เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. การทำและการใช้ปุ๋ยหมัก. เอกสารฝ่ายเผยแพร่ กรมพัฒนาที่ดิน, 2524.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 5. สวิตา, กรุงเทพ ฯ, 2526.

ดำริ ถาวรมาศ. "ประโยชน์ของน้ำโสโครกสำหรับการกสิกรรม." กสิกร 50(6), (2520) : 391-394.

เล็ก มอญเจริญ. "การสำรวจและจำแนกดินไร่ของประเทศไทย." รายงานการสัมมนา เรื่อง สถานการณ์ดินและปุ๋ยของประเทศไทย เมื่อวันที่ 1-2 พฤศจิกายน 2522 ณ อาคารศูนย์เรียนรวม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรวิทย์ ชีวาภรณาภิวัฒน์. "โครงการวิจัยโลหะหนักในพืชเศรษฐกิจ." จดหมายข่าวสภาวะแวดล้อม ตุลาคม, 2523 : 8-17.

สมศักดิ์ วังใน. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2524.

สุรพล อุปดิสสกุล. สถิติ การวางแผนการทดลองเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2, พฤศจิกายน, 2523. (ไม่ปรากฏสำนักพิมพ์)

เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพ ฯ, 2518.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. "ปริมาณและการแพร่กระจายของโลหะหนักในดินเขตกรุงเทพมหานครอันส่งผลต่อการเจริญเติบโต และองค์ประกอบทางเคมีของพืช." รายงานผลการวิจัย ฉบับสมบูรณ์ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

ADAS Advisory Paper No. 10 Chumbley, C.G. "Permissible Levels of Toxic Metals in Sevage Used on Agricultural Land" 12 p. Ministry of Agricultural, Fisheries and Food, Middlesex, England, 1971.

Ajmal, M. and Khan, A.U. "Effect of Brewery Effluent on Agricultural Soil and Crop Plants." Environmental Pollution (Series A) 33(4), (1984): 341-351.

Armitage, E.R. The Run-off of Fertilizer from Agricultural Land and Their Effects on the Natural Environment. in Pollution and the Use of Chemical in Agricultural. (Irvine, D.F.G. and Knight, B. eds.) Ann Arbor Science Publisher Inc., Michigan, 1974.

ASA-SSSA. Method of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd. ed. America Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publishing, Madison, Wisconsin, 1982.

Atalay, A and Blanchar, R.W. "Evaluation of Methane Generator Sludge as a Soil Amendment." J.Environ. Qual. 13(3), (1984): 341-344.

Aubert, H. and Pinta, M. Trace Elements in Soils. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1977.

Bingham, F.T., Page, A.L., Mahler, R.J. and Ganje, T.J. "Growth and Cadmium Accumulation of Plants Grown on a Soil Treated with a Cadmium-Enriched Sewage Sludge." J. Environ. Qual. 4(2), (1975): 207-211.

Bollag, J-M and Barabasz, W. "Effect of Heavy Metals on the Denitrification Process in Soil." J.Environ. Qual. 8(2), (1979); 196-201.

Chaney, R.L. Fate of Toxic Substances in Sludge applied to Cropland. Proceedings in the International Symposium on Land Application of Sewage Sludge, Tokyo, 1982.

Chaney, R. L. "Potential Effects of Waste Constituents on the Food Chain." in Land Treatment of Hazardous Wastes. (Parr, J.F., Marsh, P.B., and Kla, J.M. eds.) PP. 152-240. Noyes Data Corp., ParkRidge, N.J., U.S.A.,1983.

Chang, A.C., Warneke, J.E., Page, A.L. and Lund, L.J. "Accumulation of Heavy Metal in Sewage Sludge-treated Soils." J. Environ. Qual. 13(1), (1984) : 87-91.

Chapman, H.D. and Pratt, P.F. Methods of Analysis for Soils, Plants, and Waters. Division of Agricultural Sciences, U. of California, August, 1961.

Cottenies, A., Kiekans, L. and Van Landschoot, G. "Problem of the Mobility and Predictability of Heavy Metal Uptake by Plants." in Processing and Use of Sewage Sludge. (L' Hermite, P. and Ott, H. eds.) pp. 124-131. D. Reidal Publishing Company, Holland, 1984.

Council For Agricultural Science and Technology (CAST). "Application of Sewage Sludge to Cropland : Appraisal of Potential Hazards of Heavy Metals to plants and Animal." Rep. no. 64. CAST, Ames, Iowa, 1976.

Cunningham, J.D., Keeney, D.R. and Ryan, J.A. "Yield and Metal Composition of Corn and Rye Grown on Sewage Sludge-Amended Soil." J. Environ. Qual. 4(4), (1975a) : 448-454.

_____. "Phytotoxicity in and Metal Uptake from Soil Treated with Metal-Amended Sewage Sludge." J. Euviron. Qual. 5(4),(1975 b): 455-459.

_____. "Phytotoxicity and Uptake of Metals Added to Soils as Inorganic Salts or in Sewage Sludge." J. Environ Qual. 4(4), (1975 c) : 460-462.

Davis, R.D. "Crop Uptake of Metals (Cadmium, Lead, Mercury, Copper, Nickel, Zinc and Chromium.) From Sludge-Treated Soil And Its Implications for Soil Fertility and for the Human Diet." in Processing and Use of Sewage sludge.(L'Hermite, P. and Ott, H. eds) pp. 349-357. D.Reidal Publishing Company, Holland, 1984.

Dolar, S.G., Boyle, J.R. and Keeney, D.R. "Paper Mill Sludge Disposal on Soils : Effects on the Yield and Mineral Nutrition of Oats (Avena Sativa L.)." J.Environ. Qual. 1(4), (1972) : 405-409.

Duncomb, D.R.; Larson, W.E.; Clapp, C.E.; Dowdy, R.H.; Linden, K.R. and Johnson, W.K. "Effect of Liquid Wastewater Sludge Applicattion on Crop Yield and Water Quality." J. WPCF 54(8), (1982) : 1185-1193 .

Epstein, E." Effect of Sewage Sludge on Some Soil Physical Properties." J. Environ. Qual.4(1), (1975): 139-142 .

FAO Agricultural Development Paper No.75. Mann, I."Processing and Utilization of Animal By-Products." Printed in Italy, 1962.

Garcia, W.J., Blessin, C.W., Sandford, H.W. and Inglett, G.E." Translocation and Accumulation of Seven Heavy Metals in Tissues of Corn Plants Grown on Sludge-Treated Strip-Mined Soil." J. Agric. Food Chem. 27(5), (1979) : 1088-1093.

Gomez, K.A. and Gomez, A.A. Statistical Procedures for Agricultural Research with Emphasis on Rice. The International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 1976.

Goring, A.J. and Hanaker, J.W. Organic Chemical in Soil Environment. Vol.2. Merchel Dekker, Inc., New York, 1972.

Guidi, G. and Hall, J.E." Effects of Sewage Sludge on the Physical and Chemical Properties of Soils." in Processing and Use of Sewage Sludge (L'Hermite,P. and Ott, H. eds.) pp. 295-305. D. Reidal Publishing Company, Holland, 1984.

Guidi, G., Levi-minze, R., Riffaldi, R. and Giachetti, M. "Field Trials in Italy Evaluate Compost and Fertilizers." Biocycle 24(1), 1983: 44-46.

Gupta, S.C., Dowdy, R.H. and Larson, W.E. " Hydraulic and Thermal Properties of a Sandy Soil as Influenced by Incorporation of Seuage Sludge." J. Soil Scr. Soc Am. 41, (1977) : 601-605

Hall, J.E. and Coker, E.G. "Some Effects of Sewage Sludge on Soil Physical Conditions and Plant Growth." In The Influence of Sewage Sludge Application on Physical and Biological Properties of Soils.(Catroux, G., L'Hermite, P. and Suess, E. eds.) D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 1983.

Hinsley, T.D., Ziegler, E.L. and Jones, R.L. "Effects on Corn by Applications of Heated Anaerobically Digested Sludge." Compost Sci. (13),(1972) : 26-30.

Hodgeson, J.F., Geering, H.R. and Nowell, W.A. "Micronutrient Cation Complexes in Soil Solution : I. Partition Between Complexed and Uncomplexed Forms by Solvent Extraction." Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29,(1965) : 665-669.

Hyde, H.C. "Utilization of Wastewater Sludge for Agricultural Soil Enrichment." J.WPCF 48(1), (1976) : 77-90.

Hyde, H.C., Page, A.L., Bingham, F.T. and Mahler, R.J. "Effect of Heavy Metals in Sludge on Agricultural Crops." J.WPCF 51(10), (1979) : 2475-2486.

Jacobs, A., Brailey, D. and Pickart, B. "Municipal Sludge Management for Recovery Energy." Water and Sewage Works 126(2), (1979) : 48-52.

Jacobs, L.W. Agricultural Application of Sewage Sludge. in Sludge and Its Ultimate Disposal. (Borchardt, J.A., Redman, W.J., Jones, G.E. and Spraque, R.T. eds.) Ann Arbor Science Publishers. Inc., Michigan, 1981.

Jones, U.S. Fertilizers and Soil Fertility. A Prentice-Hall Company, Reston, 1979.

Joseph, K.T. "Comparative Studies on Heavy Metal Uptake by Plants from Anaerobically and Aerobically Digested Sludge-Amended Soil." in Dissertation Abstr. International B the Science and Engineering. 44(12), (1984) : 3704B.

Kelling, K.A., Peterson, A.E., Walsh, L.M., Ryan, J.A. and Keeney, D.R. "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(4), (1977) : 339-344.

Kladivko, E.J. and Nelson, D.W. "Changes in Soil Properties from Application of Anaerobic Sludge." J. WPCF 51(2), (1979) : 325-332.

King, L.D. and Morris, H.D. "Land Disposal of Liquid Sewage Sludge : I the Effect on Yield, in vivo Digestibility and Chemical Composition of Coastal Bermudagrass." J.Environ. Qual. 1(3), (1972a) : 325-329.

_____. "Land Disposal of Liquid Sewage Sludge : II the Effect on Soil pH, Mn, Zn and Growth and Chemical Composition of Rye (Secale cereal L.)." J.Environ. Qual. 1(4), (1972b) : 425-429.

King, L.D. Rudgers, L.A. and Webber, L.R. "Application of Municipal Refuse and Liquid Sewage Sludge to Agricultural Land : I Field Study." J.Environ. Qual. 3,(1974) : 361-366.

Kirkham, M.B. "Characteristics of Wheat Grown with Sewage Sludge Placed at Difference Soil Depths." J.Environ. Qual. 9(1), (1980) ; 13-18.

Kloke, A. "Re-Use of Sludges and Treated Wastewater in Agricultural." Wat. Sci. Tech. 14,(1982) : 61-72.

Kuntze, H., Pluquet, E., Stark, J.H. and Coopola, S. "Current Techniques for the Evaluation of Metal Problems Due to Sludge." in Processing and Use of Sewage Sludge. (L' Hermite, P. and Ott, H. eds.) pp. 396-403. D. Reidal Publishing Company, Holland, 1984.

Lindsay, W.L. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons,Inc., Canada, 1979.

Magdoff, F.R. and Amadon, F.F. "Nitrogen Availability from Sewage Sludge." J. Environ. Qual. 9(3), (1980) ; 451-455.

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

Mays, D.A., Terman, G.L. and Duggan, J.C. "Municipal Compost : Effect on Crop Yields and Soil Properties." J. Environ. Qual. 2(1), (1973) ; 89-92.

Mengel, K. and Kirkby, E.A. Principles of Plant Nutrition. 3rd. ed. International Potash Institute, Bern, Switzerland, 1982.

Miller, R.H. "Facter Affecting the Decomposition of an Anaerobically Digested Sewage Sludge in Soil." J.Environ. Qual. 3(4), (1974) : 374-380.

Milne, R.A. and Graveland, D.N. "Sewage Sludge as a Fertilizer." Can. J. Soil Sci. 52, (1972) : 270-273.

Mitchell, G.A., Bingham, F.T. and Page, A.L. "Yield and Metal Composition of Lettuce and Wheat Grown on Soils Amended with Sewage Sludge Enriched with Cd, Cu, Ni and Zn." J.Environ. Qual. 7, (1978) : 165-171.

Mortvedt, J.J. and Giordano, P.M. "Response of Corn to Zinc and Chromium in Municipal Wastes Applied to Soil." J.Environ. Qual. 4(2), (1975) ; 170-174.

Narwal, R.P., Singh, B.R. and Panhwar, A.R. "Plant Availability of Heavy Metals in a Sludge-treated Soil : I Effect of Sewage Sludge and Soil pH on Yield and Chemical Composition of Rape." J.Environ.. Qual. 12(3), (1983) : 358-365.

Pagliai, M.Guidi, G., La Marca, M., Giachetti, M. and Lucamante, G. "Effect of Sewage Sludge and Composts on Soil Porosity and Aggregation." J.Environ. Qual. 10(4), (1981) : 556-561.

Premi, P.R. and Cornfield, A.H. "Incubation Study of Nitrogen Mineralization in Soil Treated with Dried Sewage Sludge." Environ. pollut. 2, (1971) ; 1-4.

Purves, D. Trace-Element Contamination of the Environment. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Netherlands, 1977.

Reilly, C. Metal Contamination of Food. Applied Science Publishers Ltd., Essex, England, 1980.

Sabey, B.R., Agbim, N.N. and Narkstorm, D.C. "Land Application of Sewage Sludge : IV Wheat Growth N-Content, N Fertilizer Value and N Use Efficiency as Influened by Sewage Sludge and Wood Waste Mixture." J.Environ. Qual. 6,(1977) : 52-58.

Sabey, B.R. and Hart, W.E. "Land Application of Sewage Sludge : I Effect on Growth and Chemical Composition of Plants." J.Environ. Qual. 4(2), (1975) : 252-256.

Sheaffer, C.C., Decker, A.M., Chaney, R.L.. and Douglass, L.W. "Soil Temperature and Sewage Sludge Effects on Corn Yield and Macronutrient Content." J.Environ. Qual. 8(4), (1979a) : 450-454.

_____. "Soil Temperature and Sewage Sludge Effects on Metals in Crop Tissue and Soils." J.Environ. Qual. 8(4), (1979b) : 455-459.

Sommers, L.E. "Chemical Composition of Sewage Sludges and Analysis of Their Potential Use as Fertilizers." J.Environ. Qual. 6(2), (1977) : 225-232.

Stoker, H.S. and Seager, S.L. Environment Chemistry : Air and Water Pollution. 2nd. ed. Scott, Foresman and Company, U.S.A., 1976.

Stucky, D.J. and Newman, T.S. "Effect of Dried Anaerobically Digested Sewage Sludge on Yield and Element Accumulation in Tall Fescue and Alfalfa." J.Environ. Qual. 6(3), (1977) : 271-274.

Thompson, R. "How Farmers Can Reduce Fertilizer Bills by Using On-Farm Wastes and Urban Sludge." Compost Sci. 16(3), (1975) : 14.

Touchton, J.T., King, L.D., Bell, H. and Morris, H.D. "Residual Effect of Liquid Sewage Sludge on Coastal Bermudagrass and Soil Chemical Properties." J.Environ. Qual. 5(2), (1976) : 161-164.

U.S. Depart. of Commerce. "Control of Heavy Metal Content of Municipal Wastewater Sludge." Gurnham and Associate,Inc., Chicago, JL. Prepared for National Science Foundation, Washington, D.C. Applied Science and Research, Apr. 1979.

Valdares, J.M.A.S., Mingelgrin, M. Gal., U. and Page, A.L. "Some Heavy Metals in Soils Treated with Sewage Sludge, Their Effects on Yield, and Their Uptake by Plant." J.Environ. Qual. 12(1), (1983) : 49-57.

Webber, J. "Effects of Toxic Metals in Sewage on Crops." Water pollut. Contr. 71,(1972) : 404-413.

Webber, M.D., Kloke, A. and Tjell, J. CHR. "A Review of Current Sludge Use Guidelines for the Control of Heavy Metal Contamination in Soils." in Processing and Use of Sewage Sludge. (L' Hermite, P., and Ott, H. eds.) pp. 371-385. D.Reidal Publishing Company, Holland, 1984.

WHO Environment Health Criteria 17. "Manganese." Published under the joint sponsorship of the United Nations Environment Program, the International Labour Organization, and the World Health Organization, Printed in Finland, 1981.

Winton, A.L. and Winton, K.B. (eds.) The Structure and composition of Foods. Vol. II vegetables, Legumes, Fruits. John Wiley & Sons, Inc., N.Y., 1935.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ตาราง 1 สารเคมีที่ใช้ใส่ลงในดินเพื่อทดลองถึงผลของโลหะหนักในรูปของสารละลายโลหะหนักคลอไรด์ ซึ่งเป็นชนิด analytical grade

ธาตุ	สารเคมีที่ใช้
แคดเมียม	$CdCl_2 \cdot 2\frac{1}{2}H_2O$
ทองแดง	$CuCl_2 \cdot 2H_2O$
เหล็ก	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$
แมงกานีส	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$
นิเกิล	$NiCl_2 \cdot 6H_2O$
ตะกั่ว	$PbCl_2$
สังกะสี	$ZnCl_2$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2 ปริมาณโลหะหนักที่เติมลงในดิน เพื่อให้มีปริมาณเทียบเท่ากับที่มีในกากตะกอน 20, 40, 60 และ 80 ตัน/เฮกตาร์ คิดเป็น ppm.

อัตราที่ใส่ \ ธาตุ	แคดเมียม	ทองแดง	เหล็ก	แมงกานีส	นิเกิล	ตะกั่ว	สังกะสี
ADS (ตัน/เฮกตาร์)							
20	0.002	0.55	3.57	1.26	0.04	0.04	5.0
40	0.005	1.10	7.14	2.52	0.08	0.07	10.0
60	0.007	1.65	10.71	3.78	0.13	0.12	15.0
80	0.009	2.20	14.28	5.04	0.18	0.14	20.0
ATS (ตัน/เฮกตาร์)							
20	0.005	2.82	3.05	2.10	0.03	0.03	6.0
40	0.009	5.64	6.10	4.20	0.06	0.06	12.0
60	0.014	8.46	9.15	6.30	0.09	0.09	18.0
80	0.019	11.28	12.20	8.40	0.12	0.13	24.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3 การเปรียบเทียบปริมาณของโลหะหนักบางชนิดในพืช ระหว่างค่าปกติกับค่าที่สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้ (Chaney, 1982)

ธาตุ	ปริมาณในพืช (มก./กก. น้ำหนักแห้ง)	
	ระดับปกติ (normal)	ระดับที่เกิดความเป็นพิษ (phytotoxic)
Cd	0.1-1	5-700
Cu	3-20	25-40
Fe	30-300	
Mn	15-150	400-2000
Ni	0.1-5	50-100
Pb	2-5	
Zn	15-150	500-1500

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

1. จัดข้อมูลในตารางที่ดูง่าย ๆ

ตัวอย่าง เช่น ผลผลิต(กรัม/กระถาง) ของถั่วเหลือง 4 พันธุ์

พันธุ์ (treatment)	ซ้ำ(บลอค) I	II	III	IV	ผลรวมของสิ่งทดลอง	ค่าเฉลี่ย
ก	12	15	14	14	55 (T_1)	13.75 ($\bar{T}_1$)
ข	20	22	19	18	79 (T_2)	19.75 ($\bar{T}_2$)
ค	16	17	15	13	61 (T_3)	15.25 ($\bar{T}_3$)
ง	12	13	9	7	41 (T_4)	10.25 ($\bar{T}_4$)
ผลรวมของซ้ำ	60 (R_1)	67 (R_2)	57 (R_3)	52 (R_4)	236(G.T.)	14.75 (G.M.)

หมายเหตุ : $T_1,\cdots,T_4$ คือผลรวมของแต่ละสิ่งทดลอง

$\bar{T}_1,\cdots,\bar{T}_4$ คือค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลอง

$R_1,\cdots,R_4$ คือผลรวมของแต่ละซ้ำหรือบลอค

2. หาผลรวม (T) และค่าเฉลี่ย ($\bar{T}$) ของแต่ละพันธุ์ ผลรวมของแต่ละซ้ำ (R) ตลอดจนผลรวมทั้งหมด (grand total, G.T.) และค่าเฉลี่ยทั้งหมด(grand mean, G.M.)

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOV)

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ RCB

Source of variation	d.f.	SS	MS	F
Replications (R)	r-1	$\frac{R_1^2+\cdots+R_r^2}{t}$ - C.F.	$\frac{(R)SS}{r-1} = M_3$	$\frac{M_3}{M_1}$
Treatments (T)	t-1	$\frac{T_1^2+\cdots+T_t^2}{r}$ - C.F.	$\frac{(T)SS}{t-1} = M_2$	$\frac{M_2}{M_1}$
Error (R x T)	(r-1)(t-1)	Total SS-(R)SS -(T)SS	$\frac{\text{Error SS}}{(r-1)(t-1)} = M_1$	
Total	tr-1	$\Sigma(\text{each value})^2$ - C.F.		

t คือจำนวนสิ่งทดลอง

r คือจำนวนซ้ำ

4. ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ก. $C.F... = \frac{(\text{ผลรวมทั้งหมดในการทดลอง})^2}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}}$

$= \frac{(G.T.)^2}{(t)(r)}$

$= \frac{(236)^2}{(4)(4) = 16}$

$= 3,481$

ข. Sum of squares

Total SS = ผลบวกของ(ข้อมูลจากแต่ละหน่วยการทดลอง)^2-C.F.

$= (12)^2 + (15)^2 + \cdots + (7)^2$ - C.F.

$= 3,712 - 3,481$

$= 231$

$$\text{Replications SS} = \frac{\text{ผลบวกของ (ผลรวมของแต่ละซ้ำ)}^2}{\text{จำนวนข้อมูลที่ประกอบกับผลรวมของแต่ละซ้ำ = จำนวนสิ่งทดลอง}} - \text{C.F.}$$

$$= \frac{R_1^2 + \cdots + R_r^2}{t} - \text{C.F.}$$

$$= \frac{(60)^2 + (67)^2 + (57)^2 + (52)^2}{4} - \text{C.F.}$$

$$= 3{,}510.5 - 3{,}481.0$$

$$= 29.5$$

$$\text{Treatments SS} = \frac{\text{ผลบวกของ (ผลรวมของแต่ละสิ่งทดลอง)}^2}{\text{จำนวนข้อมูลที่ประกอบเป็นผลรวมของแต่ละสิ่งทดลอง = จำนวนซ้ำ}} - \text{C.F.}$$

$$= \frac{T_1^2 + \cdots + T_t^2}{r} - \text{C.F.}$$

$$= \frac{(55)^2 + (79)^2 + (61)^2 + (41)^2}{4} - \text{C.F.}$$

$$= 3{,}667 - 3{,}481$$

$$= 186$$

$$\text{Error SS} = \text{Total SS} - \text{Replications SS} - \text{Treatments SS}$$

$$= 231.0 - 29.5 - 186.0$$

$$= 15.5$$

ค. Mean squares

$$\text{Replications MS}, (M_3) = \frac{\text{Replications SS}}{\text{d.f.replications}, (r-1)}$$

$$= \frac{29.50}{(4-1) = 3}$$

$$= 9.83$$

$$\text{Treatments MS}, (M_2) = \frac{\text{Treatments SS}}{\text{d.f.treatments}, (t-1)}$$

$$= \frac{186.00}{(4-1) = 3}$$

$$= 62.00$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{Error MS},(M_1) = \frac{\text{Error SS}}{\text{d.f.error, } (r-1)(t-1)}$$

$$= \frac{15.50}{(4-1)(4-1) = 9}$$

$$= 1.72$$

ง. F-values

$$F(\text{rep.}) = \frac{\text{Rep.MS}}{\text{Error MS}} \quad \text{d.f.}(r-1) \text{ และ } (r-1)(t-1)$$

$$= \frac{9.83}{1.72} \quad \text{d.f.3 และ 9}$$

$$F(\text{rep.})_{3,9} = 5.72$$

$$F(\text{treat}) = \frac{\text{Treat.MS}}{\text{Error MS}} \quad \text{d.f.}(t-1) \text{ และ } (r-1)(t-1)$$

$$= \frac{62.00}{1.72} \quad \text{d.f.3 และ 9}$$

$$F(\text{treat.})_{3,9} = 36.05$$

จ. เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับ F จากตาราง

$$F(\text{rep.})_{3,9} = 5.72^{*} > 3.86 \left[F.05_{(3,9)}\right]$$

$$F(\text{treat.})_{3,9} = 36.05^{**} > 6.99 \left[F.01_{(3,9)}\right]$$

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ .๐๕

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ .๐๑

ช. คำนวณค่า C.V.

$$\text{C.V.} = \frac{\sqrt{\text{Error MS}}}{\text{grand mean}} \times 100\%$$

$$= \frac{\sqrt{1.72}}{14.75} \times 100\%$$

$$= 8.89\ \%$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. การทดสอบหาความแตกต่าง โดยใช้ DMRT (Duncan's new multiple-range test)

วิธีนี้นิยมใช้ในกรณีที่มีหลาย ๆ สิ่งทดลองและต้องการเปรียบเทียบสิ่งทดลองทั้งหมดในคราวเดียวกัน วิธีการเปรียบเทียบแบ่งเป็นขั้น ๆ ดังนี้

1. จัดเรียงค่าเฉลี่ยตามลำดับ เช่น จากตัวอย่าง

อันดับที่ (rank)	๑	๒	๓	๔
พันธุ์	ข.	ค.	ก.	ง.
ค่าเฉลี่ย	๑๙.๗๕	๑๕.๒๕	๑๓.๗๕	๑๐.๒๕

2. คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standard error, $S_{\bar{y}}$)

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{\text{error mean square}}{n}}$$

n คือจำนวนข้อมูลที่ใช้หาค่าเฉลี่ย การหาค่า n หาโดยอาศัยหลักเช่นเดียวกับ LSD

จากตัวอย่าง CRD n ก็คือจำนวนซ้ำ

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{3.75}{4}}$$

$$= 0.97 \text{ กรัม/กระถาง}$$

3. คำนวณค่า "least significant ranges" (LSR) สำหรับช่วงการเปรียบเทียบต่าง ๆ โดยอาศัยตาราง "Significant Studentized Ranges"(SSR) ในหนังสือสถิติทั่ว ๆ ไป ซึ่งอยู่ในรูปแบบดังนี้

—

Significant Studentized Ranges for .05 and .01 level New Multiple-Range Test

Error d.f.	Protection level	p = number of means for range being tested					
		2	3	4	5	------	20
1	.05	18.0	18.0	18.0	18.0		18.0
	.01	90.0	90.0	90.0	90.0		90.0
2	.05						
⋮	.01						
12	.05	3.08	3.23	3.33	3.36		3.48
⋮	.01	4.32	4.55	4.68	4.76		5.26
∞	.05						
	.01						

p ก็คือ จำนวนของค่าเฉลี่ยในช่วงการเปรียบเทียบ ซึ่งเท่ากับ (ผลต่างของอันดับ + 1)

สูตรสำหรับหา least significant range (LSR) คือ

$$LSR_{\alpha,p} = R_{\alpha,I} = (SSR_{\alpha,p})(S_{\bar{y}})$$

จากตัวอย่าง d.f. ของ error 12

p	2	3	4
$SSR_{.05}$	3.08	3.23	3.33
$SSR_{.01}$	4.32	4.55	4.68
$LSR_{.05}$	2.99	3.13	3.23
$LSR_{.01}$	4.19	4.41	4.54

ค่า $LSR_{.05}$ ในกรณีของ p = 2 [ซึ่งมี ๓ ตัว ได้แก่ผลต่างระหว่างอันดับที่ ๑(ข.)และ ๒(ค.),อันดับที่ ๒ (ค.) และ ๓ (ก.) และอันดับที่ ๓ (ก.) และ ๔ (ง.)] ได้มาดังนี้

$$LSR_{.05} = (SSR_{.05,2})\ (S_{\bar{y}})$$
$$= (3.08)\ (0.97)$$
$$= 2.99$$

<u>หมายเหตุ</u> ค่า LSR ที่ p = 2 ก็คือค่า LSD นั่นเอง ค่า LSR อื่น ๆก็หาตามวิธีการที่กล่าวมา

4. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดกับต่ำสุดกับค่า LSR ที่

p =(ผลต่างของอันดับ + 1)

จากตัวอย่าง p = (4-1) + 1 = 4

อันดับ	๑	๔
พันธุ์	ข.	ง.
ค่าเฉลี่ย	๑๔.๗๕	๑๐.๒๕

(๑๔.๗๕-๑๐.๒๕) = ๔.๕๐ > ๔.๔๔ ($LSR_{.01,4}$)

แสดงว่าพันธุ์ ข. กับพันธุ์ ง. ต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเป็นไปได้ .๐๑

5. เมื่อผลต่างในข้อ 4 มากกว่าค่า LSR ก็ดูต่อไปอีกคือ ดูผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยตัวสูงสุดกับค่าเฉลี่ยรองต่ำสุด

อันดับ	๑	๓
พันธุ์	ข.	ก.
ค่าเฉลี่ย	๑๔.๗๕	๑๓.๗๕

(๑๔.๗๕ - ๑๓.๗๕) = ๖.๐๐ > ๔.๔๑ ($LSR_{.01,3}$)

ในกรณีนี้ p = (3-1) + 1 = 3

6. ในกรณีที่ผลต่างยังมากกว่าค่า LSR ก็ทำต่อไปเช่นนี้เรื่อย ๆ คือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตัวสูงสุดกับค่าเฉลี่ยถัดขึ้นมาจากการเปรียบเทียบครั้งก่อน จะหยุดเปรียบเทียบก็ต่อเมื่อผลต่างนั้นน้อยกว่าค่า LSR ที่เกี่ยวข้อง และสรุปออกไปว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดที่อยู่ในช่วงนั้นไม่แตกต่างกัน

7. เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสูงสุดกับค่าเฉลี่ยอื่น ๆ หมดแล้ว ก็ให้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรองสูงสุดกับค่าเฉลี่ยอื่น ๆ โดยใช้วิธีการคล้าย ๆ กันคือ ข้อ 4-6

8. จากนั้นก็ใช้ค่าเฉลี่ยตัวที่สูงรองลงมา ทำเช่นเดียวกับข้อ 7

9. ในกรณีที่มีค่าเฉลี่ยมาก ๆ ตัว เช่น ๑๐ ตัว และผู้วิเคราะห์ทำตามวิธีตั้งแต่ข้อ 4 ถึงข้อ 7 แล้ว สมมติพบว่าค่าเฉลี่ยตัวที่สูงอันดับ ๖ ไม่แตกต่างกับค่าเฉลี่ยตัวต่ำสุด (อันดับ ๑๐) ก็ให้หยุดการเปรียบเทียบทันทีไม่ต้องทำต่อไปอีก เพราะว่าจะได้ผลของค่าเฉลี่ยในช่วงตั้งแต่อันดับ ๖ ถึงอันดับ ๑๐ ไม่แตกต่างกันเลย

วิธีการง่าย ๆ อีกอย่างที่ทำให้เสียเวลาคำนวณน้อยกว่านี้ โดยเฉพาะเมื่อมีค่าเฉลี่ยในการเปรียบเทียบมาก ๆ เช่น กรณี ๑๐ ตัว สมมติ d.f.ของ error = 12 คำนวณค่า $LSR_{.05}$ ที่ p = 10 ได้เท่ากับ ๔.๔๓

ค่าเฉลี่ยเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยเป็นดังนี้

อันดับ	๑	๒	๓	๔	๕	๖	๗	๘	๙	๑๐
ค่าเฉลี่ย	๙.๐๐	๘.๕๐	๘.๐๐	๗.๐๐	๖.๕๐	๖.๐๐	๕.๐๐	๔.๕๐	๔.๐๐	๓.๐๐

ให้เอาค่าเฉลี่ยที่สูงสุด (อันดับ ๑) คือ ๙.๐๐ ลบด้วย $LSR_{.05}$ ที่ p = 10 คือ ๔.๔๓ ดังนี้

(๙.๐๐ - ๔.๔๓) = ๔.๕๗

จากนั้นดูว่า ค่าเฉลี่ยไหนมีค่าต่ำกว่าผลต่างนี้ (๔.๕๗) ซึ่งได้แก่ค่าเฉลี่ยอันดับ ๘-๑๐ ผู้วิเคราะห์สามารถสรุปได้ทันทีว่า ค่าเฉลี่ยตั้งแต่อันดับ ๘ ลงมาจะแตกต่างกับค่าเฉลี่ยอันดับ ๑

10. จัดกลุ่มของค่าเฉลี่ยตามความแตกต่าง โดยใช้การขีดเส้นใต้ค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกัน บางท่านก็นิยมใช้อักษรที่เหมือนกันแทนการขีดเส้นใต้

จากตัวอย่างของการเปรียบเทียบพันธุ์ถั่วเหลือง ๔ พันธุ์ ดังกล่าว (ซึ่งแสดงผลของค่าเฉลี่ยในข้อ 1) จะได้ผลดังนี้

อันดับที่	๑	๒	๓	๔
พันธุ์	ข.	ค.	ก.	ง.
ค่าเฉลี่ย (กรัม/กระถาง)	๑๙.๗๕	๑๕.๒๕	๑๓.๗๕	๑๐.๒๕
หรือ	๑๙.๗๕ a	๑๕.๒๕ b	๑๓.๗๕ b	๑๐.๒๕ c

สรุปผล 1. พันธุ์ ก. ข. และ ค. ต่างจาก ง. (พันธุ์เปรียบเทียบ) ทางสถิติ

2. พันธุ์ ข. ให้ผลผลิตสูงสุดต่างจากพันธุ์อื่น ๆ

3. พันธุ์ ก. และ ค. ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นางสาวพัชราวดี สุวรรณธาดา จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (รังสีเทคนิค) จากมหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปีการศึกษา 2525

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย