

Received: 09.10.2017 / Accepted: 04.01.2018

Polish maize elite inbred lines as a source of resistance for ear rot (*Fusarium* spp.) and common smut (*Ustilago maydis*)

Polskie elitarne linie wsobne kukurydzy źródłem odporności na fuzariozę kolb (*Fusarium* spp.) i głownię guzowatą (*Ustilago maydis*)

Elżbieta Czembor, Seweryn Frasiński*

Summary

The rapid increase of maize cultivation area, the use of inappropriate crop rotation and global warming climate have resulted in an increase of the incidence of diseases including ear rot fusariosis (*Fusarium* spp.) and common smut (*Ustilago maydis*). Using highly resistant hybrids is one of the most important methods of integrated plant protection. Therefore, the purpose of the current project was to characterize the broad genetic pool of elite inbred lines used in breeding programs. Forty-five inbred lines were included in the study. Evaluation of resistance to ear rot was carried out on plants inoculated with spore suspension of *Fusarium graminearum* and with natural infection, while resistance to common smut was performed on plants only with occurrence of natural infection. Based on the obtained results it was possible to observe differences between lines and to select genotypes valuable for further breeding programs taking into account resistance to economically important diseases.

Key words: maize; ear rot; common smut; *Fusarium graminearum*; *Ustilago maydis*

Streszczenie

Szybki wzrost powierzchni uprawy kukurydzy na terenie Polski, stosowanie niewłaściwego płodozmianu oraz ocieplenie klimatu spowodowało zwiększenie nasilenia występowania chorób, w tym fuzariozy kolb i głowni guzowatej. Wykorzystanie w programach hodowlanych materiałów o podwyższonej odporności to ważny element integrowanej ochrony roślin. Celem pracy było scharakteryzowanie szerokiej puli genetycznej elitarnych linii wsobnych wykorzystywanych w programach hodowlanych. Do badań włączono 45 linii na poziomie wsobności S_9 . Ocenę odporności na fuzariozę kolb prowadzono po zakażeniach sztucznych kolb zawiesiną zarodników *Fusarium graminearum* i przy infekcji naturalnej, natomiast na głownię guzowatą przy infekcji naturalnej. Uzyskane wyniki pozwoliły zróżnicować badany materiał i wytypować genotypy o podwyższonej odporności jako szczególnie cenne w dalszych programach hodowlanych uwzględniających odporność na ważne gospodarczo choroby.

Słowa kluczowe: kukurydza; fuzarioza kolb; głownia guzowata; *Fusarium graminearum*; *Ustilago maydis*

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

*corresponding author: s.frasinski@ihar.edu.pl

Wstęp / Introduction

Kukurydza pod względem wysokości plonów zajmuje pierwsze miejsce na świecie. Jej udział w światowej powierzchni uprawy zbóż wynosi ponad 20%, a pod względem produkcji około 30%. Wyróżnia się wysokimi plonami ziarna powyżej 10 t/ha i około 20 t/ha suchej masy w uprawie na kiszonkę (Rocznik Statystyki Międzynarodowej 2016). W uprawie na ziarno kukurydza jest jedną z roślin uprawnych o najwyższej opłacalności, która wciąż daje możliwość zwiększenia plonów, a tym samym dochodów rolnika. Jest też rośliną, dla której hodowcy uzyskują znaczny postęp biologiczny. To, że kukurydę można uprawiać obecnie w całej Polsce, zarówno na ziarno, jak i na kiszonkę z całych roślin, jest zasługą także polskiej hodowli (Adamczyk i wsp. 2003). Według danych GUS po roku 2010 nastąpiło około dwukrotne zwiększenie arealu uprawy kukurydzy na ziarno, szczególnie w województwach Polski centralnej i północnej. Jednak szybki wzrost powierzchni uprawy kukurydzy na terenie Polski, stosowanie niewłaściwego płodozmianu oraz ocieplenie klimatu spowodowały zwiększenie nasilenia występowania patogenów, w tym *Fusarium* spp. będących sprawcami fuzariozy kolb i *Ustilago maydis* będącej sprawcą główki guzowatej. Straty powodowane przez te ważne gospodarczo organizmy szkodliwe wahają się w zakresie 10–30% – jeden szkodnik może powodować straty sięgające kilkuset milionów złotych (Czembor i Frański, dane niepublikowane).

Objawy główki guzowatej występują na nadziemnych częściach roślin w postaci narośli, o rozmiarach sięgających nawet kilkanaście centymetrów, które z czasem wysychają, pękają i zarodniki wydostają się w postaci brązowego pyłku. Do zniszczenia kolby dochodzi, gdy patogen opanuje cały organ, jednak takie nasilenie choroby obserwujemy rzadko. Najczęściej powstają pojedyncze narośla, taki produkt jest pełnowartościowy (z wyjątkiem kukurydzy cukrowej). Ziarno zanieczyszczone zarodnikami nadaje się do użytku, gdyż grzyb nie wytwarza mikotoksyn. Jednocześnie porażone rośliny z powodu osłabienia, uszkodzeń tkanek i liści okrywowych kolb są bardziej narażone na infekcje *Fusarium* (Abbas i wsp. 2015). Większe nasilenie główki guzowatej obserwuje się w lata upalne i wilgotne, ponieważ grzyb znajduje wtedy doskonałe warunki do swojego rozwoju i może w okresie wegetacji wytworzyć kilka pokoleń zarodników (Waligóra i wsp. 2008).

Często objawy fuzariozy powodowane przez grzyby z rodzaju *Fusarium* spp. nie są wyraźnie widoczne na kolbie, jednak wewnątrz porażenie postępuje, prowadząc do akumulacji mikotoksyn (Mesterhazy i wsp. 2012). Metabolity wtórne tych patogenów zawarte w produktach żywnościowych i paszy, uzyskiwanych na bazie skażonego ziarna są wysoko szkodliwe dla ludzi i zwierząt. Ich wpływ na organizm ludzki może ujawniać się w postaci chorób dopiero po wielu latach (Logrieco i wsp. 2002; Garcia i wsp.

2009). Najczęściej sprawcą fuzariozy kolb są grzyby *Fusarium graminearum* (produkujący deoksynivalenol – DON i zearalenon – ZEA) oraz *Fusarium verticillioides* (produkujący fumonizyny – FUM). W 2007 roku Unia Europejska wprowadziła normy określające ich maksymalne zawartości w ziarnie kukurydzy (EC No 1126/2007). Jeżeli zawartość DON w ziarnie nieprzetworzonym przekracza 1700 ug/kg, ZEA 350 ug/kg, a FUM 4000 ug/kg (maksymalna zawartość fumonizyn ma ulec w najbliższym czasie obniżeniu do 2000 ug/kg), takie ziarno nie kwalifikuje się do wykorzystania na paszę.

Hodowla i wykorzystanie w uprawie odmian o mniejszej podatności są powszechnie uznane za najbardziej opłacalną i przyjazną środowisku metodę ochrony roślin przed porażeniem przez choroby (Meissler i wsp. 2010; Vasileiadis i wsp. 2011; Zijlstra i wsp. 2011). W przypadku kukurydzy stosowanie fungicydów jest trudne i często mało efektywne, ponieważ trudno jest ocenić nasilenie choroby. Ograniczenie występowania szkodników, które w trakcie żerowania uszkadzają kolby kukurydzy istotnie wpływa również na ograniczenie występowania fuzariozy kolb (Munkvold 2003a, b). Dlatego na uwagę zasługują odmiany z genem *Bt*, który pochodzi z bakterii *Bacillus thuringiensis* i jest odpowiedzialny za produkcję białka, które jest toksyczne dla szkodników, w tym omacnicy prosowianki (Papst i wsp. 2005). W Polsce, podobnie jak w wielu innych krajach Europy, uprawa tych odmian jest zakazana, dlatego ważną rolę obok doboru materiału pełni dobra praktyka rolnicza, która obejmuje również integrowaną ochronę roślin.

Celem badań była ocena zróżnicowania linii wsobnych kukurydzy znajdujących się w kolekcji roboczej Małopolskiej Hodowli Roślin Sp. z o.o. Oddział w Koberzycach oraz Hodowli Roślin Smolice – Grupa IHAR pod kątem ich podatności na fuzariozę kolb i główki guzowatej oraz wytypowanie form szczególnie przydatnych do dalszych programów hodowlanych uwzględniających te cechy.

Materiały i metody / Materials and methods

Doświadczenia założono na polach doświadczalnych Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowego Instytutu Badawczego (IHAR – PIB), gdzie kukurydza rośnie w monokulturze od 8 lat. Przed siewem zastosowano agregat uprawowy (kultywator o wąskich zębach i wał strunowy) wraz z nawożeniem. Do nawożenia przedsięwzięgo zastosowano 200 kg mocznika (92 kg N na 1 ha) i 200 kg polifoski „6” (12 kg N, 40 kg P₂O₅, 60 kg K na 1 ha). Materiałem roślinnym było 45 linii wsobnych kukurydzy. Siew wykonano siewnikiem rzędowym, odstępami pomiędzy rzędami – 75 cm, 25 roślin w rzędzie w tym: 30 linii wysiano w 2 powtórzeniach (średnio 45 roślin na genotyp), a 15 w 3 powtórzeniach (średnio 75 roślin na genotyp). W celu pobudzenia wzrostu roślin wykonano opryskiwanie

nawozem dolistnym FoliQ® P Fosforowy (4 l/ha). Zabieg powtórzono po 10 dniach w takiej samej dawce. W ramach pielęgnacji plantacji wykonano: opryskiwanie herbicydem Lumax 537 SE – 4 l/ha bezpośrednio po siewie, w fazie 6–8 liści opryskiwanie herbicydem Innovate 240 SC–0,21/ha wraz z adiuwantem Atpolan 80 EC i pielenie ręczne (w kolejnych fazach wzrostu). W doświadczeniu nie prowadzono chemicznej ochrony roślin przed szkodnikami i chorobami.

Testy fitopatologiczne

Badania nad fuzariozą kolb

Patogen

Do badań wykorzystano jednozarodnikowe kultury *F. graminearum* należące do kolekcji Pracowni Traw Pastewnych i Roślin Motylkowatych IHAR – PIB w Radzikowie. Zostały one wyosobnione z prób nasion kukurydzy pobranych z poletek doświadczalnych i scharakteryzowanych w trakcie wcześniejszych badań pod względem tempa wzrostu na pożywkach sztucznych i agresywności w warunkach polowych. Po odszczepieniu na szalki Petriego z pożywką PDA (Potato Dextrose Agar) inkubowano je przez okres 4 tygodni w temperaturze 20–22°C. Następnie grzybnia została zmyta i rozcieńczona płynną pożywką SNA, kontrolując ilość zarodników w powstałym roztworze. Inokulację (zakażenia sztuczne) wykonano zawiesiną o stężeniu 5×10^4 zarodników/ml.

Test odpornościowy i ocena fenotypowa stopnia odporności na fuzariozę kolb w warunkach polowych

Zakażenia sztuczne przeprowadzono po mechanicznym uszkodzeniu ziarniaków 10–12 dni od daty kwitnienia kwiatostanów męskich (faza początkowej dojrzałości młeczonej BBCH 73), poprzez iniekcję 1 ml zawiesiny zarodników *F. graminearum* na wysokości 1/3 od podstawy kolby wykorzystując do tego celu strzykawkę czterokanałową. Ocenę fenotypową stopnia odporności badanych obiektów przeprowadzono w fazie dojrzałości pełnej. Do oceny fenotypowej stopnia porażenia kolb wykorzystano skalę 1–7, w której odpowiednio: 1 – brak objawów porażenia, 2 – 1–3%, 3 – 4–10%, 4 – 11–25%, 5 – 26–50%, 6 – 51–75%, 7 – 76–100%.

Test odpornościowy i ocena fenotypowa stopnia odporności na głównie guzowatą w warunkach polowych

Objawy choroby odnotowano osobno dla łodyg i kolb nie oceniając stopnia porażenia. Wyniki wyrażono jako procent roślin z objawami w stosunku do ogólnej liczby roślin badanych. Średnio, każdy genotyp reprezentowało 40–60 roślin (w zależności od liczby powtórzeń). W obrębie 9 linii liczba roślin reprezentujących genotyp wahała się w zakresie 20–40 (ze względu na nierównomierne wschody).

Analizy statystyczne

Do oceny istotności różnic pod względem stopnia odporności na fuzariozę kolb po zakażeniu sztucznym i przy infekcji naturalnej linii wsobnych zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (czynnikiem był genotyp). Po odrzuceniu hipotezy o braku różnic pomiędzy genotypami na poziomie istotności $p < 0,001$, określono wartość NIR (Fishera, genotypami na poziomie istotności 0,05). Analizy danych przeprowadzono za pomocą programu InfoStat 1.6.

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

W ostatnich latach w Polsce obserwuje się wzrost poziomu skażenia ziarna kukurydzy oraz jej pochodnych szczególnie deoksynivalenolem, przez co jakość uzyskiwanych produktów żywnościowych i paszy jest niższa. Zarówno w trakcie badań prowadzonych w IHAR – PIB, jak i w doniesieniach literaturowych stwierdzono, że nie ma genotypów odpornych na fuzariozę kolb i znalezienie ich raczej nie będzie możliwe (Bartok i wsp. 2006; Czembor i wsp. 2013a, b, c). Wiele nowych mieszańców kukurydzy pastewnej ma pewną odporność na głównie kukurydzy, ale również żaden z nich nie jest całkowicie odporny (Specker 1993). Źródłami odporności mogą być różne materiały genetyczne w tym dzicy krewniacy kukurydzy, rasy, odmiany populacyjne, genetyczne i cytogenetyczne markery, odmiany syntetyczne i linie wsobne (Adamczyk 1998, 1999; Czembor i wsp. 2011). Jednak z praktycznego punktu widzenia jedynie odmiany syntetyczne i nowe tzw. elitarne linie wsobne, uzyskane na bazie odmiennej puli genowej, niż posiadana, mogą poszerzyć zakres zmienności. Corocznie wyprowadza się tysiące linii wsobnych, ale tylko wybrane są włączone do dalszych prac hodowlanych. Powinny to być materiały wyrównane, o wysokim stopniu homozygotyczności (zazwyczaj na poziomie wsobności S_0), charakteryzujące się wysoką wartością gospodarczą oraz wysoką odpornością na patogeny i szkodniki (Adamczyk i wsp. 2003). Dlatego konieczna jest ich właściwa charakterystyka z uwzględnieniem tych cech. Pozostałe źródła mogą być wykorzystywane jedynie w programach hodowlanych trwających wiele lat, dla poprawy takich cech, jak wigor, czy właśnie odporność na stesy. Selekcję można prowadzić zarówno przy infekcji naturalnej, jak i po zakażeniach sztucznych, co znacznie przyspieszy proces.

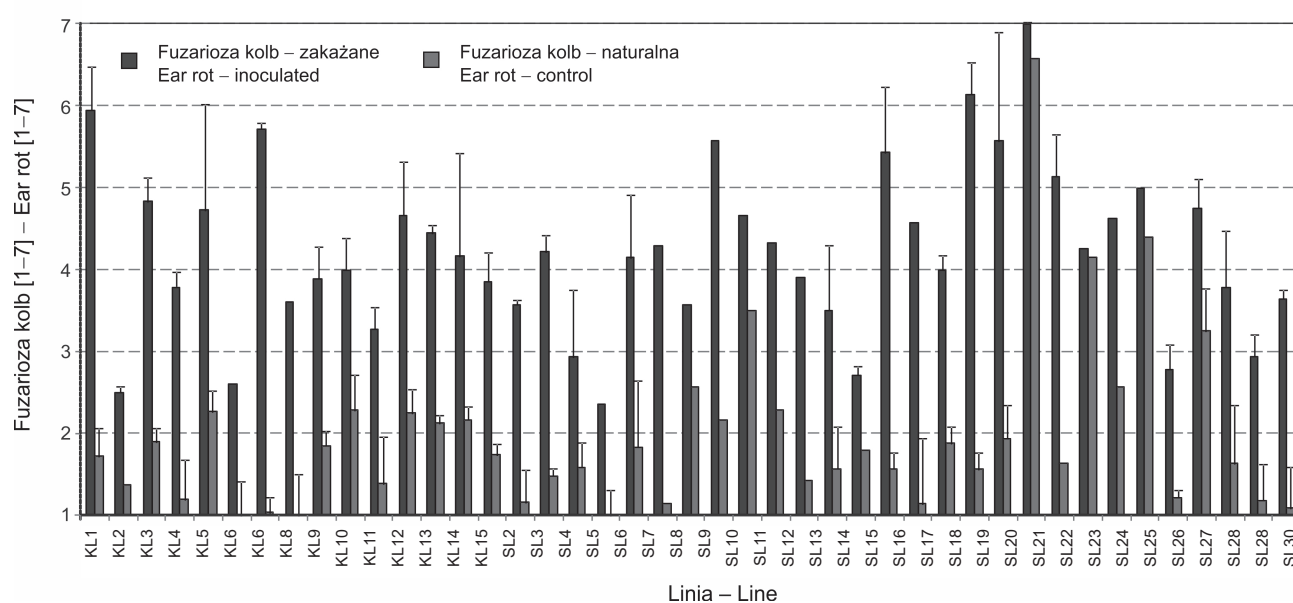
Odporność na fuzariozę kolb jest uwarunkowana poligenicznie. Natomiast w przypadku odporności na głównie guzowatą stwierdzono efekt addytywny, co znacznie skraca proces selekcji materiałów wyjściowych do dalszej hodowli pod względem tej cechy. W bieżących badaniach odporność roślin na fuzariozę kolb oceniano zarówno przy infekcji naturalnej, jak i po zakażeniach sztucznych kolb zawiesiną zarodników *F. graminearum* po mechanicznym uszkodzeniu ziarniaków, aby zróżnicowanie w obrębie badanych

materiałów było wystarczające. Na podstawie badań prowadzonych przez Czembor i wsp. (2013a, b) stwierdzono, że ta metoda zakażeń sztucznych jest najbardziej efektywna, a uzyskiwane wyniki ocen są powtarzalne. Potwierdzono to również w bieżących badaniach (analiza wariancji dla stopnia odporności linii wsobnych po zakażeniach sztucznych $F = 19,8$; $p < 0,001$; NIR Fishera pomiędzy genotypami po zakażeniach sztucznych 0,66529 na poziomie istotności $p < 0,001$). Na podstawie ocen fenotypowych stopnia porażenia kolb po zakażeniach sztucznych tylko siedem genotypów, co stanowi 15% wszystkich badanych, można włączyć do grupy charakteryzujących się podwyższoną odpornością na fuzariozę kolb (KL2, KL6, SL14, SL25, SL29, SL4, SL5). Ich średni stopień porażenia oceniony został w zakresie 1–3 w skali 1–7, co oznacza, że poniżej 10% kolby posiadało objawy porażenia. Ponad 40% wszystkich badanych to genotypy podatne lub bardzo podatne. Obiekty KL12, KL3, KL5, SL1, SL10, SL16, SL23 i SL26 to formy podatne (26–50% kolby z objawami choroby), natomiast KL1, KL7, SL18, SL19, SL20, SL21, SL24 i SL9 to formy bardzo podatne (ponad 50% powierzchni kolby z objawami porażenia) (rys. 1).

Wprawdzie przy infekcji naturalnej nasilenie choroby było znacznie niższe, to różnice pomiędzy genotypami były statystycznie istotne (LSD – 0,99147) i korespondowały do wyników uzyskanych po zakażeniach sztucznych. Linie SL25, SL1, SL10, SL22, SL24 włączono do grupy średnio podatnych i podatnych. Linia najbardziej podatną była podobnie jak po zakażeniach sztucznych SL20 (rys. 1). Doniesienia literaturowe potwierdzają, że wyższa ocena fenotypowa stopnia odporności na fuzariozę kolb opisywana po zakażeniach sztucznych świadczy o mniejszej zdolności do

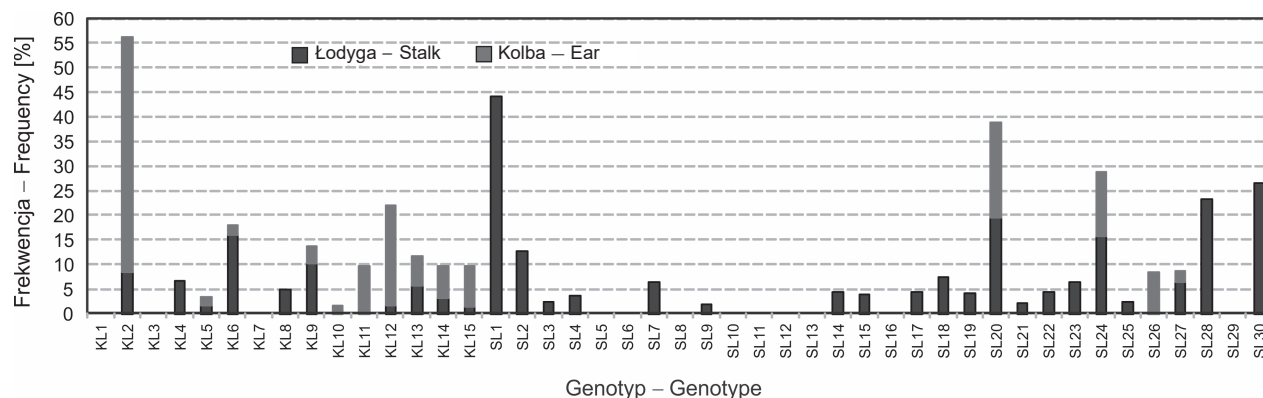
gromadzenia toksyn, i może być podstawą w pracach, których celem jest poszukiwanie źródeł odporności zarówno na fuzariozę kolb, jak i na niższą zawartość toksyn (Mesterhazy i wsp. 2012; Czembor i wsp. 2013a, b). Dlatego, elitarne linie wsobne, które charakteryzowały się podwyższoną odpornością na fuzariozę kolb w bieżących badaniach powinny być włączone do programów hodowlanych.

Analizując procent roślin z objawami głównej guzowatej, obserwowany przy infekcji naturalnej, stwierdzono również istotne zróżnicowanie pomiędzy genotypami. Różnice dotyczyły zarówno procentowego udziału roślin z objawami choroby na kolbach, jak i na łodygach. Średnio, porażenie łodyg przekraczało średnio 10% roślin ocenianych w obrębie 7 genotypów, w tym w obrębie 1 genotypu wynosiło 43,3%. Porażenie kolb było znacznie niższe, przekraczało średnio 10% roślin ocenianych w obrębie 3 genotypów, w tym w obrębie 1 genotypu wynosiło 24,8%, a innego 48,2% (rys. 2). Monitorując występowanie głównej guzowatej 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” potwierdzono, że brak jest mieszańców odpornych na główną guzowatą. W roku 2015 monitorowanie występowania tej choroby prowadzono na doświadczeniach łączonych i porejestrowych w stacjach Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (Smolice, Krościna Mała, Świebodzin i Głębokie) określając procentowy udział roślin z objawami porażenia na zestawie 35–38 odmian (Czembor i Frasiński 2016). Stwierdzono wpływ lokalizacji i odmiany na nasilenie choroby. Największe nasilenie choroby i zróżnicowanie pomiędzy odmianami stwierdzono



Rys. 1. Odporność elitarnych linii wsobnych kukurydzy na fuzariozę kolb przy inokulacji i infekcji naturalnej (NIR Fishera = 0,665 na poziomie istotności 0,05, linie reprezentują odchylenie standardowe na poziomie istotności 0,05)

Fig. 1. Ear rot level of inoculated and non-inoculated elite inbred lines (LSD Fisher = 0.665 on the probability level 0.05, bars represent standard error on the probability level 0.05; non-overlapping notches show a significant difference)



Rys. 2. Odporność elitarnych linii wsobnych kukurydzy na głownię guzowatą przy infekcji naturalnej
Fig. 2. Common smut level of elite inbred lines (natural infection)

w Krościnie Małej – wydzielono 3 grupy odmian: grupa 20 odmian w obrębie której % roślin porażonych wahał się w zakresie 0–10%, grupa 5 odmian w obrębie której procent roślin porażonych wahał się w zakresie 11–20% oraz grupa w obrębie której procent roślin porażonych był wyższy niż 20% (MAS 17G, Ambrosini, Opcja, Torinio, ES Abacus, Silvinio, ES Metronom, Sativo, MAS15P, P8523). W pozostałych lokalizacjach liczba roślin porażonych, w zależności od odmiany, wahała się w zakresie 0,0–4,0% wszystkich badanych. W 2016 roku frekwencja roślin z objawami choroby była najwyższa w następujących lokalizacjach: Krościna Mała (SY Werena i SM Hetman – 26,6%, Ambrosini – 13,3% roślin z objawami porażenia), Smolice (odmiana Carolinio – 16,6% roślin z objawami porażenia), Zybiszów (SM Hetman – 16,6% roślin z objawami porażenia), Świebodzin (SY Werena – 13,3% roślin z objawami porażenia) (Czembor i Frasiński 2017).

Rozwój hodowli odpornościowej metodami klasycznymi jest ściśle związany z dostępnością źródeł odporności, a także opiera się na wiedzy dotyczącej interakcji pomiędzy rośliną a patogenem, z uwzględnieniem zróżnicowanych warunków środowiska. Stresy abiotyczne w sposób istotny wpływają na nasilenie zarówno głowni guzowatej, jak i fuzariozy kolb. Zdaniem Korbasa (2006) 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 stresy biotyczne i abiotyczne, w tym fuzariozę kolb (Mahalakshmi i Bidinger 2002; Szulc i wsp. 2012, 2014). Aby ograniczyć straty powodowane przez choroby i szkodniki należy dobrać mieszańce mniej podatne, stosować odpowiednie zabiegi agrotechniczne, prowadzić lustracje pól, na podstawie których można zastosować środki ochrony roślin. Uprawa kukurydzy w monokulturze zwiększa ryzyko nasilenia chorób, ponieważ zarodniki przetrwalnikowe patogenów szkodliwych, takich jak *Fusarium* spp. czy *Ustilago maydis* zachowują żywotność przez bardzo długi okres (nawet ponad 10 lat) (Brefort i wsp. 2009). Należy brać także pod uwagę próg ekonomicznej szkodliwości, pomocny przy podejmowaniu decyzji co do zastosowania metod chemicznych (Bereś i wsp. 2009).

Wnioski / Conclusions

1. Stwierdzono istotne zróżnicowanie pomiędzy elitarnymi liniami wsobnymi pod względem stopnia odporności na fuzariozę kolb i głownię guzowatą.
2. Inokulacja kolb w warunkach polowych pozwoliła na zaobserwowanie istotnych różnic pomiędzy liniami pod względem odporności na porażenie przez *F. graminearum*.
3. Wytypowano elitarne linie wsobne, będące potencjalnym źródłem odporności na fuzariozę kolb i głownię guzowatą.

Literatura / References

- 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>.
- Adamczyk J. 1998. Przegląd metod hodowli kukurydzy i ich skuteczność w praktyce. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin 208: 123–130.
- Adamczyk J. 1999. Oszacowanie wartości hodowlanej odmian populacyjnych i syntetycznych kukurydzy (*Zea mays* L.). Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin 209: 223–245.
- Adamczyk J., Cygert H., Czajczyński J. 2003. 50 lat hodowli kukurydzy mieszańcowej w Polsce – dorobek i perspektywy. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin 230: 423–431.

- Bartok T., Szecsi A., Szekeres A., Mesterhazy A., Bartok M. 2006. Detection of new fumonisin mycotoxins and fumonisin-like compounds by reversed-phase high-performance liquid chromatography/electrospray ionization – ion-trap mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 20 (16): 1–17. DOI: 10.1002/rcm.2607.
- Bereś P.K., Gaj R., Grzebisz W., Kaniuczak Z., Mrówczyński M., Paradowski A., Pruszyński G., Pruszyński S., Siudmak J., Sulewska H., Tekielna 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.
- Czembor E., Frasiński S. 2016. Monitorowanie organizmów szkodliwych kukurydzy. *Wiś Jutra* 2: 31–35.
- Czembor E., Frasiński S. 2017. Występowanie chorób liściowych, główki guzowatej i fuzariozy kolb kukurydzy w 2016 roku oraz poziom skażenia ziarna kukurydzy toksynami fuzaryjnymi w 2015 roku. *Wiś Jutra* 3: 34–39.
- Czembor E., Matusiak M., Ochodźki 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 łodygi metodą rodowodową. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* 269: 123–139.
- Czembor E., Presello D., Adamczyk J., Wójcik K. 2011. Enhancing disease resistance to *Fusarium* by using exotic genotypic variability. p. 116. *ISM Conference “Strategies to reduce the impact of mycotoxins in a global context”*. Universidad Nacional de Río Cuarto, November 15–18, 2011.
- Czembor E., Waśkiewicz A., Stępień Ł. 2013c. Genetic variation for ear rot resistance and mycotoxin content of Polish maize elite inbred lines after inoculation with *Fusarium graminearum* and *F. verticillioides*. p. 199. *12th European Fusarium Seminar*. Bordoux, Francja, May 11–16, 2013, 254 pp.
- Garcia D., Ramos A.J., Sanchis V., Marín S. 2009. Predicting mycotoxins in foods: A review. *Food Microbiology* 26 (8): 757–769. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.05.014>.
- 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.
- Logrieco A., Mule G., Moretti A., Bottalico A. 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *European Journal of Plant Pathology* 108 (7): 597–609.
- 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.
- 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.
- Mesterházy Á., Lemmens M., Reid L.M. 2012. Breeding for resistance to ear rot caused by *Fusarium* spp. in maize – a review. *Plant Breeding* 131 (1): 1–19. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2011.01936.x.
- Munkvold G.P. 2003a. Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears. p. 705–713. In: “Epidemiology of Mycotoxin Producing Fungi” (X. Xu, J.A. Bailey, B.M. Cooke, eds). Springer, Dordrecht. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-1452-5_5.
- Munkvold G.P. 2003b. Cultural and genetic approaches to managing mycotoxins in maize. *Annual Review of Phytopathology* 41: 99–116. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.41.052002.095510>.
- Papst C., Utz H.F., Melchinger A.E., Eder J., Magg T., Klein D., Bohn M. 2005. Mycotoxins produced by *Fusarium* spp. in isogenic Bt vs. non-Bt maize hybrids under European corn borer pressure. *Agronomy Journal* 97 (1): 219–224.
- Rocznik Statystyki Międzynarodowej 2016. (Świat, Regiony świata, Ugrupowania) [online]. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa. <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyki-miedzynarodowej-2016,10,5.html> [dostęp: 24.11.2017].
- Specker D. 1993. Common smut on corn. *Walking Your Fields & Pioneer Agronomy Department*. Ithaca, NY, 7 pp.
- 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. Ocena podatności mieszańców kukurydzy (*Zea mays* L.) typu „stay-green” na występowanie główki kukurydzy [*Ustilago maydis* (DC.) Corda] oraz omacnicy prosowianki (*Ostrinia nubilalis* Hbn.). [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>.
- 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 (7): 533–540. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.04.002>.
- 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.
- 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 Management Science* 67 (6): 616–625. DOI: 10.1002/ps.2134.