

MARCIN WIT ¹
PIOTR OCHODZKI ²
ROMAN WARZECHA ²
WOJCIECH WAKULIŃSKI ¹

¹ Katedra Fitopatologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

² Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie

Znaczenie *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg w etiologii fuzariozy kolb kukurydzy*

Importance of *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg in etiology of ear rot of maize

W latach 2005–2006 realizowano badania, których celem było rozpoznanie etiologii fuzariozy kolb kukurydzy. W oparciu o zgromadzony materiał badawczy z pól doświadczalnych stacji hodowli roślin w Swadzimiu, Kobierzycach, Radzikowie oraz pól produkcyjnych stwierdzono, że najczęściej występującym gatunkiem był *Fusarium verticillioides*. Stanowił on w kolejnych latach 46% i 68% ogólnej liczby wyosobnionych gatunków *Fusarium* i powodował porażenie kolb w stopniu 2,70 i 2,99. Patogen powodował także istotne obniżenie masy 1000 ziaren.

Słowa kluczowe: *Fusarium verticillioides*, fuzarioza kolb, kukurydza

The studies conducted in 2005–2006 were aimed at recognition of the etiology of corn cob fusariosis. Examination of the material collected in the experimental fields at Swadzim, Radzikow and Kobierzyce showed that *Fusarium verticillioides* was the predominating species. The fungus was isolated from 46% and 68% of cobs in 2005 and 2006, respectively, and its occurrence resulted in infection of 30% of kernels per cob. Moreover, *F. verticillioides* significantly reduced the weight of 1000 kernels.

Key words: *Fusarium verticillioides*, ear rot, maize

WSTĘP

Kukurydza jest zbożem, którego znaczenie w warunkach krajowych nieustannie wzrasta. W dużej mierze wynika to ze wzrostu zapotrzebowania na ziarno kukurydzy ze strony przemysłu paszowego. Cechą dyskwalifikującą wykorzystanie kukurydzy w przetwórstwie jest zanieczyszczenie ziarna metabolitami wtórnymi *Fusarium* sp. porażającymi kolby kukurydzy. Z uwagi na swoją szkodliwość i częstość występowania

* Praca wykonana w ramach badań finansowanych przez SGGW

fuzarioza kolb kukurydzy zaliczana jest do grupy najistotniejszych chorób w uprawie tej rośliny. Etiologia choroby jest złożona. W kompleksie czynników sprawczych wymienia się: *Fusarium graminearum* Schwabe (Chen i in., 2000; Zajkowski i Kwaśna, 1987; Leonard i Bushnell, 2003; Parry i in., 1995; White, 1999), *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) Sacc. (Logrieco i in., 2002), *Fusarium poae* (Peck) Wollenw. (Logrieco i in., 2002), *Fusarium sporotrichioides* Sherb. (Bottalico i Perrone, 2002; Clear i in., 1996; De Nijs i in., 1996; Neish i in., 1983), *Fusarium subglutinans* (Wollenw. i Reinking) Nelson, Toussoun i Marasas (Edwards, 1935; Kabeere i in., 1997; Logrieco i in., 1993 i 2002, Marasas i in., 1979; Ullstrup, 1936; Vigier i in., 1997) oraz *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (Chluze i in., 2000; Danielsen i in., 1998; Desjardins i in., 2000 a, Kedera i in., 1999; Kulda i Yates, 2000; Leslie, 1995; Mulè i in., 2004; Munkvold i Desjardins, 1997 a). Wymienione gatunki są polifagami i charakteryzują się bardzo szerokim zasięgiem geograficznego występowania. Dotychczasowe opracowania dotyczące fuzariozy kolb kukurydzy podkreślały znaczenie zwłaszcza trzech gatunków: *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum* i *Fusarium subglutinans*.

Fusarium graminearum jest gatunkiem występującym głównie na zbożach drobnoziarnistych, porażając korzenie, źdźbła, kłosa oraz ziarno (BOOT, 1971; Kicana, 1986) W Polsce grzyb ten szczególnie często występuje w lata ciepłe i wilgotne, na kłosach zbóż (Łacicowa, 1980; Chełkowski i in., 1985; Kicana, 1986 i 1994). Patogen ten był także opisywany jako główna przyczyna fuzariozy kolb kukurydzy między innymi na terenie Stanów Zjednoczonych, Kanady (Leonard i Bushnell, 2003), w Chinach (Chen i in., 2000), także w Europie na terenie Włoch (Bottalico i Perrone, 2002; Logrieco i in., 2002). W Polsce o jego występowaniu na kolbach kukurydzy donosili Zajkowski i Kwaśna (1987). W etiologii fuzariozy kolb kukurydzy podkreślane jest znaczenie *Fusarium graminearum* z uwagi na jego dużą patogeniczność oraz właściwości toksynotwórcze. Gatunek ten jest producentem min. zearalenonu, związków trichotecenowych i ich pochodnych (Marasas i in., 1984), jak również aurofusaryny (Ashley i in., 1937; Gray i in., 1967), kulmoryny (Pedersen i in., 1999), fuzaryny C (Farber i Sanders, 1986; Gelderblom i in., 1984; Thrane, 1988).

Gatunkiem o zbliżonych właściwościach pod względem patogeniczności jest *Fusarium culmorum*, który występuje głównie w strefie klimatu umiarkowanego, powszechny zwłaszcza w chłodniejszych regionach Europy (Domsch i in., 1980), ale także na terenie Wschodniej Australii (Burgess i in., 1994), Ameryki Północnej, Kanady (BOOT, 1971). Gatunek ten powoduje zgorzel korzeni zbóż drobnoziarnistych, zgniliznę łodyg i fuzariozę kolb kukurydzy (Łacicowa i Kicana, 1987; Łacicowa i in., 1991). W tkankach porażonych roślin dochodzi do kumulowania metabolitów wtórnych *F. culmorum* w tym zearalenonu i związków trichotecenowych (Marasas i in., 1984).

Fusarium subglutinans w Polsce był izolowany dość często ze wszystkich zbóż oraz innych roślin z rodziny *Poaceae*, najczęściej jednak z kukurydzy — ziarniaków, siewek, łodyg i kolb (Chełkowski, 1989; Kwaśna i in., 1991). Grzyb ten był rozpoznany jako przyczyna fuzariozy kolb w Australii (Edwards, 1935), w Stanach Zjednoczonych (Ullstrup, 1936) i w Europie. Znany jest ze swojej aktywności toksynotwórczej i wytwarza

miedzy innymi moniliforminę (Farber i in., 1988; Lew i in., 1996), bauverycynę (Gupta i in., 1991; Leslie i in., 2004), kwas fuzariowy (Bacon i in., 1996) oraz fusaproliferynę (Castellá i in., 1999).

Znaczenie fuzariozy kolb kukurydzy z uwagi na zagrożenie związane z występowaniem metabolitów wtórnych w porażonych kolbach skłoniło autorów do podjęcia badań, których celem była analiza czynników sprawczych fuzariozy kolb kukurydzy w latach 2005–2006 w Polsce.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy w latach 2005 i 2006 stanowiły porażone w warunkach naturalnych przez fuzariozę kolby kukurydzy z typowymi dla choroby oznakami etiologicznymi. W roku 2005 i 2006 kolby na potrzeby badań pozyskiwano z pól doświadczalnych w Swadzimiu, Kobierzycach i Radzikowie, natomiast w roku 2006 dodatkowo z trzech pól produkcyjnych zlokalizowanych w województwie lubelskim. W 2005 roku analizie poddano 141 kolb, zaś w roku 2006 — 310 kolb. W badaniach wykorzystano linie wsobne kukurydzy pokolenia S₁, typu szklistego (flint) oraz zębokształtne (dent), o zróżnicowanej plazmie zarodkowej. Linie wyprowadzono z elitarnych materiałów kukurydzy pastewnej (*Zea mays* L.) pochodzenia europejskiego. Materiał roślinny oceniano w zakresie:

- stopnia porażenia kolb,
- udziału ziarniaków porażonych i zdrowych,
- masy 1000 ziaren,
- rozpoznania mikologicznego gatunków *Fusarium* porażających kolby.

Ocenę stopnia porażenia kolb przeprowadzano stosując 6-stopniową skalę porażenia szczegółowo opisaną przez Zajkowskiego i Kwaśną (1987). Założenia przyjętej skali były następujące:

- 0 — brak porażenia, wszystkie ziarniaki zdrowe, bez widocznych objawów porażenia
- 1 — bardzo słabe, do 3% porażonych ziarniaków
- 2 — słabe, od 3 do 10% porażonych ziarniaków
- 3 — średnie, od 10 do 30% porażonych ziarniaków
- 4 — silne, od 30 do 50% porażonych ziarniaków
- 5 — bardzo silne, ponad 50% porażonych ziarniaków.

Następnie kolby młócono wydzielając frakcję ziarniaków porażonych i bez objawów porażenia, które potem ważono.

Uzyskane wyniki analizowano statystycznie. Wpływ porażenia kolb na masę tysiąca ziaren weryfikowano testem t-Studenta, w pozostałych przypadkach przeprowadzono analizę wariancji i szczegółowe porównanie średnich.

Diagnostykę mikologiczną przeprowadzano wykładając porażone ziarniaki na podłoże SNA i po uzyskaniu wzrostu plechy oznaczano do gatunku na podstawie klucza Nelsona i wsp. (1983).

WYNIKI BADAŃ

Wyniki dwuletnich badań (tab. 1) pokazują, że zasadniczą rolę w etiologii fuzariozy kolb kukurydzy odgrywał kompleks dwóch gatunków, tj. *Fusarium verticillioides* i *Fusarium subglutinans*. W kolejnych latach 2005, 2006 gatunki te stanowiły odpowiednio ponad 88% i 87% populacji *Fusarium*. W obydwu sezonach dominował gatunek *Fusarium verticillioides* odpowiednio 46% i 68%.

Tabela 1

Udział gatunków *Fusarium* porażających kolby kukurydzy w roku 2005 i 2006
Frequency of *Fusarium* species infecting corn cobs in 2005 and 2006

Gatunek Species	Udział gatunków w% Frequency (%)	
	2005	2006
<i>F.verticillioides</i>	46,00	68,00
<i>F.subglutinans</i>	42,00	19,00
<i>F.culmorum</i>	3,00	0,30
<i>F.poa</i>	1,00	0,00
<i>F.graminearum</i>	1,00	0,30
<i>F.sporotrichioides</i>	1,00	0,00
<i>F.oxysporum</i>	0,00	0,30
<i>F.equiseti</i>	0,00	0,60
<i>F.proliferatum</i>	0,00	2,50
Infekcje mieszane — Mixed infection <i>F.verticillioides</i> + <i>F.subglutinans</i>	6,00	9,00

Tabela 2

Stopień porażenia kolb kukurydzy w warunkach naturalnych przez stwierdzone gatunki *Fusarium*
Infection of corn cobs by the identified species of *Fusarium* in field conditions

Gatunek Species	Stopień porażenia Infection rate	
	2005	2006
<i>F.graminearum</i>	4,00 a	1,00 ab
<i>F.oxysporum</i>	bd	1,00 ab
<i>F.culmorum</i>	2,66 a	2,00 ab
<i>F.subglutinans</i>	2,93 a	2,18 a
<i>F.proliferatum</i>	bd	2,28 ab
<i>F.verticillioides</i>	2,77 a	2,99 b
<i>F.equiseti</i>	bd	3,55 ab
<i>F.sporotrichioides</i>	1,00 a	bd
<i>F.poa</i>	2,00 a	bd
infekcje mieszane — Mixed infection <i>F.verticillioides</i> + <i>F.subglutinans</i>	2,62 a	2,25 a

a, b — Grupy jednorodne; Homogenous groups

Średni stopień porażenia kolb związany z występowaniem poszczególnych gatunków był zróżnicowany (tab. 2) i wahał się w roku 2005 od 1,00 do 4,00, a w roku 2006 od 1,00 do 3,55. Stopień porażenia kolb w przypadku występowania gatunku *Fusarium verticillioides*, jako u dominującego wynosił w latach 2005–2006 odpowiednio 2,7 i 2,99.

Z dużym prawdopodobieństwem (0,95) można przyjąć, że w roku 2006 występowanie *Fusarium verticillioides* spowodowało silniejsze porażenie kolb kukurydzy niż *Fusarium subglutinans*. Powyższej zależności nie obserwowano w roku 2005.

Procentowy udział ziarniaków porażonych pochodzących z kolb z objawami fuzariozy był w kolejnych latach bardzo zmienny (tab. 3). Najmniejszy odsetek ziarniaków porażonych stwierdzono w przypadku kolb zasiedlonych przez *Fusarium sporotrichioides* w roku 2005 i *Fusarium oxysporum* w roku 2006, zaś największy odsetek ziarniaków porażonych zanotowano w przypadku kolb zasiedlonych przez *Fusarium graminearum* w roku 2005 i *Fusarium culmorum* w roku 2006. Występowanie *Fusarium verticillioides* powodowało porażenie średnio 30% ziarniaków w roku 2005 i 29,6% ziarniaków w roku 2006. Do analizy stopnia porażenia kolb kukurydzy posłużono się pakietem Statgraphics Plus 4,1 oraz zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji.

Tabela 3

Wagowy udział ziarniaków porażonych w zależności od gatunku *Fusarium*
Weight proportion of infected kernels in relation to species of *Fusarium*

Gatunek Species	2005		2006	
<i>F. graminearum</i>	81,08	b	4,58	ab
<i>F. oxysporum</i>	bd		3,54	ab
<i>F. culmorum</i>	40,30	ab	55,90	b
<i>F. subglutinans</i>	31,76	ab	26,12	a
<i>F. proliferatum</i>	bd		30,72	ab
<i>F. verticillioides</i>	30,03	a	29,62	ab
<i>F. equiseti</i>	bd		46,54	ab
<i>F. sporotrichioides</i>	4,68	a	bd	
<i>F. avenaceum</i>	bd		8,62	ab
<i>F. poae</i>	9,40	a	bd	
infekcje mieszane — Mixed infection	32,93	ab	25,70	a
<i>F. verticillioides</i> + <i>F. subglutinans</i>				

a, b — Grupy jednorodne; Homogenous groups

Analiza rozkładu stopnia porażenia kolb kukurydzy przedstawiona dla dwóch dominujących gatunków *Fusarium verticillioides* i *Fusarium subglutinans* (tab. 4) wskazuje, że najwięcej kolb było porażonych w stopniu 1 i 2. W przypadku *Fusarium verticillioides* kolby porażone w stopniu 1 i 2 łącznie stanowiły w roku 2005 i 2006 odpowiednio 50,70% i 42,60%. Odsetek ten w kolejnych latach dla *Fusarium subglutinans* wynosił 43,00% i 66,10%.

Występowanie fuzariozy kolb kukurydzy w sposób istotny wpływało na redukcję masy tysiąca ziarniaków (tab. 5). W przypadku *F. verticillioides*, w kolejnych dwóch latach 2005, 2006 wartość tego parametru wynosiła odpowiednio 30,72 i 33,06%. Bardzo zbliżone wyniki uzyskano dla drugiego, powszechnie występującego gatunku: *Fusarium subglutinans*.

Tabela 4

Rozkład stopnia porażenia kolb kukurydzy w zależności od gatunków grzyba powodujących fuzariozę
Distribution of infection rates in corn cobs in relation to *Fusarium* species causing ear rot

Stopień poraż.	Procentowy udział oraz liczba kolb kukurydzy porażonych przez poszczególne gatunki <i>Fusarium</i> sp. Percentage and number of Horn cos infected by <i>Fusarium</i> species																	
	<i>Fusarium verticillioides</i>						<i>Fusarium subglutinans</i>						<i>Fusarium verticillioides</i> + <i>Fusarium subglutinans</i>					
	2005 rok			2006 rok			2005 rok			2006 rok			2005 rok			2006 rok		
	L.	%	U.*	L.	%	U.*	L.	%	U.*	L.	%	U.*	L.	%	U.*	L.	%	U.*
1	12	19,00	8,51	46	21,80	14,84	11	18,90	7,80	18	30,5	5,81	1	12,5	0,71	13	46,4	4,19
2	20	31,70	14,18	44	20,80	14,19	14	24,10	9,93	21	35,6	6,77	4	50,0	2,84	5	17,9	1,61
3	11	17,40	7,80	35	16,60	11,29	10	17,20	7,09	12	20,3	3,87	1	12,5	0,71	4	14,3	1,29
4	10	15,95	7,09	38	18,00	12,26	14	24,10	9,93	7	11,9	2,26	1	12,5	0,71	2	7,1	0,65
5	10	15,95	7,09	48	22,80	15,48	9	15,70	6,38	1	1,7	0,32	1	12,5	0,71	4	14,3	1,29
Ogółem Total	63	100	44,68	211	100	68,06	58	100	41,13	59	100	19,03	8	100	5,67	28	100	9,03

* — Procentowy udział wszystkich porażonych kolb przez *Fusarium* sp. w danym roku;

* — Percentage of all cos infected by the respective species of *Fusarium* in the year

L. — Liczba; Number

U. — Udział ogółem; Overall proportion

Stopień poraż. — Stopień porażenia; Infection rating

Tabela 5

Wpływ *Fusarium verticillioides* i *Fusarium subglutinans* na masę tysiąca ziarniaków kukurydzy (MTZ)
Influence of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium subglutinans* on thousand kernels weight (TKW)
of corn kernels

Gatunek Species	Rok Year	Masa tysiąca ziarniaków (MTZ) (g)		Redukcja MTZ (%) Reduction
		zdrowe healthy	porażone infested	
<i>Fusarium verticillioides</i>	2005	282,67	195,83	30,72*
	2006	268,96	180,02	33,06*
<i>Fusarium subglutinans</i>	2005	242,56	172,56	28,85*
	2006	270,98	184,81	31,79*

* — Istotne obniżenie masy tysiąca ziarniaków ($\alpha = 0,05$); Significant decrease in weight of 1000 kernels ($\alpha = 0,05$)

DYSKUSJA

Uzyskane w trakcie dwuletnich badań wyniki wskazują na dominującą rolę gatunków z sekcji *Liseola*, które w latach 2005 i 2006 stanowiły odpowiednio 88 i 89%. Szczególnie symptomatyczna była wysoka frekwencja *F. verticillioides*, co z perspektywy lat jest zjawiskiem jakościowo nowym. Znaczenie tego gatunku w etiologii fuzariozy kłosów podkreślał w swoich badaniach Chełkowski (1989). W badaniach autora patogen ten występował z dużo mniejszą i zmienną frekwencją od 2 do 9,5%.

Szkodliwość *F. verticillioides* wiąże się z trzema niezależnymi drogami infekcji kolb: — poprzez znamiona słupek, po zasiedleniu których patogen penetruje do tworzących się ziarniaków (Munkvold i in., 1997 b).

- poprzez porażenie systemiczne, kiedy po infekcji korzeni przez strzępki grzyba *F. verticillioides*, pospolicie zasiedlające resztki pozbiorowe kukurydzy, występujące w środowisku glebowym, grzyb systemicznie porasta rośliny do ziarniaków (Hesseltine i Bothast, 1977)
- poprzez szkodniki *Frankliniella occidentalis* i *Ostrinia nubilalis*, które w czasie żerowania mogą przenosić zarodniki grzyba do uszkodzonych ziarniaków (Munkvold i in., 1997 c; Farrar i Davis, 1991).

Poza tym źródłem porażenia kolb może być powszechne występowanie *F. verticillioides* w ziarniakach kukurydzy. Fakt ten był podkreślany już w licznych opracowaniach z początku ubiegłego wieku (Manns i in., 1923; Brandstetter, 1922; Melchers i in., 1923). W niektórych przypadkach poziom porażenia ziarna przez *F. verticillioides* sięgał 96%, przy czym zwracano uwagę że gatunek ten występował w ziarniakach zdrowych bez widocznych objawów porażenia (Hesseltine i wsp. 1981). Szczególnie interesująca pod względem biologicznym wydaje się być zdolność *F. verticillioides* do bezobjawowego (latentnego) zasiedlania kukurydzy (Leonia, 1932; Foley, 1962). Co więcej podawane są przykłady, że obecność plechy *F. verticillioides*, uniemożliwia infekcję kukurydzy przez inne grzyby (Anderson i White, 1987; Rheeder i in., 1990; van Wyk i in., 1988) a relacja pomiędzy *F. verticillioides* — kukurydza jest opisywana w kategorii mutualizmu. Jednocześnie z uwagi na rozwój *F. verticillioides* wewnątrz organizmu gospodarza gatunek ten uważany jest za endofit (Yates i in., 1997). Jego występowanie już u prymitywnych form kukurydzy nasuwa przypuszczenie, że opisywany układ jest wynikiem długotrwałej koewolucji co jednocześnie może tłumaczyć trwałość obserwowanego powiązania kukurydza — *F. verticillioides* (Desjardins i in., 2000 b).

Z praktycznego punktu widzenia, uwzględniając zdolność *F. verticillioides* do biosyntezy szeregu metabolitów wtórnych, powyższa cecha może utrudnić eliminację patogena z tkanek gospodarza.

WNIOSKI

1. Fuzariozę kolb kukurydzy powoduje kompleks patogenów z rodzaju *Fusarium*.
2. W dwuletnim okresie badań, etiologicznie najistotniejszymi, dominującymi gatunkami *Fusarium* porażającymi kolby kukurydzy były *F. verticillioides* oraz *F. subglutinans*.
3. Stopień porażenie kolb w istotnym stopniu zależał od gatunku *Fusarium*.
4. Gatunki *F. verticillioides* i *F. subglutinans* powodowały porażenie kolb kukurydzy głównie w stopniu słabym, tj. do 10% porażonych ziarniaków.

LITERATURA

- Anderson B., White D. G. 1987. Fungi associated with corn stalks in Illinois, USA in 1982 and 1983. *Plant Disease* 71: 135 — 137.
- Ashley J. N., Hobbs B. C., Raistrick H. 1937. Studies in the biochemistry of micro-organisms. LIII. The crystalline coloring matters of *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. and related forms. *Biochemistry Journal* 31: 385 — 397.
- Bacon C. W., Porter J. K., Norred W. P., Leslie, J. F. 1996. Production of fusaric acid by *Fusarium* species. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 4039 — 4043.

- Bottalico A., Perrone G. 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *Eur. J. Plant Pathol.* 108: 611 — 624.
- Booth C. 1971. The Genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Surley, England.
- Brandstetter B. B. 1922. Fungi internal of Missouri seed corn in 1921. *J. Amer. Soc. Agron.* 14: 354 — 357.
- Burgess L. W., Summerell B. A., Bullock S., Gott K. P., Backhouse D. 1994. *Laboratory Manual for Fusarium Research*, 3rd ed. University of Sydney, Sydney, Australia.
- Castellá G., Munkvold G. P., Imerman P., Hyde W. G. 1999. Effects of temperature, incubation period and substrate on fusaproliferin by *Fusarium subglutinans* ITEM 2404. *Natural toxin* 7: 129 — 132.
- Chelkowski J., Kopacka K., Tulwin A. 1985. Wstępna ocena zdrowotności materiału siewnego pszenicy, żyta, jęczmienia, owsa i kukurydzy ze zbiorów 1982 roku. *Hodowla Rośl. Z.* 1–2: 46 — 50.
- Chelkowski J. 1989. *Fusarium: Mycotoxins, Taxonomy and Pathogenicity*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Chen L. F., Bai G. H., Desjardins A. E. 2000. Recent advances in wheat head scab research in China. *Proc. Int. Symp. Wheat Improvement for Scab Resistance*. W. J. Raupp, Z. Ma, P. Chen, and D. Liu, eds. Nanjing Agricultural University, Jiangsu, China. 258 — 273.
- Chluze S. N., Ramirez M. L., Torres A., Leslie J. F. 2000. Genetic variation in *Fusarium* section *Liseola* from no-till maize in Argentina. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 5312 — 5315.
- Clear R. M., Patrick S. K., Platford R. G., Desjardins M. 1996. Occurrence and distribution of *Fusarium* species in barley and oat seed from Manitoba in 1993 and 1994. *Can. J. Plant Pathol.* 18: 409 — 414.
- Danielsen S., Meyer U. M., Jensen D. F. 1998. Genetic characteristics of *Fusarium verticillioides* isolates from maize in Costa Rica. *Plant Pathol.* 47: 615 — 622.
- De Nijs M., Rombouts F., Notermans S. 1996. *Fusarium* molds and their mycotoxins. *J. Food Saf.* 16: 15 — 58.
- Desjardins A. E., Manandhar G., Plattner R. D., Maragos C. M., Shresths K., McCormick S. P. 2000 a. Occurance of *Fusarium* species and mycotoxins in Nepalese maize and wheat and the effect of traditional processing methods on mycotoxin levels. *J. Agric. Food. Chem.* 48: 1377 — 1383.
- Desjardins A. E., Plattner R. D., Gordon T. R. 2000b. *Gibberella fujikuroi* mating population A and *Fusarium subglutinans* from teosinte species and maize from Mexico and Central America. *Mycol. Res.* 104: 865 — 872.
- Domsch K. H., Gams W., Anderson T. H. 1980. *Compendium of soil fungi*, Vols. 1 and 2. Academic Press, London, England.
- Edwards E. T. 1935. Studies on *Gibberella fujikuroi* var. *subglutinans* the hitherto undescribed ascigerous stage of *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans* and on its pathogenicity on maize in New South Wales. *Dep. Agric. N. S. W. Sci. Bull.* 49: 1 — 68.
- Faber J. M., Sanders G. W. 1986. Production of fusarin C by *Fusarium* spp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 34: 963 — 966.
- Faber J. M., Sanders G. W., Lawrence G. A., Scott P. M. 1988. Production of moniliformin by Canadian isolates of *Fusarium*. *Mycopathologia* 101: 187 — 190.
- Farrar J. J., Davis R. M. 1991. Relationships among ear morphology, western flower thrips, and *Fusarium* ear rot of corn. *Phytopathology* 81, no 6: 661 — 666.
- Foley D. C. 1962. Systemic infection of corn by *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology* 68: 1331 — 1335.
- Gelderblom W. C. A., Thiel P. G., Marasas W. F. O., van der Merwe, K. J. 1984. Natural occurrence of fusarin C, a mutagen produced by *Fusarium moniliforme* in corn. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 32: 1064 — 1067.
- Gray J. S., Martin G. C. J., Rigby W. 1967. Aurofusarin. *Journal of the Chemical Society* 1967 (C): 2580 — 2587.
- Gupta S., Krasnoff S. B., Underwood N. L., Renwick J. A. A., Roberts, D. W. 1991. Isolation of beauvericin as an insect toxin from *Fusarium semitectum* and *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans*. *Mycopathologia* 115: 185 — 189.
- Hesseltine C. W., Bothast R. J. 1977. Mold development on ears of corn from tasseling to harvest. *Mycologia* 69: 328 — 340.
- Hesseltine C. W., Rogers R. F., Shotwell O. L. 1981. Aflatoxin and mold flora in North Carolina in 1977 corn crop. *Mycologia* 73: 216 — 228.

- Kabeere F., M. J. Hill J., Hampton G. 1997. The transmission of *Fusarium subglutinans* from maize seeds to seedlings. *Australasian Plant Pathology* 26: 126 — 130.
- Kedera C. J., Plattner R. D., Desjardins A. E. 1999. Incidence of *Fusarium* spp. levels of fumonisin B1 in maize in western Kenya. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 41 — 44.
- Kiecana I. 1986. Fuzarioza kłosów pszenżyta. *Roczniki Nauk Roln., E*, 16: 59 — 68.
- Kiecana I. 1994. Badania nad Fuzariozą kłosów jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare L.*) z uwzględnieniem podatności odmian i zawartości mikotoksyn w ziarnie. *Rozprawy naukowe AR Lublin*, 161: 1 — 49.
- Kuldau G. A., Yates I. E. 2000. Evidence for *Fusarium* endophytes in cultivated and wild plants, In C. W. Bacon and J. F. White, Jr. (eds.), *Microbial endophytes*. Marcel Dekker, New York City, New York. 85 — 117.
- Kwaśna H., Chełkowski J., Zajkowski P. 1991. *Grzyby*. PAN, Instytut Botaniki. Tom XXII: 82 — 84.
- Leonard K. J., Bushnell W. R. (eds.). 2003. *Fusarium Head Blight of Wheat and Barley*. American Phytopathological Society, St Paul, MN.
- Leslie J. F. 1995. *Gibberella fujikuroi*: Available populations and variable traits. *Can. J. Bot.* 73: S282 — S291.
- Leonian C. H. 1932. The pathogenicity and the variability of *Fusarium moniliforme* from corn. *West Virginia Agr. Expt. Sta. Bull* 248: 1 — 16.
- Leslie J. F., Zeller K. A., Logrieco A., Mulè G., Moretti A., Ritieni A. 2004. Species diversity and toxin production by strains in the *Gibberella fujikuroi* species complex isolated from native prairie grasses in Kansas. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 2254 — 2262.
- Lew H., Chełkowski J., Prończuk P., Edinger W. 1996. Occurrence of the mycotoxin moniliformin in maize (*Zea mays L.*) ears infected by *Fusarium subglutinans* (Woltenweber and Reinking) Nelson *et al.* *Food Additives and Contaminants* 13: 321 — 324.
- Logrieco A., Moretti, A., Altomare, C., Bottalico, A., Carbonell Torres, E. 1993. Occurrence and toxicity of *Fusarium subglutinans* from Peruvian maize. *Mycopathologia* 122: 185 — 190.
- Logrieco A., Mulè, G., Moretti, A., Botalico, A. 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *Eur. J. Plant Pathol.* 108: 597 — 609.
- Łalicowa B. 1980. Fuzarioza kłosów pszenicy ozimej w 1979 r. *Ochr. Rośl.* 24 (2): 6 — 8.
- Łalicowa B., Kiecana I. 1987. Występowanie *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. na pszenżycie oraz podatność rodów hodowlanych na porażenie. *Rocz. Nauk Rol. ser. E*, 17, 1: 161 — 178.
- Łalicowa B., Kiecana I., Pięta D. 1991. Choroby podsuszkowe jęczmienia jarego (*Hordeum sativum L.*) uprawianego w Lubelskim. *Rocz. Nauk Roln. ser. E*, 20, 1/2, 7 — 15.
- Manns T. F., Adams J. F. 1923. Parasitic fungi of seed corn. *J. Agricultural Research* 23: 495 — 524.
- Marasas W. F. O., Van Rensburg S. J., Mirocha C. J. 1979. Incidence of *Fusarium* species and the mycotoxins, deoxynivalenol and zearalonone, in corn produced in esophageal cancer areas in Transkei. *J. Agric. Food. Chem.* 27: 1108 — 1112.
- Marasas W. F. O., Nelson P. E., Toussoun T. A. 1984. *Toxigenic Fusarium species: Identity and Mycotoxicology*. The Pennsylvania State University Press, University Park, Pennsylvania 8, 9.
- Melchers L. W., Johnson C. O. 1923. Corn root, stalk and ear rot investigation in Kansas. *Phytopathology* 12, 1: 52.
- Mulè G., Susca, A., Stea G., Moretti A. 2004. A species — specific PCR assay based on the calmodulin partial gene for identification of *Fusarium verticillioides*, *F. proliferatum* and *F. subglutinans*. *Eur. J. Plant Pathol.* 110: 495 — 502.
- Munkvold G., Desjardins A. E. 1997 a. Fumonisin in maize: Can we reduce their occurrence? *Plant Dis.* 81: 556 — 565.
- Munkvold G., McGee, D. C., Carlton M. W. 1997 b. Importance of different pathways for maize kernel infection by *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology* 87: 209 — 217.
- Munkvold G. P., Hellmich R. L., Showers W. B. 1997 c. Reduced fusarium ear rot and symptom less infection in kernel of maize genetically engineered for European corn borer resistance. *Phytopathology* 87(10): 1071 — 1077.
- Neish G. A., Farnworth E. R., Greenhalgh R., Young J. C. 1983. Observations on the occurrence of *Fusarium* species and their toxins in corn in eastern Ontario. *Can. J. Plant Pathol.* 5: 11 — 16.
- Nelson P. E., Toussoun T. A., and Marasas W. F. O. 1983 *Fusarium* species: An illustrated manual for identification. Pennsylvania State University Press, University Park, PA.

- Parry D. W., Jenkinson P., McLeod, L. 1995. Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals — a review. *Plant Pathol.* 44: 207 – 238.
- Pedersen P. B., Miller J. D. 1999. The fungal metabolite culmorin and related compounds. *Natural Toxins* 7: 305 — 309.
- Rheeder J. P., Marasas W. F. O., van Wyk, P. S. 1990. Fungal associations in corn kernels and effects on germination. *Phytopathology* 80: 131 — 134.
- Thrane U. 1988. Screening for fusarin C production by European isolates of *Fusarium* species. *Mycotoxin Research* 4: 2 — 10.
- Ullstrup A. J. 1936. The occurrence of *Gibberella fujikuroi* var. *subglutinans* in the United States. *Phytopathology* 26: 685 – 693.
- Wyk van P. S., Scholtz, D. J., Marasas, W. F. O. 1988. Protection of maize seedlings by *Fusarium moniliforme* against infection by *Fusarium graminearum* in the soil. *Plant and Soil* 107: 251 — 258.
- Vigier B., Reid L. M., Seifert K. A., Stewart D. W., Hamilton R. I. 1997. Distribution and prediction of *Fusarium* species associated with maize ear rot in Ontario. *Can. J. Plant. Pathol.* 19: 60 – 65.
- White D. G., 1999. Compendium of corn diseases. 3rd ed. APS Press, St. Paul, Minnesota.
- Yates I. E., Bacon, C. W., Hinton, D. M. 1997 Effects of endophytic infection by *Fusarium moniliforme* on corn growth and cellular morphology. *Plant Disease* 81: 723 — 728.
- Zajkowski P., Kwaśna H. 1987. Corn cob fusariosis — natural infection of various genotypes in 1985 and 1986. European Seminar “Fusarium, Mycotoxins, Taxonomy, Pathogenicity” *Mycotoxin Res. Spec. Ed.* 95 — 99.