

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรมควบคุมมลพิษ. 2545. สถานการณ์มลพิษด้านของเสียอันตราย. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ.2545.กรุงเทพมหานคร : ที.พรินติ้ง.กรุ๊ป.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. ของเสียอันตราย. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ.2546. กรุงเทพมหานคร : ที.พรินติ้ง.กรุ๊ป.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. ชุดดินในประเทศไทย [online]. แหล่งที่มา: <http://www.idd.go.th> [10 เมษายน 2550]
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2550. ดินเปรี้ยว [online]. แหล่งที่มา: <http://www.doae.go.th> [10 เมษายน 2550]
- รองศาสตราจารย์ สายพิน. 2549. การแยกและลักษณะสมบัติของยีนอะซิแนพรีนไดออกซิจีเนสของ *Sphingomonas* sp. SP2. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2542. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2540. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์วิฑูรย์การปก.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2550. ธาตุอาหารพืชในดินเปรี้ยวจัด [online]. แหล่งที่มา: <http://osd101.idd.go.th/default.asp> [10 เมษายน 2550]

### ภาษาอังกฤษ

- Agnelli, A., Ascher, J., Corti, G., Ceccherini, M. T., Nannipieri, P., and Pietramellara, G. 2004. Distribution of microbial communities in a forest soil profile investigated by microbial biomass, soil respiration and DGGE of total and extracellular DNA. Soil Biol. Biochem., 36: 859-868.
- Alexander, M. 1999. Biodegradation and bioremediation (2nd ed.). London: Academic press.
- Alvey, S., and Crowley, D. E. 1996. Survival and activity of an atrazine mineralizing bacterial consortium in rhizosphere soil. Environ. Sci. Technol., 30: 1595-1603.
- Amagai, T., Takaharashi, Y., Mutsushita, H., Morkjoy, D., Sukasem, P., and Tabucanon, M. 1999. A survey on polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in soil in Chiang-Mai, Thailand. Environ. International., 25: 593-572.

- Amann, R. I., Ludwig, W., and Scheidler, K. H. 1995. Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. FEMS Microbiol. Rev., 59: 143-169.
- Ashok, B. T. and Saxena, S. 1995. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons-a review. J. Sci. Ind. Res., 54: 443-451.
- Assaf, N. A. and Turco, R. F. 1994. Accelerated biodegradation of atrazine by a microbial consortium is possible in culture and soil. Biodegradation, 5: 29-35.
- Atlas, R. M., Saylor, G., Burlage, R. S., and Bej, A. K. 1992. Molecular approaches for environmental monitoring of microorganisms. Biotechniques, 12: 706.
- ATSDR. 1990. Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons. acenaphthene, acenaphthylene, anthracene, benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene, benzo(b)fluoranthene, benzo(g,i,h)perylene, benzo(k)fluoranthene, chrysene, dibenzo(a,h)anthracene, fluoranthene, fluorene, indeno(1,2,3-c,d)pyrene, phenanthrene, pyrene: Clement International Corporation, under Contract NO. 205-88-0608. ATSDR/TP-90-20.
- Bardgett, R. D. and Leemans, D. K. 1995. The short effects of cessation of fertilizer applications, liming, and grazing on microbial biomass and activity in a reseeded upland grassland soil. Biol. Fertil. Soils, 19: 148-154.
- Bastiaens, L., Springael, D., Wattiau, P., Harms, H., deWachter, R., Verachtert, H., and Diels, L. 2000. Isolation of adherent polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-degrading bacteria using PAH-sorbing carriers. Appl. Environ. Microbiol., 66: 1834-1843.
- Bending, G. D., Shaw, E., and Walker, A. 2001. Spatial heterogeneity in the metabolism and dynamics of isoproturon degrading microbial communities in soil. Biol. Fertil. Soils, 33: 484-489.
- Bertrand, J. C., Almallah, M., Acqaviva, M., and Mille, G. 1990. Biodegradation of hydrocarbons by an extremely halophilic archaeobacterium. Lett. Appl. Microbiol., 11: 260-263.
- Blumer, M. 1976. Polycyclic aromatic compounds in nature. Scientific American, 234: 34-45.
- Boyd, D. R. and Sheldrake, G. N. 1998. The dioxygenase-catalysed formation of vicinal cis-diols. Nat. Prod. Rep., 15: 309-324.

- Bragg, J. R., Prince, R. C., Hamer, E. J., and Atlas, R. M. 1994. Effectiveness of bioremediation for the Exxon Valdez oil spill. Nature, 368: 413-418.
- Butler, C. S. and Mason, J. R. 1997. Structure-function analysis of the bacterial aromatic ring-hydroxylating dioxygenases. Adv. Microb. Physiol., 38: 47-84.
- Carmichael, L. M. and Pfaender, F. K. 1997. The effect of inorganic and organic supplements on the microbial degradation of phenanthrene and pyrene in soils. Biodegradation, 8: 1-13.
- Cavalca, L., Gennaro, P. D., Colombo, M., Andreoni, V., Bernasconi, S., Ronco, I., and Bestetti, G. 2000. Distribution of catabolic pathways in some hydrocarbon-degrading bacteria from a subsurface polluted soil. Res. Microbiol., 151: 877-887.
- Cerniglia, C. E. and Yang, S. K. 1984. Stereoselective metabolism of anthracene and phenanthrene by the fungus *Cunninghamella elegans*. Appl. Environ. Microbiol., 47: 119-124.
- Cerniglia, C. E. 1992. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. Biodegradation, 3: 351-368.
- Cerniglia, C. E. 1993. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. Curr. Opin. Biotechnol., 4: 331-338.
- Chadhain, S. M. N., Norman, R. S., and Pesce, K. V. 2006. Microbial dioxygenase gene population shifts during polycyclic aromatic hydrocarbon biodegradation. Appl. Environ. Microbiol., 72: 4078-4087.
- Chandra, S. D., Ward, C. H., and B., H. J. 1996. Biodegradation of sorbed fluorene in sediment slurries. Hazardous Waste and Hazardous Materials, 13: 375-385.
- Chang, B. V., Shiung, L. C., and Yuan, S. Y. 2002. Anaerobic biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbon in soil. Chemosphere, 48: 717-724.
- Charoenchang, N., Pinpanichakan, P., Pattaragulwanit, K., Thaniyavarn, S., and Juntongjin, K. 2003. Utilization of agricultural materials to enhance microbial degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in soil. J. Sci. Res. Chula. Univ., 28 (special issue I,NRC-EHWM): 1-13.
- Cheung, P.-Y. and Kinkle, B. K. 2005. Effects of nutrients and surfactants on pyrene mineralization and *Mycobacterium* spp. populations in contaminated soil. Soil Biol. Biochem., 37: 1401-1405.

- Chung, N. and Alexander, M. 1999. Effect of concentration on sequestration and bioavailability of two polycyclic aromatic hydrocarbons. Environ. Sci. Technol., 33: 3605-3608.
- Cigolini, J. F., A. K. Goyal, and G. J. Zylstra. 1997. Universal PCR primers for detection, identification, and cloning of genes for dioxygenase enzymes involved in ring oxidation of aromatic compounds. Abstr. 97th Gen. Meet. Am. Soc. Microbiol. 1997, abstr. Q-49, p. 463.
- Deschenes, L., Lafrance, P., Villeneuve, J. P., and Samson, R. 1996. Adding SDS and *Pseudomonas aeruginosa* UG2 biosurfactants inhibits PAH biodegradation in a weathered creosote-contaminated soil. Appl. Environ. Microbiol., 46: 638-646.
- Dua, M., Singh, A., Sethunathan, N., and Johri, A. K. 2002. Biotechnology and bioremediation: successes and limitations. Appl. Microbiol. Biotechnol., 59: 143-152.
- Eckford, R., Cook, F. D., Saul, D., Aislabie, J., and Foght, J. 2002. Free-living heterotrophic nitrogen-fixing bacteria isolated from fuel-contaminated Antarctic soils. Appl. Environ. Microbiol., 68: 5181-5185.
- Emerson, D. and Moyer, C. 1997. Isolation and characterization of novel iron-oxidizing bacteria that grow at circumneutral pH. Appl. Environ. Microbiol., 63: 4784-4792.
- Evans, W. C., Fernley, H. N., and Griffiths, E. 1965. Oxidative metabolism of phenanthrene and anthracene by soil pseudomonads: the ring fission mechanism. Biochem. J., 95: 819-831.
- Evans, F. F., Rosado, A. S., Sebastian, G. V., Casella, R., Machado, P., Holmstrom, C., Kjelleberg, S., Jan, D. E., and Seldin, L. 2004. Impact of oil contamination and biostimulation on the diversity of indigenous bacterial communities in soil microcosms. FEMS Microbiol. Ecol., 49: 295-305.
- Felske, A. and Akkermans, A. D. L. 1998. Spatial homogeneity of abundant bacterial 16S rRNA molecules in Grassland soils. Microbial Ecol., 36: 31-36.
- Ferraro, D. J., Gakhar, L., and Ramaswamy, S. 2005. Rieske business: structure-function of Rieske non-heme oxygenases. Biochem. Biophys. Res. Commun., 338: 175-190.
- Fiedler, H., Cheung, C. K., and Wong, M. H. 2002. PCDD/PCDF, chlorinated pesticides and PAH in Chinese teas. Chemosphere, 46: 1429-1433.

- Foght, J. M. and Westlake, D. W. S. 1988. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons and aromatic heterocycles by a *Pseudomonas* species. Can. J. Microbiol., 34: 1135-1141.
- Fuse, H., Takimura, O., Murakami, K., and Inoue, H. 2003. Degradation of chlorinated biphenyl, dibenzofuran, and dibenzo-*p*-dioxin by marine bacteria that degrade biphenyl, carbazole, or dibenzofuran. Biosci. Biotechnol. Biochem., 67: 1121-1125.
- Geiselbrecht, A. D., Herwig, R. P., Deming, J. W., and Staley, J. T. 1996. Enumeration and phylogenetic analysis of polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading marine bacteria from Puget Sound sediments. Appl. Environ. Microbiol., 62: 3344-3349.
- Geiselbrecht, A. D., Hedlund, B. P., Tichi, M. A., and Staley, J. T. 1998. Isolation of marine polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) degrading *Cycloclasticus* strain from the Gulf of Mexico and comparison of their PAH degrading ability with that of Puget Sound *Cycloclasticus* strain. Appl. Environ. Microbiol., 64: 4703-4710.
- Gemmell, R. T. and Knowles, C. J. 2000. Utilisation of aliphatic compounds by acidophilic heterotrophic bacteria. The potential for bioremediation of acidic wastewaters contaminated with toxic organic compounds and heavy metals. FEMS Microbiol. Lett., 192: 185-190.
- Genthner, B. R. S., Townsend, G. T., Lantz, S. E., and Mueller, J. G. 1997. Persistence of polycyclic aromatic hydrocarbon components of creosote under anaerobic enrichment conditions. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 32: 99-105.
- Gibb, A., Chu, A., Wong, R. C. K., and Goodman, R. H. 2001. Bioremediation kinetics of crude oil at 5 degrees. C. J. Environ. Eng. ASCE, 127: 818-824.
- Gibson, D. T. and Parales, R. E. 2000. Aromatic hydrocarbon dioxygenases in environmental biotechnology. Curr. Opin. Biotechnol., 11: 236-243.
- Grifoll, M., Selifonov, S. A., Gatlin, C. V., and Chapman, P. J. 1995. Action of versatile fluorene degrading bacterial isolated on polycyclic aromatic compounds. Appl. Environ. Microbiol., 61: 3711-3723.
- Grimberg, S. J. 1996. Quantifying the biodegradation of phenanthrene by *Pseudomonas stutzeri* P16 in the presence of a nonionic surfactant. Appl. Environ. Microbiol., 62: 2387-2392.

- Grimmer, G. H., Bohnke, A., and Glaser, A. 1977. Investigation on the carcinogenic burden by air pollution in marine polycyclic aromatic hydrocarbons in automobile exhaust gas-an inventory. Zentralb. J. Bakteriologie, Abt. I Orig. Reihe B., 164: 218-234.
- Guha, S., Jaffe, P. R., and Peters, C. A. 1998. Bioavailability of mixtures of PAHs partitioned into the micellar phase of a nonionic surfactant. Environ. Sci. Technol., 32: 2317-2324.
- Haigh, S. D. 1996. A review of the interaction of surfactants with organic contaminants in soil. Sci. Total Environ., 185: 161-170.
- Hamamura, N., Olson, S. H., Ward, D. M., and Inskeep, W. P. 2005. Diversity and functional analysis of bacterial communities associated with natural hydrocarbon seeps in acidic soils at Rainbow Springs, Yellowstone National Park. Appl. Environ. Microbiol., 71: 5943-5950.
- Hammel, K. E., Gai, W. Z., Green, B., and Moen, M. a. 1992. Oxidative degradation of phenanthrene by lignolytic fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol., 58: 1832-1838.
- Han, K., Jung, Y. T., and Son, S. Y. 2003. Phylogentic analysis of phenanthrene-degrading *Sphingomonas*. J. Microbiol. Biotechnol., 13: 942-948.
- Harayama, S. 1997. Polycyclic aromatic hydrocarbon bioremediation design. Curr. Opin. Biotechnol., 8: 268-273.
- Harms, H. and Bosma, T. N. P. 1997. Mass transfer limitation of microbial growth and pollutant degradation. J. Ind. Microbiol. Biotechnol., 18: 97-105.
- Harrison, A. P. 1984. The acidophilic thiobacilli and other acidophilic bacteria that share their habitat. Annu. Rev. Microbiol., 38: 265-292.
- Hartmans, S. and De Bont, J. A. 1992. Aerobic vinyl chloride metabolism in *Mycobacterium aurum* L1. Appl. Environ. Microbiol., 58: 1220-1226.
- Hayes, L. A., Nevin, K. P., and Loveley, D. R. 1999. Role of prior exposure on anaerobic degradation of naphthalene and phenanthrene in marine harbor sediments. Organic Geochemistry, 30: 937-945.
- Head, I. M., Saunders, J. R., and Pickup, R. W. 1998. Microbial evolution, diversity, and ecology-Adecade of ribosomal RNA analysis of uncultivated microorganisms. Microb. Ecol., 35: 1-21.

- Heitkamp, M. A., Franklin, W., and Cerniglia, C. E. 1988. Microbial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons: isolation and characterization of a pyrene-degrading bacterium. Appl. Environ. Microbiol., 54: 2549-2555.
- Heuer, H., Krsek, M., Baker, P., Smalla, K., and Wellington, E. M. H. 1997. Analysis of actinomycetes communities by specific amplification of genes encoding 16S rRNA and gel-electrophoretic separation in denaturing gradients. Appl. Environ. Microbiol., 63: 3233-3241.
- Houot, S., Topp, E., Yassir, A., and Soulas, G. 2000. Dependence of accelerated degradation of atrazine on soil pH in French and Canadian soils. Soil Biol. Biochem., 32: 615-625.
- Hudlicky, T., Gonzalez, D., and Gibson, D. T. 1999. Enzymatic hydroxylation of aromatics in enantioselective synthesis: expanding asymmetric methodology. Aldrichimica Acta., 32: 35-62.
- Hupe, K., Luth, J.-C., Heerenklage, J., and Stegmann, R. 1996. Enhancement of the biological degradation of soils contaminated with oil by the addition of compost," Acta. Biotechnol. 16: 19-30
- Hupe, K., Koning, M., Luth, J.-C., Heerenklage, J., and Stegmann, R. 2001. Optimisation of microbial soil treatment. New York: Springer-Verlag Ferlin Heidelberg.
- Hwang, S. and Cutright, T. J. 2002. Biodegradability of aged pyrene and phenanthrene in a natural soil. Chemosphere, 47: 891-899.
- IARC. 1983. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Polynuclear Aromatic Compounds Part 1. Chemical, Environmental and Experimental data: 431-445. Lyon, France: World Health Organization.
- IARC. 1999. Overall Evaluations of Carcinogenicity of humans. International Agency for Research on Cancer.
- Jerina, D. M., Selander, H., Yagai, H., Wells, M. C., Davey, J. F., Mahadevan, V., and Gibsons, D. T. 1976. Dihydrodiols from anthracene and phenanthrene. J. AM. Chem. Soc., 98: 5988-5996.
- Jiang, H., Parales, R. E., and Gibson, D. T. 1999. The  $\alpha$  subunit of toluene dioxygenase from *Pseudomonas putida* F1 can accept electrons from reduced ferredoxinTOL but is catalytically inactive in the absence of the  $\beta$  subunit. Appl. Environ. Microbiol., 65: 315-318.

- Joner, E. J., Corgie, S. C., Amellal, N., and Leyval, C. 2002. Nutritional constraints to degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in a simulated rhizosphere. Soil Biol. Biochem., 34: 859-864.
- Jones, K. C., Stratford, J. A., Waterhouse, K. S., and Vogt, N. B. 1989. Organic contaminants in welsh soils : polynuclear aromatic hydrocarbons. Environ. Sci. Technol., 23: 540-550.
- Kanaly, R. A. and Harayama, S. 2000. Biodegradation of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons by bacteria. Bacteriol. J., 182: 2059- 2097.
- Katz, L. A., McManus, G. B., Snoeyenbos-West, O. L. O., Pirog, K., Griffin, A., and Foissner, W. 2005. Reframing the microbial 'Everything is Everywhere' Debate: evidence for high gene flow and diversity in ciliate morphospecies. Aquat. Microb. Ecol., 41: 55-65.
- Kauppi, B., Lee, K., Carredano, E., Parales, R. E., Gibson, D. T., Eklund, H., and Ramaswamy, S. 1998. Structure of an aromatic-ring-hydroxylating dioxygenase-naphthalene 1,2-dioxygenase. Struct. Fold. Des., 6: 571-586.
- Khehra, M. S., Saini, H. S., Sharma, D. K., Chadha, B. S., and Chimni, S. S. 2006. Biodegradation of azo dye C.I. acid red 88 by an anoxic-aerobic sequential bioreactor. Dyes and Pigments, 70: 1-7.
- Kim, S.-I., Kuor, J. J., Oh, K.-H., and Kahng, H.-Y. 2006. Evaluating the genetic diversity of dioxygenases for initial catabolism of aromatic hydrocarbons in *Pseudomonas rhodesiae* KK1. Enzyme Microb Technol., 40: 71-78.
- Kiyohara, H., Nagao, K., and Nomi, R. 1976. Degradation of phenanthrene though o-phthalate by an *Aeromonas* sp. Agric. Biol. Chem. Soc., 99: 8121-8123.
- Kotterman, M. J. J., Heessels, E., Jong, E., and Field, J. A. 1994. The physiology of anthracene biodegradation by the white-rot fungus *Bjerkandera* sp. Strain BOS55. Appl. Environ. Microbiol., 42: 179-186.
- Kusk, K. O. 1981. Comparison of the effects of aromatic hydrocarbons on a laboratory alga and natural phytoplankton. Bot. Mar., 24: 611-613.
- Leahy, G. J. and Colwell, R. R. 1990. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. Microbiol. Rev., 54: 305-315.
- Lee, S. and Cutright, T. J. 1996. Nutrient medium for the bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated soils. Environ. Sci. Technol., 14: 1524-1528.



- Lee, K. and Demora, S. 1999. In situ bioremediation strategies for oiled shoreline environments. Environ. Technol., 20: 783-794.
- Lewis, R. J. 1991. Evaluation of implanted materials for carcinogenic potential. In carcinogenically active chemicals a reference guide. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Leys, N. M., Ryngaert, A., Bastiaens, L., Verstraete, W., Top, E. M., and Springael, D. 2004. Occurrence and phylogenetic diversity of *Sphingomonas* strains in soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons. Appl. Environ. Microbiol., 70: 1944-1955.
- Libes, S. M. 1992. An Introduction to Marine Biogeochemistry. New York: John Wiley and Sons.
- MacGillivray, A. R. and Shiaris, M. P. 1993. Biotransformation of polycyclic aromatic hydrocarbons by yeasts isolated from coastal sediments. Appl. Environ. Microbiol., 59: 1613-1618.
- Macnaughton, S. J., Stephen, J. R., Venosa, A. D., Davis, G. A., Chang, Y. J., and White, D. C. 1999. Microbial population changes during bioremediation of an experimental oil spill. Appl. Environ. Microbiol., 65: 3566-3574.
- Margesin, R. and Schinner, F. 2001. Potential of halotolerant and halophilic microorganisms for biotechnology. Extremophiles, 5: 73-83.
- Maria, C. S. 1999. Bioremediation of organic contaminants In : Microbiological examination of water and wastewater. CRC , Florida USA: Press LLC.
- Mason, J. R. and Cammack, R. 1992. The electron-transport proteins of hydroxylating bacterial dioxygenases. Annu. Rev. Microbiol., 46: 277-305.
- McFarland, M. J. and Sims, R. C. 1991. Thermodynamic framework for evaluating PAH degradation in the subsurface. Ground Water, 29: 885-896.
- Melcher, R. J., Apitz, S. E., and Hemmingsen, B. B. 2002. Impact of irradiation and polycyclic aromatic hydrocarbon spiking on microbial populations in marine sediment for future aging and biodegradability studies. Appl. Environ. Microbiol., 68: 2858-2868.
- Menn, F. M., Applegate, B. M., and Sayler, G. S. 1993. NAH plasmid-mediated catabolism of anthracene and phenanthrene to naphthoic acids. Appl. Environ. Microbiol., 59: 1938-1942.

- Mille, G., Almallah, M., Bianchi, M., Van Wambeke, F., and Bertrand, J. C. 1991. Effect of salinity on petroleum biodegradation. Fresen. J. Anal. Chem., 339: 788-791.
- Montrizaan, G. K., Kramers, P. G. H., Janus, J. A., and Posthumus, R. 1989. Integrated criteria document PAH: Effects of 10 selected compounds. Appendix to Report No. 758474011: 180.
- Moody, J. D., Freeman, J. P., Doerge, D. R., and Cerniglia, C. E. 2001. Degradation of phenanthrene and anthracene by cell suspensions of *Mycobacterium* sp. Strains PYR-1. Appl. Environ. Microbiol., 67: 1476-1483.
- Morimoto, S., Togami, K., Ogawa, N., Hasebe, A., and Fujii, T. 2005. Analysis of a bacterial community in 3-chlorobenzoate-contaminated soil by PCR-DGGE targeting the 16S rRNA gene and benzoate 1,2-dioxygenase gene (*benA*). Microbes Environ., 20: 151-159.
- Mueller, J. G., Chapman, P. J., and Pritchard, P. H. 1989. Action of fluoranthene-utilizing bacterial community on polycyclic aromatic hydrocarbon components of creosote. Appl. Environ. Microbiol., 55: 3085-3090.
- Mueller J. G, Chapman, P.J., Blattman, B.O., and Pritchard, P.H. 1990. Isolation and characterization of a fluoranthene-utilizing strain of *Pseudomonas paucimobilis*. Appl. Environ. Microbiol., 56:1079-1086
- Mulligan, C. N., Yong, R. N., and Gibbs, B. F. 2001. Surfactant remediation of contaminated soil: A review. Eng. Geo., 60: 371-380.
- Muyzer, G., De Waal, E. C., and Uitterlinden, A. G. 1993. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. Appl. Environ. Microbiol., 59: 695-700.
- Myer, R. M., Fischer, S. G., Lerman, L. S., and Maniatis, T. 1985. Nearly all single base substitutions in DNA fragments joined to a GC-clamp can be detected by denaturing gradient gel electrophoresis. Nucleic Acids Res., 13: 3131-3145.
- Narro, M. L., Cerniglia, C. E., Balen, C., and Gibson, D. T. 1992. Metabolism of phenanthrene on the marine cyanobacterium *Agmellum quadruplicatum* PR-6. Appl. Environ. Microbiol., 58: 1079-1086.

- Neurath, G. B. 1972. Recent advances in knowledge of the chemical composition of tobacco smoke. In The chemistry of tobacco and tobacco smoke (Schmeltz, I. ed.). New York: Plenum Publishing Corp.
- Norris, R. D. 1994. Handbook of bioremediation. CRC, Boca Raton.
- Northcott, G. L. and Jones, K. C. 2000. Experimental approaches and analytical techniques for determining organic compound bound residues in soil and sediment. Environ. Pollut., 108: 19-43.
- Nyer, E. K. 2001. In Situ treatment Technology (second ed.): CRC Press LLC, Lewis Publishers.
- Oanh, N. T. K., Baetz Reuturgardh, L., Dung, N. T., Yu, M.-H., Yau, X.-X., and Co, H. X. 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the airborne particulate matter at a location 40 km. north of Bangkok, Thailand. Atmospheric Environment, 34: 4557-4563.
- Ogino, A., H., Koshikawa, Nakahara, and Uchiyama, H. 2001. Succession of microbial communities during a biostimulation process as evaluated by DGGE and clone library analyses. J. Appl. Microbiol., 91: 625-635.
- Ortiz, I., Auria, R., Sigoillot, J. C., and Revah, S. 2003. Enhancing phenanthrene biomineralization in a polluted soil using gaseous toluene as a cosubstrate. Environ. Sci. Technol., 37: 805-810.
- Parales, R. E. 2003. The role of active-site residues in naphthalene dioxygenase. J. Ind. Microbiol. Biotechnol., 30: 271-278.
- Pignatello, J. J. and Xing, B. 1996. Mechanisms of slow sorption of organic chemicals to natural particles. Environ. Sci. Technol., 30: 1-11.
- Pinyakong, O., Habe, H., Kouzuma, A., Nojiri, H., Yamane, H., and Omori, T. 2004. Isolation and characterization of genes encoding polycyclic aromatic hydrocarbon dioxygenase from acenaphthene and acenaphthylene degrading *Sphingomonas* sp. strain A4. FEMS Microbiol. Lett., 238: 297-305.
- Pipe, R. K. and Moore, M. N. 1986. An ultrastructural study on the effect of phenanthrene on lysosomal membranes and distribution of the lysosomal enzyme  $\beta$ -glucuronidase in digestive cells of the periwinkle *Littorina littorea*. Aquat. Toxicol., 8: 65-76.

- Resnick, S. M., Lee, K., and Gibson, D. T. 1996. Diverse reactions catabolyzed by naphthalene dioxygenase from *Pseudomonas* sp. strain NCIB 9816. J. Ind. Microbiol., 17: 438-457.
- Rivas, R., Abril, A., Trujillo, M. E., and Velazquez, E. 2004. *Sphingomonas phyllosphaerae* sp. nov., from the phyllosphere of *Acacia caven* in Argentina. Int. J. Syst. Evol. Microbiol., 54: 2147-2150.
- Roling, W. F., Milner, M. G., Jones, D. M., Lee, K., Daniel, F., Swannell, R. J., and Head, I. M. 2002. Robust hydrocarbon degradation and dynamics of bacterial communities during nutrient-enhanced oil spill bioremediation. Appl. Environ. Microbiol., 68: 5537-5548.
- Romero, M. C., Cazau, M. G., Giorgieri, S., and Arambari, A. M. 1998. Phenanthrene degradation by microorganisms isolated from a contaminated stream. Environ. Pollut., 101: 355-359.
- Rosado, A., Seldin, L., Wolters, A., and Elsas, J. v. 1997. Molecular Microbial Ecology: a minireview. Braz. J. Microbiol., 28: 135-147.
- Rothermich, M. M., Hayes, L. A., and Lovley, D. R. 2002. Anaerobic, sulfate-dependent degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in petroleum-contaminated harbor sediment. Environ. Sci. Technol., 36: 4811-4817.
- Sack, U. and Gunther, T. 1993. Metabolism of PAHs by fungi and correlation with extracellular enzymatic activities. J. Basic Microbiol., 33: 268-277.
- Samanta, S. K., Singh, O. V., and Jain, R. K. 2002. Polycyclic aromatic hydrocarbons: environmental pollution and bioremediation. A review. Trends Biotechnol., 20: 243-248.
- Sambrook, J. and Russell, D. W. 2001. Molecular cloning a laboratory manual. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor.
- Sax, N. I. and Lewis, R. L. 1987. Hawley's Condensed Chemical Dictionary. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Schafer, E. W. J., Bowles, W. A. J., and Hurlbut, J. 1983. The acute oral toxicity, repellency, and hazard potential of 998 chemical to one or more species of wild and domestic birds. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 12: 355-381.
- Shiaris, M. P. 1989. Phenanthrene mineralization along a natural salinity gradient in an urban estuary, Boston harbor, Massachusetts. Microb. Ecol., 18: 135-146

- Simmon, V. F., Rosonkranz, H. S., Zeiger, E., and Poirier, L. A. 1979. Mutagenic activity of chemical carcinogens and related compounds in the intraperitoneal host-mediated assay. J. Natl. Cancer Inst., 62: 911-918.
- Singh, B. K., Walker, A., Morgan, J. A. W., and Wright, D. J. 2003. Role of soil pH in the development of enhanced biodegradation of fenamiphos. Appl. Environ. Microbiol., 69: 7035-7043.
- Stapleton, R. D., Savage, D., C., Sayler, G., S., and Stacey, G. 1998. Biodegradation of aromatic hydrocarbons in an extremely acidic environment. Appl. Environ. Microbiol., 64: 4180-4184.
- Stingley, R. L., Khan, A. A., and Cerniglia, C. E. 2004. Molecular characterization of phenanthrene degradation pathway in *Mycobacterium vanbaalenii* PYR-1. Biochem. Biophys. Res. Commun., 322: 133-146.
- Suett, D. L., Jukes, A. A., and Parekh, N. R. 1996. Non-specific influence of pH on microbial adaptation and insecticide efficacy in previously treated field soils. Soil Biol. Biochem., 28: 1783-1790.
- Supaka, N., Pinphanichakarn, P., Pattaragulwanit, K., Thaniyavarn, S., Omori, T., and Juntongjin, K. 2001. Isolation and characterisation of a phenanthrene-degrading *Sphingomonas* sp. strain P2 and its ability to degrade fluoranthene and pyrene via cometabolism. Sci. Asia, 27: 21-28.
- Sutherland, J. B., Fu, P. P., Yang, S. K., Von Tungeln, L. S., Casillas, R. P., Crow, S. A., and Cerniglia, C. E. 1993. Enantiomeric composition of the trans-dihydrodiols produced from phenanthrene by fungi. Appl. Environ. Microbiol., 59: 2145-2149.
- Suthersan, S. S. 1999. In situ Bioremediation. Remediation engineering: design concepts. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Tang, Y. J., Lihong, Q., and Krieger-Brockett, B. 2005. Evaluating factors that influence microbial phenanthrene biodegradation rates by regression with categorical variables. Chemosphere, 59: 729-741.
- Toledo, F. L., Calvo, C., Rodelas, S., and Gonzalez-Lopez, J. 2006. Selection and identification of bacteria isolated from waste crude oil with polycyclic aromatic hydrocarbons removal capacities. Syst. Appl. Microbiol., 29: 244-252.
- Torsvik, V., Ovreas, L., and Thingstad, T. F. 2002. Prokaryotic diversity-magnitude, dynamics, and controlling factors. Science, 296: 1064-1066.

- Trower, P. and Gilbert, P. 1988. Xenobiotic oxidation by cytochrome P-450-enriched extracts of *Streptomyces griseus*. Biochem. Biophys. Res. Commun., 157: 1417-1422.
- Trzesicka-Mlynarz, D. T. and Ward, O. P. 1996. Degradation of fluoranthrene in a soil matrix by indigenous and introduced bacteria. Biotechnol. Lett., 18: 181-186.
- U.S. EPA. 1987. Health and environmental effects profile for phenanthrene: The environmental criteria and assessment office, office of health and environmental assessment, U.S. environmental protection agency, Cincinnati, OH, for the office of solid waste and emergency response ECAO-CIN-P226.
- U.S. EPA. 1988. Drinking water criteria document for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): The environmental criteria and assessment office, office of health and environmental assessment, U.S. environmental protection agency, Cincinnati, OH, for the office of drinking water. ECAO-CIN-D010.
- Van Veen, J. A., Van Overbeek, L. S., and Van Elsas, J. D. 1997. Fate and activity of microorganisms into soil. Microbiol. Mol. Biol. Rev., 61: 121-135.
- Venosa, A. D., Suidan, M. T., Wrenn, B. A., Strohmeier, K. L., Haines, J. R., Eberhart, B. L., King, D., and Holder, E. 1996. Bioremediation of an experimental oil spill on the shoreline of Delaware Bay. Environ. Sci. and Technol., 30: 1764-1775.
- Verma, S., Bhargava, R., and Pruthi, V. 2006. Oily sludge degradation by bacteria from Ankleshwar, India. Int. Biodeterior. Biodegrad., 57: 207-213.
- Volkering, F. A., Breure, A. M., Sterkenberg, A., and Van Andel, J. G. 1992. Microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons; effect of substrate availability on bacterial growth kinetics. Appl. Microbiol. Biotechnol., 36: 548-552.
- Walker, A., Brown, P. A., and Entwistle, A. R. 1986. Enhanced degradation of iprodione and vinclozolin in soil. Pestic. Sci., 17: 183-193.
- Walker, A., Bromilow, R. H., Nicholls, P. H., Evans, A. A., and Smith, V. J. R. 2002. Spatial variability in the degradation rates of isoproturon and chlorotoluron in a clay soil. Weed Res., 42: 39-44.
- Wang, S., Liu, B., Sun, K., and Su, Q. 2004. Gas chromatographic-mass spectrometric determination of polycyclic aromatic hydrocarbons formed during the pyrolysis of phenylalanine. J. Chromatogr. A, 1025: 255-261.

- Watanabe, K. 2001. Microorganisms relevant to bioremediation. Curr. Opin. Biotechnol., 12: 237-241.
- Weissenfels, W. D., Klewer, H. J., and Langhoff, J. 1992. Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by soil particles: influence on biodegradability and biotoxicity. Appl. Microbiol. Biotechnol., 36: 689-696.
- White, T. J., Burns, T., Lee, S., and Taylor, J. 1990. Amplification and sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics, PCR protocols. A guide to methods and applications, M.A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky, and T. J. White ed.: 315-322. San Diego, Calif: Academic Press, Inc.
- Whyte, L. G., Bourbonniere, L., Bellerose, C., and Greer, C. W. 1998. Biodegradation of variable-chain-length alkanes at low temperatures by a psychrotrophic *Rhodococcus* sp. Appl. Environ. Microbiol., 64: 2578-2584.
- Wilcke, W., Muller, S., Kanchanakool, N., Niamkul, C., and Zech, W. 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons in hydromorphic soils of the tropical metropolis Bangkok. Geoderma, 91: 297-309.
- Willumsen, P. A. 2001. Degradation of phenanthrene-analogue azaarenes by *Mycobacterium gilvum* strain LB307T under aerobic condition. Appl. Microbiol. Biotechnol., 56: 539-544.
- Wilson, S. C. and Jones, K. C. 1993. Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs). Environ. Pollut., 81: 229-249.
- Yu, K. S. H., Wong, A. H. Y., Yau, K. W. Y., Wong, Y. S., and Tam, N. F. Y. 2005. Natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation on biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mangrove sediments. Mar. Pollu. Bull., 51: 1071-1077
- Zhuang, W. Q., Tay, J. H., Maszenan, A. M., and Tay, S. T. 2003. Isolation of naphthalene-degrading bacteria from tropical marine sediments. Water Sci. Technol., 47: 303-308.

ภาคผนวก



## ภาคผนวก ก

## สูตรและวิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว carbon free mineral (CFMM) ความเป็นกรดต่าง 4.0

## สารละลาย A

แอมโมเนียมไนเตรต ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )	3	กรัม
โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )	2.2	กรัม
ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )	0.8	กรัม

ละลายส่วนผสมทั้งหมดด้วยน้ำกลั่น ปรับความเป็นกรดต่างเป็น 4.0 และปรับปริมาตรสุดท้าย 1,000 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ  $121^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที

## สารละลาย B

เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	0.05	กรัม/มิลลิลิตร
แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	0.05	กรัม/มิลลิลิตร
แมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	0.1	กรัม/มิลลิลิตร

ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาดรูกรอง 0.22 ไมโครเมตร และเติมสารละลาย B ชนิดละ 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย A ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง carbon free mineral (CFMM) ความเป็นกรดต่าง 4.0

เติมแบคทีโอะการ์ 15 กรัม ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว CFMM ในส่วนของสารละลาย A ความเป็นกรดต่าง 4.0 ปริมาตร 1,000 มล. นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ  $121^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้อุ่นแล้วจึงเติมสารละลาย B ผสมให้เข้ากัน

อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว basal salt ความเป็นกรดต่าง 4.0

## สารละลาย A

แมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	5	กรัม
ไดแอมโมเนียมซัลเฟต ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ )	1.5	กรัม
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	1.0	กรัม
แคลเซียมไนเตรต ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ )	0.1	กรัม

ละลายส่วนผสมทั้งหมดด้วยน้ำกลั่น ปรับความเป็นกรดต่างเป็น 4.0 และปรับปริมาตรสุดท้าย 1,000 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 15 นาที

#### สารละลาย B

เฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ ) ความเข้มข้น 500 มิลลิโมลาร์

เตรียมโดยละลาย  $\text{FeSO}_4$  13.9 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาดรูกรอง 0.22 ไมโครเมตร แล้วเติมสารละลาย B 5 มิลลิลิตรลงในสารละลาย A ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

#### อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง basal salt ความเป็นกรดต่าง 4.0

เติมแบคทีโอะการ์ 15 กรัม ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว basal salt ในส่วนของสารละลาย A ความเป็นกรดต่าง 4.0 ปริมาตร 1,000 มล. นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้อุ่นแล้วจึงเติมสารละลาย B ผสมให้เข้ากัน

#### อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Luria Bertani (LB) ความเป็นกรดต่าง 4.0 หรือ 7.0

ทริปโตเนน (tryptone) 10 กรัม

ผงสกัดจากยีสต์ (yeast extract) 5 กรัม

โซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) 5 กรัม

ละลายส่วนผสมทั้งหมดด้วยน้ำกลั่น ปรับความเป็นกรดต่างเป็น 4.0 หรือ 7.0 และปรับปริมาตรสุดท้าย 1,000 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 15 นาที

#### อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง Luria Bertani (LB)

เติมวุ้นผง 15 กรัม ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว LB ความเป็นกรดต่าง 7.0 ปริมาตร 1,000 มล. นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 15 นาที

#### สารสกัดจากยีสต์ 200,000 ppm

ละลายผงสกัดจากยีสต์ (yeast extract) 20 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตรสุดท้าย 100 มิลลิลิตร ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาดรูกรอง 0.22 ไมโครเมตร

**อาหารเลี้ยงเชื้อ Yb**

ผงสกัดจากยีสต์ (yeast extract)	5	กรัม
ทริปโตน (tryptone)	20	กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟต ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ )	5	กรัม

ละลายสารทั้งสามชนิดในน้ำกลั่น ปรับความเป็นกรดต่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล (ภาคผนวก ข) จน pH เท่ากับ 7 และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 15 นาที

อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง ละลายวุ้นผง 15 กรัม ต่ออาหาร 1,000 มิลลิลิตร ก่อนนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ

**อาหารเลี้ยงเชื้อ SOC****สารละลาย A**

ผงสกัดจากยีสต์ (yeast extract)	5	กรัม
ทริปโตน (tryptone)	20	กรัม
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	0.58	กรัม
แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl)	2	กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟต ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ )	2.46	กรัม
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	0.18	กรัม

ละลายสารทั้งหมดในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 980 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอ 15 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 15 นาที

**สารละลาย B**

กลูโคส (glucose)	3.6	กรัม
น้ำปลอดประจุ	20	มิลลิลิตร

ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.22 ไมโครเมตร ผสมสารละลายทั้ง 2 ส่วน และเก็บไว้ที่ -20°ซ

## ภาคผนวก ข

## สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารละลายฟีนานทรีนในอะซิโตน ความเข้มข้น 12,000 ppm

ฟีนานทรีน	0.12	กรัม
อะซิโตน	10	มิลลิลิตร

ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านชุดกรองสำเร็จรูปชนิด PTFE ขนาดรูกรอง 0.2 ไมโครเมตร

สารละลายฟีนานทรีนในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ความเข้มข้น 10,000 ppm

ฟีนานทรีน	0.1	กรัม
ไดเมทิลฟอร์มาไมด์	10	มิลลิลิตร

ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านชุดกรองสำเร็จรูปชนิด PTFE ขนาดรูกรอง 0.2 ไมโครเมตร

สารละลายฟีนานทรีนในไดเอทิลอีเทอร์ ความเข้มข้น 2%

ฟีนานทรีน	2	กรัม
ไดเอทิลอีเทอร์	100	มิลลิลิตร

เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ต้องการใช้ โดยไม่จำเป็นต้องทำให้ปราศจากเชื้อ

สารละลาย Triton x-100 15%

Triton x-100	15	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	85	มล.

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มัล

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	4	กรัม
เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุทธิ	100	มิลลิลิตร

**สารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มัล**

กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 นอร์มัล	8.33	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	91.67	มิลลิลิตร

**70% เอทานอล**

99% เอทานอล	700	มิลลิลิตร
น้ำกลั่นปลอดประจุ	300	มิลลิลิตร

**20% โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate, SDS)**

Sodium dodecyl sulfate	20	กรัม
------------------------	----	------

ค่อยๆ ละลายในน้ำปลอดประจุปลอดเชื้ออุณหภูมิ 60 °C ปริมาตร 80 มิลลิลิตร เมื่อละลายหมดเติมน้ำปลอดประจุปลอดเชื้อจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นิ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

**20% สารละลายโปรตีนเนสเค (proteinase K)**

โปรตีนเนสเค (proteinase K)	20	มิลลิกรัม
น้ำปลอดประจุปลอดเชื้อ	1	มิลลิลิตร

**สารละลาย Tris-HCl pH 8 เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์**

Trizma base (C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>3</sub> )	1.2	กรัม
---	-----	------

ละลายในน้ำปลอดประจุปริมาตร 800 มิลลิลิตร จากนั้นปรับค่าความเป็นกรดต่างเป็น 8.0 ด้วย กรดไฮโดรคลอริก เติมน้ำปลอดประจุจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นิ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

**สารละลาย EDTA เข้มข้น 0.5 โมลาร์**

EDTA (C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>8</sub> Na <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O)	186.1	กรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaCl)	20	กรัม

ละลาย EDTA ในน้ำปลอดประจุปริมาตร 800 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ คนให้เข้ากัน รอให้เย็นลงแล้วจึงปรับค่าความเป็นกรดต่างเป็น 8.0 เติมน้ำปลอดประจุให้เป็นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นิ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

**บัฟเฟอร์ TE**

Tris-HCl pH 8 เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์	10	มิลลิลิตร
EDTA pH 8.0 เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์	0.2	มิลลิลิตร

เติมน้ำปลอดประจุให้เป็นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร หนึ่งชั่วโมงด้วยความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 15 นาที

**สารละลาย CTAB/NaCl**

โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	4.1	กรัม
CTAB	10	กรัม

ละลาย CTAB ในน้ำปลอดประจุอุณหภูมิ 65 °ซ ปริมาตร 80 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.7 โมลาร์ เมื่อละลายหมดเติมน้ำปลอดประจุจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปหนึ่งชั่วโมงด้วยความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 15 นาที

**DNA extraction buffer**

Tris-HCl, pH 8.0	100	มิลลิโมลาร์
สารละลายโซเดียมฟอสเฟต, pH 8.0	100	มิลลิโมลาร์
สารละลาย EDTA, pH 8.0	100	มิลลิโมลาร์
สารละลายโซเดียมคลอไรด์	1.5	โมลาร์
CTAB	1%	(w/v)

**สารละลายคลอโรฟอร์ม/ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์**

ผสมคลอโรฟอร์มกับไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ ในอัตราส่วน 24 :1 (ปริมาตร ต่อปริมาตร) เก็บที่อุณหภูมิ 4 °ซ

**สารละลายฟีนอล/คลอโรฟอร์ม**

เตรียมสารละลายฟีนอลอิมิตัวในบัฟเฟอร์ Tris-HCl โดยละลายฟีนอลในอ่างน้ำอุณหภูมิ 68 °ซ จากนั้นเติมผง hydroxyquinoline ให้ได้ความเข้มข้น 0.1% (น้ำหนัก/น้ำหนัก) เติมสารละลาย Tris-HCl pH 8.0 เข้มข้นเป็น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 1 เท่าคนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้แยกชั้น ดูดชั้นน้ำส่วนบนออก เติมสารละลาย Tris-HCl pH 8.0 เข้มข้นเป็น 0.1

โมลาร์ ปริมาตร 1 เท่า ผสมด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้แยกชั้น ดูดชั้นน้ำส่วนบน ออก ทำขั้นนี้หลายๆ ครั้งด้วย Tris-HCl pH 8.0 เข้มข้นเป็น 0.1 โมลาร์ จนค่าความเป็นกรดต่าง ของฟีนอลมากกว่า 7.8 สุดท้ายเติมสารละลาย Tris-HCl pH 8.0 เข้มข้นเป็น 0.1 โมลาร์ ที่ผสม  $\beta$ -mercaptoethanol เข้มข้น 0.2% ปริมาตร 0.1 เท่าของฟีนอลที่เตรียมได้ เก็บในขวดสีชาที่ อุณหภูมิ 4 °C ผสมฟีนอลที่เตรียมได้กับคลอโรฟอร์ม ในอัตราส่วน 1 : 1 (ปริมาตรต่อ ปริมาตร) เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 °C

#### บัฟเฟอร์ TAE เข้มข้น 50 เท่า

Tris-HCl	242	กรัม
EDTA pH 8.0 เข้มข้น 0.5 โมลาร์	100	มิลลิลิตร
กรดอะซิติกเข้มข้น	57.1	มิลลิลิตร

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำปลอดประจุปริมาตร 800 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปลอด ประจุให้เป็นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นิ่งฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

#### อะกาโรสเจลดเข้มข้น 0.9%

อะกาโรสเจลด	0.9	กรัม
บัฟเฟอร์ TAE เข้มข้น 50 เท่า	100	มิลลิลิตร

หลอมให้เข้ากันด้วยไมโครเวฟหรือการต้มให้ความร้อน

#### อะกาโรสเจลดเข้มข้น 2%

อะกาโรสเจลด	2	กรัม
บัฟเฟอร์ TAE เข้มข้น 50 เท่า	100	มิลลิลิตร

หลอมให้เข้ากันด้วยไมโครเวฟหรือการต้มให้ความร้อน

#### พอลิอะคริลาไมด์เจลดเข้มข้น 10.5%

TAE เข้มข้น 10 เท่า	1.5	มิลลิลิตร
อะคริลาไมด์เจลดเข้มข้น 40%	3.938	มิลลิลิตร
น้ำปลอดประจุ	9.422	มิลลิลิตร
แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 10%	120	ไมโครลิตร

TEMED (N,N,N',N'-Tetra-methyl-ethylenediamine) 20 ไมโครลิตร

**สารละลายเอธิเดียมโบรไมด์เข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร**

เอธิเดียมโบรไมด์	0.1	มิลลิกรัม
น้ำกลั่น	10	มิลลิลิตร

ละลายให้เข้ากันเก็บในภาชนะปิดสนิทในที่มืด (ขณะเตรียมควรสวมถุงมือป้องกัน เนื่องจากเอธิเดียมโบรไมด์เป็นสารก่อมะเร็ง)

**สารปฏิชีวนะแอมพิซิลิน (Ampicilin, Ap)**

แอมพิซิลิน	100	มิลลิกรัม
น้ำปลอดประจุ	1	มิลลิลิตร

ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาดรูกรอง 0.22 ไมโครเมตร

**2% 5-Bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-galactoside (X-gal)**

X-gal	20	มิลลิกรัม
ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF)	1	มิลลิลิตร

ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านชุดกรองสำเร็จรูปชนิด PTFE ขนาดรูกรอง 0.2 ไมโครเมตร

**isopropyl-β-D-thiogalactopyranoside (IPTG) เข้มข้น 1 โมลาร์**

IPTG	238	มิลลิกรัม
น้ำปลอดประจุ	1	มิลลิลิตร

ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาดรูกรอง 0.22 ไมโครเมตร

**สารละลาย TfbI**

โพแทสเซียมอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COOK}$ )	0.295	กรัม
รูบิเดียมคลอไรด์ ( $\text{RbCl}$ )	1.21	กรัม
แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	0.148	กรัม
แมงกานีสคลอไรด์ ( $\text{MnCl}_2$ )	0.99	กรัม
กลีเซอรอล	15	มิลลิลิตร



ละลายสารในน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรดต่างด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ จน pH เท่ากับ 5.8 และปรับปริมาตรสุดท้าย 100 มิลลิลิตร ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาดรูกรอง 0.22 ไมโครเมตร

#### สารละลาย TfbII

2-[N-morpholino]ethanesulfonic acid (MES)	0.29	กรัม
รูบิเดียมคลอไรด์ (RbCl)	0.121	กรัม
แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O)	1.103	กรัม
กลีเซอรอล	15	มิลลิลิตร

ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตร ทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาดรูกรอง 0.22 ไมโครเมตร

#### สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ DGGE

##### 0% denaturing solution ใน 8% อะคริลาไมด์เจล

40% อะคริลาไมด์/บิส	20	มิลลิลิตร
บัฟเฟอร์ TAE เข้มข้น 50 เท่า	2	มิลลิลิตร
น้ำปลอดประจุ	78	มิลลิลิตร

##### 100% denaturing solution ใน 8% อะคริลาไมด์เจล

40% อะคริลาไมด์/บิส	20	มิลลิลิตร
บัฟเฟอร์ TAE เข้มข้น 50 เท่า	2	มิลลิลิตร
ฟอร์มามาไมด์	40	มิลลิลิตร
ยูเรีย	42	กรัม
เติมน้ำปลอดประจุจนได้ปริมาตรสุทธิ	100	มิลลิลิตร

##### แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 10%

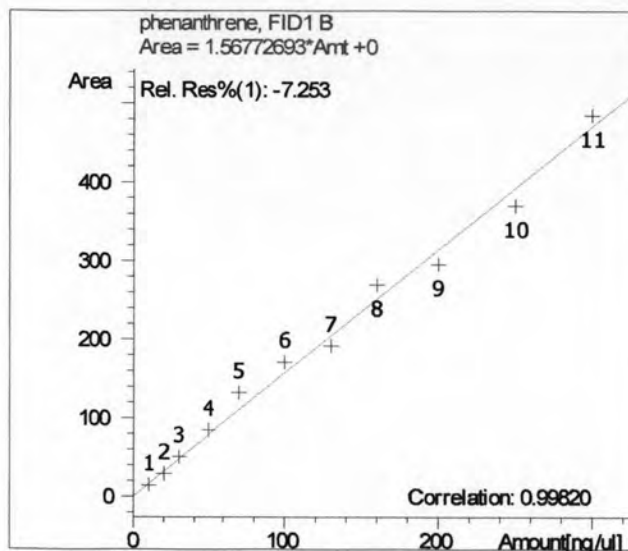
แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต	0.1	กรัม
น้ำปลอดประจุ	1	มิลลิลิตร

**สารละลายเอธิเดียมโบรไมด์เข้มข้น 0.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร**

เอธิเดียมโบรไมด์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	10	ไมโครลิตร
น้ำกลั่น	200	มิลลิลิตร

ภาคผนวก ค

แก๊สโครมาโตกราฟีโครมาโตแกรม



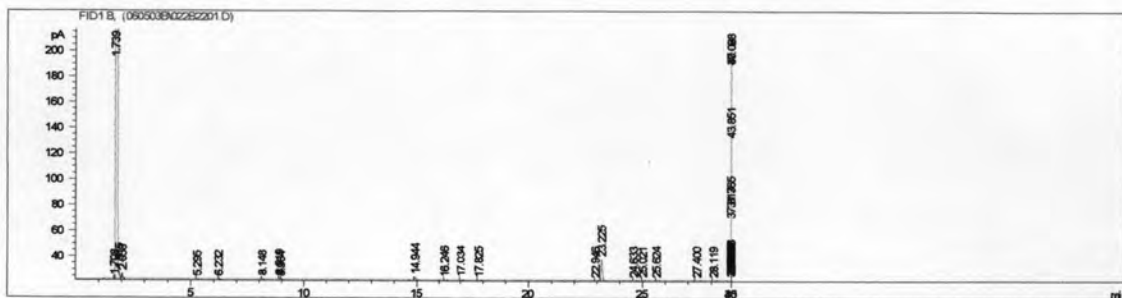
รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณพีแนนทรีนกับพื้นที่ใต้กราฟ ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (GC)

ความเข้มข้นของพีแนนทรีนหาได้จากนำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี มาแทนค่าในสมการเส้นตรงดังนี้

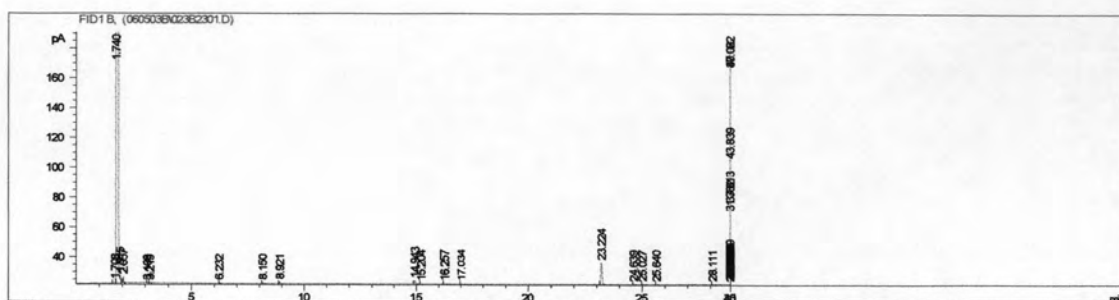
พื้นที่ใต้กราฟ = (ความชันของกราฟมาตรฐาน X ปริมาณพีแนนทรีน(ng/μl)) + จุดตัดแกนวาย

โดยที่ ความชันของกราฟมาตรฐาน = 1.5677

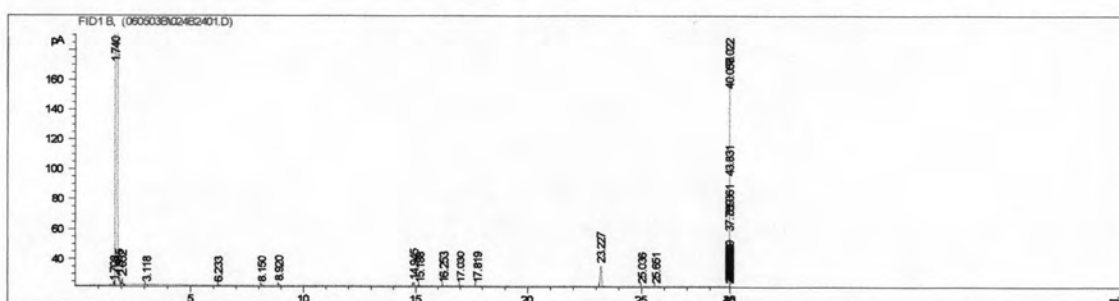
จุดตัดแกนวาย = 0



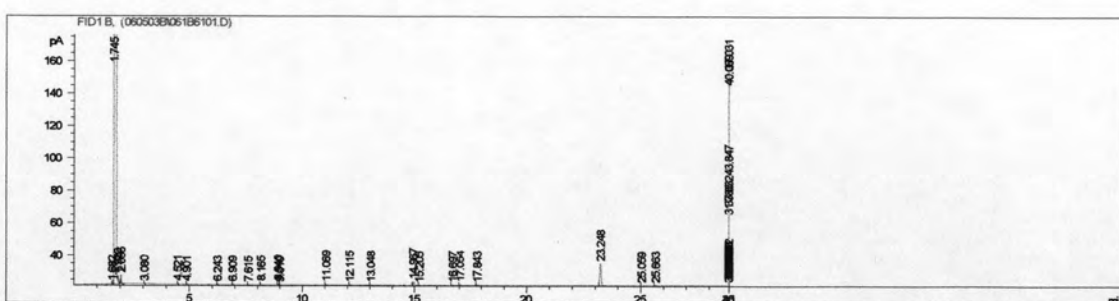
รูปที่ ค.2 โครมาโตแกรมแสดงการปนเปื้อนของพีแนนทรีนในตัวอย่างดิน NY1 โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Retention time, RT = 13.121)



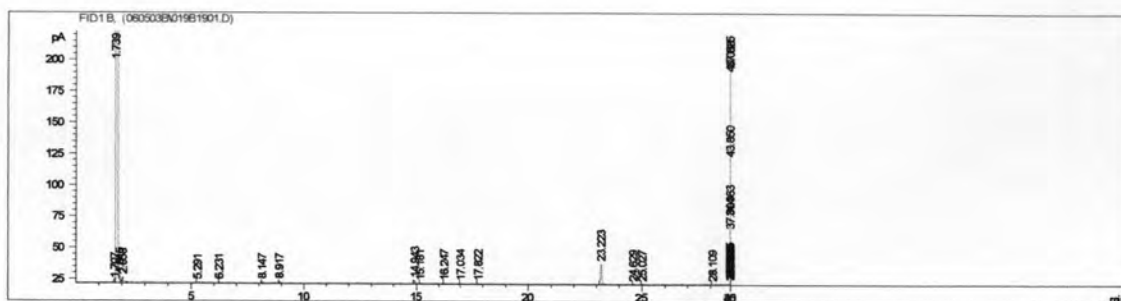
รูปที่ ค.3 โครมาโตแกรมแสดงการปนเปื้อนของพีแนนทรินในตัวอย่างดิน NY2 โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Retention time, RT = 13.121)



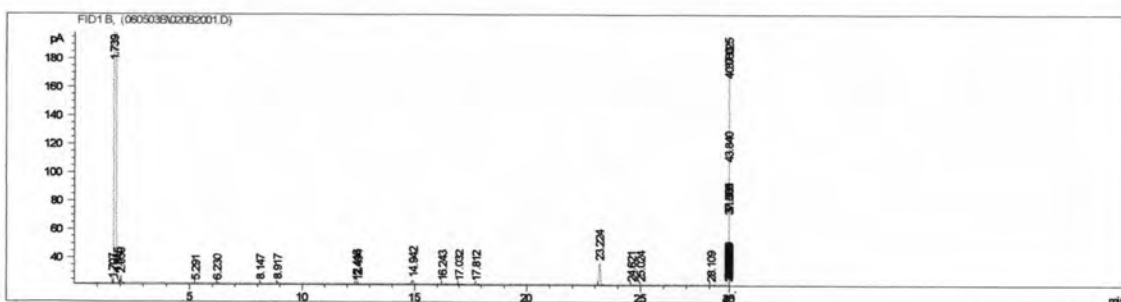
รูปที่ ค.4 โครมาโตแกรมแสดงการปนเปื้อนของพีแนนทรินในตัวอย่างดิน NY3 โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Retention time, RT = 13.121)



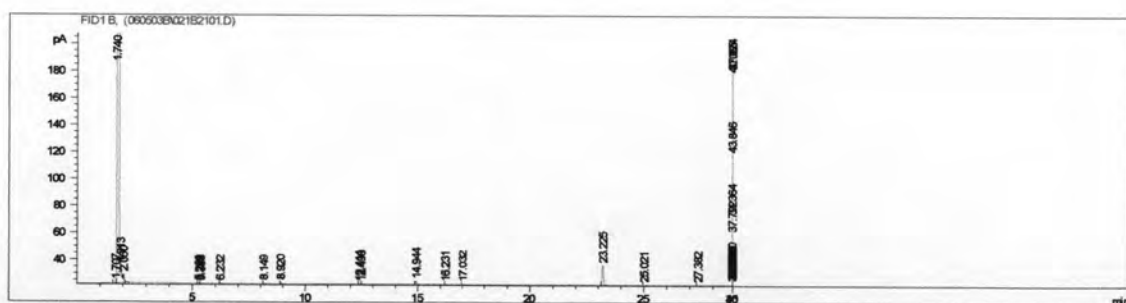
รูปที่ ค.5 โครมาโตแกรมแสดงการปนเปื้อนของพีแนนทรินในตัวอย่างดิน NY4 โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Retention time, RT = 13.121)



รูปที่ ค.6 โครมาโตแกรมแสดงการปนเปื้อนของพีแนนทรินในตัวอย่างดิน PJ โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Retention time, RT = 13.121)



รูปที่ ค.7 โครมาโตแกรมแสดงการปนเปื้อนของพีแนนทรินในตัวอย่างดิน RB1 โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Retention time, RT = 13.121)



รูปที่ ค.8 โครมาโตแกรมแสดงการปนเปื้อนของพีแนนทรินในตัวอย่างดิน RB2 โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Retention time, RT = 13.121)

## ภาคผนวก ง

## ข้อมูลดิบ

ตารางที่ ง.1 แสดงปริมาณพีแนมทรีนที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน NY1 จำนวน 250 กรัม ที่เติมพีแนมทรีนเป็นแหล่งคาร์บอน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนมทรีนที่เหลือ (ng/ul)		% พีแนมทรีนที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	141.65	101.69	100.00	100.00
	80.40	87.79	100.00	100.00
	104.24	92.96	100.00	100.00
2	143.18	141.54	101.08	139.19
	118.01	97.72	146.78	111.31
	131.04	138.70	125.71	149.20
6	173.56	166.91	122.53	164.14
	163.63	154.75	203.52	176.27
	166.28	156.02	159.52	167.84
8	94.63	94.20	66.81	92.63
	83.18	91.56	103.46	104.29
	89.65	90.56	86.00	97.42
สัปดาห์	% พีแนมทรีนที่เหลือ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	124.52	133.23	22.87	19.63
6	161.86	169.42	40.55	6.22
8	85.42	98.11	18.33	5.86

ตารางที่ ง.2 แสดงปริมาณพีแนทรีนที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน NY2 จำนวน 250 กรัม ที่เติม  
พีแนทรีนเป็นแหล่งคาร์บอน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนทรีนที่เหลือ (ng/ul)		% พีแนทรีนที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	121.90	149.64	100.00	100.00
	96.89	102.64	100.00	100.00
	119.21	107.94	100.00	100.00
2	142.78	139.32	117.13	93.10
	115.49	125.13	119.20	121.91
	133.08	128.11	111.63	118.69
6	174.12	162.36	142.84	108.50
	162.75	150.26	167.97	146.40
	172.75	155.31	144.91	143.89
8	105.12	106.79	86.23	71.36
	105.11	96.31	108.48	93.83
	92.10	98.34	77.26	91.11
สัปดาห์	% พีแนทรีนที่เหลืออยู่ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	115.99	111.23	3.91	2.43
6	151.91	132.93	13.95	21.19
8	90.66	85.43	16.07	12.26

ตารางที่ ง.3 แสดงปริมาณพีแนทรีนที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน NY3 จำนวน 250 กรัม ที่เติม  
พีแนทรีนเป็นแหล่งคาร์บอน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนทรีนที่เหลือ (ng/ul)		% พีแนทรีนที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	55.41	122.71	100.00	100.00
	47.43	100.79	100.00	100.00
	52.87	119.90	100.00	100.00
2	57.74	114.36	104.21	93.20
	46.13	85.79	97.26	85.12
	56.83	97.24	107.49	81.10
6	68.31	143.34	123.28	116.81
	66.22	133.55	139.62	132.50
	67.46	139.62	127.60	116.45
8	58.02	88.05	104.71	71.75
	30.02	69.16	63.29	68.62
	38.47	81.61	72.76	68.07
สัปดาห์	% พีแนทรีนที่เหลือ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	102.99	86.47	5.22	6.16
6	130.17	121.92	8.47	9.16
8	80.25	69.48	21.70	1.99



ตารางที่ ง.4 แสดงปริมาณพีแนทรีนที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน NY4 จำนวน 250 กรัม ที่เติม  
พีแนทรีนเป็นแหล่งคาร์บอน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนทรีนที่เหลือ (ng/ug)		% พีแนทรีนที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	88.84	91.65	100.00	100.00
	105.15	113.55	100.00	100.00
	66.88	69.84	100.00	100.00
2	100.43	101.99	113.05	111.28
	107.12	105.68	101.87	93.07
	94.58	93.01	141.42	133.18
6	116.58	123.82	131.22	135.10
	124.21	130.34	118.17	114.79
	114.01	121.13	170.47	173.44
8	60.47	58.36	68.07	63.68
	61.52	77.78	58.51	68.50
	59.59	53.53	89.10	76.65
สัปดาห์	% พีแนทรีนที่เหลือ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	118.78	112.51	20.39	20.08
6	139.95	141.11	27.22	29.78
8	71.89	69.61	15.65	6.56

ตารางที่ ง.5 แสดงปริมาณพีแนมทรีนที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน PJ จำนวน 6 กรัม ที่เติมพีแนมทรีนร่วมกับสารสกัดจากยีสต์ความเข้มข้นสุดท้ายในดิน 200 ppm โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนมทรีนที่เหลือ (ng/ug)		% พีแนมทรีนที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	161.14	157.15	100.00	100.00
	177.65	173.60	100.00	100.00
	153.29	157.25	100.00	100.00
2	163.35	135.09	102.00	85.96
	166.55	162.38	93.75	93.54
	149.62	151.59	97.61	96.40
4	148.91	130.05	92.99	82.76
	165.14	163.01	92.96	93.90
	142.06	142.23	92.67	90.45
6	137.60	112.02	85.92	71.28
	150.55	119.00	84.76	68.55
	113.96	107.90	74.34	68.62
8	141.97	25.48	88.65	16.21
	144.17	58.29	81.15	33.58
	137.25	32.15	89.54	20.45
12	144.08	14.00	89.41	8.91
	156.69	19.06	88.20	10.98
	131.52	8.31	85.80	5.28
สัปดาห์	% พีแนมทรีนที่เหลือ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	97.79	91.97	4.13	5.39
4	92.87	89.04	0.18	5.70
6	81.67	69.48	6.38	1.56
8	86.45	23.41	4.61	9.06
12	87.83	8.39	1.84	2.89

ตารางที่ ง.6 แสดงปริมาณพีแนนทรินที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน RB1 จำนวน 6 กรัม ที่เติมพีแนนทรินร่วมกับสารสกัดจากยีสต์ความเข้มข้นสุดท้ายในดิน 200 ppm โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนนทรินที่เหลือ (ng/ug)		% พีแนนทรินที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	138.92	165.24	100.00	100.00
	152.75	164.46	100.00	100.00
	152.92	167.88	100.00	100.00
2	143.97	154.38	103.64	93.43
	151.01	151.17	98.86	91.92
	146.97	151.32	96.11	90.14
4	132.91	148.16	95.67	89.66
	131.69	142.73	86.21	86.79
	154.65	156.46	101.13	93.20
6	133.69	136.41	96.24	82.55
	132.91	114.96	87.01	69.90
	128.29	137.73	83.89	82.04
8	134.49	76.88	96.81	46.53
	136.00	82.03	89.03	49.88
	137.43	60.14	89.87	35.82
12	142.59	54.27	102.64	32.84
	145.95	57.08	95.55	34.71
	148.52	58.30	97.12	34.73
สัปดาห์	% พีแนนทรินที่เหลือ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	99.54	91.83	3.81	1.65
4	94.34	89.88	7.55	3.21
6	89.05	78.16	6.42	7.16
8	91.90	44.08	4.27	7.34
12	98.44	34.09	3.72	1.09

ตารางที่ ง.7 แสดงปริมาณพีแนทรีนที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน RB2 จำนวน 6 กรัม ที่เติมพีแนทรีนร่วมกับสารสกัดจากยีสต์ความเข้มข้นสุดท้ายในดิน 200 ppm โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนทรีนที่เหลือ (ng/ug)		% พีแนทรีนที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	158.71	136.87	100.00	100.00
	164.98	144.30	100.00	100.00
	159.02	141.25	100.00	100.00
2	149.53	137.81	94.22	100.69
	148.16	151.10	89.80	104.71
	133.03	145.54	83.66	103.04
4	126.17	135.12	79.50	98.72
	152.58	138.75	92.48	96.15
	127.44	136.96	80.14	96.96
6	113.39	49.81	71.44	36.39
	138.15	117.61	83.74	81.50
	118.30	98.28	74.39	69.58
8	131.66	25.96	82.96	18.97
	135.00	37.01	81.83	25.65
	130.29	73.85	81.93	52.28
12	134.71	15.54	84.88	11.35
	144.03	21.38	90.57	14.38
	147.94	38.13	89.67	26.43
สัปดาห์	% พีแนทรีนที่เหลือ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	89.23	102.81	5.30	2.02
4	84.04	97.28	7.32	1.31
6	76.52	62.49	6.42	23.38
8	82.24	32.30	0.63	17.62
12	88.37	17.39	3.06	7.89

ตารางที่ ง.8 แสดงปริมาณพีแนทรีนที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน NY1 จำนวน 6 กรัม ที่เติมพีแนทรีนร่วมกับสารสกัดจากยีสต์ความเข้มข้นสุดท้ายในดิน 200 ppm โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนทรีนที่เหลือ (ng/ug)		% พีแนทรีนที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	136.78	140.70	100.00	100.00
	138.04	142.97	100.00	100.00
	148.83	149.86	100.00	100.00
2	120.30	145.37	87.95	103.32
	140.92	147.46	102.09	103.14
	155.79	148.38	104.68	99.01
4	116.01	136.63	84.82	97.11
	137.50	139.77	99.61	97.76
	144.42	150.11	97.04	100.17
6	128.28	125.76	93.79	89.38
	142.37	133.02	103.14	93.04
	152.79	148.24	102.66	98.92
8	150.15	137.23	109.77	97.53
	165.94	140.27	120.21	98.11
	179.57	171.15	120.65	114.21
10	110.93	117.60	81.10	83.58
	144.51	133.29	104.69	93.23
	149.43	139.06	100.40	92.79
12	115.77	134.58	84.64	95.65
	143.12	146.99	103.68	102.81
	161.46	154.56	108.49	103.14
สัปดาห์	% พีแนทรีนที่เหลือ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	98.24	101.82	9.01	2.44
4	93.82	98.35	7.90	1.61
6	99.86	93.78	5.27	4.81
8	116.88	103.28	6.16	9.47
10	95.40	89.87	12.66	5.45
12	98.94	100.53	12.61	4.23

ตารางที่ ง.9 แสดงปริมาณพีแนนทรินที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน NY1 จำนวน 6 กรัม ที่เติมพีแนนทรินร่วมกับเปลือกถั่ว 6% ของน้ำหนักดิน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนนทรินที่เหลือ (ng/ug)		% พีแนนทรินที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	136.96	114.32	100.00	100.00
	141.83	117.29	100.00	100.00
	150.25	129.64	100.00	100.00
2	143.32	76.03	104.64	66.51
	147.46	117.49	103.97	100.17
	157.26	175.91	104.67	135.69
4	131.00	103.58	95.65	90.61
	132.56	112.06	93.46	95.54
	142.95	128.01	95.14	98.74
6	119.96	73.84	87.59	64.59
	121.40	111.20	85.60	94.81
	121.51	117.46	80.87	90.60
8	133.20	105.50	97.25	92.28
	136.67	137.02	96.36	116.82
	139.97	138.76	93.16	107.03
10	101.51	104.25	74.12	91.19
	103.48	111.33	72.96	94.92
	117.82	110.11	78.42	84.94
12	133.00	103.13	97.11	90.21
	139.76	109.70	98.54	93.53
	143.92	114.71	95.79	88.48
สัปดาห์	% พีแนนทรินที่เหลือ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	104.43	100.79	0.40	34.59
4	94.75	94.96	1.15	4.10
6	84.69	83.33	3.45	16.37
8	95.59	105.38	2.15	12.35
10	75.17	90.35	2.88	5.04
12	97.15	90.74	1.38	2.57

ตารางที่ ง.10 แสดงปริมาณพีแนทรีนที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน NY1 จำนวน 6 กรัม ที่เติมพีแนทรีนร่วมกับสารสกัดจากยีสต์ความเข้มข้นสุดท้ายในดิน 200 ppm และเปลือกถั่ว 6% ของน้ำหนักดิน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนทรีนที่เหลือ (ng/ug)		% พีแนทรีนที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	122.09	113.85	100.00	100.00
	142.12	121.51	100.00	100.00
	145.31	135.13	100.00	100.00
2	147.63	113.74	120.92	99.90
	150.62	122.44	105.98	100.77
	156.10	138.97	107.43	102.84
4	126.17	119.25	103.34	104.74
	130.18	120.96	91.60	99.55
	131.13	123.01	90.24	91.03
6	110.91	75.92	90.84	66.68
	118.31	104.71	83.25	86.17
	141.20	106.27	97.17	78.64
8	126.56	114.66	103.66	100.71
	134.28	120.73	94.48	99.36
	145.09	133.44	99.85	98.75
10	100.69	94.93	82.47	83.38
	117.41	98.28	82.61	80.88
	120.03	112.79	82.60	83.47
12	111.26	106.92	91.13	93.91
	124.95	116.25	87.92	95.67
	125.38	144.98	86.28	107.29
สัปดาห์	% พีแนทรีนที่เหลือ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	111.44	101.17	8.24	1.51
4	95.06	98.44	7.20	6.92
6	90.42	77.16	6.97	9.83
8	99.33	99.61	4.61	1.00
10	82.56	82.58	0.08	1.47
12	88.44	98.96	2.47	7.27

ตารางที่ ง.11 แสดงปริมาณพีแนทรีนที่เหลือในระบบบนิเวศจำลองดิน PJ จำนวน 6 กรัม ที่เติม  
พีแนทรีนเป็นแหล่งคาร์บอน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนทรีนที่เหลือ (ng/ug)		% พีแนทรีนที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	154.32	158.29	100.00	100.00
	162.09	168.31	100.00	100.00
	162.53	174.33	100.00	100.00
2	155.33	157.08	100.65	99.24
	158.56	157.24	97.82	93.42
	171.40	173.86	105.46	99.73
4	165.32	138.42	107.13	87.45
	170.12	156.56	104.95	93.02
	171.87	158.97	105.75	91.19
6	144.88	124.57	93.88	78.70
	145.31	131.78	89.65	78.30
	148.82	132.11	91.56	75.78
8	152.76	78.60	98.99	49.66
	157.88	91.45	97.40	54.33
	160.32	95.69	98.64	54.89
10	148.34	37.51	96.12	23.70
	152.89	88.20	94.32	56.04
	156.53	76.03	96.31	43.61
12	139.51	40.48	90.40	25.57
	141.18	42.98	87.10	25.54
	147.68	46.92	90.86	26.91
สัปดาห์	% พีแนทรีนที่เหลือ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	101.31	97.46	3.86	3.51
4	105.94	90.55	1.10	2.84
6	91.70	77.59	2.12	1.58
8	98.34	52.96	0.84	2.87
10	95.58	39.90	1.10	14.70
12	89.45	26.01	2.05	0.78



ตารางที่ ง.12 แสดงปริมาณพีแนทรีนที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน RB1 จำนวน 6 กรัม ที่เติม  
พีแนทรีนเป็นแหล่งคาร์บอน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนทรีน (ng/ug)		% พีแนทรีนที่เหลืออยู่	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	158.40	147.12	100.00	100.00
	162.91	151.92	100.00	100.00
	169.94	152.47	100.00	100.00
2	151.22	142.10	95.47	96.59
	151.63	149.41	93.08	98.35
	152.38	155.48	89.67	101.97
4	161.67	135.92	102.06	92.39
	164.38	141.12	100.90	92.89
	181.14	156.51	106.59	102.65
6	148.13	75.07	93.52	51.03
	149.30	81.99	91.65	53.97
	165.22	129.23	97.22	84.76
8	147.22	29.83	92.94	20.28
	152.83	39.75	93.81	26.17
	153.43	58.13	90.28	38.13
10	153.19	4.25	96.71	2.89
	159.62	11.63	97.98	7.66
	162.84	22.07	95.82	14.47
12	147.40	2.97	93.06	2.02
	150.30	6.67	92.26	4.39
	159.33	25.62	93.76	16.80
สัปดาห์	% พีแนทรีนที่เหลืออยู่ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	92.74	98.97	2.91	2.74
4	103.18	95.98	3.01	5.78
6	94.13	63.25	2.83	18.68
8	92.34	28.19	1.84	9.10
10	96.84	8.34	1.09	5.82
12	93.03	7.74	0.75	7.94

ตารางที่ ง.13 แสดงปริมาณพีแนมทรีนที่เหลือในระบบนิเวศจำลองดิน RB2 จำนวน 6 กรัม ที่เติม  
พีแนมทรีนเป็นแหล่งคาร์บอน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

สัปดาห์	ปริมาณพีแนมทรีนที่เหลือ (ng/ug)		% พีแนมทรีนที่เหลือ	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	162.36	137.13	100.00	100.00
	162.44	149.59	100.00	100.00
	162.55	156.39	100.00	100.00
2	143.05	120.59	88.11	87.94
	143.24	138.14	88.18	92.35
	145.25	139.72	89.36	89.34
4	150.12	138.45	92.46	100.96
	152.99	150.25	94.18	100.44
	158.30	152.00	97.39	97.19
6	140.25	119.90	86.38	87.44
	141.24	129.70	86.95	86.70
	143.06	130.52	88.01	83.46
8	138.53	102.95	85.32	75.07
	138.86	110.12	85.48	73.61
	140.61	125.51	86.50	80.25
10	140.67	107.63	86.64	78.49
	140.98	112.06	86.79	74.91
	142.61	117.04	87.73	74.84
12	134.36	102.61	82.75	74.83
	137.85	85.73	84.86	57.31
	138.52	43.48	85.22	27.80
สัปดาห์	% พีแนมทรีนที่เหลืออยู่ (เฉลี่ย)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	88.55	89.88	0.70	2.25
4	94.68	99.53	2.50	2.04
6	87.11	85.87	0.83	2.12
8	85.77	76.31	0.64	3.49
10	87.05	76.08	0.59	2.09
12	84.19	53.31	1.29	23.77

ตารางที่ ง.14 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ในระบบนิเวศจำลองดิน NY1 จำนวน 6 กรัม ที่เติมพีแนนนทรีน ร่วมกับสารสกัดจากยีสต์ความเข้มข้นสุดท้ายในดิน 200 ppm (NY1+YE); ร่วมกับ เปลือกถั่ว 6% ของน้ำหนักดิน (NY1+PS) และร่วมกับสารสกัดจากยีสต์ความเข้มข้น สุดท้ายในดิน 200 ppm และเปลือกถั่ว 6% ของน้ำหนักดิน (NY1+YE+PS) โดยการ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค MPN

NY1+YE		NY1+PS		NY1+YE+PS	
สัปดาห์	เซลล์/กรัมดิน	สัปดาห์	เซลล์/กรัมดิน	สัปดาห์	เซลล์/กรัมดิน
0	$4.50 \times 10^1$	0	$3.30 \times 10^1$	0	$1.30 \times 10^2$
2	$7.80 \times 10^1$	2	$3.50 \times 10^3$	2	$1.10 \times 10^3$
4	$2.20 \times 10^4$	4	$2.20 \times 10^4$	4	$3.50 \times 10^4$
6	$1.30 \times 10^4$	6	$9.20 \times 10^5$	6	$3.30 \times 10^2$
8	$2.20 \times 10^3$	8	$5.40 \times 10^5$	8	$1.40 \times 10^5$
10	$2.40 \times 10^3$	10	$1.60 \times 10^6$	10	$5.40 \times 10^5$
12	$2.40 \times 10^3$	12	$5.40 \times 10^5$	12	$5.40 \times 10^4$

ตารางที่ ง.15 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ในระบบนิเวศจำลองดิน PJ RB1 และ RB2 จำนวน 6 กรัม ที่เติมพีแนนนทรีนเป็นแหล่งคาร์บอน โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MPN

PJ		RB1		RB2	
สัปดาห์	เซลล์/กรัมดิน	สัปดาห์	เซลล์/กรัมดิน	สัปดาห์	เซลล์/กรัมดิน
0	$1.40 \times 10^3$	0	$2.40 \times 10^3$	0	$1.10 \times 10^4$
2	$7.00 \times 10^2$	2	$1.60 \times 10^4$	2	$2.40 \times 10^5$
4	$3.50 \times 10^3$	4	$5.40 \times 10^3$	4	$2.40 \times 10^4$
6	$2.40 \times 10^3$	6	$5.40 \times 10^3$	6	$9.20 \times 10^5$
8	$2.20 \times 10^6$	8	$1.40 \times 10^5$	8	$9.20 \times 10^3$
10	$1.40 \times 10^4$	10	$2.20 \times 10^4$	10	$5.40 \times 10^7$
12	$1.60 \times 10^4$	12	$3.50 \times 10^4$	12	$9.20 \times 10^6$

## ภาคผนวก จ

## ลำดับนิวคลีโอไทด์

## ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณส่วนของ 16S rDNA

## PJ1 โคลนที่ 1

1	ATATGGTCGA	CCTGCAGGCG	GCCGCGAATT	CACTAGTGAT	TCCTACGGGA
51	GGCAGCAGTG	GGGAATTTTC	CACAATGGGC	GAAACCCCTGA	TGGAGCAACG
101	CCGCGTGCAG	GATGAAGGCC	CTCGGGTCGT	AAACTGCTTT	TACCAGGGAA
151	GAAACGCCCC	GACGTGTCGG	GGTCTGACGG	TACCTGGGGA	ATAAGCACCG
201	GCTAACTCCG	TGCCAGCAGC	CGCGTAATA	ATCGAATTCC	CGCGGCCGCC
251	ATGGCGGCCG	GGAGCATGCG	ACGTCGGGCC	CAATTGCGCC	TATAGTGAGT

## PJ1 โคลนที่ 2

1	TATGGTCGAC	CTGCAGGCGG	CCGCGAATTC	ACTAGTGATT	ATTACCGCGG
51	CTGCTGGCAC	GGAGTTAGCC	GGAGCTTATT	CTCCCGGTAC	TGTCATTATC
101	ATCCCGGGTA	AAAGAGCTTT	ACAACCCTAA	GGCCTTCATC	ACTCACGCGG
151	CATTGCTGGA	TCAGGGTTGC	CCCCATTGTC	CAATATTCCC	TACTGCTGCC
201	TCCCGTAGGA	ATCGAATTCC	CGCGGCCGCC	ATGGCGGCCG	GGAGCATGCG
251	ACGTCGGGCC	CAATTGCGCC	TATAGTGAGT	CGTATTACAA	TTCACTGGCC

## PJ1 โคลนที่ 3

1	ATGGTCGACC	TGCAGGCGGC	CGCGAATTCA	CTAGTGATTA	TTACCGCGGC
51	TGCTGGCACG	TAGTTAGCCG	GGGCTTTCTC	GNGAGGTACC	GTCAAGGTGC
101	CGCCCTATTT	GAACAGGACT	TGTTCTTCCC	TCATAACAGA	ACTTTACGAT
151	CCGAAAACCT	TCATCGTTCA	CGCGGCGTTG	CACCGTCAGG	CTTTCGCCCA
201	TTGCGGGTGA	TTCCCTACTG			

## PJ1 โคลนที่ 4

1	TCGACCTGCA	GGCGGCCGCG	AATTCACTAG	TGATTATTAC	CGCGGCTGCT
51	GGCACGTAGT	TAGCCGGGGC	TTCCCTCAAG	GGTACCGTCA	TTATCTTCCC
101	CGCCGAAAGG	ACTTTACAAC	CCTAGGGCCC	TCATCATCCA	CACGGCATGG
151	CTGGATCAGG	CTTGCGCCCA	TTGTCCAATA	TTCCCCACTG	CTGCCTCCCC
201	TAGGAATCGA	ATTCCCGCGG	CCGCCATGGC	GGCCGGGAGC	ATGCGACGTC
251	GGGCCCAATT	CGCCCTATAG	TGAGTCGTAT	TACAATTCAC	TGGCCGTCGT

## RB1.1 โคลนที่ 1

1	GCTCGGTACC	ACGCATGCTG	CAGACGCGTT	ACGTATCGGA	TCCAGAATTC
51	GTGATTATTA	CCGCGGCTGC	TGGCACGGAA	TTAGCCGATC	CTTATTTCATA
101	TGCTGCCGTC	ATAATCGTCA	CATATAAAAAG	CAGTTTACAA	CCCGAAGGCA
151	TTCATCCTGC	ACGCGGCGCT	GCTCCATCAG	GCTTTCGCC	ATTGTGGAAA
201	ATTCCCTACT	GCTGCCTCCC	GTAGGATCTG	AATTCGTCTGA	CAAGCTTCTC
251	GAGCCTAGGC	TAGCTCTAGA	CCACACGTGT	GGGGGCCCGA	GCTCGCGGCC
301	GCTG				

## RB1.1 โคลนที่ 2

1 GCTCGGTACC ACGCATGCTG CAGACGCGTT ACGTATCGGA TCCAGAATTC  
 51 GTGATTCCCTA CGGGAGGCAG CAGTAGGGAA TATTGGACAA TGGGGGCAAC  
 101 CCTGATCCAG CAATGCCGCG TGGGTGATGA AGGCCTTAGG GTTGTAAGC  
 151 TCTTTTACCC GGGATGATAA TGACAGTACC GGGAGAATAA GCTCCGGCTA  
 201 ACTCCGTGCC AGCAGCCGCG GTAATAATCT GAATTCGTCG ACAAGCTTCT  
 251 CGAGCCTAGG CTAGCTCTAG ACCACACGTG TGGGGGCCCG AGCTCGCGGC  
 301 CGCTG

## RB1.1 โคลนที่ 3

1 GCTCGGTACC ACGCATGCTG CAGACGCGTT ACGTATCGGA TCCAGAATTC  
 51 GTGATTACCG CGGCTGCTGG GCTGCTGCCT CCCGTAGGCT GCTGCCTCCC  
 101 GTACCTACCG GAGGCAGCAG TGGGGAATCT TGCACAATGG GGGAAACCCT  
 151 GATGCAGCGA CGCCGCGTGA GCGATGAAGC CCTTCGGGGT GTAAAGCTCT  
 201 TTCACCCGCG ACGATGATGA CGGTAGCGGG AGAAGAAGCC CCGGCTAACT  
 251 CCGTGCCAGC AGCCGCGGTA ATAATCTGAA TTCGTCGACA AGCTTCTCGA  
 301 GCCTA

## RB2.1 โคลนที่ 1

1 GCGGCCGCGA ATTCACTAGT GATTCCTACG GGAGGCAGCA GTGGGGAATA  
 51 TTGGACAATG GGCGAAAGCC TGATCCAGCA ATGCCGCGTG AGTGATGAAG  
 101 GCCTTAGGGT TGTAAGCTC TTTTACCCGG GATGATAATG ACAGTACCGG  
 151 GAGAATAAGC CCCGGCTAAC TCCGTGCCAG CAGCCGCGGT AATAATCGAA  
 201 TTCCCGCGGC CGCCATGGCG GCCGGGAGCA TGGCAGCTCG GGCCCAATTC  
 251 GCCCTATAGT GAGTCGTATT

## RB2.1 โคลนที่ 2

1 CAGGCGGCCG CGAATTCACT AGTGATTCCT ACGGGAGGCA GCAGTGGGGA  
 51 ATATTGGACA ATGGGCGAAA GCCTGATCCA GCCATGCCGC GTGTGTGAAG  
 101 AAGGCCCTCG GGTGTAAAG CACTTTCAGT GAGGAAGAAG GCCTTGAGGT  
 151 TAATACCCTC GAGGAAGGAC ATCACTCACA GAAGAAGCAC CGGCTAACTC  
 201 CGTGCCAGCW KYCGCGGTAA TAATCGAATT CCCGCGGCCG CCATGGCGGC  
 251 CGGGAGCATG CGACGTCGGG CCAATTCGC CCTATAGTGA

## RB2.1 โคลนที่ 3

1 GGGAGCTCTC CCATATGGTC GACCTGCAGG CGGCCGCGAA TTCACTAGTG  
 51 ATTCTTACCG GAGGCAGCAG TAGGGAATCT TCCGCAATGG GCGAAAGCCT  
 101 GACGGAGCAA CGCCGCGTGA GTGAAGAAGG TCTCCGGATC GTAAAACCTCT  
 151 GTTATTAGGG AAGAACAAT GTGTAAGTAA CTATGCACGT CTTGACGGTA  
 201 CCTAATCAGA AAGCCACGGC TAACTACGTG CCAGCAGCCG CGGTAATAAT  
 251 CGAATTCCCG CGGCCCCAT GCGGCCGGG AGCATGCGAC GTCGGGCCCA

## RB2.1 โคลนที่ 4

1	TGGTCGACCT	GCAGGCGGCC	GCGAATTCAC	TAGTGATTCC	TACGGGAGGC
51	AGCAGTGGGG	AATATTGGAC	AATGGGGGCA	ACCCTGATCC	AGCGACGCCG
101	CGTGTGTGAA	GAAGGCCTGC	GGGTTGTAAA	GCCCTTTTCGG	TGGGGAAGAA
151	AAGCCTCGAG	CTAACACCTC	GGGTCTTGA	CGTAACCCAT	AGAAGAAGCA
201	CCGGCTAACT	CTGTGCCAGC	AGCCGCGGTA	ATATTACGGG	AGCCAGCAGC
251	CGCGGTAATA	ATCGAATTCC	CGCGGCCGCC	ATGGCGGCCG	GGAGCATGCC

## RB2.2 โคลนที่ 1

1	CCCTATGGTC	GACCTGCAGG	CGGCCGCGAA	TTCACTAGTG	ATTCCTACGG
51	GAGGCAGCAG	TAGGGAATTT	TCCACAATGG	GCGAAAGCCT	GATGGAGCAA
101	CGCCGCGTGC	AGGATGAATG	CCTTCGGGTT	GTAAACTGCT	TTTATCTGTG
151	ACGAATATGA	CGGTAGCATA	TGAATAAGGA	TCGGCTAACT	CCGTGCCAGC
201	AGCCGCGGTA	ATAATCGAAT	TCCC GCGGCC	GCCATGGCGG	CCGGGAGCAT
251	GCGACGTCCG	GCCCAATTCG	CCCTATAGTG	AGTCGTATTA	CAATTCACTG

## RB2.2 โคลนที่ 2

1	ATATGGTCGA	CCTGCAGGCG	GCCGCGAATT	CACTAGTGAT	TATTACCGCG
51	GCTGCTGGCA	CGGAGTTAGC	CGGGGCTTCT	TCTGTGGGTA	CCGTCATTAT
101	CTTCCCACT	GAAAGAGCTT	TACAACCCTA	AGGCCTTCAT	CACTCACGGC
151	GCATGGCTGG	ATCAGGCTTT	CGCCATTGT	CCAATATTCC	CCACTGCTGC
201	CTCCCGTAGG	AATCGAATTC	CCGCGGCCGC	CATGGCGGCC	GGGAGCATGC
251	GACGTCGGGC	CCAATTCGCC	CTATAGTGAG	TCGTATTACA	ATTCACTGGC

## RB2.2 โคลนที่ 3

1	GGGAGCTCTC	CCATATGGTC	GACCTGCAGG	CGGCCGCGAA	TTCACTAGTG
51	TTCTACGGG	AGGCAGCAGT	GGGGAATATT	GCACAATGGG	CGCAAGCCTG
101	ATGCAGCGAC	GCCGCGTNNN	GGGATGACGG	CCTTCGGGTT	GTAAACCTCT
151	TTCCGCGGG	ACGAAGCGCA	AGTGACGGTA	CCTGGAGAAG	AAGGACCGGC
201	CAACTACGTG	CCAGCAGCCG	CGGTAATAAT	CGAATTCCCG	CGGCCGCCAT
251	GGCGGCCGG	AGCATGCGAC	GTCGGGCCCA	ATTCGCCCTA	TAGTGAGTC

## RB2.2 โคลนที่ 4

1	TATGGTCGAC	CTGCAGGCGG	CCGCGAATTC	ACTAGTGATT	TCTACGGGAG
51	GCAGCAGTAG	GGAATATTGG	ACAATGGGCG	AAAGCCTGAT	CCAGCAATGC
101	CGCGTGAGTG	ATGAAGGCCCT	TAGGGTTGTA	AAGCTCTTTT	ACCCGGGATG
151	ATAATGACAG	TACCGGGAGA	ATAAGCCCCG	GCTAACTCCG	TGCCAGCAGC
201	CGCGGTAATA	ATCGAATTCC	CGCGGCCGCC	ATGGCGGCCG	GGAGCATGCC
251	ACGTCGGGCG	CAATTCGCCC	TATAGTGAGT	CGTATTACAA	TTCCTGCGCC

## RB2.3 โคลนที่ 1

1	GACCTGCATG	GCGGCCGCGA	ATTCACTAGT	GAATTCCTAC	GCGGAGGCAG
51	CAGTGGGGAC	ATATTGCACG	AATGTGGCGC	ACGCTGATG	CAGCGACGCC
101	GCGTGAGGGA	TGACGGCCTT	CGGGATTGTA	AACCTCTTTC	GCCAGGGACG
151	AAGCGCATGT	GACGGTACCT	GGAGAAGAAG	GACCGGCCCA	ACTACGTGCC

## RB2.3 โคลนที่ 2

1 AGGCGGCCGC GAATTCAC TA GTGATTCCTA CGGGAGGCAG CAGTAAGGGA  
 51 TCTTCCGCAA TGGACGCAAG TCTGACGGAG CGACCCGCG TCGCGCACGA  
 101 AGCCCTTCGG GGTGTAAGCC GC'TTTTGTTCG AGGAAGACAC CCGACGGTAC  
 151 TCGGCGAATA AGCAACGGCT AACTACGTGC CAGCAGCCGC GGTAATAATC  
 201 GAATTCGCCG

## RB2.3 โคลนที่ 3

1 GGGAGCTCTC CCATATGGTC GACCTGCAGG CGGCCGCGAA TTCACTAGTG  
 51 ATTCCTACGG GAGGCAGCAG TGGGGAATAT TGCACAATGG GCGCAAGCCT  
 101 GATGCAGCGA CGCCGCGTGA GGGATGACGG CCTTCGGGTT GTAAACCTCT  
 151 TTCGCCAGGG ACGAAGCGCA AGTGACGGTA CCTGGAGAAG AAGGACCGGC  
 201 CAACTACGTG CCAGCAGCCG CGGTAATAAT CGAATTCCCG CGGCCGCCAT  
 251 GGCGGCCGGG AGCATGCGAC GTCGGGCCCA ATTCGCCCTA TAGTGAGTCG

## RB2.3 โคลนที่ 4

1 TATGGTCGAC CTGCAGGCGG CCGCGAATTC ACTAGTGATT CCTACGGGAG  
 51 GCAGCAGTGG GGAATATTGC ACAATGGGCG CAAGCCTGAT GCAGCGACGC  
 101 CGCGTGAGGG ATGACGGCCT TCGGGTTGTA AACCTCTTTC GCCAGGGACG  
 151 AAGCGCAAGT GACGGTACCT GGAGAAGAAG GACCGGCCAA CTACGTGCCA  
 201 GCAGCCGCGG TAATAATCGA ATTCCCGCGG CCGCCATGGC GGCCGGGAGC  
 251 ATGCGACGTC GGGCCAATT CGCCCTATAG TGAGTCGTAT TACAATTCAC

## ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ internal transcribed spacer ของยุงคาริโอด

## PJ1 โคลนที่ 1

1 GCTATTTAGG TGACACTATA GAATACTCAA GCTATGCATC CAACGCGTTG  
 51 GGAGCTCTCC CATATGGTCG ACCTGCAGGC GGCCGCGAAT TCACTAGTGA  
 101 TTGTAGGTGA ACCTGCGGAA GGATCATTAA CACTAATCCA ACACAACCTCA  
 151 ACCAAGCCTT CAGTTGCAGC AGCAGCGCTC GCCTCGTGCA GTGCAGCTGG  
 201 TGCAGCCAAC ACAAACCTAA TCACGCAAAG GGGCCTAACT AAGCTCAACC  
 251 ACAAAACCAA ATTCTCAACG ATGGATATCT TGGTTCCCAT AACGATGAAG  
 301 AACGCAGCGA AGTGGGATAA GCAATGCGAA TTGCAGAACC GTGAGTCATC  
 351 AGATTTTGA ACGCAACTGG CGCCGGCTGG CCTCCAGCC GGCATGCTTG  
 401 TTTTCAGTGC TCTTTATCTC ATCACCCAAA TCATAATGCG AGAGATGCC  
 451 TTCTCTTGCC AAGCACGAAA GCACTCTGCG CTCTGCGGGC GGCTTCGACT  
 501 CGTTCGACGG CCGCACTCAA TGCAGCGGTC ACATTGCTCA C

## PJ1 โคลนที่ 2

1 CTATTTAGGT GACACTATAG AATACTCAAG CTATGCATCC AACGCGTTGG  
 51 GAGCTCTCCC ATATGGTCGA CCTGCAGGCG GCCGCGAATT CACTAGTGAT  
 101 TTCCTCCGCT TATTGATATG CCGCAGGTTT ACCTACGGAA GGATCATTAC  
 151 AAATGTGAGT GGGATGAGGT GTGGTGTGTA AAGATGCTGC CTTTGTCTTG  
 201 TAAGCCTACT TCCGAAAGGA AGCTGGACAC GTGTGTGCTG GATTGTGAGC  
 251 AATCACAGCC GCACACTACA TAGACTTTAA ATCATGACTT AACAGATTCT  
 301 TAAATTAAAA CCAAACTTTT TAACAATGGA TCTCTTGGCT CTTGCAACGA  
 351 TGAAGAACGC AGTGAATGC GAAACGTAAT GCGATTTGCA GCATCTGTGA  
 401 GTCATCGAGT CTTTGAACGC ACTTGGCACC TGGAGATGAT CCAGGTATAC  
 451 CTGTTTGAGC AGAATATCCA ATTTAGTTGA GTCTCACGTT GAGCGTGTGG  
 501 CTTG

## PJ2 โคลนที่ 2

1 GCTATTTAGG TGACACTATA GAATACTCAA GCTATGCATC CAACGCGTTG  
 51 GGAGCTCTCC CATATGGTCG ACCTGCAGGC GGCCGCGAAT TCACTAGTGA  
 101 TTTCCCTCCGCT TTATTGATAT GCCGCAGGTT CACCTACGGA CCCCCGTTGC  
 151 CCCC GCCCCG CCGCCGCGC GCGGCGGCGT AGGTGAACCT GCGGAAGGAT  
 201 CATTTATAAT TCATAAATGT TATTCTTGAA TAAACGTTCA AAAGAAGGAA  
 251 ACTTCTTTTT GTTTGCTTAT TCATAGGTTT TAAATGTTAA ATAAACATCC  
 301 TAAATATCTT AAATTTTCAA CGATGGATAT CTAGGCTCCT ATAACGATGA  
 351 AGAACGCAGC GAAATGCGAT ACGCAATGCG AATTGCAGAA CCGTGAGTCA  
 401 TCAGATTTTT GAACGCAAGT GCGCATGGTT TCGGCCATCA TGTTTTGTTTC  
 451 AGTGTGTTTCG GTTAATTGCA TCATAGAATT TAATGTGACT GAAGCAATTC  
 501 TTTCACTAAA TACGAAATAA TGCC

## RB1.1 โคลนที่ 2

1 GCTATTTAGG TGACACTATA GAATACTCAA GCTATGCATC CAACGCGTTG  
 51 GGAGCTCTCC CATATGGTCG ACCTGCAGGC GGCCGCGAAT TCACTAGTGA  
 101 TTGGGGCACG GGGGGTCCGT TGAACCTGCG GAAGGATCAT TACCGAGTGC  
 151 GGGCCCTCGC GGCCCAACCT CCCACCTTG TCTCTATACA CCTGTTGCTT  
 201 TGGCGGGCCC ACCGGGGCCA CCTGGTCGCC GGGGGACGCA CGTCTCCGGG  
 251 CCCGCGCCCG CCGAAGCGCT CTGTGAACCC TGATGAAGAT GGGCTGTCTG  
 301 AGTACTGTGA AAATTGTCAA AACTTTCAAC AATGGATCTC TTGGTTCCGG  
 351 CATCGATGAA GAACGCAGCG AAATGCGATA AGTAATGCGA ATTGCAGAAT  
 401 TCCGTGAATC ATCGAATCTT TGAACGCACA TTGCGCCCCC TGGCATTCCG  
 451 GGGGGCATGC CTGTCCGAGC GTCATTTCTG CCCCCAAGCA CGGCTTGTGT  
 501 GTTGGGTGTG GTCCCCCGG GGACCTGC



ลำดับนิวคลีโอไทด์และกรดอะมิโนบริเวณ Rieske ของยีนไดออกซิจีเนส

Positive control

C R H R G M R I C R T D A G N A K  
 1 TGTCGGCACC GGGGCATGCG CATTGTGCGC ACGGACGCCG GTAATGCAAA  
 A F T C T Y H G W  
 51 GCGTTCACC TGCACCTACC ACGGCTGG

PJ

I T S E F A A A C R S T I W E S S  
 1 ATCACTAGTG AATTCGCGGC CGCCTGCAGG TCGACCATAT GGGAGAGCTC  
 51 C

RB1

C R H R G N K V C Q F D K G N A N  
 1 TGTCGGCACA GGGCAATAA AGTCTGTCAG TTCGACAAGG GCAACGCGAA  
 I F H C S Y H G  
 51 CATCTTTCAC TGCTCCTACC ACGGC

RB2

I T S E F A A A C R S T I W E S  
 1 ATCACTAG TGAATTCGCG GCCGCTGCA GGTCGACCAT ATGGGAGAGC

รูปที่ ๑.1 แสดงลำดับนิวคลีโอไทด์และกรดอะมิโนบริเวณ Rieske ของยีนไดออกซิจีเนส โดยบริเวณที่แรเงาเป็นบริเวณอนุรักษ์ Cysteines และ Histidines ที่เชื่อมต่อกับ Rieske iron-sulfur center

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุชมาล ปานศรี เกิดเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดนนทบุรี ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2547 และเข้ารับการศึกษต่อในระดับปริญญาโทบัณฑิตสาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2547