บรรณานุกรม

กรรณิการ์ สิริสิงห. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2525.

จารุวรรณ วิระวงษ์นุสร. "พิษเฉียบพลันของแอมโมเนียที่มีต่อกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนระยะต่าง ๆ กัน" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2525.

บรรจง เทียนส่งรัศมี. หลักการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2521.

ประมงทะเล, กอง. "รายงานการสำรวจบริเวณโรงไฟฟ้าขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช" กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2525.

_____. สรุปผลการสำรวจสภาพนิเวศนวิทยาและสิ่งแวดล้อมทางการประมงบริเวณโรงไฟฟ้าขนอม. กรมประมง มกราคม 2526: 1-21.

ประมงน้ำจืดแห่งชาติ, สถาบัน. การศึกษาสภาพนิเวศนวิทยาปากแม่น้ำบางปะกงและผลกระทบจากโรงไฟฟ้าบางปะกง. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2526.

ประมวล โชคลือชัย. "พิษเฉียบพลันของคลอรีนในระบบสัมผัสเป็นครั้งคราวต่อปลากะพงขาวและกุ้งก้ามกรามที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2523.

ปรีชา สมมณี. การวิเคราะห์ความเป็นพิษของสารที่มีต่อสัตว์น้ำโดยวิธีโปรบิท. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2520.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. "โรงไฟฟ้าปรมาณูกับสิ่งแวดล้อม" วารสารการประมง 4(2519): 387-397.

_____. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ. 2525.

พาลาภ สิงหเสนี และวินิจ ตันสกุล. "การใช้ปลาน้ำจืดเพื่องานทดสอบความเป็นพิษของสารเคมีในประเทศไทย" รายงานผลการวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการเรื่องทรัพยากรสิ่งมีชีวิตทางน้ำ. 7 - 8 มีนาคม 2528. คณะกรรมการปฏิบัติภารกิจวิจัยทรัพยากรสัตว์น้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2528.

พินิจ สีห์พิทักษ์เกียรติ และไยธิน ลีนานนท์. "ชีวประวัติและการเพาะเลี้ยงปลาตะเพียนขาว" เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 39 สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง. 2527.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ และไพพรรณ พรประภา. "การปรับแต่งคุณภาพน้ำสำหรับระบบหม้อน้ำระบบน้ำหล่อเย็น ระบบประปาในอาคาร" ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2524: 164-169.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. "การทดลองแบบชีววิเคราะห์" ข่าววิชาการกองประมงน้ำจืด 6(2525): 24-35.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2527.

วิทยา เพียรวิจิตร. เทคโนโลยีกำจัดน้ำเสีย. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 2525: 69-74.

สมเกียรติ์ กาญจนาคาร. พิษของคลอรีนต่อปลา ปัญหาพิเศษนักศึกษาปริญญาโท คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2528. 15 หน้า.

สันทนา ดวงสวัสดิ์ และคณะ. สภาวะการประมง ชนิด และการแพร่กระจาย ของสัตว์น้ำในแม่น้ำบางปะกง. เอกสารวิชาการสถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ ฉบับที่ 30(2526)

โสภา อารีรัตน์. "พันธุ์ปลาดุกที่พบในประเทศไทย" เอกสารวิชาการ, กองบำรุงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2523. 18 หน้า.

เฮเลน กิตติพิมลพร และบุษบา บันเทิงสุข. "การเติมคลอรีน" วารสารโรงงาน 2(1) 2525: 37-40.

AIT. Thermal diffusion-Bang Pakong Diyision of Water resources engineering research report No. 117.

Alablaster, J.S. Water Quality Criteria for Freshwater Fish. 2nd. ed. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Butterworth Scientific, London. 1982.

American Public Health Association. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association Inc., Washington D.C. 1980.

Anderson, R. Seawater chlorination and the survival and growth of the early developmental stages of plaice, *Pleuronectes platessa* L., and Dover sole, *Solea solea* (L.) Aquaculture 4(1974): 41-53.

Arthur, W.J. and J.G. Eaton. "Chloramine Toxicity to Amphiped *(Grammarus pseudolinnaeus)* and Fathead Minnow *(Pimephales promeles)*" Fish Res. Board. Can. 28(12)1971: 1841-1845.

ASTM. Working Document for Committee use. Draft No. 6. Stephan, C.E. "Standard Practice for Conducting Basic Acute Toxicity Tests with Fishes, Macroinvertebrates, and Amphibians." American Society for Testing and Material Philadelphia. 1977.

Bass, M.L. and A.G. Health. "Cardiovascular and Respiratory Response of Rainbow Trout *(Salmo gairdneri)* Exposed Intermittent to Chlorine" Wat. Res. 11(1977): 497-502.

_____. "Toxicity of Intermittent Chlorination to Bluegill *(Lepomis macrochirus)*: Inter-Action with Temperature" Bull. Environm. Contam. Toxicol. 26(1977): 163-170.

Bass, M.L., C.R. Berry and A.G. Heath. "Histopathological Effect of Intermittent Chlorine Exposure on Bluegill *(Lepomis macrochirus)* and Rainbow Trout *(Salmo gairdneri)*" Wat. Res. 11(1977): 731-738.

Bellanca, M.A., S.B. David and R. Va. "Effect of Chlorinated Effuents on Aquatic Ecosystem in the Lower Jame River." Journal WPCF 49(3)1977: 639-645.

Bhagavan, N.V. Biochemistry. J.B. Lippincott Co., Philadelphia, Pennsylvania 1974: 964.

Booth, M. Paul Jr., Cletus M. Sellers Jr., and Norman E. Garrison. "Effect of Intermittent Chlorination on Plasma Proteins of Rainbow Trout *(Salmo gairdneri)*." Bull. Environm. Contam. Toxicol. 26(1981): 163-170.

Brook, S. Arthur and Gregory L. Seegert. "The Effect of Intermittent Chlorination on Rainbow Trout and Yellow Perch" Trans. Am. Fish. Soc. 106(3)1977: 278-285.

Brungs, W.A. "Chronic Effect of Constant Elevated Temperature on the Fathead Minnow *(Pimephales promelesrafinesque)*" Trans. Am. Fish Soc. 100(1971): 639-645.

_____. "Effect of Residual Chlorine on Aquatic Life" Journal WPCF 15(10)1973: 2180-2189.

Buston, D.T., L.W. Hall, Jr., S.L. Morgrey and R.D. Small. "Interaction of Chlorine, Temperature Change and Exposure Time on Survival of Striped Bass *(Morone saxatilis)* Eggs and Prolavae" J. Fish. Res. Board Can. 36(1977): 1108-1113.

Capuzzo, J.M. "The Effect of Free Chlorine and Chloramine on Growth and Respiration Rates of Larval Lobsters *(Homarus americanus)*" Wat. Res. 11(12)1979: 1021-1024.

_____. "The Effect of Temperature on Toxicity of Chlorined Cooling Waters to Marine Animals" Marine Pollution Bull. 10(2) 1979: 45-47.

Cohen, G.M. "The Influence of Cations on Chlorine Toxicity" Bull. Environm. Contam. Toxicol. 18(2)1977: 131-137.

Dandy, J.W.T. "Activity Response to Chlorine in the Brook Trout *(Salvelinus fontinalis)*" Can. J. Zool. 50(1972): 405-410.

Dickson, K.L., J. Cairns, Jr. Benjamin, C. Dregg, D.T. Messenger, J.L. Plafkin and H. William. "Effect of Intermittent Chlorination on Aquatic Organism and Community" Journal WPCF 49(1)1977: 35-44.

DRAFT International Standard. Water Quality Determination of the Acute Lethal Toxicity of Substances to a Fresh Water Fish *Brachydanio resio* (Hamilton-Buchman), Teleostei, Cyprinidae- Part 33: Flow Through Method.

Erickson, J. Stanton and Howard R. Foulk. "Effect of Continous Chlorination on Entrained Estuarine Plankton" Journal WPCF 1(1980): 44-47.

FAO. "Water Criteria for European Freshwater Fish." EIFAC Technical Paper No. 20 Wat. Res. 8(1974): 681.

Finney, D.F. in Statistical Method in Bioassay Method. pp. 668. Charles Griffin and Company Limited, London. 1964.

Floyd, Roger *et al*. In activation by chlorine of single poliovirus particles in water. Environ. Sci. Technol. 13(4)1979: 432-432.

Gibson, I. Charles, Thomas O. Thatcher and Charles W. Apts. "Some Effect of Temperature, Chlorine and Copper on the Survival and Growth of Coon Stripe Shrimp" in Thermal Ecology II. Technical Information Center Energy Research and Development Administration. 1976.

Grothe, D.R., J.W. Eaton. "Chlorine Induced Mortality in Fish" Trans. Am. Fish Soc. 104(4)1975: 800-802.

Hall *et al.* "A Comparison of the avoidance responses of individual and schooling juvenile Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus* subjected to simultaneous chlorine and ΔT conditions. J. TOXICAL ENVIRON HEALTH 10(6)Dec, 1982: 1017-1026.

Helz, R. Deorge and Lynnkosak-Channing. "Dechlorination of Waste-Water and Cooling Water" Environm. Sci. Technol. 18(2)1984: 48A-54A.

Herwig, N., L. Garibaldi and R.E. Wolke. Handbook of drugs and chemicals used in the treatment of fish diseases. Charles C. Thomas, Publisher, Illinois, U.S.A. 1979.

Hileman, Bette. The chlorination question Environ. Sci. Technol. 16(1)1982: 15A-17A.

Hodson, P.V. and J.B. Sprague. "Temperature Induced Changes in Acute Toxicity of Zinc to Atlantic Salmon *(Salmo salar)*" J. Fish. Res. Board Can. 32(1975): 1-10.

Jacob, Dan *et al* . Morphological Changes in Gill Epithelia of Heat Stressed Rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38(1981): 16-21.

Johnson, A.G., T.O. Williams and C.R. Arnold. "Chlorine Induced Mortality of Eggs and Larvae of Spotted Seatrout *(Cynoscion nebulosus)*" Trans. Am. Fish Soc. 106(5)1977: 466-469.

Larson, G.L., F.E. Hutchinson and L.P. Lampesti. "Laboratory Determination of Acute and Sublethal Toxicities of Inorganic Chlaramines to Earhy Life Stages of Coho Salmon *(Oncorhynchus kisutch)*" Trans. Am. Fish Soc. 106(3)1977: 268-277.

Larson, A. Richard and Arlend Rockwell. "Chloroform and Chlorophenol Production by Decarboxylation of Natural Acid During Aqueous Chlorination" Environ. Sci. Technol. 13(3)1979: 325-328.

Latimer, D.L., A.S. Brook and A.M. Beeton. Toxicity of 30-minute Exposure of Residual Chlorine to the Copepod, *Limnocalanus macrusus* and *Cyclops bicuspidatus thomasi*" J. Fish Res. Board Can. 32(1975): 2495-2501.

Liden, H. Lawrence and Denis T. Burton. "Effect of Chlorobrominatic and Chlorinated Cooling Water on Esturine Organism" Journal WPCF 52(1)1980: 173-182.

Mattice, T.S. and H.E. Zittel. "Site-Specific Evaluation of Power Plant Chlorination" Journal WPCF 48(10)1976: 2284-2308.

Merken, J.C. "Studies on Toxicity of Chlorine and Chloramine to Rainbow Trout" Water Waste Treat. J. 7(1958): 150-151.

Messuwana, P. "Effect of Lead on Developmental Stage of Fresh Water Fish, *Puntius gonionotus* Bleeker. Master's Thesis, Department of Environmental Biology, Graduate School, Mahidol University. 1980.

Metelev, V.V., A.I. Kanaev and N.G. Dzaskhova. in Water Toxicity. Amerind Publishing Co., Pvt. Ltd., New Delhi. 1983.

Middaugh, D.P., A.M. Crane and J.A. Couch. "Toxicity of Chlorine to Juvenile Spot, *Leiostomus xanthurus*" Wat. Res. 17(12)1977: 1089-1096.

Miller, S. "The Impact of Thermal Effluents on Fish" Env. Biol. Fish. 1(2)1977: 219-222.

Morgan, II, R.P. and R.D. Prince. "Chlorine Toxicity to Eggs and Larvae of Five Chesapeake Bay Fishes" Trans Am. Fish Soc. 10(4)1977: 380-385.

_____. "Effect of Larval Development of Stribed Bass *(Morone saxatilis)*, White Perch *(M. americana)* and Blueback Herring *(Alosa aestivalis)*." Trans. Am. Fish Soc. 107(4)1975: 636-641.

Mount, D.T. and W.A. Brungs. A simplified dosing apparatus for fish toxicity studies. Wat. Res. 1(1967) 21-29.

Pyle, F.A. "Neutralizing Chlorine in City Water for Use in Fish-Distribution Tank" Progressive Fish Culturist 22(1960): 30-33.

Seegert, G.L. and H.S. Brooks. "The Effect of Intermittent Chlorination on Coho Salmon, Alewife, Spottail Shiner and Rainbow Smelt" Trans. Am. Fish Soc. 107(2)1978: 346-353.

_____. Dechlorination of Water for Fish Culture J. Fish Res. Board Can. 38(1978): 88-92.

Sprague, J.B. Measurement of Pollutant Toxicity to Fish I: Bioassay Method for Acute Toxicity. Wat. Res. 3(1969): 739-821.

_____. Measurement of Pollutant Toxicity to Fish II: Ultizing and Appling Bioassay Results. Wat. Res. 4(1970): 3-32.

_____. Measurement of Pollutant Toxicity to Fish III: Sublethal Effect and Safe Concentration. Wat. Res. 5(1971): 245-266.

Stober, G.J. and C.H. Hanson. "Toxicity of Chlorine and Heat to Pink *(Oncorhynchus gorbuscha)* and Chinook Salmon *(O. tshawytcha)*. Trans. Am. Fish Soc. 103(8)1976: 169-176.

Stocker, S.H. and S.L. Seager. Environmental chemistry: air and water pollution. Scott Foresman and Company. 1976.

Swingle, H.S. in "Method for Analysis for Water, Organic Matter and Pond Buttom Soils Use in Fisheries Research" Auburn University. 1960.

Thatcher, T.O., M.J. Schneider and E.G. Wolf. "Effect of Chlorine and Temperature on Juvenile Brook Trout *(Salvelinus fontinalis)*." Bull. Environ. Contam. Toxicol. 15(1)1976: 40-48.

Zeitoun, H. Ibrahim. Assessment of Intermittently Chlorinated Heated Effluents on Survival of Adult Rainbow Trout *(Salmo gairdneri)* at Power Generating Facilities. Environ. Sci. Technol. 12(10)1978: 1173-1179.

_____. The Effect of Chlorine Toxicity on Certain Blood Parameters of Adult Rainbow Trout *(Salmo gairdneri)*. Env. Biol. Fish 1(2)1977: 189-195.

_____. The Recovery and Hematological Rehabititation of Chlorine Stressed Adult Rainbow Trout *(Salmo gairdneri)*. Env. Biol. Fish 3(4)1978: 355-359.

Zillich, J.A. Toxicity of Combined Chlorine Residuals to Freshwater Fish. Journal WPCF 44(2)1972: 212-220.

ภาคผนวก

ตัวอย่างโปรแกรมการวิเคราะห์โปรบิท

(Sample of Probit Analysis Program)

การวิเคราะห์โปรบิท (Probit analysis) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาทางด้านชีววิเคราะห์ (biological assays) โดยวิธีการเปลี่ยนผลการตอบสนองของสัตว์ที่ได้รับหรือสัมผัสกับสารพิษ ให้อยู่ในรูปของโปรบิท (Probit)

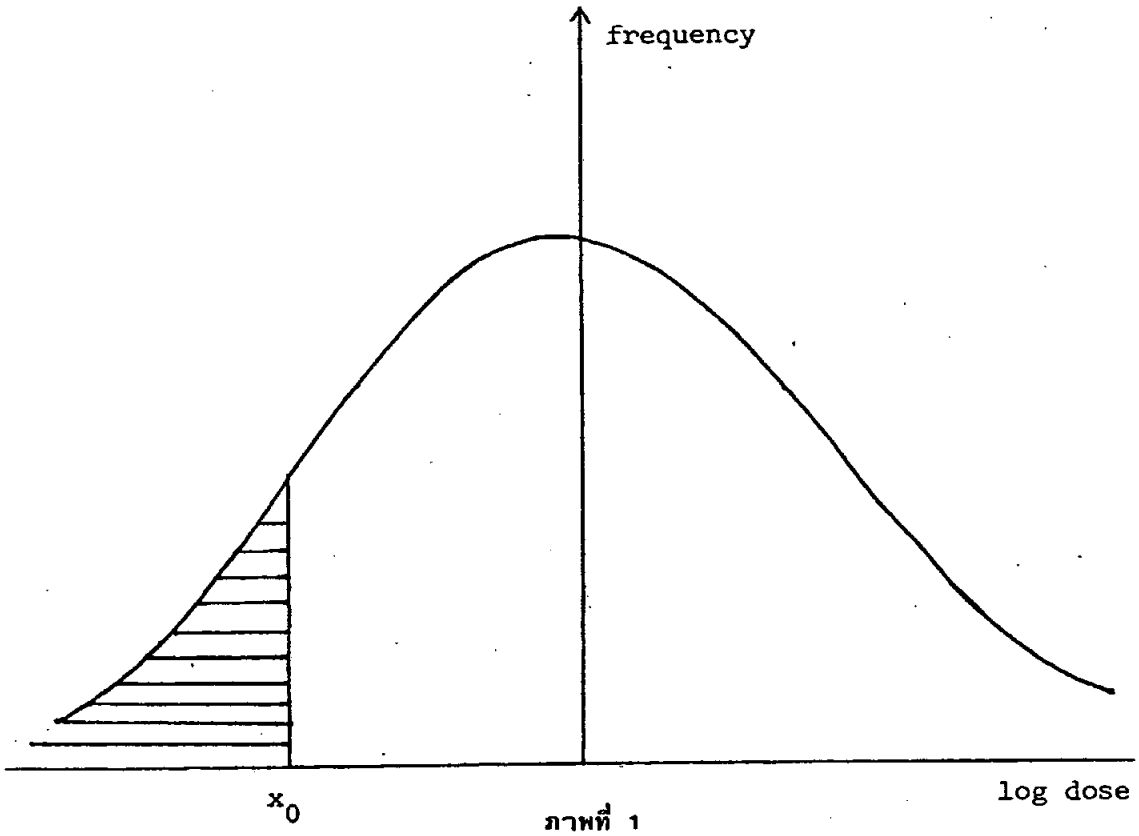
กำหนดให้ x เป็นล็อกการิทึมของความเข้มข้นของสารพิษ การแจกแจงความถี่ของ x เป็นแบบปกติ (Normal distribution) เมื่อความถี่ของ x คือ จำนวนสัตว์ที่ตอบสนอง ดังภาพที่ 1 โอกาสที่สัตว์จะตอบสนองหรืออัตราการตอบสนองของสัตว์ที่ความเข้มข้น x_0 มีค่าเท่ากับ เนื้อที่ภายใต้เส้นโค้งปกติ (P)

$$P = \int_{-\infty}^{x_0} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\{(x-\mu)^2/2\sigma^2\}} dx$$

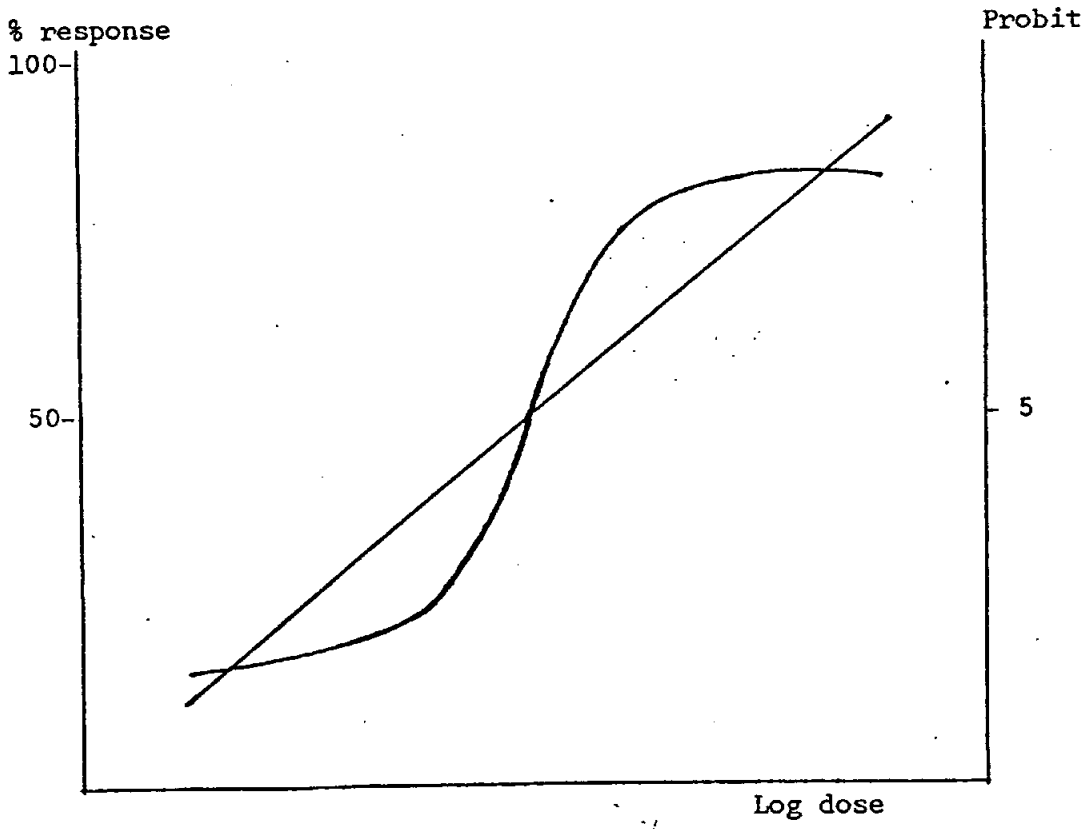
ถ้า Plots กราฟระหว่างล็อกการิทึมของความเข้มข้นกับอัตราการตอบสนองของสัตว์ จะได้ความสัมพันธ์เป็นแบบ Sigmoid curve ซึ่งยากแก่การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารพิษที่ทำให้สัตว์ทดลองตอบสนองครึ่งหนึ่ง จึงมีการเปลี่ยนค่าอัตราการตอบสนองให้อยู่ในรูปของโปรบิท เพื่อสะดวกแก่การคำนวณ ดังภาพที่ 2 เส้นโค้งแบบ Sigmoid สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงได้ หากเปลี่ยน Scale ของอัตราการตอบสนองของสัตว์ให้อยู่ใน Scale ของโปรบิท ซึ่งสร้างขึ้นมาจากฟังก์ชั่นผันกลับของโอกาสที่สัตว์จะตอบสนอง (P) นั่นเอง

ในทางปฏิบัติ หลังจากเปลี่ยนแปลงข้อมูลอัตราการตอบสนองของสัตว์เป็นโปรบิทแล้ว สามารถหาค่าความเข้มข้นของสารพิษที่ทำให้สัตว์ทดลองตอบสนองครึ่งหนึ่งได้ วิธีการที่ดีที่สุดที่นิยม คือ วิธีการของ Finney (1952) ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์ถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted regression analysis)ตามวิธีการคำนวณแบบ Maximum likelihood solution

ตัวอย่างโปรแกรม เริ่มด้วยการอ่านข้อมูลความเข้มข้นของสารพิษ จำนวนสัตว์ที่ใช้ทดลองในแต่ละความเข้มข้น และจำนวนสัตว์ที่ตอบสนองต่อสารพิษในแต่ละความเข้มข้น



ภาพที่ 1



ภาพที่ 2

เสร็จแล้วเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารพิษเป็น log และปรับอัตราการตอบสนองของสัตว์ให้ถูกต้อง โดยใช้สูตรของ Abbott ดังนี้

$$P = \frac{(P' - C)}{(1 - C)}$$

เมื่อ P คือ อัตราการตอบสนองของสัตว์ที่ถูกต้อง

P′ คือ อัตราการตอบสนองของสัตว์ที่สังเกตได้ และ

C คือ สัดส่วนของการตอบสนองของสัตว์ในกลุ่มควบคุม

เปลี่ยนอัตราการตอบสนองของสัตว์ที่ถูกต้องในรูปของโปรบิท ให้อัตราการตอบสนองที่ 0 หรือ 100% ซึ่งตรงกับค่าโปรบิทที่ $-\infty$ และ $+\infty$ ให้เท่ากับ -1×10^{25} และ $+1 \times 10^{25}$ ตามลำดับ วิเคราะห์หาค่าคาดคะเนโปรบิท (expected probit, y) โดยการวิเคราะห์ถดถอยแบบธรรมดา นำค่าคาดคะเนโปรบิทมาคำนวณหาค่าโปรบิทสำหรับการคำนวณ

จากสูตร $Y = y + (p - P)/Z$

$$P = 1 - 0.3989423\, e^{-x^2/2}(1.330274\, \omega^5 - 1.821256\, \omega^4 + 1.781478\, \omega^3 - 0.3565638\, \omega^2 + 0.3193815\, \omega)$$

$$x = y - 5$$

$$\omega = \frac{1}{1 + 0.2316419141} \quad \text{สำหรับ } x \geq 0$$

ถ้า $x < 0$ ให้ใช้ค่า $1 - P$ แทน

$$Z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-1}{2}(y - 5)^2}$$

เมื่อ p = อัตราการตอบสนองของสัตว์

P = เนื้อที่ภายใต้เส้นโค้งปกติ

Z = ส่วนสูงของเส้นโค้งปกติมาตรฐาน ณ จุดที่ทำให้เนื้อที่ภายใต้เส้นโค้งเท่ากับ P

นำค่าไปรบิทสำหรับการคำนวณ (Working probit) กับล็อกของความเข้มข้นมาทำการคำนวณ หาค่า a และ b โดยใช้วิธีวิเคราะห์ถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก ซึ่งแต่ละจุดมีน้ำหนักเท่ากับ จำนวนสัตว์ที่ใช้ในแต่ละความเข้มข้น คูณด้วย สัมประสิทธิ์ของการถ่วงน้ำหนัก (w)

$$w = \frac{z^2}{Q(P + \frac{C}{1 - C})}$$

$$Q = 1 - P \quad .$$

$$\omega = nw$$

$$S_{xx} = \Sigma\omega_x 2 - \frac{(\Sigma\omega_x)^2}{\Sigma\omega}$$

$$S_{xy} = \Sigma\omega_{xy} - \frac{(\Sigma\omega_x \Sigma\omega_y)}{\Sigma\omega}$$

$$S_{yy} = \Sigma\omega_y 2 - \frac{(\Sigma\omega_y)^2}{\Sigma\omega}$$

$$\overline{Y} = \frac{\Sigma\omega_y}{\Sigma\omega}$$

$$\overline{X} = \frac{\Sigma\omega_x}{\Sigma\omega}$$

$$b\omega = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

$$a = \overline{Y} - b\overline{X}$$

เปรียบเทียบ ค่า b จากการคำนวณครั้งแรก และ bω จากการคำนวณครั้งหลัง โดยให้คำนวณค่า bω ใหม่ ถ้าหากผลต่างระหว่างค่า bω จากการคำนวณครั้งหลังกับ b จากการคำนวณครั้งแรก ต่อค่า bω จากการคำนวณครั้งหลัง มากกกว่า 0.005 แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือ

$$\frac{|b\omega - b|}{b\omega} < 0.005$$

เท่ากับ 0.005 ให้ถือว่า $b\omega$ จากการคำนวณครั้งหลังนี้ยอมรับได้ ทั้งนี้ การคำนวณใหม่ไม่ควรเกิน 10 ครั้ง

โดยได้ค่า a และ b แล้ว จึงทำการทดสอบความเบี่ยงเบนจากเส้นตรง โดยวิธีทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square test)

$$\chi^2 = S_{yy} - \frac{S^2_{xy}}{S_{xx}}$$

คำนวณหาค่า วาเรียนซ์ของ a, b, m ความเข้มข้นของสารพิษที่ทำให้สัตว์ตอบสนองครึ่งหนึ่ง (EC_{50}), ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ของ EC_{50} จากสูตร

$$V_{(a)} = \frac{\Sigma\omega x^2}{(S_{xx})(\Sigma\omega)} = V_{11}$$

$$V_{(b)} = \frac{1}{S_{xx}} = V_{22}$$

$$V_{(m)} = \frac{1}{b^2}\{\frac{1}{\Sigma\omega} + \frac{(m - \bar{X})^2}{S_{xx}}\}$$

$$m = \frac{(5 - a)}{b}$$

$$EC_{50} = \text{antilog } (m)$$

$$V_{12} = \frac{\bar{X}}{S_{xx}}$$

$$g = 1.96^2 \frac{V_{22}}{b^2}$$

$$m_L, m_U = \frac{(m - g\frac{V_{12}}{V_{22}}) \pm \frac{1.96}{b}\sqrt{V_{11} - 2\hat{m}V_{12} + m^2V_{12} - g(V_{11} - \frac{V_{12}^2}{V_{22}})}}{1 - g}$$

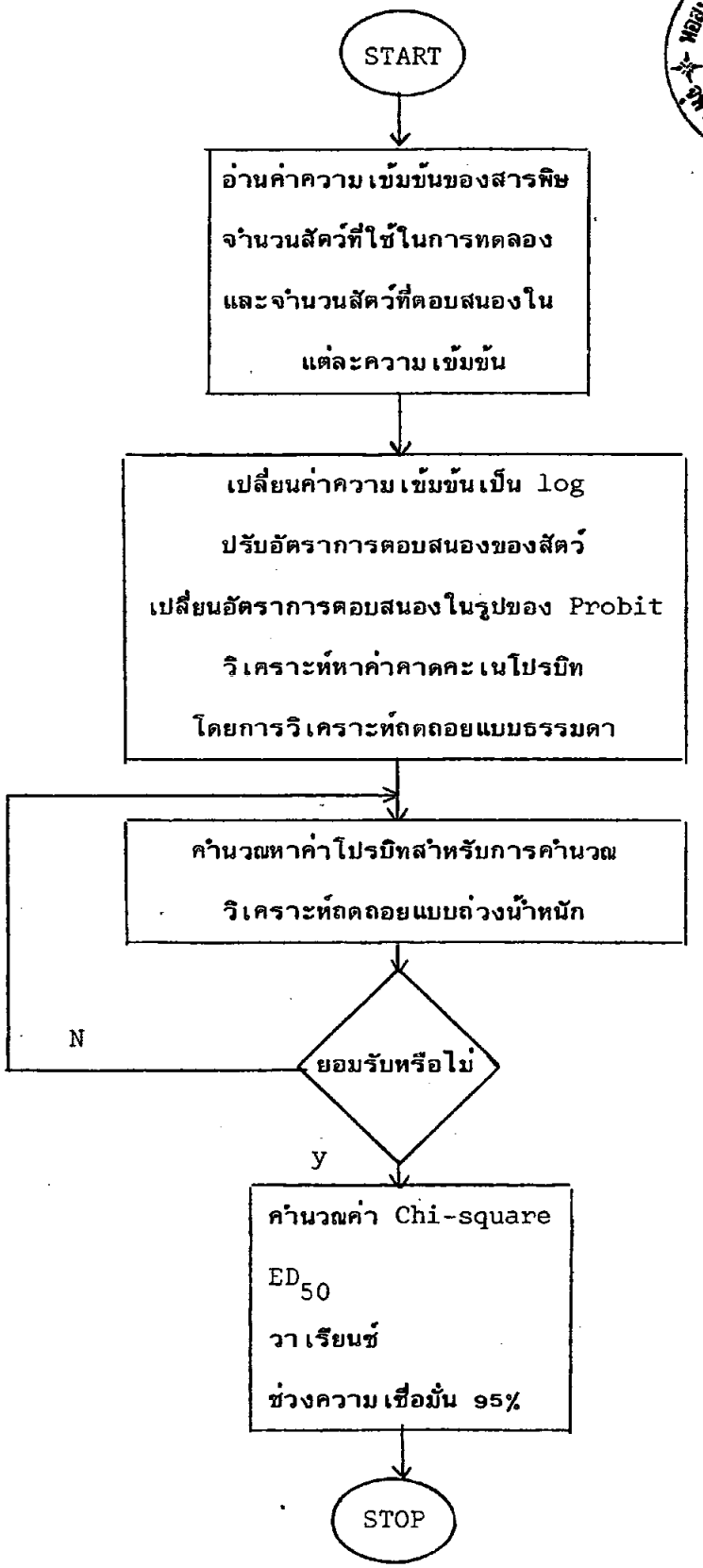
m_L, m_U = ค่าโดยประมาณของช่วงความเชื่อมั่นของ m

โปรแกรมโปรบิท (Probit Analysis) ของ Finney (1964)

เขียนโดย

โชคชัย เหลืองธุวปราณีต

Flow chart


START
อ่านค่าความเข้มข้นของสารพิษ
จำนวนสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง
และจำนวนสัตว์ที่ตอบสนองใน
แต่ละความเข้มข้น
เปลี่ยนค่าความเข้มข้นเป็น log
ปรับอัตราการตอบสนองของสัตว์
เปลี่ยนอัตราการตอบสนองในรูปของ Probit
วิเคราะห์หาค่าคาดคะเนโปรบิท
โดยการวิเคราะห์ถดถอยแบบธรรมดา
คำนวณหาค่าโปรบิทสำหรับการคำนวณ
วิเคราะห์ถดถอยแบบถ่วงน้ำหนัก
ยอมรับหรือไม่
N
y
คำนวณค่า Chi-square
ED_{50}
วาเรียนซ์
ช่วงความเชื่อมั่น 95%
STOP

```
10 PRINT STRING$(80,"-")
12 INVERSE
13 PRINT:PRINT:PRINT SPC(160):NORMAL:PRINT:PRINT
15 PRINT TAB(27);"PROBIT ANALYSIS PROGRAMME"
17 PRINT TAB(22);"WRITTEN BY CHOKCHAI LUANGTHUVAPRANIT"
19 PRINT TAB(34);"AUGUST,1985"
21 INVERSE:PRINT:PRINT:PRINT SPC(160):NORMAL:PRINT:PRINT
24 PRINT STRING$(80,"-")
26 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
28 INPUT "TITLE = ";A$
29 LPRINT "TITLE = ";A$
30 HOME
40 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
50 INPUT "NUMBER OF CONCENTRATION ";M
60 DIM C(M),R(M),X(M),P(M),Y(M),A(M),Z(M),E(M),W(M),G(M),H(M),L(M),O(M),Q(M),S(M
),KK(30),N(M)
62 INPUT "PROPORTION OF CONTROLS RESPONDING";CT
70 FOR I = 1 TO M
80 PRINT "CONCENTRATION";I;"=";:INPUT C(I)
81 PRINT "NUMBERS OF ORGANISMS IN CONCENTRATION";I;"=";:INPUT N(I)
82 PRINT "NUMBERS OF ORGANISMS RESPONDING IN CONCENTRATION";I;"=";:INPUT R(I)
83 HOME:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
90 X(I)=LOG(C(I))*.434295
100 P(I)=R(I)/N(I)
101 P(I)=(P(I)-CT)/(1-CT)
102 PT#=P(I)
103 GOSUB 9000
104 Y(I)=PB#
110 NEXT I
130 F=0
140 FOR I = 1 TO M
150 IF X(I)>-1 AND X(I)<=0 THEN F=1
160 IF X(I)>-10 AND X(I)<=-1 THEN 190
170 NEXT I
180 GOTO 200
190 F=10
200 FOR I = 1 TO M
210 A(I) = X(I)+F
220 NEXT I
300 SX = 0:QX = 0:XY = 0:SY = 0;N1 = M
310 FOR I = 1 TO M
311 IF Y(I)>-1E+25 AND Y(I)<1E+25 THEN 320
312 N1=M-1
313 GOTO 360
320 SX=SX+A(I)
330 QX=QX+A(I)^2
340 SY=SY+Y(I)
350 XY=XY+A(I)*Y(I)
360 NEXT I
370 XB=SX/N1
380 YB=SY/N1
390 B=(XY-(SX*SY)/N1)/(QX-(SX^2)/N1)
400 AA=YB-B*XB
410 FOR I = 1 TO M
420 Z(I) = AA+B*A(I)
430 NEXT I
```

```
434 LPRINT
435 LPRINT "PROPORTION OF CONTROL RESPONDING = ";CT
436 LPRINT
440 PRINT STRING$(80,"-")
441 LPRINT STRING$(80,"-")
442 PRINT "    I    C    I    X    I    r    I    n    I  p(r/n) I    y*   I
Y    I"
443 LPRINT "    I    C    I    X    I    r    I    n    I  p(r/n) I    y*   I
 Y    I"
444 PRINT STRING$(80,"-")
445 LPRINT STRING$(80,"-")
450 FOR I = 1 TO M
460 PRINT USING"    I###.#### I";C(I);
461 LPRINT USING"    I###.#### I";C(I);
470 PRINT USING"###.#### I";A(I);
471 LPRINT USING"###.#### I";A(I);
480 PRINT USING"  ###.## I";R(I);
481 LPRINT USING"  ###.## I";R(I);
490 PRINT USING" ######   I";N(I);
491 LPRINT USING" ######   I";N(I);
500 PRINT USING" ###.### I";P(I);
501 LPRINT USING" ###.### I";P(I);
510 IF NOT(Y(I)>-1E+25 AND Y(I)<1E+25) THEN 540
520 PRINT USING" ###.##  I";Y(I);
521 LPRINT USING" ###.##  I";Y(I);
530 GOTO 542
540 PRINT "    -    I";
541 LPRINT "    -    I";
542 PRINT USING " ###.##  I";Z(I)
543 LPRINT USING " ###.##  I";Z(I)
544 NEXT I

480 PRINT USING"  ###.## I";R(I);
481 LPRINT USING"  ###.## I";R(I);
490 PRINT USING" ######   I";N(I);
491 LPRINT USING" ######   I";N(I);
500 PRINT USING" ###.### I";P(I);
501 LPRINT USING" ###.### I";P(I);
510 IF NOT(Y(I)>-1E+25 AND Y(I)<1E+25) THEN 540
520 PRINT USING" ###.##  I";Y(I);
521 LPRINT USING" ###.##  I";Y(I);
530 GOTO 542
540 PRINT "    -    I";
541 LPRINT "    -    I";
542 PRINT USING " ###.##  I";Z(I)
543 LPRINT USING " ###.##  I";Z(I)
544 NEXT I
545 PRINT STRING$(80,"-")
546 LPRINT STRING$(80,"-")
589 K=0
590 K=K+1
600 PRINT "CALCULATION";K
601 LPRINT "CALCULATION";K
610 K#=.398942
620 FOR I = 1 TO M
630 Z#=K#*EXP(-.5*(Z(I)-5)^2)
640 P1#=Z(I)-5
650 X#=P1#
660 GOSUB 9160
670 P1#=NM#
680 W(I)=N(I)*Z#*Z#/(1-P1#)/(P1#+CT/(1-CT))
690 E(I)=Z(I)+(P(I)-P1#)/Z#
700 NEXT I
780 GG=0:HH=0:LL=0:OO=0:QQ=0:WW=0
```

```
790 FOR I = 1 TO M
800 G(I) = W(I)*A(I)
810 H(I) = W(I)*A(I)^2
820 L(I) = W(I)*A(I)*E(I)
830 O(I) = W(I)*E(I)
840 Q(I) = W(I)*E(I)^2
850 GG = GG+G(I)
860 HH = HH+H(I)
870 LL = LL+L(I)
880 OO = OO+O(I)
890 QQ = QQ+Q(I)
900 WW = WW+W(I)
910 NEXT I
920 S=HH-GG^2/WW
930 T=LL-GG*OO/WW
940 U=QQ-OO^2/WW
950 XX=GG/WW
960 YY=OO/WW
970 B1=T/S
980 A1=YY-B1*XX
990 FOR I = 1 TO M
1000 S(I)=A1+B1*A(I)
1020 Z(I)=S(I)
1030 NEXT I
1040 PRINT STRING$(80,"-")
1041 LPRINT STRING$(80,"-")
1050 PRINT "                                                    2
 2"
1051 LPRINT "                                                    2
  2"
1060 PRINT "    X   |    Y   |    W   |    Wx  |    Wx  |    Wxy  |    Wy  |    W
y  |    Y   "
1061 LPRINT "    X   |    Y   |    W   |    Wx  |    Wx  |    Wxy  |    Wy  |
Wy  |    Y   "
1070 PRINT STRING$(80,"-")
1071 LPRINT STRING$(80,"-")
1080 FOR I= 1 TO M
1090 PRINT USING "###.#####|";A(I);
1091 LPRINT USING "###.#####|";A(I);
1100 PRINT USING " ###.###|";E(I);
1101 LPRINT USING " ###.###|";E(I);
1110 PRINT USING " ###.###|";W(I);
1111 LPRINT USING " ###.###|";W(I);
1120 PRINT USING " ###.###|";G(I);
1121 LPRINT USING " ###.###|";G(I);
1130 PRINT USING " ###.###|";H(I);
1131 LPRINT USING " ###.###|";H(I);
1140 PRINT USING " ###.###|";L(I);
1141 LPRINT USING " ###.###|";L(I);
1150 PRINT USING " ###.###|";O(I);
1151 LPRINT USING " ###.###|";O(I);
1160 PRINT USING " ###.###|";Q(I);
1161 LPRINT USING " ###.###|";Q(I);
1170 PRINT USING " ###.##  ";S(I)
1171 LPRINT USING " ###.##  ";S(I)
1180 NEXT I
1190 PRINT STRING$(80,"-")
1191 LPRINT STRING$(80,"-")
1200 PRINT USING"                    |#####.###|";WW;
1201 LPRINT USING"                    |#####.###|";WW;
1210 PRINT USING"####.###|";GG;
1211 LPRINT USING"####.###|";GG;
```

```
1220 PRINT USING"####.###!";HH;
1221 LPRINT USING"####.###!";HH;
1230 PRINT USING"####.###!";LL;
1231 LPRINT USING"####.###!";LL;
1240 PRINT USING"####.###!";OO;
1241 LPRINT USING"####.###!";OO;
1250 PRINT USING"####.###!";QQ
1251 LPRINT USING"####.###!";QQ
1260 PRINT STRING$(80,"-")
1261 LPRINT STRING$(80,"-")
1270 PRINT "                              Sxx = ";S
1271 LPRINT "                               Sxx = ";S
1280 PRINT "                              Sxy = ";T
1281 LPRINT "                               Sxy = ";T
1290 PRINT TAB(28);"Syy = ";U
1291 LPRINT TAB(28);"Syy = ";U
1300 PRINT "                              Xbar= ";XX
1301 LPRINT "                               Xbar= ";XX
1310 PRINT TAB(28);"Ybar= ";YY
1311 LPRINT TAB(28);"Ybar= ";YY
1320 PRINT TAB(28);"b = ";B1
1321 LPRINT TAB(28);"b = ";B1
1325 PRINT TAB(28);"a = ";A1
1326 LPRINT TAB(28);"a = ";A1
1330 PRINT TAB(28);"Y = ";A1;"+";B1;"X"
1331 LPRINT TAB(28);"Y = ";A1;"+";B1;"X"
1340 IF ABS((B1-B)/B1)<=.005 THEN 1380
1350 IF K=10 THEN 1913
1360 B=B1
1370 GOTO 590
1380 CH=U-T^2/S
1390 PRINT "For df = ";(M-2)
1391 RESTORE 1396
1392 FOR I = 1 TO 30
1393 READ KK(I)
1394 IF I=M-2 THEN 1397
1395 NEXT I
1396 DATA 3.84,5.99,7.81,9.49,11.07,12.59,14.07,15.51,16.92,18.31,19.68,21.03,22
436,23.68,25.0,26.3,27.59,28.87,30.14,31.41,32.67,33.92,35.17,36.42,37.65,38.89,
0.11,41.34,42.56,43.77
1397 KK=KK(M-2)
1398 PRINT "Chi-square (p=0.05) = ";KK
1399 LPRINT "Chi-square (p=0.05) = ";KK
1400 PRINT "Chi-square = ";CH
1401 LPRINT "Chi-square = ";CH
1410 PRINT "For Linearity test by Chi-square test at df = ";(M-2);
1411 LPRINT "For Linearity test by Chi-square test at df = ";(M-2);
1420 IF KK>CH THEN 1450
1430 PRINT " is significant! "
1431 LPRINT " is significant! ""
1440 GOTO 1460
1450 PRINT " isn't significant! "
1451 LPRINT " isn't significant! "
1460 MM=(5-A1)/B1-F
1470 TL=10^MM
1475 VM=(1/WW+(MM-GG/WW)^2/S)/(B1*B1)
1480 V1=HH/(WW*S)
1490 V2=XX/S
1500 V3=1/S
1510 G1=1.96^2*V3/B1^2
1515 SS=1:S1=1
```

```
1520 IF KK>CH THEN 1750
1710 PRINT "Distribution of data X isn't normal curve. Please use any other anal
ysis."
1711 LPRINT "Distribution of data X isn't normal curve. Please use any other ana
lysis."
1720 PRINT "For example logit analysis again!"
1721 LPRINT "For example logit analysis again!"
1730 SS=CH/(M-2)
1740 S1=SQR(SS)
1750 ML=(((MM+F)-G1*V2/V3)-(1.96*S1/B1)*SQR(V1-2*(MM+F)*V2+(MM+F)^2*V3-G1*(V1-V2
^2/V3)))/(1-G1)
1760 MU=(((MM+F)-G1*V2/V3)+(1.96*S1/B1)*SQR(V1-2*(MM+F)*V2+(MM+F)^2*V3-G1*(V1-V2
^2/V3)))/(1-G1)
1770 ML=ML-F
1780 MU=MU-F
1790 T1=10^ML
1800 TU=10^MU
1810 VM=SS/B1^2*(1/WW+(((MM+F)-XX)^2)/S)
1820 MW=MM-1.96*SQR(VM)
1830 MR=MM+1.96*SQR(VM)
1840 TW=10^MW
1850 TR=10^MR
1855 PRINT "SLOPE(B) = ";B1:PRINT"VARIANCE OF SLOPE";V3
1856 LPRINT "SLOPE(B) = ";B1:LPRINT "VARIANCE OF SLOPE";V3
1857 PRINT "INTERCEPT(A) = ";A1
1858 LPRINT "INTERCEPT(A) = ";A1
1859 PRINT:LPRINT
1860 PRINT "TLm = ";TL
1861 LPRINT "TLm = ";TL
1870 PRINT "LOG.ED50 = ";MM:PRINT"VARIANCE OF LOG.ED50 = ";VM
1875 LPRINT "LOG.ED50 = ";MM:LPRINT "VARIANCE OF LOG.ED50 = ";VM
1876 PRINT:LPRINT
1880 PRINT "95% Confidence Interval of TLm ";T1;",";TU
1881 LPRINT "95% Confidence Interval of TLm ";T1;",";TU
1900 PRINT "Approximate 95% Confidence Interval of TLm ";TW;",";TR
1901 LPRINT "Approximate 95% Confidence Interval of TLm ";TW;",";TR
1910 PRINT STRING$(80,"-")
1911 LPRINT STRING$(80,"-")
1912 GOTO 1920
1913 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT STRING$(80,"-"):PRINT TAB(23);"NO CONVERGENCE AFTER
 10 ITERATIONS":PRINT:PRINT STRING$(80,"-")
1920 END
9000 '-----------------------------------------------------'
9010 IF PT#<=0 THEN 9120
9020 IF PT#=1 THEN 9140
9030 PP#=PT#
9040 IF PT#>.5 THEN PP#=1-PP#
9050 W2#=LOG(1/PP#/PP#)
9060 W#=SQR(W2#)
9070 L#=2.515517#:Q#=.802853:U#=.010328:G#=1.432788#:H#=.189269:T#=.001308
9080 X#=W#-(L#+Q#*W#+U#*W2#)/(1+G#*W#+H#*W2#+T#*W#*W2#)
9090 IF PT#<=.5 THEN X#=-X#
9100 PB#=5+X#
9110 RETURN
9120 PB#=-1E+25
9130 RETURN
9140 PB#=+1E+25
9150 RETURN
9160 '-----------------------------------------------------'
```

```
9170 V#=.3989423#:L#=.2316419#:Q#=1.330274#:U#=1.821256#:G#=1.781478#:H#=.356563
8#:T#=.3193815#
9180 F#=EXP(-X#*X#/2)*V#
9190 W#=1/(1+ABS(X#)*L#)
9200 NM#=1-F#*W#*((((Q#*W#-U#)*W#+G#)*W#-H#)*W#+T#)
9210 IF X#<0 THEN NM#=1-NM#
9220 RETURN
9230 END
```

ประวัติผู้เขียน

นายโสภัณ ใจรักพันธุ์ เกิดวันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2504 ที่ อำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอัสสัมชัญศรีราชา และสำเร็จปริญญาตรีวิทยาศาสตร์ (วท.บ.) สาขาชีววิทยา จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี 2525