowego pochodzenia, czyli apofity, z wyraźną dominacją apofitów leśnych i zaroślowych. Wśród gatunków obcych, to jest antropofitów, dominowały diafity, czyli gatunki nie zdomowione trwale. Występowanie oraz przestrzenne rozmieszczenie poszczególnych gatunków roślin w Olsztynie w wydzielonych na jego obszarze kompleksach użytkowania przestrzeni ukazało wyraźną liczebną przewagę gatunków roślin w kompleksie transportowym. Stwierdzono tam występowanie 466 gatunków roślin, co stanowiło ponad 80% wszystkich zidentyfikowanych taksonów. Największą liczbę gatunków na obszarze biotopów miejskich Olsztyna zanotowano w obrębie tych reprezentujących na skali hemerobii stopień H4, który obejmował siedliska przejściowe od mezo- do  $\beta$ -euhemerobowych. Pola podstawowe (kwadraty) były zróżnicowane pod względem takich wskaźników jak walor florystyczny czy odrębność florystyczna oraz wskaźników: synantropizacji, modernizacji i labilności flory. Najwyższą wartość waloru florystycznego jak i odrębności florystycznej stwierdzono w przypadku kwadratu 26 (EB 52). Największe wartości współczynnika synantropizacji stwierdzono w kwadratach 35 (EB 52), 26 (EB 52) oraz 89 (EB 42) – 58. Najmocniejszą korelację dodatnią stwierdzono pomiędzy walorem florystycznym a liczbą gatunków oraz procentowym udziałem antropofitów w analizowanych kwadratach. W obu przypadkach współczynnik korelacji rang Spearmana był wysoki i wynosił 0,999.

**Słowa kluczowe:** synantropizacja, flora miasta, apofity, antropofity

The 14950 floristic data were collected on the urban biotops area in Olsztyn. There were 578 species of the vascular herbaceous plants and seedlings of trees and shrubs. Number of species in the basic area (square units 1x1 1 km) was from 18 (squares 67 and 76 (EB42) to 210 (square 35 (EB52)). The synanthropic flora of Olsztyn included 84 families, of which the most abundant species are: *Asteraceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae* and *Fabaceae* (78, 51, 39 and 38 species respectively). The most common life form of plants in the urbanized areas of Olsztyn were hemikryptophytes which constituted over 40% of the flora analyzed. The most numerous represented geographical and historical group in the flora of the urban biotopes of Olsztyn were synanthropic species of local origin, i.e. apophytes, with a clear domination of forest and scrub apophytes. Among the alien species, i.e. anthropophytes, diaphytes dominated, i.e. species that were not permanently established. The occurrence and spatial distribution of particular plant species in Olsztyn in spatial use complexes separated on its area showed a clear numerical predominance of plant species in the transport complex. There were found 466 plant species, which constituted more than 80% of all identified taxa. The greatest number of species in the Olsztyn urban biotopes was recorded within those representing the H4 degree on the hemerobic scale, which included transitional habitats from meso- to  $\beta$ -euhemerobic. Basic fields (squares) were differentiated in terms of such indices as floristic value or floristic distinctness and the indices of: synantropization, modernization and labile flora. The highest value of floristic value and floristic distinctness was found in case of square 26 (EB 52). The highest values of synantropization coefficient were found in quadrats 35 (EB 52), 26 (EB 52) and 89 (EB 42) – 58. The strongest positive correlation was found between floristic value and number of species and percentage share of anthropophytes in the analyzed quadrats. In both cases Spearman's rank correlation coefficient was high at 0.999.

**Key words:** synantropization, urban flora, apophytes, anthropophytes

## Wstęp

Synantropizacja szaty roślinnej jest to całościowy kształt historycznych oraz współczesnych przeobrażeń roślinności pod wpływem presji i działalności człowieka (Faliński 1966a, 1966b, Kornaś 1981, Olaczek 1982). Zagadnienie to od połowy XX wieku wysuwa się na czoło zagadnień geobotanicznych. Współcześnie procesy synantropizacyjne ulegają znacznemu nasileniu, czego skutkiem jest często wymieranie całych grup gatunków, a w przypadku roślin obcego pochodzenia dochodzi do inwazji o trudnych do przewidzenia konsekwencjach. Do najważniejszych przyczyn tego zjawiska zalicza się urbanizację. Na przełomie wieków miasto stało się najsilniej rozwijającą się jednostką terytorialną na świecie. Rozprzestrzenianie się miast (*urban sprawl*) jest procesem złożonym i nieuniknionym (Nuisl H. i in. 2005). Urbanizacja pociąga za sobą antropopresję nie tylko na terenie samych miast i aglomeracji, ale nasila się ona także w obszarach podmiejskich, dotąd bardziej lub mniej naturalnych, zajmowanych przez dobrze funkcjonujące zbiorowiska flory i fauny. Dynamika procesu urbanizacji nadal się zwiększa, co powoduje wzrost zagęszczenia populacji ludzkiej w miastach i dalszy rozwój infrastruktury miejskiej. Pociąga to za sobą spadek udziału na tych terenach ekosystemów leśnych, łąkowych, agrocenoz i innych terenów zieleni (Zimny 2005).

Chociaż Olsztyn jest miastem o wielowiekowej tradycji, jednak jego zasoby florystyczne nie są dostatecznie poznane. Nieliczne dane dotyczące występowania niektórych rzadszych gatunków roślin synantropijnych na omawianym obszarze można znaleźć w szerszych opracowaniach florystycznych i fytosocjologicznych Abromeita i in. (1898 – 1940) i Steffena (1931, 1940), które swoim zasięgiem obejmują cały obszar byłych Prus Wschodnich. Podobne fakty o występowaniu rzadszych i ciekawszych gatunkach synantropijnych znalazły miejsce w pracach Olesińskiego (1968), Korniaka (1968a, 1968b) oraz Olesińskiego i Korniaka (1980). Pojawiły się też opracowania Stypińskiego (1978, 1988, 1995) dotyczące dendroflory miasta, a także praca Endlera i in. (1999) zawierająca wiadomości o niektórych roślinach związanych ze zbiorowiskiem *Chelidonio-Robinetum* w parkach Olsztyna. Dane o występowaniu kilkunastu gatunków najbardziej narażonych na mechaniczne ugniatanie gleby zawiera też praca doktorska Kalinowskiej (2004). Pewnych wiadomości o występowaniu synantropijnych roślin na terenie miasta w ostatnim okresie dostarcza praca doktorska Pieczyńskiej (2006) przedstawiająca występowanie i zmienność

północnoamerykańskich gatunków z rodzaju nawłóć (*Solidago ssp.*).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie flory naczyniowych roślin zielnych oraz siewek drzew i krzewów na tle biotopów miejskich Olsztyna.

## Charakterystyka terenu badań

Według regionalizacji fizyczno-geograficznej miasto usytuowane jest w prowincji Niżu Zachodniorosyjskiego, podprowincji Pojezierzy Wschodniobałtyckich, makroregionie Pojezierze Mazurskie, mezoregionie Pojezierze Olsztyńskie (Kondracki 1988, 1994, 2002). Cały obszar Polski północno-wschodniej, obejmujący swym zasięgiem również teren Olsztyna, został ukształtowany w wyniku działalności plejstocenicznego lodowca skandynawskiego. Według koncepcji Galona (1972) jedną z wielu wyróżnionych na tym obszarze stref morfogenetycznych jest falisty garb pojezierny ściśle związany z pomorską fazą Zlodowacenia Bałtyckiego. Jedną z odrębnych jednostek w jego obrębie jest Pojezierze Olsztyńskie, rozciągające się po obydwu stronach górnego biegu rzeki Łyny i stanowiące zachodnią część Pojezierza Mazurskiego (Jutrzenka-Trzebiatowski 1999). Zasięgiem swym odpowiada ono wyodrębniającemu się podczas ostatniego zlodowacenia bocznemu płatowi lodowcowemu, nazywanemu lobem Łyny. Poszczególne etapy jego recesji zaznacza siedem koncentrycznych łuków morenowych. Osią ich symetrii jest Łyna płynąca w Olsztynie na wysokości 98 m n.p.m. (Kondracki 1994).

Według Wosia (1999) Olsztyn zaklasyfikować można do Regionu Zachodniomazurskiego (R-X). Region ten charakteryzuje się częstym występowaniem dni umiarkowanie ciepłych z dużym zachmurzeniem ogólnym nieba i niedużym opadem atmosferycznym. Średnia roczna temperatura w rejonie Olsztyna wynosi około 7°C. Najniższe temperatury z wielolecia notowane są w styczniu i lutym (ok. 3,9°C – 4,2°C), a najwyższe – w czerwcu, lipcu i sierpniu (około: 16,1°C – 16,9°C). Średnia liczba dni gorących (powyżej 25°C) wynosi 26. Średnia liczba dni mroźnych (poniżej 0°C) wynosi około 50. Roczne sumy opadów wynoszą średnio około 600 mm. Największe są latem (w lipcu około 90 mm), a najmniejsze zimą i wczesną wiosną (styczeń – kwiecień; około 26 – 32 mm). Dni z opadem jest około 160 w roku. Pokrywa śnieżna utrzymuje się średnio około 106 dni w roku. Najwięcej dni pochmurnych występuje późną jesienią (w grudniu), a najmniej późnym latem (we wrześniu). Zachmurzenie generalnie jest większe w okresie późnej jesieni i zimą, mniejsze

w pozostałych porach roku.

Zgodnie z podziałem administracyjnym Polski z roku 1998 Olsztyn jest stolicą województwa warmińsko-mazurskiego. Położony jest w podregionie olsztyńskim regionu północnego oraz posiada prawa powiatu. W roku 2006 miasto zamieszkiwało prawie 175 tysięcy osób (dane Urzędu Statystycznego w Olsztynie). Obecnie widoczny jest dalszy rozwój miasta – szybka rozbudowa dzielnic i powstawanie nowych osiedli mieszkaniowych, a także rozwój gałęzi przemysłowych, głównie w sektorze oponiarskim, drzewnym i meblarskim. Miasto nie posiada obwodnicy, a większość ruchu tranzytowego odbywa się jego ulicami. Olsztyn jest ważnym węzłem kolejowym regionu i obecnie posiada trzy funkcjonujące dworce kolejowe – Olsztyn Główny, Olsztyn Zachodni oraz Olsztyn Gutkowo. Jako jedno z niewielu miast polskich posiada dodatni współczynnik przyrostu naturalnego jak też dodatnie saldo migracji.

### Material i metody

W badaniach nad współczesną florą Olsztyna zastosowano metodę kartowania stanowisk wszystkich gatunków w siatce jednakowych pól podstawowych – kwadratów o boku 1 km (ryc. 1).

Jako podkład kartograficzny wykorzystano aktualny plan miasta, który opracowany został na bazie mapy w skali 1:18000. Podział miasta na podstawowe pola badawcze nawiązuje do siatki kwadratów stosowanej w „Atlasie rozmieszczenia roślin naczyniowych w Polsce” (Zając i Zając 2001). Jako podstawę przyjęto granice tzw. małych kwadratów (10 x 10 km), w których zawiera się obszar Olsztyna. Jednostki te podzielono na 100

jednakowych pól, określając ich współrzędne według zasady wprowadzonej przez autorów koncepcji ATPOL-u.

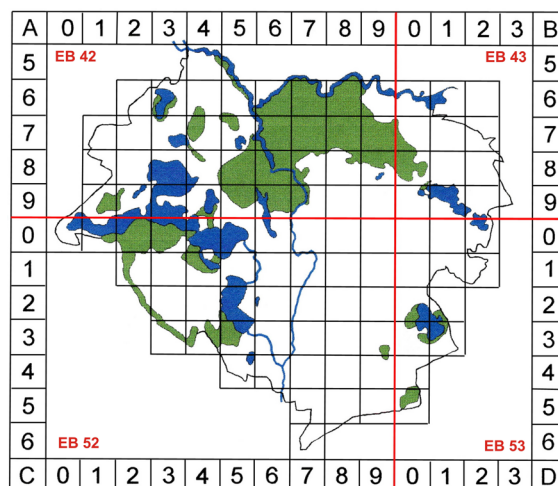
Zgodnie z przyjętą procedurą na badanym terenie znalazły się 103 kwadraty, w tym 73 pola w całości leżące na obszarze Olsztyna oraz 30 pól przygranicznych, wysuniętych częściowo poza teren badań (przynajmniej w 25% położonych w granicach miasta).

Badania terenowe polegały na dokumentowaniu składu florystycznego poszczególnych kwadratów z uwzględnieniem skali hemerobii siedlisk zajmowanych przez wszystkie gatunki. Dla każdego kwadratu wykonano spis florystyczny w optymalnym okresie sezonu wegetacyjnego, przy czym spis ten uzupełniano w innych fazach rozwoju fenologicznego. Na podstawie tych spisów powstawały noty florystyczne (sumy wystąpień gatunków w poszczególnych kwadratach = notowania) w liczbie 14950.

Nomenklaturę taksonów oraz układ systematyczny gatunków i rodzin podano za Mirkiem i in. (2002).

W opracowaniu flory biotopów miejskich Olsztyna frekwencja wystąpień taksonów odnoszona jest do liczby pól podstawowych (kwadratów o powierzchni 1 km<sup>2</sup>). Klasy frekwencji ( $K_p$ ) opierają się na wyznaczonych przedziałach współczynnika frekwencji (F) (tab. 1).

Przynależność poszczególnych gatunków roślin synantropijnych do grup geograficzno-historycznych ustalono w oparciu o koncepcje Kornasia (1968a, 1968b, 1977), zmodyfikowane przez Mirka (1981). Dodatkowo korzystano z prac Jackowika (1990, 1998), Wołkowyckiego (2000) i Mirka



Ryc. 1. Podział terenu na podstawowe pola badawcze – kwadraty o boku długości 1 km.

Fig. 1. Subdivision of the site into basic study fields – squares with side length of 1 km.



Tabela 1.

Klasy frekwencji gatunków ( $K_f$ ) na badanym terenieSpecies frequency classes ( $K_f$ ) in the study area

$K_f$	OKREŚLENIE FREKWENCJI TAKSONÓW DETERMINING THE FREQUENCY OF TAXA	WSPÓLCZYNNIK FREKWENCJI (F) [%] ATTENDANCE RATIO (F) [%]	LICZBA STANOWISK NUMBER OF POSITIONS
I	Bardzo rzadki	< 5	1 – 5
II	Rzadki	5,1 – 15	6 – 15
III	Dość częsty	15,1 – 30	16 – 30
IV	Częsty	30,1 – 60	31 – 60
V	Pospolity	>60,1	61 – 103

i in. (2002). Przynależność poszczególnych gatunków do określonych form życiowych Raunkiera (Kornaś, Medwecka-Kornaś 2002) przyjęto za Zarzyckim i in. (2002).

Podczas badań terenowych zwrócono uwagę na aktualny stan wykorzystania przestrzeni na obszarze miasta. Uwzględniając formy zagospodarowania terenu wydzielono następujące jednostki (kompleksy) przestrzenne: kompleks miejskich nekropolii (CM), kompleks luźnej (blokowej) zabudowy (KLBZ), kompleks zwartej (kamienicznej) zabudowy (KZKZ), kompleks willowy (KW), kompleks rolniczy (KR), kompleks transportowy (KT), kompleks parków miejskich (P), kompleks Aeroklubu Warmińsko-Mazurskiego na Dajtkach (L).

Ogólna koncepcja hemerobii rozumiana jest jako całościowa miara wpływu kulturowego na ekosystemy i obejmuje ogół skutków, które pojawiają się w nich zarówno w wyniku zamierzonej, jak i niezamierzonej ingerencji człowieka. Skala hemerobii określa zakres, intensywność oraz trwałość zmian zachodzących w ekosystemach pod wpływem działalności człowieka. Stopień skali hemerobii wzrasta wraz ze wzrostem antropopresji. W pracy przyjęto 9-stopniową skalę Kowarika (1988), obejmującą 5 stopni podstawowych i 4 przejściowe (Jackowiak 1998). W związku z przedmiotem badań niniejszego opracowania, którym są biotopy *stricte* miejskie Olsztyna, przynajmniej z minimalną antropopresją, skala hemerobii dla badanych siedlisk rozpoczyna się od stopnia mezohemerobowego (nie stwierdzono siedlisk a- oraz oligohemerobowych), a kończy stopniem polyhemerobowym.

## Wyniki

Na obszarze biotopów miejskich Olsztyna stwierdzono występowanie 578 gatunków

naczyniowych roślin zielnych oraz siewek drzew i krzewów, w tym 5 w randze podgatunku, reprezentujących 84 rodziny i 327 rodzajów. Zebrano 14950 not florystycznych.

Gatunki roślin synantropijnych Olsztyna należą do 84 rodzin. Najbardziej zasobnymi w gatunki rodzinami są: *Asteraceae* (78 gatunków, 14%), *Poaceae* (51 gatunków, 9%), *Brassicaceae* (39 gatunków, 7%) i *Fabaceae* (38 gatunków, 7%) (tab. 2.). W przypadku 64 rodzin liczba gatunków nie przekraczała 5.

Liczebny rozkład taksonów w wydzielonych klasach frekwencji jest zgodny z uniwersalną prawidłowością: najliczniejszą grupę stanowią taksony bardzo rzadkie, a najmniej liczną taksony pospolite. Wśród wszystkich zidentyfikowanych gatunków ponad połowę stanowiły gatunki bardzo rzadkie, zajmujące od 1 do 5 stanowisk. Około 20% stanowiły gatunki rzadkie. Stwierdzono podobną liczebność gatunków dość częstych i częstych. Obydwie grupy stanowiły po około 10% całej puli gatunków. Niewiele mniej było gatunków pospolitych – 9% (tab. 3.). Gatunki najpospolitsze obserwowano w następującej liczbie pól podstawowych (kwadratów): *Poa annua* -102, *Plantago major* – 102, *Artemisia vulgaris* – 101, *Dactylis glomerata* – 100, *Taraxacum officinale* – 99, *Achillea millefolium* – 96, *Polygonum aviculare* – 96, *Trifolium repens* – 95, *Trifolium pratense* – 92, *Melandrium album* – 90, *Urtica dioica* – 90.

Najbardziej rozpowszechnioną formą życiową roślin na terenie zurbanizowanych obszarów miasta są hemikryptofity. W liczbie 250 gatunków stanowią one prawie połowę analizowanej flory (ryc. 2.). Ponad 30% – 176 gatunków – stanowią terofity. Kolejną liczebnie formą życiową są geofity z 58 gatunkami, które stanowią 10% całej flory synantropijnej. Bardzo zbliżony do siebie udział

Tabela 2.

## Frekwencja rodzin na obszarze biotopów miejskich Olsztyna

## Frequency of families in the urban biotopes of Olsztyn

RODZINA FAMILY	Gatunki Species		Notowania Quotations		Stanowiska Positions	
	liczba	%	liczba	%	liczba	%
Asteraceae	78	13,5	3523	23,6	103	100
Poaceae	51	8,8	1778	11,9	103	100
Brassicaceae	39	6,7	1041	7,0	94	91,3
Fabaceae	38	6,6	1353	9,1	98	95,1
Rosaceae	32	5,5	527	3,5	100	97,1
Caryophyllaceae	26	4,5	654	4,4	96	93,2
Scrophulariaceae	25	4,3	257	1,7	93	90,3
Lamiaceae	24	4,2	356	2,4	83	80,6
Apiaceae	20	3,5	521	3,5	102	99,0
Polygonaceae	19	3,3	917	6,1	103	100
Ranunculaceae	13	2,2	224	1,5	70	68,0
Chenopodiaceae	11	1,9	443	3,0	86	83,5
Boraginaceae	10	1,7	249	1,7	79	76,7
Geraniaceae	8	1,4	203	1,4	78	75,7
Solanaceae	8	1,4	27	0,2	20	19,4
Papaveraceae	7	1,2	192	1,3	71	68,9
Campanulaceae	6	1,0	22	0,1	15	14,6
Cyperaceae	6	1,0	39	0,3	31	30,1
Juncaceae	6	1,0	11	0,1	11	10,7
Primulaceae	6	1,0	14	0,1	13	12,6
Razem rodziny 1–20	433	74,9	12351	82,6	103	100
Pozostałe 64 rodziny	145	25,1	2599	17,4	95	94,8
Ogółem flora	578	100	14950	100	103	100

Tabela 3.

## Udział gatunków w poszczególnych klasach frekwencji

## Share of species in each attendance class

	FREKWENCJA FREQUENCY									
	Bardzo rzadki Very rare		Rzadki Rare		Dość częsty Quite common		Częsty Frequent		Pospolity Common	
	Liczba	%	Liczba	%	Liczba	%	Liczba	%	Liczba	%
Gatunki	301	52,1	110	19,0	59	10,2	56	9,7	52	9,0

przedstawiają mega- i nanofanerofity (reprezentowane przez samosiewy drzew i krzewów) – odpowiednio 28 i 35 gatunków. Najmniej jest chamefitów drzewiastych (5 gatunków), hydrofitów (4 gatunki) i lian (2 gatunki).

Najliczniej reprezentowaną grupą geograficzno-historyczną we florze biotopów miejskich Olsztyna są apofity, czyli gatunki synantropijne miejscowego

pochodzenia. Na badanym terenie stwierdzono występowanie 336 gatunków apofitów, co stanowi 58% całej flory miejskiej Olsztyna (ryc. 3.).

Spośród wszystkich apofitów prawie 50% stanowią apofity leśne i zaroślowe (ryc. 4.), najliczniej reprezentowane przez takie gatunki, jak: *Plantago major*, *Artemisia vulgaris*, *Aegopodium podagraria*, *Urtica dioica* czy *Tussilago farfara*.

Dość liczną grupę (25%) stanowiły apofity łąkowe. W tej grupie roślin dominowały: *Taraxacum officinale*, *Poa annua*, *Polygonum aviculare*, *Trifolium repens* i *Dactylis glomerata*. Niewiele ponad 10% reprezentują apofity muraw kserotermicznych – *Convolvulus arvensis*, *Berteroa incana*, *Bromus inermis* – oraz nadwodne – *Chenopodium album*, *Potentilla anserina* czy *Elymus repens*. Najmniej (9%) jest apofitów wydm i piaszczysk. Dominującą formą życiową wśród apofitów są hemikryptofity, czyli rośliny naziemnopączkowe. Reprezentowane są one przez 188 gatunków i stanowią ponad połowę (57%) całej flory apofitów. Drugą co do liczebności formą są rośliny jednoroczne, czyli terofity. Udział gatunków tej grupy wynosił 18% (61 gatunków). Najmniejszy udział stanowiły chamefity zielne.

Gatunki obce (antropofity) stanowią niewiele ponad 40% flory miejskiej Olsztyna. Wśród antropofitów dominują diafity, czyli gatunki nie zdomowione trwale. Stanowią one prawie 20% całej flory synantropijnej Olsztyna. Udział archeofitów (gatunki przybyłe w czasach przedhistorycznych i w średniowieczu – przed XV wiekiem) i kenofitów (gatunki przybyłe po XV wieku) wynosi odpowiednio 13% i 11%.

Na obszarze miasta stwierdzono występowanie 74 gatunków archeofitów, co stanowi niewiele ponad 10% całej flory miejskiej Olsztyna (ryc. 3.). Najczęściej na terenie miasta występują *Atriplex patula* (83 stanowiska, 178 notowań), *Matricaria maritima* subsp. *inodora* (83 stanowiska, 159 notowań), *Capsella bursa-pastoris* (80 stanowisk, 202 notowania), *Cichorium intybus* (74 stanowiska, 133 notowania), *Fallopia convolvulus* (74 stanowiska, 138 notowań) oraz *Scleranthus annuus* (74 stanowiska, 140 notowań). Dominującą formą życiową wśród archeofitów są terofity. Reprezentowane są one przez 51 gatunków i stanowią ponad 80% całej flory archeofitów. Drugą co do liczebności formą są rośliny naziemnopączkowe, czyli hemikryptofity. Zaledwie 1% udział (po jednym gatunku) w grupie archeofitów posiadają chamefity zielne i geofity.

W skład flory miejskiej Olsztyna wchodzi również 64 gatunki kenofitów, stanowiące zaledwie 11% całej zbadanej flory (ryc. 3.). Spośród wszystkich kenofitów ponad 60% (41 gatunków) stanowią hemiagriofity, tj. gatunki zdomowione w zbiorowiskach półnaturalnych, najliczniej reprezentowane przez takie gatunki jak *Solidago altissima*, *Medicago x varia*, *Erigeron annuus* czy *Impatiens parviflora*. Epekofity, to jest gatunki zdomowione wyłącznie w zbiorowiskach segetalnych i ruderalnych, w liczbie 23 gatunków,

stanowią 36% i są reprezentowane najczęściej przez *Chamomilla suaveolens*, *Conyza canadensis*, *Galinsoga ciliata* i *G. parviflora*. Wśród kenofitów wyraźnie przeważają gatunki pochodzące z kontynentu europejskiego i północnoamerykańskiego (ryc. 5.). Stanowią one odpowiednio 41% i 40%. Udział gatunków azjatyckich wynosi 16%, natomiast taksonów pochodzenia antropogenicznego zaledwie 3%.

Dominującymi formami życiowymi wśród kenofitów są hemikryptofity i terofity, które stanowią odpowiednio 39 i 36%. Najmniejszy udział stanowią chamefity zielne – tylko 1%.

Na badanym terenie zidentyfikowano 104 gatunki diafitów, co stanowiło prawie 20% całej flory miejskiej Olsztyna (ryc. 3.). Niemal wszystkie diafity, bo aż 99% (103 gatunki), należą do ergazjofitów – roślin uprawianych przez człowieka i przejściowo dziczejących. Najliczniej są one reprezentowane przez takie gatunki, jak: *Lonicera xylosteum*, *Alcea rosea*, *Parthenocissus quinquefolia* czy *Cerastium tomentosum*. Do efemerofitów, to jest tylko przejściowo zawlekanych roślin obcego pochodzenia, zaliczono tylko jeden gatunek – *Cynodon dactylon*. Dominującą formą życiową wśród diafitów są terofity, które reprezentowane są przez 33 gatunki i stanowią niewiele ponad 30% całej flory diafitów. Drugą co do liczebności formą są hemikryptofity, stanowiące 25% (26 gatunków).

Analizując przestrzenne rozmieszczenie i występowanie poszczególnych gatunków roślin w wydzielonych na terenie miasta kompleksach zagospodarowania terenu największą liczbę gatunków stwierdzono w kompleksie transportowym. W obrębie tego kompleksu występuje 466 gatunków (9560 notowań), co stanowi 81% wszystkich zidentyfikowanych taksonów (ryc. 6.).

Tak wysoki udział gatunków w tym typie użytkowania przestrzeni wiąże się z dużą częstością występowania tego typu siedlisk na terenie miasta. Najliczniejszą grupę stanowią tutaj apofity leśne i zaroślowe (24,7%, 115 gatunków), apofity łąkowe (17,2%, 80 gatunków) oraz archeofity (13,9%, 65 gatunków). Najczęstszymi gatunkami były tutaj: *Taraxacum officinale*, *Plantago major*, *Poa annua*, *Artemisia vulgaris* oraz *Polygonum aviculare*, *Atriplex patula*, *Matricaria maritima*, *Capsella bursa-pastoris*. Najmniejszy, zaledwie 0,2-procentowy udział, stanowiły występujące tylko w obrębie tego kompleksu efemerofity reprezentowane przez jeden gatunek – *Cynodon dactylon*, zlokalizowany na trzech stanowiskach. We wszystkich typach użytkowania przestrzeni na terenie miasta stwierdzono wyraźną dominację jednej formy życiowej

– hemikryptofitów. Ich procentowy udział wahał się od 43% w kompleksie luźnej (blokowej) zabudowy (121 gatunków) i parku (64 gatunki) do 61% na lotnisku. Nieco mniej licznie reprezentowane były terofity, a ich udział zawierał się w granicach od 20% na lotnisku do 35% w kompleksie rolniczym.

Hemerobia obejmuje stopniowany typ reakcji roślinności na antropopresję, czyli oddziaływanie człowieka, przez co możliwe staje się określenie nasilenia synantropizacji flory i roślinności będącej reakcją na określone natężenie, rodzaj i częstotliwość antropopresji. Największą liczbę gatunków zanotowano w obrębie biotopów reprezentujących

stopień przejściowy H4, czyli na siedliskach mezodo- $\beta$ -euhemerobowych. W obrębie tego typu siedlisk zanotowano występowanie 443 gatunków, co stanowi 76% wszystkich zidentyfikowanych gatunków (tab. 4).

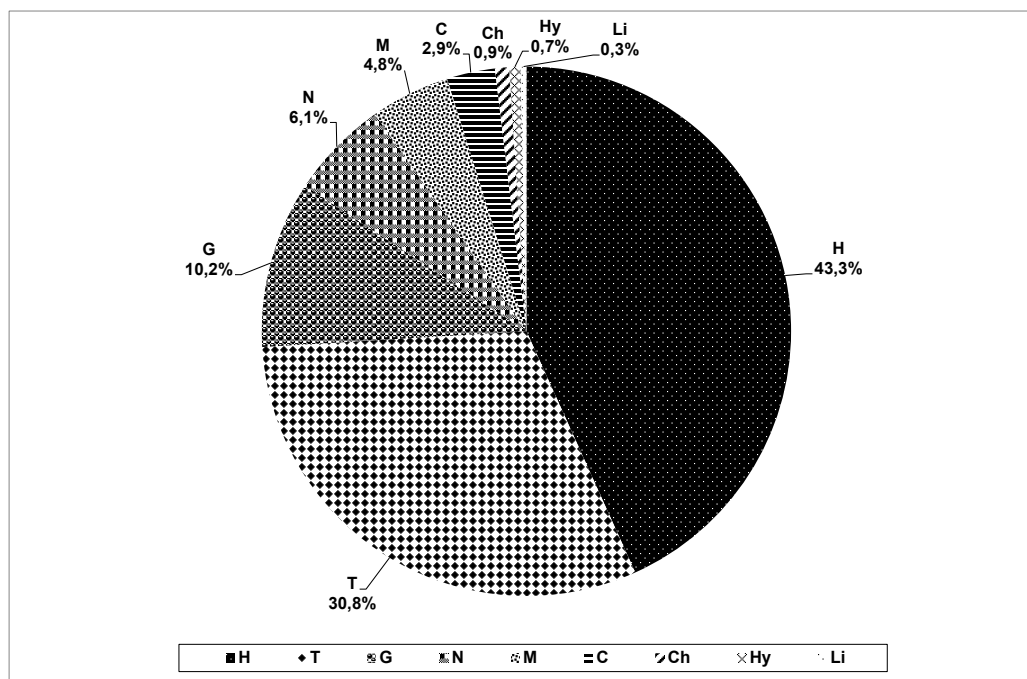
Niewiele mniej, bo 401 gatunków i prawie ich 70. procentowy udział zaobserwowano na siedliskach  $\beta$ -euhemerobowych. Prawie połowa gatunków (284 taksonów, 49%) zajmuje biotopy mezohemerobowe. Podobny udział gatunków (ok. 200) stwierdzono w obrębie siedlisk  $\alpha$ -euhemerobowych oraz przejściowych między  $\alpha$ -euhemerobowymi a polyhomerobowymi. Najmniej gatunków – 155 – zaobserwowano na siedliskach polyhomerobowych.

Tabela 4.

## Udział gatunków na siedliskach o różnym stopniu przekształcenia (hemerobi)

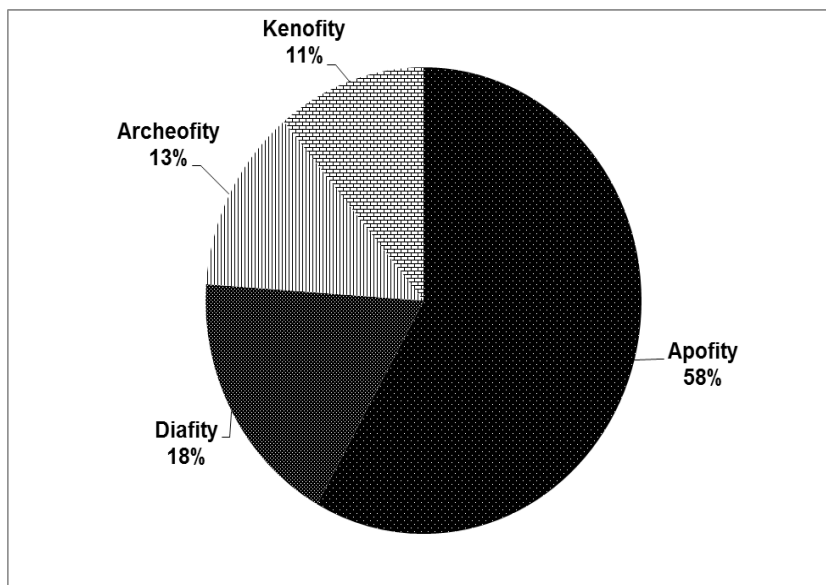
## Share of species on habitats with different degrees of transformation (hemeroby)

	STOPIEŃ HEMEROBII DEGREE OF HEMEROBY													
	H3		H4		H5		H6		H7		H8		H9	
	liczba number	%	liczba number	%	liczba number	%	liczba number	%	liczba number	%	liczba number	%	liczba number	%
<b>Gatunki</b>	284	48,9	443	76,6	401	69,5	169	29,5	203	35,1	199	34,4	155	26,7
<b>Notowania</b>	2359	15,8	5577	37,3	2961	19,8	430	2,9	839	5,6	1167	7,8	1617	10,8



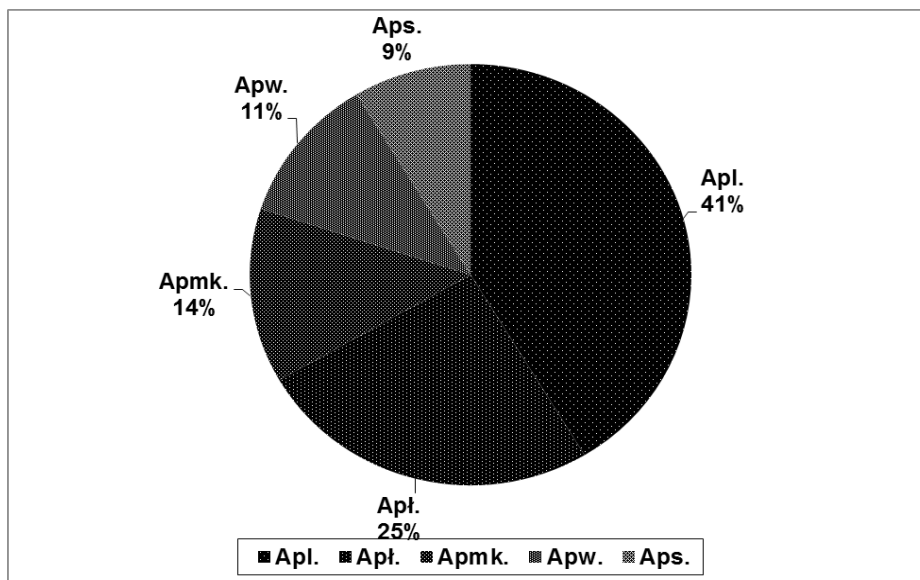
Ryc. 2. Procentowy udział form życiowych we florze miejskiej Olsztyna (H – hemikryptofity, T – terofity, G – geofity, N – nanofanerofity, M – megafanerofity, C – chamefity zielne, Ch – chamefity drzewiaste, Hy – hydrofity, Li – liany).

Fig. 2. Percentage share of life forms in the urban flora of Olsztyn (H – hemikryptophytes, T – therophytes, G – geophytes, N – nanofanerophytes, M – megafanerophytes, C – herbaceous chameophytes, Ch – woody chameophytes, Hy – hydrophytes, Li – lianas).



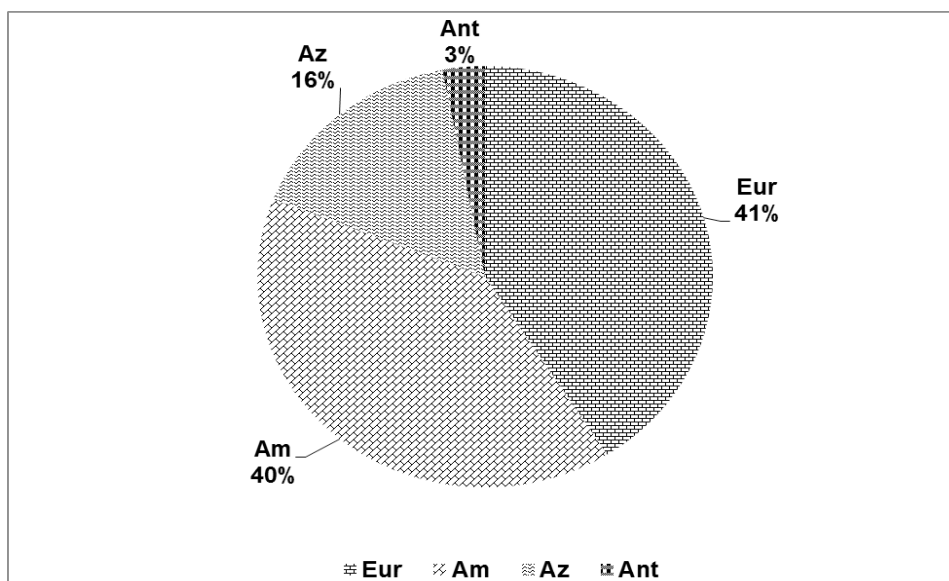
Ryc. 3. Udział procentowy poszczególnych grup geograficzno-historycznych we florze miejskiej Olsztyna

Fig. 3. Percentage share of particular geographical-historical groups in the urban flora of Olsztyn (Apofity – Apophytes, Archeofity – Archaeophytes, Kenofity – Kenophytes, Diafity – Diaphytes)



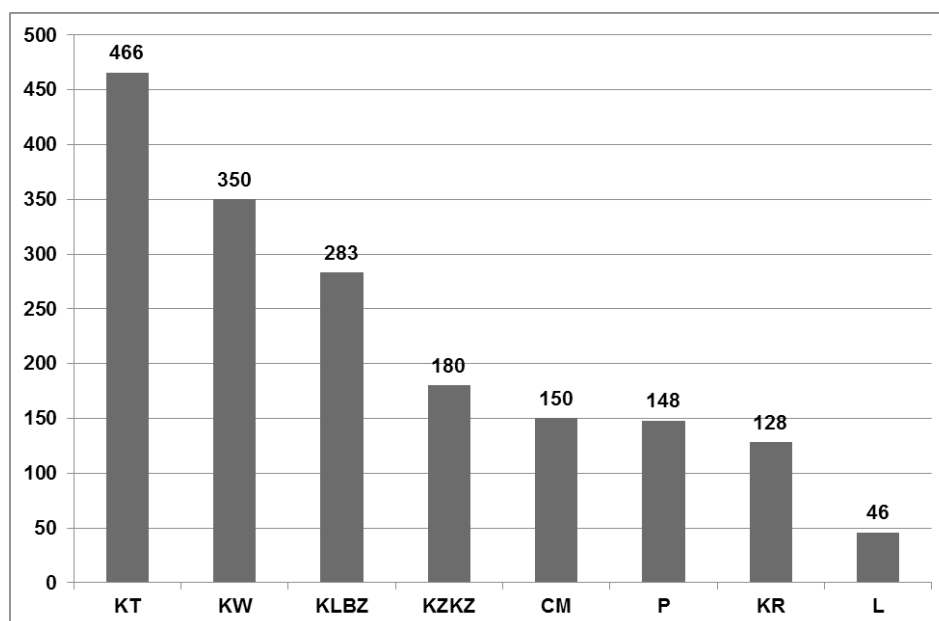
Ryc. 4. Udział poszczególnych grup apofitów we florze miejskiej Olsztyna (Apl – apofity leśne i zaroślowe, Apl – apofity łąkowe, Apmk – apofity muraw kserotermicznych, Apw – apofity nadwodne, Aps. – apofity wydmy i piaszczysk).

Fig. 4. The share of particular groups of apophytes in the Olsztyn urban flora (Apl – forest and shrub apophytes, Apl – meadow apophytes, Apmk – xerothermic grassland apophytes, Apw – riparian apophytes, Aps. – Apophytes of dunes and sands).



Ryc. 5. Pochodzenie kenofitów na terenie Olsztyna (Eur – gatunki europejskie, Am – gatunki amerykańskie, Az – gatunki azjatyckie, Ant – gatunki antropogeniczne)

Fig. 5. Origin of kenophytes in the Olsztyn area (Eur – European species, Am – American species, Az – Asian species, Ant – anthropogenic species)



Ryc. 6. Zróżnicowanie liczby gatunków w kompleksach użytkowania przestrzeni (CM – cmentarz, KLBZ – kompleks luźnej (blokowej) zabudowy, KR – kompleks rolniczy, KT – kompleks transportowy, KW – kompleks willowy, KZKZ – kompleks zwartej (kamienicznej) zabudowy, L – lotnisko, P – park).

Fig. 6. Variation in the number of species in spatial use complexes (CM – cemetery, KLBZ – loose (block) housing complex, KR – agricultural complex, KT – transport complex, KW – villa complex, KZKZ – compact (tenement) housing complex, L – airport, P – park).

## Dyskusja

Badania przeprowadzone w obrębie biotopów miejskich Olsztyna potwierdziły występowanie 578 gatunków naczyniowych roślin zielnych oraz siewek drzew i krzewów, w tym 5 w randze podgatunku, reprezentujących 83 rodziny i 327 rodzajów. Stanowią one 25,7% całej flory Polski (Pawłowska 1972).

Zbliżoną do flory biotopów miejskich Olsztyna liczbę gatunków (575) zanotowała Anioł-Kwiatkowska (1974) w mniejszej powierzchniowo Legnicy, a także Sowa (1964) w prawie trzykrotnie większej powierzchniowo, ponad 700-tysięcznej aglomeracji miasta Łodzi – 547 gatunków. W Tarnowie, w mieście najbardziej zbliżonym pod względem powierzchni do Olsztyna, Kucharczyk i Święs (1988) podają 535 gatunków. Dla porównania liczba gatunków notowanych w ponad 1,5 – milionowej Warszawie wynosi 1109 (Sudnik-Wójcikowska 1987), w Poznaniu, liczącym około 600 tysięcy mieszkańców stwierdzono występowanie 900 gatunków (Jackowiak 1993), w Gdańsku i Szczecinie, posiadających po ponad 300 tysięcy mieszkańców, odpowiednio 1030 i 871 gatunków (Schwarz 1967, Ćwikliński 1970). Faliński (1971) szacuje, iż flory roślin naczyniowych w różnych miastach polskich liczą od 300 do 1000 gatunków, a ich bezwzględna liczba nie zależy wprost od powszechnie przyjętych wykładników ich wielkości, tj. zajmowanej powierzchni i od liczby mieszkańców, lecz od dostępności i otwartości miasta dla przenikających do niego gatunków.

Flora synantropijna biotopów miejskich Olsztyna liczy 84 rodziny. Najbardziej zasobnymi w gatunki rodzinami były: *Asteraceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae* i *Fabaceae*. Poczynione porównania wykazały, że we wszystkich przypadkach zestaw rodzin jest zbliżony, jednak ich kolejność nieco odmienna. Najmniejsze różnice wykazują flory Olsztyna i Warszawy. Wśród najliczniejszych w gatunki rodzin w obrębie biotopów miejskich Olsztyna, tj. *Asteraceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae* oraz *Fabaceae*, kolejność czterech pierwszych rodzin jest niemal identyczna jak w przypadku flory miasta Warszawy (Sudnik-Wójcikowska 1987). Przy porównaniu flory Olsztyna z florą Polski zbieżność ta występuje tylko w dwóch pierwszych przypadkach, tj. rodzin *Asteraceae* i *Poaceae* (Pawłowska 1972).

Przeprowadzone badania wykazały, że liczebny rozkład taksonów w wydzielonych klasach frekwencji jest zgodny z uniwersalną prawidłowością: najliczniejszą grupę stanowią taksony

bardzo rzadkie, a najmniej liczną taksony pospolite. Analogiczną sytuację zaobserwował Chmiel (1993) podczas badań nad florą roślin naczyniowych wschodniej części Pojezierza Gnieźnieńskiego i jej antropogenicznych przeobrażeń w wieku XIX i XX.

W spektrum form życiowych badanego terenu, podobnie jak w innych opracowaniach (m.in. Sudnik-Wójcikowska 1987, Chmiel 1993), dominującą grupą są hemikryptofity.

Spektrum geograficzno-historyczne we florze biotopów miejskich Olsztyna najliczniej reprezentują apofity, czyli rośliny synantropijne miejscowego pochodzenia. Zbliżony udział apofitów potwierdził Wołkowycki (2000) w badaniach flor ruderalnych południowej części Niziny Północnopodlaskiej. Stanowiły one tam 56% wszystkich stwierdzonych gatunków. Podobny stosunek apofitów do antropofitów zaobserwowano w Polkowicach (Anioł-Kwiatkowska 1974), w Gdańsku (Schwarz 1967) i w Rabce (Skowrońska 1965). Więcej gatunków rodzimych zanotowano w Szczercowie (Sowa, Siciński 1982), Chełmie (Fijałkowski 1963), Warszawie (Sudnik-Wójcikowska 1987), Tarnowie (Kucharczyk, Święs 1988) i w Poznaniu (Jackowiak 1990), gdzie stanowiły ponad 75% badanej flory. Najmniejszy udział gatunków rodzimych stwierdzono w Jaśle (Świeś, Pleban 1981), Wrocławiu (Krawiecowa, Rostański 1976), Stalowej Woli i w Rzeszowie (Kucharczyk, Święs 1988), gdzie stanowiły około 40%. Badania własne nie potwierdzają spostrzeżenia Falińskiego (1971) o mniejszym udziale apofitów w miastach środkowej i wschodniej Polski niż w miastach o zbliżonej wielkości na zachodzie kraju.

Przeprowadzone badania wykazały, że najwięcej gatunków roślin na terenie Olsztyna występuje w kompleksie transportowym. W Poznaniu zdecydowanie najbogatszy był skład gatunkowy flory kompleksu leśno-łąkowego (Jackowiak 1990). W badaniach Olsztyna te naturalne i półnaturalne fitocenozy zostały pominięte.

Rozpatrując typy użytkowania przestrzeni na terenie miasta Olsztyna pod względem stopni hemerobii należy zauważyć, że największą liczbę gatunków na terenie badań zanotowano w obrębie biotopów reprezentujących stopień przejściowy H4, czyli na siedliskach mezo- do  $\beta$ -euhemerobowych. Odmienną sytuację zaobserwował we wschodniej części Pojezierza Gnieźnieńskiego Chmiel (1993). Największą liczbę gatunków obserwował on na siedliskach  $\alpha$ -euhemerobowych. W swoich badaniach przyjął on 6-stopniowy system klasyfikacyjny Sukoppa (1969, 1972).

**Wnioski**

1. Flora miejska Olsztyna jest dość uboga i liczy 578 gatunków naczyniowych roślin zielnych oraz samosiewów drzew i krzewów, reprezentujących 84 rodziny.
2. Najliczniej reprezentowaną grupą geograficzno-historyczną we florze biotopów miejskich Olsztyna są gatunki synantropijne miejscowego pochodzenia, czyli apofity, co najprawdopodobniej spowodowane jest mniej intensywnymi procesami synantropizacji i antropofityzacji.
3. Znaczny udział hemikryptofitów i terofitów na terenie zurbanizowanych obszarów miasta Olsztyna może niewątpliwie świadczyć o postępującej synantropizacji flory miasta.
4. Dominacja wśród antropofitów gatunków niezadomowionych trwale (diafitów) przemawia za małą stabilizacją składu flory miasta.
5. Wyraźna liczebna przewaga gatunków roślin w kompleksie transportowym potwierdza znaczącą rolę szlaków komunikacyjnych w dyspersji roślin synantropijnych.
6. Wysoki udział gatunków na siedliskach przejściowych od mezo- do  $\beta$ -euhemerobowych (4. stopień hemerobii) świadczy o dosyć wąskiej amplitudzie ekologicznej flory miasta.
7. Flora Olsztyna ma charakter typowy dla mniejszych osiedli.

**Literatura**

- Abromeit J. i in. (1898 – 1940). Flora von Ost- und Westpreussen. Berlin – Königsberg.
- Anioł-Kwiatkowska J. (1974). Flora i zbiorowiska synantropijne Legnicy, Lubina i Polkowic. Acta Univ. Wratislav., Wrocław 19: 1–151.
- Chmiel J. (1993). Flora roślin naczyniowych wschodniej części Pojezierza Gnieźnieńskiego i jej antropogeniczne przeobrażenia w wieku XIX i XX. Cz. 1, 2. Pr. Zakł. Takson. Roślin UAM Poznań.
- Ćwikliński E. (1970). Flora synantropijna Szczecina. Monogr. Bot. 33: 1 – 103.
- Endler Z., Duriasz J., Juskiewicz B. (1999). Fitocenozy *Chelidonio-Robiniatum* Jurko 1963 w parkach Olsztyna. Biul. Nauk. UWM, Olsztyn, 05: 99 – 108.
- Faliński J. (1966a). Degeneracja zbiorowisk roślinnych lasu miejskiego w Iławie. Mater. Zakł. Fitosoc. Stos. UW 13: 1 – 13.
- Faliński J. (1966b). Antropogeniczna roślinność Puszczy Białowieskiej jako wynik synantropizacji naturalnego kompleksu leśnego. Rozpr. Uniw. Warsz. 13: 1 – 256.
- Faliński J. (ed.) (1971). Synanthropisation of plant cover II. Synanthropic flora and vegetation of towns connected with their natural conditions, history and function. Mater. Zakł. Fitosoc. Stos. Uniw. Warsz. 27: 1–317.
- Fijałkowski D. (1963). Zbiorowiska roślin synantropijnych miasta Chełma. Ann. University Mariae-Curie-Skłodowska Lublin-Polonia, sect. C 18: 291–325.
- Jackowiak B. (1990). Antropogeniczne przemiany flory roślin naczyniowych Poznania. Wyd. Nauk. UAM, 42 B.
- Jackowiak B. (1993). Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych w Poznaniu. Prace Zakładu Taksonomii Roślin UAM 2, 5–409.
- Jackowiak B. (1998). Struktura przestrzenna flory dużego miasta. Studium metodyczno-problemowe. Prace Zakładu Taksonomii Roślin UAM w Poznaniu, Bogucki Wyd. Nauk. Poznań, 8: 1–228.
- Jutrzenka-Trzebiatowski A. (1999). Wpływ człowieka na szatę leśną Polski północno-wschodniej w ciągu dziejów. OBN im. Wojciecha Kętrzyńskiego, Olsztyn.
- Kalinowska J. (2004). Kształtowanie się fitocenozy wydeptywanych na terenie Olsztyna. Pr. Dokt. UWM, Olsztyn.
- Kondracki J. (1988). Geografia fizyczna Polski. PWN, Warszawa.
- Kondracki J. (1994). Polska. Mezoregiony fizycznogeograficzne. PWN, Warszawa.
- Kondracki J. (2002). Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- Kornaś J. (1968a). Prowizoryczna lista nowszych przybyszów synantropijnych (kenofitów) zadomowionych w Polsce. Mater. Zakł. Fitosocjol. Stos. UW 25: 43 – 53.
- Kornaś J. (1968b). Geograficzno-historyczna klasyfikacja roślin synantropijnych. Mater. Zakł. Fitosocjol. Stos. UW 25: 33 – 41.
- Kornaś J. (1977). Analiza flor synantropijnych. Wiad. Bot., 21 (2): 85 – 91.
- Kornaś J. (1981). Oddziaływanie człowieka na florę: mechanizmy i konsekwencje. Wiadomości Botaniczne 25 (3): 165–182.
- Kornaś J., Medwecka-Kornaś A. (2002). Geografia roślin. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Korniak T. (1968a). Stanowiska *Malva verticillata* L. na Pojezierzu Mazurskim. Zesz. Nauk. WSR Olszt. 24 (613): 19 – 23.
- Korniak T. (1968b). Kilka interesujących gatunków synantropijnych na terenie Pojezierza Mazurskiego. Fragm. Flor. Geobot., 14 (2): 161 – 164.
- Krawiecowa A., Rostański K. (1976). Zależność flory synantropijnej wybranych miast polskich od ich warunków przyrodniczych i rozwoju. Acta University Wratislav., Pr. Bot. 303 (21): 5–61.
- Kucharczyk M., Świąs F. (1988). An analysis of synanthropic flora of the selected towns of south-east Poland. Symposium Synanthropic flora and vegetation V (ed. by M. Zaliberová), s. 331–336. Martin.
- Mirek Z. (1981). Problemy klasyfikacji roślin synantropijnych. Wiad. Bot. 25 (1): 45 – 54.
- Mirek Z., Piekos-Mirkowa H., Zajac A., Zajac M. (2002). Flowering plants and pteridophytes of Poland. A checklist.



- Krytyczna lista roślin naczyniowych Polski. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- Nuissl H., Rink D., Steuer P. (2005). The consequences of urban sprawl in a context of decline: the case of Leipzig, UFZ-Diskussionspapiere, No. 7/2005.
- Olaczek R. (1982). Synantropization of phytocoenoses. *Memor. Zool.*, 37: 93–112.
- Olesiński L. (1968). Spostrzeżenia florystyczne z województwa olsztyńskiego. *Fragm. Flor. Geobot.*, 14 (4): 407 – 416.
- Olesiński L., Korniak T. (1980). Nowe gatunki roślin synantropijnych na Pojezierzu Mazurskim. *Fragm. Flor. Geobot.*, 26 (2–4).
- Pawłowska S. (1972). Statystyka florystyczna Polski. [W:] Szata roślinna Polski. Szafer W., Zarzycki K. (red.). t. 1. PWN, Warszawa: 129 – 131.
- Pieczyńska E. (2006). Występowanie i zmienność północnoamerykańskich taksonów z rodzaju *Solidago* L. na terenie Olsztyna. Pr. Dokt. UWM, Olsztyn.
- Schwarz Z. (1967). Badania nad florą synantropijną Gdańska i okolicy. *Acta Biol. Med. Soc. Sc. Gedan.* 11: 363–494.
- Skowrońska W. (1965). Flora synantropijna uzdrowiska Rabki. *Fragm. Flor. Geobot.* 11: 363–371.
- Sowa R. (1964). Roślinność ruderalna Łodzi. *Łódzkie Tow. Nauk.*, Wydz. III – Nauk Matem. Przyr. 96: 1–35.
- Sowa R., Siciński J. T. (1982). Flora synantropijna Szczercowa. *Spraw. Czyn. Pos. Nauk*, Łódź 36: 1–5.
- Steffen H. (1931). *Vegetationskunde von Ostpreussen. Pflanzensoziologie.* Bd. 1, Verlag V. G. Fischer, Jena.
- Steffen H. (1940). *Flora von Ostpreussen.* Königsberg.
- Stypinski P. (1978). Drzewa i krzewy cmentarzy Olsztyna. *Rocz. Dendrol.* 31: 153–161.
- Stypinski P. (1980). Występowanie jemioli polskiej (*Viscum album* L. ssp. *album*) na terenie miasta Olsztyna. *Rocznik Dendrologiczny*, vol. 33:
- Stypiński P. (1995). Dendroflora Olsztyna i jej środowisko ekologiczne. *Rocznik Dendrologiczny*, vol. 43: 79–92.
- Sudnik-Wójcikowska B. (1987). Flora miasta Warszawy i jej przemiany w ciągu XIX i XX wieku. Cz. I i II. Wyd. Univ. Warsz., ss. 242 i 435.
- Sukopp H. (1969). Der Einfluss des Menschen auf Vegetation. *Vegetatio*, 17: 360–371.
- Sukopp H. (1972). Wandel von Flora Und Vegetation In Mitteleuropa unter dem Einfluss des Menschen. *Ber. ü. Landwirtschaft.* Hrsg. Bundesministerium. f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, 50 (1): 112–139.
- Świąs F., Pleban A. (1981). Roślinność ruderalna i flora synantropijna miasta Jasło na Pogórzu Karpackim. *Ann. Univ. MCS, sec. C*, 36: 235–258.
- Wołkowycki D. (2000). Różnicowanie i ujednocianie się flor ruderalnych w warunkach izolacji środowiskowej. *Monogr. Bot.* 87: 1–157.
- Woś A. (1999). *Klimat Polski.* Wyd. nauk. PWN, Warszawa.
- Zajac A., Zajac M. (red.) (2001). *Atlas Rozmieszczenia Roślin Naczyniowych w Polsce (ATPOL).* Prac. Chronologii Komputerowej Inst. Bot. UJ, Kraków.
- Zarzycki K., Trzcńska-Tacik H., Różański W., Szelaż Z., Wołek J., Korzeniak U. (2002). Ecological indicator values of vascular plants of Poland. [W:] Z. Mirek (red.), *Biodiversity of Poland*, vol. 2. — W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków, 183 s.
- Zimny H. (2005). *Ekologia miasta.* Agencja Reklamowo-Wydawnicza Arkadiusz Grzegorzczak, Stare Babice.

# Wpływ hodowli na potencjał plonowania roślin bobowatych grubonasiennych

Influence of breeding on the yielding potential of grain legumes

Tadeusz Oleksiak<sup>✉</sup>, Dagmara Bronisz<sup>id</sup>

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy

✉ t.oleksiak@ihar.edu.pl

Oceniono wpływ hodowli na plonowanie roślin bobowatych i wykorzystanie istniejącego potencjału w praktyce. Analizy oparto na Wynikach Porejestranych Doświadczeń Odmianowych roślin bobowatych prowadzonych w latach 2005–2020 oraz danych statystycznych dotyczących plonowania w warunkach produkcyjnych (GUS 2005–2020). Badano zmiany liczebności odmian rejestrowanych w Krajowym Rejestrze, plonów oraz potencjałów plonowania nasion i białka poszczególnych gatunków. Plony poszczególnych gatunków nie zmieniły się znacząco, a w przypadku łubinów w ostatnich latach można stwierdzić spadek plonów. W przypadku soi sytuacja jest odwrotna i obserwuje się wzrost jej plonowania. Po wyeliminowaniu wpływu czynników środowiskowych stwierdzono niewielkie, ale istotne wzrosty plonów nasion i białka odmian soi, grochu, bobiku i łubinów. Średni roczny przyrost plonów mieścił się w przedziale od 6,6 kg nasion na hektar dla łubinu żółtego do 40,2 kg dla soi. Analogiczne wartości wzrostu plonów białka mieściły się w przedziale od 2,7 kg dla łubinu wąskolistnego do 12,7 kg dla soi. Wykorzystanie istniejącego potencjału plonowania roślin bobowatych w praktyce jest lepsze niż potencjału plonowania zbóż, jednak jest to za mało dla utrzymania, a tym bardziej poprawienia ich konkurencyjności.

**Słowa kluczowe:** bobowate grubonasienne, hodowla, plonowanie

The impact of breeding on grain legume yielding and utilization of the existing potential in practice were assessed. The analyses made use of the results of the Post-Registration Variety Testing experiments of grain legumes carried out in 2005–2020 and statistical data on yielding under production conditions (GUS, 2005–2020). Changes in the number of varieties entered in the National Register, as well as in the yield and yield potential of seeds and proteins of individual species were studied. Yields of individual species have not changed significantly, and in the case of lupins a decrease in yields has been observed in recent years. Only soybean yields have increased in recent years. After eliminating the influence of weather factors, small but significant increases in seed and protein yields of soybean, peas, broad bean and lupins were found. The average annual yield increase ranged from 6.6 kg of seeds per hectare for yellow lupin to 40.2 kg for soybean. Analogous values of protein yield increment ranged from 2.7 kg for narrow-leaved lupin to 12.7 kg for soybean. The use of the existing yield potential of grain legumes in practice is better than that of cereals, however, it is not sufficient to maintain, or improve their competitiveness.

**Key words:** grain legumes, breeding, yielding

## Wstęp

Wartość roślin bobowatych, wynikająca z ich walorów żywieniowych, paszowych oraz środowiskowych jest szeroko udokumentowana (Florek, 2017, Jezierny, Mosenthin i Bauer, 2010, Małecka-Jankowiak, Blecharczyk, Sawińska i Waniorek, 2018, Sońta i Rekiel, 2020, Stagnari, Maggio, Galieni i Pisante, 2017). O znaczeniu i możliwości rozwoju krajowych upraw roślin bobowatych, podobnie jak każdej innej uprawy, decyduje zapotrzebowanie rynku i ich zdolność konkurencyjny import śrutu sojowej, która dominuje w strukturze zaopatrzenia przemysłu

paszowego w Polsce. Aby to zmienić konieczna jest poprawa konkurencyjności produkcji krajowych roślin bobowatych, czego nie można osiągnąć bez poprawy plonów i opłacalności upraw. Wraz z wyczerpywaniem się możliwości poprawy wielkości i jakości plonu, na drodze doskonalenia i intensyfikacji agrotechniki, coraz większego znaczenia nabiera postęp hodowlany. Postęp hodowlany można rozpatrywać w aspekcie poprawy wskaźników jakości plonu – zawartości białka, polepszenia wartości żywieniowej, eliminacji lub zmniejszenia zawartości substancji antyżywniowych, poprawy struktury plonu, skrócenia okresu wegetacji, ograniczenia podatności roślin na wyleganie, oraz choroby i szkodniki. Finalnym celem, do którego zmierza hodowla

roślin bobowatych jest zwiększenie plonów nasion i białka, a także zapewnienie stabilności ich plonowania w latach (Świącicki 1993).

Celem pracy była ocena wpływu hodowli na plonowanie roślin bobowatych jak i wykorzystanie istniejącego potencjału poszczególnych gatunków w praktyce.

### Metodyka

W badaniach wykorzystano wyniki Porejestrowych Doświadczeń Odmianowych roślin bobowatych prowadzonych w COBORU (Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych) w latach 2005–2020. Analizowano zmiany w liczebności odmian wpisanych do Krajowego Rejestru oraz udziału odmian polskich. Porównano zmiany plonów oraz potencjału plonowania nasion i białka dla poszczególnych gatunków bobowatych. W celu wyeliminowania wpływu czynników pogodowych analizowano również wartości odchyień plonów odmian od plonów wzorców. Konstruowano je z odmian, wykorzystywanych w COBORU jako wzorce w Porejestrowych Doświadczeniach Odmianowych. Dla każdego gatunku przygotowano wzorzec składający się z dwóch odmian. Przy doborze odmian wzorcowych uwzględniano ich czas badania i stabilność plonowania w badaniach COBORU.

Do zaprezentowania zobiektyzowanego wpływu hodowli na plonowanie wykorzystano wskaźnik wartości odmian *DYA* (Differential Yielding Ability). Wskaźnik *DYA* pozwala ocenić plony po ograniczeniu wpływu zmiennych warunków pogodowych w poszczególnych latach. Szczegółowo opisany jest w pracach Feyerherm, Kemp i Paulsen (1989) i Krzymuski, Laudański i Oleksiak (1993). Obliczano go według wzoru:

$$DYAi = \frac{\sum_{r=1}^{Ni} (Yir - Ycr)}{Ni}$$

*DYAi* – potencjał plonotwórczy odmiany *i*

*Yir* – plon odmiany *i*-tej w *r*-tym roku

*Ycr* – plon wzorca w *r*-tym roku

*Ni* – liczba lat badań odmiany *i*

Wyniki i Dyskusja

O zmianach w zainteresowaniu i potencjalnym znaczeniu gatunku świadczy wielkość oferty odmianowej. W ciągu analizowanego okresu 2005–2020 liczba odmian roślin strączkowych w Krajowym Rejestrze (KR) zwiększyła się o 22%. Ponad trzykrotnie zwiększyła się liczba odmian soi i łubinu wąskolistnego, a o 57% łubinu żółtego. Zmniejszyła się liczba wpisanych do KR odmian

grochu, bobiku, łubinu białego i wyki (tab.1). W KR dominują wciąż odmiany krajowej hodowli jednak udział odmian zagranicznych wzrósł z 10 do 24%. Zagranicznych odmiany to głównie odmiany soi, natomiast w łubiny żółty i biały oraz wyki to wyłącznie odmiany polskie.

Najprostszym wskaźnikiem charakteryzującym intensywność prac hodowlanych jest liczba odmian rejestrowanych w KR. W latach 2006–2020 zarejestrowano łącznie 106 odmian roślin bobowatych. W początkowym okresie analizy z roku na rok zmniejszała się liczba rejestrowanych odmian. Jednak w ostatnim pięcioleciu widoczne są wyraźne efekty ożywienia i intensyfikacji prac hodowlanych, co jest zbieżne z podejmowanymi próbami stymulacji wzrostu krajowej produkcji białka roślinnego. Ponownie po okresie spadku, wzrasta zainteresowanie hodowlą bobowatych, a w Krajowym Rejestrze pojawiło się znacznie więcej nowych odmian (rys.1). Zmieniła się struktura gatunkowa rejestrowanych odmian. O ile wcześniej dominowały nowe odmiany tradycyjnie uprawianych w Polsce gatunków, takich jak grochu i łubinów (wąskolistnego i żółtego) to obecnie największy udział w rejestracji, ponad 30% stanowią odmiany soi (rys. 2). Są to odmiany z krajowej ale przede wszystkim z zagranicznych hodowli, które coraz szerzej wchodzi na polski rynek co jest pośrednim potwierdzeniem dużego potencjału uprawy soi w naszym kraju.

Poszczególne gatunki wyraźnie różnią się uzyskiwanymi plonami, co wynika z różnic w potencjale plonowania, warunków glebowych, stosowanego nawożenia oraz warunków atmosferycznych i siedliskowych związanych z rejonem lokalizacji uprawy (tab.2). W latach 2006–2014 prowadzono oddzielne badania grochu siewnego przeznaczonego na cele pastewne, na stanowiskach słabszych, których średnia wartość w skali IUNG wyniosła 65,8 oraz przy niższym nawożeniu. Soję w początkowym okresie badano na południu Polski, a od 2013 roku rozszerzano je na kolejne regiony. Aktualnie badania te prowadzone są dla całego kraju. Natomiast w przypadku łubinu wąskolistnego badania początkowo prowadzono na północy, w pasie centralnym i na Podkarpaciu. Dzięki Inicjatywie białkowej COBORU możliwy był wzrost liczby badań odmianowych z roślinami bobowatymi grubonasiennymi i od 2014 roku badania praktycznie obejmowały już wszystkie regiony kraju. W przypadku bobiku w latach 2009–2016 badania obejmowały północ i południe kraju, w pozostałych latach rozłożone były na całym obszarze Polski.

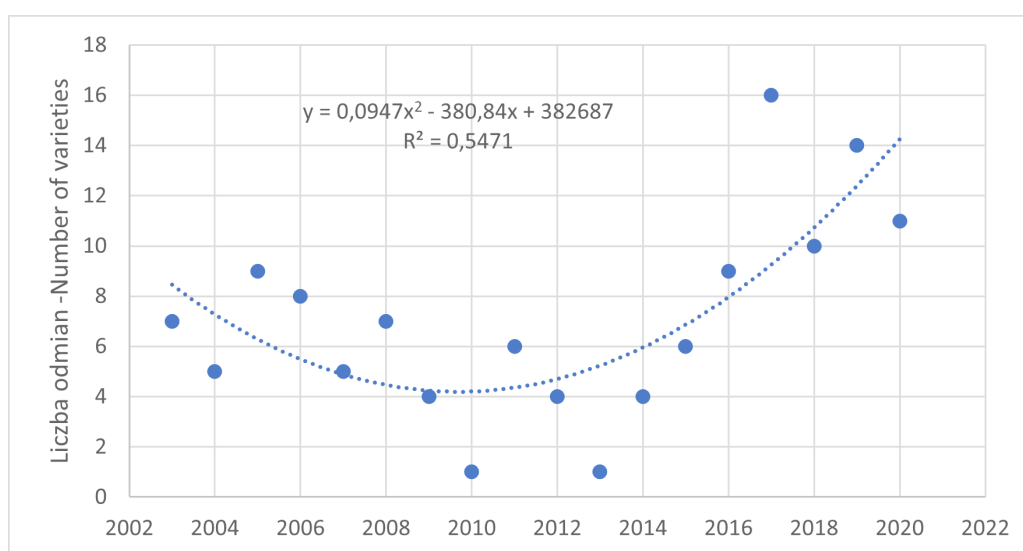
Tabela 1

Table 1

## Odmiany roślin bobowatych w Krajowym Rejestrze Odmian (KR)

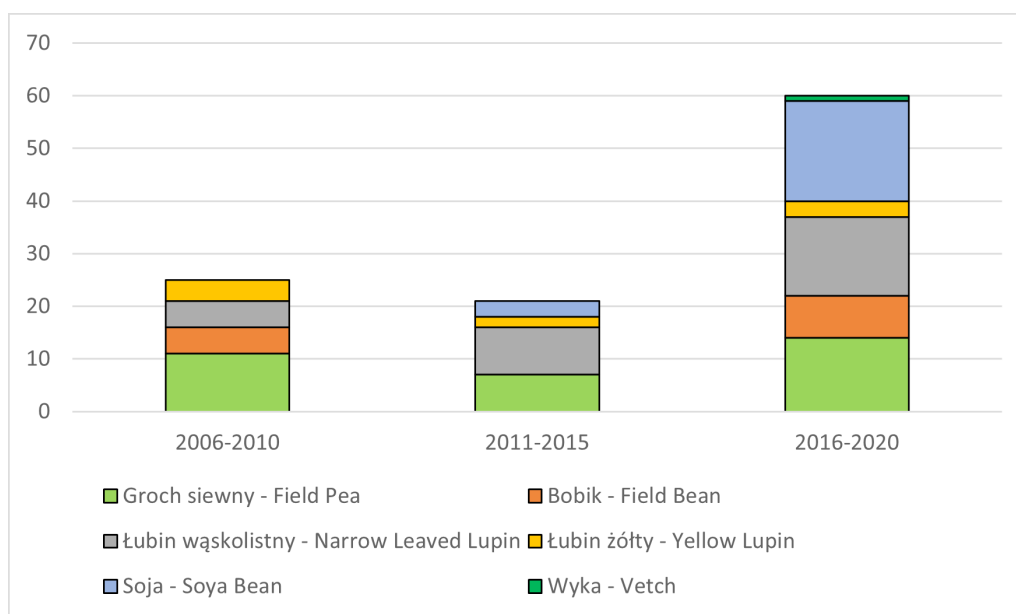
## Varieties of legumes in the National Register (KR)

Gatunki – Species	2005			2020			Zmiana liczebności KR – Change in the number of KR 2020/2005
	Liczba odmian ogółem – Total number of varieties	w tym krajowe – including domestic		Liczba odmian ogółem – Total number of varieties	w tym krajowe – including domestic		
	Liczba – number	%		Liczba – number	%		%
Groch siewny – Field Pea	43	36	83,7	31	25	80,6	72
Bobik – Field Bean	19	19	100,0	15	11	73,3	79
Łubin wąskolistny – Narrow-leaved Lupin	10	10	100,0	31	29	93,5	310
Łubin żółty – Yellow Lupin	7	7	100,0	11	11	100,0	157
Łubin biały – White Lupin	3	3	100,0	2	2	100,0	67
Wyka siewna – Common Vetch	8	6	75,0	5	5	100,0	63
Wyka kosmata – Hairy Vetch	2	2	100,0	1	1	100,0	50
Soja – Soya Bean	7	6	85,7	26	7	32,0	357
Ogółem – Total	99	89	89,9	121	92	76,0	122



Rys. 1 Nowe odmiany bobowatych w Krajowym Rejestrze Odmian (KR)

Fig. 1 New legume varieties in the National Register (KR)



Rys. 2 Struktura gatunkowa odmian bobowatych rejestrowanych w Krajowym Rejestrze (KR)

Fig. 2 Species structure of legume varieties registered in the National Register (KR)

Tabela 2.

Table 2.

Średnie plony i warunki uprawy w badaniach COBORU w latach 2006–2020.

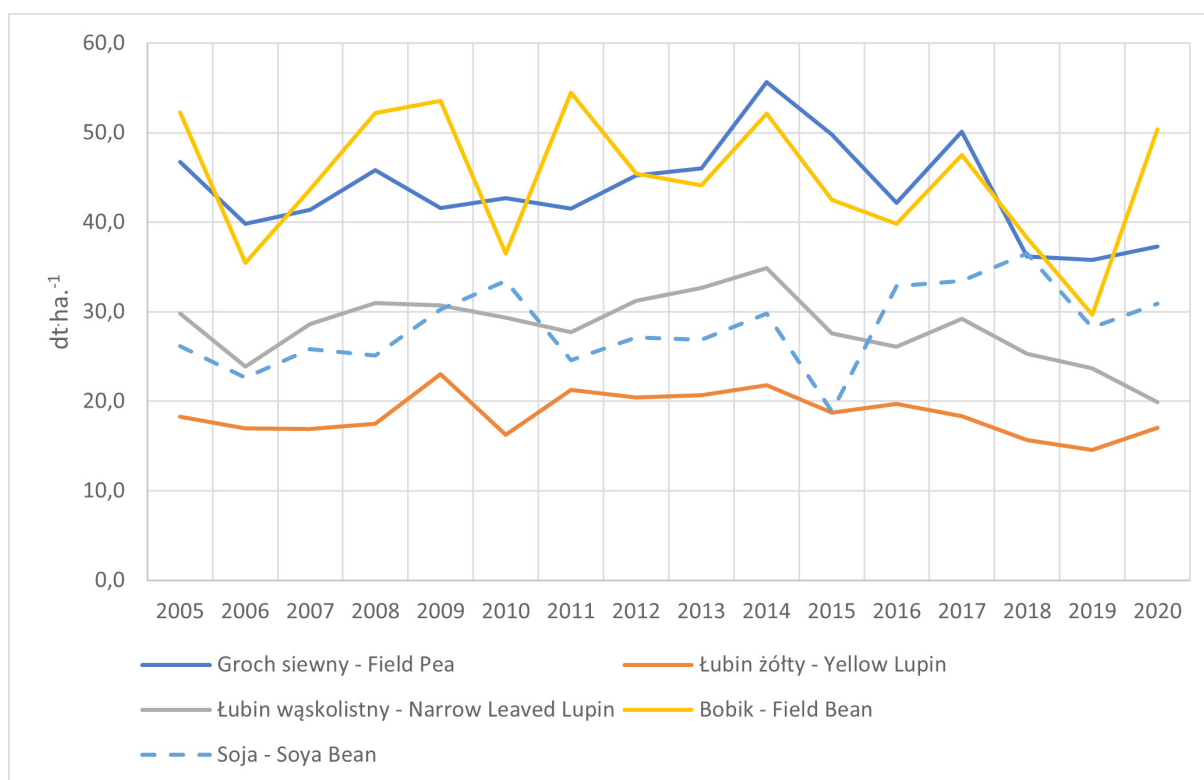
Average yields and cultivation conditions in the COBORU trials in the years 2006–2020.

Gatunki – Species	Plony dtha <sup>-1</sup> Yields dtha <sup>-1</sup>	Współczynnik zmienności plonów Coefficient of yield variation [%]	Jakość gleby skala IUNG 100° Fertilization Scale acc. to IUNG 100°	Nawożenie P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – kg·ha <sup>-1</sup> Fertilization P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - kg·ha <sup>-1</sup>	Nawożenie K <sub>2</sub> O – kg·ha <sup>-1</sup> Fertilization K <sub>2</sub> O- kg·ha <sup>-1</sup>	Nawożenie P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – kg·ha <sup>-1</sup> Fertilization P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - kg·ha <sup>-1</sup>
Bobik – Field bean	44,0	18,0	79,3	59,9	111,8	29,0
Groch siewny – Field pea	43,8	17,4	76,1	48,3	90,9	26,1
Soja – Soya bean	28,2	16,7	77,9	51,0	88,7	37,2
Łubin wąskolistny – Narrow-leaved lupin	28,7	15,6	65,9	35,9	69,5	13,9
Łubin żółty – Yellow lupin	18,7	15,4	61,5	32,5	64,5	10,1

Plony nasion poszczególnych gatunków w badaniach COBORU w ostatnim piętnastolecu przedstawiono na rysunku 3. Najplenniejszymi gatunkami są bobik oraz nieznacznie ustępujący mu groch, odpowiednie do uprawy na lepszych stanowiskach oraz warunkach intensywnych technologii. Plony gatunków odpowiednich do uprawy na słabszych stanowiskach, łubinu wąskolistnego

i żółtego testowanych na glebach o niższej jakości w skali IUNG oraz obniżonym poziomie nawożenia NPK (średnio 40%), były mniejsze odpowiednio o 35 i 58%. Wśród badanych gatunków bobik i soja charakteryzowały się wyższym poziomem zmienności plonowania w latach badań.

Dobór odmian roślin bobowatych grubonasienych i soi dostosowanych do lokalnych warunków



Rys. 3 Średnie plony roślin bobowatych grubonasiennych w doświadczeniach odmianowych w latach 2005–2020.

Fig. 3 Average yields of grain legumes in trials in the years 2005–2020.

środowiskowych będzie kluczowym warunkiem znaczącego rozszerzenia ich uprawy w Polsce (Gacek, 2017). Potrzebne są coraz lepiej plonujące odmiany bobowatych, które mogą skutecznie konkurować o miejsce w zasiewach jak i z importem nasion i śrut wysokobiałkowych.

Występują znaczne wahania plonów w doświadczeniach odmianowych dla roślin bobowatych w poszczególnych latach (rys.3). Generalnie nie były to zmiany pozwalające wskazać statystycznie udokumentowaną kierunkową tendencję w plonowaniu. Z perspektywy wielolecia plony poszczególnych gatunków nie zmieniły się znacząco, a w przypadku łubinów uprawianych na słabszych glebach, w ostatnich latach można stwierdzić spadek plonów. Powodem mogą być susze, bardziej odczuwalne na glebach lekkich, gdzie uprawia się łubiny. Dlatego odmiany pastewne reagują na suszę większym obniżeniem plonu nasion, niż odmiany jadalne (Kapusta, 2017). Wzrosły jedynie plony soi choć i w tym przypadku ich wahania były znaczne i nie można mówić o trwałym trendzie wzrostowym.

Porównując wartości plonowania uzyskane w okresie 2005–2020 z wynikami badań prowadzonych dla wcześniejszego okresu 1971–2006

(Prusiński, 2007), w których wykazano istotny wzrost plonowania dla poszczególnych gatunków (57,4 kg ha<sup>-1</sup>), można stwierdzić stagnację w plonowaniu odmian i brak istotnego postępu w hodowli bobowatych. Sytuacja ta może wynikać z wyjątkowo niekorzystnego przebiegu pogody w okresie wegetacji w ostatnich suchych latach, pogarszających się warunków uprawy jak i rozszerzania przez COBORU zakresu doświadczeń na rejony mniej sprzyjające uzyskiwaniu wysokich plonów.

W celu zobjektywizowania oceny wpływu hodowli, przeprowadzono analizę zmian plonowania poszczególnych odmian i gatunków, pozwalającą na wyeliminowanie wpływu zmiennych, niekontrolowanych czynników środowiskowych. Wyrażono je jako odchylenie od plonu wzorca uprawianego równolegle w latach, w których prowadzono ocenę. Dla wszystkich badanych odmian wyliczono wartości DYA (odchylenia plonów od plonu wzorca) charakteryzujące ich potencjał plonowania. Na ich podstawie wyliczono następnie wartości DYA charakteryzujące średnioroczne potencjały plonowania gatunków w kolejnych latach. Zmiany wartości plonów nasion i plonów białka poszczególnych gatunków opisane funkcją regresji ( $R^2$ ) przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Table 3

Średnioroczny przyrost potencjału plonowania analizowanych gatunków (kg/ha) w latach 2005–2020 według danych COBORU

Average annual increase in the yielding potential kg·ha<sup>-1</sup> in 2005–2020 according to COBORU

Gatunki – Species	Plon nasion Seed yield		Plon białka – Protein yield	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
Soja – Soya bean	40,2	0,8037	12,7	0,8679
Groch siewny Field peas	25,5	0,8931	7,5	0,9191
Łubin wąskolistny – Narrow-leaved lupin	11,9	0,8961	2,7	0,9149
Bobik – Field bean	8,7	0,6334	5,1	0,8929
Łubin żółty – Yellow lupin	6,6	0,8964	3,4	0,8653

Stwierdzono istotny wzrost plonów wszystkich gatunków. Średnie roczne przyrosty plonów z hektara mieściły się w przedziale 6,6 kg dla łubinu żółtego do 40,2 kg dla soi. Analogiczne wartości wzrostu plonów białka mieściły się w przedziale od 2,7 kg dla łubinu wąskolistnego do 12,7 kg dla soi (tab. 3). Należy zwrócić uwagę na wysoką dynamikę wzrostu plonowania soi uzyskanego dzięki postępowi hodowlanemu, porównywalną z wartościami uzyskiwanymi w głównych regionach uprawy Stanach Zjednoczonych – 31,8 kg ha<sup>-1</sup> dla lat 1999–2010 (Stojšin, Matson i Leitz, 2014) czy Argentynie – 44,3 kg ha<sup>-1</sup> dla lat 1985–2015 (Felipe, Gerde i Rotundo, 2016). O ile w warunkach Stanów Zjednoczonych i Argentyny soja jest jedną z głównych upraw, to w Polsce wciąż stanowi uprawę marginalną z dużymi perspektywami dalszego wzrostu potencjału plonowania. Zwiększenie upraw tego gatunku i tym samym produkcji nasion będzie wiązało się ze zwiększeniem zapotrzebowania na materiał siewny, co może stać się czynnikiem pobudzającym dalsze badania i prace hodowlane ukierunkowane na otrzymanie odmian soi wysoko plonujących w warunkach glebowo-klimatycznych naszego kraju.

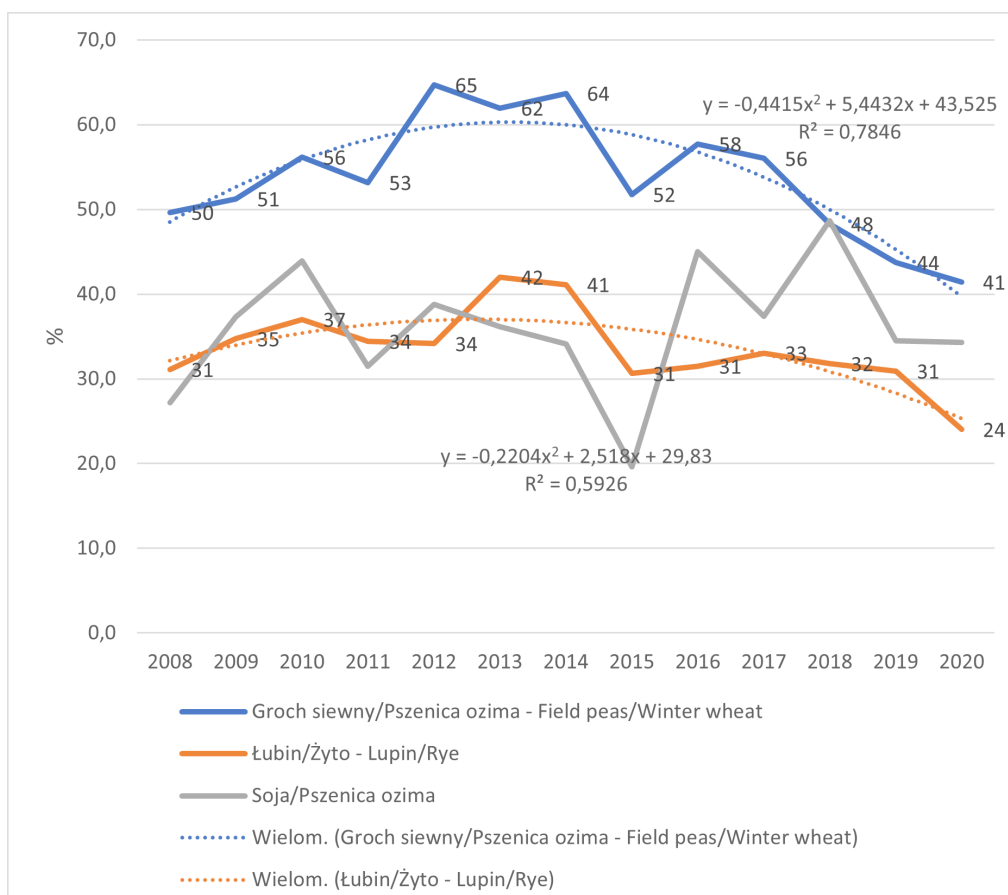
Wzrost plonowania bobowatych nie odbywał się kosztem zawartości białka, którego plony także wzrosły (tab.3). Przyrost potencjalnych możliwości plonowania był jednak niewielki. Jedynie wartości współczynników regresji wykazane dla plonu nasion soi i grochu były zbliżone do analogicznych wartości uzyskiwanych dla zbóż. Efektem są rosnące różnice między możliwymi do uzyskania plonami zbóż i bobowatych (rys. 4). Mimo, że potencjał plonowania roślin bobowatych w produkcji wykorzystywany jest lepiej niż potencjał zbóż (rys.5), to może być to za mało dla utrzymania a tym bardziej poprawienia konkurencyjności, co jest niezbędnym warunkiem umożliwiającym zwiększenie produkcji.

## Wnioski

W analizowanym okresie 2008–2021 zwiększyła się liczba odmian roślin bobowatych w Krajowym Rejestrze (KR), dotyczy to szczególnie soi. Zmniejszyła się liczba rejestrowanych odmian grochu, bobiku, łubinu białego i wyki. Dominują odmiany krajowej hodowli, ale udział odmian zagranicznych wzrasta i wynosi 24%, a soi 68%.

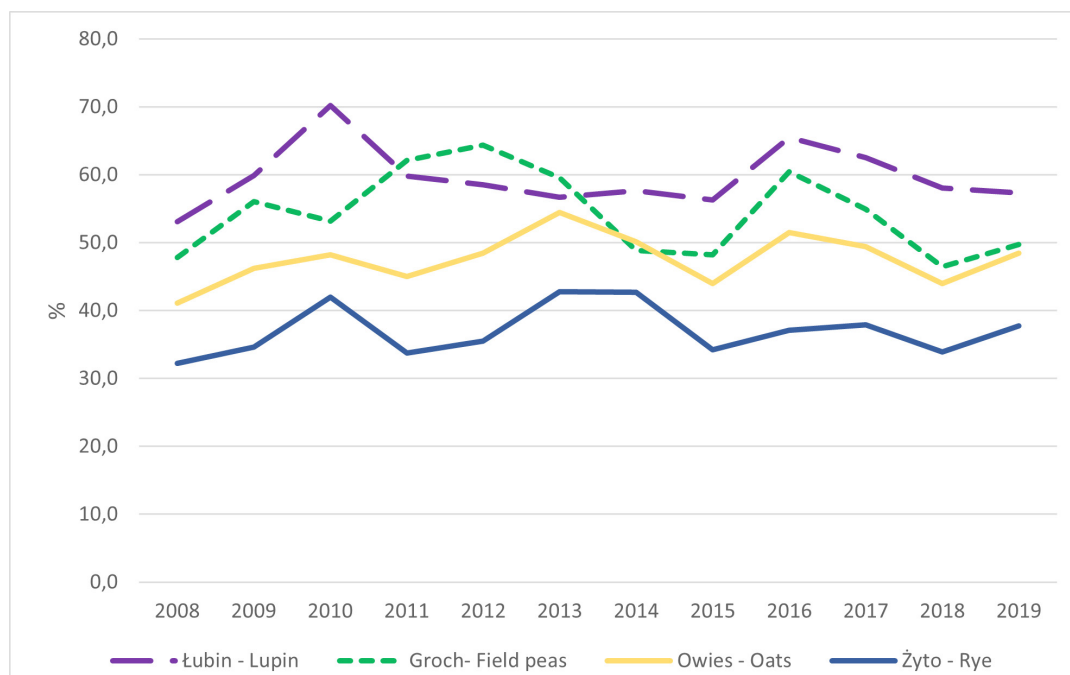
1. Plony poszczególnych gatunków nie zmieniały się znacząco, a w przypadku łubinów uprawianych na słabszych glebach, można stwierdzić spadek ich plonów w ostatnich latach. Występuje też duża zmienność plonowania w latach.
2. Najplenniejszymi gatunkami są bobik oraz nieznacznie ustępujący mu groch, odpowiednie do uprawy na lepszych stanowiskach i w intensywniejszej technologii. Plony łubinu wąskolistnego i żółtego testowanych na słabszych glebach oraz przy niższym poziomie nawożenia, były znacznie mniejsze. W ostatnich latach wzrastały jedynie plony soi.
3. W zobiektywizowanej ocenie, czyli po wyeliminowaniu wpływu niekontrolowanych czynników środowiskowych, stwierdzono niewielkie, ale istotne wzrosty plonów nasion i białka. Średni roczny przyrost plonów mieścił się w przedziale od 6,6 kg nasion na hektar dla łubinu żółtego do 40,2 kg nasion na hektar dla soi. Jedynie wartości wykazane dla soi były zbliżone do analogicznych wartości uzyskiwanego wzrostu potencjału plonowania zbóż. Efektem tego są rosnące różnice między potencjalnymi możliwościami plonowania zbóż i bobowatych.
4. Wykorzystanie istniejącego potencjału plonowania roślin bobowatych w praktyce jest lepsze niż potencjału zbóż. Jest to jednak za mało dla utrzymania a tym bardziej poprawienia ich konkurencyjności, co jest niezbędnym warunkiem umożliwiającym zwiększenie krajowej produkcji białka roślinnego.

Wpływ hodowli na potencjał plonowania roślin bobowatych grubonasiennych



Rys. 4 Relacja plonów gatunków roślin bobowatych grubonasiennych do plonów zbóż w latach 2008–2020 w Porejestrowych badaniach odmianowych (PDO).

Fig. 4 Relation of the yields of grain legume species to the yields of cereals in 2008–2020 in the Post-Registration Variety Testing trials (PDO).



Rys. 5 Wykorzystanie potencjału plonowania roślin bobowatych grubonasiennych zbóż w latach 2008–2020 na podstawie wyników z doświadczeń (PDO) i z produkcji (GUS).

Fig. 5. Utilization of the yield potential of grain legumes in 2008–2020 based on the results of Post-Registration Variety Testing trials (PDO) and production (GUS).



**Literatura**

- COBORU (2006)–2020. Wyniki Porejestranych Doświadczeń Odmianowych. Rośliny bobowate..
- Felipe M., Gerde J. A., and Rotundo J. L. (2016). Soybean Genetic Gain in Maturity Groups III to V in Argentina from 1980 to 2015, *Crop Sci.* 56:1–12, [https://doi: 10.2135/cropsci2016.04.0214](https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0214)
- Feyerherm A. M., Kemp K. E., Paulsen G. M. (1989). Genetic contribution to increased wheat yields in the USA between 1979 and 1984 *Agronomy Journal* 81: 242–245.
- Florek J. (2017). Możliwości wykorzystania roślin strączkowych do produkcji pasz w Polsce. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, XIX (4), 40–45.
- Gacek E. (2017). Potencjał hodowlany i osiągnięcia polskiej hodowli roślin rolniczych. *Biul. IHAR* 282, 151–160.
- GUS 2005–2020. *Roczniki Statystyczne*.
- Jezierny D., Mosenthin R., Bauer E. (2010). The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology* 157 (3–4), 111–128. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.03.001>
- Kapusta F. (2017). Rola roślin strączkowych w rolnictwie polskim. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego* 1: 68–78.
- Krzymuski J., Laudański Z., Oleksiak T. (1993). Metody oceny postępu genetycznego, *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rolnictwo* Nr 223: 49–56.
- Małecka-Jankowiak I., Blecharczyk A., Sawińska Z., Waniorek W. (2018). Wpływ następczy łąbinu i grochu na plonowanie pszenicy ozimej w zależności od uprawy roli i nawożenia azotem. *Fragm. Agron.*, 35 (4), 67–79. DOI: 10.26374/fa.2018.35.43
- Prusiński J. (2007). Postęp biologiczny w hodowli i uprawie grochu siewnego i bobiku. *Fragmenta Agronomica* XXIV, Nr 4 (96),
- Sońta M., Rekiel A. (2020). Legumes – use for nutritional and feeding purposes. *J. Elem.*, 25 (3), 835–849. DOI: 10.5601/jelem.2020.25.1.1953
- Stagnari F., Maggio A., Galieni A., Pisante M. (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4 (2). <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>
- Stojšin D., Matson K.W., Leitz R.A. (2014). Sustainable Agriculture and Soybean Breeding: Contribution of Soybean Yield Increase to Sustainable Agriculture. In: Songstad D., Hatfield J., Tomes D. (eds) *Convergence of Food Security, Energy Security and Sustainable Agriculture*. Biotechnology in Agriculture and Forestry, vol 67. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-55262-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-55262-5_9)
- Święcicki W. (1993). Wybrane zagadnienia genetyki i hodowli łąbinu. łąbinu w gospodarce i życiu człowieka. *Materiały Konferencyjne. PTL Poznań*: 23–39.

## SPIS TREŚCI

### CONTENTS

LECH BOROS, ANNA WAWER, MAGDALENA WIŚNIEWSKA, DANUTA BOROS	3
Effect of genotype and contrasting climate conditions on physical and chemical characteristics of soybean ( <i>Glycine max</i> L. Merrill)	
Wpływ genotypu i kontrastujących warunków klimatycznych na cechy fizykochemiczne nasion soi ( <i>Glycine max</i> L. Merrill)	
JAN BUCZEK, MARTA JAŃCZAK-PIENIĄŻEK	17
Reakcja pszenicy hybrydowej na wysokie dawki azotu i nawożenie dolistne	
Hybrid wheat response to high nitrogen application rates and foliar fertilisation	
TOMASZ GÓRAL, PIOTR OCHODZKI, LINDA KÆRGAARD NIELSEN, DOROTA WALENTYN-GÓRAL	25
Species of the genus <i>Fusarium</i> and <i>Fusarium</i> toxins in the grain of winter and spring wheat in Poland	
Gatunki z rodzaju <i>Fusarium</i> oraz toksyny fuzaryjne w ziarnie pszenicy ozimej i jarej w Polsce	
TADEUSZ OLEKSIK, DAGMARA BRONISZ	43
Stan i perspektywy produkcji nasiennej roślin bobowatych grubonasiennych w Polsce	
The condition and perspectives of seed production of grain legumes in Poland	
BARTOSZ TOMASZEWSKI	53
Flora roślin synantropijnych biotopów miejskich Olsztyna	
Flora of synanthropic plants of urban biotopes in Olsztyn	
TADEUSZ OLEKSIK, DAGMARA BRONISZ	65
Wpływ hodowli na potencjał plonowania roślin bobowatych grubonasiennych	
Influence of breeding on the yielding potential of legumes	

## **Lista Recenzentów w roku 2021**

### **Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin**

<b>Adela Adamus</b>	Instytut Biologii Roślin i Biotechnologii. Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
<b>Andrzej Kotecki</b>	Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu
<b>Anna Jaroszevska</b>	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
<b>Arkadiusz Kosmala</b>	Instytut Genetyki Roślin PAN
<b>Barbara Sawicka</b>	Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
<b>Barbara Wiewióra</b>	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin - PIB
<b>Bożena Nosecka</b>	Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej — Państwowy Instytut Badawczy
<b>Dariusz Mańkowski</b>	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
<b>Edward Gacek</b>	Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych
<b>Ewa Grzebelus</b>	Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
<b>Grażyna Podolska</b>	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach
<b>Grzegorz Żurek</b>	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
<b>Henryk Bujak</b>	Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych
<b>Janusz Prusiński</b>	Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
<b>Jerzy Księżak</b>	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa — Państwowy Instytut Badawczy w Puławach
<b>Joanna Dłużniewska</b>	Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
<b>Krystyna Zarzyńska</b>	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
<b>Łukasz Stępień</b>	Instytut Genetyki Roślin PAN
<b>Magdalena Twarużek</b>	Instytutu Biologii Eksperymentalnej Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy
<b>Małgorzata Szczepanek</b>	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
<b>Marcin Studnicki</b>	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
<b>Mariola Staniak</b>	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB
<b>Michał Starzycki</b>	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
<b>Renata Dobosz</b>	Instytut Ochrony Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
<b>Sylwia Oleszczuk</b>	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
<b>Tadeusz Adamski</b>	Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk
<b>Wojciech Kozera</b>	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy