

# Monitorowanie populacji grzyba *Ustilago maydis*, sprawcy głównej guzowatej kukurydzy na terenie Polski w latach 2016 – 2019

Monitoring *Ustilago maydis* population causing common smut of maize in Poland between 2016 - 2019

Elżbieta Czembor<sup>✉</sup>, Seweryn Frasiński<sup>✉</sup>

Zakład Traw, Roślin Motylkowatych i Energetycznych Pracownia Traw Pastewnych i Roślin Motylkowatych, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików, 05–870 Błonie  
✉ e-mail: e.czembor@ihar.edu.pl

Duża powierzchnia uprawy kukurydzy oraz uproszczenie agrotechniki spowodowały nasilenie występowania wybranych patogenów w tym grzyba *Ustilago maydis*, który jest sprawcą głównej guzowatej. Monitorując jego populację w latach 2016 – 2019 w 9 lokalizacjach, reprezentujących różne rejony agroklimatyczne Polski wykazano istotne różnice pomiędzy latami, lokalizacjami i odmianami dla frekwencji roślin z objawami choroby. Przebieg warunków atmosferycznych w sposób istotny wpływał na rozwój głównej guzowatej. W roku 2017, gdy temperatury powietrza były niższe w stosunku do pozostałych lat badań, frekwencja roślin z objawami choroby była bardzo niska. Natomiast w pozostałych latach dla wybranych odmian wynosiła odpowiednio 26,7% w roku 2016, 32,0% w roku 2018 i 20,0% w roku 2019.

W lokalizacjach reprezentujących obszar Polski Centralnej (Lućmierz i Kawęczyn) oraz Zachodniej (Krościna Mała) frekwencja roślin z objawami choroby była najwyższa. W Przecławiu (Polska Południowo-Wschodnia) nasilenie choroby było znikome na przestrzeni wszystkich lat badań. Włączone do badań odmiany różniły się pod względem frekwencji roślin z objawami porażenia *Ustilago maydis* i porównania te były powtarzalne w różnych lokalizacjach. Świadczy to, że włączenie do programów hodowlanych genotypów o wysokiej odporności na tego patogena może zapewnić uzyskanie postępu biologicznego dla tej cechy. Monitorowanie stopnia porażenia roślin główną guzowatą w połączeniu z prognozowaniem warunków meteorologicznych są ważnym elementem w planowaniu integrowanej ochrony kukurydzy.

**Słowa kluczowe:** kukurydza, głównia guzowata, *Ustilago maydis*

The large cultivation area of maize and the simplification of applied agrotechnics increased the occurrence of pathogens, including *Ustilago maydis* causing common smut. Monitoring this pathogen population at 9 locations representative for different agroclimatic regions of Poland across 2016–2019, significant differences between years, locations and cultivars for the frequency of plants with symptoms of the disease were determined. Weather conditions significantly affected the development of the corn smut disease. In 2017, when temperatures were lower than in other years, the frequency of plants with symptoms of the disease was very low. In the other years the for some cultivars it was 26,7% in 2016, 32,0% in 2018 and 20,0% in 2019.

In the other years, for some of the selected cultivars, it increased to 26.7% in 2016, 32.0% in 2018 and 20.0% in 2019 respectively. In the locations representing Central Poland (Lućmierz and Kawęczyn) and Western Poland (Krościna Mała), the frequency of plants with symptoms of the disease was the highest. In Przecław (South-Eastern Poland), the severity of the disease was very low throughout all the years. The differences between the cultivars in terms of the frequency of plants with symptoms of *Ustilago maydis* infection indicate that it is possible to obtain genetic gain for resistance to the corn smut. Monitoring the degree of plant infection with corn smut combined with forecasting weather conditions, is an important part in integrated maize protection system.

**Key words:** maize, corn smut, *Ustilago maydis*

## Wstęp

Kukurydza jest rośliną o bardzo dużym znaczeniu gospodarczym, wykorzystywaną zarówno na cele spożywcze, na paszę jak i do produkcji energii odnawialnej, dlatego powierzchnia jej uprawy rośnie zarówno w Polsce jak i na całym świecie. W latach 2017

– 2018 powierzchnia uprawy kukurydzy na terenie Polski wynosiła odpowiednio 1159 ha na ziarno i 1246 tys. ha na kiszonkę (GUS 2019).

Uproszczone praktyki rolnicze oraz ocieplenie klimatu spowodowały duże nasilenia występowania organizmów szkodliwych, w tym głównej guzowatej (powodowanej przez *Ustilago*

*maydis*). *Ustilago maydis* to patogen biotroficzny. Zakażenie *U. maydis* wywołuje charakterystyczne objawy, takie jak chloroza, która pojawia się 24 godziny po zakażeniu a następnie 2 dni po zakażeniu pojawiają się smugi antocyjanów i strzępki grzyba, które namnażają się i przenikają pomiędzy komórkami mezofilu. Po 4 dniach strzępki grzyba rozrastają się do wiązek przewodzących i następuje rozwój narośli. Po 12–14 dniach narośla są duże i wewnątrz wykształcane są diploidalne teliospory (Banuett, Herskowitz, 1996; Basse, 2005; Doehlemann i in. 2008; Vollmeister i in., 2012; Kretschmer i in., 2012; Gao i in., 2013; Matei, Doehlemann, 2016).

Grzyb ten nie produkuje mykotoksyn, ale istotnie wpływa na odporność roślin na inne stresy biotyczne czy abiotyczne. Wytwarza zestaw białek, tzw. efektorów, które wpływają na metabolizm komórek żywiciela, ich strukturę i funkcje (Kämper i in., 2006; Hemetsberger i in., 2012; Abbas i in. 2015; Matei i in., 2018). Warunki atmosferyczne w sposób istotny wpływały na nasilenie choroby. Dotychczasowe doniesienia literaturowe wskazują, że rozwojowi patogenu sprzyjają wysokie temperatury i wysoka wilgotność powietrza (Waligóra i in., 2008).

Najbardziej efektywnymi metodami ograniczenia rozwoju choroby i przyjaznymi środowisku, są metody agrotechniczne i hodowlane. Geny odporności na *U. maydis* zostały zidentyfikowane, jednak nie są w pełni efektywne. Badania prowadzone przez zespół IHAR-PIB wskazały duże zróżnicowanie w obrębie elitarnych linii wsobnych wykorzystywanych we współczesnej hodowli (Czembor, Frasiński, 2018). Oceniono 50 elitarnych linii wsobnych, wykorzystywanych współcześnie w programach hodowlanych stwierdzając brak objawów choroby u ponad 60% genotypów. Doświadczenia prowadzono na polach, gdzie kukurydza uprawiana była w monokulturze od 10 lat, co zapewniło duże nasilenie infekcji naturalnej, a frekwencja roślin z objawami choroby w obrębie badanych linii wahała się w zakresie 0,0 – 48,0%. Ponieważ teliospory grzyba przez wiele lat zimują w glebie i stanowią zawsze pierwotne źródło zakażenia, dlatego polecane jest również zaprawianie nasion. Przy przekroczeniu progów szkodliwości ochrona dolistna, biologiczna lub chemiczna, może ograniczyć straty, szczególnie jeżeli narośla rozwijają się na kolbach, ograniczając zawiązywanie i rozwój nasion.

Monitoring występowania ważnych gospodarczo patogenów i szkodników w danym roku i w latach wcześniejszych oraz warunków

pogodowych jest podstawą do opracowania systemów decyzyjnych ochrony roślin użytkowych. Jest on również podstawą do uzyskania postępu biologicznego i rozwoju hodowli odpornościowej. Dlatego celem bieżącej pracy było określenie nasilenia występowania głównej guzowatej na terenie Polski w latach 2016 – 2019.

### **Materiały i Metody**

Monitorowanie występowania głównej kukurydzy na terenie Polski w latach 2016 – 2019 prowadzono w Stacjach i Zakładach Doświadczalnych Oceny Odmian COBORU na doświadczeniach Porejestrzowego Doświadczalnictwa Odmianowego. Łącznie uwzględniono w badaniach 9 lokalizacji, które reprezentowały większość rejonów agroklimatycznych Polski. Były to: Przecław, Węgrzce, Zybiszów, Krościna Mała, Świebodzin, Kawęczyn, Lućmierz, Głębokie oraz Smolice (Rys. 1).

Doświadczenia były zakładane i prowadzone według metodyki WGO, COBORU.

W badaniach uwzględniono odmiany zarejestrowane w Krajowym Rejestrze Odmian a włączone do badań PDO jako odmiany wzorcowe. Duża rotacja odmian kukurydzy na liście odmian zarejestrowanych uniemożliwiała, aby w badaniach uwzględnić te same odmiany we wszystkich rejonach, w ciągu wszystkich lat. Natomiast dążono, aby lista odmian włączonych do badań w trakcie tego samego sezonu wegetacyjnego uwzględniała te same odmiany. Były one zróżnicowane pod względem wczesności (grupy wczesne, średnio-wczesne i średnio-późne) oraz typu ziarna (formy szkliste – flint i zębokształtne – dent).

Ocena porażenia roślin przez głównię guzowatą prowadzona była w fazie dojrzałości pełnej ziarna poprzez określenie frekwencji roślin z objawami porażenia w obrębie odmiany. Próbkę reprezentatywną dla każdej odmiany stanowiło 30 roślin (po 10 roślin w powtórzeniu).

Przebieg warunków meteorologicznych był monitorowany w lokalizacjach, w których prowadzono doświadczenia dla lat 2016 – 2018. W analizach uwzględniono temperatury średnie i maksymalne oraz sumę opadów w czerwcu, lipcu i sierpniu (Rys. 2, 3, 4). Jest to okres wegetacji krytyczny dla infekcji pierwotnej, a następnie rozwoju choroby.

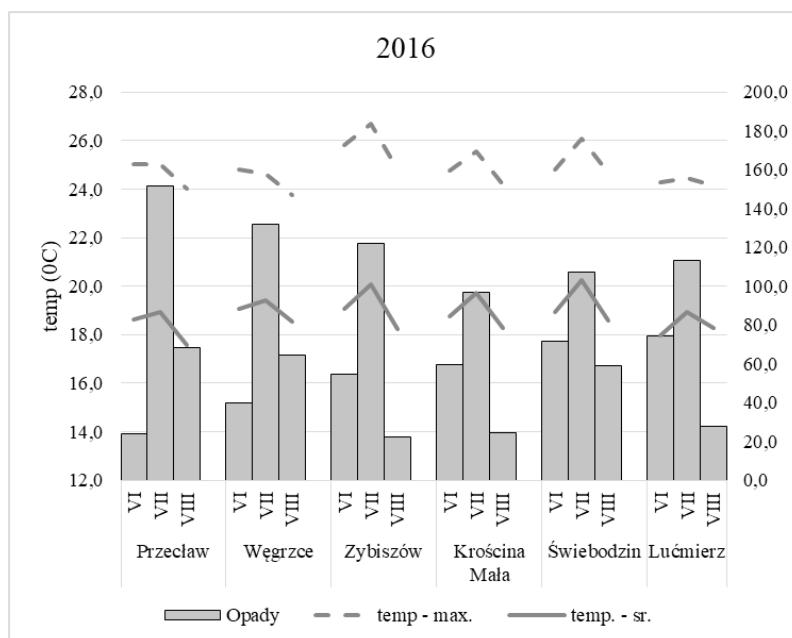
### **Wyniki i Dyskusja**

Zarówno w trakcie badań prowadzonych w IHAR – PIB, jak i w doniesieniach literaturowych stwierdzono, że nie ma genotypów odpornych na głównię guzowatą, ponieważ nie jest ona



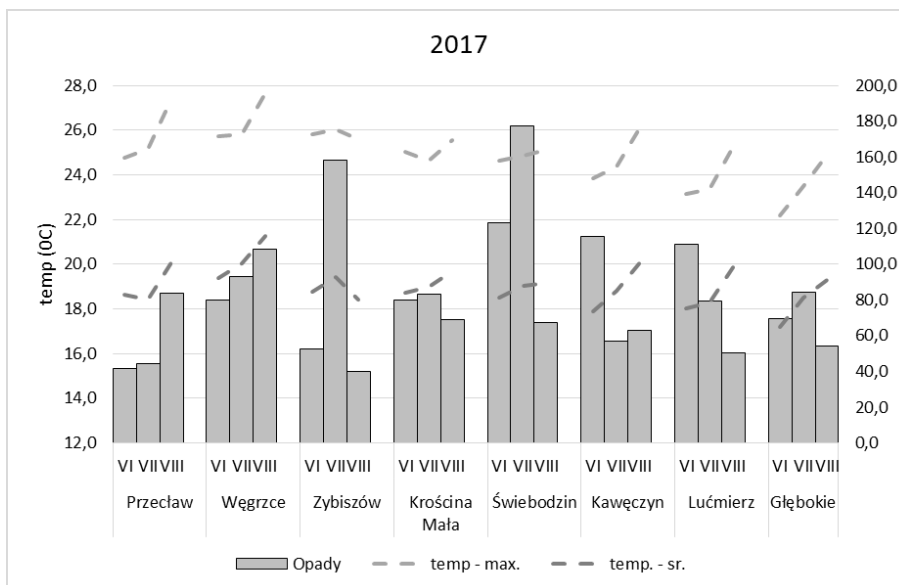
Rys. 1. Lista doświadczeń PDO z kukurydzą uwzględnionych w badaniach monitorowania głowni guzowatej na terenie Polski w latach 2016 – 2019.

Fig. 1. List of PDO experiments with maize included in the monitoring of the common smut in Poland across 2016-2019.



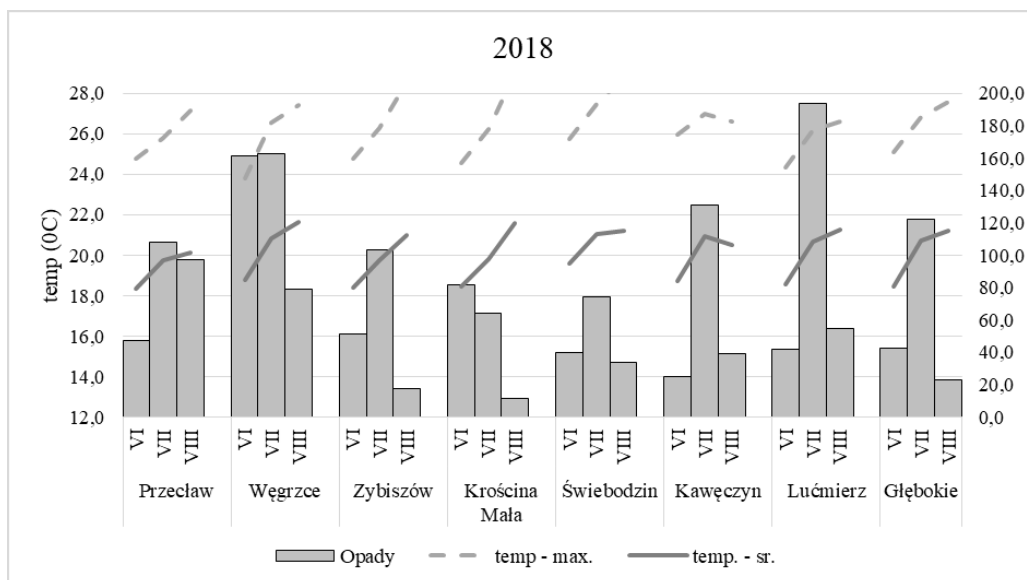
Rys. 2. Przebieg warunków atmosferycznych w roku 2016: suma opadów oraz średnie i maksymalne temperatury powietrza w czerwcu, lipcu i sierpniu.

Fig. 2. The weather conditions in 2016: precipitation, average and maximum air temperatures.



Rys. 3. Przebieg warunków atmosferycznych w roku 2017: suma opadów oraz średnie i maksymalne temperatury powietrza w czerwcu, lipcu i sierpniu.

Fig. 3. The weather conditions in 2017: precipitation, average and maximum air temperatures



Rys. 4. Przebieg warunków atmosferycznych w roku 2018: suma opadów oraz średnie i maksymalne temperatury powietrza w czerwcu, lipcu i sierpniu.

Fig. 4. The weather conditions in 2018: precipitation, average and maximum air temperatures

uwarunkowana genami dominującymi (Skibe i in., 2014; Czembor, Frasiński 2018). Stwierdzono efekt addytywny dwóch genów, co znacznie skraca proces selekcji materiałów wyjściowych do dalszej hodowli pod względem tej cechy. Dlatego wiele nowych mieszańców kukurydzy ma pewną odporność na główną kukurydzy, ale nadal żaden z nich nie jest całkowicie odporny (Specker 1993).

Badania prowadzone w latach 2016 – 2019, których celem było monitorowanie występowania głównej guzowatej na terenie Polski, wykazały istotne zróżnicowanie pomiędzy lokalizacjami i genotypami pod względem stopnia porażenia roślin odmian włączonych do badań na przestrzeni 2016 – 2019. Różnice te były również istotne pomiędzy latami, co pozwalało określić wpływ warunków atmosferycznych w okresie wegetacji.

W roku 2016 średnie porażenie roślin w obrębie włączonych do badań odmian wynosiło 3,1% przy zakresie zmienności 0,0% – 26,7% (Tab. 1). W roku 2017 nasilenie choroby było najniższe (średnio 0,3%). W roku 2018 średnia liczba roślin z objawami choroby była taka sama jak w 2016 roku, jednak przy znacznie szerszym zakresie zmienności (od 0,0% do 32,0%). W roku 2019 wynosiła ona 2,8% przy zakresie zmienności 0,0%- 20,0%. Lata gorące sprzyjają rozwojowi grzyba *U. maydis* (Waligóra i in., 2008). Potwierdziły to bieżące badania, ponieważ w roku 2017 temperatury były niższe w stosunku do pozostałych lat. W latach 2016 i 2018 w okresie kwitnienia i zawiązywania kolb panowały wysokie temperatury (Rys.2 i 3). Dotyczyło to również roku 2019 (Wyniki Doświadczeń Porejestranych Kukurydzy, COBORU, 2019). Największy zakres zmienności dla stopnia porażenia odmian włączonych

do badań na przestrzeni wszystkich lat stwierdzono w Kawęczynie (0,0% – 32,0%), Krościnie Małej (0,0% – 26,7%) oraz Lućmierzu (0,0 – 20,0%) (Tab. 2).

W roku 2016 do badań włączono 13 odmian w 8 lokalizacjach (łącznie 94 próbek po 30 roślin w obrębie każdej z nich). Największe porażenie stwierdzono w Krościnie Małej, a odmianami najbardziej podatnymi była SY Werena, Ambrosini, Rivaldinio i SM Hetman. W Zybiszowie, Świebodzinie i Smolicach w obrębie większości odmian dla ponad 5% roślin stwierdzono objawy choroby. Najniższe porażenie stwierdzono w Przecławiu.

W roku 2017 do badań włączono 16 odmian w 9 lokalizacjach – 160 próbek. Dla 20,0% próbek stwierdzono objawy choroby, ale tylko dla 11,0% objawy były widoczne na ponad 1,0% roślin. Odmiany i lokalizacje z największą frekwencją to: Rivaldinio (16,7%, w Krościnie Małej), Herkuli CS (5,6% w Przecławiu), SY Werena (3,3% w Krościnie Małej oraz 2,2% w Węgrzicach).

W 2018 roku oceniając porażenie roślin w obrębie 10 odmian w 8 lokalizacjach najwyższy procent roślin z objawami choroby stwierdzono w Kawęczynie, a odmianami najbardziej podatnymi była KWS Salamandra (32,0% roślin z objawami porażenia), MASP 15P (17,8% roślin z objawami porażenia), Kwintus (7,1% roślin z objawami porażenia), RGT Chromixx (10,7% roślin z objawami porażenia), SY Telias (Rys 5, 6, 7). Drugą lokalizacją, w której stwierdzono duży procent roślin z objawami choroby były Węgrzce (liczba roślin z objawami porażenia w obrębie wybranych odmian to: KWS Salamandra – 14,5%, Chambert – 14,6% i Talrento – 10,2%.

Tabela 1

Table 1

**Frekwencja roślin z objawami porażenia w obrębie odmian badanych w 9 lokalizacjach reprezentujących zróżnicowane warunki agroklimatyczne na terenie Polski w latach 2016 – 2019: średnia dla roku oraz zakres zmienności.**

**Frequency of plants with symptoms of corn smut disease for cultivars evaluated at 9 localizations representing different agroclimatic conditions in Poland across 2016-2019: average for year and range.**

Lp.	Year Rok	Plants frequency with corn smut symptoms [%] Frekwencja roślin z objawami głównej guzowatej [%]				
		Scoring numbers Liczba ocen	Average Średnia*	S.D.	Min.	Max.
1	2016	94	3,1	5,2	0,0	26,7
2	2017	160	0,3	1,5	0,0	16,7
3	2018	84	3,1	5,2	0,0	32,0
4	2019	47	2,8	4,4	0,0	20,0

\*Liczba ocen frekwencji występowania roślin z objawami choroby w obrębie odmian na przestrzeni lat 2016 – 2019.

\*The number of assessments of the plants frequency with symptoms of the disease within varieties across the years 2016-2019.

Tabela 2  
Table 2

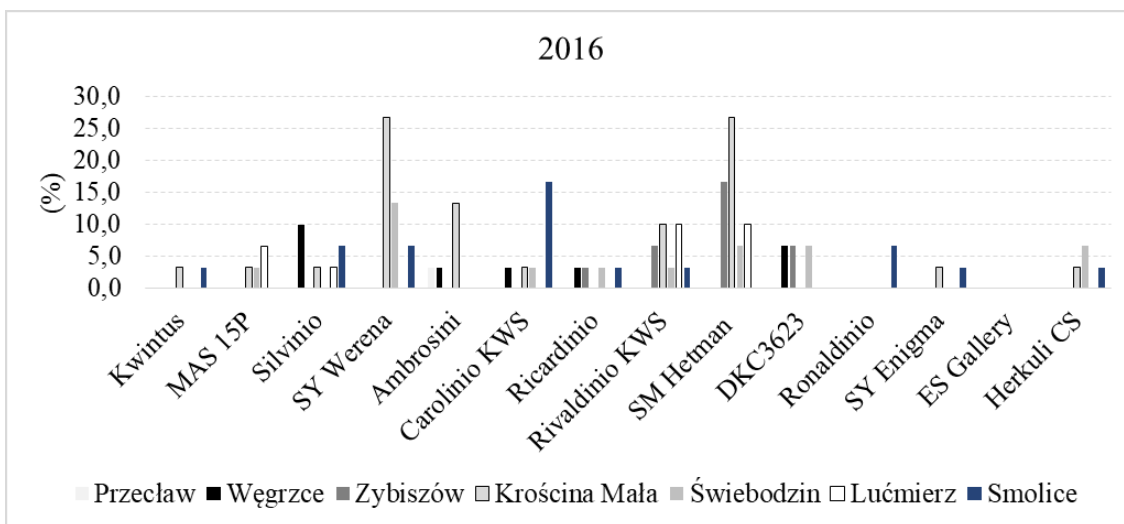
Frekwencja roślin z objawami porażenia w obrębie odmian badanych w 9 lokalizacjach reprezentujących zróżnicowane warunki agroklimatyczne na terenie Polski w latach 2016 – 2019: średnia dla lokalizacji oraz zakres zmienności.

Frequency of plants with symptoms of corn smut disease for cultivars evaluated at 9 locations representing different agroclimatic conditions in Poland across 2016-2019: average for location and range.

Lp.	Localization Lokalizacja	Scoring numbers Liczba ocen	Plants frequency with corn smut symptoms [%] Frekwencja roślin z objawami głowni guzowatej [%]			
			Average Średnia*	S.D.	Min.	Max.
1	Głębokie	31	0,9	2,2	0,0	11,1
2	Kawęczyn	43	3,6	6,3	0,0	32,0
3	Krościna Mała	45	2,9	6,3	0,0	26,7
4	Lućmierz	56	2,3	4,2	0,0	20,0
5	Przeclaw	57	0,4	1,2	0,0	5,6
6	Smolice	14	3,8	4,5	0,0	16,7
7	Świebodzin	45	1,4	2,8	0,0	13,3
8	Węgrzce	57	1,8	3,6	0,0	14,7
9	Zybiszów	37	1,4	3,3	0,0	16,7

\*Liczba ocen frekwencji występowania roślin z objawami choroby w obrębie odmian na przestrzeni lat 2016 – 2019.

\*The number of assessments of the plants frequency with symptoms of the disease within varieties across the years 2016-2019.



Rys. 5. Frekwencja roślin z objawami porażenia w obrębie 14 odmian badanych w 7 lokalizacjach reprezentujących zróżnicowane warunki agroklimatyczne na terenie Polski w roku 2016.

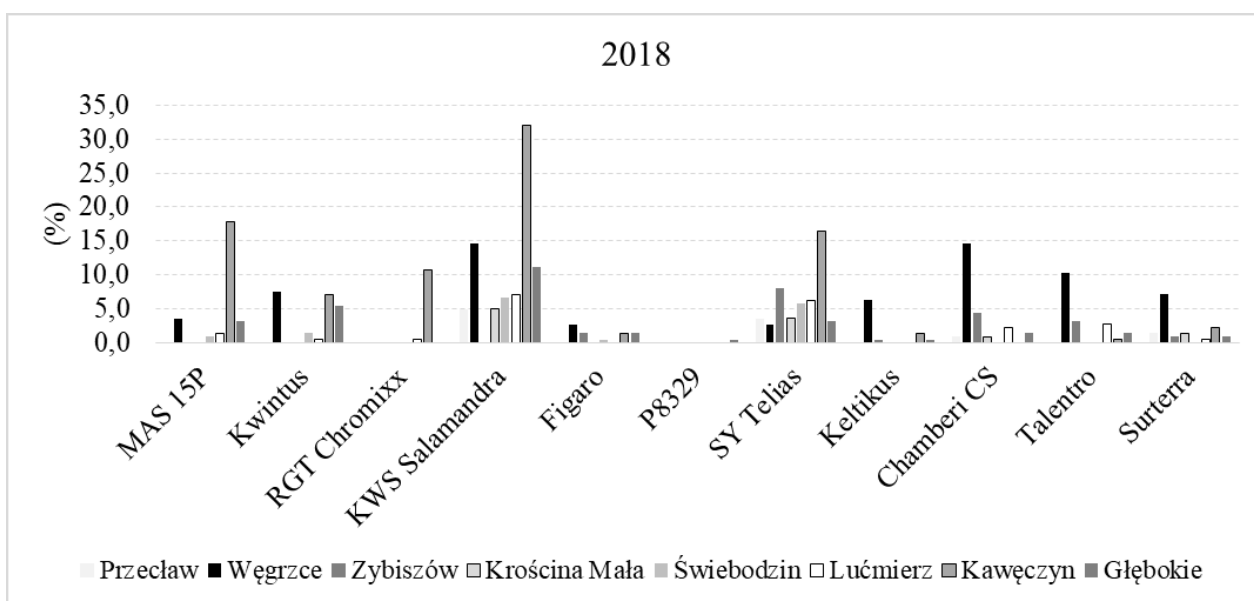
Fig. 5. Frequency of plants with symptoms of corn smut disease for 14 cultivars evaluated in 7 locations representing different agroclimatic conditions in Poland at 2016

W 2019 roku w Przeclawiu nie stwierdzono występowania choroby. Natomiast w Lućmierzu porażenie odmiany Faraday było najwyższe i wyniosło 20,0% (w Kawęczynie – 7,1%) a Tolrento 18,0% (w Kawęczynie 4,9%) (Rys. 7).

Odmiany wczesne i średnio-wczesne były bardziej podatne na infekcję głównią guzowatą (odpowiednio, średnio 2,4% i 2,0 roślin porażonych w obrębie odmiany przy zakresach zmienności 0,0 – 32,0% oraz 0,0% – 26,7%) (Tab. 3).

Na przestrzeni lat można było wskazać zróżnicowanie pomiędzy odmianami (odmiany najbardziej podatne to KWS Salamandra, SM

Hetman, ES Frayday) (Tab. 4). Jest to podstawą do stwierdzenia, że można uzyskać postęp hodowlany dla stopnia odporności na głównię guzowatą. Rozwój hodowli odpornościowej jest ściśle związany z dostępnością źródeł odporności. Poszukiwania źródeł odporności kukurydzy mogą opierać się na metodach tradycyjnych np. metodą rodowodową (Czembor i in, 2011, 2013) oraz na metodach molekularne znacznie skracających ten proces (Czembor i in., 2019). Stresy abiotyczne w sposób istotny wpływają na nasilenie zarówno głównej guzowatej, jak i innych chorób.



Rys.6. Frekwencja roślin z objawami porażenia w obrębie 11 odmian badanych w 8 lokalizacjach reprezentujących zróżnicowane warunki agroklimatyczne na terenie Polski w roku 2018.

Fig. 6. Frequency of plants with symptoms of corn smut disease for 11 cultivars evaluated in 8 locations representing different agroclimatic conditions in Poland at 2018.

Tabela 3  
Table 3

Frekwencja roślin porażonych głównią guzowatą w obrębie odmian o różnej wczesności badanych w 9 lokalizacjach w latach 2016 - 2019: średnia dla grupy FAO i zakres zmienności.

Frequency of plants with corn smut disease in cultivars belong to three FAO group evaluated at 9 locations across 2016 - 2019: average for FAO group and range.

Lp.	FAO group Grupa FAO	Plants frequency with corn smut symptoms [%] Frekwencja roślin z objawami głównej guzowatej [%]				
		Scoring numer* Liczba oceni	Average średnia	S.D.	Min	Max
1	średnio-późna (250-290)	131	1,4	3,3	0,0	20,0
2	średnio-wczesna (230 – 240)	138	2,0	4,2	0,0	26,7
3	wczesna (200 – 220)	116	2,4	4,9	0,0	32,0

\*Liczba ocen frekwencji występowania roślin z objawami choroby w obrębie odmian na przestrzeni lat 2016 – 2019.

\*The number of assessments of the plants frequency with symptoms of the disease within varieties across the years 2016-2019.

Tabela 4

Table 4

Frekwencja roślin z objawami głowni guzowatej dla odmian badanych w 9 lokalizacjach Polski w latach 2016 – 2019: średnia dla odmiany i zakres zmienności.

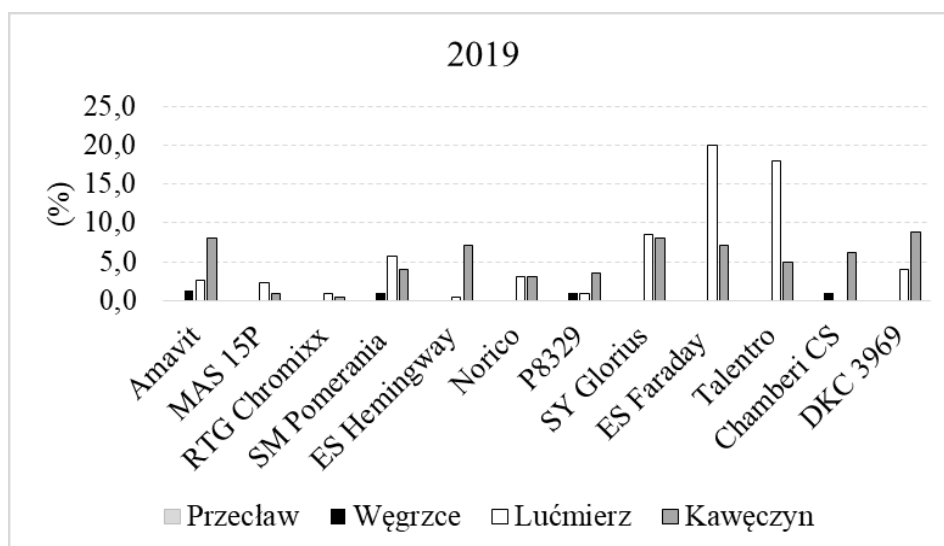
Frequency of plants with corn smut disease symptoms for cultivars evaluated at 9 locations in Poland across 2016 – 2019: mean for cultivar and range.

Lp.	Cultivar Odmiana	Plants frequency with corn smut symptoms [%] Frekwencja roślin z objawami głowni guzowatej [%]				
		Scoring numer* Liczba ocen	Mean Średnia	S.D.	Min.	Max.
1	Amavit	4	3,0	3,5	0,0	8,0
2	Ambrosini	7	2,9	4,9	0,0	13,3
3	Benedicto KWS	8	0,0	0,0	0,0	0,0
4	Carolinio KWS	7	3,8	5,9	0,0	16,7
5	Chamberi CS	11	2,9	4,4	0,0	14,7
6	DKC 3969	4	3,2	4,2	0,0	8,9
7	DKC3623	15	1,4	2,7	0,0	6,7
8	DKC3939	8	0,1	0,2	0,0	0,6
9	ES Faraday	4	6,8	9,4	0,0	20,0
10	ES Gallery	7	0,0	0,0	0,0	0,0
11	ES Hemingway	4	1,9	3,5	0,0	7,1
12	ES Seafox	8	0,4	0,8	0,0	1,7
13	Figaro	16	0,5	0,8	0,0	2,7
14	Herkuli CS	15	1,4	2,2	0,0	6,7
15	Keltikus	16	0,6	1,6	0,0	6,2
16	Kwintus	21	1,6	2,5	0,0	7,6
17	KWS Salamandra	7	11,6	9,7	4,9	32,0
18	LG 30273	8	0,0	0,0	0,0	0,0
19	LG30215	8	0,3	0,4	0,0	1,1
20	Lindsey	8	0,0	0,0	0,0	0,0
21	MAS 15P	25	1,8	3,7	0,0	17,8
22	Norico	4	1,6	1,8	0,0	3,1
23	P8329	20	0,3	0,8	0,0	3,6
24	P9838	8	0,1	0,3	0,0	0,6
25	RGT Chromixx	15	0,7	2,8	0,0	10,7
26	Ricardinio	7	1,9	1,8	0,0	3,3
27	Rivaldinio KWS	15	3,3	5,2	0,0	16,7
28	Ronaldinio	7	1,0	2,5	0,0	6,7
29	Silvinio	14	1,9	3,0	0,0	10,0
30	SM Hetman	7	8,6	10,2	0,0	26,7
31	SM Pomerania	4	2,7	2,7	0,0	5,8
32	Surterra	8	1,8	2,3	0,0	7,1
33	SY Enigma	7	1,0	1,6	0,0	3,3
34	SY Glorius	4	4,1	4,8	0,0	8,4
35	SY Rotango	8	0,2	0,3	0,0	0,6
36	SY Telias	16	3,2	4,4	0,0	16,4
37	SY Werena	14	3,7	7,6	0,0	26,7
38	Talento	12	3,4	5,5	0,0	18,0

\*Liczba ocen frekwencji występowania roślin z objawami choroby w obrębie odmian na przestrzeni lat 2016 – 2019.

\*The number of assessments of the plants frequency with symptoms of the disease within varieties across the years 2016-2019.





Rys. 7. Frekwencja roślin z objawami porażenia w obrębie 12 odmian badanych w 4 lokalizacjach reprezentujących zróżnicowane warunki agroklimatyczne na terenie Polski w roku 2019.

Fig. 7. Frequency of plants with symptoms of corn smut disease for 12 cultivars evaluated in 4 locations representing different agroclimatic conditions in Poland at 2019.

Badania prowadzone przez Czembor i Frasińskiego (2018) oraz Korbasa (2006) wskazują, że stopień porażenia roślin przez te choroby zależy również od zaopatrzenia roślin w wodę, szczególnie w okresie poprzedzającym kwitnienie. Dlatego, mieszańce typu stay-green charakteryzują się większą odpornością na stropy biotyczne i abiotyczne (Mahalakshmi, Bidinger 2002; Szulc i in. 2012, 2014). Aby ograniczyć straty powodowane przez choroby i szkodniki należy dobrać mieszańce mniej podatne i stosować właściwą agrotechnikę, m. in. właściwy płodozmian (Bereś i in., 2009; Meissler i in. 2010; Zijlstra i in. 2011; Vasileiadis 2011). Ponieważ bieżące badania prowadzone były w ramach doświadczeń PDO COBORU, niewłaściwa agrotechnika nie miała wpływu na uzyskane wyniki. Jednym z ważnych elementów był fakt, że doświadczenia prowadzone były na polach, gdzie kukurydza była uprawiana w monokulturze na przestrzeni wielu lat. Dodatkowo, nasiona były zaprawiane, co zapewniało ograniczenie infekcji pierwotnej już w początkowych fazach rozwoju rośliny.

Uzyskane wyniki wskazują, że przy sprzyjających rozwojowi grzyba *U. maydis* warunkach agroklimatycznych, głównia guzowata może powodować straty w plonie. Zarówno w sposób bezpośredni, poprzez niskie zawiązywanie nasion jak i pośredni wpływając na metabolizm komórek

żywiela (Horst i in. 2008, 2010; Mueller, 2008, 2013; Schilling i in. 2014; Readkar i in., 2015; Matei, 2016, 2018)

### Wnioski

1. Stwierdzono istotne zróżnicowanie pomiędzy latami, lokalizacjami oraz odmianami pod względem frekwencji roślin z objawami porażenia przez głównię guzowatą powodowaną przez *Ustilago maydis*.
2. Przebieg warunków atmosferycznych w sposób istotny wpływał na rozwój choroby głównej guzowatej. W roku 2017 frekwencja roślin z objawami choroby była bardzo niska.
3. W lokalizacjach reprezentujących obszar Polski Centralnej (Lućmierz i Kawęczyn) oraz Zachodniej (Krościna Mała) frekwencja roślin z objawami choroby była najwyższa. Na terenie Polski Południowo-Zachodniej (Przecław) nasilenie choroby było bardzo niskie na przestrzeni wszystkich lat.
4. Różnice pomiędzy odmianami dla frekwencji roślin z objawami porażenia *Ustilago maydis* wskazują, że włączenie do programów hodowlanych genotypów o podwyższonej odporności zapewni uzyskanie postępu biologicznego dla tej cechy.
5. Monitorowanie stopnia porażenia roślin głównią guzowatą w połączeniu z prognozowaniem

warunków meteorologicznych może być ważnym elementem w planowaniu integrowanej ochrony kukurydzy.

*Monitorowanie grzyba Ustilago maydis prowadzono w ramach programu wieloletniego IHAR – PIB pt. „Tworzenie naukowych podstaw postępu biologicznego i ochrona roślinnych zasobów genowych źródłem innowacji wsparcia zrównoważonego rolnictwa oraz bezpieczeństwa żywnościowego kraju” finansowanego przez MRiRW.*

## Literatura

- Abbas H.K., Zablotowicz R.M., Shier W.T., Johnson B.J., Phillips N., Weaver M., Abel C., Burns H.A. (2015). Aflatoxin and fumonisin in corn (*Zea mays*) infected by common smut *Ustilago maydis*. *Plant Disease* 99 (9): 1236–1240. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-14-0234-RE>.
- Banuett, F. i Herskowitz, I. (1996). Discrete developmental stages during teliospore formation in the corn smut fungus, *Ustilago maydis*. *Development* (Cambridge, England), 122 (10), 2965–76. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8898211>.
- Basse, C. W. (2005). Dissecting defense-related and developmental transcriptional responses of maize during *Ustilago maydis* infection and subsequent tumor formation. *Plant Physiology*, 138 (3), 1774–1784. doi: 10.1104/pp.105.061200.
- Bereś P.K., Gaj R., Grzebisz W., Kaniuczak Z., Mrówczyński M., Paradowski A., Pruszyński G., Pruszyński S., Siudmak J., Sulewska H., Tekiel A., Wachowiak H. (2009). *Metodyka integrowanej ochrony kukurydzy. Integrowana Produkcja Urzędowo Kontrolowana* (Z. Kaniuczak, S. Pruszyński, red.). Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa, Warszawa, 47 ss.
- Brefort T., Doehlemann G., Mendoza-Mendoza A., Reissmann S., Djamei A., Kahmann R. (2009). *Ustilago maydis* as a pathogen. *Annual Review of Phytopathology* 47: 423–445. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080508-081923.
- Callow, J. A. and Ling, I. T. (1973). Histology of neoplasms and chlorotic lesions in maize seedlings following the injection of sporidia of *Ustilago maydis* (DC) Corda. *Physiological Plant Pathology*, 3(4), 489–494. doi: 10.1016/0048-4059(73)90059-3.
- Czembor, E., Frasiński, S. (2018). Polish maize elite inbred lines as a source of resistance for ear rot (*Fusarium* spp.) and common smut (*Ustilago maydis*). *Progress in Plant Protection*, 58 (1): 22-27, 2018, DOI: 10.14199/ppp-2018-002.
- Czembor, E., Matusiak, M., Ochodzki, P. (2013a). Odporność mieszańców kukurydzy na fuzariozę kolb przy infekcji naturalnej i po zakażeniach sztucznych *Fusarium graminearum* i *F. verticillioides* w Polsce w latach 2008–2009. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* 270: 55–73.
- Czembor, E., Matusiak, M., Warzecha, R. (2013b). Poszukiwanie źródeł odporności kukurydzy na fuzariozę kolb i zgorzel podstawy łodyg metodą rodowodową. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* 269: 123–139.
- Czembor, E., Waśkiewicz, A., Piechota, U., Puchta, M., Czembor, J. H., Stępień, Ł. 2019. Differences in ear rot resistance and *Fusarium verticillioides*-produced fumonisin contamination between Polish currently and historically used maize inbred lines. *Frontiers in Microbiology*. doi: [org/10.3389/fmicb.2019.00449](https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00449)
- Doehlemann, G., Wahl, R., Horst, R. J., Voll, L. M., Usadel, B., Poree, F., Stitt, M., Pons-Kühnemann, J., Sonnewald, U., Kahmann, R., & Kämper, J. (2008). Reprogramming a maize plant: transcriptional and metabolic changes induced by the fungal biotroph *Ustilago maydis*. *The Plant Journal*. 56(2), 181–195. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03590.x>
- Doonan, J. H. i Sablowski, R. (2010) Walls around tumours — why plants do not develop cancer. *Nature Reviews Cancer*, 10(11), 794–802. doi: 10.1038/nrc2942.
- Gao, L., Kelliher, T., Nguyen, L., & Walbot, V. (2013). *Ustilago maydis* reprograms cell proliferation in maize anthers. *The Plant Journal*, 75(6), 903–914. <https://doi.org/10.1111/tpj.12270>
- Hemetsberger, C., Herrberger, C., Zechmann, B., Hillmer, M., & Doehlemann, G. (2012). The *Ustilago maydis* Effector Pep1 Suppresses Plant Immunity by Inhibition of Host Peroxidase Activity. *PLoS Pathogens*, 8(5), e1002684. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002684>
- Horst, R. J., Doehlemann, G., Wahl, R., Hofmann, J., Schmiedl, A., Kahmann, R., Kämper, J., Sonnewald, U., & Voll, L. M. (2010). *Ustilago maydis* Infection Strongly Alters Organic Nitrogen Allocation in Maize and Stimulates Productivity of Systemic Source Leaves. *Plant Physiology*, 152(1), 293–308. <https://doi.org/10.1104/pp.109.147702>
- Horst, R. J., Engelsdorf, T., Sonnewald, U., & Voll, L. M. (2008). Infection of maize leaves with *Ustilago maydis* prevents establishment of C4 photosynthesis. *Journal of Plant Physiology*, 165(1), 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.05.008>
- Kämper, J., Kahmann, R., Bölker, M., Ma, L.-J., Brefort, T., Saville, B. J., Banuett, F., Kronstad, J. W., Gold, S. E., Müller, O., Perlin, M. H., Wösten, H. A. B., de Vries, R., Ruiz-Herrera, J., Reynaga-Peña, C. G., Snetselaar, K., McCann, M., Pérez-Martín, J., Feldbrügge, M., ... Birren, B. W. (2006). Insights from the genome of the biotrophic fungal plant pathogen *Ustilago maydis*. *Nature*, 444 (7115), 97–101. <https://doi.org/10.1038/nature05248>
- Korbas M. (2006). Głównie kukurydzy i inne choroby – szkodliwość i możliwości zwalczania. [Common smuts of maize and other diseases – harmfulness and possibilities of their control]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 46 (1): 354–357.

- Kretschmer, M., Croll, D. and Kronstad, J. W. (2017) Maize susceptibility to *Ustilago maydis* is influenced by genetic and chemical perturbation of carbohydrate allocation. *Molecular Plant Pathology*, 18(9), 1222–1237. doi: 10.1111/mpp.12486.
- Mahalakshmi V., Bidinger F.R. (2002) Evaluation of stay-green sorghum germplasm lines at ICRISAT. *Crop Science* 42 (3): 965–974. DOI:10.2135/cropsci2002.9650.
- Matei, A. and Doehlemann, G. (2016) Cell biology of corn smut disease — *Ustilago maydis* as a model for biotrophic interactions. *Current Opinion in Microbiology*, 34, 60–66. doi: 10.1016/j.mib.2016.07.020.
- Matei, A. and Doehlemann, G. (2016) Cell biology of corn smut disease — *Ustilago maydis* as a model for biotrophic interactions. *Current Opinion in Microbiology*, 34, 60–66. doi: 10.1016/j.mib.2016.07.020.
- Matei, A., Ernst, C., Günl, M., Thiele, B., Altmüller, J., Walbot, V., Usadel, B., & Doehlemann, G. (2018). How to make a tumour: cell type specific dissection of *Ustilago maydis*-induced tumour development in maize leaves. *New Phytologist*, 217 (4), 1681–1695. <https://doi.org/10.1111/nph.14960>
- Meissler M., Mouron P., Musa T., Bigler F., Pons X., Vasileiadis V.P., Otto S., Antichi D., Kiss J., Pálincás Z., Dorner Z., van der Weide R., Groten J., Czembor E., Adamczyk J., Thibord J-B., Melander B., Cordsen Nielsen G., Poulsen R.T., Zimmermann O., Verschwele A., Oldenburg E. (2010). Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects, *Journal of Applied Entomology*, 34 (5): 357–375.
- Mueller, A. N., Ziemann, S., Treitschke, S., Aßmann, D., & Doehlemann, G. (2013). Compatibility in the *Ustilago maydis*–Maize Interaction Requires Inhibition of Host Cysteine Proteases by the Fungal Effector Pit2. *PLoS Pathogens*, 9 (2), e1003177. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003177>
- Mueller, O., Kahmann, R., Aguilar, G., Trejo-Aguilar, B., Wu, A., & de Vries, R. P. (2008). The secretome of the maize pathogen *Ustilago maydis*. *Fungal Genetics and Biology*, 45 (SUPPL. 1), S63–S70. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2008.03.012>
- Redkar, A., Hoser, R., Schilling, L., Zechmann, B., Krzymowska, M., Walbot, V., & Doehlemann, G. (2015). A Secreted Effector Protein of *Ustilago maydis* Guides Maize Leaf Cells to Form Tumors. *The Plant Cell*, 27 (4), 1332–1351. <https://doi.org/10.1105/tpc.114.131086>
- Schilling, L., Matei, A., Redkar, A., Walbot, V., & Doehlemann, G. (2014). Virulence of the maize smut *Ustilago maydis* is shaped by organ-specific effectors. *Molecular Plant Pathology*, 15(8), 780–789. <https://doi.org/10.1111/mpp.12133>
- Skibbe, D. S., Doehlemann, G., Fernandes, J., & Walbot, V. (2010). Maize Tumors Caused by *Ustilago maydis* Require Organ-Specific Genes in Host and Pathogen. *Science*, 328(5974), 89–92. <https://doi.org/10.1126/science.1185775>
- Specker D. (1993). Common smut on corn. *Walking Your Fields & Pioneer Agronomy Department*. Ithaca, NY, 7
- Szulc P., Bocianowski J., Waśkiewicz A., Beszterda M. (2012). Wpływ stosowania różnych nawozów azotowych na poziom fumonizyn w ziarnie różnych odmian mieszańcowych kukurydzy. [Impact of applying different nitrogen fertilizers on the level of fumonisins in maize hybrids grain]. *Progress in Plant Protection* 52 (2): 306–309. DOI: <http://dx.doi.org/10.14199/ppp-2012-055>.
- Szulc P., Idziak R., Woźnica Z., Sobiech Ł. (2014). Assessment of susceptibility of „stay-green” type maize cultivars (*Zea mays* L.) to maize smut [*Ustilago maydis* (DC.) Corda] and European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn.). *Progress in Plant Protection* 54 (3): 368–374. DOI: <http://dx.doi.org/10.14199/ppp-2014-060>.
- Tanaka, S., Brefort, T., Neidig, N., Djamei, A., Kahnt, J., Vermerris, W., Koenig, S., Feussner, K., Feussner, I., & Kahmann, R. (2014). A secreted *Ustilago maydis* effector promotes virulence by targeting anthocyanin biosynthesis in maize. *ELife*, 2014 (3). <https://doi.org/10.7554/eLife.01355.001>
- Waligóra H., Szulc P., Skrzypczak W. (2008). Podatność odmian kukurydzy cukrowej na głównię guzowatą (*Ustilago zae* Beckm.). [Susceptibility of sugar maize varieties to common smut (*Ustilago zae* Beckm.)]. *Nauka Przyroda Technologie* 2 (3): 1–6.
- Vollmeister, E. *et al.* (2012) Fungal development of the plant pathogen *Ustilago maydis*. *FEMS Microbiology Reviews*, 36(1), 59–77. doi: 10.1111/j.1574-6976.2011.00296.x.
- Vasileiadis V.P., Otto S., Sattin M., Pálincás Z., Veres A., Bán R. Kiss J., Pons X., Kudsk P., Weide R., Czembor E., Moonen C., Kiss J. (2011). Crop protection in European maize-based cropping systems: Current practices and recommendations for innovative Integrated Pest Management. *Agricultural Systems* 104: 533-540.
- Zijlstra C., Lund I., Justesen A., Nicolaisen M., Bianciotto V., Posta K., Balestrini R., Przetakiewicz A., Czembor E., van de Zande J. (2011). Combining novel monitoring tools and precision application technologies for integrated high-tech crop protection in the future (a discussion document). *Pest Manag. Sci.* 67: 616–625.