

Anna Rutkowska-Narożniak*, Elżbieta Pajor*

**WPŁYW STAŁEGO POLA MAGNETYCZNEGO 7 mT NA
ORGANIZMY OSADU CZYNNEGO W PROCESIE BIODEGRADACJI
FORMALDEHYDU**

**IMPACT OF A STATIC MAGNETIC FIELD OF 7 mT ON ACTIVATED
SLUDGE ORGANISMS IN THE PROCESS OF FORMALDEHYDE
BIODEGRADATION**

Słowa kluczowe: stałe pole magnetyczne, osad czynny, formaldehyd, toksyczność.

Key words: static magnetic field, activated sludge, formaldehyde, toxicity.

*The aim of the study was to determine the impact of a static magnetic field (MF) of 7 mT on formaldehyde (FA) biodegradation in synthetic wastewater and on organisms of activated sludge. Influence of the wastewater treatment efficiency on survival of the crustacean *Daphnia magna* was also evaluated. Research results indicated that the biodegradation efficiency of FA in concentration of 100-1800 mg/l was not dependent on MF. However, when the initial FA concentration was from >1800 to 2880 mg/l, the higher biodegradation efficiency was observed in the bioreactor exposed to MF than in control reactor. Microscopic observations of activated sludge proved that MF had a positive impact on the presence of attached ciliata when FA concentrations were 100–2000 mg/l. Similar results were also noted for the roundworms survival. Biodiversity of organisms determined by Madoni method was higher in the activated sludge exposed to MF than in control reactor. Due to the lower FA concentration in wastewater treated in the bioreactor exposed to MF, the toxicity of this wastewater towards the crustacean was lower than toxicity of the effluent from control reactor. Research proved that MF application of 7 mT in FA biodegradation process had a positive effect on activated sludge organisms and their biodiversity.*

* Dr Anna Rutkowska-Narożniak, dr Elżbieta Pajor – Zakład Biologii, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska; ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa; tel.: 22 234 76 86; fax 22 621 29 79; e-mail: anna.narozniak@is.pw.edu.pl, elzbieta.pajor@is.pw.edu.pl

1. WPROWADZENIE

Stałe pole magnetyczne (PM) jest jednym z czynników oddziałujących na mikroorganizmy. Może ono być wykorzystane do wspomaganie usuwania uciążliwych zanieczyszczeń organicznych ze ścieków na drodze biologicznej.

Interpretacja wyników badań nad wpływem PM jest trudna, ponieważ wszelkie zmiany u organizmów nie zachodzą w sposób liniowy wraz ze zmianą indukcji magnetycznej i zależą od wielu parametrów, zarówno abiotycznych, jak i biotycznych.

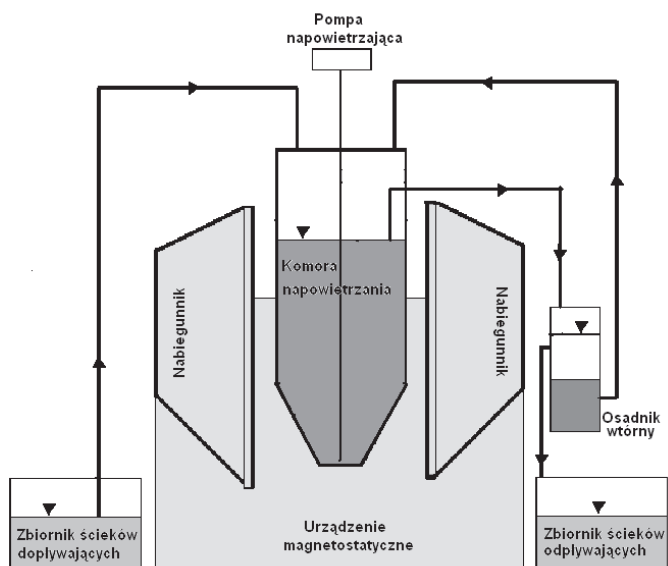
Na efekt PM ma wpływ geometria pola i układ magnesów oraz wartość indukcji. Większość badań wykazuje, że silne PM >1T hamuje, a słabe intensyfikuje procesy fizjologiczne organizmów [Guevorkian i in. 2006, Zhang i in. 2007, Miyakoshi i in. 2005]. Łebkowska już w 1991 r. wykazała, że indukcja 8 mT zwiększa o 25% efektywność oczyszczania syntetycznych ścieków metodą osadu czynnego, a rozkład oranżu polifalanowego, aniliny i acetanilidu o 47, 27 i 16%. Rutkowska-Narożniak [1997] zaobserwowała podobne zależności i wykazała 3-krotne zwiększenie efektywności biodegradacji p-nitroaniliny w PM w porównaniu z próbką kontrolną. Badania autorki wykazały także wzrost aktywności dehydrogenaz i hydrolaz u mikroorganizmów osadu czynnego. Ji i in. [2010] na podstawie swoich badań udokumentowali, że PM do 20 mT pozytywnie wpływało na wzrost bakterii osadu czynnego i biodegradację ścieków. Natomiast Chen i Li [2008] zanotowali zwiększenie wydajności tworzenia polihydroksywalerianu w PM 21 mT, a polihydroksymaślanu w polu 7 mT. Tomska i Wolny [2007] stwierdziły, że PM 40 mT przyspiesza usuwanie organicznych związków azotu ze ścieków, a Krzemieniewski [2003] wykazał, że PM 400–600 mT stymuluje kondycjonowanie osadów ściekowych. Wyjaśnienia działania słabych pól magnetycznych należy szukać w obszarze fizyki kwantowej i można je uznać za „zjawiska paradoksalne” [Binhi 2002].

Wspomaganie oczyszczania ścieków przemysłowych zawierających refrakcyjne związki organiczne za pomocą słabych pól magnetycznych może być alternatywnym rozwiązaniem w technologii oczyszczania uciążliwych ścieków przemysłowych. Formaldehyd (FA) jest związkiem toksycznym, niebezpiecznym dla ludzi i zwierząt, często występującym w ściekach przemysłowych. Jego usunięcie jest trudne, ponieważ łatwo wchodzi w reakcje ze związkami występującymi w ściekach i tworzy trudnobiodegradowalne połączenia. Stąd poszukiwanie skutecznych metod jego eliminacji. Pajor [2002] prowadziła badania nad eliminacją formaldehydu w ściekach mocznikowo-formaldehydowych i wykazała, że w reaktorze hybrydowym zasiedlonym grzybami mikroskopowymi można uzyskać 97,5% eliminacji FA (przy początkowym stężeniu 79 mg/l).

Należy przypuszczać, że zastosowanie słabych pól magnetycznych może zwiększyć efektywność usuwania FA ze ścieków przemysłowych.

2. METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono w skali laboratoryjnej w warunkach hodowli ciągłej, dozując ścieki syntetyczne z FA. Układ badawczy składał się z urządzenia magnetostatycznego wytwarzającego stałe pole magnetyczne 7 mT oraz 4-litrowego bioreaktora (komory napowietrzania) umieszczonego wewnątrz pola (rys. 1). Urządzenie magnetostatyczne wyskalowano za pomocą mikroteslomierza. Jako kontrolę (K) zastosowano analogiczny reaktor bez udziału PM. Osad czynny użyty do badań był zaadaptowany do rozkładu FA (w stężeniu do 100 mg/l). W dozowanych do bioreaktorów ściekach zwiększano stopniowo stężenie FA od 100 do 2880 mg/l. Proces prowadzono do uzyskania stanu ustalonego, tj. określonego spadku FA w ściekach odpływających w jednym z bioreaktorów.



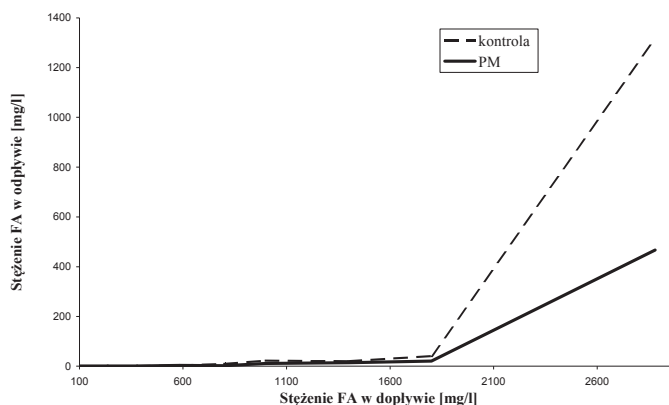
Rys.1. Schemat urządzenia do biodegradacji FA w polu magnetycznym

Fig. 1. Scheme of bioreactor for FA biodegradation in the MF

Zakres badań kontrolnych obejmował między innymi: oznaczenie stężenia FA, ChZT w ściekach dopływających i odpływających z reaktorów oraz suchej masy osadu. Przeprowadzono również analizę biologiczną osadu czynnego metodą Madoniego. Oznaczano między innymi grupy kluczowe mikrofauny, liczbę taksonów oraz liczebność organizmów. Badano także toksyczność ścieków dopływających i odpływających z bioreaktorów przy użyciu testów przeżywalności ze skorupiakami *Daphnia magna*. Skuteczność oczyszczania formaldehydu określano między innymi na podstawie stopnia eliminacji FA oraz zanieczyszczeń wyrażonych jako ChZT.

3. WYNIKI BADAŃ

Badania wykazały, że w zakresie stężeń FA w dopływie od 100 do 1800 mg/l, skuteczność usuwania FA i ChZT była wysoka i zbliżona dla obu reaktorów (kontrolnego i badanego). Wynosiła dla ChZT od 97,1 do 83,6%, a dla formaldehydu – od 99,9 do 97,7%. Przy stężeniach ≥ 2400 biodegradacja FA obniżyła się w obu reaktorach, ale była wyższa o ok. 30% w PM w porównaniu z kontrolą (83,8% w PM; 54,4% w K) – rys. 2. Podobne zależności zanotowano dla ChZT, dla którego skuteczność usuwania w PM była o ok. 26% wyższa w reaktorze eksponowanym w PM – 85,4% eliminacji (tab.1). Lepsza skuteczność eliminacji FA i zanieczyszczeń wyrażonych jako ChZT w PM, przy wyższych stężeniach FA w dopływie, mogła być spowodowana większą biomasa osadu w reaktorze i związanym z tym mniejszym obciążeniem biomasy ładunkiem zanieczyszczeń.



Rys. 2. Wpływ PM 7 mT na biodegradację formaldehydu osadem czynnym

Fig. 2. Effect of a static magnetic field of 7 mT on formaldehyde biodegradation in wastewater by activated sludge

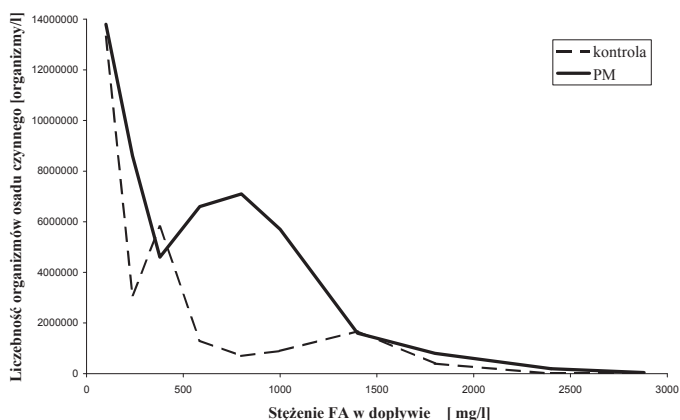
Analiza mikroskopowa wykazała pozytywny wpływ PM na liczebność organizmów w biocenozie osadu czynnego. W reaktorze eksponowanym w PM była ona na ogół wyższa niż w kontrolnym. Przy stężeniach FA w dopływie 100–237 mg/l obserwowano w obu reaktorach spadek liczebności organizmów w porównaniu ze stanem początkowym (z $13 \cdot 10^6$ do $3,1 \cdot 10^6$ /l w K i do $8,6 \cdot 10^6$ /l w PM). Prawdopodobnie było to związane z adaptacją osadu do wyższych stężeń FA. Następnie od stężenia 379 mg FA/l w PM i 585 mg FA/l w K nastąpił wzrost liczebności organizmów w obu komorach (do $7,1 \cdot 10^6$ /l w PM i $5,8 \cdot 10^6$ /l w K).

Dalszy wzrost stężenia FA w dopływie skutkował spadkiem liczebności organizmów w obu reaktorach. Przy stężeniu ≥ 2400 mg FA/l w dopływie w osadzie kontroli nie wykryto już żadnych organizmów wyższych, podczas gdy w PM były one obecne do końca procesu, ale ich liczebność obniżyła się do $0,44 \cdot 10^6$ /l (rys 3).

Tabela 1. Parametry techniczne oczyszczania syntetycznych ścieków z formaldehydu

Table 1. Technical parameters of treatment of the synthetic wastewater containing formaldehyde

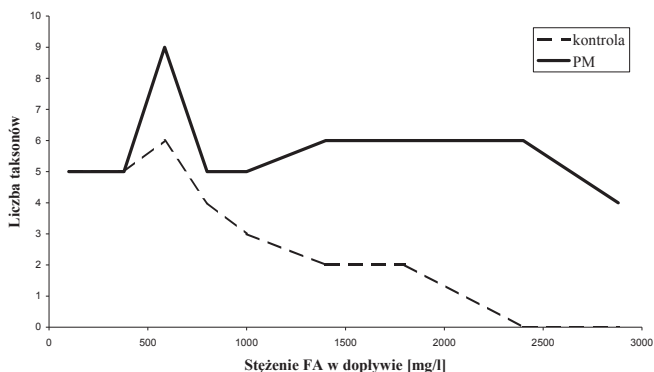
Badanie po dniach	Stężenie, mg/l		Sucha masa, mg/l		Obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń, mg/mg sm-d			
	FA	ChZT	K	PM	FA		ChZT	
					K	PM	K	PM
1	100	247	1155	1159	0,086	0,086	0,214	0,213
6	237	532	1048	1134	0,226	0,208	0,508	0,469
12	379	856	1411	1448	0,268	0,261	0,606	0,593
13	585	1048	1903	1934	0,307	0,302	0,550	0,542
15	800	1613	2066	1990	0,387	0,402	0,780	0,810
19	1000	2098	2620	2430	0,381	0,411	0,800	0,863
22	1400	2715	3466	3511	0,403	0,398	0,783	0,773
24	1800	3132	3899	4012	0,461	0,448	0,803	0,780
26	2400	3366	4054	4904	0,592	0,489	0,830	0,686
28	2880	5123	4684	6391	0,614	0,450	1,090	0,801



Rys. 3. Wpływ stałego PM 7 mT na liczebność organizmów osadu czynnego w procesie biodegradacji formaldehydu w ściekach syntetycznych

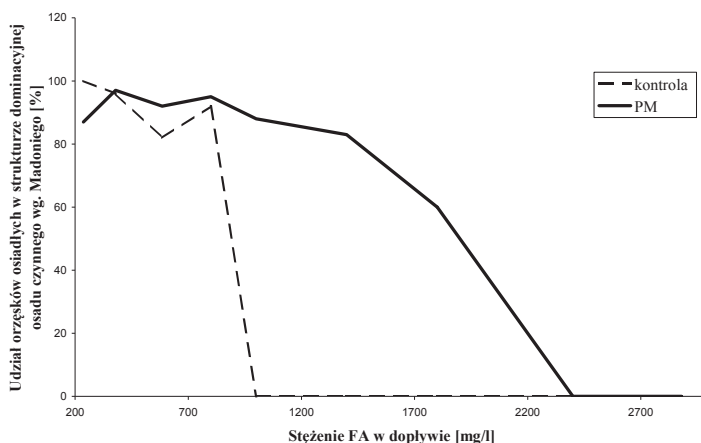
Fig. 3. Impact of static magnetic field of 7 mT on the number of activated sludge organisms in biodegradation of FA in synthetic wastewater

Badania wykazały również wpływ pola PM na bioróżnorodność organizmów w biocenozie osadu czynnego. W komorze ekspozycyjnej w PM zaobserwowano większą liczbę taksonów w porównaniu z kontrolą. Różnice te były widoczne od stężenia 800 mg FA/l, gdzie zanotowano 9 taksonów w PM, a w kontroli – 6 (rys. 4). Przy dalszym wzroście stężenia FA ilość taksonów w PM utrzymywała się na poziomie 5–6, natomiast w reaktorze kontrolnym nastąpił gwałtowny spadek bioróżnorodności. Przy stężeniu 2400 mg FA/l w dopływie nie wykryto w kontroli żadnych organizmów, podczas gdy w PM zanotowano obecność 4 taksonów.



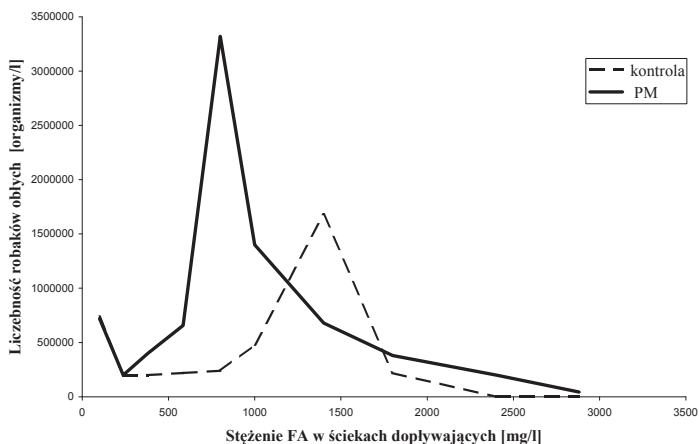
Rys. 4. Wpływ stałego PM 7 mT na bioróżnorodność osadu czynnego (wg Madoniego)
Fig. 4. Impact of static MF of 7 mT on biodiversity of activated sludge (Madoni method)

Wykazano także, że pole magnetyczne miało wpływ na występowanie orzęsków osiadłych. W stężeniach 1000–1880 mg FA/l w dopływie ich udział w strukturze dominacyjnej osadu czynnego (wg Madoniego) był znacznie wyższy w komorze w PM w porównaniu z bioreaktorem kontrolnym (rys. 5). W stężeniu > 2400 mg FA/l orzęski osiadłe nie występowały w osadzie czynnym.



Rys. 5. Wpływ PM 7 mT na dominację orzęsków osiadłych osadzie czynnym
Fig. 5. Impact of MF of 7 mT on domination of attached ciliata in activated sludge

Liczebność robaków obłych – wrotków i nicieni – w biocenozie osadu czynnego była w obu bioreaktorach stosunkowo duża i na ogół w reaktorze w PM wyższa niż w kontroli (rys. 6)



Rys. 6. Wpływ stałego PM 7 mT na liczebność robaków obłych (nicienie i wrotki) w procesie biodegradacji formaldehydu osadem czynnym

Fig. 6. Impact of static MF of 7 mT on number of roundworms (nematodes and rotifers) in biodegradation of FA by activated sludge

Dla początkowych stężeń 100–237 mg FA/l w dopływie ich liczebność była zbliżona w obu reaktorach. W zakresie stężeń 237–1000 mg FA/l liczebność tej grupy organizmów w osadzie eksponowanym w PM była wyższa o mniej więcej 1 rząd wielkości od obserwowanej w reaktorze kontrolnym ($1,4\text{--}3,3 \cdot 10^6$ /l w PM i $2,4\text{--}4,8 \cdot 10^5$ /l w K). Przy stężeniu w dopływie 1400 mg FA/l ich liczebność w PM spadła do $6,8 \cdot 10^5$ /l, natomiast w kontroli wzrosła do $1,6 \cdot 10^6$ /l. Dalszy wzrost stężenia formaldehydu w ściekach dopływających skutkowało spadkiem liczebności robaków obłych w PM i K, a przy stężeniu 2880 mg FA/l w PM osiągnęła ona wartość $4,4 \cdot 10^4$ /l, natomiast w K spadła do 0.

Badania toksykologiczne dopływu i odpływów z bioreaktorów, z zastosowaniem *Daphnia magna*, wykazały dla zakresu stężeń w dopływie 100–1400 mg FA/l znaczne obniżenie toksyczności ścieków odpływających z obu reaktorów po biodegradacji – ścieki oczyszczone nie były toksyczne w stosunku do badanych skorupiaków ($LC_{50} - 48h >> 100\%$) – tabela 2.

Przy stężeniu w dopływie 2880 mg FA/l zaobserwowano, że ścieki po biodegradacji były toksyczne, ale ich toksyczność była mniejsza w PM w porównaniu z odpływem z reaktora kontrolnego ($LC_{50} - 48h - 10,2\%$ w PM i $3,1\%$ w K). Być może było to spowodowane niższym stężeniem FA w ściekach odpływających z reaktora eksponowanego w PM.

Tabela 2. Wyniki badań toksykologicznych, przeprowadzonych na *Daphnia magna*, ścieków dopływających i odpływających z reaktorów w procesie oczyszczania ścieków formaldehydowych w czasie ekspozycji w stałym PM 7 mT

Table 2. Ecotoxicity of raw and treated wastewater towards crustacean *Daphnia magna* during FA biodegradation process in control and in MF exposed bioreactor

Stężenie FA w ściekach dopływających, mg/l	LC 50 – 48h, %		
	dopływ	odpływ	
		kontrola	PM
100	43	toksyczności nie stwierdzono	toksyczności nie stwierdzono
379	10,4	toksyczności nie stwierdzono	toksyczności nie stwierdzono
1400	3,0	toksyczności nie stwierdzono	toksyczności nie stwierdzono
2880	mniejsze od 1	mniejsze od 3,1	10,2

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Badania nad wpływem pola magnetycznego 7 mT na biodegradację formaldehydu ze ścieków syntetycznych i na organizmy osadu czynnego wykazały, że:

1. Skuteczność biodegradacji formaldehydu w zakresie stężeń 100–1800 mg FA/l nie zależała od pola magnetycznego.
2. Efektywność rozkładu FA w stężeniach > 1800–2800 była większa w PM.
3. PM wywierało pozytywny wpływ na występowanie orzęsków osiadłych oraz robaków obłych przy stężeniach FA 100–2000 mg/l.
4. Bioróżnorodność organizmów była większa w PM aniżeli w kontroli.
5. Toksyczność ścieków odpływających względem skorupiaków *Daphnia magna* była mniejsza w PM niż w kontroli.

PIŚMIENNICTWO

- BINH V.N. 2002. Magnetobiology. Underlying Physical Problems. Academic Press. Elsevier.
- CHEN H., LI X. 2008. Effects of static magnetic field on synthesis of polyhydroxyalkanoates from different short-chain fatty acids by activated sludge. *Bioresource Technology* 99: 5538–5544.
- GUEVORKIAN K., VALLES J.M.JR. 2006. Aligning *Paramecium caudatum* with static magnetic fields. *Biophysical Journal* 90: 3004–3011.
- JI Y., WANG Y., SUN J., YAN T., LI J., ZHAO T., YIN X., SUN CH. 2010. Enhancement of biological treatment of wastewater by magnetic field. *Bioresource Technology* 101: 8535–8540.
- KRZEMIENIEWSKI, M., DĘBOWSKI M., JANCZUKOWICZ W., PESTA J. 2003. Effect of sludge conditioning by chemical methods with magnetic field application. *Polish Journal of Environmental Studies* 12(5): 595–605.

- ŁEBKOWSKA M. 1991. Wpływ stałego pola magnetycznego na biodegradację związków organicznych. Praca habilitacyjna. Politechnika Warszawska. Prace naukowe, Inżynieria Sanitarna i Wodna: 13, Warszawa.
- MADONI P. 1994. A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plant based on the microfauna analysis. *Water Research* 28(1): 67–75.
- MIYAKOSHI J. 2005. Effects of static magnetic fields at the cellular level. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 87(2–3): 213–223.
- PAJOR E., GRABIŃSKA-ŁONIEWSKA A. 2002. Wykorzystanie immobilizowanych hodowli grzybów mikroskopowych do biodegradacji formaldehydu występującego w ściekach mocznikowo-formaldehydowych. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN* 11: 447–458.
- RUTKOWSKA-NAROŻNIAK A. 1997. Zastosowanie stałego pola magnetycznego do intensyfikacji biodegradacji zanieczyszczeń w ściekach. Praca doktorska. Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska, Warszawa.
- TOMSKA A., WOLNY L. 2007. Enhancement of biological wastewater treatment by magnetic field exposure. *Desalination* 222: 368–373.
- ZHANG P., YIN R., CHEN Z., WU L., YU Z. 2007. Genotoxic effects of superconducting static magnetic field (SMFs) on wheat (*Triticum aestivum*) pollen mother cells (PMCs). *Plasma Science and Technology* 9(2): 241–247.