

ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการบริโภคออกซิเจนและอัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐานของปลาบู่ทราย
Preliminary Study on Oxygen Consumption and Standard Metabolic Rate of
Sand Goby (*Oxyleotris marmoratus* Bleeker.)

โดย

นางสาวอุมาพร ศรีผุย

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

Dr. Ume

(อาจารย์มณฑล แก่นมณี)

มฟ

๑ ๘๔๖๗

๒๕๔๒

ภาควิชารับรองแล้ว

Dr. Ume

(อาจารย์สมชาย หวังวิบูลย์กิจ)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่.../...เดือน...ค.ศ. ๒๕๔๓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



17043

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการบริโภคออกซิเจนและอัตราเมทาบอลิซึมพื้นฐานของปลาบู่ทราย
Preliminary Study on Oxygen Consumption and Standard Metabolic Rate
of Sand Goby (*Oxyeleotris marmoratus* Bleeker.)



T099170

โดย

นางสาวอุมาพร ศรีมุข

เสนอ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2543

๑๓.

๐846๓

๒543

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 99170

วันเดือนปี 15 JUN 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความฉบับพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการบริโภคออกซิเจนและอัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐานของปลานู๋ทราย

(*Oxyleotris marmoratus* Bleeker.)

Preliminary Study on Oxygen Consumption and Standard Metabolic Rate of Sand Goby

(*Oxyleotris marmoratus* Bleeker.)

การศึกษาค้นคว้าข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับอัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐาน (Standard metabolic rate : SMR) ของปลานู๋ทรายขนาด 0.2005 ± 0.088 กิโลกรัม จำนวน 6 ตัวอย่าง ภายใน respirometer ระบบปิด - น้ำนิ่ง ที่อุณหภูมิ 25 ± 1.82 °C พบว่ามีปลานู๋ทรายมีอัตราการบริโภคออกซิเจนเท่ากับ 64.60 ± 27.73 มิลลิลิตร/กิโลกรัม ต่อชั่วโมง โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบริโภคออกซิเจนกับน้ำหนักตัวเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม และปลานู๋ทรายมีอัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐาน เท่ากับ 44.39 ± 2.31 มิลลิลิตร/กิโลกรัม ต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือของบุคคลหลายๆฝ่าย ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์มณฑล แก่นมณี อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งได้ให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาที่ทำปัญหาพิเศษ ขอขอบคุณ คุณนิพนธ์ จิตต์ตำนาน ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาปลาน้ำ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ท่านอื่นๆ ขอขอบคุณ คุณจรรยา วิถีเวศม์ที่ให้ความเอื้อเฟื้อเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนตลอดจนผู้ปรารถนาดีทุกท่านที่ให้คำแนะนำและคอยเป็นกำลังใจให้การทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การอบรม เลี้ยงดูและมอบโอกาสทางการศึกษาจนกระทั่งข้าพเจ้าจบการศึกษาระดับปริญญาตรี

อุมาพร ศรีผุย
ผู้ทำปัญหาพิเศษ

สารบัญ

สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
คำนำ	1
ตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	11
ผลการทดลอง	15
วิจารณ์ผลการทดลอง	19
ข้อเสนอแนะ	21
สรุป	22
เอกสารอ้างอิง	23
ภาคผนวก	25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 อัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาบู่ทรายแต่ละตัว	15
2 อัตราเมทาบอลิซึมพื้นฐานของปลาบู่ทราย จำนวน 6 ตัว ที่อุณหภูมิ 25 °C	16
ตารางภาคผนวกที่	
1 แสดงการคำนวณหา linear regression	27



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองหาอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาบู่ทราย	13
2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบริโภคออกซิเจนกับน้ำหนักตัวของปลาบู่ทราย	17
3 อัตราเมทาบอลิซึมพื้นฐานของปลาบู่ทรายจำนวน 6 ตัว ที่ อุณหภูมิ $25 \pm 1.82^{\circ}\text{C}$	18



การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการบริโภคออกซิเจนและอัตราการทานออกซิซึมพื้นฐานของปลาบู่ทราย

Preliminary Study on Oxygen Consumption and Standard Metabolic Rate

of Sand Goby (*Oxyleotris marmoratus* Bleeker.)

คำนำ

ปลาบู่ทราย (*Oxyleotris marmoratus* Bleeker.) เป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยซึ่งผลผลิตส่วนใหญ่ถูกส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศได้แก่ฮ่องกง, สิงคโปร์, มาเลเซีย ฯลฯ สามารถทำรายได้เข้าประเทศแต่ละปีมีมูลค่าหลายล้านบาท ความต้องการปลาบู่ทรายจากต่างประเทศมีเพิ่มขึ้นทุกปีเป็นผลให้ปลาบู่ทรายมีราคาแพงขึ้น เนื่องจากพันธุ์ปลาหายากขึ้นและสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปไม่เอื้ออำนวยต่อการเลี้ยงปลา อีกทั้งผู้เลี้ยงยังขาดความรู้และเทคโนโลยีใหม่ๆ ในการเพาะเลี้ยง

ปลาบู่ทรายส่วนใหญ่นิยมเลี้ยงเพื่อการบริโภคเพราะมีเนื้อขาวสะอาด นุ่มอร่อย รสชาติดี สามารถนำไปแปรรูปเป็นอาหารได้หลายชนิดซึ่งชาวจีนนิยมบริโภคโดยมีความเชื่อว่าเมื่อรับประทานแล้วจะช่วยบำรุงกำลัง ทำให้ร่างกายแข็งแรงซึ่งต้องนำปลาบู่ทรายเป็นๆ สดๆ มาปรุงอาหาร นอกจากการเลี้ยงเพื่อการบริโภคแล้วปลาบู่ทรายยังสามารถเลี้ยงร่วมกับปลาชนิดอื่นเพื่อเป็นการควบคุมประชากรปลา เช่นการปล่อยปลาบู่ทรายในบ่อปลานิลเพื่อควบคุมประชากรปลานิลไม่ให้มีมากเกินไปมิฉะนั้นปลานิลจะเติบโตช้าและไม่ได้ขนาดตามที่ตลาดต้องการ ทั้งยังได้ผลผลิตปลาบู่ทรายเป็นรายได้เสริม ปลาบู่ทรายยังสามารถเลี้ยงเป็นปลาสวยงามได้ เช่น ปลาบู่ทอง เป็นต้น(ทวีและยุพินท์,ไม่ระบุปีที่พิมพ์)

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นผู้เลี้ยงปรารถนาที่จะได้ผลผลิตสูงสุด, การเจริญเติบโตดี, อัตราการแลกเนื้อต่ำ ทวีและยุพินท์(ไม่ระบุปีที่พิมพ์) รายงานว่าอัตราการแลกอาหารเป็นเนื้อของปลาบู่ทรายที่เลี้ยงด้วยปลาเบ็ดอยู่ระหว่าง 7.3-12.2: 1 ซึ่งการเลี้ยงให้ได้ผลผลิตสูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คุณสมบัติของน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงอย่างมาก โดยเฉพาะระดับความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ควรควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับความต้องการของสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญอาหารของร่างกายเพื่อให้ได้พลังงานที่จะนำไปใช้ในการดำรงชีวิต ความต้องการพลังงานของสัตว์น้ำจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณความต้องการอาหารต่อวันของสัตว์น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิชาการด้านสรีรวิทยาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (aquaculture physiology) การศึกษาการบริโภคออกซิเจนของสัตว์น้ำเป็นวิธีการที่ให้ผลทางปฏิบัติมากที่สุด ในขณะที่จะศึกษา metabolism ของสัตว์น้ำชนิดนั้น ข้อมูลที่ได้ทำให้ทราบถึงปริมาณพลังงานที่สัตว์ได้รับจากอาหารที่กินเข้าไป และยังสามารถคำนวณสัดส่วนของพลังงานที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต หรือประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อนอกจากนั้นความสัมพันธ์ของระดับ metabolism กับปริมาณออกซิเจนในน้ำยังบอกให้ทราบถึงปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและปริมาณออกซิเจนระดับเป็นพิษที่สัตว์น้ำนั้นสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อีกด้วย(จารุวัฒน์,2530)

การวัดอัตราการหายใจของปลาสามารถบอกได้ถึงสภาวะทางสรีรวิทยาที่ตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมในสภาวะต่างๆและบอกได้ถึงความเร็วของการใช้พลังงานและปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไปในกระบวนการ metabolism เมื่อปลากินอาหารเข้าไปพลังงานที่ได้ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในกระบวนการหายใจ ซึ่งสามารถวัดปริมาณพลังงานที่สูญเสียไปนี้ได้จากการอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาชนิดนั้นๆ การศึกษาการบริโภคออกซิเจนของปลานูจึงสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการทางด้านคุณภาพน้ำ ในด้านปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานู ได้ผลผลิตสูงสุดต่อไป

วัตถุประสงค์

- 1.เพื่อศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลานูทราย
- 2.เพื่อศึกษาอัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐานของปลานูทราย
- 3.เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการบริโภคออกซิเจนกับน้ำหนักตัวของปลานูทราย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษานี้เพื่อหาข้อมูลพื้นฐานอันนำไปสู่การสร้าง Bioenergetic model ของปลานูและนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณสัดส่วนของพลังงานที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปลานูทรายต่อไป

ตรวจเอกสาร

ชื่อวิทยาศาสตร์เบื้องต้น

ปลาบู่ หรือบู่ทราย บู่จาก บู่ทอง บู่เค็ย บู่สิงห์โต มีชื่อสามัญว่า Sand Goby, Marbled Sleepy Goby มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Oxyeleotris marmoratus มีการจัดจำแนก ลำดับทางอนุกรมวิธานดังนี้

Phylum Vertebrata

Class Teleostomi

Subclass Actinopterygii

Order Perciformes (Percomorphi)

Suborder Gobioidae

Family Gobiidae

Genus Oxyeleotris

Species marmoratus

ปลาบู่ทรายมีลักษณะลำตัวกลมยาว ความลึกลำตัวประมาณ 1 ใน 3.5 ของความยาวมาตรฐานลำตัว ส่วนหัวยาวเป็น 1 ใน 2.8 ของความยาวมาตรฐานของลำตัว หัวค่อนข้างโตและด้านของหัวแบนราบ หัวมีจุดสีดำประปราย ปากกว้างใหญ่เปิดทางด้านบน มุมปากเฉียงลงและยาวถึงระดับกึ่งกลางตา ขากรรไกรล่างยื่นยาวกว่าขากรรไกรบน ทั้งขากรรไกรบนและล่างมีฟันแหลมที่เล็ก ๆ ลักษณะฟันเป็นแบบฟันแถวเดียว ลูกตาดำลักษณะโปนกลมอยู่บนหัวถัดจากริมฝีปากบนเล็กน้อย รูจมูกคู่หนึ่งเป็นหลอดยื่นขึ้นมาอยู่ติดกับร่องที่แบ่ง จะงอยปากกับริมฝีปากบน ครีบหูและครีบหางมีลักษณะกลมมนใหญ่มีลวดลายดำสลับขาว มีก้านครีบอ่อนอยู่ 15-16 ก้าน ครีบหลัง 2 ครีบ ครีบหน้าอันสั้นเป็นหนาม 6 ก้าน ครีบอันหลังเป็นก้านครีบอ่อน 11 ก้าน ครีบท้องหรือครีบอกอยู่แนวเดียวกับครีบหูและมีก้านครีบอ่อน 5 ก้าน ครีบอกของปลาบู่ใน Subfamily Eleotrinae แยกจากกันอย่างสมบูรณ์ซึ่งแตกต่างจากปลาบู่ชนิดอื่นในครอบครัว Gobiidae ซึ่งมีครีบท้องติดกันเป็นรูปจาน ครีบกันอยู่ในแนวเดียวกับครีบหลังอันสอง มีก้านครีบอ่อน 7 ก้าน และมีความยาวเท่ากับครีบหลังอันที่สอง ส่วนของครีบบีมีลายสีน้ำตาลแดงสลับขาวเป็นแถบๆ และมีจุดสีดำกระจายอยู่ทั่วไป ลำตัวมีเกล็ดแบบหนามคล้ายซีหิวและมีแถบสีดำขวางลำตัว 4 แถบ ด้านท้องมีสีอ่อน สีของปลาบู่ทรายแตกต่างกันไปตามถิ่นที่อยู่อาศัย ปลาบู่ทรายจัดเป็นปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดกลางและเป็นปลาชนิดเดียวในครอบครัวนี้ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ปกติขนาดประมาณ 30 เซนติเมตรเคยพบยาวถึง 60 เซนติเมตร (จรัลดา,2528 อ้างโดย ภาณุและคณะ,2532)

ปลาปูทรายเป็นปลากินเนื้อที่ชอบอยู่นิ่งๆ ตามดินอ่อนพื้นทรายและหลบซ่อนตามก้อนหิน ตอไม้ เสาไม้ รากหญ้าหนาๆ เพื่อรอให้เหยื่อผ่านมาแล้วเข้าโจมตีทันทีด้วยความรวดเร็ว สามารถพบได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำกร่อยเล็กน้อย ส่วนลูกปลาปูทรายชอบซ่อนตัวบริเวณรากพืช พันธุ์ไม้ น้ำพวกรากจอก รากผักต่างๆ

คุณค่าทางโภชนาการ

ภาณุและคณะ(2532) รายงานว่าเมื่อนำปลาปูขนาด ความยาว 35 เซนติเมตร น้ำหนัก 610 กรัม ไปทำการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารพบว่า

ปลาปูมีส่วนเนื้อที่นำมาบริโภคได้	ประมาณ	
เนื้อปลาปูประกอบด้วย		57.5%
โปรตีน		15.04%
ไขมัน		0.15 %
คาร์โบไฮเดรต		2.14 %
เถ้า		0.57 %
ความชื้น		82.35%

การหายใจของปลา

การหายใจของปลาคือการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนระหว่างเหงือกกับน้ำ เพื่อนำเอาออกซิเจนไปใช้ในขบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ แล้วขับของเสียออกมาในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อม ผลที่ได้จากการหายใจจะให้สารพลังงานสูง เช่น ATP ซึ่งเปลี่ยนมาจาก ADP แล้วเก็บสะสมพลังงานไว้เพื่อใช้ในการดำรงชีวิต (maintenance), เคลื่อนที่, ย่อยอาหาร, การเจริญเติบโต, สืบพันธุ์และใช้ในกิจกรรมอื่นๆต่อไป (Cech Jr.,1990)

ปลาใช้ออกซิเจนผ่านทางเหงือก ซึ่งที่เหงือกของปลาความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำจะสูงกว่าในเม็ดเลือด ออกซิเจนจะแพร่ผ่านเข้าสู่เม็ดเลือดที่เนื้อเยื่อเหงือก ออกซิเจนจะถูกใช้ในขบวนการ metabolism ความเข้มข้นของออกซิเจนในเนื้อเยื่อจึงต่ำกว่าในเม็ดเลือดและออกซิเจนจากเม็ดเลือดจึงถูกถ่ายเทเข้าไปในเนื้อเยื่อ ในขณะที่เดียวกันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นของเสียจากขบวนการ metabolism จะมีความเข้มข้นในเนื้อเยื่อมากกว่าในเลือด การที่เม็ดเลือดรับเอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปทำให้ความจุสำหรับออกซิเจนในเม็ดเลือดน้อยลง เพราะฉะนั้นจึงเกิดการถ่ายเทออกซิเจนจากเม็ดเลือดเข้าสู่เนื้อเยื่อมากขึ้น และคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะถูกเม็ดเลือดนำกลับไปถ่ายเทสู่น้ำบริเวณเหงือกของปลา(สุขุม,2528)

ความต้องการออกซิเจนของปลาก็เช่นเดียวกับสัตว์อื่นๆ คือปลาใช้ออกซิเจนในขบวนการเผาผลาญอาหาร โดยปริมาณออกซิเจนจำนวนนี้ได้จากการหายใจภายนอกเซลล์เพื่อนำเอาออกซิเจนเข้าไปตอบสนองความต้องการของเนื้อเยื่อในเซลล์ (Lockwood,1967 อ้างโดย อรพินท์,2530)ความสัมพันธ์ของการแลกเปลี่ยนก๊าซภายในและภายนอกเซลล์ เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในเนื้อเยื่อมีการเปลี่ยนแปลง (Waterman,1960 อ้างโดย อรพินท์,2530)

อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนของปลาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ

1. ปริมาณก๊าซออกซิเจนในน้ำกับพื้นที่ผิวสัมผัสที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน
2. การขนส่งออกซิเจนในระบบเลือด
3. ขบวนการ metabolism ของร่างกายที่เป็นตัวกำหนดอัตราการใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อ (Lockwood,1967 อ้างโดย อรพินท์,2530)

อัตราการบริโภคออกซิเจนกับเมทาบอลิซึมของร่างกาย

ความสัมพันธ์ของอัตราการบริโภคออกซิเจนกับเมทาบอลิซึมนั้นเกี่ยวข้องกับระดับของกิจกรรมในร่างกายที่มีการใช้พลังงานแตกต่างกัน สำหรับอัตราเมทาบอลิซึมนั้นโดยหลักการแล้วมีวิธีการวัดอยู่ 3 วิธี (Schmidt-Nielsen,1975 อ้างโดย อรพินท์,2530)

1. วัดความแตกต่างระหว่างค่าพลังงานของอาหารทั้งหมดที่กินเข้าไปและค่าของของเสีย (excreta) เช่น fecaes และ urine ซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่งยากใช้เทคนิคสูง
2. วัดค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ได้ (heat production) เป็นวิธีแม่นยำที่สุดในทางปฏิบัติ จะวัดโดยใช้คาลอริมิเตอร์ซึ่งให้ผลถูกต้องมาก แต่มีวิธีการที่ซับซ้อนวิธีการวัดค่าความร้อนทั้งหมดที่ได้ของสิ่งมีชีวิตมีอยู่ 2 วิธีคือ วิธีการวัดโดยตรง (Direct calorimetry) และวิธีการวัดโดยอ้อม (Indirect calorimetry) ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ไม่นิยมใช้กับปลา เพราะปลามี metabolism และค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ได้ต่ำ และน้ำมีค่าความจุความร้อนสูง (Cech Jr.,1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในขบวนการออกซิเดชัน ซึ่งเป็นตัวกำหนดอัตราเมแทบอลิซึม โดยไม่พิจารณาการเกิด เมแทบอลิซึมแบบไม่ใช้ออกซิเจน วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและนิยมใช้

คำว่าอัตราเมแทบอลิซึมและอัตราการบริโภคออกซิเจนนั้นบ่อยครั้งที่ใช้แทนกันได้แต่ใน ความหมายแท้จริงแล้วไม่ถูกต้องนัก เช่นในสิ่งมีชีวิตที่เป็นพวกไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต อัตราการบริโภคออกซิเจนเป็นศูนย์ แต่อัตราเมแทบอลิซึมไม่เป็นศูนย์อย่างแน่นอน ส่วนเหตุผลที่ว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนนั้นเหมาะสมในทางปฏิบัติ คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จาก ออกซิเจนแต่ละลิตรที่ถูกใช้ในเมแทบอลิซึมมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่ว่าสารนั้นจะเป็นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน หรือไขมันที่ถูกออกซิไดซ์ คือมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.8 กิโลแคลอรีต่อลิตร การใช้ออกซิเจน เพื่อวัดอัตราเมแทบอลิซึมจะมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ (Giese,1968; Schmidt-nielsen,1975 อ้างโดย อรพินท์,2530) นั่นคือ ออกซิเจนแต่ละมิลลิกรัมที่ถูกใช้จะให้พลังงานประมาณ 3.31 คาลอรี

Cech Jr.(1990)แบ่งอัตราเมแทบอลิซึมของปลาออกเป็น 5 ระดับคือ อัตราเมแทบอลิซึม พื้นฐาน (Standard metabolism) , อัตราเมแทบอลิซึมในสภาวะพัก (Resting routine metabolism) ,อัตราเมแทบอลิซึมในสภาวะปกติ (Routine metabolism) , อัตราเมแทบอลิซึม ในขณะที่ปลารว่ายน้ำ (Swimming metabolism) และ อัตราเมแทบอลิซึมในสภาวะที่ร่างกายมีกิจกรรมสูงๆ (Active metabolism) โดยให้คำจำกัดความว่า อัตราเมแทบอลิซึมพื้นฐานเป็นค่าประมาณที่ต่ำที่สุดที่ทำให้ปลาสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้(maintainance) (Fry,1971 อ้างโดย อรพินท์,2530) ซึ่งกำหนดว่าเป็นระดับกิจกรรมภายนอกของร่างกายมีค่าเป็นศูนย์ แต่อาจมีการย่อยและดูดซึมอาหารในร่างกายบ้าง ส่วนอัตราเมแทบอลิซึมในสภาวะพักเป็นอัตราเมแทบอลิซึมที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสัตว์เท่านั้นแต่ไม่จำเป็นต้องมีค่าน้อยที่สุดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง อัตราเมแทบอลิซึมในสภาวะปกติเป็นอัตราเมแทบอลิซึมเมื่อสัตว์ดำรงชีวิตเป็นปกติ คือมีกิจกรรมของร่างกายบ้างแต่ไม่มากนัก เป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง สภาวะที่ร่างกายไม่มีกิจกรรมภายนอกที่สังเกตเห็น (Standard metabolism)กับสภาวะที่ร่างกายมีกิจกรรมสูงๆ (Active metabolism) เช่นการว่ายน้ำอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น ค่าระหว่าง 2 ระดับเมแทบอลิซึมนี้เรียกค่า scope for activity

ในสัตว์น้ำแม้มีการควบคุมกิจกรรมต่างๆของร่างกายเพื่อศึกษาอัตราเมแทบอลิซึมพื้นฐาน สิ่งหนึ่งซึ่งควบคุมไม่ได้ คือ การเคลื่อนไหวระยะยาวของร่างกาย หรือการว่ายน้ำ ดังนั้น การวัดค่า

อัตราเมทาบอลิซึมพื้นฐานที่แท้จริงจึงไม่อาจกระทำได้ แต่บางครั้งก็อาจอนุมานให้ค่าที่วัดได้ในกรณีนี้เป็นค่าอัตราเมทาบอลิซึมพื้นฐาน (Fry,1971 อ้างโดย อรพินท์ ,2530)ถ้าพิจารณาตามค่าจำกัดความแล้วค่านี้คือ ค่าระดับต่ำของอัตราเมทาบอลิซึมในสภาวะทั่วไป (low routine metabolismหรือuncontrolled standard metabolism)(Castro ,1984 อ้างโดย อรพินท์ ,2530)

อัตราการบริโภคออกซิเจนของปลา

อัตราการบริโภคของปลาเป็นค่าแสดงปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในขบวนการออกซิเดชันซึ่งเป็นตัวกำหนดอัตราเมทาบอลิซึม (Schmidt – Nielsen,1975 อ้างโดย อรพินท์ ,2530) การศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจนภายใต้สภาวะใดสภาวะหนึ่งของสัตว์ เช่น สภาวะพัก ,เคลื่อนไหวหรืออดอาหาร เป็นต้น เป็นการศึกษาภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนอยู่ในสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยมีความผันแปรของอุณหภูมิ และความเข้มข้นของออกซิเจน การวัดค่าอัตราการบริโภคออกซิเจนนี้เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่หายไปจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งไม่สามารถบอกค่าการใช้ประโยชน์ของออกซิเจน (utilization of oxygen) อัตราการบริโภคออกซิเจนโดยทั่วไปอธิบายได้ในหน่วยของ มิลลิกรัมหรือมิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมหรือกิโลกรัม ต่อชั่วโมงหรือนาที ในสัตว์ต่างๆไปพบว่าไม่สามารถรับออกซิเจนได้มากกว่าที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในเมทาบอลิซึมของร่างกาย

ปลาแต่ละชนิดจะมีอัตราการบริโภคออกซิเจนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิด , ขนาด, สภาวะโภชนาการของตัวปลา และแตกต่างกันไปตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น โดยทั่วไปปลาขนาดเล็กจะมีอัตราการบริโภคออกซิเจนต่อหน่วยน้ำหนักตัวในอัตราที่มากกว่าปลาขนาดใหญ่ จารุวัฒน์และสมนึก(2530)ได้ทำการทดลองหาอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลากะพงขาว และปลากะรังจุดสีน้ำตาล พบว่า ปลาทั้ง 2 ชนิดนี้มี อัตราการบริโภคออกซิเจนจำเพาะลดลงตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น แต่ปลาทั้งสองชนิดนี้มีอัตราการบริโภคออกซิเจนจำเพาะแตกต่างกันเนื่องจากปลากะพงขาวเป็นปลาที่ว่องไวกว่าปลากะรังซึ่งมักจะนอนนิ่งๆอยู่กับพื้นเป็นส่วนใหญ่ แม้ในสภาวะพักตัว (resting) ปลากะพงขาวยังต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งในการทรงตัวลอยน้ำอยู่เสมอ แม้แต่ปลาที่อ้วนก็มีอัตราการบริโภคออกซิเจนสูงกว่าปลาที่ผอมเพรียว (Scott,1964 อ้างโดย สุขุม, 2528) อัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาที่เคลื่อนไหวที่จะสูงกว่าปลาที่อยู่ในสภาวะพักตัว (resting) เช่น ปลา Aholehole (*Kuhlia sandvicensis*) น้ำหนัก 30 กรัม มีอัตราการบริโภคออกซิเจนในขณะที่เคลื่อนไหว (Active oxygen consumption) ประมาณ 618 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ต่อชั่วโมง และอัตราการบริโภคออกซิเจนพื้นฐาน (Standard oxygen consumption) ประมาณ 68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ต่อชั่วโมง(Muir and Nimi,1972) เมื่อปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่เร็วขึ้น อัตราการบริโภคออกซิเจนจะเพิ่มมากขึ้น เช่น ปลานิลที่ว่ายน้ำด้วยความเร็ว 30 เซนติเมตร/วินาที ที่อุณหภูมิ 25°C มีอัตราการบริโภคออกซิเจนประมาณ 220 มิลลิลิตร / กิโลกรัม ต่อชั่วโมง และอัตราการบริโภคออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 460 มิลลิลิตร / กิโลกรัม ต่อชั่วโมง เมื่อปลานิลว่ายน้ำด้วยความเร็ว 60 เซนติเมตร/วินาที (Farmer and Beamish,1969 อ้างโดย สุขุม, 2528)

การบริโภคออกซิเจนของปลาหลังจากการกินอาหาร มีอัตราที่สูงกว่าปลาที่ยังไม่ได้รับอาหาร เนื่องจากปลาต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในขบวนการย่อยอาหาร สุขุม(2528)ทำการทดลองในปลาไหลญี่ปุ่น น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 25°C โดยให้อุดอาหารเป็นเวลา 3 วัน พบว่ามีอัตราการบริโภคออกซิเจนประมาณ 0.22 มิลลิลิตร/กรัม ต่อชั่วโมง หลังจากให้กินอาหาร จำนวน 1 กรัม อัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาไหลญี่ปุ่นเพิ่มขึ้นเป็น 0.26 มิลลิลิตร/กรัม ต่อชั่วโมง McKenzie et al.(1997)ทำการทดลองหาอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลา sturgeon (*Acipenser naccarii* Bonaparte.) โดยเปรียบเทียบระหว่างปลา sturgeon ที่ได้รับอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (highly unsaturated fatty acid of the ω 3 series : ω 3 HUFA) และกรดไขมันที่อิ่มตัว (saturate fatty acid : SFA) พบว่าปลา sturgeon ที่ได้รับกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง มีอัตราการบริโภคออกซิเจนต่ำกว่าปลา sturgeon ที่ได้รับกรดไขมันที่อิ่มตัว

นอกจากกิจกรรมต่างๆของปลาแล้ว ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการบริโภคออกซิเจนของปลาได้แก่ อุณหภูมิ และความเค็ม เป็นต้น โดยอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาจะแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเป็นตัวกระตุ้นอัตราการเผาผลาญอาหาร ส่งผลให้ปลาบริโภคอาหารมากขึ้น และในช่วงเวลากลางวันที่มีแสงแดด น้ำจะได้รับออกซิเจนจากขบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชปริมาณออกซิเจนในน้ำจึงสูง พื้นที่ผิวสัมผัสที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนของปลามีมากขึ้นอัตราการบริโภคออกซิเจนจึงเพิ่มขึ้น (Lockwood,1967 อ้างโดย อรพินท์,2530) Iwamae et al.(1997)ทำการทดลองหาอัตราการบริโภคออกซิเจน ในปลานิล (*Oreochromis mossambicus*) น้ำหนักประมาณ 120 g ที่เลี้ยงในน้ำจืด ,น้ำทะเล และน้ำทะเลความเค็มสูงกว่าปกติ 1.6 เท่า (1.6 x seawater) ก่อนทำการทดลองเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าปลาเลี้ยงในน้ำทะเลมีอัตราการบริโภคออกซิเจนต่ำที่สุด ความแตกต่างของอัตราการบริโภคออกซิเจนเกิดขึ้นเนื่องจากการปรับตัวเพื่อรักษาสมดุลออสโมติกของร่างกาย และควบคุมกลไกของ metabolism homeostatic mechanism ที่สัมพันธ์กับระบบควบคุมสาร ซึ่งการเพิ่มอัตราการบริโภคออกซิเจนเกิดจากการเพิ่มกิจกรรม เนื่องจาก osmotic stress แม้พลังงานที่เกี่ยวข้องกับ

การนำอิออนมีค่าเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ของเมทาบอลิซึมทั้งหมด แต่การเปลี่ยนแปลงความเค็มมีผลต่อการเพิ่มกิจกรรมมากกว่าความต้องการพลังงานใน osmotic work

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของปลา เมื่อความดันออกซิเจนในน้ำลดลง ปริมาณออกซิเจนที่ผ่านผิวเหงือกจะลดลง ด้วยทำให้ความดันออกซิเจนในเลือดลดลงในอัตราเดียวกับการลดลงของออกซิเจนในน้ำ ปลาแต่ละชนิดจะมีการปรับตัวเพื่อตอบสนองของความเข้มข้นออกซิเจนสิ่งแวดล้อม โดยไปเพิ่มอัตราไหลเวียนเลือดที่เหงือกหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงออกซิเจนจากน้ำ หรือรวมกันทั้ง 2 กรณี

ปัจจัยควบคุมอัตราการบริโภคออกซิเจน

1. อัตราออกซิเดทีฟ เมทาบอลิซึม (oxidative metabolism) เพราะเมื่อเมทาบอลิซึมถูกกระตุ้น การใช้ประโยชน์ของออกซิเจนภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของออกซิเจนในเนื้อเยื่อลดลง ออกซิเจนจากเลือดแพร่ผ่านของหลอดเลือดระหว่างเซลล์เข้าสู่เซลล์ ออกซิเจนในเลือดลดลง ออกซิเจนจากสิ่งแวดล้อมจะแพร่ผ่านเนื้อเยื่อหายใจ อัตราการบริโภคออกซิเจนจึงเพิ่มขึ้น
2. การเพิ่มอัตราการถ่ายเทออกซิเจนจากสิ่งแวดล้อมทำให้ อัตราการบริโภคออกซิเจนเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขาดแคลนออกซิเจนภายนอกผนังเนื้อเยื่อหายใจอย่างรวดเร็ว เพราะความเข้มข้นของออกซิเจนภายนอกลดลง อัตราการบริโภคออกซิเจนจะคงอยู่ได้โดยการเพิ่มอัตราการไหลเวียนเลือด
3. ผลกระทบจากการเพิ่มการถ่ายเทออกซิเจนกับสิ่งแวดล้อม ทำให้ความเร็วในการไหลเวียนเลือดและปริมาณเลือดที่ไปสู่ผนังเนื้อเยื่อหายใจเพิ่มขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้น
4. การควบคุมอัตราการบริโภคออกซิเจนในระยะสั้น แตกต่างจากการควบคุมอัตราการบริโภคออกซิเจนเมื่อสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปเป็นเวลานาน พบว่าในสัตว์ชั้นสูง การปรับตัวเมื่อความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำสูงขึ้นหรือต่ำลงนั้น ทำได้โดยเพิ่มขนาดของผนังแลกเปลี่ยนก๊าซและเพิ่มประสิทธิภาพในการรับออกซิเจนของเม็ดเลือด

ขนาดร่างกายกับอัตราการบริโภคออกซิเจน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดร่างกายกับอัตราการบริโภคออกซิเจน (เมทาบอลิซึมของร่างกาย) จะพบว่าสมการทั่วไปของความสัมพันธ์อยู่ในรูปของ

$$R = aW^b$$

เมื่อ R คือ อัตราเมทาบอลิซึม (วัดในรูปการใช้ออกซิเจน)

W คือ น้ำหนักสัตว์ทดลอง

a คือ สัมประสิทธิ์บ่งชี้ระดับเมทาบอลิซึม

b คือ ค่ายกกำลังของน้ำหนัก (weight exponent) ค่าเฉลี่ยสำหรับสัตว์

$$\text{ทุกชนิดให้ม้ค่า} = 0.75 \pm 0.015$$

(Newell, 1979 อ้างโดย อรพินท์, 2530)

จากสมการจะได้ว่า

$$\log_{10} R = \log_{10} a + b \log_{10} W$$

ดังนั้น ในสัตว์ขนาดเล็กจะมีอัตราเมทาบอลิซึมสูงกว่าสัตว์ขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาต่อหน่วยน้ำหนักที่เท่ากัน และความสัมพันธ์ของการบริโภคออกซิเจนกับขนาดร่างกายนั้นพิจารณาที่ค่ายกกำลังของน้ำหนัก (b) ซึ่งในสัตว์พวกปูมีค่า 0.6 - 1.0 (Lockwood, 1967 อ้างโดย อรพินท์, 2530) และค่าสัมประสิทธิ์บ่งชี้ระดับเมทาบอลิซึม มีค่า 0.66 ถ้าสมการถูกต้อง ในสัตว์พวกครัสเตเชียนซึ่งการที่ค่ายกกำลังของน้ำหนักนี้มีความผันแปรมาก เนื่องจากค่านี้มีความสัมพันธ์กับอิทธิพลของกิจกรรม, อุณหภูมิและความเค็มซึ่งมีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนในสัตว์ทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (Newell, 1979 อ้างโดย อรพินท์, 2530)

จากรูว์มน์และคณะ (2530) รายงานว่าปลากระรังจุดสีน้ำตาลและปลากระพงขาวมีอัตราการบริโภคออกซิเจนจำเพาะลดลงตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราการบริโภคออกซิเจนจำเพาะจะลดลงประมาณ 0.9 เท่า และ 1.8 เท่า ในทุกๆช่วงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของน้ำหนักเดิม ตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

- 1.1 สัตว์ทดลอง ปลาบู่ทราย Oxyeleotris marmoratus จำนวน 6 ตัว
- 1.2 ตู้กระจกขนาด 1x0.5x0.5 เมตร ปริมาตรน้ำ 150 ลิตร
- 1.3 ท่ออะครีลิคใส เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร ความยาว 25 เซนติเมตร ปริมาตร 6.3 ลิตร
- 1.4 D.O. meter (YSI model 52)
- 1.5 เครื่องคอมพิวเตอร์
- 1.6 Submergible pump ยี่ห้อ Sonic 3000 AC 220v/240 50Hz 25w/32w
- 1.7 Timer
- 1.8 อุปกรณ์ให้อากาศ
- 1.9 ถังกรองแพลงค์ตอน
- 1.10 วาล์วกันกลับ
- 1.11 ท่อ PVC
- 1.12 วาล์วปรับความแรงของน้ำ
- 1.13 สายยางขนาด 3.5 นิ้ว
- 1.14 ไม้บรรทัด
- 1.15 เครื่องชั่ง

2. การเตรียมตัวอย่างสัตว์ทดลอง

นำปลาบู่ทรายที่ได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติมาเลี้ยงไว้ในบ่อซีเมนต์ขนาด 2 x 2.5 เมตร เป็นเวลาประมาณ 3 เดือน ก่อนทำการทดลองนำปลาบู่มาเลี้ยงในตู้กระจกขนาดเดียวกับตู้กระจกที่ใช้ทดลองเป็นเวลา ประมาณ 15 วัน โดยให้ปลาบู่เป็นอาหารซึ่งจะให้กินจนอิ่ม ถ้าปลาบู่ไม่กินอาหารให้เก็บอาหารที่เหลือทิ้งเพื่อป้องกันน้ำเน่า ดูดตะกอนและถ่ายน้ำตู้ปลาเมื่อเห็นว่ามีน้ำเริ่มสกปรก ก่อนทำการทดลองประมาณ 24 ชั่วโมงนำปลาบู่มาพักในตู้กระจก ทดลองเพื่อให้ปลาบู่คุ้นเคยกับสภาวะทดลอง (acclimation) ในอันที่จะหลีกเลี่ยงภาวะตื่นตัวสูง (highly active) ระหว่างที่ให้ปลาบู่คุ้นเคยกับสภาวะทดลองและระหว่างการทดลองจะไม่มีกรให้อาหารงดให้อาหารก่อนการทดลอง 1 วัน เนื่องจากอาหารที่กินเข้าไปจะทำให้อัตราการบริโภคออกซิเจนมีค่าสูงขึ้นตาม metabolism ของร่างกาย (Wienbeck, 1981 and Rowchai, 1985 อ้างโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแต่งลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรพินท์,2530) น้ำที่นำมาใช้ในการทดลองนี้จะต้องกรองผ่านถุงกรองแพลงค์ตอนเพื่อขจัดความผิดปกติอันเนื่องมาจากการบริโภคออกซิเจนของแพลงค์ตอนพืช (จารุวัฒน์และสมนึก,2530) คลุมตู้กระจกด้วยพลาสติกสีดำเพื่อลดความเครียดจากแสงและสิ่งรบกวนทางสายตาต่อตัวอย่างสัตว์ทดลอง

3.วิธีการทดลอง

ทำการศึกษาการบริโภคออกซิเจนของปลาบู่ทรายตามวิธีการของ Schurmann and Steffensen (1997) ในระบบปิด - น้ำนิ่ง (closed - static system) โดยใช้ห้องอะครีลิคเป็น respiration chamber และตู้กระจกเป็นแหล่งเก็บน้ำในการทดลอง หลังจากปลาบู่คุ้นเคยกับสภาพทดลองแล้ว เมื่อจะเริ่มทำการทดลอง ดูดตะกอนในตู้กระจกให้สะอาด นำปลาบู่ใส่ใน chamber ประกอบให้เรียบร้อย (ดังภาพที่ 1) โดยต้องแน่ใจว่าไม่มีอากาศเหลืออยู่ใน chamber สอด D.O.sensor ซึ่งต่อกับ D.O. meter เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนใน chamber ตัว chamber จะต่ออยู่กับ submergible pump ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการหมุนเวียนของน้ำใน chamber และ submergible pump ถูกควบคุมเวลาการทำงานด้วยเครื่องตัดเวลา (timer) เมื่อ pump เริ่มทำงาน chamber จะได้รับน้ำจากตู้กระจกทางท่อน้ำเข้า ซึ่งให้อากาศตลอดเวลาเพื่อให้ออกซิเจนในน้ำอยู่ในระดับอิ่มตัวตลอดเวลา ควบคุมอัตราการไหลของน้ำด้วยวาล์วปรับความแรงของน้ำให้มีอัตราการไหล 6 ลิตร/นาที ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำนี้จะเป็นปริมาณออกซิเจนเริ่มต้น น้ำจากตู้กระจกจะผ่านเข้า chamber เป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้น pump จะหยุดทำงาน ออกซิเจนใน chamber จะถูกใช้ไปโดยสัตว์ทดลองเป็นเวลา 15 นาทีซึ่งจะถือเป็นหนึ่งคาบของการทดลอง (period) แล้วน้ำจะไหลออกทางท่อน้ำออก ทั้งทางน้ำเข้าและทางน้ำออกของ chamber จะใส่วาล์วกันกลับเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำอันจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดของปริมาณออกซิเจนใน chamber ได้ บันทึกผลอย่างต่อเนื่อง ทุกๆวินาทีตลอดระยะเวลา 18 ชั่วโมงต่อการทดลองสำหรับแต่ละตัวอย่างด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้โปรแกรม Procomm plus ในการรับข้อมูลจาก D.O. meter เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อทำการทดลองครบ 18 ชั่วโมงหยุดการบันทึกข้อมูล นำปลาบู่ออกจาก chamber ซึ่งน้ำหนัก (kg) วัดความยาว total length(cm) ของปลาบู่ทดลองเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาตรน้ำใน chamber ต่อไป

4.การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ในแต่ละการทดลองเป็นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ในแต่ละวินาที นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของ DO แต่ละนาทีในแต่ละคาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการทดลอง (period) ตามช่วงเวลาที่มีวันหยุดทำงาน โดยตัดข้อมูลในช่วงที่มีวันหยุดออก นำค่าเฉลี่ยของ DO ในแต่ละนาทีลบกันผลลัพธ์ที่ได้ คือ อัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาทุทรายในแต่ละนาที ($\text{mg O}_2 \text{ gm}^{-1} \text{ min}^{-1}$) ซึ่งต้องเปลี่ยนหน่วยให้เป็น $\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการบริโภคออกซิเจนและอัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐาน (Standard metabolic rate) ของปลาทุทรายต่อไป

4.1 การคำนวณหาอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาทุทราย

นำค่าอัตราการบริโภคออกซิเจน ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) ของปลาทุทรายทดลองแต่ละตัวมาหาค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง (18 ชั่วโมง) ผลที่ได้ คือ อัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาทุทรายแต่ละตัว ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

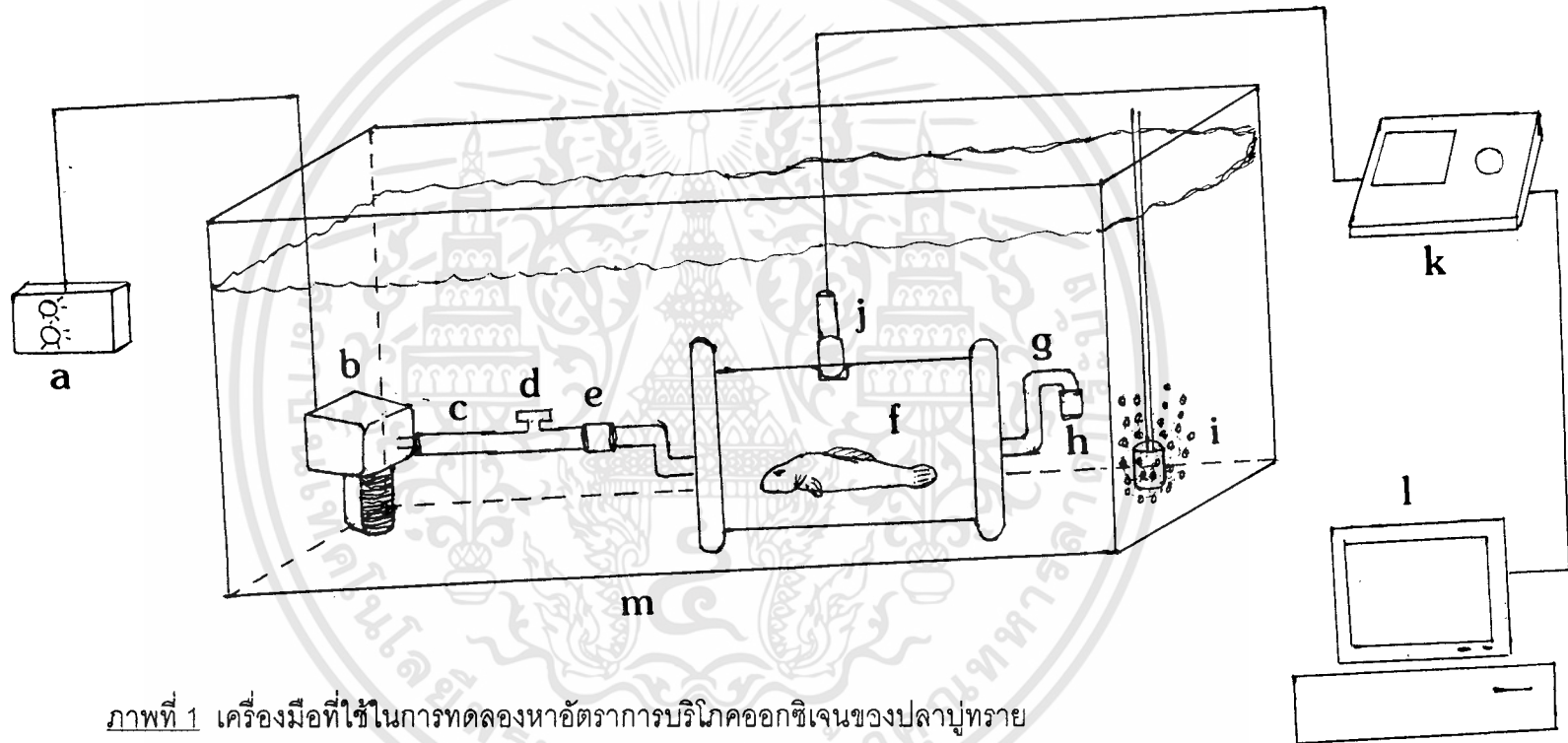
plot กราฟระหว่างอัตราการบริโภคออกซิเจน ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) กับน้ำหนักตัว (kg) ของปลาทุทรายแต่ละตัวเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบริโภคออกซิเจนกับน้ำหนักตัว ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันเป็นสมการเส้นตรง คำนวณหา linear regression เพื่ออธิบายขนาด, ทิศทาง และความเที่ยงตรงของสมการที่ได้

4.2 การคำนวณหาอัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐาน (Standard metabolic rate : SMR)

หาค่าเฉลี่ยของอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาทุทรายทั้ง 6 ตัว ในแต่ละคาบของการทดลอง (period) ตลอดระยะเวลาการทดลอง (18 ชั่วโมง) นำข้อมูลที่ได้มา plot กราฟระหว่างอัตราการบริโภคออกซิเจนกับระยะเวลาในการทดลอง (min) จากกราฟสามารถหา SMR ได้โดยการลากเส้นตรงผ่านจุดที่ต่ำที่สุดของอัตราการบริโภคออกซิเจนจำนวน 6 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้คือ SMR ของปลาทุทรายทั้ง 6 ตัว

5. สถานที่และระยะเวลาในการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระยะเวลาในการทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2543 ถึง วันที่ 28 เมษายน 2543



ภาพที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองหาอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาทูทราย

- a - Timer , b - Submergible pump, c และ g - ท่อ pvc , d - วาล์วปรับความแรงของน้ำ , e และ h - วาล์วกันกลับ , f - respirometer chamber , l - หัวทราย
 j - D.O.sensor , k - D.O.meter , L - เครื่องคอมพิวเตอร์ , m - ตู้กระจกทดลอง

ผลการทดลอง

อัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาบู่ทราย

จากการทดลองหาอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาบู่ทราย จำนวน 6 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 0.2005 ± 0.088 กิโลกรัม พบว่ามีอัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ย $64.60 \pm 27.73 \text{ mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ และปลาแต่ละตัวมีอัตราการบริโภคออกซิเจนดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อ plot กราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเมทาบอลิซึมกับน้ำหนักตัวพบว่าปลาบู่ทรายทั้ง 6 ตัว มีแนวโน้มของอัตราเมทาบอลิซึมลดลงตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2 และเมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ $r^2 = 0.94$ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนกับน้ำหนักตัวมีความสัมพันธ์กันมากในทิศทางตรงกันข้าม

ตารางที่ 1 อัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาบู่ทรายแต่ละตัว

ปลาตัวที่	weight (kg)	Oxygen consumption (mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)
1	0.233	45.24
2	0.272	38.35
3	0.153	83.59
4	0.119	87.31
5	0.103	97.38
6	0.323	35.76
ค่าเฉลี่ย	0.2005 ± 0.088	64.60 ± 27.73

อัตราเมทาบอลิซึมพื้นฐาน (Standard metabolic rate : SMR)

ค่าอัตราเมทาบอลิซึมพื้นฐาน คือ ค่าประมาณที่ต่ำที่สุดที่ทำให้ปลาสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้จากสภาวะควบคุมในการทดลอง ในช่วงก่อนและระหว่างการทดลองได้ให้ปลาอดอาหาร และทำการทดลองในระบบปิด - น้ำนิ่ง และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่ 25 ± 1.82 °C ดังนั้นปลาจึงไม่ต้องสูญเสียพลังงานในการย่อยอาหาร , ว่ายน้ำและปรับอุณหภูมิร่างกายตามสภาพแวดล้อม

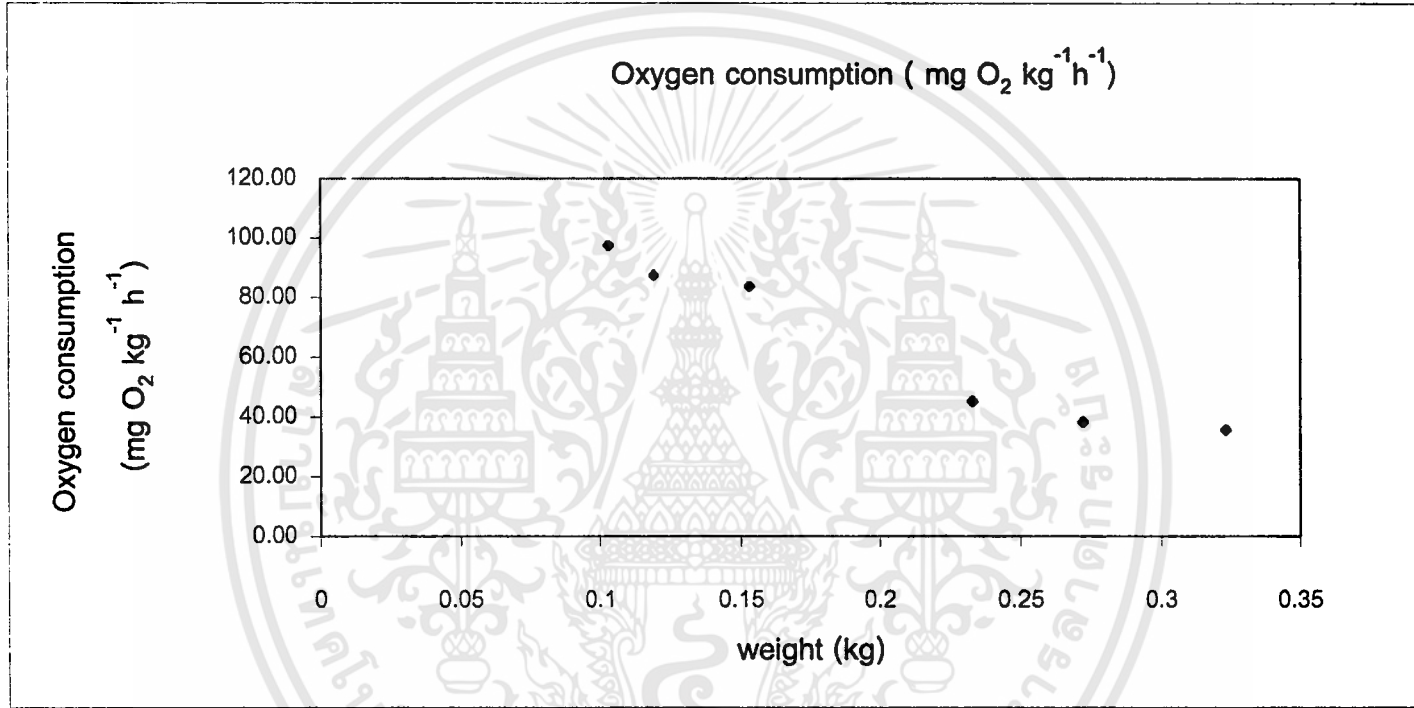
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นอัตราเมแทบอลิซึมที่วัดได้จึงถือเป็นอัตราเมแทบอลิซึมพื้นฐานในการทดลองครั้งนี้
อย่างแท้จริง ผลการทดลองปรากฏว่าปลาบู่ทราย จำนวน 6 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 0.2005 ± 0.088
กิโลกรัม มีค่าอัตราเมแทบอลิซึมพื้นฐาน $44.39 \pm 2.31 \text{ mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ $25 \pm 1.82 \text{ }^\circ\text{C}$
ดังตารางที่ 2 และ ภาพที่ 3

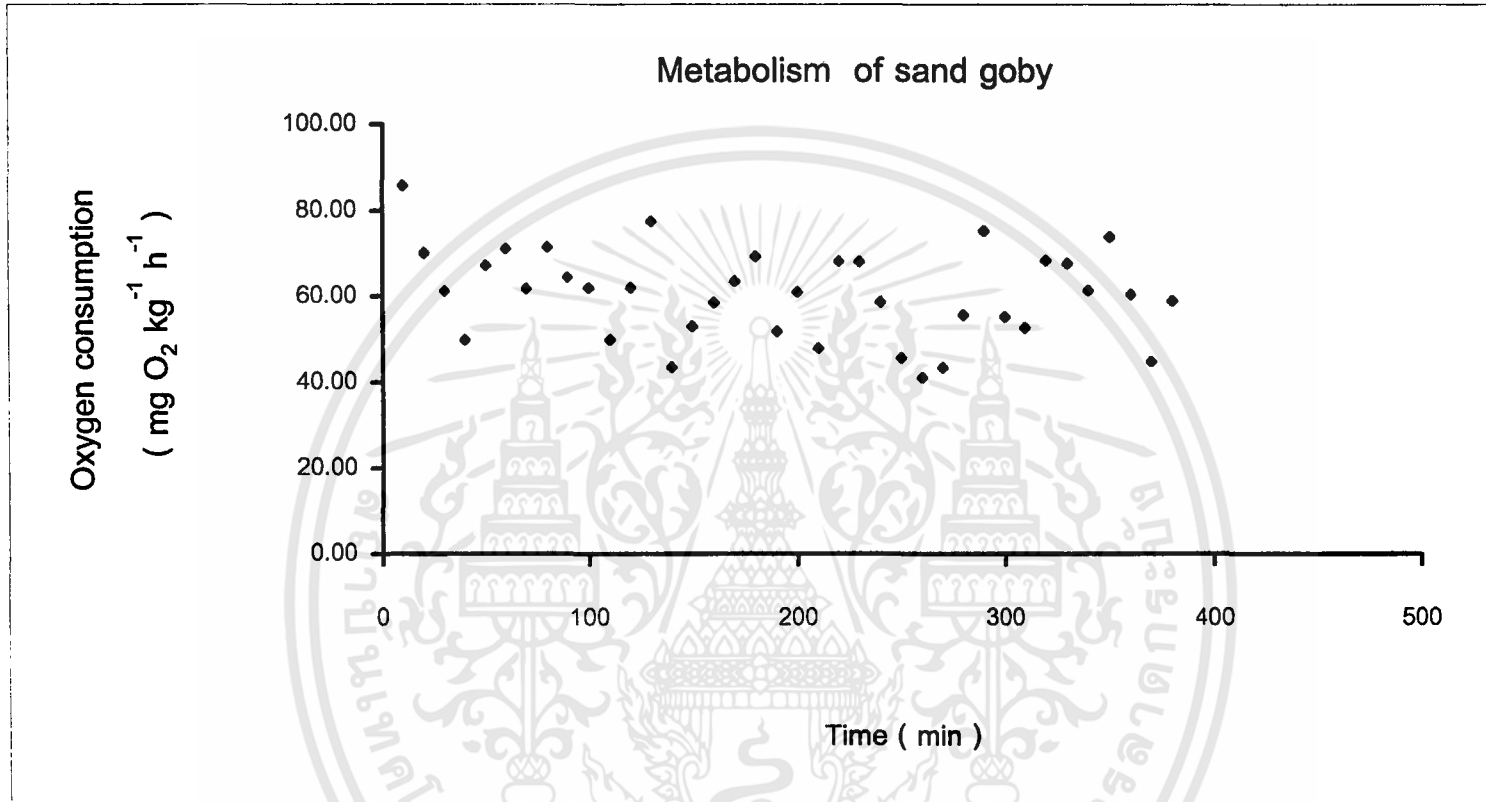
ตารางที่ 2 อัตราเมแทบอลิซึมพื้นฐาน ของปลาบู่ทรายจำนวน 6 ตัว
ที่อุณหภูมิ $25 \pm 1.82 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperature $25 \pm 1.82 \text{ }^\circ\text{C}$	
N	6
Mass (kg)	0.2005 ± 0.088
SMR ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	44.39 ± 2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบริโภคออกซิเจน
กับน้ำหนักตัวของปลานุททราย



ภาพที่ 3 Standard metabolic rate ของปลานูทรายจำนวน 6 ตัว ที่อุณหภูมิ $25 \pm 1.82^{\circ} \text{C}$

วิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีจำนวนน้อยจึงไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนในการหาอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาปูได้อย่างแท้จริง ผลการทดลองที่ได้จึงเป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นเท่านั้น จะเห็นได้จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบริโภคออกซิเจนกับน้ำหนักตัวมีแนวโน้มที่จะเป็นไปตามสมการ $R = aw^b$ คือ อัตราการบริโภคออกซิเจนจะลดลงตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ จารุวัฒน์ (2530) ที่ทำการทดลองในปลากะรังจุดสีน้ำตาล และ ปลากะพงขาว และสอดคล้องกับการทดลองของ Degani *et al.*(1989) ที่ทำการทดลองในปลา European eel ทั้งนี้เป็นเพราะปลา European eel ขนาดใหญ่มีความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวลำตัวกับน้ำหนักตัวน้อยกว่า ปลา European eel ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นเช่นเดียวกันกับปลาชนิดอื่นๆ Watermann (1960) กล่าวว่าอิทธิพลของน้ำหนักตัวที่มีต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนจะมีค่ามากในสัตว์ขนาดกลาง คือมีน้ำหนักระหว่าง 1 กรัม ถึง 1 กิโลกรัม และอิทธิพลนี้มีค่าน้อยใน สัตว์ขนาดเล็กและสัตว์ขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับพันธุกรรมและสภาวะแวดล้อมอื่นๆด้วย ปลาปูที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีน้ำหนักระหว่าง 100 ถึง 300 กรัมซึ่งสอดคล้องกับค่ากล่าวของ Watermann (1960) อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราเมตาบอลิซึม เพราะปลาเป็นสัตว์เลือดเย็นมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของร่างกายตามสภาพแวดล้อม สุขุม (2528) กล่าวว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาเป็นอย่างมาก ปลาจะมีการใช้ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะไปเร่งอัตราเผาผลาญอาหารและเร่งให้ปลามีการกินอาหารมากขึ้น ดังนั้นในระหว่างการทดลองจึงควรคุมอุณหภูมิภายในห้องทดลองให้คงที่เพื่อไม่ให้ปลาสูญเสียพลังงานในการปรับตัว ทั้งนี้เพื่อให้อัตราการบริโภคออกซิเจนที่วัดได้เป็น Standard oxygen consumption อย่างแท้จริง

ปลาปูทรายเป็นปลาที่หากินอยู่ใกล้พื้นดิน ชอบอยู่นิ่งๆเป็นส่วนใหญ่ มีความว่องไวน้อย จึงมี metabolic rate ต่ำ การทดลองครั้งนี้ปลาปูทราย จำนวน 6 ตัว น้ำหนัก 0.2005 ± 0.088 กิโลกรัม มีอัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ย และ อัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐานที่อุณหภูมิ 25 ± 1.82 °C เท่ากับ 64.04 ± 27.73 และ 44.39 ± 2.31 $\text{mgO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปลา European eel (*Anguilla anguilla*) ซึ่งเป็นปลาที่มีความว่องไวน้อยเช่นกัน พบว่าปลา European eel น้ำหนัก 101.2 – 121.6 กรัมมีค่า SMR เท่ากับ 56.3 – 67.0 $\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Cruz – Neto *et al.*, 1997) เห็นได้ว่า SMR ของปลาทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่าปลา European eel จะมีค่า SMR สูงกว่าปลาปูเล็กน้อยทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำหนักเฉลี่ยของปลา European eel ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองจะน้อยกว่าปลาทุทราย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอัตราการบริโภคออกซิเจนจะลดลงตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลากับปลานิลซึ่งเป็นปลาที่มีความว่องไวสูง พบว่าปลานิลมีอัตราการบริโภคออกซิเจน $220 \text{ mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 25° C เมื่อปลาว่ายน้ำด้วยความเร็ว 30 เซนติเมตร/วินาที ดังนั้นปลาทุทรายจึงเป็นปลาที่มี metabolic rate ต่ำอัตราการบริโภคออกซิเจนจึงต่ำไปด้วย อรพินท์ (2530) กล่าวว่า ปลาที่มี metabolic rate ต่ำจะสามารถดำรงชีวิตอยู่รอดในสภาวะที่ ออกซิเจนละลายในน้ำต่ำได้นานกว่าปลาที่มี metabolic rate สูง ดังนั้นในการเลี้ยงปลาทุทรายในกระชังถ้าหากมีการจัดการด้านคุณภาพน้ำที่ดี ปลาทุทรายน่าจะมียืดอายุรอดและการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงซึ่งจะสามารถสร้างรายได้ที่ดีให้กับเกษตรกรต่อไป



ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มตัวอย่างของสัตว์ทดลองให้มากกว่านี้ โดยควรมีจำนวนตัวอย่าง อย่างน้อย 30 ตัว และควรใช้สัตว์ทดลองในหลายๆช่วงอายุ และในแต่ละช่วงอายุควรมีจำนวนหลายๆตัว เพื่อให้เป็นตัวแทนของสัตว์ทดลองชนิดนั้นๆได้อย่างแท้จริง

2. เครื่องตัดเวลา (Timer) ที่ใช้ในการทดลองควรมีความแม่นยำในการตั้งค่าเวลาในแต่ละคาบของการทดลอง (period)



สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการบริโภคออกซิเจนและอัตราเมทาบอลิซึมพื้นฐานของปลาบู่ทราย (*Oxyleotris marmoratus* Bleeker.) จำนวน 6 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 0.2005 ± 0.088 กิโลกรัม สรุปผลได้ดังนี้

1. ปลาบู่ทรายมีอัตราเมทาบอลิซึมพื้นฐาน (standard metabolic rate) เท่ากับ 44.39 ± 2.31 มิลลิลิตร/กิโลกรัม ต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 ± 1.82 °C
2. อัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาบู่ทรายลดลงตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น
3. ปลาบู่ทรายมีอัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ย 64.04 ± 27.73 มิลลิลิตร/กิโลกรัม ต่อชั่วโมง



เอกสารอ้างอิง

จารุวัฒน์ นกิตะภักฎ.2530.ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งบางชนิด. เอกสารทางวิชาการ ฉบับที่ 37/2530. สถานีประมงน้ำกร่อยจังหวัดระยอง กองประมงน้ำกร่อย กรมประมง.

จารุวัฒน์ นกิตะภักฎ และ สมนึก กบิลรัมย์. 2530. การบริโภคออกซิเจนของปลากะพงขาว. เอกสารทางวิชาการ ฉบับที่16/2530. สถานีประมงน้ำกร่อยจังหวัดระยอง กองประมงน้ำกร่อย กรมประมง.

จารุวัฒน์ นกิตะภักฎ และ สมนึก กบิลรัมย์. 2530. การบริโภคออกซิเจนของปลากะรังจุดสีน้ำตาล. เอกสารทางวิชาการ ฉบับที่ 22/2530. สถานีประมงน้ำกร่อยจังหวัดระยอง กองประมงน้ำกร่อย กรมประมง.

ทวี วิพุธานุมาศ และ ยุพินท์ วิวัฒน์ชัยเศรษฐ์.ไม่ระบุปีที่พิมพ์. การเพาะเลี้ยงปลาบู่. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมประมง. 32 หน้า.

พานิชย์ สังข์เกษม และ จารุวัฒน์ นกิตะภักฎ. 2538. อัตราการบริโภคออกซิเจนและปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งบางชนิด. เอกสารทางวิชาการ ฉบับที่ 28/2538. สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดระยอง กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล , ทวี วิพุธานุมาศ และ อนุสรณ์ มีวรรณ.2532 . การเพาะและอนุบาลปลาบู่ทราย.เอกสารเผยแพร่ ฉบับที่ 10/2532. สถานีประมงน้ำจืด จังหวัดปทุมธานี กองประมงน้ำจืด กรมประมง. 22 หน้า.

สุขุม เร้าใจ.2528.อิทธิพลของปริมาณออกซิเจนในน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา.วารสารการประมง.38(4) : 231-240.

Cech, Jr. J.J. 1990. Respirometry. in C.B. Schreck and P.B. Moyle, editors.
Method for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda,
Maryland. Page 335-363.

Farmer, G.J. and F.W.H. Beamish. 1969. Oxygen consumption of
Tilapia nilotica in relation to swimming speed and salinity. อ้างโดย สุขุม
เร้าใจ. 2528. อิทธิพลของปริมาณออกซิเจนในน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา.
วารสารการประมง. 38(4) : 231-240.

Fry, F.E.J. 1971. The Effect of Environmental Factors on the Physiology of
Fish. อ้างโดย อรพินท์ จินตสถาพร. 2530. การใช้ออกซิเจนของกึ่งทะเล
ชนิดที่พบในนากุ้งธรรมชาติของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์. 89 หน้า.

Giese, A.C. 1968. Cell Physiology. อ้างโดย อรพินท์ จินตสถาพร. 2530. การใช้ออกซิเจน
ของกึ่งทะเลชนิดที่พบในนากุ้งธรรมชาติของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 89 หน้า.

Iwama, G.K., A. Takamura and K. Takang. 1997. Oxygen consumption rates of tilapia
in fresh water, sea water and hypersaline sea water. Journal of Fish Biology,
51: 886-894.

Lockwood, A.P.M. 1967. Aspect of The Physiology of Crustacea. อ้างโดย อรพินท์
จินตสถาพร. 2530. การใช้ออกซิเจนของกึ่งทะเลชนิดที่พบในนากุ้งธรรมชาติของ
ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 89 หน้า.

Mckenzie, D.J., G. Piraccini, N. Papini, C. Galli, P. Bronzi and E.W. Taylor. 1997.
Oxygen consumption and ventilatory reflex responses are influenced by
dietary lipid in sturgeon. Fish Physiology and Biochemistry 16: 365-379.

- Moss,D.D. and D.C.Scott.1964.Respiratory metabolism of fat and lean channel catfish.อ้างโดย สุขุม เ้าใจ.2528. อิทธิพลของปริมาณออกซิเจนในน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา. วารสารการประมง.38(4):231-240.
- Muir,B.S. and A.J.Nimi.1972.Oxygen Consumption of the Euryhaline Fish Ahloehole (Kuhlia sandvicensis) with Refference to Salinaty,Swimming And Food Consumption .Journal Fisheries Research Board of Canada , Vol.29 (1) : 67-77.
- Newell,R.C.1979.Biology of Intertidal Animal .อ้างโดย อรพินท์ จินตสถาพร .2530. การใช้ออกซิเจนของกุ้งทะเลชนิดที่พบในนาุ้งธรรมชาติของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.89 หน้า.
- Schmidt-Nielsen,K.1975.Animal Physiology :Adaptation and Environment.อ้างโดย อรพินท์ จินตสถาพร .2530.การใช้ออกซิเจนของกุ้งทะเลชนิดที่พบในนาุ้งธรรมชาติของประเทศไทย.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.89 หน้า.
- Waterman,T.H.(ed.).1960. The Physiology of Crustacea .Vol1: Metabolism and Growth. อ้างโดย อรพินท์ จินตสถาพร .2530.การใช้ออกซิเจนของกุ้งทะเลชนิดที่พบในนาุ้งธรรมชาติของประเทศไทย.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.89 หน้า.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1

แสดงการหา linear regression ของ

ความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราค่าบริการโคออกซิเจนกับน้ำหนักตัว

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.971560283
R Square	0.943929383
Adjusted R Square	0.929911728
Standard Error	7.34353608
Observations	6

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	3631.40448	3631.40448	67.3386118	0.001201725
Residual	4	215.7100886	53.92752216		
Total	5	3847.114569			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>ower 95.0%</i>
Intercept	125.3359355	7.985062398	15.69630007	9.62279E-05	103.1658021	147.5060688	103.1658
X Variable 1	-302.9020138	36.91221283	-8.206010712	0.001201725	-405.3869587	-200.4170689	-405.387

RESIDUAL OUTPUT

PROBABILITY OUTPUT

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>	<i>Standard Residuals</i>	<i>Percentile</i>	<i>Y</i>
1	54.75976623	-9.523714725	-1.449960434	8.333333333	35.75851393
2	42.94658769	-4.600999452	-0.700490025	25	38.34558824
3	78.99192733	4.602843908	0.700770838	41.66666667	45.2360515
4	89.2905958	-1.979671434	-0.301399752	58.33333333	83.59477124
5	94.13702803	3.241612752	0.493526987	75	87.31092437
6	27.49858498	8.25392895	1.257552385	91.66666667	97.37864078