รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การปกครอง, กรม. 2532. บัญชีแสดงจำนวนราษฎรและจำนวนบ้านในวันที่ 31 ธันวาคม 2532 ทั่วราชอาณาจักร. กรุงเทพมหานคร: กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. (อัดสำเนา)คณะกรรมการเฉพาะกิจเพื่อพิจารณากำหนดนโยบายและแนวทางการแก้ไขปัญหามลพิษ ทางน้ำ อากาศ และเสียงในประเทศไทย. 2532. นโยบายและมาตราการเร่งด่วนเพื่อการแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำ อากาศ และเสียงในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัดฟันนี่พับบลิชชิง.

คณะกรรมการเพื่อพิจารณากำหนดนโยบายและแนวทางการแก้ไขปัญหามลพิษ ทางน้ำอากาศและเสียงในประเทศไทย. 2532. นโยบายและมาตราการเร่งด่วนเพื่อการแก้ไขปัญหามลพิษทาง น้ำ อากาศ และเสียงในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัดฟันนีพับบลิชชิง.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2530. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 6 กรุงเทพมหานคร: ซวนพิมพ์.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2530. น้ำเสียชุมชนและปัญหามลภาวะทางน้ำในเขตกทม. และปริมณฑล. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, พฤศจิกายน.

ปรัชญา ธัญญาดี. 2532. ความรู้เรื่องอินทรีย์วัตถุในดิน. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

ฝ่ายจัดการกากของเสีย กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2532.แนวโน้มการใช้ประโยชน์ของเสีย. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร: กันยายน.

ศิราณี ศิริสุโขดม. 2535. ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเติบโตและการสะสมโลหะหนักในน้ำมันพืชบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมจังหวัดปทุมธานี. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2528. เชื้อจุลินทรีย์และการบำบัดน้ำเสีย. เอกสารการสัมมนา Technologies for Microbial Conversion of Wastes, สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับ UNESCO, 19-20 ธันวาคม.

สมศักดิ์ วังใน. 2528. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.

วิเชียร เฮงสวัสดิ์. 2526. การควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยชีววิธี. ภาควิชากีฏวิทยาคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรรณพ หอมจันทร์. 2535. ความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิดจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อ ผักคะน้า(Brassica aleracea L. Var.(Alboglabra Bailey)และ ผักกาดหอม(Lactuca safava L.) ในสภาพเรือนทดลอง. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2529. การใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียในรูปของปุ๋ย สำหรับพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดฉะเชิงเทรา. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____. 2532. ทางเลือกที่ได้รับประโยชน์คืนมาจากการลงทุนแก้ไขปัญหามลภาวะน้ำ. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม. 11: 69-87.

ภาษาอังกฤษ

Agbin, N.N., Sabey, B.R., and Markstrom, D.C. 1977. Land application of sewage sludge: V. Carbondioxide production as influenced by sewage sludge and wood waste mixtures. J. Environ. Qual. 6(4):446-451.

Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2nd ed. New York John Wiley and Sons.

Alloway, B.J., and Jackson, A.P., and Morgan, H. 1990. The accumulation of caadmium by vegetables grown on soils contaminated from a variety of source. Sci. Total Environ. 91: 223 - 236.

Alloway, B.J., and Jackson, A.P. 1991. The behavior of heavy metals in sewage sludge-amended soil. The Science of the Total Environmental. 100: 151-176.

Anderson, J.P., and Domsch, K.H. 1973. Quantification of bacterial and fungal contributions respiration. Arch. Mikrobiol. 93: 113-127.

Aschman, S.G., Mc Intosh, M.S., Angle, J.S., Hill, R.L., and Weil, R.R. 1990. Nitrogen status of forest floor, soils, and vegetation following municipal waste water sludge application. J.Environ. Qual. 19: 678-694.

Ballen, W.B., and Glennie, D.W. 1961. Processing wood wastes to increase crop yields. Oregon. Agric. Exp. Stn. Tech. Pap. no. 1262.

Ballen, W.B., and Lu, K.C. 1957. Effercts of Douglas-Fir sawdust mulches and incoporations on soil microbial activities and plant growth. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 35-41.

Balzer, W., and Ahrens, E.1990. The effects of longterm sewage applications and resulting accumulations of heavy metals on the microbial activity in three different soils. Verband Dentscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs-Forschungsan-stalten, Reihe Kongressberichte, (No. 32).

Bernhard, A., and Lanwerys, R. 1984. Cadmium in the human population. Experientia. 40: 143-152.

Bewley, R.J.F. 1980. Effects of heavy metal pollution on oak leaf microorganisms. Appl. Environ. Microbiol. 40: 1053-1059.

Bewley, R.J.F., and Campbell, R. 1980. Influence of zinc lead, and cadmium pollutants on the microflorra of hawthorn leaves.Microb. ecol. 6: 227-240.

Bewley, R.J.F., and Stotzky, G. 1983. Effects of cadmium and zinc on microbial activity in soil: Influence of clay minerals, Part1: Metals added invidually. Sci. Total environ. 31: 41-55.

Bicknell, S.R. 1972. Salmonella aberdeen infection in cattle associated with human sewage. J. Hyg. Camb. 70: 121-126.

Bisessar, S. 1982. Effect of heavy metals on microorganisms in soils near a secondary lead smelter. Water Air Soil pollut. 17: 305-308.

Blair, W.R., Olson, G.J., Brinckman, F.E., and Iverson, W.P. 1982. Accumulation and fate of tri-n-butyltin cation in estuarine bacteria. Microb. Ecol. 8: 241-151.

Brookes, P.C., McGrath, S.P., Klein, D.A., and Elliott, E.T. 1984. Effects of heavy metals on microbial activity and biomass in field soils treated with sewage sludge. Environmetal Contamination: United Nations Environment Programme. 574-583.

Bunting, A.H. 1963. Experiments on organic manures 1942-1949. J. Agric. Sci. 60: 121-140.

Burrow, W. 1985. Textbook of microbiology. 22 nd. eds. Japan: W.B. Saunders.

Canada Department of Agriculture. 1972. Glossary of Terms in Soil Science. Publ. No. 1459.

Carter, A. 1987 Someaspects of the fungal flora in nickel-contaminated soil near Sudbury, Ontario, Canada. M.Sc. Thesis, University of Ontario, Toronto.

Chander, K., Brookes, P.C. 1991. Effects of heavy metals from pasts of sewage sludge on microbial biomass and organic matter accumulation in a sandy loam and silty loam up soil. Soil Biol Biochem. 23: 927-932.

Chaney, R.L., Kelly, J.M., and Stricland, R.C. 1978. Influence of cadmium and zinc on carbondioxide evolution from litter and soil from litter and soil from a black oak forest. J.Environ. Qual. 7: 115-119.

Chang, A. C., Page, A.L., and Warneke, J. E. 1983. Soil conditioning effects of municipal sludge compost. J. of Environ. Eng. 109(3): 574 - 583.

Chang, F.H., and Broadbent, F.E. 1982. Influence of trace metals on some soil nitrogen transformation. J. Environ. Qual. 11: 1-4.

Cohen, M.L., et al. 1980. Turtle-associated Salmonellosis in the United States: Effect of public health action, 1970 to 1976. J. Amer. Med. Assn. 243: 1247-1249.

Cole, D.W., Henry, C.L., and Nutter, W.L. 1986. The forest for treatment and utilization of municipal and industrial wastes. Seasttle: Univ. Washinton.

Coppola, S. 1983. Soil microbial activities as affected by application of composted sewage sludge. In G. Catroux et al.(ed.). The influences of sewage application on physical and biological properties of soils. Boston: Ma. Reidel. 170-195.

Davis, R. D. 1984. Crop uptake of metals (cadmium, lead, mercury, copper, nickle, zinc, and chromium), and sludge - trested soil and its implications for soil fertility and for human diet. P. L 'Hermite and H. Ott (eds.), Processing and use of sewage sludge. Reidel, Dordrecht, 349 - 357.

De Jong, H., and Ekdahl, M.O. 1965. Salmonellosis in calves the effect of dose rate and other factors on transmission. New Zealand Veterinary Journal. 13: 59.

Doelman, P. 1985. Resistance of soil microbial communites to heavy metals. J. Microbial Communities in Soil. Jensen, V., Kjoller, A., and Sorensen, L.H. (ed.). London: Elsevier Applied Science 369-384.

Doran, J.W.R., Ellis, J.R., and Mc Calla, T.M. 1976. Processings eight annual waste management conference. Cornell University. USA.

Dudley, L.M., McNeal, B.L., and Baham, J.E. 1978. Time-dependent changes insoluble organics, copper, nicle, and zinc from sludge - amended soils. J. Environ. Qual. 15: 188-192.

Duxbury, T. 1985. Ecological aspects of heavy metal responses in microorganisms. In K.C. Marshall(ed.) Advance in Microbial Ecology. Vol.8, New York and London: Plenum. 185-235.

Ebregt, A., and Boldwijn, J.M.A.M. 1977. Influence of heavy metals in spruce forest soil on amylase activity, CO_2 evolution from starch, and soil respiation. Plant soil. 47: 137-148.

Effler, S.W., et al. 1980. Whole lake responses to low level copper sulfate treatment, Water Res. 14: 1489-1499.

Elliott,H.A. 1986. Phyto-edaphic communities of the upper Rio Puerco Watershaed, New Maxico. USA Forest Service Res. RM-272 Rocky Mountain Forest and Range Exp. Stn. Fort. Collins.

Elliott, H.A., Liberati, M.R., and Huang, C.P. 1986. Competitive adsorption of heavy metals by soil. J. Environ. Qual. 15: 214-219.

Eptein, E. 1975. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. J. Environ. Qual. (41): 139 - 142.

Flaig, W. Nagar, B., Sochting, H., and Tietjen, C. 1977. Organic Materials and soil Productivity. cademic: Italy.

Fletcher, P., and Beckett, P.H.T. 1987. The chemistry of heaavy metals in digested sludge: II. Heavy metal complexation with soluble organic matter. Water Res. 21:1163-1172.

Folett, R.H., Murphy, L.S., and Donahne, R.L. 1981. Fertilizers and soli amendments. New Jersey: Prentice Hall.

Foth, H.D. 1978. Fundamentals of soil science. 6th ed. New York: John Wiley and sons.

Frankenberger, W.T., and Johansan, J.B. 1983. Method of measuring invertase activity in soils. Plant Soil 74: 301-311.

Freedman, B., and Hutchinson, T.C., 1980. Effects of smelter pollutants on forestleaf litter decomposition near a nickle-copper smetter at Sudbury, Ontario, Can. J. Bot. 58: 1722-1736.

Fresquez, P.R., Francis, R.E., and Dennis, G.L. 1990. Sewage sludge effects on soil and plant quality in a degraded, semiarid grassland. J. Environ. Qual. 19: 324-329.

Fricke, C., et al. 1985. Comparing priority pollutants in municipal sludges. Bio. Cycle. 26: 35.

Gadd, G.M. 1992. Microbial control of heavy metal pollution. In J.C. Fry, G.M. Gadd, R.A.Herbert, C.W. Jones, and I.A. Watson-Craik (eds.), Microbial control of pollution. 58-88. Greate Britain: The Bath.

Godfree, A.F., Jones, F., Satchwell, M., and Watson, D.C. 1983. The effectiveness of chemical disinfection on faecal bacteria in sludge. WRC-conference on stabilization and disinfaction of sewage sludge. 22: Univ. of Manchester, Institute of Science and Technology, England, 12-15 April 1983.

Gould, M.S., and Genetelli, E.J. 1978. Heavy metal complexation behaviour in anaerobically digested sludges. Water Res. 12: 505-512.

Gronstol, H., Osborne, A.D., and Pethiyagoda, S. 1974. Experimental Salmonellainfection in calves. The effect of stress factors on the carrier state. J. Hyg. Camb. 72: 155-162.

Haanstral, L., Doelman, P., and Oude Voshaar, J.H. 1985. The use of sigmoidal dose response curves in soil ecotoxicological research. Plant and Soil 84: 293-297.

Hall, J.E., and Williams, J.H. 1986. The use of sewage on arable and grassland. S. Berglund, R.D. Davis and P.L'Hermite(eds.) Utilisation of sewage sludge on land: rates of application and long-term effects of metals. 22-35. D. reidel: Halland.

Hartman, L.M.1975. Fungal flora the soil as conditoned by varying concentrations of heavy metals. Diss. Abstr. Int. B. Sci. Eng. 37: 2041.

Hartenstein, R. 1981. Sludge decomposition and stabilization. Science. 212: 743-749.

Hasbach, A.C. 1991. Working with sludge options for beneficial use. Pollution Engineering. 23: 62-69.

Hassett,J.M., Jennett, J.C.,and Smith, J.E. 1981. Microplate technicque for determining accumulation of metals by algae. Appl. Environ. Microbiol. 41: 167-173.

Hattori, H. 1989. Influence of csdmium on decomposition of sewage sludge and microbial activities in soils. Soils Sci. Plant Nutr. 35: 289-299.

_____. 1991. Influence of cadmium of decomposition of glucose and cellulose in soil. Soil Sci. Plant Nutr. 37: 39-45.

_____. 1992. Influence of heavy metala on soil microbial activities. Soil Sci. Plant Nutri. 38: 93-100.

Heckman, J.R., Angle, J.S., and Chaney, R.L. 1986. Soybean nodulation and nitrogen fixation on soil previously amended with sewage sludge. Biol. Fertil. Soils. 2: 181-185.

Heckman, J.S., Angle, J.S., and Chaney, R.L. 1987. Residual effects of sewage on soybeen: I. Accumulation of heavy metals. J. Environ. Qual. 16: 113-114.

Hemphill, IR. D., et al. 1982. Sweet corn respose to application of three sewage sludges. J. Environ. Qual. 11: 191-196.

Henning, M. W. 1956. Animal diseases in South Africa. 3rd ed. Central News Agency: South Africa.

Hsieh, Y.P., Douglas, L.A., and Motto, H.L. 1981. Modeling sewage sludge decomposition in I. Organic carbon transformation. J. Environ. Qual. 10: 54-59.

Hsu, H.S. 1989. Pathogenesis and immunity in murine salmonellosis. Microbiological Reviews. 53(4): 390-409.

Hutchinson, T.C. 1979. Copper contamination of ecosystems caused by smelter activities. in Nriagu, J.O. (ed.) Copper in the Environment. Part 1: Ecological cycling. New York: Wiley & Sons.

Joklik, W.K., Willett, H.P., and Amos, D.B. 1980. Zinesser Microbiology. 17th ed. Appleton Century Crofts: The United States of America.

Jones, P.W. 1983. The survival and infectivity for cattle of salmonellas on glassland. Processing and use of sewage sludge: Proceedings of the third international symposium held at Brighton,

September 27-30; Belgium: D. Reidel Publishing Company.

Jones, P.W., Bew, J., Burrow, M.R., Mathews, P.R.J., and Collins,P. 1976. The occurrence of salmonellas, mycobacteria and pathogenic strains of Escheichia coli in Pig Slurry. J. Hyg. Camb. 77: 43-50.

Jones, P.W., and Mathews, P.R.J. 1975. Examination of slurry from cattle for pathogenic bacteria. J. Hyg. Camb. 74: 57-64.

Jones, P.W., and Watson Craik, I.A.1980. Microbial Control of Pollution. Great Britain: Cambridge University Press. Gilmour, J.J. and Gilmour, C.M. (ed.). A simulation model for sludge decomposition in soil. Environ. Qual. 9: 194-199.

Jordan, M.J., and Lechevalier, M.P. 1975. Effects of zinc-smelter emission on forrest soil microflora. Can. J. Microbiol. 21: 1855-1865.

Kaarik, A. A.1974. Decomposition of wood. In C.H.Dickinson and Pugh, G.J.F.(ed.). Biology of plant litter decomposition. Vol.1 Academic: New York. 129-174.

Kampelmacher, E. H., and Jansen, L. M. van noorde. 1974. Water 7, 418. quoted in Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2nd ed. New York John Wiley and Sons.

Kelling, K.A., Peterson, A.E., Walsh, L.M., Ryan, J.A., and Keeaey, D.R. 1977. A field study of the agricultural use of sewage sludge: I Effect on crop yield and uptake of N and P. J. Environ Qual. 6: 339-344.

Khaleel, R., Reddy, K.R., and Overcash, M.R. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: A review. J. Environ Qual. 10:133-141.

Kim, S.J., Chang, A. L., and Warneke, J.E. 1988. Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plant grown on sludge-treated soils. J. Environ. Qual. 17:568-573.

King, L.D. and Dunlop, W.R. 1982. Application of sewage sludge to soils high in organic matter. J. Environ. Qual. 11: 608-616.

Klowden, M.J., and Greenberg, B. 1976. Salmonella in the America cockroach: evoluation of vector potential through dosed feeding experiments. J. Hygiene. 77:105-111.

Kuntze, H., Pluquet, E., Stark, J.H., and Coopoid, S. 1984. Current techniques for the evaluation of metal problems due to sludge. In P.L. Hermite and H. Ott(eds.), Processing and Use of Sewage Sludge. D. Reidal Publishing Company, Holland. 394-403.

Kurek, E., Czabaon, J., and Bollag, J.M. 1982. Adorption of cadmium by microorgnisms in competition with other soil constituents. Appl. Environ. Microbiol. 43: 1011-1015.

Leland, H.V., Luoma, S.N., and Fielden, J.M. 1982. Bioaccumulation and toxicity of heavy metals and related trace elements. J. Water Pollut. Control Fed. 51: 1592-1616.

Liang, C.N., and Tabatabia, M.A. 1977. Effects of trace elements on nitrogen mineralization in soils. Environ. Pollut. 12: 141-147.

Lutrick, M.C., Robertoon, W.K., and Cornell, J.A. 1982. Heavy application of liquid digested sludge on three ultisol: II Effects on mineral uptake and crop yield. J. Environ. Qual. 11: 283-284.

Macaskie, L.E., and Dean, N.J. (eds.) 1979. Microbial Ecology: A Conceptual Approach, Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Macaskie, L.E., Wates, J. M., and Dean, A. C. R. 1987. Cadmium accumulation by a Citrobacter sp. immobilized on gel and solid supports: applicability to the treatment of liquid wastes containing heavy metal cations. Biotechnology and Bioengineering. 30: 66-73.

Macfadyen, A. 1971. The soil and its total metabolism, In J.Phillipson (ed.) Methods of study in quentitative soil ecology: population, production and energy flow. pp.1-13. Oxford: Blackell Scientific.

Manson, J. 1986. Sludge-the challange ahead. Water & Waste treatment. 29:14-20.

Marshall, K.C. 1975. Clay mineralogy in relation to survival of soil bacteria. Annu. Rev. Phytopathol. 13: 357-373.

Martin, J.P., Martin, W.P., Page, J., Raney, W.A., and De Ment, J.P. 1955. Soil Aggregation. Adv. in Agron. 7: 2-35.

Mathur, S.P. 1981. Organic soil subsidence: A scan of conventional wisdom and current research. Proceedings of the organic soils mapping and interpreations workshop. Fredericton, New Brunswick 15-18 Sept. Research Branch, Agriculture Canada.

Matthews, P. 1987. Agricultural use of sewage sludges there a future ? : Changes in legistation and Guidelines. Water & Waste Treatment. 30: 32-43.

Miller, R.H. 1974. Factors affecting decomposition of an anaerobically digested sewage sludge in soil. J. Environ. Qual. 3: 376-380.

Mulvaney, R.L., and Bremner, J.M. 1981. Control of urear transformations in soils. Soil Biochemistry. Vol. 5 E.A. Paul and J.N. Lad (eds.) New York: Marcel Dekker.

Nazer,A.H.K.,andOsborne,A.D. 1977. Experimental Salmonella dublin inflection in calves. British Veterinary Journal. 133: 388.

Neal,R.H.and Sposito, G. Effects of soluble organic matter and sewage sludge amendments on cadmium sorption by soils at low cadmium concentretions. Soil sci. 142: 164-172.

Nordgren, A.1986. Soil microbial effects of smelter induced heavy metal contamination. Docteral thesis University of Lund. Germany.

Nordgren, A., Baath, E., and Soderstrom, B. 1983. Microfungi and microbial activity along a heavy metal gradient. Appl. Environ. Microbial. 45: 1829-1837.

Ohya, H., Komai, Y., and Yamaguchi, M. 1985. Zinc effects on soil microflora and glucose metabolites in soil amended with ^{14}C-glucose. Biol. Fertil. Soils. 1:117-122.

Paul, E.A., and Clark, F.E. 1989. Soil microbiology and biochemistry. The United State of America: Academic.

Petruzzelli, G., Guidi, G., and Lubrano, L. 1986. Modification of heavy metals solubility in soil treated with sewage sludge. Processing and use fo organic sludge and liquid agricultural wastes. P'.L'Hermite (ed.) D. Reidel, Dordrecht, pp. 478-484.

Pichtel, J.R., Dick, W.A., and McCoy, E.L. 1989. Binding of Fe from minespoil by water-soluble organic materials extracted from sewage sludge. J. Environ. Qual. 148:140-148.

Pichtel, J.R., and Hayes, J.M. 1990. Influence of fly ash on soil microbial activity and populations. J. Environ. Qual. 19: 593-597.

Rai,L.C., Gaur, J.P., and Kumar, H.D. 1981. Phycology and heavy metal polltion. Biol. Rev Camb. Philos. Soc. 56: 99-151.

Ram, N., and Vertoo, M.1985. Effect of various organic materials on the mobility of heavy metals in soils. Environ. Pollut. 10: 241-248.

Rebhun, M., and Manka, J.1971. Classification of organics in secondary effluents. Environ. Sci. Technol. 5: 606-609.

Ruhling A., Baath, E., Nordgren, A., and Soderstrom, B. 1984. Fungi in metal-contaminated soil near the Gusum brass mill, Sweden. Ambio. 13: 34-36.

Ruhling, A., and Tyler, G. 1973. Heavy metal pollution and decomposition of spruce needle litter. Oikos. 24: 402-416.

Ryan, J.A., Pahren, H.R., and Lucas, J.B. 1982. Controlling cadmium in human food chain: A review and rationale based on health effects. Environ. Res. 28: 251-302.

Sander, J.G., Ryther, J.H., and Batcheldder, J.H. 1981. Effects of copper Chlorine snd thermal addition on the species composition of marine phytoplankton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 49:81-102.

Schaumberg, G.D., Le Vesque-Madore, C.S., Sposito, G., and Lund, L.J. 1980. Infrared spectroscopic study of the water-soluble fraction of sewage sludge-soil mixtures during incubation. J. environ. Qual. 9 : 297-303.

Schnitzer,M., and Khan, S. U. 1983. Soil organic matter. 2nd ed. Natherlands: Elsevier Science.

Schreiber-Rothschild, R. 1980. Hygienic investigations of lime conditioning of sewage sludge. Doctoral thesis, Universitat Hohenheim, Stuttgart, Germany.

Sheaffer, C.C., Decker, A.M., Changey, R.L., and Douglass, L.W. 1979. Soil temperature and sewage sludge effects on corn yield and macronutrient conten. J. Environ. Qual. 8: 450-454.

Shumate, S. E., and Standberg, G.w. 1985. Accumulation of metals by microbial cells. In Comprehensive Biotechnology. M. Moo-Young, C. N. Robinson, and J. A. Howell (ed.) 235-247. New York: Pergmon.

Sommer, L.E. 1977. Chemical composition of sewage and analysis of their potential use as fertilizers. J. Environ. Qual. 6: 225-232.

Sposito, G., Lund, L.J., and Chang, A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni Cu Zn Cd and Pb in solid phases. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 260-264.

Starc, A. 1942. Arch. Mikrobiol. 12: 329-325. quoted in Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2nd ed. New York John Wiley and Sons.

Stevenson, F.J. 1977. Nature of divalent transition metal complexes of humic acids as revealed by a modified potentiometric titration method. Soil Science. 123: 10-17.

Subba Rao, N.S. 1982. Utilization of farm waste and residues in agriculture. N.S. Subba Rao (ed.) Advances in agricultueral microbiology. New Delhi: Butterworth Scientific.

Tate, R.L. 1991. Microbial biomass measuerment in acidic soil: effect of fungal: bacterial activity ratios and of soil amendment. Soil Science. 152: 220-225.

Tebutt, T.H.Y. 1988. Principle of water Quality Control. 4th ed. Great Britain : BPCC Wheatons.

Terry, R.E., Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1979. Carbon cycling during sewage sludge decomposition in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 494-499.

Thomas, K.L. 1967. Monthly Bulletin, Ministry of Health. 26,39. quoted in Jones, P.W. 1983. The survival and infectivity for cattle of salmonellas on glassland. Processing and use of sewage sludge: Proceedings of the third international symposium held at Brighton, September 27-30; Belgium: D. Reidel.

Tyler, G. 1974. Heavy metal pollution and soil enzymatic activity. Plant Soil. 41: 303-311.

_____. 1975. Heavy metal pollution and mineralization of nitrogen in forest soils. Nature Land. 255: 701-702.

_____.1976. Heavy metal pollution phosphatase activity and mineralization of organic phosphorus in forests soils. Soil Biol. Biochem. 8: 327-332.

____. 1977. Effects of heavy metal pollution on decomposition in forest soils, III: Extended studies and concluding evaluation. Statens Naturvardsverk PM. 861: 1-105.

____. 1981. Heavy metals in soil biology and biochemistry. Soil biochemistry. Vol.5 E.A. Paul and J.N. Ladd(eds.) New York: Marcel Dekker.

Varanka, M.W., Zablocki, Z.M., and Hinesly, T.D. 1976. The effect of digested sludge on soil biological activity. J. Water Pollut. Control Fed. 48: 1728-1740.

Vertoo, M., and Cottenie, A. 1972 Stability and behaviour of complexes of Cu, Zn Fe, Mn and Pb with humic substances of soils. Pedologic. 22: 174-184.

Waksmom, S.A., Cordon, T.C., and Hulpoi, N. 1939. Soil Science., 47: 83-113. quoted in Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2nd ed. New York John Wiley and Sons.

Wallis, P.M., and Lehmann, D.L. 1983. Biological health risks of sludge disposal to land in cold climates. In: P.L' Hermite and H. Ott(eds.) Processing and use of sewage sludge: Proceedings of the third international symposium held at Brighton, September 27-30; Belgium: D. Reidel.

Webber, M.D., Kloke, A., and Tjell, J. Chr. 1984. A review of current sludge use guideline for the control of heavy metal contamination in soils. In: P.L' Hermite and H. Ott(eds.) Processing and Use of Sewage Sludge: Proceedings of the Third International Symposium held at Brighton, September. 371-385. Belgium: D. Reidel.

Weber, J.H. 1988. Binding and tranport of metals by humic materiala. In: F.H. Frimmel and R.F. Christman (eds.) Humic Substances and their Role in Environment. New York: Wiley-Interscience.

Whittaker, R,H. 1975. Communities and Ecosystems. 2nd ed. New York: Macmillan.

WHO working group. 1981. The risk to health of health of microbes in sewage sludge applied to land. EURO reports and studies. no. 54. Reginal Officefor Europe, Copenhegen: World Health Organization.

Williams, S.T., McNeilly, T., and Wellington, E.M.H. 1977. The decomposition growing on metal mine wastes. Soil Biol. Biochem. 9: 271-275.

Witkamp, M. 1973. Compatibility of microbial measurements. Bull. Ecol. Res. Commun. (Stockholm) 17: 179-188.

Wong, M.H., and Wong, W.C. 1986. Effects of fly ash on soil microbial activity. Environ. Pollut. Ser. A 40: 127-144.

Wright, D.A. 1974. Heavy metal accumulation by aquatic invertebrates. Appl. Biol. 3: 331-394.

Yamada, R.,Imaizumi, M., and Sano, K. 1983. The influence of heavy metal on the organic matter decomposition and soil enzymes in soil. Res. Bull. Aichi. Agric. Res. Cent. 15: 284-291.

ภาคผนวก ก

รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์

1. การศึกษาปริมาณซาลโมเนลลา

1.1) การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการหาปริมาณซาลโมเนลลา ด้วยวิธี MPN Technique มีดังนี้

1. Tetrathionate broth

ส่วนประกอบ

Proteose peptone	5	กรัม
Bile salt	1	กรัม
Sodium thiosulfate	30	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร
พีเอช	8.0 + 0.2	
อุณหภูมิ	20	องศาเซลเซียส

นำส่วนประกอบเหล่านี้ผสมกันแล้วต้มจนเดือด ปล่อยให้เย็นจนมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วเติมสารละลายไอโอดีน (Iodine cryst 6 กรัม KI 5 กรัม น้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง 15 หลอด

2. Brilliant Green agar (BGA)

ชั่ง BGA 58 กรัม เติมน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ทำปราศจากเชื้อด้วยอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 12 นาที แล้วเทใส่เพลทด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อ

3. Xylose lysine desoxycholate agar (XLD)

ชั่ง XLD 57 กรัม เติมน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ต้มจนได้สารละลายใสแล้วเทลงเพลท

4. Triple sugar ion agar (TSI)

ชั่ง TSI 65 กรัมละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร ด้วยการต้มจนได้สารละลายใส นำสารละลายใสขณะที่ร้อนใส่ในหลอดทดลองประมาณ 7 มิลลิลิตร ปิดจุกหลอดทดลอง (ด้วยจุกสำลี) นำไปทำปราศจากเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที นำออกจากหม้อนึ่งความดันไอน้ำ เอียงให้อาหารในหลอดเอียงโดยอาหารที่ก้นหลอดสูงประมาณ 3 เซนติเมตร และส่วนอาหารที่ลาดเอียง ยาวประมาณ 4 เซนติเมตร

5. Lysine iron agar (LIA)

ชั่ง LIA 34.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร ด้วยการต้มจนได้สารละลายใส นำสารละลายขณะที่ร้อนใส่หลอดทดลองประมาณ 7 มิลลิลิตร ปิดหลอดด้วยจุกสำลี นำไปทำปราศจากเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที นำออกจากหม้อนึ่งความดันไอน้ำ เอียงให้อาหารในหลอดเอียง โดยอาหารที่ก้นหลอดสูงประมาณ 3 เซนติเมตร และส่วนอาหารที่ลาดเอียงยาวประมาณ 4 เซนติเมตร

1.2)ขั้นตอนการวิเคราะห์

ก. วิธีวิเคราะห์ปริมาณซาลโมเนลลา (Multiple-Tube Enrichment Technique)

1. ชั่งกากตะกอนตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ใน erlenmeyer flask ซึ่งมีน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ 90 มิลลิลิตร

2. เตรียมหลอดทดลองปราศจากเชื้อขนาดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จำนวน 3 ชุด ๆ ละ 5 หลอด แล้วใส่ tetrathionate

3. นำหลอดทดลองชุดที่ 1 มาใส่สารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ในข้อ 1 หลอดละ 10 มิลลิลิตร ทำซ้ำในหลอดทดลองชุดที่ 2 และชุดที่ 3 แต่เปลี่ยนปริมาตรสารละลายตัวอย่างเป็นหลอดละ 5 มิลลิลิตร และ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ

4. ทำการบ่มเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส

5. นำแต่ละหลอดทดลองไปทำการแยกเชื้อด้วยวิธี streak plates บนอาหาร BGA (Brilliant Green Agar) และบน XLD (Xylose lysine desoxycholae Agar) แล้วนำไปบ่มเชื้อ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส

6. นำเชื้อจากโคโลนีที่ให้ผลบวก (positive test) ลงในหลอด TSI (Triple Sugar Iron agar) และ LIA (Lysine Iron Agar) แล้วบ่มเชื้อ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส หลอดที่ให้ผลบวก (positive test) นำไปตรวจสอบว่า มาจากหลอดทดลองใด

7. นำหลอดที่ให้ผลบวกในการทดสอบซาลโมเนลลาไปตรวจสอบกับตาราง MPN เพื่อหาปริมาณเชื้อทั้งสิ้น

ข. การวัด pH

นำกากตะกอนตัวอย่างมา 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร เขย่า แล้วนำไปวัด pH ด้วย pH meter

ค. การวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ชั่งกากตะกอนประมาณ 25 กรัม ใส่ในถ้วยโลหะที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณหากน้ำหนักกากตะกอนที่แห้งเพื่อนำไปสู่การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

2. การศึกษาถึงอิทธิของโลหะหนักในกากตะกอนต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน

ก. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์คาร์บอน

1. นำดินทดลอง ซึ่งบดละเอียด และร่อนผ่านตะแกรง 0.5 มิลลิเมตร มาประมาณ 0.5-2 กรัม ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 1.0 N ลงไป 5 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ รินกรดซัลฟิวริคเข้มข้นลงไป 10 มิลลิลิตร แกว่ง flask ให้ผสมกันอย่างทั่วถึง

3. ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

4. เติมน้ำกลั่นลงไปใน flask 15 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

5. นำไปติเตรตด้วยสารละลาย $FeSO_4$ 0.5 N. จนกระทั่งถึงจุดยุติคือ สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นน้ำตาลปนแดง ทำ blank

6. จดปริมาณสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ และ $FeSO_4$ ที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์คาร์บอน

การคำนวณ

$$\% \text{ organic carbon} = \frac{(B-S) \times N \times 0.39}{W}$$

B = ปริมาตรสารละลายเฟอรัสซัลเฟตที่ใช้กับ blank ในหน่วยมิลลิลิตร

S = ปริมาณสารละลายเฟอรัสซัลเฟตที่ใช้กันตัวอย่าง ในหน่วยมิลลิลิตร

N = ความเข้มข้นของเฟอรัสซัลเฟต มีหน่วยเป็นนอร์มอล

W = น้ำหนักแห้งตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกรัม

ข. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน

1. ชั่งดินทดลองซึ่งร่อนผ่านตะแกรง 0.5 มิลลิเมตร 1 กรัม ใส่ในหลอด digestion tube

2. ใส่ catalyst 2 เม็ด จากนั้นเติมซัลฟูริกเข้มข้น 12 มิลลิลิตร

3. นำหลอด digestion tube สวมลงในเครื่อง digester และปิดฝา

4. เปิดเครื่อง digester ตั้งอุณหภูมิที่ 420 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้สารละลายใส

5. ใส่น้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร แกว่งเบาๆ ให้สารละลายผสมกันโดยทั่วถึง

6. นำหลอด digestion tube ไปกลั่นโดยนำ receiver flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งใส่สารละลายกรดบอริค ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ไป ที่แผ่น platform ซึ่งอยู่ที่เครื่องกลั่น

7. เปิดเครื่องกลั่นซึ่งใช้เวลากลั่นประมาณ 5 นาที

8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปติเตรทกับสารละลายกรดซัลฟูริคความเข้มข้น 0.05 N จนได้สารละลายเป็นสี neutral gray

9. บันทึกปริมาณกรดที่ใช้ แล้วนำไปคำนวณ

การคำนวณ

$$\% N = \frac{14.01 \times (A-B) \times M}{g \text{ of sample} \times 10}$$

A = ml of tritrant of sample

B = Ml of titrant of blank

C = Molarity of standard acid

ค. <u>การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์</u>

1. นำดินทดลอง ชั่ง 25 กรัม ใส่ถ้วยพลาสติก

2. นำโหลที่มีฝาปิดสนิท ใส่สารละลาย NaOH 0.1 N เป็นปริมาตร 100 ml.

3. นำถ้วยพลาสติกซึ่งมีดินทดลองไปแขวนไว้ในโหล ปิดฝาให้สนิท ตั้งทิ้งไว้ 96 ชั่วโมง

4. ทำการทดลอง 2 ซ้ำ และทำ blank ด้วย

5. หลังจาก incubate ดูดสารละลายภายในโหลมา 20 มิลลิลิตร หยดฟีนอฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วใส่สารละลาย BaCl 50 % 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปติเตรตด้วยสารละลาย HCl 0.1 N

6. จดผลการทดลองเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน 100 กรัม

ง. <u>Total Pate count</u>

1. นำตัวอย่างมาละลายกับน้ำกลั่นปราศจากเชื้อเพื่อทำการเจือจาง โดยdilution 10^{-2} - 10^{-3} ใช้ในการหาปริมาณเชื้อรา 10^{-5} - 10^{-6} ใช้ในการหาปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีท และ 10^{-6} - 10^{-7} ใช้ในการหาปริมาณเชื้อแบคทีเรีย

2. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ชนิด ได้แก่ Nutrient agar , Streptomycin Rose Bengal Agar, และ

Na Caseinate Agar สำหรับเชื้อแบคทีเรีย รา และ แอคติโนมัยซีทตามลำดับ

3. ดูดสารละลายที่เตรียมไว้มา 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในแต่ละเพลทที่เตรียมไว้ แล้วกระจายสารละลายให้ทั่วเพลท

4. บ่มเชื้อแบคทีเรีย (เพลท nutrient agar) , เชื้อรา (Sreptomycin Rose Bengal Agar), เชื้อแอคติโนมัยซีท (Na Caseinate Agar) 1 วัน 2 วัน และ 7 วันตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง

5. ทำการนับจำนวนโคโลนีแต่ละเชื้อ แล้วบันทึกผล

การเตรียม Nutrient Agar

ส่วนประกอบ		
beef extract	3.0	กรัม
peptone	5.0	กรัม
agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร

ทำปราศจากเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์/นิ้ว^2) 15 นาที รอจนมีอุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียสจึงเทลงเพลท ด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อ

การเตรียม Streptomycin Rose Bengal Agar

ส่วนประกอบ		
KH_2SO_4	0.5	กรัม
K_2HSO_4	0.5	กรัม
$MgSO_4.7H_2O$	0.5	กรัม
peptone	10	กรัม
yeast extract	0.5	กรัม
Rose Bengal	0.05	กรัม
Streptomycin	0.033	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร

นำส่วนประกอบทั้งหมด ยกเว้น streptomycin ผสมกัน แล้วทำปราศจากเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์/นิ้ว^2) เป็นเวลา 15 นาที ทำให้อุณหภูมิต่ำลงที่ประมาณ 45- 50 องศาเซลเซียส แล้วจึงเติม streptomycin ที่ผ่านการ cold sterilization ด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อ เทลงเพลทด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อเช่นกัน

การเตรียม Na Caseinate Agar

ส่วนประกอบ		
Na Caceinate	2.0	กรัม
K_2HPO_4	0.5	กรัม
$MgSO_4.7H_2O$	0.5	กรัม
$FeCl_2$	0.033	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร

ผสมส่วนประกอบเข้าด้วยกัน แล้วทำปราศจากเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์/นิ้ว^2) เป็นเวลา 15 นาที แล้วรอจนอาหารเลี้ยงเชื้อมีอุณหภูมิประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส แล้วเทลงบนเพลทด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อ

จ. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (Cd Cu Fe Mn Ni Pb Zn)

1. ชั่งดินทดลอง ซึ่งผ่านการร่อนด้วยตะแกรง 0.5 มิลลิลิตรมา 25 กรัมใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลาย DTPA 0.005 M. 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 2 ชั่วโมง

3. นำสารละลายที่ผ่านการกรองมาวัดปริมาณโลหะหนักด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer

4. คำนวณหาปริมาณโลหะหนัก

ฉ. การวิเคราะห์ความเป็นกรดด่าง

นำดินทดลองมา 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร เขย่าทิ้งไว้สักครู่แล้วนำไปวัด pH ด้วย pH meter

ช. การวิเคราะห์เนื้อดิน

1. ชั่งดินทดลอง (ขนาด 2 มิลลิเมตร) หนัก 50 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย calgou 5 % 100 มิลลิลิตร แช่ทิ้งค้างคืน

2. ถ่ายสารละลายดินลงใน dispersion cup ใช้ขวดฉีดน้ำ ล้างดินที่ติดในบีกเกอร์ให้หมด

3. ปั่น 5 นาที ถ่ายสารละลายดินที่ปั่นแล้วลงใน sedimentation cylinder ล้างดินที่ติดอยู่ใน cup ให้หมดด้วยขวดฉีดน้ำ

4. เติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดล่างของ cylinder (1130 มิลลิลิตร) โดยในขณะนั้นมี Hydrometer ลอยอยู่ด้วย

5. เอา Hydrometer ออกแล้วใช้ plunger กวนให้ได้สารแขวนลอยดินที่สมบูรณ์อีกครั้งหนึ่ง ใช้เวลากวนประมาณ 2 นาที (หากเกิดฟองมากหยด Amyl alcohol 2-3 หยดจนหมดฟอง)

6. ค่อยๆ หย่อน hydrometer ลงไปอีกครั้ง แล้วอ่านค่าบนก้าน hydrometer เมื่อครบ 40 วินาที (Rt 40_S กรัม/ลิตร)

7. วัดอุณหภูมิของสารละลายดิน (T 40_S องศาเซลเซียส)

8. ทำ blank ซึ่งคือส่วนของสารละลาย calgou 5 % (Cr 40_S กรัม/ลิตร) และอ่านอุณหภูมิของสารละลาย blank (r 40_S องศาเซลเซียส)

9. วัดค่าสารละลายดินอีกครั้งหนึ่งเมื่อจับเวลาครบ 2 ชั่วโมง (Rt 2 h กรัม/ลิตร) และวัดอุณหภูมิสารละลายด้วย (T 2 h °C)

10. ให้อ่านค่า hydrometer และ อุณหภูมิ ในสารละลาย blank (ได้ค่า Cr 2 h กรัม/ลิตร และ r 2 h °C ตามลำดับ)

11. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหากลุ่มอนุภาค

วิธีคำนวณ

$R_S\ 40_S$ = กลุ่มอนุภาคซิลท์ + กลุ่มอนุภาคดินเหนียม กรัมต่อลิตร

= $[Rt40_S + 0.36(t40_S - 20)] + [Cr40_S + 0.5\ Cr40_S - 20)]$ — ก

$R_S\ 2h$ = กลุ่มอนุภาคดินเหนียว กรัมต่อลิตร

= $[Rt2h + 0.36(t2h - 20)] - [Cr\ 2h + 0.5Cr\ 2h - 20)]$ — ข

กลุ่มอนุภาคซิลท์ = ก - ข ——— ค (กรัมต่อลิตร)

กลุ่มอนุภาคทราย = 50 - ก ——— ง (กรัมต่อลิตร)

เนื่องจากสารละลายดิน 1130 มิลลิลิตร ได้จากดิน 50 กรัม

ดังนั้น % ดินเหนียว = 2 x ข

% ดินซิลท์ = 2 x ค

% ดินทราย = 2 x ง

อ่านค่า texture ของดินจากไดอะแกรมสามเหลี่ยม

ภาคผนวก ข

การเตรียมสิ่งทดลองโดยละเอียด

ก. การสุ่มเก็บตัวอย่างดิน

ดินเหนียวจากตำบลบ้านฉาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี

ดินร่วนจากตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

การเก็บตัวอย่างดิน

ดินเหนียว : ขณะทำการเก็บตัวอย่างจากร่องผักขณะนั้นปลูกผักกุยฉ่ายนาน 1 ปี 2 เดือน โดยเลือกเก็บหลายๆ จุด ตรงบริเวณที่ว่างในร่องผัก (เจ้าของอนุญาตให้เก็บตรงที่ว่างเท่านั้น) ความลึกของดินที่เก็บ ประมาณ 1 หน้าพลั่ว หรือประมาณ 6 นิ้ว นำดินที่เก็บได้จากแต่ละจุดรวมกันแล้วนำไปผึ่งให้แห้ง (ห้ามตากแดดหรือใช้ความร้อน) ในเรือนกระจก ที่ภาควิชาพฤกษศาสตร์

ดินร่วน : เก็บตัวอย่างดินแต่ละจุดบริเวณในร่องผักกุยฉ่ายที่ปลูกไว้ประมาณ 2 ปี เก็บดินจากบริเวณที่ว่างในร่องผักในระดับความลึกประมาณ 1 หน้าพลั่ว หรือประมาณ 6 นิ้ว นำดินที่เก็บได้จากแต่ละจุดรวมกันแล้วนำไปผึ่งให้แห้ง (ห้ามตากแดดหรือใช้ความร้อน) ในเรือนกระจก ที่ภาควิชาพฤกษศาสตร์

ข. การเตรียมสิ่งทดลอง

1. การเตรียมดิน

1.1 นำดินที่ผึ่งแห้งแล้วทุบออกเป็นก้อนเล็กๆ

1.2 ร่อนดินด้วยตะแกรงขนาด 2 มม.

1.3 นำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงไม่ได้ไปทุบเบาๆ แล้วร่อนตามวิธีการเดิม จนไม่สามารถทำให้ส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงลอดผ่านตะแกรงได้อีกต่อไป

1.4 คลุกดินที่ลอดผ่านตะแกรงให้ผสมกันอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอที่สุด

1.5 บรรจุลงถุงพลาสติก ถุงละ 3 กิโลกรัม รัดปากถุงให้เรียบร้อย โดยดินเหนียวให้รหัสหมายเลข 1 - 33 ในแต่ละถุง ดินร่วนก็ทำเช่นเดียวกัน แต่ให้หมายเลข 34 - 66 ที่แต่ละถุง

2. <u>การเตรียมกากตะกอน</u>

2.1 นำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนจากโรงงานบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง มาตากแดดที่ดาดฟ้าตึกแถบ โดยเกลี่ยกากตะกอนเป็นชั้นหนาประมาณ 2 - 3 นิ้ว ตากแดดจัดๆ เป็นระยะเวลาประมาณ 8 วัน (จนกากตะกอนแห้งสนิทและเป็นก้อนแข็ง)

2.2 ทุบกากตะกอนออกเป็นก้อนเล็ก

2.3 ร่อนกากตะกอนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม.

2.4 นำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงไม่ได้ไปทุบเบาๆ แล้วร่อนตามวิธีการเดิม จนไม่สามารถทำให้ส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงลอดผ่านตะแกรงได้อีกต่อไป

2.5 คลุกดินที่ลอดผ่านตะแกรงให้ผสมกันอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอที่สุด

2.6 บรรจุลงถุงพลาสติกโดยชั่ง 30 60 90 และ 120 กรัม อย่างละ 6 ถุงและให้รหัสตัวเลขดัง**ตารางที่ ข1** บนแต่ละถุง

ตารางที่ ข1 รหัสตัวเลขบนถุงที่คลุกกากตะกอน

กากตะกอน (กรัม)	การใส่รหัสตัวเลข	
	3 ถุง	3 ถุง
30	10 11 12	43 44 45
60	13 14 15	46 47 48
90	16 17 18	49 50 51
120	19 20 21	52 53 54

2.7 นำกากตะกอนที่ใส่ในถุงพลาสติกและผ่านการติดรหัสตัวเลข จับคู่กับดินเหนียวและดินร่วนที่มีรหัสตัวเลข ตรงกัน

3. <u>การเตรียมปุ๋ยเคมี สูตร 15 - 15 - 15</u>

3.1 ปุ๋ยเคมีผึ่งแห้งและทุบให้เป็นชิ้นเล็กๆ

3.2 ร่อนผ่านตะแกรง 2 มม.

3.3 นำปุ๋ยเคมีที่ร่อนผ่านตะแกรง 2 มม.ไม่ได้ไปทุบเบาๆ แล้วร่อนตามวิธีการเดิม จนไม่สามารถทำให้ส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงลอดผ่านตะแกรงได้อีกต่อไป

3.4 นำปุ๋ยเคมีที่ร่อนผ่านตะแกรงมาคลุกเคล้าให้ทั่วถึง

3.5 บรรจุลงถุงพลาสติกโดยชั่ง 30 กรัม อย่างละ 6 ถุงและให้รหัสตัวเลขดัง**ตารางที่ ข2**

3.6 นำปุ๋ยเคมีที่ใส่ในถุงพลาสติก และผ่านการติดรหัสตัวเลขจับคู่กับดินเหนียวและดินร่วนที่มีรหัสตัวเลขตรงกัน

ตารางที่ ข2 รหัสตัวเลขบนถุงที่คลุกปุ๋ยเคมี

กากตะกอน (กรัม)	การใส่รหัสตัวเลข	
	3 ถุง	3 ถุง
30	4 5 6	37 38 39

4. การเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยกทม.สูตร1)

ทำเช่นเดียวกับปุ๋ยเคมีแต่เปลี่ยนรหัสตัวเลขที่ใช้กับปุ๋ยอินทรีย์ดังตารางที่ ข3

ตารางที่ ข3 รหัสตัวเลขบนถุงที่คลุกปุ๋ยอินทรีย์

กากตะกอน (กรัม)	การใส่รหัสตัวเลข	
	3 ถุง	3 ถุง
30	7 8 9	40 41 42

5. การเตรียมสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์

5.1 รายละเอียดสารประกอบโลหะหนัก 7 ชนิดเพื่อทำ Stock Solution มีดังนี้

5.1.1 $CdCl_2.2H_2O$

5.1.2 $CuCl_2.2H_2O$

5.1.3 $FeCl_3.6H_2O$

5.1.4 $MnCl_2.4H_2O$

5.1.5 $NiCl_2.6H_2O$

5.1.6 $PbCl_2$

5.1.7 $ZnCl_2$

5.2 นำสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์จาก Stock Solution มาเจือจาง ให้มีความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ระดับที่ 1 2 3 และ 4 ดังแสดงในตารางที่ ข4 โดยความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในแต่ละระดับ จะมีความเข้มข้นเทียบเท่ากับปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกอนที่อัตราเติม 30 60 90 และ 120 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ สารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์นี้ทุกความเข้มข้นจะนำมา 30 มล.

5.3 นำสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์แต่ละชนิด ในแต่ละระดับความเข้มข้น บรรจุลงขวดที่ปราศจากการปนเปื้อนโลหะหนักและติดรหัสตัวเลขที่แต่ละขวดตาม**ตารางที่ ข5**

5.4 นำขวดที่บรรจุสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์แต่ละชนิดในแต่ละความเข้มข้นที่ติดรหัสตัวเลขแล้วจับคู่กับดิน โดยถ้ารหัสตัวเลขเดียวกันก็จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

ตารางที่ ข4 ปริมาณโลหะหนักในรูปเกลืออนินทรีย์ที่เติมลงในกระถางเทียบเท่ากับปริมาณโลหะหนักที่ถูกปลดปล่อยจากกากตะกอน 4 ระดับ

เกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก (พีพีเอ็ม)	ปริมาณโลหะหนักที่เติมลงในกระถางเทียบเท่าปริมาณโลหะหนักที่ถูกปลดปล่อยจากกากตะกอน 4 ระดับ			
	สารละลายโลหะหนัก 20	สารละลายโลหะหนัก 40	สารละลายโลหะหนัก 60	สารละลายโลหะหนัก 80
$CdCl_2.2H_2O$	4.0	8.0	12.0	16.0
$CuCl_2.2H_2O$	400.00	800.00	1,200.00	1,600.00
$FeCl_3.6H_2O$	15,000.00	30,000.00	45,000.00	60,000.00
$MnCl_2.4H_2O$	600.00	1,200.00	1,800.00	2,400.00
$NiCl_2.6H_2O$	30.00	60.00	90.00	120.00
$PbCl_2$	150.00	300.00	450.00	600.00
$ZnCl_2$	3,000.00	6,000.00	9,000.00	1,200.00

ค. การใส่สิ่งทดลองและการจัดวางลงกระถาง

1. นำปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนคลุกเคล้ากับดินที่มีรหัสตัวเลขตรงกันอย่างทั่วถึง

2. นำสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์ระดับ 1 ที่มีรหัสเดียวกับดินมาคลุกเคล้าเข้าด้วยกันโดยใส่สารละลายแคดเมียมคลอไรด์ 30 มิลลิลิตร คลุกเคล้ากับดินแล้วใส่สารละลายคอปเปอร์คลอไรด์ 30 มิลลิลิตร คลุกเคล้ากับดิน ทำเช่นนี้ในทุกสารละลาย โดยใส่เรียงตามลำดับอักษร (Cd Cu Fe Mn Ni Pb Zn) จนกระทั่งสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์ผสมลงดินครบ 7 ชนิดทุกกระถาง

3. นำสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์ระดับที่ 2 3 4 มาทำเช่นเดียวกับระดับที่ 1 โดยการคลุกเคล้าสารละลายกับดินตามลำดับความเข้มข้น

4. นำดินที่ผ่านการคลุกเคล้าอย่างทั่วถึงแล้วไปจัดวางในตำแหน่งที่กำหนดไว้ใน**รูปที่ ข1**

10	30	3	50	20	29
25	41	51	65	38	31
37	46	64	16	9	26
32	42	17	12	61	21
44	39	40	57	63	48
35	19	2	36	55	27
60	33	13	5	15	4
47	11	18	53	23	52
22	1	58	7	45	56
43	6	14	24	8	49
28	54	62	59	34	66

รูปที่ ข1 ผังการจัดเรียงหน่วยทดลอง โดยใช้ตารางสุ่มแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete randomized design)

ตารางที่ ข4 รหัสตัวเลขบนถุงที่คลุกสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์

ปริมาตรสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์แต่ละชนิดโลหะหนัก	การใส่รหัสตัวเลข						
	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์ระดับ 1	22	22	22	22	22	22	22
	23	23	23	23	23	23	23
	24	24	24	24	24	24	24
	55	55	55	55	55	55	55
	56	56	56	56	56	56	56
	57	57	57	57	57	57	57
ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์ระดับ 2	25	25	25	25	25	25	25
	26	26	26	26	26	26	26
	27	27	27	27	27	27	27
	58	58	58	58	58	58	58
	59	59	59	59	59	59	59
	60	60	60	60	60	60	60
ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์ระดับ 3	28	28	28	28	28	28	28
	29	29	29	29	29	29	29
	30	30	30	30	30	30	30
	61	61	61	61	61	61	61
	62	62	62	62	62	62	62
	63	63	63	63	63	63	63
ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักในรูปเกลือคลอไรด์ระดับ 4	31	31	31	31	31	31	31
	32	32	32	32	32	32	32
	33	33	33	33	33	33	33
	64	64	64	64	64	64	64
	65	65	65	65	65	65	65
	66	66	66	66	66	66	66

ตารางที่ ข5 การกำหนดสัญลักษณ์ เพื่อการจัดเรียงหน่วยทดลอง

ตำรับทดลอง	สัญลักษณ์					
	ดินเหนียว			ดินร่วน		
1. ควบคุม	1	2	3	34	35	36
2. ดิน + ปุ๋ยเคมีที่อัตราเติม 20 เมตริกตันต่อเฮกตาร์	4	5	6	37	38	39
3. ดิน + ปุ๋ยอินทรีย์ที่อัตราเติม 20 เมตริกตันต่อเฮกตาร์	7	8	9	40	41	42
4. ดิน + กากตะกอนที่อัตราเติม 20 เมตริกตันต่อเฮกตาร์	10	11	12	43	44	45
5. ดิน + กากตะกอนที่อัตราเติม 40 เมตริกตันต่อเฮกตาร์	13	14	15	46	47	48
6. ดิน + กากตะกอนที่อัตราเติม 60 เมตริกตันต่อเฮกตาร์	16	17	18	49	50	51
7. ดิน + กากตะกอนที่อัตราเติม 80 เมตริกตันต่อเฮกตาร์	19	20	21	52	53	54
8. ดิน + สารละลายโลหะหนัก 20	22	23	24	55	56	57
9. ดิน + สารละลายโลหะหนัก 40	25	26	27	58	59	60
10. ดิน + สารละลายโลหะหนัก 60	28	29	30	61	62	63
11. ดิน + สารละลายโลหะหนัก 80	31	32	33	64	65	66

หมายเหตุ

1) ดินเหนียว คือ ดินที่นำมาจากพื้นที่เกษตรกรรมจังหวัดปทุมธานี
2) ดินร่วน คือ ดินที่นำมาจากพื้นที่เกษตรกรรมจังหวัดชลบุรี
3) ปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 และปุ๋ยอินทรีย์ ใช้ปุ๋ยกทม. สูตร 1
4) สารละลายโลหะหนัก 20 หมายถึง สารละลายโลหะหนัก (Cd Cu Fe Mn Ni Pb Zn) ในรูปของเกลือคลอไรด์ ที่มีปริมาณเทียบเท่ากับโลหะหนักในกากตะกอนตำรับทดลองที่ 4
5) สารละลายโลหะหนัก 40 หมายถึง สารละลายโลหะหนัก (Cd Cu Fe Mn Ni Pb Zn) ในรูปของเกลือคลอไรด์ ที่มีปริมาณเทียบเท่ากับโลหะหนักในกากตะกอนตำรับทดลองที่ 5
6) สารละลายโลหะหนัก 60 หมายถึง สารละลายโลหะหนัก (Cd Cu Fe Mn Ni Pb Zn) ในรูปของเกลือคลอไรด์ ที่มีปริมาณเทียบเท่ากับโลหะหนักในกากตะกอนตำรับทดลองที่ 6
7) สารละลายโลหะหนัก 80 หมายถึง สารละลายโลหะหนัก (Cd Cu Fe Mn Ni Pb Zn) ในรูปของเกลือคลอไรด์ ที่มีปริมาณเทียบเท่ากับโลหะหนักในกากตะกอนตำรับทดลองที่ 7

ง. <u>การหาปริมาตรน้ำที่ดินสามารถดูดซับไว้จนอิ่มตัวพอดี</u>

1. เตรียมภาชนะใส่น้ำขนาด 6,000 มิลลิลิตร บรรจุน้ำ 3,000 มิลลิลิตร
2. นำถุงพลาสติกซึ่งบรรจุดินแห้ง 3 กิโลกรัม มาเจาะรูเล็กๆ แล้วนำไปแช่ในภาชนะที่เตรียมไว้
3. ทิ้งไว้จนกระทั่งน้ำเคลื่อนที่สู่ดินชั้นบนบันทึกเวลาที่น้ำเคลื่อนที่ถึงดินชั้นบน และหาปริมาตรน้ำที่เหลือ

<u>ดินเหนียว</u>

ปริมาตรน้ำก่อนแช่ดิน	3,000	มิลลิลิตร
ปริมาตรน้ำหลังแช่ดิน	1,990	มิลลิลิตร
ปริมาตรน้ำที่หายไป	1,010	มิลลิลิตร
น้ำเคลื่อนที่สู่ดินชั้นบนใช้เวลา	1	วัน

<u>ดินร่วน</u>

ปริมาตรน้ำก่อนแช่ดิน	3,000	มิลลิลิตร
ปริมาตรน้ำหลังแช่ดิน	2,220	มิลลิลิตร
ปริมาตรน้ำที่หายไป	780	มิลลิลิตร
น้ำเคลื่อนที่สู่ดินชั้นบนใช้เวลา	1	วัน

ดังนั้น ปริมาตรน้ำที่ดินเหนียวดูดซับไว้จนอิ่มตัว เท่ากับ 1,010 มิลลิลิตร และปริมาตรน้ำที่ดินร่วนดูดซับไว้จนอิ่มตัว เท่ากับ 780 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาตรน้ำที่เติมในดินเหนียวและดินร่วนก่อนทำการสุ่มตัวอย่าง

จ. <u>ปริมาตรน้ำที่ใช้รดในแต่ละวัน</u>

1. นำดินเหนียวและดินร่วนที่อิ่มตัวพอดีตั้งทิ้งไว้ 1 วัน
2. เตรียมภาชนะขนาด 3,000 มิลลิลิตร ใส่น้ำปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร
3. นำดินเหนียวและดินร่วนที่ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน แช่ลงในภาชนะที่เตรียมไว้เป็นเวลา 1 วัน
4. หาปริมาตรที่เหลือ จดบันทึกผล โดยปริมาตรน้ำที่หายไป คือ ปริมาตรที่จะต้องรดลงดินในแต่ละวัน

<u>ดินเหนียว</u>

ปริมาตรน้ำก่อนแช่ดิน	2,000	มิลลิลิตร

ปริมาตรน้ำหลังแช่ดิน 1,960 มิลลิลิตร

ปริมาตรน้ำที่หายไป 40 มิลลิลิตร

ดินร่วน

ปริมาตรน้ำก่อนแช่ดิน 2,000 มิลลิลิตร

ปริมาตรน้ำหลังแช่ดิน 1,950 มิลลิลิตร

ปริมาตรน้ำที่หายไป 50 มิลลิลิตร

ดังนั้น ปริมาตรน้ำที่ต้องรดในแต่ละวัน คือ 40 มิลลิลิตร และ 50 มิลลิลิตร ในดินเหนียวและดินร่วน ตามลำดับ

ช. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารละลายโลหะหนักคลอไรด์ที่จะเติมลงดิน

จากการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอน มีปริมาณแคดเมียมทั้งสิ้น 4.00 พีพีเอ็ม หมายความว่า

กากตะกอน 1000 กรัม มีแคดเมียมอยู่ 4.00 มิลลิกรัม

ที่อัตราเติมกากตะกอนระดับที่ 1 (20 tons/ha = 30 g/ ดิน 3000 g)

กากตะกอน 30 กรัม มีแคดเมียมอยู่ 4.00x30/1000 มิลลิกรัม

ดังนั้น ต้องเติมแคดเมียมเท่ากับ 4.00x30/1000 มิลลิกรัม

ในปริมาตรสารละลาย 30 มิลลิลิตร

ที่อัตราเติมกากตะกอนระดับที่ 2 (40 tons/ha = 60 g/ ดิน 3000 g)

กากตะกอน 60 กรัม มีแคดเมียมอยู่ 4.00x60/1000 มิลลิกรัม

ดังนั้น ต้องเติมแคดเมียมเท่ากับ 4.00x60/1000 มิลลิกรัม

ในปริมาตรสารละลาย 30 มิลลิลิตร

ที่อัตราเติมกากตะกอนระดับที่ 3 (60 tons/ha = 90 g/ ดิน 3000 g)

กากตะกอน 90 กรัม มีแคดเมียมอยู่ 4.00x90/1000 มิลลิกรัม

ดังนั้น ต้องเติมแคดเมียม เท่ากับ 4.00x90/1000 มิลลิกรัม

ในปริมาตรสารละลาย 30 มิลลิลิตร

ที่อัตราเติมกากตะกอนระดับที่ 4 (80 tons/ha = 120 g/ ดิน 3000 g)

กากตะกอน 120 กรัม มีแคดเมียมอยู่ 4.00x120/1000 มิลลิกรัม

ดังนั้น ต้องเติมแคดเมียม เท่ากับ 4.00x120/1000 มิลลิกรัม

ในปริมาตรสารละลาย 30 มิลลิลิตร

stock solution ต้องการเตรียมให้มีความเข้มข้น 100 เท่าของความเข้มข้นที่ระดับเดียวกับอัตราเติมกากตะกอนระดับที่ 1 คือ 4 พีพีเอ็ม ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร

ดังนั้น 100 เท่าของแคดเมียมที่ต้องการเติมเทียบเท่าแคดเมียมในกากตะกอนที่เติมลงดินในระดับที่เท่ากับ 4x100 พีพีเอ็ม (หรือ 400 พีพีเอ็ม)

ความเข้มข้นแคดเมียม 400 พีพีเอ็ม หมายความว่า

ในสารละลาย 1 มิลลิลิตร มีแคดเมียมเท่ากับ 400 ไมโครกรัม

ดังนั้น ในสารละลาย 200 มิลลิลิตร มีแคดเมียมเท่ากับ 400x200 ไมโครกรัม

เท่ากับ 80000 ไมโครกรัม

หรือเท่ากับ 80 กรัม

แคดเมียม 112.40 มิลลิกรัม มาจาก $CdCl_2.2H_2O$ 219.33668 มิลลิกรัม

แคดเมียม 80 มิลลิกรัม มาจาก $CdCl_2.2H_2O$ 219.33668x80/112.40 มิลลิกรัม

เท่ากับ 156.11 มิลลิกรัม

หรือเท่ากับ 0.1561 กรัม

ดังนั้น ถ้าต้องการสารละลาย $CdCl_2.2H_2O$ ปริมาตร 200 มิลลิลิตรให้มีแคดเมียม 400 พีพีเอ็ม ต้องชั่ง $CdCl_2.2H_2O$ เท่ากับ 0.1561กรัม

stock solution ความเข้มข้น 4 พีพีเอ็ม หมายความว่า ใน stock solution มีแคดเมียม 400 มิลลิกรัม ในปริมาตรสารละลายเท่ากับ 1000 มิลลิลิตร

สารละลายแคดเมียมระดับที่ 1

ถ้าต้องการแคดเมียม 4 มิลลิกรัม ต้องนำ stock solution 2 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 200 มิลลิลิตร

สารละลายแคดเมียมระดับที่ 2

ถ้าต้องการแคดเมียม 8 มิลลิกรัม ต้องนำ stock solution 4 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 200 มิลลิลิตร

สารละลายแคดเมียมระดับที่ 3

ถ้าต้องการแคดเมียม 12 มิลลิกรัม ต้องนำ stock solution 6 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 200 มิลลิลิตร

สารละลายแคดเมียมระดับที่ 4

ถ้าต้องการแคดเมียม 16 มิลลิกรัม ต้องนำ stock solution 8 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 200 มิลลิลิตร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

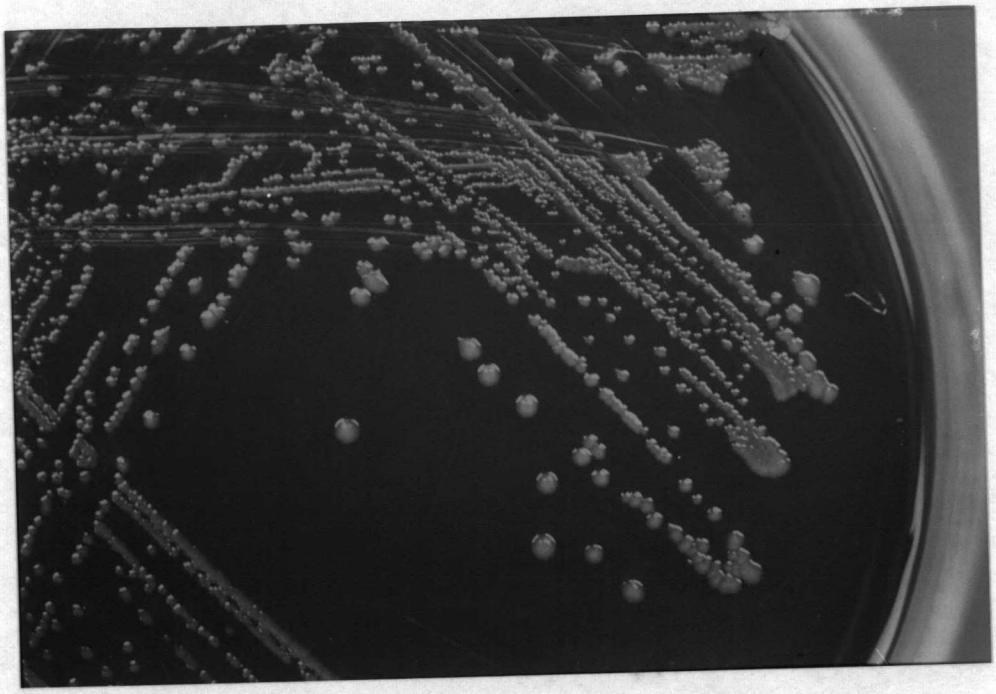
ภาพงานวิทยานิพนธ์บางส่วน

รูปที่ 1 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลบ้านฉาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี

รูปที่ 2 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

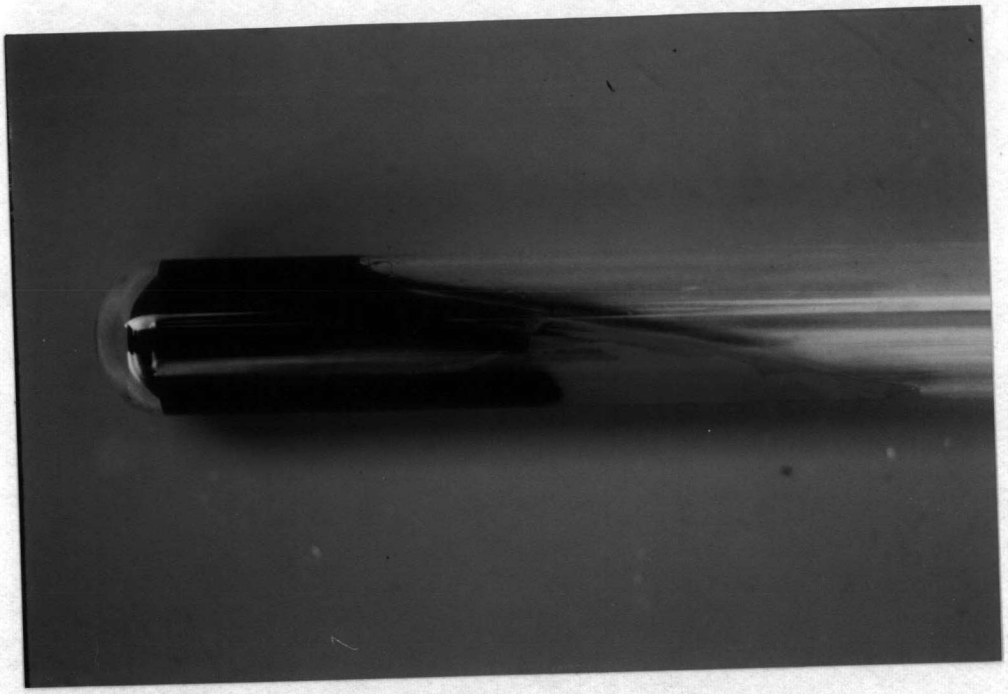
รูปที่ 3 ลักษณะทั่วไปของสภาพทดลองในเรือนกระจก ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4 ลักษณะกากตะกอน จากโรงงานบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง

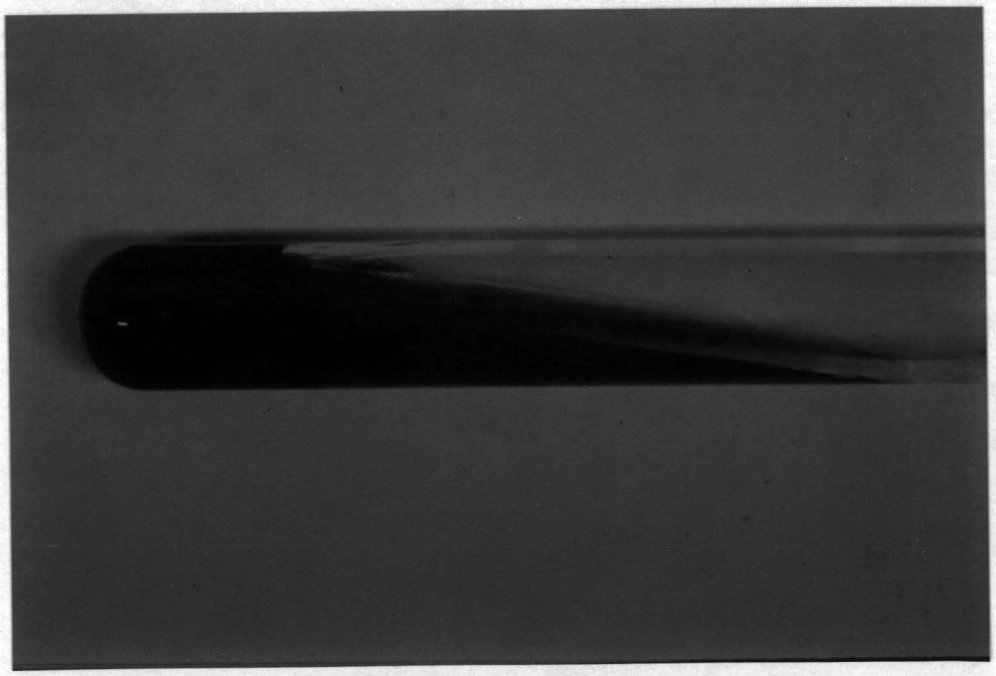


รูปที่ 5 ลักษณะโคโลนีของเชื้อซาลโมเนลลาที่แยกจากกากตะกอนเมื่อเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ BGA บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง มีลักษณะขอบโคโลนีค่อนข้างกลมและมีสีชมพูอ่อน

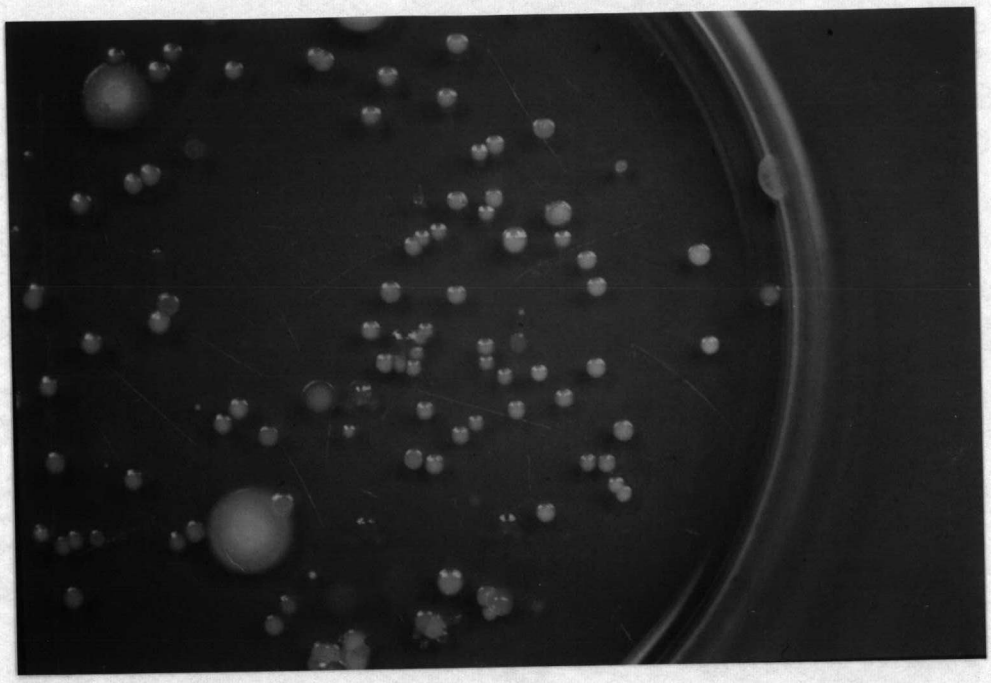
รูปที่ 6 ลักษณะโคโลนีของเชื้อซาลโมเนลลาที่แยกจากกากตะกอนเมื่อเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ XLD บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง มีลักษณะขอบโคโลนีค่อนข้างกลมและขอบมีสีชมพูใส บริเวณกลางโคโลนีมีสีดำ



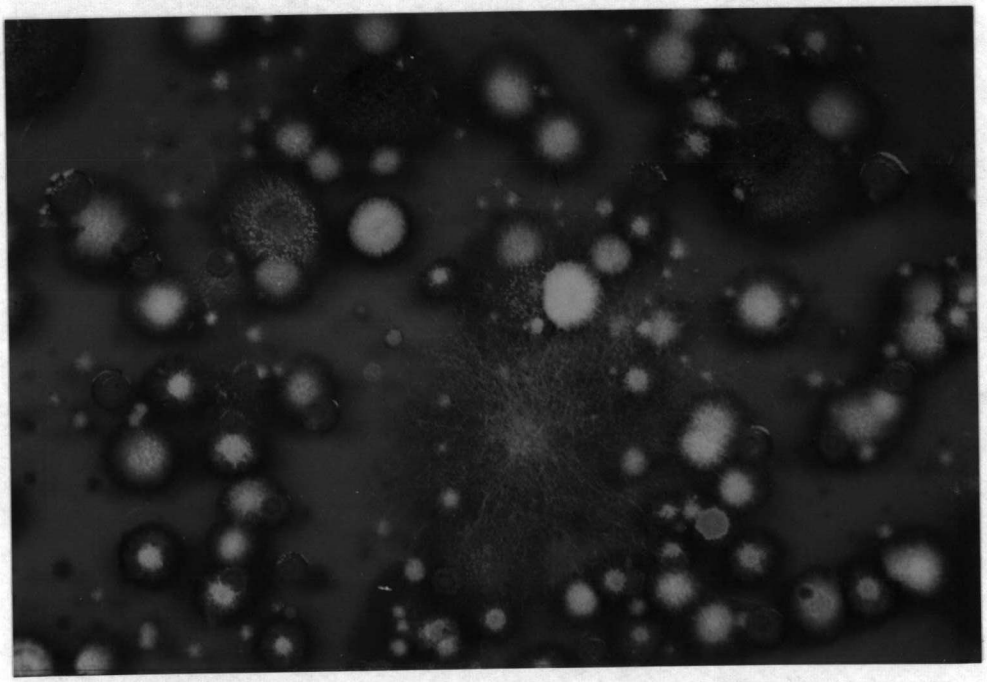
รูปที่ 7 ลักษณะการให้ผลทางชีวะเคมีของเชื้อซาลโมเนลลาที่แยกจากกากตะกอนเมื่อเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSI บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง โดยให้ฟองก๊าซและอาหารมีสีดำที่ก้นหลอด บริเวณอาหารที่ลาดเอียงมีสีแดง



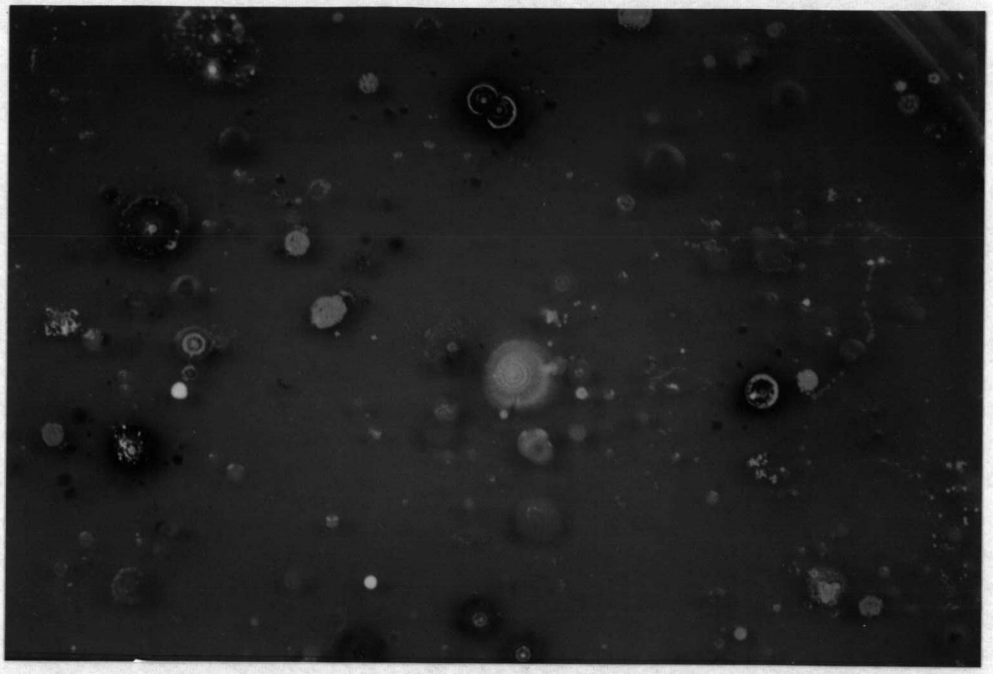
รูปที่ 8 ลักษณะการให้ผลทางชีวะเคมีของเชื้อซาลโมเนลลาที่แยกจากกากตะกอนเมื่อเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ LIA บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง โดยไม่มีฟองก๊าซและอาหารมีสีดำที่ก้นหลอด บริเวณอาหารที่ลาดเอียงมีสีม่วง



รูปที่ 9 ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่แยกจากดินที่เติมกากตะกอน เมื่อเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง โคโลนีมีลักษณะกลม ผิวมันและมีหลายสี เช่น สีเหลืองนวล สีส้ม



รูปที่ 10 ลักษณะโคโลนีของราที่แยกจากดินที่เติมกากตะกอน เมื่อเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Streptomycin Rose Bengal agar บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง โคโลนีมีลักษณะเป็นเส้นใยฟูและมีหลายสี เช่น สีขาว สีเทา



รูปที่ 11 ลักษณะโคโลนีของแอคติโนมัยซีทที่แยกจากดินที่เติมกากตะกอน เมื่อเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Na Caseinate agar บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 7 วัน ผิวโคโลนีมีลักษณะเป็นเส้นใยละเอียดมาก คล้ายผงแป้ง และมีหลายสี เช่น สีน้ำตาล สีเหลืองนวล

รูปที่ 12 ขวดโหลปิดสนิท เพื่อตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินทดลอง

รูปที่ 13 จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนการบำบัด จากโรงงานบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง

รูปที่ 14 จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว จากโรงงานบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง

ภาคผนวก ง

โรงงานบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง

โรงงานบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง
สังกัด : กองควบคุมน้ำเสีย สำนักระบายน้ำ

1. ประวัติความเป็นมาของโรงงานบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

โรงงานบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง เป็นโรงงานบำบัดน้ำเสียสำหรับชุมชนที่อยู่อาศัยขนาดใหญ่แห่งแรก ในประเทศไทย โดยได้ทำการก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ.2515 แล้วเสร็จเปิดดำเนินการเมื่อปี พ.ศ.2517

วัตถุประสงค์ที่สร้าง เพื่อบำบัดน้ำเสียจากอาคาร (Domestic Waste) จากอาคารแฟลต 38 หลัง ขณะนั้นอยู่ในความควบคุมดูแลของการเคหะแห่งชาติ ต่อมาตามมติของคณะรัฐมนตรี ให้โอนโรงงานบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง ให้มาอยู่ในความควบคุมดูแลของกองควบคุมน้ำเสีย กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 4 กันยายน 2533 เนื่องจากพิจารณาเห็นว่ากรุงเทพมหานคร เป็นหน่วยงานหลักที่สมควรจะเข้ามาทำหน้าที่ควบคุมดูแลรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร

2. ข้อมูลทางด้านวิศวกรรม

1. บ่อพักรวมมีความจุ	195	ม.^{3}
2. บ่อตกตะกอนขั้นแรกมีความจุบ่อละ	390	ม.^{3}
3. บ่อเติมอากาศมีความจุบ่อละ	230	ม.^{3}
4. บ่อตกตะกอนขั้นสุดท้ายมีความจุบ่อละ	300	ม.^{3}
5. ถังหมักตะกอนมีความจุ	1,000	ม.^{3}
ชนิดอาคารในชุมชนแฟลต 5 ชั้น และแฟลต 4 ชั้น		
จำนวนหน่วยในชุมชน	3,360	หน่วย
จำนวนประชากร	16,800	คน
พื้นที่โครงการ	82	ไร่
จำนวนประชากรต่อพื้นที่	205	คน/ไร่
พื้นที่ของโรงบำบัดน้ำเสีย	3.25	ไร่
พื้นที่ของโรงบำบัดน้ำเสียต่อที่อยู่อาศัย	1.55	ม.^{2}/หน่วย
BOD เฉลี่ย ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ	224	mg/l (Digester)
BOD เฉลี่ย ในน้ำออกจากระบบ	25	mg/l (Digester)

การกำจัด BOD หรือประสิทธิภาพ 88.9 %

งบประมาณที่ใช้ก่อสร้าง 24 ล้านบาท

F/M = 0.2

DT = 3 - 6

Flow Rate = 1,296 m^3/d

3. งบประมาณที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย แยกเป็นประเภทได้ดังนี้

1. ค่าไฟฟ้า
2. ค่าน้ำประปา
3. ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร อุปกรณ์ไฟฟ้า
4. ค่าวัสดุ ครุภัณฑ์ สิ่งก่อสร้าง
5. เงินเดือนและค่าตอบแทนของเจ้าหน้าที่

4. รายการอุปกรณ์เครื่องจักรกลแยกตามอาคารได้ดังนี้

1. อาคารสกรูปั๊ม
   - เครื่องสูบน้ำชนิดสกรูปั๊มขนาด 30 แรงม้า หมายเลข 1
   - เครื่องสูบน้ำชนิดสกรูปั๊มขนาด 30 แรงม้า หมายเลข 2
   - เครื่องสูบน้ำชนิดสกรูปั๊มขนาด 30 แรงม้า หมายเลข 3
   - เครื่องสูบตะกอนชนิดสกรูปั๊มขนาด 7.5 แรงม้า หมายเลข 1
   - เครื่องสูบตะกอนชนิดสกรูปั๊มขนาด 7.5 แรงม้า หมายเลข 2
   - เครื่องบดตะกอนและเครื่องสูบตะกอนดิบขนาด 10 แรงม้า หมายเลข 1
   - เครื่องบดตะกอนและเครื่องสูบตะกอนดิบขนาด 10 แรงม้า หมายเลข 2
2. บ่อเติมอากาศ
   - เครื่องเติมอากาศชนิดใบมีดขนาด 20 แรงม้า หมายเลข 1
   - เครื่องเติมอากาศชนิดใบมีดขนาด 20 แรงม้า หมายเลข 2
3. บ่อตกตะกอนขั้นแรก
   - เครื่องกวาดตะกอนขั้นแรกขนาด 0.75 แรงม้า หมายลข 1
   - เครื่องกวาดตะกอนขั้นแรกขนาด 0.75 แรงม้า หมายลข 2
4. บ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย
   - เครื่องกวาดตะกอนขั้นสุดท้ายขนาด 0.75 แรงม้า หมายลข 1
   - เครื่องกวาดตะกอนขั้นสุดท้ายขนาด 0.75 แรงม้า หมายลข 2

5. ถังหมักตะกอน
   - เครื่องหมุนเวียนแก๊สขนาด 7.5 แรงม้า
   - เครื่องสูบตะกอนหมุนเวียนขนาด 10 แรงม้า
6. อาคารอุ่นตะกอน
   - เครื่องสูบตะกอนหมุนเวียนขนาด 4 แรงม้า หมายเลข 1
   - เครื่องสูบตะกอนหมุนเวียนขนาด 4 แรงม้า หมายเลข 2
7. อาคารรีดตะกอน
   - เครื่องรีดตะกอนชนิดสายพาน หมายเลข 1
   - เครื่องรีดตะกอนชนิดสายพาน หมายเลข 2
   - เครื่องสูบน้ำชะล้างสายพานขนาด 4 แรงม้า หมายเลข 1
   - เครื่องสูบน้ำชะล้างสายพานขนาด 4 แรงม้า หมายเลข 2
   - เครื่องสูบน้ำชะล้างสายพานขนาด 4 แรงม้า หมายเลข 3
   - เครื่องสูบตะกอนขนาด 1.25 แรงม้า หมายเลข 1
   - เครื่องสูบตะกอนขนาด 1.25 แรงม้า หมายเลข 2
   - เครื่องสูบจ่ายสารเคมีขนาด 0.43 แรงม้า หมายเลข 1
   - เครื่องสูบจ่ายสารเคมีขนาด 0.43 แรงม้า หมายเลข 2
   - เครื่องสูบจ่ายสารเคมีขนาด 0.43 แรงม้า หมายเลข 3
   - เครื่องสูบจ่ายสารเคมีขนาด 0.43 แรงม้า หมายเลข 4
8. บนรางส่งน้ำ
   - เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ
   - เครื่องวัดอัตราการไหลของตะกอนกลับ
9. มิเตอร์ของการไฟฟ้านครหลวง หมายเลขเครื่องวัดที่ Q - 25000 ขนาด 400 แอมป์ 220/280 โวลท์ 3 ยก 4 สาย
10. ตู้คอนโทรล
11. อุปกรณ์อื่นๆ
    - เครื่องสูบน้ำแบบลูเตอร์ 1 เครื่อง
    - มอเตอร์เครื่องเติมอากาศ ขนาด 20 แรงม้า 1 เครื่อง
    - รอก 2 ตัน 1 ตัว

5. รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของระบบ

ดู Flow Diagram ประกอบ การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียห้วยขวางเป็นแบบ Activated Sludge Completely mix with Anaerobic Digestion เริ่มด้วยน้ำเสียผ่านมาตามท่อถึงบ่อพักรวมหน้าโรงงานผ่านตะแกรงหยาบเพื่อดักขยะ (Floating Matter) จากนั้นจะผ่านสกรูสูบน้ำ (Main Screw Pump) เข้าสู่รางพักตะกอนและรางส่งน้ำ (Grit Channal and Measuring Flume) ตะกอนหนักคือ พวกที่ไม่ยอมย่อยสลาย กรวดทรายที่มากับน้ำเสีย จะตกตะกอนที่ Grit Chamber น้ำที่มีพวกตะกอนเบาจะไหลไปตามรางผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล (Inlet Flow Meter) เข้าสู่บ่อพักขั้นแรก (Primary Settlement Tank) โดยไหลเข้าบ่อแบบ up flow ที่กลางบ่อ (Central Shaft) และไหลแบบ radial flow ออกที่ขอบบ่อ (Weir) บ่อพักชุดนี้มี 2 บ่อ น้ำจะไหลแยกผ่านบ่อชุดนี้ได้ใช้เวลาประมาณ 3 - 4 ชั่วโมง ทำให้ตะกอนที่มากับน้ำเสียรวมตัวกันและตกลงสู่ก้นบ่อที่นี่เป็นส่วนมาก ส่วนน้ำที่ล้นบ่อจะไหลออกไปเข้าบ่อเติมอากาศ (Areation Tank) ที่บ่อนี้จะแบ่งเป็น 2 บ่อเช่นกัน โดยมีเครื่องเติมอากาศแบบพื้นผิว (Surface Aerator) ติดตั้งประจำแต่ละบ่อ การบำบัดในขั้นนี้ใช้วิธีชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนโดยมีเชื้อจุลินทรีย์และน้ำ (Mix Liquor Suspended Solids) ปล่อยให้ผสมพร้อมกันในบ่อเติมอากาศ เมื่อภาวะแวดล้อมของจุลินทรีย์ทั้งอาหารและออกซิเจน จุลินทรีย์จะเริ่มวัฏจักรในทางชีวเคมีทันที โดย Aerobic Bacteria จะใช้ออกซิเจนเผาผลาญสารอินทรีย์ในรูปเศษตะกอนให้ได้พลังงานในการดำรงชีพ สารประกอบต่างๆ ที่เกิดจากปฏิกริยาจะเป็นสารคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น เช่น CO_2 และ H_2O ดังปฏิกริยาต่อไปนี้

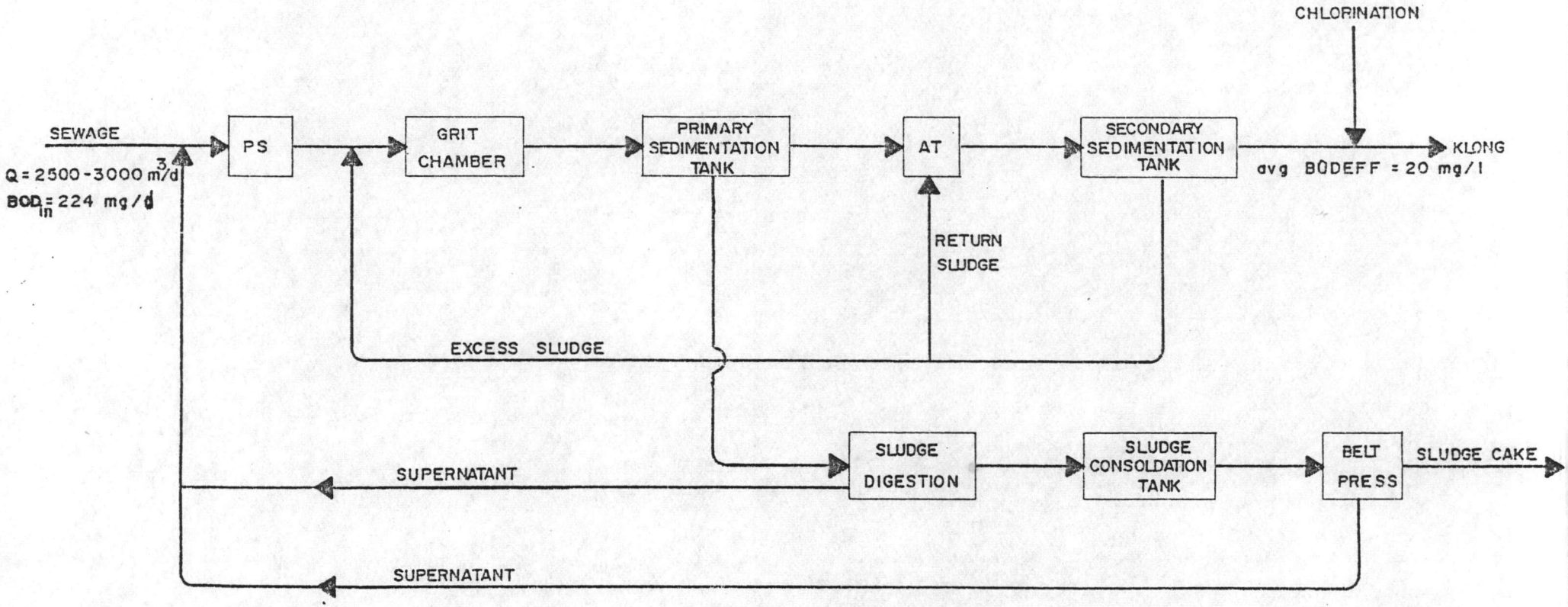
สารอินทรีย์ + O_2 + จุลินทรีย์ $\longrightarrow$ CO_2 + H_2O + NH_3 + พลังงาน + อื่นๆ

Organics + O_2 + Bacteria $\longrightarrow$ CO_2 + H_2O + NH_3

พลังงานที่ได้จะถูกนำมาสร้างเซลล์ใหม่ (Organic + Bacteria + พลังงาน + จุลินทรีย์ตัวใหม่) การเจริญของแบคทีเรียอยู่ในช่วง Decline Growth Phase คือ การเจริญเติบโตจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอาหารที่เหลืออยู่ Mix Liquor ที่ล้นออกไปจะส่งเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย (Final Settling Tank) มีอยู่ 2 บ่อ ซึ่งบ่อนี้จะทำหน้าที่แยกตะกอนกับน้ำใสออกจากกัน โดยตะกอนที่เกิดปฏิกริยาทางชีวเคมีที่สมบูรณ์แล้วจะมีน้ำหนักมาก และจับตัวกันเป็นตะกอนเล็กๆ (Floc) จมลงสู่ก้นบ่อน้ำใส ส่วนบนก็จะล้นออกมาขอบบ่อ ซึ่งจะผ่านการทำลายเชื้อโรคที่หลงเหลืออยู่ โดยเติมคลอรีนก่อนปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำสาธารณะต่อไป

ส่วนตะกอนในบ่อตกตะกอนขั้นสุดท้าย (Activated Sludge) จะถูกสูบกลับเข้าไปในบ่อเติมอากาศเพื่อรักษาปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้คงที่ การนำกลับมาใช้ใหม่ (Return Sludge) จะควบคุมปริมาณในอัตราระหว่าง 50 - 79 % ของปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบทั้งหมด ตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินจากการเจริญเติบโตจะต้องกำจัดให้ออกไปจากระบบ แต่เนื่องจากคุณสมบัติของ Activated Sludge จะทำให้การจับตัวของมันเป็นกลุ่มได้ดี (Flocculation) ฉะนั้น แทนที่จะปล่อยทิ้ง จึงนำไปปล่อยในน้ำเสียที่เพิ่งเข้าสู่ระบบเป็น Seeding ให้สารแขวนลอยตกตะกอนได้ดีขึ้นในบ่อตกตะกอนขั้นแรก

สำหรับตะกอนในบ่อพักขั้นแรกจะถูกรวบรวมไว้ที่ก้นบ่อ และถ่ายออกเป็นคราวๆ ไป เมื่อถ่ายได้มากพอแล้วจะถูกสูบผ่านเครื่องบดตะกอนให้ละเอียดขึ้น แล้วส่งเข้าถังหมักตะกอนทันที ตะกอนที่ออกมาจากบ่อพักขั้นแรก จะมีประมาณ 20 - 30 ลบ.ม./วัน ตะกอนจะถูกหมักอยู่ในถังนี้ประมาณ 45 - 90 วัน แล้วแต่ปริมาณตะกอน ปฏิกริยาในถังหมักจะเป็น Anaerobic ปฏิกริยาที่เกิดจะให้อุณหภูมิสูงและเกิดแก๊ส เช่น H_2S CH_4 และ CO_2 เพื่อให้เกิดปฏิกริยาอย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว ต้องกวนคลุกเคล้าหมุนเวียนเพิ่มอุณหภูมิของตะกอน ตะกอนจะจมลงก้นบ่อ ประมาณ 5 - 10 % ก็ถ่ายออกจากถังหมักเก็บไว้ที่ถังพักตะกอนเพื่อให้ตะกอนจับตัวกันมากขึ้น จากนั้นก็สูบเข้าเครื่องรีดตะกอน เครื่องรีดตะกอนจะรีดตะกอนได้ 5 - 7 ลบ.ม./ชม. ส่วนตะกอนแห้งที่ออกมาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของตะกอนและปริมาณของน้ำยารีดตะกอน ส่วนน้ำที่รีดออกมาจากตะกอนจะถูกส่งเข้าไปในระบบบำบัดใหม่เพราะว่ายังมีน้ำเสียอยู่ระหว่าง 50 - 80 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนตะกอนที่รีดแล้วนำไปใช้เป็นปุ๋ย โดยผสมกับดินอัตราส่วน 1 : 7



FLOW DIAGRAM HUAY KWANG SEWAGE TREATMENT PLANT

ภาคผนวกที่จ

ตารางปริมาณโลหะหนักที่อนุญาตให้มีในกากตะกอน

ตารางที่ จ1 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีในกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรของประเทศยุโรปและของกลุ่มประเทศ EC (Alloway and Jackson, 1991)

ชนิดโลหะหนัก	ค่าความเข้มข้นประเทศในยุโรป (mg/kg dry wt)	ค่าความเข้มข้นของEC (mg/kg dry wt)
Cd	8(Dk)-30(F,Sz)	20-40
Cu	500(B)-3,000(S)	1,000-1,750
FE	-	-
Mn	500(B,N)-3,000(F)	-
Ni	500(B,N)-3,000(F,S)	300-400
Pb	300(B,N)-1,200(F,G)	750-1,200
Zn	1,000(Sz)-10,000(S)	2,500-4,000

หมายเหตุ 1) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในวงเล็บแสดงถึงสัญลักษณ์แทนชื่อประเทศ เบลเยียม(B) เดนมาร์ค (Dk) ฟินแลนด์(F) เยอรมัน(G) นอรเวย์(N) สวีเดน(S) สวิซเซอร์แลนด์(Sz)

2) - หมายถึงไม่มีการรายงาน

. ประวัติผู้เขียน

นางสาว กัลยา สุนทรวงศ์สกุล เกิดเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม พ. ศ. 2511 ที่อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2533