

Mieczysław Rozmus, Marian Kobrzyński, Maria Drewniak,  
Andrzej Komaś, Józef Krawczyk

## Wpływ związków chemicznych zawartych w wodach rzek Krakowa (Wisły, Wilgi i Białuchy) na przebieg mikrosporogenezy bobu *Vicia faba* L. odmiana Windsor

### Streszczenie

Przeprowadzone badania cytogenetyczne wykazały, że substancje rozpuszczalne zawarte w zanieczyszczonych powyżej normy wodach rzek Krakowa wywołują działanie mutagenne na przebieg mikrosporogenezy i rozwój gametofitu męskiego u *Vicia faba* L. odmiana Windsor. Efektem były liczne zaburzenia przebiegu podziałów mejotycznych. Najczęściej obserwowane zaburzenia to: zwiększenie lepkości matriksu chromosomów we wszystkich stadiach mejozy, nieprawidłowa koniugacja chromosomów, zwiększona lub zmniejszona liczba biwalentów, obecność mostów ana- i telofazowych, eliminacje i fragmentacje chromosomów, zakłócenia w działalności wrzeciona podziałowego, asynchronia podziału. W konsekwencji powstawały mikrospory z mikrojądrami, o zróżnicowanych co do wielkości jądrach. Pewien procent (od 16,20%–39,45% w zależności od rzeki i ujęcia) stanowiły nieżywotne ziarna pyłku.

### Wstęp

Silny i szybki rozwój gospodarki zwiększa ogromnie zapotrzebowanie na wodę i to wodę czystą, a prawie wszyscy użytkownicy wód powodują jej zanieczyszczenie. Związki zanieczyszczające wodę pochodzące ze ścieków przemysłowych, rolniczych i komunalnych można podzielić na dwie grupy w zależności od tego czy utrzymują się one i kumulują, czy też są szybko rozkładane dzięki procesom chemicznym i biologicznym. Do pierwszej grupy zaliczono prawie wyłącznie związki nieorganiczne, takie jak chlorki i sole mineralne. Do

szczególnie kłopotliwych, trwałych związków organicznych należą detergenty, środki ochrony roślin, produkty naftowe oraz inne substancje organiczne (Przeździecki 1980).

Wody śródlądowe zagrożone są również przez różnego typu pyły i substancje z atmosfery np. emisje dwutlenku siarki i tlenków azotu, opadających w postaci tzw. kwaśnych deszczy na powierzchnię wód i gleb powodujących zakwaszenie wód śródlądowych. Innego typu zanieczyszczenia przekazywane są do wód przez niekontrolowaną ekologicznie sieć kanalizacyjną rozbudowanych miast i osiedli. Wydalane ścieki zwiększają w wodach ilość rozkładającej się substancji organicznej, następuje silne zużycie tlenu, powstają warunki uniemożliwiające życie wielu organizmom (Stańczykowska 1990).

Województwo krakowskie (obecnie wchodzące w skład województwa małopolskiego – przyp. autorów) w całości leży na terenie dorzecza górnej Wisły. Charakterystyczną cechą rzek województwa krakowskiego jest rolniczy charakter ich zlewni. Zlewnie te są słabo zurbanizowane, lokalnie o niewielkim udziale przemysłu. Koncentruje się on głównie w Krakowie i jego najbliższych okolicach. Znaczące są więc zanieczyszczenia obszarowe, których dopływ zależy od warunków atmosferycznych. Szczególnie gwałtowne, intensywne opady (burze i roztopy) powodują zwiększenie ilości zawiesiny, wtedy rzeki we wszystkich zlewniach województwa prowadzą wody nie odpowiadające normatywom.

Ważnym problemem jest również skażenie środowiska wodnego metalami ciężkimi. Metale te występujące w wodach powierzchniowych, nawet w bardzo małych ilościach podlegają akumulacji w osadach dennych rzek.

Wyniki przeprowadzonych badań przez Państwowy Instytut Geologiczny wykazują, że:

- w osadach dennych rzek województwa krakowskiego są wysokie zawartości cynku oraz podwyższone stężenie kadmu i rtęci występujące w aluwiach Wisły,
- wysokie zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych występują w aluwiach Białuchy, Rudawy oraz Dłubni w Krakowie (Turzański 1995).

Podstawą oceny stanu czystości rzek jest trzystopniowa klasyfikacja wód powierzchniowych z ustalonymi rozporządzeniem ministra ochrony środowiska, zasobów naturalnych i leśnictwa z dnia 5. 11. 1991 roku (Dz. U. Nr 116, poz. 503) normatywami dopuszczalnych wskaźników zanieczyszczeń wód w poszczególnych klasach.

W 1992 roku systematyczną kontrolą stanu czystości wód powierzchniowych województwa krakowskiego objętych było 39 cieków wodnych o łącznej długości 524,1 km. Analiza stanu czystości tych wód wykazała, że nie było wód spełniających kryteria dla klasy I i II. Tylko 3,5% rzek, tj. 18,6 km odpowiadało III klasie czystości wód śródlądowych. Pozostałe rzeki, tj. 96,3% prowadziły wody pozaklasowe (Turzański 1995).

Charakterystyka zanieczyszczenia wód rzek Wisły, Wilgi i Białuchy została przeprowadzona w artykule *Wpływ związków chemicznych zawartych w wodach rzek Krakowa na cykl życiowy komórki merystematycznych korzeni bobu *Vicia faba* L.* (Rozmus i wsp. – w niniejszym opracowaniu).

Celem niniejszego opracowania było zbadanie wpływu związków chemicznych, zawartych w wodach rzek przepływających przez Kraków, na przebieg mikrosporogenezy i rozwój gametofitu męskiego u *Vicia faba* L. odmiana Windsor.

Praca ta ma również uświadomić, że chemizacja życia współczesnego, a w szczególności jej skutki związane z działaniem substancji chemicznych emitowanych do środowiska stwarzają niebezpieczeństwo dla człowieka, organizmów roślinnych i zwierzęcych.

## Material i metody

Obiektem badań był bób *Vicia faba* L. odmiana Windsor. Wyselekcjonowano pięćdziesiąt nasion i umieszczono je w szklanych naczyniach przekładając ligniną. Podlewano je wodą pobraną ze studni głębinowej przy ul. Podchorążych (kontrola) oraz wodą rzeczną (materiał traktowany). Podkiełkowane nasiona wysadzano do skrzynek z ziemią i ustawiono w szklarni w celu zapewnienia odpowiedniej temperatury i dostępu światła do prawidłowego wzrostu roślin. Rośliny podlewano systematycznie wodą rzeczną (materiał traktowany) i wodą źródłaną (kontrola). Wodę do doświadczenia pobierano z następujących ujęć:

Wisła: I ujęcie – Bielany, II ujęcie – zakole rzeki pod Wawelem

Wilga: I ujęcie – Zbydniowice pod Krakowem, II ujęcie – ujęcie Wilgi do Wisły (okolice hotelu Forum)

Białucha: I ujęcie – ul. Jazowa (Prądnik Biały), II ujęcie – ul. Grochowska (Śródmieście).

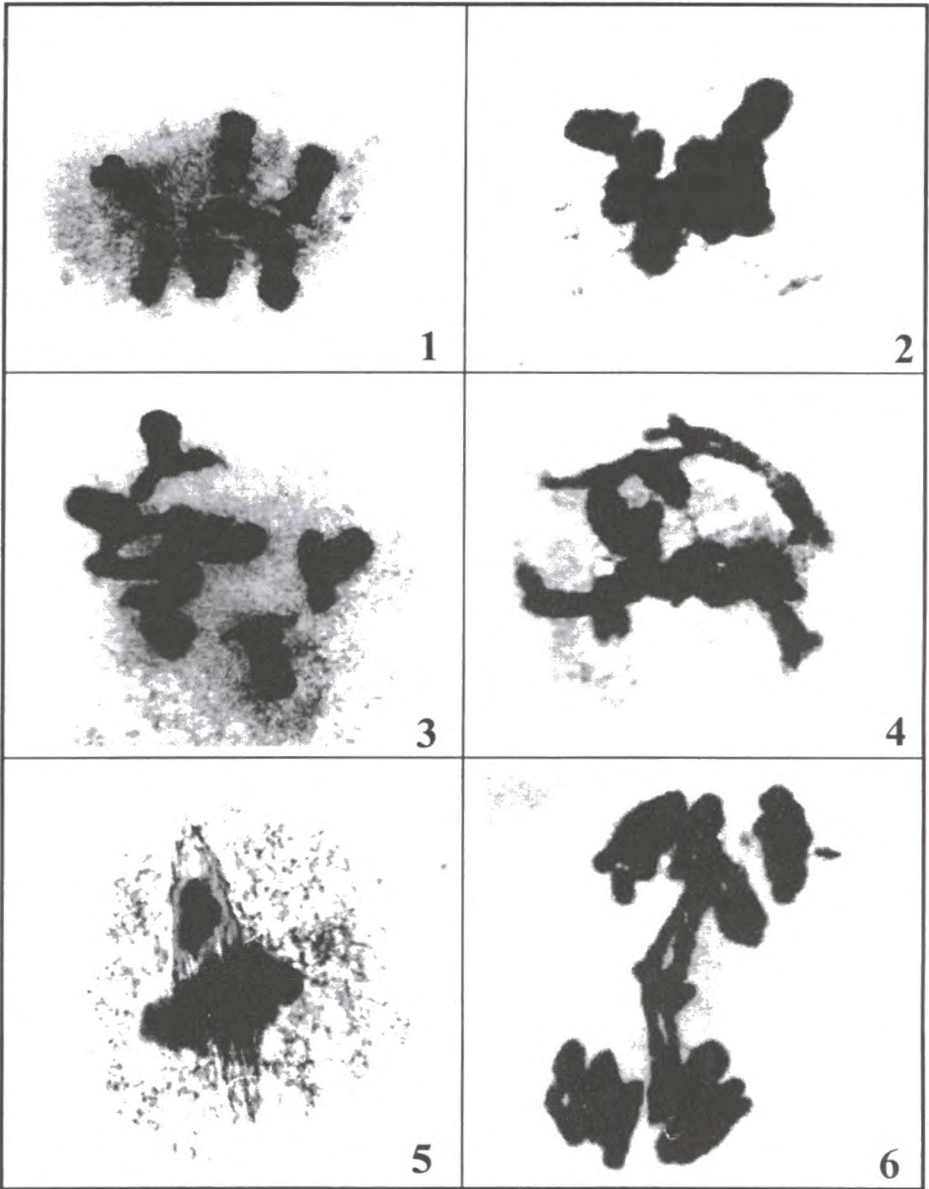
Hodowla eksperymentalna trwała od 16 marca do 15 maja 1992 roku. Od 24 kwietnia do 15 maja pobierano pąki kwiatowe, codziennie w godzinach południowych i umieszczono je w utrwalaczu Carnoy'a na 24 godziny. W doświadczeniu wykorzystano po 46 roślin z materiału hodowanego na wodach analizowanych rzek oraz 50 roślin z materiału kontrolnego. Następnie płukano je w 96% alkoholu etylowym i przechowywano w 70% alkoholu etylowym. W celu prześledzenia przebiegu mikrosporogenezy sporządzono preparaty nietrwałe (rozmary i rozgnioty), barwiąc je orceiną octową oraz preparaty trwałe z pylników w różnych stadiach rozwoju (metoda parafinowa) barwione hematoksyliną żelazistą. Preparaty trwałe po odwodnieniu zamykano w balsamie kanadyjskim. Przygotowane preparaty posłużyły do prześledzenia przebiegu kolejnych etapów mikrosporogenezy oraz pomiaru średnicy ziaren pyłku i określenia ich żywotności.

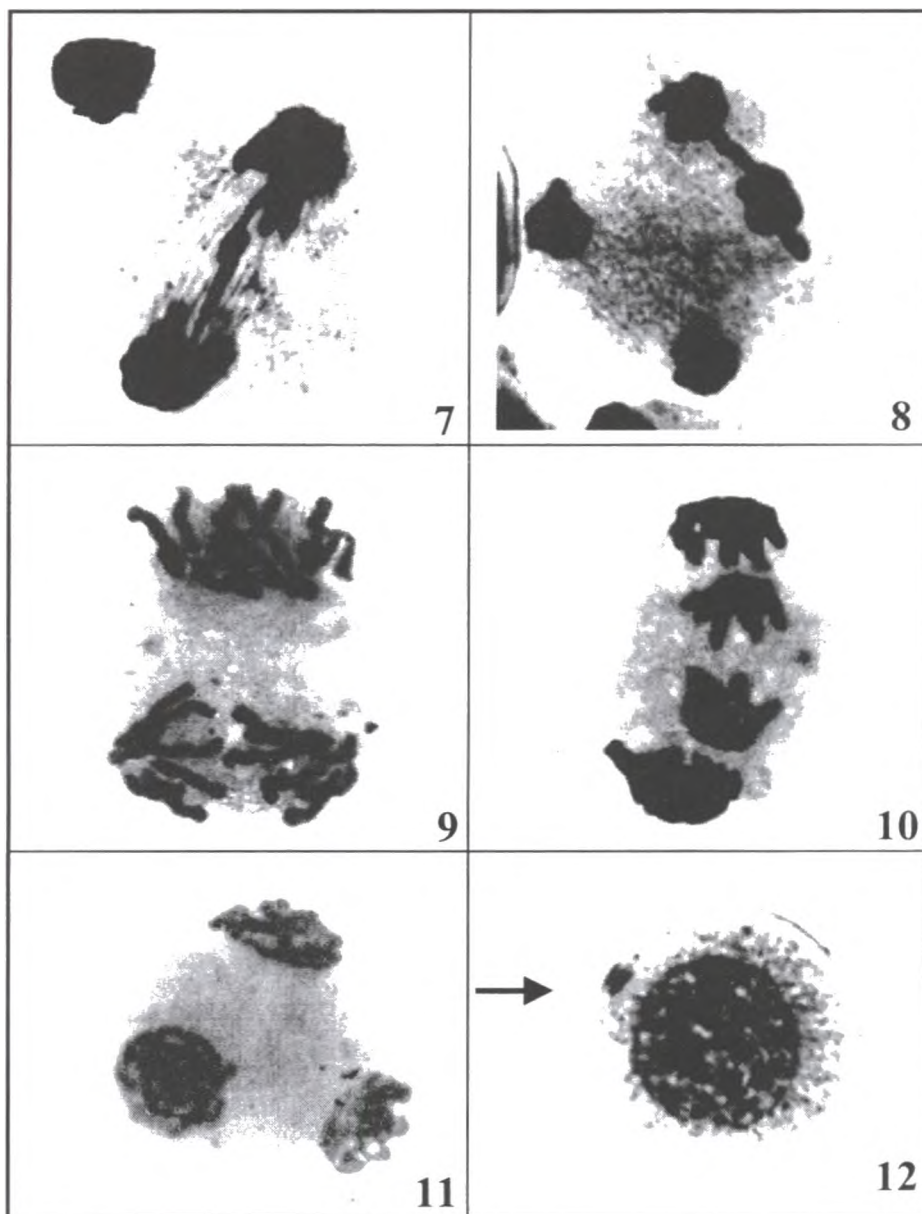
W opracowywaniu niniejszego artykułu częściowo korzystano z prac magisterskich: Anny Janeczko, Haliny Pańko, Renaty Dragan, Barbary Myśliwiec, Małgorzaty Maciaszek i Ewy Kowalik.

## Wyniki badań

W materiale kontrolnym hodowanym na wodzie pobranej ze studni głębinowej przy ul. Podchorążych w Krakowie mejoza przebiegała prawidłowo i nie stwierdzono żadnych zaburzeń. W materiale traktowanym hodowanym na wodach pobranych z Wilgi, Wisły i Białuchy stwierdzono liczne zaburzenia zarówno w I jak i II podziale mejotycznym. Najwięcej zaburzeń stwierdzono w I podziale mejotycznym. Były to: nadmierna lepkość matriks chromosomów – co prowadziło do powstania lepkich figur (profazowych, metafazowych, anafazowych i telofazowych), wadliwa koniugacja chromosomów – prowadząca do powstania różnych liczb bivalentów (7 lub 5, zamiast prawidłowych 6) oraz uniwalenty (fig. 1, 2, 3, 4).

Najczęściej spotykane zaburzenia w metafazie I podziału to: eliminacje chromosomów poza obręb wrzeciona podziałowego (fig. 5). W anafazie i telofazie I podziału stwierdzone zaburzenia to przede wszystkim mosty chromosomowe pojedyncze lub podwójne (fig. 6, 7), co jest efektem zwiększonej lepkości chromosomów bądź aberracji strukturalnych chromosomów, eliminacje chromosomów i ich fragmentów oraz opóźnione chromosomy.





*Fig. 1–12. Mikrosporogeneza w stożkach wzrostu pędu Vicia faba L.: 1. Prawidłowa koniugacja chromosomów (6 bivalentów); 2. Nieprawidłowa koniugacja (5 bivalentów); 3–4. Wadliwa koniugacja chromosomów; 5. Eliminacja chromosomów poza płaszczyznę równikową – w obrębie wrzeciona podziałowego; 6–7. Mosty chromosomowe w I podziale mejotycznym; 8. Mosty chromosomowe w II podziale mejotycznym; 9. Asynchronia podziału mejotycznego; 10. Liniowe ustawienie wrzeciona podziałowego; 11. Triady; 12. Mikrojądro w mikrosporze*

Ujęcie wody	I podział mejotyczny					II podział mejotyczny					Liczba analizowanych komórek
	profaza I	meta-faza I	anafaza I	telofaza I	profaza II	meta-faza II	ana-faza II	telo-faza II	Ogółem zaburzeń		
Wisła	260	8	18	1	8	0	31	15	341	4154	
Bielany	6,3%	0,2%	0,4%	0,02%	0,2%	0,0%	0,7%	0,4%	8,2%		
Wisła	122	53	186	104	50	36	53	40	644	4384	
Wawel	2,8%	1,2%	4,2%	2,4%	1,1%	0,8%	1,2%	0,9%	14,7%		
Wilga	220	23	45	8	6	7	20	16	345	4445	
Zbydniowice	4,9%	0,5%	1,0%	0,2%	0,1%	0,2%	0,4%	0,4%	7,8%		
Wilga	441	13	31	38	73	18	83	44	741	4224	
ujście do Wisły	10,4%	0,3%	0,7%	0,9%	1,7%	0,4%	2,0%	1,0%	17,5%		
Białucha	171	40	32	21	31	19	40	8	362	4175	
ul. Jazowa	4,1%	1,0%	0,8%	0,5%	0,7%	0,4%	1,0%	0,2%	8,7%		
Białucha	174	75	84	35	20	47	46	36	517	4203	
ul. Grochowska	4,1%	1,8%	2,0%	0,8%	0,5%	1,1%	1,1%	0,9%	12,3%		

Tabela 1. Frekwencja zaburzeń występujących w przebiegu mejozy w mikrosporocytach u *Vicia faba* L.

Ujęcie	PROFAZA I				METAFAZA I			ANAFAZA I				TELOFAZA I			Razem zaburzeń	
	zwiększona lepkość	nieprawidłowa koniugacja	umwalciny	5 bivalentów	7 i więcej bivalentów	eliminacje chrom.	zwiększona lepkość	zwiększona lepkość	zwiększona lepkość	eliminacje chrom.	frAGMENTACJA chrom.	opóźnione chrom.	eliminacje chrom.	mosty		
Wisła	249 6,0%	0 0,0%	0 0,0%	5 0,1%	6 0,1%	8 0,2%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	2 0,05%	5 0,1%	0 0,0%	11 0,3%	1 0,02%	287 6,9%
Bielany	79	7	3	7	26	27	26	4	19	11	11	18	64	134	40	465
Wisła	1,8%	0,2%	0,1%	0,2%	0,6%	0,6%	0,6%	0,1%	0,4%	0,2%	3,0%	0,4%	1,5%	3,0%	0,9%	10,6%
Wilga	171	0	0	26	23	9	14	0	6	0	0	0	6	39	2	296
Zbydnówice	3,8%	0,0%	0,0%	0,6%	0,5%	0,2%	0,3%	0,0%	0,1%	0,0%	0,9%	0,0%	0,1%	0,9%	0,04%	6,7%
Wilga	271	103	14	32	21	6	7	21	0	0	0	0	17	10	21	523
ujście do Wisły	6,4%	2,4%	0,3%	0,8%	0,5%	0,1%	0,2%	0,5%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,4%	0,2%	0,5%	12,4%
Białucha	123	0	8	21	19	24	16	0	6	5	13	8	8	13	13	264
ul. Jazowa	2,9%	0,0%	0,2%	0,5%	0,4%	0,2%	0,4%	0,0%	0,1%	0,1%	0,3%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	6,3%
Białucha	114	0	0	22	38	26	49	0	18	10	42	14	18	42	17	368
ul. Grochowska	2,7%	0,0%	0,0%	0,5%	0,9%	0,6%	1,2%	0,0%	0,4%	0,2%	1,0%	5,9%	0,4%	1,0%	0,4%	8,8%

Ujęcie	PROFAZA II		METAFAZA II		ANAFAZA II		TELOFAZA II			Razem zaburzeń w II podziale	Razem zaburzeń w mejozie
	ujęcia z mikrokrojdrami	eliminacje	zwiększona lepkość	eliminacje	mosty	asynchronia podziału	eliminacje	mosty	asynchronia podziału		
Wisła	8	0,2%	0	6	25	0	0	11	4	54	341
Bielany	50	2,5%	11	24	24	5	12	18	10	1,3%	8,2%
Wisła	2,9%	1,1%	0,6%	0,5%	0,5%	0,1%	0,3%	0,4%	0,2%	1,7%	644
Wawel	6	3	4	5	15	0	7	9	0	4,1%	14,7%
Wilga	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,0%	0,1%	0,2%	0,0%	0,1%	345
Zbydnówice	73	10	8	6	45	32	13	16	15	1,1%	7,8%
Wilga	1,7%	0,2%	0,2%	0,1%	1,1%	0,8%	0,3%	0,4%	0,3%	6,0%	741
ujście do Wisły	31	3	16	5	32	3	0	8	0	6,0%	17,5%
Białucha	0,7%	0,1%	0,4	0,1%	0,8%	0,1%	0,0%	0,2%	0,0%	2,3%	362
ul. Jazowa	20	12	35	15	24	7	14	15	7	8,7%	517
Białucha	0,5%	0,3%	0,8%	0,4%	0,6%	0,2%	0,3%	0,4%	0,2%	3,5%	12,3%
ul. Grochowska											

Tablica 2. Charakter zaburzeń występujących w przebiegu mejozy w mikrosprocytach u *Vicia faba* L. podlewanych wodą rzeczną

Po I podziale mejotycznym u *Vicia faba* nie następuje cytokineza – jest ona równoczesna i zachodzi po drugim podziale. Po pierwszym podziale powstaje bowiem jedna komórka, w której na biegunach występują duże jądra. Komórka taka wchodzi w stadium profazy II podziału.

Skutkiem zaburzeń obserwowanych w I podziale mejotycznym są jądra z mikrojądrami w profazie II. Natomiast w metafazie II obserwowano zlepianie chromosomów (lepkie metafazy) i eliminacje chromosomów poza płaszczyznę równikową. W anafazie i telofazie II stwierdzone zaburzenia to głównie: asynchronie podziału (fig. 9), eliminacje chromosomów lub ich fragmentów, mosty anafazowe i telofazowe (fig. 8) oraz nieregularne ułożenie wrzeciona podziałowego (fig. 10).

W wyniki podziału mejotycznego powstają cztery komórki zawierające haploidalną liczbę chromosomów w jądrze (tetrazy mikrospor). Analiza mikrospor wykazała wśród prawidłowych tetrad obecność zaburzeń typu triady (fig. 11) lub poliady (jako efekt nieprawidłowości stwierdzanych we wcześniejszych etapach mejozy) oraz obecność mikrojąder (fig. 12). Zestawienie zaburzeń obserwowanych w I i II podziale mejotycznym przedstawia tabela 1 i 2.

Analiza wielkości i żywotności ziaren pyłku wykazała, że w materiale traktowanym były one większe niż w kontroli (od 43,32/28,71µm do 55,54/36,65µm w zależności od rzeki i ujęcia), a ponadto w materiale traktowanym wystąpiło znacznie więcej ziaren nieżywotnych w porównaniu z kontrolą (od 16,20 do 39,45% w zależności od rzeki i ujęcia). Zobacz tabela 3 i 4.

W przebiegu I i II podziału mejotycznego, jak i w obrazach mikrospor i ziaren pyłku stwierdzono ten sam charakter zaburzeń dla wszystkich serii doświadczeń. Stwierdzić jednak należy, że we wszystkich seriach więcej nieprawidłowości występowało u roślin hodowanych na wodach pochodzących z II ujęcia (Śródmieście Krakowa), charakteryzujących się większym zanieczyszczeniem spowodowanym wchłonięciem zanieczyszczeń komunalnych.

Najwyższy wzrost zaburzeń między I i II ujęciem wody stwierdzono w rzece Wildze, w pozostałych dwóch rzekach odchylenia te są nieco mniejsze (tabela 1, 2).

Przedstawione wyniki upoważniają do stwierdzenia, że substancje chemiczne zawarte w wodach analizowanych rzek wywierają mutagenne działanie, powodując wiele zakłóceń w przebiegu mikrosporogenezy.

## Dyskusja i wnioski

Przeprowadzone badania cytogenetyczne, dotyczące wpływu zanieczyszczeń występujących w wodach analizowanych rzek Krakowa na przebieg mikrosporogenezy u *Vicia faba* L., wykazały istotną rolę tych zanieczyszczeń w indukowaniu zakłóceń w przebiegu tego procesu. Podobny charakter działania wykazują inne związki, takie jak np. środki ochrony roślin, związki fenolowe, sole wapnia, magnezu, czy też promieniowanie gamma. Badania wielu autorów (Amer, Ali 1968, 1974, 1980, 1983; Amer, Farah 1968, 1976, 1980, 1983, 1987; Skorupska 1976; Klein 1990 i inni) wykazały, iż pestycydy, herbicydy i insektycydy powodują liczne zaburzenia w przebiegu procesu mejozy, przyczyniając się do powstawania niepełnowartościowych pod względem kariologicznym gamet.



Stanowisko	Analiza żywotności ziaren pyłku			Średnice ziaren pyłku	
	pyłek żywotny	pyłek nieżywotny	ogółem	średnia długość (μm)	średnia szerokość (μm)
<b>Kontrola</b>	2264 93,9%	147 6,1%	2411	43,48 ±4,51	32,02 ±3,66
<b>Wisła (ujęcie I)</b>	3362 83,4%	668 16,6%	4030	46,12 ±6,04	33,42 ±4,38
<b>Wisła (ujęcie II)</b>	3438 71,6%	1362 28,4%	4800	52,78 ±6,09	38,15 ±4,61
<b>Wilga (ujęcie I)</b>	2004 81,8%	446 18,2%	2450	55,54 ±6,33	36,65 ±5,40
<b>Wilga (ujęcie II)</b>	9520 60,5%	6202 39,4%	15722	43,32 ±6,31	28,71 ±4,93
<b>Białucha (ujęcie I)</b>	2025 83,8%	392 16,2%	2417	49,99 ±5,22	35,20 ±4,18
<b>Białucha (ujęcie II)</b>	2179 74,4%	751 25,6%	2930	50,88 ±6,02	36,46 ±5,40

*Tabela 3. Żywotność oraz średnice ziaren pyłku w kontroli i u roślin podlewanych wodą rzeczną*

Stanowisko	Tetrazy prawidłowe		Triady i poliady		Ogółem
	liczba	%	liczba	%	liczba
<b>Wisła (ujęcie I)</b>	1267	91,8	113	8,2	1380
<b>Wisła (ujęcie II)</b>	5600	82,7	1175	17,3	6775
<b>Wilga (ujęcie I)</b>	749	80,9	177	19,1	926
<b>Wilga (ujęcie II)</b>	3432	95,9	146	4,1	3578
<b>Białucha (ujęcie I)</b>	761	90,1	84	9,9	845
<b>Białucha (ujęcie II)</b>	467	87,4	67	12,5	534

*Tabela 4. Udział tetrad nieprawidłowych w materiale hodowanym na wodach rzek Krakowa*

Analizując przebieg poszczególnych stadiów podziału mejotycznego w materiale testowanym, stwierdzono występowanie licznych anomalii, takich jak: zwiększona lepkość chromosomów, mosty ana- i telofazowe zarówno w I jak i II podziale, zmiany liczby chromosomów, obecność uniwalentów i chromosomów opóźnionych, zaburzenia funkcjonowania wrzeciona kariokinetycznego, nierównomierny rozdział materiału genetycznego, asynchronię podziału, występowanie mikrojąder oraz różnej, nieprawidłowej liczby mikrospor w tetradach. Obecność uniwalentów obserwowali również w swych badaniach Devadas i wsp. (1986) pod wpływem fosfoorganicznych insektycydów, Muhana i wsp. (1991) pod wpływem promieni gamma, Kumar i Sinha (1991) pod wpływem pestycydów. Wystąpienie uniwalentów jest konsekwencją wadliwej koniugacji chromosomów w zygotenie.

Zwiększoną lepkość chromosomów będącą powszechnym efektem indukowanym przez związki fenolowe (p-nitrofenol, p-chlorofenol, 2,4 dichlorofenol, 2,4 dichloronaftol) stwierdzili w swych badaniach Amer i Ali (1968). Efekt lepkości chromosomów może wywołać szereg związków, takich jak: siarczan magnezu (Abraham, Nair 1989), sole wapnia (Misra 1982). Konsekwencją zwiększonej lepkości chromosomów w początkowych stadiach profazy I jest występowanie asocjacji wyższego rzędu. Świadczą one o zajściu wzajemnych translokacji w obrębie genomu (Skorupska 1976). Translokacja może obejmować dwie pary chromosomów, tworzących w pachytenie figurę w kształcie krzyża, a w przypadku większej ilości chromosomów również inne figury. Takie obrazy w postaci łańcuchów i kół obserwowali Jain i Sarbhoy (1987).

Wśród zaburzeń spotkanych w materiale testowanym były opóźnione chromosomy, obserwowane w obu podziałach mejotycznych w stadium anafazy i telofazy. Zaburzenia tego typu opisywali również inni autorzy (Klein 1990; Amer, Ali 1983, 1980).

W materiale testowanym stwierdzono także obecność mostów ana- i telofazowych wywołanych zwiększoną lepkością chromosomów. Podobne zaburzenia oraz fragmentacje chromosomów obserwowano jako wynik traktowania pąków kwiatowych związkami fenolu (Amer, Ali 1968), są one również wynikiem działania pestycydów (Kaur, Grover 1985), a także siarczanu magnezu (Abraham i wsp. 1989).

Dość często spotykanym zaburzeniem procesu mejozy była asynchronia drugiego podziału, związana najprawdopodobniej z nieprawidłowo funkcjonującym wrzecionem kariokinetycznym. Zjawisko to obserwowali także Muhanna i wsp. (1991) u *Nicotiana tabacum* po naświetleniu promieniami gamma oraz Skorupska (1976) pod wpływem herbicydów.

Zanieczyszczenia występujące w wodzie badanych rzek wpłynęły również na pojawienie się nieprawidłowej liczby mikrospor w tetradach oraz na obniżenie żywotności pyłku. Efekt taki obserwowali Skorupska (1986), Reddy i Rao (1981, 1982), Devadas i wsp. (1986), Klein (1990) pod wpływem Ambusz 25EC.

Analiza składu chemicznego wód rzek Krakowa wykazała m.in. obecność w nich pierwiastków śladowych. Niektóre z pierwiastków śladowych są szczególnie szkodliwe dla otoczenia z uwagi na ich aktywność w procesach biologicznych i fizjologicznych żywych organizmów. Zachodzące w nich interakcje – wzajemne oddziaływania metali ciężkich – zwiększają lub zmniejszają biologiczne efekty działania. Do tych metali o bardzo dużym stopniu zagrożenia należy zwłaszcza kadm, rtęć, ołów, miedź, cynk, chrom. Charakteryzują się one szczególnie właściwościami toksykologicznymi. Łatwo wchłaniany kadm m.in. jako pył lub para stosunkowo długo utrzymuje się w tkankach oraz podlega stałej akumulacji (Gibaszevska 1989).

Przeprowadzone badania wykazały, że związki chemiczne zawarte w wodach analizowanych rzek są czynnikami mutagennymi, a indukowane zmiany mogą być przekazywane potomstwu za pośrednictwem gamet męskich.

## Literatura

- Abraham S., Nair R. (1989), *Production of mitotic abnormalization by magnesium sulfate in Vicia faba L.*, Cytologia 54: 559–563
- Amer S.M., Ali E.M. (1968), *Cytological effects of pesticides. II. Meiotic effects of some phenols.* Cytologia 33: 21–33
- Amer S.M., Ali E.M. (1974), *Cytological effects of pesticides. V. Effects of some herbicides on Vicia faba L.*, Cytologia 39: 633–643
- Amer S.M., Ali E.M. (1980), *Cytological effects of pesticides. XI. Meiotic effects of the herbicides monochloroacetic and trichloroacetic acids*, Cytologia 45: 715–719
- Amer S.M., Ali E.M. (1983), *Cytological effects of pesticides. XIV. Effects of the insecticides Diptex „trichlorophon” on Vicia faba plant*, Cytologia 48: 761–770
- Amer S.M., Farah O.R. (1968), *Cytological effects of pesticides. III. Meiotic effects of N-methyl-1-naphthyl carbamate Sevin*, Cytologia 33: 337–344
- Amer S.M., Farah O.R. (1976), *Cytological effects of pesticides. VIII. Effects of the carbamate pesticides IPC. Rogor and Duphar on Vicia faba*, Cytologia 41: 597–606
- Amer S.M., Farah O.R. (1979), *Cytological effects of pesticides. IX. Effects of the phosphonothioate insecticide Leptophos on Vicia faba*, Cytologia 44: 907–913
- Amer S.M., Farah O.R. (1980), *Cytological effects of pesticides. X. Meiotic effects Phosfel*, Cytologia 45: 241–245
- Amer S.M., Farah O.R. (1983), *Cytological effects of pesticides. XIII. Meiotic effects of the insecticide Durban on Vicia faba L. var. Giza*, Cytologia 48: 557–563
- Amer S.M., Farah O.R. (1987), *Cytological effects of pesticides. XVIII. Meiotic effects of the insecticide Methamidophos*, Cytologia 52: 303–307
- Devadas N., Rejam V., Subhash K. (1986), *Comparative mutagenicity of four organophosphorous insecticides in meiotic system of red pepper*, Cytologia 51: 645–653
- Gibaszevska A. (1989), *Zagrożenie toksykologiczne w regionach uprzemysłowionych.* Aura 8: 27–29
- Jain A.K., Sarbhoy R. (1987), *Cytogenetical studies on the effects of some chlorinated pesticides. II. Effects on meiotic chromosomes of Lens and Pisum*, Cytologia 52: 55–61
- Kaur P., Grover J.S. (1985), *Cytological effects of some organophosphorus pesticides. II. Meiotic effects*, Cytologia 50: 199–211
- Klein M. (1990), *Wpływ insektycydu Ambusz 25 EC (permetryna) na procesy mitozy i mikrosporogenezy u Pisum sativum L.*, Zeszyty Naukowe AR 145, Kraków
- Kumar U., Sinha S.S. (1991), *Genotoxic effects of two pesticides (Rogor and Bavistin) and an antibiotic (Streptomycin) in meiotic cells of grasspea (Lathyrus sativus L.)*, Cytologia 56: 205–214
- Misra M.P. (1982), *Effects of calcium salts on Allium cepa chromosomes*, Cytologia 47: 47–51
- Muhamma S., Souvre A., Albertini L. (1991), *Karyological and cytological effects of gamma rays on pollen ontogenesis on vability and on the tapetum of Nicotiana tabacum var. Xanti Dulieu.* Cytologia 56: 17–25
- Przędziecki W. (1980), *Skazenie środowiska naturalnego*, PWN, Warszawa

- Reddy S.S., Rao G.M. (1981), *Cytogenetic effects of agricultural chemicals. I. Effects of insecticides BHC and Nuvacron on chromosomal mechanism in relation yield and yield components in Chilli (Capsicum annum L.)*, Cytologia 46: 699–707
- Reddy S.S., Rao G.M. (1982), *Cytogenetic effects of herbicides Lasso and Basagran on chromosomal mechanism in relation yield and yield components in Chilli (Capsicum annum L.)*, Cytologia 47. 257–267
- Skorupska H. (1976), *The effects of some herbicides chemomutagenes and gamma radiation on meiosis in pea (Pisum sativum)*, Genetica Polonica 17, 2: 149–157
- Stańczykowska A. (1990), *Ekologia naszych wód*, WSP, Warszawa
- Turzański K.P., Wertz J. (red.) (1995), *Raport o stanie środowiska w województwie krakowskim w 1994 roku*, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Kraków