รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จารุวัฒน์ นภีตะภัฏ และสมนึก กบิลรัมย์. 2532. การเปลี่ยนแปลงอัตราการบริโภคออกซิเจนของกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Fabricius ในความเค็มและอุณหภูมิต่างระดับ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 24/2532 สถานีประมงน้ำกร่อยจังหวัดระยอง กองประมงน้ำกร่อย กรมประมง. 18 หน้า

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2534. คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ.

เบญจมาศ จันทรภา. 2539. อัตราส่วนระหว่างโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมในอาหารกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* วัยรุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประจวบ หลำอุบล. 2537. สรีรวิทยาของกุ้ง. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล. หน้า 1-5.

พุทธ ส่องแสงจินดา. 2537. ผลของแอมโมเนียที่ระดับต่างๆต่อการบริโภคออกซิเจนของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*). เอกสารวิชาการฉบับที่ 23/2537 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. 7 หน้า.

วีรพงศ์ วุฒิพันธ์ชัย. 2536. อาหารปลา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โอ. เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์.

สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล. 2539. ความต้องการพลังงานและการถ่ายทอดพลังงานของกุ้ง. เอกสารประกอบการสัมมนาเมธีวิจัยอาวุโสของกองทุนสนับสนุนการวิจัย. จัดโดยสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ. ณ. ห้อง G.M. Hill. อาคารศศนิเวศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 15 ตุลาคม 2539 : 15 หน้า.

ภาษาอังกฤษ

AQUACOP, 1978. Reproduction in captivity and growth of *Penaeus monodon* Fabricius in Polynesia. Centre Oceanologique du Pacifique, CNEXO-COP. 16 pp (mimeograph). Cited in Sedgwick, R.W. 1979. Influence of dietary protein and

energy on growth, food consumption and food conversion efficiency in *Penaeus merguiensis* DE MAN. Aquaculture. 16 : 7 - 30.

Bayne, B.L. 1985. Ecological consequences of stress. In Bayne, B.L., Brown, D.A., Burns, K., Dixon, D.R., Ivanovici, A., Livingstone, D.R., Lowe, D.M., Moore, M.N., stebbing, A.R.D. and Widdows, J.(eds) The effects of stress and pollution on marine animals. New York. Praeger Publishers, pp. 141 - 155.

Bautista, M.N. 1986. The response of *Penaeus monodon* juviniles to varying protein/energy ration in test diets. Aquaculture. 53 : 229 - 242.

Brown, M.L., Nematipour, G.R. and Gatlin, D.M. 1992. Dietary protein requirement of juvenile sunshine bass at different salinites. Fish cult.. 54, 3 : 148 - 156.

Cawthorne, D.F., Beard, T., Davenport, J. and Wickins, J.F. 1983. Responses of juvenile *Penaeus monodon* Fabricius to natural and artificial sea waters of low salinity. Aquaculture. 32 : 165 - 174.

Chen, J.C. and Lin, C.U. 1995. Responses of oxygen consumption, ammonia-N excretion and Urea-N excretion of *Penaeus chinensis* exposed to ambient ammonia at different salinity and pH levels. Aquaculture. 136 : 243 - 255.

Chen, J.C. Liu, P.C. and Lei, S.C. 1990. Toxicities of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* abolescents. Aquaculture. 89 : 127 - 137.

Cho, C.Y., Slinger, S.J. and Bayley, H.S. 1982. Bioenergetic of salmonic fishes : energy intake, experriment and productivity. Com. Biochem. Physiol.. 73B : 25 - 41.

Dall, W. and Smith, D.M. 1986. Oxygen consumption and ammonia-N excretion in fed and starved tiger prawns, *Penaeus esculentus* Haswell. Aquaculture. 55 : 23 - 33.

Dalla Via, G.J. 1986. Salinity responses of the juvenile penaeid shrimp *Penaeus japonicus.* I. Oxygen consumption and estimations of productivity. Aquaculture. 55 : 297 - 306.

Deslous-Paoli, J.M., Boromthanarat, S., Heral, M.,Boromthanarat, W. and Razet, D. 1990.

Energy budget of a *Mytilus edulis* L. population during its first year on bouchots in the bay of Marennes-Oieron. Aquaculture. 91:49 - 63.

Eckert, R. and Randall, D. 1983. Animal physiology. W.H. Freeman. San Francisco.

El-Sayed, A.F.M. 1991. Protein requirements for optimum growth of *Liza ramada* fry (Mugillidae) at different water salinity. Aquat. living resource. vol. 4 no. 2 : 117 - 123.

Felicitas, P.P. 1988. Nutrition. In Solis, N.B., Honculada, P.J., Suzette, M., Licop, R., Apud, F.D., Felicitas, P.P., Cecilia, M. and Baticadas, L.(eds). Biology and culture of *Penaeus monodon*. Backishwater aquaculture in farmation system. Aquaculture Department, Southeast Asia Fisheries Development Center. Philippines. pp.119 - 139.

Gasca-Leyva, J.F.E., Martinez-Palacios, C.A. and Ross, L.G. 1991. The respiratory requirements of *Macrobrachium acanthurus* (Weigman) at different temperatures and salinities. Aquaculture. 93 : 191 - 197.

Halver, J.E. 1989. Fish nutrition. 2nd ed. San Diego : Academic press, inc.

Higgins, P.J. 1985. Metabolic differences between Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr and smolts. Aquaculture. 45 : 33 - 53.

Jobling, M. 1994. Fish bioenergetics. 1st ed. London : Chapman & Hill.

Jobling, M., Knudsen, R.,Pedersen, P.S. and Dos Santos, J. 1991. Effect of dietary composition and energy content on the nutritional energetics of cod, *Gadus morhua* Aquaculture. 92 : 243 - 257.

Kurmaly, k., Yule A.B. and Jones D.A. 1989. An energy budget for the larvae of *Penaeus monodon* (Fabricius). Aquaculture, 81 : 13 - 25.

Lee D.O'c. and Wickins J.F. 1992. Crustacean farming. Blackwell Scientific. London. Publications, pp. 17 - 18.

Marangos, C., Alliot, E., Brogren, C.H. and Ceccaldi, H.J. 1990. Nycthemeral variations of ammonia excretion in *Penaeus japonicus* (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). Aquaculture. 84 : 383 - 391.

McNamara, J.C. and Moreira G.S. 1987. O_2 consumption and accute salinity exposure in

the freshwater shrimp *Macrobrachium olfersii* (Wiegmann) (Crustacean: Decapoda) whole animal and tissue respiration. J. Exp. Mar. Ecol. 113 : 221 - 230.

Motoh, H. 1984. Biology and ecology of *Penaeus monodon*. In Taki, Y. Primavera, J.H. and Liobrera, J.A. (eds.). Proceedings of the First International Conference on the Cluture of Penaeid Prawns/Shrimps. by SEAFDEC Aquaculture Department. 4 - 7. Iloilo, Philippines. pp. 27 - 36.

Parado-Estepa, F. D., Ferraris, R.P., Ladja, J. M. and De Jesus, E.G. 1987. Responses of intermolt *Penaeus indicus* to large fluctuations in environmental salinity. Aquaculture. 64 : 175 - 184.

Pedersen, C.L. 1987. Energy budgets for juvenile rainbow trout at various oxgen concentrations. Aquaculture. 62 : 289 - 298.

Piyatiratitivorakul, S, 1988. The life history and bioenergetics relations in the grass shrimp. *Palaemonetes pugio* HOLTHUIS. Doctor of philosophy's thesis, University of South Carolina.

SAS. 1985. The stasistic analysis system. USA : SAS Institute Inc.

Sedgwick, R.W. 1979. Influence of dietary protein and energy on growth, food consumption and food conversion efficiency in *Penaeus merguiensis* DE Man. Aquaculture. 16 : 7 - 30.

Sena, S. and Trevor, A. 1995. Fish nutrition in aquaculture. 1st ed. London : Chapman & Hall

Smith, L.L., Lee P. G., Lawrence, A.L. and Strawn, K. 1985. Growth and digestibility by tree sizes of *Penaeus vannamei* boone : Effect of dietary protein level and protein source. Aquaculture. 46 : 85 - 96.

Smith, R.R. 1989. Nutritional energetics. In Halver, J.E.(ed). Fish nutrition. 2nd ed. San Diego : Academic press, inc. pp. 2 - 28.

Solis, N.B. 1988. Biology and ecology. In Solis, N.B., Honculada, P.J., Suzette, M., Licop, R., Apud, F.D., Felicitas, P.P., Cecilia, M. and Baticadas, L.(eds). Biology and culture of *Penaeus monodon*. Backishwater aquaculture in farmation system.

Aquaculture Department, Southeast Asia Fisheries Development Center. Philippines. pp. 3 - 37.

Spotte, S. 1979. Seawater aquariums. New York, USA. : Wiley-Interscience publication.

Strickland L.D.H. and Parsons T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.

Wasboet, N., Krom, M.D., Gasith, A. and Samocha, T. 1989. Ammonia excretion of green tiger prawn *Penaeus semisulcatus* as a possible limit on the biomass density in shrimp ponds. The Israeli Journal of Aquaculture. Bamidgeh 41, (4). 159 - 164.

อ้างถึงใน พุทธ ส่องแสงจินดา. 2537. ผลของแอมโมเนียที่ระดับต่างๆต่อการบริโภคออกซิเจนของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*). เอกสารวิชาการฉบับที่ 23/2537 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. 7 หน้า.

Widdows, J. 1985. Physiological measurement. In Bayne, B.L., Brown, D.A.,Burns, K., Dixon, D.R., Ivanovici, A., Livingstone, D.R., Lowe, D.M., Moore, M.N., stebbing, A.R.D. and Widdows, J.(eds). The effects of stress and pollution on marine animals. New York. Praeger Publishers, pp. 3 - 39.

Widdows, J. 1985. Physiological Procedures. In Bayne, B.L., Brown, D.A.,Burns, K., Dixon, D.R., Ivanovici, A., Livingstone, D.R., Lowe, D.M., Moore, M.N., stebbing, A.R.D. and Widdows, J.(eds). The effects of stress and pollution on marine animals. New York. Praeger Publishers, pp. 161 - 178.

Wilson, R.P. 1989. Amino acid and proteins. In Halver, J.E. (ed). Fish nutrition. 2nd ed. San Diego : Academic press, inc. pp. 112 - 147.

Winberg, G.G. 1971. Methods for the estimation of production of aquatic animals. Academic Press London, 175 pp. Cited in Widdows, J. 1985. Physiological measurement. In Bayne, B.L., Brown, D.A.,Burns, K., Dixon, D.R., Ivanovici, A., Livingstone, D.R., Lowe, D.M., Moore, M.N., stebbing, A.R.D. and Widdows, J.(eds). The effects of stress and pollution on marine animals. New York. Praeger Publishers, pp. 3 - 39.

Xie, S., Cui, Y., Yang, Y. and Liu, J. 1997. Effect of body size on growth and energy budget of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture. 157 : 25 - 34.

Xie, S., Cui, Y., Yang, Y. and Liu, J. 1997. Energy budget of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size. Aquaculture. 154 : 57 - 68.

Yagi, H., Ceccaldi, H.J. and Gaudy, R. 1990. The combined effects of temperature and salinity on the oxygen consumption of the larvae of pink shrimp, *Palaemon serratus* (Pennant) (Crustaces, Decapoda, Palaemonidae). Aquaculture. 86 : 77 - 92.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์พลังงานรวมในอาหาร (Gross energy); (Parr 1991)

หลักการ

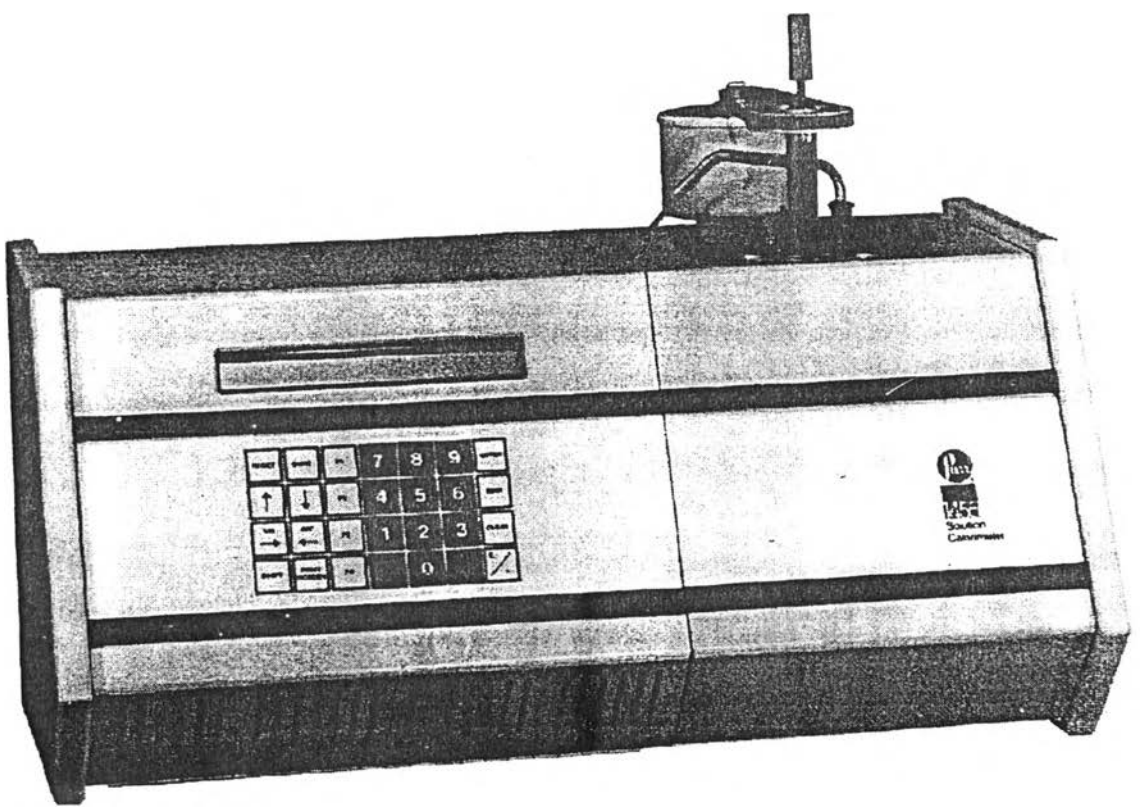
การวิเคราะห์หาพลังงานรวม (Gross energy) ในอาหารโดยใช้เครื่อง microbomb calorimeter รุ่น 1455 แบบ solution (รูปที่ 28) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปเผาใน microbomb calorimeter ภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่ประมาณ 35 บรรยากาศ โดยตัว Semimicro oxygen bomb จะอยู่ใน Dewar flask 894 ml ที่มีน้ำบรรจุอยู่ 450 ml เมื่อจุดระเบิดจะมีความร้อนเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ตัวอย่างภายใน Bomb cup และความร้อนนี้จะถ่ายเทไปยังน้ำที่อยู่รอบ ๆ หลังจากนั้นเครื่องจะวัดความร้อนที่เพิ่มขึ้นด้วย Thermistor probe แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานรวม โดยเปรียบเทียบกับความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ตัวอย่างมาตรฐาน benzoic acid

อุปกรณ์

1. เครื่อง microbomb calorimeter รุ่น 1455 แบบ solution ยี่ห้อ Parr
2. ถังบรรจุก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ 99.95% และ regulator พร้อมสายต่อ
3. ฟิวส์ (ni alloy)
4. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียดแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. เครื่องอัดเม็ดตัวอย่าง
6. โกร่งบดตัวอย่าง
7. ตู้อบตัวอย่าง (oven)
8. โถดูดความชื้น (dessicator)

สารเคมี

benzoic acid มาตรฐาน (thermochemical grad)



รูปที่ 20. เครื่อง microbomb calorimeter รุ่น 1455 แบบ solution

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์อาหารแบบ proximate analysis

1. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนรวม (Crude protein) ดัดแปลงจาก AOAC

หลักการ

วิธีหาปริมาณไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีน โดยทั่วไปโปรตีนประกอบไปด้วยไนโตรเจนประมาณ 16 % เมื่อทราบปริมาณไนโตรเจนแล้วคูณกับแฟคเตอร์ 6.25 จะได้โปรตีนทั้งหมดในอาหาร ขั้นตอนในการวิเคราะห์มี 3 กระบวนการที่สำคัญคือ กระบวนการย่อย กระบวนการกลั่น และการไตเตรต

อุปกรณ์

1. Gerhardt Kjeldatherm digestion unit
2. Gerhardt Vapodast 1
3. ชุดไตเตรต

สารเคมี

1. สารละลายกรด H_2SO_4 เข้มข้น
2. สารละลายกรด H_2SO_4 เข้มข้น 0.1 N
3. สารละลาย NaOH เข้มข้น 50%
4. สารละลายกรด boric เข้มข้น 4 %
5. catalyst ชนิดเม็ด (kjel-tab) ในหนึ่งเม็ดประกอบด้วย 3.5 กรัม K_2SO_4 และ 0.0035 กรัม Se เป็นผลิตภัณฑ์จากประเทศสวีเดน
6. indicator ประกอบด้วย 0.625 กรัม methyl red และ 0.480 กรัม methyl blue ละลายใน ethyl alcohol (50 ml, 95 % v/v)

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันรวม (crude fat)

หลักการ

อีเทอร์ (สารตัวทำละลาย) จะถูกระเหยกลายเป็นไอต่อต่อกันหลังจากนั้นไอของอีเทอร์กระทบความเย็นจากเครื่องควบแน่นแล้วกลั่นตัวกลับเป็นของเหลวและไหลผ่านตัวอย่างอาหาร พร้อมทั้งสกัดสารที่สามารถละลายได้ในอีเทอร์ออกมาด้วยจนกระทั่งหมด อีเทอร์จะถูกระเหยไปจนแห้งและจะเหลืออยู่เป็นเพียงไขมัน

อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดไขมัน (Soxtherm automatic) รุ่น S-11 ของบริษัทกรัม erhardt ประเทศเยอรมันนี ประกอบด้วย cooler, oil bate โดยมี silicone oil เป็นตัวถ่ายเทความร้อน, pressure control pump และ condenser
2. thimble ชนิด double layer ขนาด 28 * 80 mm
3. ขวดสกัดไขมัน (extraction beaker)
4. กระดาษกรอง Wharman เบอร์ 1
5. โถดูดความชื้น (dwssicator)

สารเคมี

petroleum ether (ARกรัมrate)

3. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash)

หลักการ

เมื่อนำตัวอย่างอาหารไปเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 600 ^{0}C สารอิทรีย์ (organic) ทั้งหมดจะถูกเผาไหม้ไป ส่วนที่เหลืออยู่คืออนินทรีย์ (inorganic) อนินทรีย์ทารทั้งหมดไม่ได้ระเหยไปในอุณหภูมิดังกล่าวเรียกว่าเถ้า คือแร่ธาตุที่มีอยู่ในอาหารนั่นเอง

อุปกรณ์

1. เตาเผาอุณหภูมิความร้อนสูง (muffle furnace)
2. ถ้วยกระเบื้อง (porcelain crucibles)

3. โถดูดความชื้น (dessicator)

4. ตู้ดูดควัน (fume hood)

5. เตาเผา (hot plate)

6. คีมคีบ (tong)

4. การวิเคราะห์หาความชื้นในอาหาร (moisture)

หลักการ

ความชื้นที่อยู่ในอาหารจะถูกดึงออกไปโดยวิธีระเหยจากความร้อนจนได้น้ำหนักของอาหารที่เหลืออยู่คงที่ น้ำหนักที่สูญหายไปของอาหารคือความชื้นของอาหารนั่นเอง

อุปกรณ์

1.ตู้อบแห้ง (hot air oven)

2. โถดูดความชื้น (dessicator)

3. ถ้วยกระเบื้อง (porcelain crucible)

4. คีมคีบ (tong)

5. การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (Fiber)

หลักการ

นำอาหารที่สกัดไขมันออกแล้วไปย่อยด้วยสารละลายกรดเจือจางหลังจากนั้นอาหารจะถูกย่อยต่อไปด้วยสารละลายด่างเจือจาง สารที่เหลืออยู่ถูกกรองเก็บไว้ในกระดาษกรองใน crussible แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 600 ^{o}C น้ำหนักที่สูญหายไปในการเผาคือเยื่อใยทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร

อุปกรณ์

1. crude fiber digestion apparatus ประกอบด้วย digest beaker และ condenser

2. กระดาษกรองชนิดไม่มีเถ้า (whatman เบอร์ 41)

3. เตาเผาอุณหภูมิความร้อนสูง (muffle furnace)

4. ถ้วยกระเบื้อง (porcelain crucibles)

5. โถดูดความชื้น (dessicator)

6. กรวยกรอง (funnel) และกระดาษลิตมัส

สารเคมี

1. H_2SO_4 เข้มข้น 0.255 N

2. NaOH เข้มข้น 0.313 N

3. 95% ethyl alcohol

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย (Strickland and Parsons; 1972)

สารเคมี

1. น้ำกลั่น de-ionized

2. สารละลาย phenol

เตรียมโดยละลายผลึก phenol (ใช้ analytical reagent grade) ใน 95%v/v ethyl alcohol 200 ml

3. สารละลาย sodium nitroprusside

เตรียมโดยละลาย sodium nitroprusside ($Na_2Fe(CN)_5NO*2H_2O$) 1.0 g ในน้ำกลั่น 200 ml เก็บไว้ในขวดสีชา สารละลายนี้สามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 1 เดือน

4. alkaline reagent

เตรียมโดยละลาย sodium citrate 100 g และ sodium hydroxide 5 g (ใช้ analytical reagent grade) ในน้ำกลั่น 500 ml สารละลายนี้สามารถเก็บไว้ใช้ได้ตลอดไป

5. สารละลาย sodium hypochlorite

ใช้ hypochlorite ที่มีขายทั่วไป (เช่นที่มีชื่อทางการค้าว่า Chlorox) ซึ่งควรมีค่าความเข้มข้นประมาณ 1.5 N ส่วนในการทดลองนี้ใช้ hypochlorite ที่มีชื่อทางการค้าว่าไฮเตอร์ สารละลายนี้จะมีการสลายตัวช้าแต่ก็ควรทดสอบความเข้มข้นของสารก่อนนำมาใช้ ซึ่งทำได้โดยเตรียมน้ำกลั่น 50 ml ใส่ใน flask ใส่ผลึก potassium iodide (KI) ลงไปเล็กน้อย (ประมาณ 2 g) และปิเปตสารละลาย hypochlorite มาเติมลงไป 1.0 ml จากนั้นเติมกรด hydrochloric เข้มข้น 5-10 หยดลงไป นำไปไตเตรตกับสารละลาย thiosulphate (เตรียมโดย ละลาย sodium thiosulphate ($Na_2S_2O_3*5H_2O$) 12.5 g ในน้ำกลั่น 500 ml) จนกระทั่งสีเหลืองหายไป ถ้าในการไตเตรตใช้ thiosulphate น้อยกว่า 12 ml แสดงว่า hypochlorite นั้นไม่ควรนำมาใช้

6. สารละลาย oxidizing เตรียมโดยผสมสารละลายในข้อ 4 100 ml กับสารละลายในข้อ 5 25 ml เข้าด้วยกัน ควรปิดฝาให้สนิทในขณะที่ไม่ใช้และควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่จะใช้

7. สารละลายแอมโมเนียมาตราฐาน

ละลาย ammonium sulphate 0.100 g ในน้ำกลั่น de-ionized 1000 ml เติม chloroform 1 ml เก็บไว้ในขวดสีชาและสามารถเก็บไว้ได้หลายเดือน

1 ml $\equiv$ 1.5 μg-at N

ภาคผนวก ง
วิธีหาอัตราการบริโภคออกซิเจน

หลักการ

การหายใจของสัตว์หมายถึงการนำเอาออกซิเจนไปใช้แล้วปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา การวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนใช้เครื่อง Gilson respirometer โดยใช้หลักของฟิสิกส์ในเรื่องของความดันภายในภาชนะปิด แสดงหลักการดังรูปที่ 29 เมื่อสัตว์ทดลองหายใจเอาออกซิเจนไปใช้แล้วปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาภายใน animal chamber จะมีตัวจับและดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เอาไว้ (NaOH) ความดันภายใน aminal chamber จะลดลงทำให้ของเหลวที่อยู่ในท่อรูปตัววีเคลื่อนที่มายัง animal chamber เมื่อถึงช่วงเวลาหนึ่งจะปรับ balancing knob เพื่อให้ความดันใน animal chamber เพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ของเหลวในท่อรูปตัววีถูกดันกลับไปในตำแหน่งเดิม แรงดันที่ทำให้เพิ่มขึ้นจาก balancing knob จะมี micrometer เป็นตัววัดปริมาตรอากาศที่ทำให้ของเหลวภายในท่อรูปตัววีอยู่ ณ ตำแหน่งเดิม ปริมาตรอากาศที่วัดได้คือออกซิเจนที่สัตว์ทดลองใช้ไปต่อหน่วยเวลา

อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่อง Gilson differential respirometer รุ่น IGR20 Respirometer ของบริษัท Gilson medical electronics (รูปที่ 30)
2. สารละลาย NaOH 10%

วิธีการ

1. เปิดเครื่องแล้วตั้งอุณหภูมิของ incubator ไว้ที่ระดับที่ต้องการ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง
2. นำสัตว์ทดลองใส่ลงใน Gilson chamber ที่มีน้ำอยู่ 45 ml โดยใส่ chamber ละ 1 ตัว
3. นำ NaOH 10% ใส่ลงใน side arm ของ Gilson chamber ประมาณ 4-5 หยด ปิดฝาและประกอบเข้ากับตัวเครื่อง
4. นำ Gilson chamberที่มีสัตว์ทดลองอยู่ลงใน incubator แล้วปล่อยให้สัตว์ทดลองอยู่อย่างปกติเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเปิด valve ที่ micrometer ไว้
5. เมื่อครบ 1 ชั่วโมง ปิด valve หลังจากนั้นทุกๆ 15 นาที ปรับความดันที่ micrometer และอ่านค่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดย 15 นาทีแรกไม่นำค่าที่อ่านได้มาใช้

วิธีคำนวณ

ค่าของ micrometer ที่อ่านได้มีหน่วยเป็น microliter นำค่าที่ได้ไปคูณกับค่าคงที่ C โดยหาค่า C ได้จาก

$$C = \frac{(273) * (Pb)}{(t + 273) * (760)}$$

เมื่อ

t = อุณหภูมิในขณะทำการทดลอง

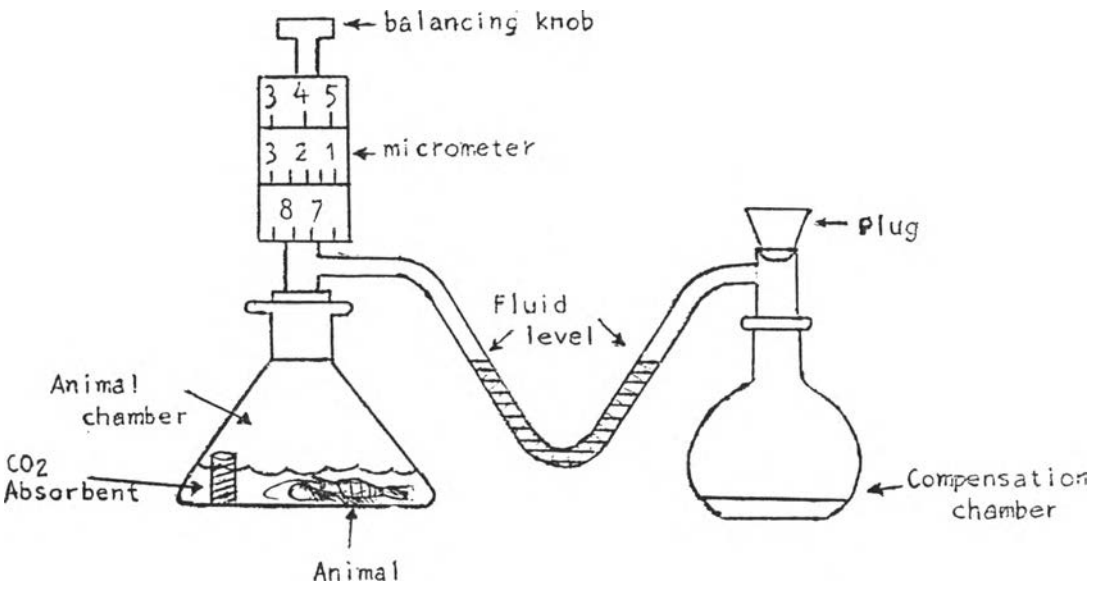
Pb = ค่าความกดอากาศที่กดอากาศที่อ่านได้จากเครื่อง barometer เป็นมิลลิเมตรของปรอท

เมื่อได้ค่าคงที่แล้วสามารถหาค่าอัตราการบริโภคออกซิเจนได้จาก

$$k = C * h$$

เมื่อ h = ค่าที่อ่านได้จาก micrometer

ค่าอัตราการบริโภคออกซิเจนที่ได้มีหน่วยเป็น microliter/hour



รูปที่ 21. หลักการทำงานของเครื่องวัดการบริโภคออกซิเจนของสัตว์น้ำ

รูปที่ 22. เครื่อง Gilson differential respirometer รุ่น IGR20 Respirometer ของบริษัท Gilson medical electronics

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. ผลของความเค็มและระดับของโปรตีนต่ออัตราการเติบโตจำเพาะของกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่น

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
SAL	3	10 20 30 ppt
FORM	3	25% 35% 45%
REP	3	1 2 3

Number of observations in data set = 27

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: Specific growth rate

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	3.50010370	0.35001037	2.18	0.0791
Error	16	2.56563704	0.16035231		
Corrected Total	26	6.06574074			

R-Square	C.V.	Root MSE	SGR Mean
0.577028	22.99422	0.400440	1.74148148

Dependent Variable: Specific growth rate

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	0.18258519	0.09129259	0.57	0.5770
FORM	2	2.94867407	1.47433704	9.19	0.0022
SAL*FORM	4	0.24074815	0.06018704	0.38	0.8228
REP	2	0.12809630	0.06404815	0.40	0.6772

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	0.18258519	0.09129259	0.57	0.5770
FORM	2	2.94867407	1.47433704	9.19	0.0022
SAL*FORM	4	0.24074815	0.06018704	0.38	0.8228
REP	2	0.12809630	0.06404815	0.40	0.6772

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: Specific growth rate

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 16 MSE= 0.160352

Number of Means 2 3

Critical Range 0.399 0.419

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	SAL
A	1.857	9	20
A	1.698	9	10
A	1.670	9	30

Duncan Grouping	Mean	N	FORM
A	2.176	9	3
B	1.674	9	2
B	1.374	9	1

Duncan Grouping	Mean	N	REP
A	1.839	9	1
A	1.693	9	3
A	1.692	9	2

2. ผลของความเค็มและระดับของโปรตีนต่ออัตรารอดของกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่น

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
SAL	3	10 20 30 ppt
FORM	3	25% 35% 45%
REP	3	1 2 3

Number of observations in data set = 27

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: SURVIVAL

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	2748.148148	274.814815	3.92	0.0075
Error	16	1120.370370	70.023148		
Corrected Total	26	3868.518519			

R-Square	C.V.	Root MSE	SURVIVAL Mean
0.710388	10.15441	8.367984	82.4074074

Dependent Variable: SURVIVAL

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	2274.074074	1137.037037	16.24	0.0001
FORM	2	235.185185	117.592593	1.68	0.2177
SAL*FORM	4	125.925926	31.481481	0.45	0.7713
REP	2	112.962963	56.481481	0.81	0.4637

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	2274.074074	1137.037037	16.24	0.0001
FORM	2	235.185185	117.592593	1.68	0.2177
SAL*FORM	4	125.925926	31.481481	0.45	0.7713
REP	2	112.962963	56.481481	0.81	0.4637

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: SURVIVAL

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 16 MSE= 70.02315

Number of Means 2 3

Critical Range 8.348 8.760

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	SAL
A	89.444	9	20
A	88.333	9	30
B	69.444	9	10

Duncan Grouping	Mean	N	FORM
A	86.111	9	3
A	82.222	9	2
A	78.889	9	1

Duncan Grouping	Mean	N	REP
A	85.000	9	3
A	82.222	9	2
A	80.000	9	1

3. ผลของความเค็มและระดับของโปรตีนต่อค่าพลังงานจากการบริโภคของกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่น

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
SAL	3	10 20 30 ppt
FORM	3	25% 35% 45%
REP	3	1 2 3

Number of observations in data set = 27

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: CONSUMPTION

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	2307.832533	230.783253	0.19	0.9942
Error	16	19257.573133	1203.598321		
Corrected Total	26	21565.405667			

R-Square	C.V.	Root MSE	CONSUMPTION Mean
0.107015	10.88147	34.69291	318.825556

Dependent Variable: CONSUMPTION

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	423.889622	211.944811	0.18	0.8401
FORM	2	1094.933267	547.466633	0.45	0.6425
SAL*FORM	4	14.154378	3.538594	0.00	1.0000
REP	2	774.855267	387.427633	0.32	0.7294

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	423.889622	211.944811	0.18	0.8401
FORM	2	1094.933267	547.466633	0.45	0.6425
SAL*FORM	4	14.154378	3.538594	0.00	1.0000
REP	2	774.855267	387.427633	0.32	0.7294

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: CONSUMPTION

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 16 MSE= 1203.598

Number of Means 2 3

Critical Range 34.61 36.32

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	SAL
A	324.38	9	20
A	316.67	9	10
A	315.42	9	30

Duncan Grouping	Mean	N	FORM
A	326.74	9	3
A	318.59	9	2
A	311.15	9	1

Duncan Grouping	Mean	N	REP
A	323.48	9	2
A	321.68	9	3
A	311.32	9	1

4. ผลของความเค็มและระดับของโปรตีนต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการเติบโตของกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่น

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
SAL	3	10 20 30 ppt
FORM	3	25% 35% 45%
REP	3	1 2 3

Number of observations in data set = 54

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: GROWTH

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	2693.296296	269.329630	8.06	0.0001
Error	43	1436.351852	33.403531		
Corrected Total	53	4129.648148			

R-Square	C.V.	Root MSE	GROWTH Mean
0.652185	12.65088	5.779579	45.6851852

Dependent Variable: GROWTH

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	81.370370	40.685185	1.22	0.3058
FORM	2	1764.925926	882.462963	26.42	0.0001
SAL*FORM	4	205.185185	51.296296	1.54	0.2089
REP	2	641.814815	320.907407	9.61	0.0004

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	81.370370	40.685185	1.22	0.3058
FORM	2	1764.925926	882.462963	26.42	0.0001
SAL*FORM	4	205.185185	51.296296	1.54	0.2089
REP	2	641.814815	320.907407	9.61	0.0004

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: GROWTH

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 43 MSE= 33.40353

Number of Means 2 3

Critical Range 3.886 4.085

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	SAL
A	46.889	18	20
A	46.167	18	10
A	44.000	18	30

Duncan Grouping	Mean	N	FORM
A	52.778	18	3
B	45.500	18	2
C	38.778	18	1

Duncan Grouping	Mean	N	REP
A	50.444	18	1
B	44.222	18	2
B	42.389	18	3

5. ผลของความเค็มและระดับของโปรตีนต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการหายใจของกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่น

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
SAL	3	10 20 30 ppt
FORM	3	25% 35% 45%
REP	3	1 2 3

Number of observations in data set = 27

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: OXYGEN

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	928.5924148	92.8592415	0.68	0.7253
Error	16	2173.0502148	135.8156384		
Corrected Total	26	3101.6426296			

R-Square	C.V.	Root MSE	OXYGEN Mean
0.299387	23.65511	11.65400	49.2662963

Dependent Variable: OXYGEN

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	405.0813407	202.5406704	1.49	0.2548
FORM	2	89.3749407	44.6874704	0.33	0.7244
SAL*FORM	4	261.2110148	65.3027537	0.48	0.7495
REP	2	172.9251185	86.4625593	0.64	0.5420

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	405.0813407	202.5406704	1.49	0.2548
FORM	2	89.3749407	44.6874704	0.33	0.7244
SAL*FORM	4	261.2110148	65.3027537	0.48	0.7495
REP	2	172.9251185	86.4625593	0.64	0.5420

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: OXYGEN

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 16 MSE= 135.8156

Number of Means 2 3

Critical Range 11.63 12.20

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	SAL
A	53.107	9	20
A	50.729	9	10
A	43.963	9	30

Duncan Grouping	Mean	N	FORM
A	51.533	9	1
A	49.187	9	3
A	47.079	9	2

Duncan Grouping	Mean	N	REP
A	51.944	9	3
A	49.983	9	1
A	45.871	9	2

6. ผลของความเค็มและระดับของโปรตีนต่อค่าพลังงานที่ใช้สูญเสียไปในรูปของแอมโมเนียของกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่น

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
SAL	3	10 20 30 ppt
FORM	3	25% 35% 45%
REP	3	1 2 3

Number of observations in data set = 27

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: AMMONIA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	14.79781481	1.47978148	0.52	0.8507
Error	16	45.37785926	2.83611620		
Corrected Total	26	60.17567407			

R-Square	C.V.	Root MSE	AMMONIA Mean
0.245910	47.63760	1.684077	3.53518519

Dependent Variable: AMMONIA

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	6.06036296	3.03018148	1.07	0.3668
FORM	2	6.69034074	3.34517037	1.18	0.3328
SAL*FORM	4	0.60317037	0.15079259	0.05	0.9942
REP	2	1.44394074	0.72197037	0.25	0.7783

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	6.06036296	3.03018148	1.07	0.3668
FORM	2	6.69034074	3.34517037	1.18	0.3328
SAL*FORM	4	0.60317037	0.15079259	0.05	0.9942
REP	2	1.44394074	0.72197037	0.25	0.7783

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: AMMONIA

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 16 MSE= 2.836116

Number of Means 2 3

Critical Range 1.680 1.763

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	SAL
A	4.198	9	10
A	3.290	9	30
A	3.118	9	20

Duncan Grouping	Mean	N	FORM
A	4.192	9	3
A	3.426	9	2
A	2.988	9	1

Duncan Grouping	Mean	N	REP
A	3.786	9	3
A	3.592	9	1
A	3.228	9	2

7. ผลของความเค็มและระดับของโปรตีนต่อค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของอุจจาระของกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่น

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
SAL	3	10 20 30 ppt
FORM	3	25% 35% 45%
REP	3	1 2 3

Number of observations in data set = 27

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: FAECES

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	1354.856098	135.485610	0.11	0.9994
Error	16	19837.166066	1239.822879		
Corrected Total	26	21192.022164			

R-Square	C.V.	Root MSE	FAECES Mean
0.063932	19.49254	35.21112	180.638919

General Linear Models Procedure

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	149.1263340	74.5631670	0.06	0.9418
FORM	2	552.0577389	276.0288694	0.22	0.8028
SAL*FORM	4	7.6049651	1.9012413	0.00	1.0000
REP	2	646.0670601	323.0335300	0.26	0.7738

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	5350.968267	2675.484133	1.46	0.2610
FORM	2	1535.341422	767.670711	0.42	0.6643
SAL*FORM	4	376.677778	94.169444	0.05	0.9945
REP	2	52.155289	26.077644	0.01	0.9859

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: FAECES

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 16 MSE= 1239.823

Number of Means 2 3

Critical Range 35.13 36.86

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	SAL
A	182.70	9	30
A	181.87	9	20
A	177.35	9	10

Duncan Grouping	Mean	N	FORM
A	185.53	9	3
A	181.76	9	2
A	174.63	9	1

Duncan Grouping	Mean	N	REP
A	187.12	9	2
A	179.50	9	3
A	175.30	9	1

8. ผลของความเค็มและระดับของโปรตีนต่อค่าพลังงานที่สูญเสยไปในรูปของคราบของกุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่น

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
SAL	3	10 20 30 ppt
FORM	3	25% 35% 45%
REP	3	1 2 3

Number of observations in data set = 27

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: MOLT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	46.28029630	5.78503704	3.82	0.0086
Error	18	27.24126667	1.51340370		
Corrected Total	26	73.52156296			

R-Square	C.V.	Root MSE	MOLT Mean
0.629479	44.45928	1.230205	2.76703704

Dependent Variable: MOLT

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	43.66534074	21.83267037	14.43	0.0002
FORM	2	2.00920741	1.00460370	0.66	0.5270
SAL*FORM	4	0.60574815	0.15143704	0.10	0.9810

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SAL	2	43.66534074	21.83267037	14.43	0.0002
FORM	2	2.00920741	1.00460370	0.66	0.5270
SAL*FORM	4	0.60574815	0.15143704	0.10	0.9810

General Linear Models Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: MOLT

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 18 MSE= 1.513404

Number of Means 2 3

Critical Range 1.217 1.277

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	SAL
A	4.537	9	10
B	2.160	9	20
B	1.604	9	30

Duncan Grouping	Mean	N	FORM
A	3.147	9	3
A	2.637	9	2
A	2.518	9	1

ประวัติผู้เขียน

นายพิพัฒน์ เวฬุคามกุล เกิดวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2516 จังหวัดฉะเชิงเทรา การศึกษาระดับปริญญาตรีจากภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา 2537 และศึกษาต่อในระดับปริญญาโทที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 ในขณะศึกษาปริญญาโทได้รับทุนวิจัยจากโครงการเมธีวิจัยอาวุโส สกว. "ศ. ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต" สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย