

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

การที่ค่า FA ของปลาแต่ละสปีชีส์และจากแต่ละแหล่งน้ำมีค่าแตกต่างกันในแต่ละลักษณะโครงสร้างนั้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากลักษณะโครงสร้างแต่ละลักษณะมีองค์ประกอบทางพันธุกรรมแตกต่างกัน ทำให้มีกระบวนการพัฒนาการและช่วงเวลาที่ว่องไวต่อความเครียด (Critical Period) แตกต่างกัน มีผลให้แสดงการตอบสนองต่อความเครียดชนิดเดียวกันได้แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกลักษณะโครงสร้างเพื่อศึกษา FA จึงเป็นสิ่งสำคัญ ลักษณะโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อการมีชีวิตอยู่รอด เช่น แขน ขา ซึ่งมีความสำคัญในการเคลื่อนที่หนีศัตรู หายอาหาร กระบวนการพัฒนาการของลักษณะดังกล่าวย่อมต้องถูกควบคุมด้วยยีนที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ได้พัฒนาการที่แม่นยำขึ้นระหว่างทั้งสองด้าน เนื่องจากสิ่งมีชีวิตที่มีแขนหรือขาไม่สมมาตรอาจไม่สามารถหนีผู้ล่าหรือแข่งขันกับตัวอื่นได้ ทำให้ไม่สามารถมีชีวิตอยู่รอดและถูกกำจัดออกจากระบบนิเวศ ลักษณะโครงสร้างประเภทนี้จัดว่ามี Canalization หรือ Self Regulation สูง Canalization คือการควบคุมและป้องกัน (Buffer) ให้มีพัฒนาการเกิดขึ้นอย่างคงที่ไม่ว่าจะอยู่ในสภาพแวดล้อมใดๆ (Zahkarov, 1992) ในทางตรงกันข้าม ลักษณะโครงสร้างที่ไม่มีความสำคัญต่อการมีชีวิตอยู่รอด เช่น เกล็ด ฟัน ขน แม้ว่าจะมีความไม่สมมาตรเกิดขึ้นก็ไม่มีผลต่อการมีชีวิตอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตนั้น ดังนั้นยีนที่ควบคุมกระบวนการพัฒนาการของลักษณะโครงสร้างประเภทนี้จึงไม่จำเป็นต้องมีประสิทธิภาพสูง และเมื่อได้รับความเครียดจากสิ่งแวดล้อม ลักษณะโครงสร้างดังกล่าวจึงมีโอกาสเกิดความไม่สมมาตรขึ้นได้โดยง่าย ซึ่ง Soulé และ Cuzin-Roudy (1982) เสนอว่าลักษณะโครงสร้างที่ไม่มีความสำคัญต่อการมีชีวิตอยู่รอดควรมีความว่องไว (Sensitive) ต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อมมากที่สุด อย่างไรก็ตาม Bengtsson *et al.* (1985) มีความเห็นตรงกันข้าม โดยเสนอว่าลักษณะโครงสร้างที่

ถูกควบคุมด้วยยีนที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อได้รับความเครียดจากสิ่งแวดล้อมจะมีโอกาสเกิดความไม่สมมาตรได้ต่ำ แต่หากมีความไม่สมมาตรเกิดขึ้นในลักษณะโครงสร้างดังกล่าวแล้วแสดงว่าความเครียดมีระดับสูง ทำให้แปลผลได้ง่ายกว่า FA ที่ได้จากลักษณะโครงสร้างที่เกิดความไม่สมมาตรได้โดยง่ายและเกิดได้ในทุกระดับความเครียด

ในการวิจัยนี้พบว่า Brachioistegal Rays เป็นลักษณะโครงสร้างที่มี Canalization สูง เนื่องจากไม่พบความไม่สมมาตรของ Brachioistegal Rays ในปลาทั้ง 3 สปีชีส์จากทุกแหล่งน้ำ ยกเว้น Brachioistegal Rays ของปลาชีวหนวดยาว (*E. metallicus*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากบ่อ 1 ใกล้ลานตากเบียร์ สันนิษฐานว่าผลจากการมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณสูง เช่น สภาพความเป็นกรดที่เกิดจากการย่อยสารอินทรีย์ อาจมีผลไปขัดขวางกระบวนการพัฒนาการของ Brachioistegal Rays ในทางตรงกันข้าม Brachioistegal Rays ทำหน้าที่โบกพัดให้น้ำไหลผ่านซี่เหงือก (Gill Rakers) ดังนั้นสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำอาจไปขัดขวาง เช่น ไปอุดกั้น ขณะที่ Brachioistegal Rays กำลังมีพัฒนาการเกิดขึ้นเป็นรูปร่าง และทำให้ได้พัฒนาการที่ไม่สมมาตรขึ้น ผลที่ได้จากการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Poranee Utayopas (1997) ซึ่งทำการศึกษา FA ของปลาหางนกยูง (*Gambusia affinis*) จากแหล่งน้ำในกรุงเทพมหานครเปรียบเทียบกับปลาหางนกยูง (*Gambusia holbrooki*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากทะเลสาบในเมืองเพิร์ธ ประเทศออสเตรเลีย พบว่าปลาหางนกยูง (*Gambusia affinis*) ในประเทศไทยที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง น้ำมีสีดำน้ำ Brachioistegal Rays มีค่า FA สูงเมื่อเปรียบเทียบกับปลาหางนกยูง (*Gambusia holbrooki*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากทะเลสาบในเมืองเพิร์ธ ซึ่งไม่พบความไม่สมมาตรของ Brachioistegal Rays ในปลาแม้แต่ตัวเดียว

ดังนั้นหากมีการศึกษาและทราบถึงกลไกที่สารอินทรีย์ในน้ำมีผลต่อกระบวนการพัฒนาการของ Brachioistegal Rays แล้ว อาจสามารถนำ FA ของ Brachioistegal Rays มาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความเครียดที่เกิดจากการมีสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำปริมาณสูงได้

อย่างไรก็ตาม การศึกษา FA ของ Brachioistegal Rays แต่เพียงอย่างเดียว อาจไม่เพียงพอสำหรับการตรวจสอบความเครียดในแหล่งน้ำ เพราะหากไม่พบความไม่สมมาตรของ Brachioistegal Rays อาจแปลผลได้ว่าปลาในแหล่งน้ำนั้นไม่ได้รับความเครียดจากสิ่งแวดล้อม ทั้งที่ปลาอาจมีโอกาสได้รับความเครียดจากแหล่งน้ำนั้น แต่เป็นความเครียดชนิดอื่นที่ไม่ใช่เนื่องจากสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำมีปริมาณสูง ดังนั้นในขณะที่ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าลักษณะโครงสร้างใดมีความอ่อนไหว (Sensitive) ต่อความเครียดชนิดใดโดยเฉพาะหรือยังไม่ทราบกลไกการพัฒนาการของแต่ละลักษณะโครงสร้าง จึงควรทำการศึกษา FA ในลักษณะโครงสร้างที่หลากหลายเพื่อให้สามารถตรวจสอบชนิดของความเครียดได้ครอบคลุมมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การศึกษา FA ของลักษณะโครงสร้างหลายลักษณะในเวลาเดียวกันอาจทำให้แปลผลทำได้ยาก เนื่องจาก FA ของแต่ละลักษณะโครงสร้างแสดงการตอบสนองต่อความเครียดแตกต่างกัน เนื่องจากมีพันธุกรรมที่ต่างกัน นอกจากนี้การเกิดความไม่สมมาตรขึ้นในแต่ละลักษณะโครงสร้างยังเป็นอิสระซึ่งกันและกัน กล่าวคือ ถึงแม้ว่าจะตรวจพบความไม่สมมาตรในลักษณะโครงสร้างหนึ่งๆ ก็ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าลักษณะโครงสร้างอื่นมีแนวโน้มจะเกิดความไม่สมมาตรเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย นั่นคือ ความไม่สมมาตรของลักษณะโครงสร้าง ก ไม่มีผลทำให้ความไม่สมมาตรของลักษณะโครงสร้าง ข เกิดได้เพิ่มขึ้นหรือลดลง (Graham *et al.*, 1994; Hallgrímsson, 1998) จึงทำให้ไม่สามารถพิจารณาผลของความเครียดได้จากผลรวมของความไม่สมมาตรของทุกลักษณะโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตแต่ละตัว แต่ต้องพิจารณาแปลผลจากแต่ละลักษณะโครงสร้างแยกกัน ซึ่งแปลทำให้ผลได้ยาก

ผลการวิจัยนี้พบว่าในระหว่างปลาทั้ง 3 สปีชีส์ ปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) มีความไวต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อมมากกว่าปลาชนิดอื่นอีกสองสปีชีส์ ทั้งนี้เพราะ FA ของปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) เมื่อเปรียบเทียบกับ FA ของปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) [รวมทั้งปลาสลิค (*T. pectoralis*)] และปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) แล้ว ลักษณะโครงสร้างส่วนใหญ่มีค่า FA ของปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) สูงสุด นอกจากนี้ค่า FA ของปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) ยังแสดงความสัมพันธ์กับระดับความเครียดอย่างเด่นชัด โดยเกือบทุกลักษณะโครงสร้าง ค่า FA ของปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากบ่อที่ 1 และบ่อที่ 2 ใกล้ลานตากกากเบียร์มีค่าสูงสุด ซึ่งปลาที่อาศัยอยู่ในบ่อทั้งสองควรได้รับความเครียดระดับสูงเนื่องจากการตายของปลาจำนวนมากหลังจากฝนตกและชะล้างสารอินทรีย์จากลานตากกากเบียร์ลงสู่บ่อทั้งสอง (นายอุทิศ พึ่งคุม สัมภาษณ์ 2 ก.ค. 2541) แต่สิ่งที่น่าประหลาดใจคือในจำนวน 6 ลักษณะโครงสร้างที่พบว่าค่า FA ของปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) จากบ่อ 1 และบ่อ 2 ใกล้ลานตากเบียร์มีค่าสูงสุด มีจำนวนถึง 4 ลักษณะ โครงสร้างที่ค่า FA ของปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) จากบ่อ 1 มีค่ามากกว่าค่า FA ของปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากบ่อ 2 ทั้งๆที่สภาพแวดล้อมในบ่อ 2 แสดงว่ามีความเครียดระดับสูงกว่าบ่อ 1 เนื่องจากบ่อ 2 อยู่ใกล้ลานตากกากเบียร์มากกว่า และถึงแม้ว่าจะใส่ปูนขาวลงไป ในบ่อทั้งสองเพื่อปรับสภาพน้ำหลังจากมีการตายของปลา (นายอุทิศ พึ่งคุม สัมภาษณ์ 2 ก.ค. 2541) สภาพของน้ำในบ่อ 2 ขณะทำการสุ่มตัวอย่างยังคงแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่าระบบนิเวศยังไม่ฟื้นตัว น้ำยังคงมีสีค่อนข้างดำคล้ำ ขณะที่สภาพแวดล้อมของบ่อ 1 แสดงว่าระบบนิเวศมีการฟื้นตัวแล้ว สีของน้ำในบ่อ 1 มีลักษณะคล้ายคลึงกับน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป ดังนั้นปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) ในบ่อ 2 ควรได้รับความเครียดสูงกว่าปลาในบ่อ 1

สำหรับผลที่ได้สนับสนุนฐานว่าการตายของปลาฉลามหนวดยาว (*E. metallicus*) ในบ่อ 1 และ บ่อ 2 ทำให้เกิดการคัดเลือกทางธรรมชาติ ปลาที่อ่อนแอไม่สามารถทนต่อความเครียดได้จะตายไป เหลือแต่ตัวที่แข็งแรงสามารถทนต่อความเครียดได้สูง ดังนั้นปลาที่มีชีวิตเหลืออยู่รอดในบ่อ 1 และ บ่อ 2 ไกล่ลานตากเบียร์จึงเป็นปลาที่มีองค์ประกอบทางพันธุกรรมที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งมี พัฒนาการที่แม่นยำและมีค่า FA ต่ำ และเนื่องจากความเครียดในบ่อ 2 มีระดับสูงกว่าบ่อ 1 ดังนั้น การคัดเลือกในบ่อ 2 ควรมีความรุนแรงกว่าบ่อ 1 ปลาที่เหลือรอดอยู่ในบ่อ 2 จึงเป็นปลาที่แข็งแรง มีคุณสมบัติในการมีชีวิตอยู่รอดสูง (Fitness) สูงกว่าปลาที่มีชีวิตอยู่รอดในบ่อ 1 มีผลทำให้ค่า FA ของปลาที่สุ่มตัวอย่างได้จากบ่อ 2 มีค่าต่ำกว่าค่า FA ของปลาจากบ่อ 1 ซึ่งผลการทดลองที่ได้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Vøllestad *et al.* (1998) และ Campbell *et al.* (1998) ที่รายงานว่า การศึกษา FA ในระบบนิเวศที่ได้รับความเครียดอย่างรุนแรงจนถึงระดับที่มีการตายของสิ่งมีชีวิต หรือมีการสูญหายของบางสปีชีส์ออกจากระบบนิเวศ อาจทำให้แปลผลผิดพลาด เพราะค่า FA ที่ได้ จากสิ่งมีชีวิตที่เหลืออยู่รอดอาจมีค่าต่ำกว่าค่า FA ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศที่มีความเครียดน้อยกว่า ดังนั้นหากใช้ FA เป็นดัชนีบ่งชี้ระดับความเครียดของสภาวะแวดล้อมดังกล่าวอาจได้ผลว่า ระบบนิเวศที่มีค่า FA มากกว่ามีระดับความเครียดสูงกว่า ทั้งๆที่แท้จริงแล้วระบบนิเวศนั้นอาจมี ความเครียดระดับต่ำกว่า

ในทำนองเดียวกันค่า FA ของ Dorsal Ribs ของปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) ที่สุ่ม ตัวอย่างได้จากบ่อ 1 และบ่อ 2 ไกล่ลานตากกากเบียร์ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า FA ของปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*)) และปลาสลิค (*T. pectoralis*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากแหล่งอื่นอย่างมีนัยสำคัญ สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันคือปลาที่มีชีวิตอยู่รอดได้ผ่านการคัดเลือกทางธรรมชาติมา แล้ว ทำให้เหลือแต่ปลาที่แข็งแรงและแสดงค่า FA ต่ำ

ในลักษณะคล้ายคลึงกัน ในลักษณะโครงสร้างที่ทำการศึกษาในปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) จำนวนทั้งหมด 9 ลักษณะ มีจำนวนถึง 5 ลักษณะที่ค่า FA ของปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากนาฝักกระเจดมีค่าสูงสุด นอกจากนี้ค่า FA ของจำนวนหนามบนกระดูก Preopercle ของปลาสลิค (*T. pectoralis*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากนาฝักกระเจดยังมีค่าสูงกว่าค่า FA ของปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากแหล่งน้ำอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ผลที่ได้ อาจบ่งบอกว่าปลาที่อาศัยอยู่ในนาฝักกระเจดได้รับความเครียดอย่างรุนแรง

สำหรับปัจจัยที่มีโอกาสทำให้เกิดความเครียดขึ้นแก่ปลาที่อาศัยอยู่ในนาฝักกระเจด ได้แก่ ยาฆ่าแมลง ฮอร์โมนพืชและสารอาหารเสริม แต่คาดว่ายาฆ่าแมลงอาจมีโอกาทำให้เกิดความเครียดขึ้นแก่ปลาได้น้อย เนื่องจากยาฆ่าแมลงถูกใช้ในระยะเวลาอันสั้นเท่านั้น กล่าวคือส่วนใหญ่ถูกฉีดพ่นในช่วงเดือนแรกหลังจากเริ่มทำการปลูก (นายสมควร คุ้มภัย สัมภาษณ์ 18 พ.ย. 2541) ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่มีผลทำให้เกิดความเครียดขึ้นแก่ปลาในนาฝักกระเจดน่าจะเป็นฮอร์โมนพืชและสารอาหารเสริมซึ่งถูกฉีดพ่นลงในนาฝักกระเจดอย่างสม่ำเสมอ ทุกๆ 5-6 วัน

สำหรับผลของฮอร์โมนพืชที่มีต่อสัตว์น้ำยังไม่ทราบแน่ชัด เนื่องจากไม่ทราบว่าเป็นฮอร์โมนชนิดใด แต่สันนิษฐานว่าเป็นฮอร์โมนออกซิน (Auxin) เนื่องจากฮอร์โมนที่มีฤทธิ์ส่งเสริมให้มีการงอกของใบและยอดอ่อนมี 3 ประเภท ได้แก่ จิบเบอเรลลิน (Gibberellin) ไซโตไคนิน (Cytokinin) และออกซิน แต่เนื่องจากจิบเบอเรลลินส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในรูปของผงสารเคมี (ร.ศ. ดร. อัญชลี จาละ สัมภาษณ์ 22 พ.ค. 2543) ขณะที่สารสังเคราะห์ในกลุ่มของไซโตไคนินคือ Kinetin และ BAP (6-benzylaminopurine) มีราคาสูงและมีประโยชน์ค่อนข้างจำกัด ในประเทศไทย ยังไม่มีการสังเคราะห์เข้ามาใช้ในรูปของสารเคมีทางการเกษตร (พีรเดช ทองอำไพ, 2537) เนื่องจากฮอร์โมนพืชที่ใช้ในนาฝักกระเจดอยู่ในรูปสารละลาย ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่าน่าจะเป็นฮอร์โมนออกซิน ซึ่งฮอร์โมนออกซินสังเคราะห์แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ NAA (1-naphthylacetic

acid) IBA (4-(indol-3-yl) butyric acid) 4-CPA (4-cholophenoxyacetic acid) และ 2,4-D (2,4-dicholophenoxyacetic acid) ซึ่งมีค่าความเป็นพิษ (LD_{50}) เมื่อให้สารทางปากหนูทดลองเท่ากับ 1000-5900, 100, 850 และ 375 มิลลิกรัม/กิโลกรัมตามลำดับ (พีรเดช ทองอำไพ, 2537)

ดังนั้นความเครียดในนาผักกระเฉดอาจเกิดจากความเครียดของฮอร์โมน เนื่องจากฮอร์โมนส่วนใหญ่แม้ว่าจะมีค่าความเป็นพิษต่ำ แต่หากมีการใช้เป็นจำนวนมากและบ่อยครั้งก็อาจเกิดอันตรายแก่สัตว์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ (ดร. สัมพันธ์ คัมภีรานนท์, 2527) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะยังไม่ทราบแน่ชัดถึงความเครียดของฮอร์โมนพืชที่มีต่อปลาที่อาศัยอยู่ในนาผักกระเฉด แต่ปลาอาจได้รับผลกระทบจากความเครียดของฮอร์โมนและปุ๋ยที่ไปส่งเสริมให้มีการเติบโตและเพิ่มจำนวนของสาหร่ายและพืชน้ำ (Eutrophication) ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำมีปริมาณต่ำลงและเกิดผลกระทบอื่นๆที่มีผลต่อการดำรงชีวิตปลาและสัตว์น้ำในนาผักกระเฉด ซึ่ง Harrison (1996) รายงานว่าผลจากกระบวนการ Eutrophication ทำให้ความหลากหลายของสปีชีส์ของแพลงก์ตอนพืชลดลง มีการเปลี่ยนแปลงของสปีชีส์หลัก (Species Dominances) และมีมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ในการสำรวจสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (Macroinvertebrates) ในกระเพาะอาหารของปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) จากแหล่งน้ำชนิดต่างๆ โดยกรณี อุทโยภาส (กำลังอยู่ในระหว่างการจัดพิมพ์) พบว่าปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากนาผักกระเฉดทุกตัวมีจำนวนและสปีชีส์ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในกระเพาะอาหารน้อยกว่าปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากแหล่งน้ำอื่นๆอย่างเด่นชัด ทั้งนี้อาจมีข้อโต้แย้งว่าการสุ่มตัวอย่างกระทำก่อนปลากินอาหารหรือปลาบางตัวอาจสำรองอาหารในกระเพาะอาหารออกมาขณะถูกดองด้วยสารเคมี ทำให้พบปริมาณสัตว์อาหารในกระเพาะอาหารน้อย อย่างไรก็ตามไม่ควรเกิดลักษณะดังกล่าวในปลาทุกตัว นอกจากนี้จำนวนสัตว์อาหารในกระเพาะอาหารของปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) จากนาผักกระเฉดมีปริมาณน้อยกว่าที่พบในปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) ที่สุ่มจากแหล่งน้ำอื่นๆอย่างเด่น

ชัด จึงทำให้สันนิษฐานว่าฮอร์โมนและปฏิกิริยาที่ไต่ลงในนาฬิกกระเจดอาจมีผลทำให้เกิดความเครียดในแหล่งน้ำโดยการไปทำลายลูกโซ่อาหารในระบบนิเวศในนาฬิกกระเจด

อย่างไรก็ตาม การที่ FA ของกระดูก Premaxilla ของปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) ซึ่งสุ่มตัวอย่างได้จากนาฬิกกระเจดมีค่าต่ำกว่าปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากแหล่งน้ำอื่นอย่างมีนัยสำคัญ สันนิษฐานว่าความเครียดในนาฬิกกระเจดอาจไม่มีผลต่อการพัฒนาการของกระดูก Premaxilla ของปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) ในทางตรงกันข้าม ปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) ในนาฬิกกระเจดอาจผ่านการคัดเลือกทางธรรมชาติเหลือแต่ตัวที่มีพันธุกรรมที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมการพัฒนาการของกระดูก Premaxilla ทำให้พัฒนาการของกระดูก Premaxilla เกิดขึ้นอย่างแม่นยำ แต่เหตุผลที่มีการคัดเลือกแต่ปลาที่มีพันธุกรรมสำหรับควบคุมพัฒนาการของกระดูก Premaxilla เอาไว้เท่านั้น ยังไม่ทราบแน่ชัด สันนิษฐานว่ากระดูก Premaxilla อาจเป็นลักษณะ โครงสร้างที่เชื่อมโยงถึงการมีชีวิตอยู่รอด (Fitness) ของปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) มากกว่าลักษณะ โครงสร้างอื่นๆ

เนื่องจากไม่สามารถเก็บตัวอย่างปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) ได้จากบ่อ 1 และ บ่อ 2 ใกล้เคียงลานตากเบียร์และไม่สามารถเก็บปลาชิวหนวดขาว (*E. metallicus*) ได้จากนาฬิกกระเจดทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบระดับความเครียดในแหล่งน้ำทั้ง 2 ชนิดในปลาทั้ง 2 สปีชีส์ได้

อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบ FA ของปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากบ่อ 1 และ 2 ใกล้เคียงลานตากเบียร์และปลาสลิค (*T. pectoralis*) จากนาฬิกกระเจด พบว่าลักษณะ โครงสร้างส่วนใหญ่มีค่า FA ของปลาสลิค (*T. pectoralis*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากนาฬิกกระเจดสูงสุด ขณะที่ค่า FA ของปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) ที่สุ่มตัวอย่างจากบ่อ 1 และ 2 ใกล้เคียงลานตากเบียร์ส่วนใหญ่มีค่าต่ำในลักษณะส่วนใหญ่ สันนิษฐานว่าปลาในบ่อ 1 และบ่อ 2 ใกล้เคียงลานตากเบียร์เพิ่งได้รับความเครียดอย่างรุนแรงในระยะเวลาใกล้เคียงกับเวลาที่ทำการสุ่ม

ตัวอย่าง มีปลาจำนวนมากตายไปเนื่องจากการคัดเลือกตามธรรมชาติ เหลือแต่ปลาที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการมีชีวิตอยู่รอดมากที่สุด ทำให้ได้ FA ที่มีค่าต่ำ ขณะที่ความเครียดในนาฬิกกระเจดอาจเกิดขึ้นมาเป็นเวลานานแล้วจนทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบนิเวศและมีการสูญหายของบางสปีชีส์ออกไปจากระบบนิเวศ โดยมีสปีชีส์ใหม่คือปลาสลิค (*T. pectoralis*) เข้ามาอยู่แทน

หลักฐานที่สนับสนุนสมมติฐานนี้ คือ ในการสุ่มตัวอย่างปลาสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ในทุกแหล่งน้ำซึ่งพบปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) หรือปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) จะพบปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) และกึ่งฝอย (*M. lanchesteri*) อยู่ในแหล่งน้ำนั้นด้วยเสมอ แต่ในนาฬิกกระเจดไม่พบปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) กึ่งฝอย (*M. lanchesteri*) และปลาชีวหนวดขาว (*E. metallicus*) เลยแม้แต่ตัวเดียว ฮอว์โมนพืชและปุ๋ยที่ใส่ในนาฬิกกระเจดอาจทำให้สภาพแวดล้อมในนาฬิกกระเจดมีการเปลี่ยนแปลงจนไม่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) และสัตว์อื่นๆ แต่เหมาะกับการดำรงชีวิตของปลาสลิค (*T. pectoralis*) ทำให้ปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) หายไปจากนาฬิกกระเจดและปลาสลิค (*T. pectoralis*) เข้ามาอาศัยอยู่แทนและเพิ่มจำนวนประชากรอยู่ในระบบนิเวศนาฬิกกระเจด

ดังนั้นในระบบนิเวศของนาฬิกกระเจดจึงผ่านขั้นตอนการคัดเลือกตามธรรมชาติอย่างรุนแรงไปแล้ว แต่กำลังอยู่ในกระบวนการที่สิ่งมีชีวิตที่เหลืออยู่และสปีชีส์ใหม่ทำการปรับตัว (Adaptation) ให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ในระบบนิเวศ การปรับตัวทำให้เกิดความเครียดขึ้นในประชากร และมีผลทำให้ FA มีค่าสูง ซึ่งหลักฐานที่สนับสนุนสมมติฐานนี้คือ Clarke และ McKenzie (1987) รายงานว่าเมื่อแมลงวันตอมแกะของออสเตรเลีย (*Australian Sheep Blowfly-Lucilia cuprina*) ที่มีความต้านทานต่อยาฆ่าแมลง Diazonin เกิดขึ้นมาครั้งแรก FA ของขนที่หน้าอก (Sternopleural Bristle) ของแมลงที่มีความต้านทานต่อยาฆ่าแมลงมีค่าสูง เมื่อเวลาผ่านไป 20 ปี

หลังจากมีกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติและมีการปรับตัวเกิดขึ้นแล้ว ค่า FA ของแมลงที่มีความต้านทานต่อยาฆ่าแมลงมีค่าลดลงและมีระดับไม่แตกต่างจากแมลงที่ไม่มียีนต้านทานยาฆ่าแมลง

สำหรับการที่ปลาที่อาศัยอยู่ในคูน้ำหลังบ้านพักคนงานมีค่า FA ต่ำ สันนิษฐานว่าปลาอาจได้รับความเครียดในระดับต่ำกว่าปลาในบ่อ 1 และ 2 ใกล้ลานตากกากเปียร์และนาฬิกากระเจด เนื่องจากคูน้ำหลังบ้านพักคนงานมีความยาวถึงประมาณ 300 เมตร สารอินทรีย์ที่ปล่อยลงมาอาจถูกเจือจางโดยปริมาณน้ำในคู ทำให้ไม่สามารถก่อให้เกิดความเครียดขึ้นแก่ปลาได้หรืออาจทำให้เกิดความเครียดได้ในระดับต่ำเท่านั้น

นอกจากนี้ปลาในคูน้ำนี้ยังมีโอกาสได้รับความเครียดเนื่องจากการปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ เนื่องจาก Leary *et al.* (1992) Graham (1992) และ Parsons (1992) รายงานว่าเสถียรภาพของการพัฒนาการสามารถถูกทำลายลงได้เมื่อปลาถูกปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อมใหม่ เพราะปลานอกจากจะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมทางกายภาพของระบบนิเวศใหม่แล้ว ยังคงต้องปรับตัวให้เข้ากับปัจจัยทางชีวภาพอีกด้วย เช่น การหลีกหนีผู้ล่า การแข่งขัน (Vermeij, 1987) สาเหตุดังกล่าวอาจทำให้เกิดความเครียดขึ้นแก่ปลาได้ แต่การที่ปลาจากคูน้ำหลังบ้านพักคนงานมีค่า FA ต่ำ สันนิษฐานว่าคูน้ำหลังบ้านพักคนงานเป็นคูที่ขุดขึ้นใหม่เชื่อมต่ออยู่กับคูน้ำเดิม ดังนั้นน้ำและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำจึงเคลื่อนย้ายตามน้ำมาอยู่ในคูน้ำที่ขุดใหม่บริเวณใกล้เคียงกัน สภาพแวดล้อมทางกายภาพและชีววิทยาจึงยังคงมีลักษณะคล้ายคลึงกับคูน้ำเดิม เป็นผลให้ปลาในคูน้ำหลังบ้านพักคนงานไม่ต้องเผชิญหน้ากับความเครียดอย่างรุนแรงเหมือนดังเช่นการเคลื่อนย้ายเข้าไปอยู่ในสิ่งแวดล้อมใหม่ซึ่งมีทั้งปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพแตกต่างไปจากสิ่งแวดล้อมเดิมอย่างสิ้นเชิง

ในทำนองเดียวกันค่า FA ของลักษณะโครงสร้างส่วนใหญ่ของปลาที่สุ่มตัวอย่างได้จากนาข้าวมีระดับต่ำ ใกล้เคียงกับค่า FA ของปลาที่สุ่มตัวอย่างจากแหล่งควบคุม สันนิษฐานว่าสภาพ

แวดล้อมในนาข้าวก่อให้เกิดความเครียดแก่ปลาในระดับต่ำ ปุ๋ยที่ใส่ลงไปอาจมีผลทำให้
 แพลงค์ตอนพืชเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีระดับต่ำ แต่ปลาในนาข้าวอาจไม่ได้รับ
 ความเครียดเนื่องจากผลดังกล่าวอย่างรุนแรงนัก เนื่องจากน้ำในนาข้าวเป็นน้ำตื้น ออกซิเจน
 จากบรรยากาศสามารถละลายน้ำได้ในระดับลึกพอเพียงและมีปริมาณเพียงพอแก่ความต้องการของ
 ปลา นอกจากนี้ระยะเวลาที่ใส่ปุ๋ยลงไปในนาข้าวมีระยะห่างกว่าการใส่ปุ๋ยในนาฝักระยะมาก
 กล่าวคือปุ๋ยถูกใส่ให้เดือนละครั้ง ฝนที่ตกลงมาในระหว่างนั้นอาจทำให้ปุ๋ยหรือแพลงค์ตอนพืชที่
 เจริญเติบโตมีปริมาณเจือจางลงจนไม่สามารถทำให้ก่อความเครียดขึ้นแก่ปลาในระดับรุนแรงได้ ใน
 ทางตรงกันข้าม น้ำในนาข้าวเป็นน้ำที่ถูกปล่อยมาจากแหล่งน้ำอื่นเข้ามาพักไว้ในนาข้าว ปลาซึ่งเดิน
 ทางมาพร้อมกับน้ำและถูกกักไว้ในนาข้าว อาจมีพัฒนาการของบางลักษณะ โครงสร้างเกิดขึ้น
 สมบูรณ์แล้วตั้งแต่ช่วงต้นชีวิตก่อนจะเดินทางเข้ามาอยู่ในนาข้าว ดังนั้นความเครียดในนาข้าวจึงไม่
 สามารถแสดงให้เห็นได้จากค่า FA ของลักษณะ โครงสร้างดังกล่าว

Lewis (1970) รายงานว่าชั้นออกซิเจนที่ผิวน้ำมีปริมาณบางมาก ดังนั้นจึงไม่เพียงพอ
 สำหรับปลาขนาดใหญ่ แต่ปลาขนาดเล็กไม่มีปัญหาเพราะปรับตัวให้มีขนาดเล็กและมีอวัยวะที่เก็บ
 ออกซิเจนหรือหายใจที่ผิวน้ำได้ ดังนั้นจึงดูเหมือนว่าการที่ออกซิเจนในน้ำมีปริมาณต่ำไม่ใช่ผลที่ทำให้
 เกิดความเครียดขึ้นแก่ปลาทั้ง 3 สปีชีส์ เพราะปลาทั้ง 3 สปีชีส์สามารถอาศัยอยู่ในร่องน้ำตื้น
 ขนาดเล็ก ที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำได้ โดยปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) และปลากระดี่หม้อ
 (*T. tricopterus*) มีอวัยวะพิเศษที่สามารถหายใจทางปาก โดยการสูบอากาศเหนือผิวน้ำได้โดยตรง
 โดยไม่ต้องกรองผ่านช่องเหงือก (สุรศักดิ์ วงศ์กิตติเวชกุล, 2540) ขณะที่ปลาชีวหนวดขาว
 (*E. metallicus*) หากินผิวน้ำ สามารถหายใจที่ผิวน้ำได้ ดังนั้นความเครียดที่เกิดขึ้นแก่ปลาทั้งสาม
 สปีชีส์ที่สูมตัวอย่างได้จากแหล่งน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำเช่นบ่อ 1 และ 2 ใกล้เคียงตากากเบียร์
 และนาฝักระยะสั้นนิยฐานว่าอาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่นมากกว่าปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำ

ตัวอย่างเช่น สภาพความเป็นกรดของน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ การขาดแคลนอาหารเนื่องจากลูกโซ่อาหารถูกทำลาย

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าปลาชิวหนวดขาว (*E. metallicus*) มีความอ่อนไหว (Sensitive) ต่อความเครียดในสิ่งแวดล้อมมากกว่าปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) และปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) [รวมทั้งปลาสลิค (*T. pectoralis*)] การอ่อนไหวต่อความเครียดของสิ่งแวดล้อมของปลาชิวหนวดขาว (*E. metallicus*) อาจเกิดจากพฤติกรรมของปลาชิวหนวดขาว (*E. metallicus*) ซึ่งชอบรวมกันอยู่เป็นฝูง หากินระดับผิวน้ำและว่ายน้ำอ่อนไหว ขณะที่ปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) และปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*) ชอบลอยตัวอยู่นิ่งๆ ใกล้พื้นน้ำหรือใกล้ระดับผิวน้ำ (สุรศักดิ์ วงศ์กิตติเวชกุล, 2540) การที่ปลาชิวหนวดขาว (*E. metallicus*) เคลื่อนที่ไปทั่วแหล่งน้ำจึงมีโอกาสได้พบกับสารพิษหรือสภาพที่ก่อความเครียดในแหล่งน้ำได้มากกว่าปลาที่ว่ายน้ำอยู่กับที่ ดังเช่น ปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) และปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*)

ในอีกกรณีหนึ่งคือการที่ปลาชิวหนวดขาว (*E. metallicus*) เคลื่อนที่อ่อนไหวแสดงว่าปลาชิวหนวดขาว (*E. metallicus*) มีอัตราของเมตาบอลิซึม (Metabolic Rate) สูง ทำให้ต้องใช้พลังงานในการดำรงชีวิตสูง ดังนั้นหากอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความเครียด พลังงานจะถูกดึงมาใช้มากกว่าที่จำเป็นเพื่อรักษาสมดุล (Homeostasis) ของร่างกายและเมื่อพลังงานไม่เพียงพอจึงมีโอกาสที่จะมีพัฒนาการที่ผิดปกติเกิดขึ้น (Mitton, 1994; Somarakis *et al.*, 1997; Alekseeva *et al.*, 1992; Ozernyuk *et al.*, 1992; Emlen *et al.*, 1993) หรือมีค่า FA สูงกว่าปลาที่มีอัตราการใช้พลังงานน้อยกว่า คือ ปลากริมข้างลาย (*T. vittatus*) และปลากระดี่หม้อ (*T. tricopterus*)

สรุปผลในการวิจัยครั้งนี้คือ FA สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ (Indicator) ความเครียดจากสิ่งแวดล้อมได้หากสามารถเลือกสิ่งมีชีวิตและลักษณะโครงสร้างที่เหมาะสม ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้เสนอว่าปลาชิวหนวดขาว (*E. metallicus*) เป็นสปีชีส์ที่อ่อนไหวต่อความเครียดในแหล่งน้ำ

เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความเครียดในแหล่งน้ำตื้น ขนาดเล็ก และการพบความไม่สมมาตรของ Brachioistegal Rays เฉพาะในปลาชิวหนวดขาว (*E. metallicus*) ที่สุ่มตัวอย่างได้จากบ่อ 1 และบ่อ 2 ใกล้ลานตากกากเบียร์เท่านั้น เสนอว่า Brachioistegal Rays อาจเป็นลักษณะโครงสร้างหนึ่งที่ควรเลือกใช้ในการศึกษา FA ของปลา

อย่างไรก็ตาม FA ยังมีข้อจำกัด คือยังไม่มีวิธีที่ตรวจสอบได้แน่นอนว่าความเครียดควรเพิ่มขึ้นถึงระดับใดจึงจะถือได้ว่าทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศอย่างมีนัยสำคัญ หรือพูดอีกอย่างหนึ่งคือ FA สามารถตรวจสอบได้ว่าประชากรอยู่ภายใต้ความเครียดที่มีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป แต่ไม่สามารถแสดงระดับการตอบสนองที่เป็นสัดส่วนกับระดับความเครียดได้ นอกจากนี้ FA สามารถใช้ตรวจสอบได้เมื่อความเครียดมีระดับต่ำเท่านั้น หากความเครียดเกิดขึ้นอย่างรุนแรงจนถึงขั้นมีการสูญเสียชีวิตเกิดขึ้น FA ไม่สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความเครียดนั้นได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาคู่ไปคือการศึกษากำหนดการพัฒนาการของลักษณะโครงสร้างต่างๆในปลาว่ามีความไวต่อความเครียดชนิดใดและความเครียดมีผลต่อขั้นตอนใดของการพัฒนาการของลักษณะโครงสร้างนั้น ตัวอย่างเช่น ในการวิจัยนี้พบว่าการพัฒนาการของ Brachioistegal Rays ไวต่อความเครียดเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำมีระดับสูง ซึ่งหากทราบกลไกของสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการพัฒนาการของ Brachioistegal Rays จะทำให้สามารถใช้ FA ของ Brachioistegal Rays เป็นตัวบ่งชี้ความเครียดเนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำสูงได้อย่างแม่นยำ

นอกจากนี้การที่ FA ไม่สามารถบ่งชี้ความเครียดในระบบนิเวศที่มีระดับสูงถึงระดับที่มีการตายของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศได้ หากการทดสอบด้วย FA ยังไม่สามารถสรุปผลได้ ควรทำการทดสอบโดยวิธีอื่นอีก เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ดังกล่าว ตัวอย่างเช่น การหาความหลากหลายของสปีชีส์และโครงสร้างของสปีชีส์ในระบบนิเวศ เป็นต้น



ต้นฉบับไม่มีหน้านี้

NO THIS PAGE IN ORIGINAL

สำนักหอสมุด