

Review

**PENCEMARAN TANAH DAN AIR TANAH OLEH PESTISIDA
DAN CARA MENANGGULANGINYA**

**PESTICIDE CONTAMINATION IN SOIL AND GROUNDWATER
AND ITS CONTROL METHODS**

Rachman Sutanto

Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian UGM

E-mail: rachman@faperta.ugm.ac.id

ABSTRACT

The large increase in the use of modern agricultural chemicals, including pesticides and fertilizers has made agriculture an important non-point source of soil and groundwater contamination. Nitrogen, heavy metals, and organic associated with pesticides are presumably the most common contaminants introduced into the environment by modern agricultural practices. The present and abundance of the chemical contaminants in the soil and underlying groundwater largely depends on their chemical species as well as the various physical, biological and chemical properties of the soil.

Understanding these processes and interactions between the contaminants and soil constituents would be useful in identifying effective techniques to restore the soil and groundwater contaminated by modern agricultural practices and others modern society activities.

When the level of these contaminants in the soil are such that the quality of the plants, food crops and the groundwater are being compromised, then remedial actions are necessary. Such remediation could include in situ technologies, including bioremediation or phytoremediation combined as well as agronomic-types approaches. The best strategy in reducing soil contamination is to reduce pollution at the source and to use best management practices, such as adopting the most appropriate land use for a given type of soil contamination.

Key words: pesticides, contamination, adsorption, bioremediation

INTISARI

Peningkatan yang cukup besar penggunaan bahan kimia pertanian modern, termasuk pestisida dan pupuk dianggap sebagai sumber pencemar baur (SPB) terhadap tanah dan air tanah. Bahan pencemar yang umum dijumpai di lingkungan akibat kegiatan pertanian modern adalah nitrogen, logam berat, dan senyawa organik yang berasosiasi dengan pestisida. Kejumpaan dan kelimpahan bahan kimia pencemar di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh sifat kimia bahan pencemar, dan sifat fisik, kimia dan biologi tanah.

Memahami bermacam-macam proses dan mekanisme interaksi antara bahan pencemar dan komponen tanah, akan memudahkan usaha remediasi apabila tanah atau air tanah tercemar oleh bahan-bahan yang berasal dari kegiatan pertanian modern maupun kegiatan masyarakat modern lainnya.

Apabila aras bahan pencemar di dalam tanah mempengaruhi kualitas tanaman, bahan pangan dan air tanah, maka program remediasi *in situ* termasuk bioremediasi dikombinasikan dengan teknik-teknik budidaya yang sepadan perlu segera dilaksanakan. Strategi terbaik yang harus dilakukan dalam menekan terjadinya pencemaran tanah adalah mengurangi sumber kontaminasi dan melaksanakan pengelolaan yang baik dengan cara mengadopsi dan menerapkan prinsip tataguna lahan dan memperhitungkan jenis bahan pencemar.

Kata kunci: pestisida, pencemaran, jerapan, bioremediasi

PENDAHULUAN

Kegiatan pertanian modern telah berhasil meningkatkan produksi pangan, serat, pakan dan ternak secara dramatis. Penggunaan bahan kimia pertanian sebagai bagian kegiatan pertanian modern, ternyata menimbulkan dampak lingkungan dan dianggap sebagai sumber pencemar baur (*non-point source pollution*) terhadap tanah dan air tanah (Adriano & Elrashidi, 1996). Ragam sumber kegiatan pertanian yang umum mencemari lingkungan adalah penggunaan pupuk anorganik dan organik mengandung N, logam berat, pestisida, limbah cair, limbah permukiman dan perkotaan.

Interaksi antara bahan pencemar dan komponen tanah sangat dipengaruhi oleh sifat biofisika-kimia komponen tanah dan bahan pencemar. Memahami interaksi antara bahan pencemar dan komponen tanah memudahkan kita untuk mengetahui perilaku bahan pencemar dan cara pengangkutannya ke dalam tanah dan air tanah. Pengetahuan tentang interaksi bahan pencemar dan komponen tanah dapat digunakan untuk mengidentifikasi teknik yang efektif dan efisien untuk memperbaiki tanah dan air tanah yang terkontaminasi bahan pencemar.

Suatu lingkungan dikatakan tercemar apabila telah terjadi perubahan dalam tatanan lingkungan itu sehingga berbeda sama sekali dengan tatanan asalnya, sebagai akibat masuknya dan/atau dimasukkannya suatu zat atau benda asing ke dalam tatanan lingkungan itu. Apabila lingkungan tercemar dalam aras tinggi, maka kemungkinan dapat membunuh dan bahkan menghilangkan satu atau lebih organisme penghuni lingkungan yang semula hidup normal dalam tatanan lingkungan yang ada.

Senyawa organik yang bersifat toksik dapat diidentifikasi oleh Hutchins *et al.* (1983), dan dikelompokkan atas: ester

ptalat, senyawa aromatik, dan tetra-kloroetil. Beberapa yang termasuk ester-ptalat adalah dimetil-, dietil-, dan dibutil-ptalat dan banyak digunakan sebagai bahan karier pestisida. Senyawa aromatik yang sering dijumpai di dalam air tanah adalah: naftalen, toluen dan diklorobenzen. Senyawa aromatik tersebut banyak digunakan oleh pabrik pestisida dan dianggap bersifat toksik terhadap kehidupan air, dan berpotensi meracuni mamalia. Senyawa tersebut akan menimbulkan masalah apabila bersifat karsinogenik, meskipun di dalam air tanah dijumpai pada konsentrasi yang sangat rendah. Senyawa yang dianggap sebagai karsinogenik potensial adalah dietil- dan dimetil-ptalat, diklorobenzen, tetrakloro-etilen, dan lindane.

Pada umumnya interaksi antara bahan pencemar dan komponen tanah tidak sepenuhnya dapat dipahami karena bersangkutan paut dengan bermacam-macam reaksi fisik, kimia dan biologi secara simultan. Pada umumnya proses-proses serapan (*adsorption*), pertukaran ion, pengendapan, ikatan kompleks organik, dan alihrupa biologis tidak berjalan secara individual tetapi simultan. Kondisi lingkungan setempat sangat berpengaruh, kemungkinan salah satu proses lebih dominan dari proses yang lain. Sangat penting memahami proses-proses yang dominan dalam suatu ekosistem, karena banyak memberikan informasi reaksi yang berpengaruh terhadap proses pelonggokan (*accumulation*), pengangkutan (*transportation*) dan perilaku bahan pencemar termasuk pestisida, baik di dalam tanah maupun air tanah.

SIFAT KIMIA GUGUS FUNGSIONAL

Pestisida yang ada di dalam tanah, karena bahan aktifnya merupakan bahan kimia buatan, maka bersifat asing terhadap

sistem tanah. Jerapan oleh koloid tanah menyebabkan bahan aktif pestisida menjadi tak aktif, tetapi fenomena yang terjadi bersifat tak-balik (*irreversible*). Kapasitas tukar kation (KTK), pH dan kandungan bahan organik tanah merupakan parameter utama yang mempengaruhi aras jerapan pestisida. Pada kondisi lapangan yang menguntungkan 90% residu pestisida tertentu dapat dijerap oleh koloid tanah, sehingga menurunkan aktivitas pestisida dan risiko bahaya pencemaran tanah dan air tanah.

Sifat gugus fungsional yang dimiliki molekul organik, baik bentuk, ukuran, konfigurasi, polaritas, maupun kelarutannya merupakan faktor penting dalam penjerapan senyawa organik penyusun pestisida. Adanya gugus fungsional berpengaruh pada kemasaman permukaan partikel tanah, dan penjerapan molekul organik terionisasi. Faktor utama yang menentukan penjerapan mineral lempung adalah amina, s-triazin, amida, dan urea apabila terjadi protonisasi gugus karbonil (Yong, 1992). Weber (1970) melaporkan bahwa kelompok pestisida berinteraksi dengan kation logam yang dapat dipertukarkan melalui ikatan koordinasi. Ion logam transisi mampu membentuk senyawa kompleks, contoh: 3-aminotrisol (herbisida) membentuk senyawa kompleks yang stabil dengan lempung dan mendorong Cu(II) atau Ni(II) berada di permukaan loka pertukaran (Russell, 1968).

Banyak molekul organik (gugus amina, alkohol, dan karbonil) yang bermuatan positif melalui proses protonisasi dijerap oleh lempung, tetapi aras jerapannya sangat dipengaruhi KTK lempung. Penjerapan kation organik oleh lempung tergantung pada berat molekulnya. Karena kation organik mempunyai berat molekul yang lebih besar, maka dijerap lempung lebih kuat daripada kation anorganik (Morrill, 1982).

Gugus hidroksil dijumpai pada alkohol dan fenol. Ikatan hidroksil alkohol dapat menggantikan molekul air pada sel hidratisasi kation yang terjerap lempung. Mekanisme lain penjerapan gugus hidroksil melalui ikatan hidrogen dan interaksi kation bipolar. Gugus karboksil senyawa keton dijerap di permukaan mineral lempung. Mekanisme jerapan senyawa keton adalah ikatan hidrogen antara gugus hidroksil di permukaan lempung dan gugus karboksil keton melalui jembatan H_2O (Geissman, 1977). Gugus karboksil, seperti benzoat dan asetat, berinteraksi langsung baik melalui kation antar lapis atau pembentukan ikatan hidrogen dengan molekul air yang berkoordinasi dengan kation yang dipertukarkan. Asam organik dapat dijerap melalui pembentukan garam bersama kation tertukarkan (Morrill *et al.*, 1982)

Senyawa alifatik amina merupakan bentuk basa yang lebih kuat daripada amonium, sedang amina aromatik lebih lemah daripada amina alifatik. Amina di dalam tanah dapat mengalami protonasi dan menggantikan kation anorganik melalui pertukaran ion. Etildiamina (EDA) dijerap mineral montmorilonit melalui koordinasi ikatan hidrogen, dan anilin dijerap lempung melalui jembatan H_2O . Gugus fenolik dapat berikatan dengan komponen lain seperti pestisida dan hidrokarbon, membentuk senyawa baru seperti asam sinamat dan galat. Jenis senyawa fenolik yang dijumpai di dalam tanah termasuk pestisida, seperti 2,4-D-kreosol, nitrofenol, dan PCP (Overcash & Crawford, 1979).

Gugus sulfosida merupakan salah satu gugus fungsional organik yang bersifat lebih polar, dan membentuk ikatan kompleks dengan oksigen atau sulfur. Gugus sulfosida dapat langsung membentuk ikatan kompleks dengan kation tertukarkan dan/atau jembatan H_2O melalui ikatan hidrogen antara sulfosida oksigen

dan kation bertukarkan (Morrill, *et al.*, 1982).

Interaksi hidrokarbon dan tanah berbeda dengan gugus fungsional yang reaktif. Jerapan senyawa organik nonionik oleh tanah lempungan dipengaruhi oleh aktivitas molekul CH yang meningkat dari aktivasi elektrostatik gugus metilen yang kehilangan elektron, seperti C=O dan C=N (Yong *et al.*, 1992). Molekul yang berpengaruh pada gugus C=O dan C=N yang dekat dengan gugus metilen bersifat lebih polar, dengan demikian lebih kuat terjerap daripada senyawa yang hanya sedikit berikatan dengan gugus ini.

Molekul hidrokarbon yang bersifat nonpolar hanya berinteraksi lemah dengan permukaan lempung (ikatan van der Waals), dengan konsekuensi aras jerapan terendah dari bermacam-macam jenis hidrokarbon. Sebagai contoh: naftalen, antrasin, dan asenaftin tidak memiliki unit elektron yang dapat dilepaskan seperti C=O dan C=N, sehingga di dalam tanah dijumpai terjerap lemah di permukaan lempung. Jerapan hidrokarbon kemungkinan terjadi di permukaan senyawa organik hidrofob, molekul nonpolar dijerap melalui jembatan H₂O. Loka aktif asam humat yang bersifat hidrofob termasuk rantai alifatik dan derivat lignin yang mempunyai kandungan karbon tinggi dan sedikit kelompok polar (Meyers & Quinn, 1973).

Senyawa aromatik hidrokarbon halogenase, seperti pentaklorofenol, bifenil poliklorinasi (PCB) dan bermacam-macam klorobenzen, merupakan senyawa aktif bermacam-macam pestisida. Senyawa kelompok ini pada umumnya mempunyai tingkat kelarutan rendah di dalam air dan terjerap rendah di permukaan mineral lempung. Bahan organik tanah merupakan penyerap paling efektif untuk senyawa aromatik halogenase (Filinow *et al.*, 1976). Demikian juga insektisida diklorodifenil trikloroetan (DDT) yang mempunyai tingkat kelarutan rendah, dijumpai terjerap

bahan organik dan hanya sedikit yang terjerap lempung (Shin, 1970). Suatu hal yang tidak mungkin terjadi bahwa residu PCP, PCB dan DDT di dalam air tanah melampaui beberapa ppb (*part per billion*). Akan tetapi senyawa ini kemungkinan dijumpai dalam bentuk partikel koloid, atau dijerap koloid organik sehingga mudah terangkut air yang mengalir.

MIGRASI PESTISIDA DARI TANAH KE DALAM AIR TANAH

Apabila kondisi tanah jenuh air untuk waktu yang relatif lama sehingga tanah berada pada kondisi reduktif (penggunaan air limbah, curah hujan tinggi, rawa permanen, atau karena genangan air irigasi), maka senyawa organik akan terlindi dan kemungkinan besar mencemari air tanah. Perpindahan senyawa organik di dalam tanah dipengaruhi oleh tiga proses utama: (a) pelepasan (*desorption*) senyawa organik dari fase padat menjadi fase cair, (b) aliran masa air, (c) difusi melalui air. Kelarutan senyawa organik juga diperhitungkan sebagai faktor penting dalam mempengaruhi perpindahan pestisida di dalam tanah. Pola agihan bahan terlarut yang terbawa air banyak dibahas dalam literatur. Jumlah air yang diperlukan untuk memindahkan senyawa organik terlarut sampai kedalaman tertentu tergantung pada nisbah bahan organik dan air sebagai pelarut.

Pengukuran bahan aktif pestisida menggunakan teknik TLC sangat bermanfaat untuk mengetahui imobilisasi relatif senyawa organik. Teknik pengukuran ini digunakan untuk mengevaluasi karakteristik pelindian dan difusi fungisida dan herbisida. Mobilitas relatif suatu senyawa organik di dalam tanah yang diukur menggunakan TLC kurang lebih sama dengan pengukuran metode kolom dan lisimeter. Ketahanan terhadap

perombakan yang dimiliki oleh masing-masing senyawa organik sangat penting untuk mengevaluasi kemungkinan adanya senyawa yang bersifat mobil sehingga mencemari air tanah.

BIOREMEDIASI AKIBAT PENCEMARAN PESTISIDA

Bioremediasi merupakan teknologi yang efektif dan murah untuk memperbaiki tanah yang tercemar pestisida. Mineralisasi pestisida melalui proses biodegradasi oleh mikroorganisme, selanjutnya melandasi perkembangan teknik bioremediasi menggunakan mikroorganisme atau enzim yang dihasilkan untuk mendegradasi bahan pencemar (Bollag & Liu, 1990). Kebanyakan jenis pestisida di dalam tanah mengalami alihrupa (*transformation*) secara biologis dan dalam beberapa kasus mengalami mineralisasi sempurna. Salah satu jenis fungi yaitu *Phanerochaete chrysosporium*, pertama kali diketahui menghasilkan enzim peroksidase lignin (Kirk *et al.*, 1978). Enzim yang terbentuk akan mengubah hidrogen peroksida menjadi hidrogen radikal yang menyerang lignin, memecah menjadi komponen lebih kecil yang selanjutnya mempercepat proses dekomposisi bahan kaya lignin. Seperti telah dibuktikan dalam beberapa penelitian menggunakan kultur penghasil lignin-peroksida ternyata dapat mendegradasi pestisida, termasuk DDT, metoksiklor, lindan, klordan, dieldrin, 2,4,5-T dan PCP (Karns, 1992). Selain itu ada aktinomisetes yang menghasilkan lignin peroksidase dan mampu mendegradasi pestisida.

Apabila tanah terkontaminasi senyawa organik yang bersifat toksik melalui kegiatan pertanian, remediasi *in situ* adalah cara yang paling efektif untuk perbaikan lingkungan. Perlakuan yang dapat dilaksanakan termasuk degradasi mikrobiologis, netralisasi secara kimia atau

proses imobilisasi, dll. Dalam kasus pencemaran tanah oleh pestisida, aktivitas mikroorganisme tertentu dapat digunakan untuk mendekomposisi senyawa organik tersebut. Pada umumnya, setiap bahan pencemar (atau dalam beberapa kasus, golongan bahan pencemar, misalkan bahan aktif pestisida) di dalam tanah memerlukan bahan kimia berbeda untuk menekan sifat toksisitasnya. Penambahan bahan kimia untuk menekan toksisitas senyawa tertentu akan menimbulkan reaksi yang bersifat kontra produktif dengan senyawa lain. Penambahan senyawa pengoksidasi yang mampu menekan sifat toksik senyawa organik kemungkinan besar juga mengubah status oksidasi ion logam sehingga mendorong menjadi lebih meracun atau lebih mobil.

Cukup banyak mikroorganisme yang telah diidentifikasi mampu menghasilkan enzim spesifik pendegradasi pestisida. Beberapa mikroorganisme yang telah diketahui adalah pendegradasi organofosfat, N-metilkarbamat, triazin, urea tersubstitusi, karbamotioat, fenilkarbamat, kloroasetanilid, glifosat, dan fenoksiasetat. Masalah yang cukup menarik adalah hidrolase dengan spektrum yang luas, seperti hidrolase paration dan hidrolase N-metilkarbamat dapat mendegradasi beberapa jenis senyawa penyusun pestisida. Hidrolase paration dapat mendegradasi kumafos, paration metil, dan beberapa senyawa sejenis yang lain (Brown, 1980). Hidrolase N-metilkarbamat dapat mendegradasi aldikarb, karbofuran, karbaril dan senyawa sejenis lainnya.

Ada beberapa contoh mikroorganisme, seperti *Arthrobacter* sp., *Achromobacter* sp., dan *Pseudomonas* sp. (Bollag & Liu, 1990) banyak digunakan untuk mendegradasi limbah pestisida dan remediasi tanah yang terkontaminasi pestisida. Metode yang diterapkan berkisar antara penggunaan mikroorganisme asli sampai penggunaan kultur mikro-

organisme. Untuk meningkatkan kemampuan mikroorganisme mendegradasi bermacam-macam pestisida dari tanah yang terkontaminasi berat, maka sangat diperlukan adanya penambahan unsur hara (Winterlin *et al.*, 1989). Kemungkinan dapat juga terjadi beberapa jenis pestisida tidak terdegradasi meskipun sudah dilakukan penambahan bahan stimulan.

Penelitian dengan memanfaatkan kultur mikroorganisme menunjukkan bahwa dalam praktek penggunaan mikroorganisme pendegradasi pestisida terjadi pada kondisi tertentu. PCP kemungkinan dapat dihilangkan dari tanah yang terkontaminasi dengan cara menginokulasi dengan bakteri pendegradasi PCP (Norber & Persson, 1984).

Untuk memperoleh hasil yang memuaskan dalam menanggulangi pencemaran pestisida maka beberapa faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi dan efektifitas remediasi yang perlu diketahui, ialah: 1) macam dan sifat kimia pestisida yang digunakan, 2) loka (*site*) yang terkontaminasi biasanya mengandung beberapa jenis pestisida; 3) penggunaan pestisida dengan konsentrasi tinggi secara langsung bersifat meracun pada mikroorganisme; dan 4) senyawa kimia yang segera terbentuk pada saat proses degradasi, akan menghambat kehidupan mikroorganisme.

KESIMPULAN DAN SARAN

Bermacam-macam proses dan mekanisme interaksi antara bahan pencemar dan komponen tanah perlu dipahami, akan memudahkan dalam melaksanakan usaha remediasi apabila tanah atau air tanah tercemar oleh bahan-bahan yang berasal dari kegiatan pertanian maupun kegiatan masyarakat modern lainnya.

Salah satu sumber pencemar baur (SPB) yang umum dijumpai akibat kegiatan pertanian adalah pestisida. Sedang bahan pencemar yang umum dijumpai adalah nitrogen, logam berat, dan senyawa organik yang berasosiasi dengan pestisida. Kejumpaan dan kelimpahannya di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh sifat kimia bahan pencemar, dan sifat fisik, kimia dan biologi tanah.

Apabila aras bahan pencemar di dalam tanah mempengaruhi kualitas tanaman, bahan pangan dan air tanah, maka program remediasi perlu segera dilaksanakan. Program remediasi yang dilaksanakan harus merupakan teknologi remediasi *in situ*, termasuk bioremediasi atau fitoremediasi dikombinasikan dengan teknik-teknik budidaya yang sepadan.

Strategi terbaik yang harus dilakukan dalam menekan terjadinya pencemaran tanah adalah mengurangi sumber polusi dan melaksanakan pengelolaan yang baik ditinjau dari gatra lingkungan, dengan cara mengadopsi dan menerapkan prinsip PHT

DAFTAR PUSTAKA

- Adriano, D.C. & M.A. Elrashidi. 1996. Interaction of Contaminant with Soil Component and Environmental Restoration, p. 667-692. In Etchevers, J.D.B., A.S. Aguilar, R.E. Nunez, G.G. Alcantar & P.G. Sanchez (eds.), *Transaction of the 15th World Congress of Soil Science, Acapulco (Mexico)*, July 10-16, 1994.
- Bollag, J.M. & S.Y. Liu. 1990. Biological Transformation Processes of Pesticides, p. 169-211. In Cheng, H.H.(ed.), *Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impact, and Modeling*. Soil Sci. Soc. Of America, Inc., Maision, Wisconsin, USA.
- Brown, K.A. 1980. Phosphotriesterases of *Flavobacterium* sp. *Soil Biol. Biochem.* 12: 105-112.

- Filinow, A.B., L.W. Jacobs & M.M. Mortland. 1976. Fate of Polybrominated Biphenyls (PBB's) in Soils: Retention of Hexabromobiphenyl in Four Michigan Soils. *J. Agric. Food Chem.* 24: 1201-1204.
- Geissman, T. 1977. *Principle of Organic Chemistry*. Freeman and Company, San Fransisco, California. 315 p.
- Helling, C.S., D.G. Dennison & D.D. Kaufman. 1974. Fungicide Movement in Soils. *Phytopathology* 64: 1091-1100.
- Hutchins, S.R., M.B. Tomson & C.H. Ward. 1983. Trace Organic Contamination of Groundwater from a Rapid Infiltration Site: A Laboratory Field Coordination Study. *Environ. Toxicol. Chem.* 2: 195-216.
- Karns, J.S. 1992. Biotechnology in Bioremediation of Pesticide-Contaminated Sites. *Am. Chem.* 148-156.
- Kirk, T.K., E. Schultz & W.J. Conners. 1978. Influence of Culture Parameters in Lignin Metabolism by *Phanerochaete chrysosporium*. *Arch. Microbiol.* 117: 227-285.
- Leach, L.E., C.G. Enfield & C.C. Harlen. 1980. *Summary of Long-Term Infiltration System Studies*. U.S. EPA. EPA-600/2-80-165., Ada, OK. 12 p.
- Meyers, P.A. & J.G. Quinn, 1973. Association of Hydrocarbon and Mineral Particles in Saline Solution. *Nature* 244: 23-24.
- Miller, R.M., G.M. Singer & J.D. Rosen. 1988. Sequential Degradation of Chlorophenols by Photolytic and Microbial Treatment. *Environ. Sci. Technol.* 22: 1215-1219.
- Morrill, L.G., B.C. Mahilum & S.H. Mohiuddin, 1982. *Organic Compounds in Soils: Sorption, Degradation, and Persistence*. Ann. Arbor. Sci. Publ. Ann. Arbor. ML. 684 p.
- Norber, A.B. & H. Persson, 1984. Accumulation of heavy metal by *Zooglea ramigera*. *Biotechnol. BioEng.* 26: 239-246.
- Overcash, M.R. & D.V. Crawford, 1979. *Design of Land Treatment Systems for Industrial Wastes-Theory and Practice*. Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, ML. 684 p.
- Russell, J.D., M.I. Cruz & J.L. White. 1968. The Adsorption of 3-Amino-Triazole by Montmorillonite. *J. Agric. Food Chem.* 16: 21-24.
- Speedie, M.K., B.M. Pogell & M.J. MacDonald. 1988. *The Actinomycetes*. 20: 315-335.
- Weber, J.B. 1970. Mechanisms of Adsorption of s-triazins by Clay Colloids and Factors Affecting Plant Availability. *Residue Rev.* 132: 93-120.
- Winterlin, W., J.N. Seiber & A. Craigmill. 1989. Degradation of Pesticide Waste Taken from a Highly Contaminated Soil Evaporation Pit in California (USA). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 18: 734-747.
- Yong, R.N., A. Mohamed & B.P. Warkentin. 1992. Wastes and Contaminant, p. 48-88. In Yong, R.N. (ed.), *Principles of Contaminant Transport in Soils*. Elsevier, Amsterdam.