

ผลมินิอิตีเกมของปลาโดยกระตุ้นเร้าด้วยแสงสี

ภาณุพัฒน์ ชัยวร¹ ศรัณย์ แก้วจา² พรรษา นันทาเวียง³ และ ัญญวลัย แก้วนิคม⁴

^{1,3,4}หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการสอนวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, ²โรงเรียนบ้านแม่ตู่

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงใหม่ เขต 5

¹E-mail: Panupat_Cha@g.cmru.ac.th, ²E-mail: Pipersbz@gmail.com,

³E-mail: Pansa2556@hotmail.com, ⁴E-mail: TanwalaiNM199@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทฤษฎีมินิอิตีเกมของปลาโดยกระตุ้นเร้าด้วยแสงสีต่างกันและศึกษาผลการทดลองที่สนับสนุนทฤษฎีมินิอิตีเกมโดยให้ปลาหางนกยูงจำนวน 101 ตัว เป็นผู้เล่นเกมมินิอิตีเกม ในการทดลองครั้งนี้แบ่งเป็น 5 คู่ สี ได้แก่ แสงสีขาวยับแสงสีขาวย, แสงสีขาวยับแสงสีเขียว, แสงสีขาวยับแสงสีแดง, แสงสีขาวยับแสงสีเหลือง และแสงสีขาวยับแสงสีน้ำเงิน ซึ่งแต่ละขั้นตอนทำการทดลองทั้งหมด 200 ครั้ง ผลการทดลองปรากฏว่าค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลา $X(A)$ เมื่อใช้แสงสีขาวยับแสงสีขาวย แสงสีขาวยับแสงสีแดง แสงสีขาวยับแสงสีเหลืองและแสงสีขาวยับแสงสีน้ำเงินเป็นตัวกระตุ้นเร้าค่า $X(A)$ ของแต่ละการทดลองจะมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงการทดลองครั้งที่ 1-25 ซึ่งเมื่อใช้แสงสีขาวยับแสงสีแดงเป็นตัวกระตุ้นเร้าค่า $X(A)$ มีค่าสูงสุดและเมื่อใช้แสงสีขาวยับแสงสีขาวยเป็นตัวกระตุ้นเร้า $X(A)$ มีค่าต่ำสุดและช่วงหลัง $X(A)$ ของแต่ละการทดลองจะลดลงเรื่อย ๆ แล้วมาคงที่อยู่ในระดับ ๆ หนึ่ง สำหรับค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลา $X(A)$ เมื่อใช้แสงสีขาวยับสีเขียวเป็นตัวกระตุ้นเร้า นั้น $X(A)$ จะมีค่าสูงสองช่วง คือช่วงการทดลองครั้งที่ 1-25 และช่วงการทดลองครั้งที่ 100-200 หลังจากทีค่า $X(A)$ ในแต่ละช่วงถึงจุดสูงสุดแล้วจะลดลงมาคงที่อยู่ในระดับ ๆ หนึ่ง

คำสำคัญ: ทฤษฎีมินิอิตีเกม, กระตุ้นเร้า, พฤติกรรมการตัดสินใจของปลา

Effects of the minority game for fish play by stimulating light

Panupat Chaiworn¹ Saran Kaewja² Pansa Nantawaing³ and Tanwalai Kaeonikhom⁴

^{1,3,4}Master of Science (Science Teaching) Chiang Mai Rajabhat University, ²Ban Maetoob School

Chiang Mai Primary Educational Service Area Office 5

¹E-mail: Panupat_Cha@g.cmru.ac.th, ²E-mail: Pipersbz@gmail.com,

³E-mail: Pansa2556@hotmail.com, ⁴E-mail: TanwalaiNM199@gmail.com

ABSTRACT

This research aims to investigate the theory of the minority game of fish, which is stimulated by different colored lights, and to study the experimental results supporting the minority game theory by having 101 guppy fish as players. In this experiment, we set into 5 pairs of colors: white-white light, white-green light, white-red light, white-yellow light, and white-blue light. Each step of the experiment was conducted 200 times. The experimental results showed that the variance in the number of fish $X(A)$ when using different colors such as white-white light, white-red light, white-yellow light, and white-blue light as stimulation for the minority game. The value of $X(A)$ for each experiment had the maximum value at the 25 range, with white light with red light being the highest value. Conversely, using white-white light resulted in the lowest $X(A)$. After the initial peak, $X(A)$ gradually decreased and stabilized at a certain level. Regarding for the variance in the number of fish $X(A)$ when using white-green light as a stimulus for the minority game, $X(A)$ exhibited two high-value ranges: from 1-25 range and 100-200 range. After reaching the peak in each range, $X(A)$ gradually decreased and stabilized at a certain level.

Keywords: the theory of the Minority Game, stimulation, variance

บทนำ

มินอริตีเกม (minority game) เป็นเกมที่มีวิวัฒนาการมาเพื่อศึกษาพฤติกรรมการตัดสินใจของกลุ่มของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่มีผู้เล่นแสดงพฤติกรรมที่ต้องการผลประโยชน์หรือความสะดวกสบาย โดยการคาดคะเนผลประโยชน์ทั้งหมดที่จะเป็นไปได้โดยไม่รู้มาก่อน ในเกมจะมีผู้เล่นจำนวน N คน ซึ่งผู้เล่น N ต้องเลือกด้านหนึ่งของสองด้านโดยอิสระโดยที่ผู้เล่นอยู่ในด้านที่น้อยที่สุดจะชนะเพื่อนำเสนอสร้างกลยุทธ์ที่เป็นทางเลือกจากเซตที่จำกัดเพื่อตัดสินใจของผู้เล่น ในการตัดสินใจเลือกตัวเลือก 1 ใน 2 เช่น A หรือ B ไปหรือไม่ไป ซ้ายหรือขวา ขึ้นหรือลง เป็นต้น ซึ่งมีเงื่อนไขอยู่ว่าตัวเลือกที่มีผู้เล่นน้อยกว่าจะเป็นฝ่ายชนะ (Challet & Zhang, 1997) ในการวิเคราะห์ทางทฤษฎีตัวแทนหรือผู้เล่นจะต้องมีจำนวนคงที่ทุกครั้งและมีประวัติการชนะอยู่ในระดับคงที่ ภายใต้สมมติฐานเหล่านี้มีคุณสมบัติที่น่าสนใจมากมายจากการใช้มินอริตีเกมได้ถูกค้นพบขึ้นและยังได้รับการกล่าวถึงและนำไปใช้กับตลาดการเงินทั่วโลก และสิ่งที่ทำให้ทั่วโลกให้ความสนใจตลาดการเงินคือกำไร จากสถิติการได้กำไรจากตลาดการเงินจากทั่วโลกมีความเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์เชิงลบกับขอบเขตของสถิติการได้กำไรจากทั่วโลก (Sherrington, 2006) และเมื่อมีจำนวนข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ค่าความแปรปรวนจะอยู่ในระดับคงที่ที่ใกล้เคียง 0.25 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีข้อมูลจำนวนมาก (Damien & Marsili, 2000) การคาดคะเนการตัดสินใจจะมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ยังมีการวิจัยที่ศึกษาเรื่อง Fish play minority game as humans do กล่าวถึงการทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการตัดสินใจเลือกทางเลือก 1 ใน 2 ทางเลือกของผู้เล่น สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ผู้เล่นหรือตัวแทนเป็นปลาและคนซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถคาดคะเนการตัดสินใจได้โดยการให้คนเลือกทางเลือก 1 ใน 2 ทางเลือกก่อนและหลังการเข้าทำงานในแต่ละวัน และสำหรับการทดลองกับปลานั้นให้ว่ายไปในช่องทางเลือก 1 ใน 2 ช่องที่มีขนาดสมมาตรกันแล้วนำจำนวนผู้เล่นหรือตัวแทนฝ่ายที่ชนะไปคำนวณค่าความแปรปรวน ต่อผู้เล่นตามทฤษฎีมินอริตีเกม (Liu et al., 2012) จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะนำผู้เล่นหรือตัวแทนที่เป็นปลาเล่นเกมมินอริตีเกม และใช้แสงของไฟสีต่าง ๆ มาเป็นตัวกระตุ้นเร้าในการเล่นเกมนี้อย่างปลา สำหรับงานวิจัยผลมินอริตีเกมของปลาโดยกระตุ้นเร้าด้วยแสงสี (ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก, 2551) นี้ต้องการทราบพฤติกรรมการตัดสินใจของปลาซึ่งเป็นผู้เล่นมินอริตีเกม โดยมีทางเลือกที่มีแสงของไฟสีต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อต้องการทราบว่ากระตุ้นเร้าด้วยแสงสีต่างๆ ทั้งหมด 5 คู่ ได้แก่ แสงสีขาวกับแสงสีขาว, แสงสีขาวกับแสงสีเขียว, แสงสีขาวกับแสงสีแดง, แสงสีขาวกับแสงสีเหลือง และแสงสีขาวกับแสงสีน้ำเงิน มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจและความจำของปลาในมินอริตีเกมอย่างไร

ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยสนใจศึกษาผลมินอริตีเกมของปลาโดยกระตุ้นเร้าด้วยแสงสี เพื่อศึกษาทฤษฎีมินอริตีเกมของปลาโดยกระตุ้นเร้าด้วยแสงสีต่างกันและศึกษาผลการทดลองที่สนับสนุนทฤษฎีมินอริตีเกมโดยใช้ปลาหางนกยูงจำนวน 101 ตัว เป็นผู้เล่นเกมมินอริตีเกม โดยต้องการมองเกมที่มีจำนวนปลาหางนกยูงมาวิเคราะห์ในเชิงสถิติความแปรปรวนต่อจำนวนผู้เล่นนำไปสู่การพิจารณาว่ามีความสอดคล้องกับทฤษฎีมินอริตีเกม ทำแนวเกิดแนวทางในการศึกษาใช้เป็นหลักการในการทำนายพฤติกรรมตัดสินใจของผู้เล่นเกม สามารถเป็นทางเลือกในการตัดสินใจที่แม่นยำต่อไป จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจทางด้านต่างๆ ได้แก่ ทางด้านเศรษฐกิจ และการตลาด เป็นต้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการตัดสินใจของปลาโดยกระตุ้นด้วยแสงสีต่างกัน
2. เพื่อศึกษาผลการทดลองที่สนับสนุนทฤษฎีมินอริตีเกม

สมมติฐานการวิจัย

การกระตุ้นเร้าด้วยแสงสีมีผลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจของปลาหางนกยูงเป็นไปตามทฤษฎีมินิอริติเกม

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดลองผู้วิจัยได้ออกแบบและเตรียมการทดลองแบ่ง 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบการทดลอง ขั้นตอนที่ 2 การทดลอง และขั้นตอนที่ 3 เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยการหาค่าความแปรปรวน $X(A)$ ในเชิงสถิติ มาวิเคราะห์ ดังนี้

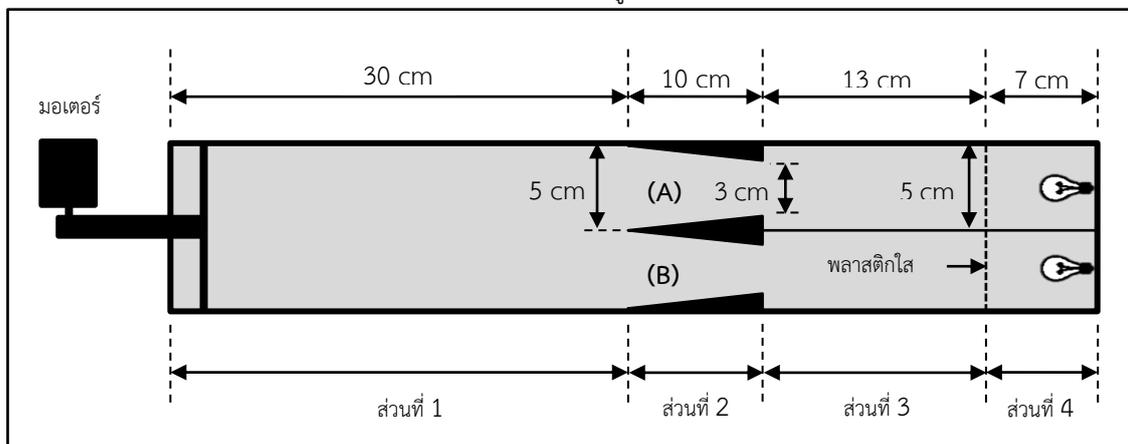
ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบการทดลอง

1.1 เตรียมอ่างเลี้ยงปลาหางนกยูงให้มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับธรรมชาติและเตรียมปลาหางนกยูงประมาณ 150 ตัว นำไปเลี้ยงในอ่างเลี้ยงปลาที่เตรียมไว้ดังรูปที่ 1

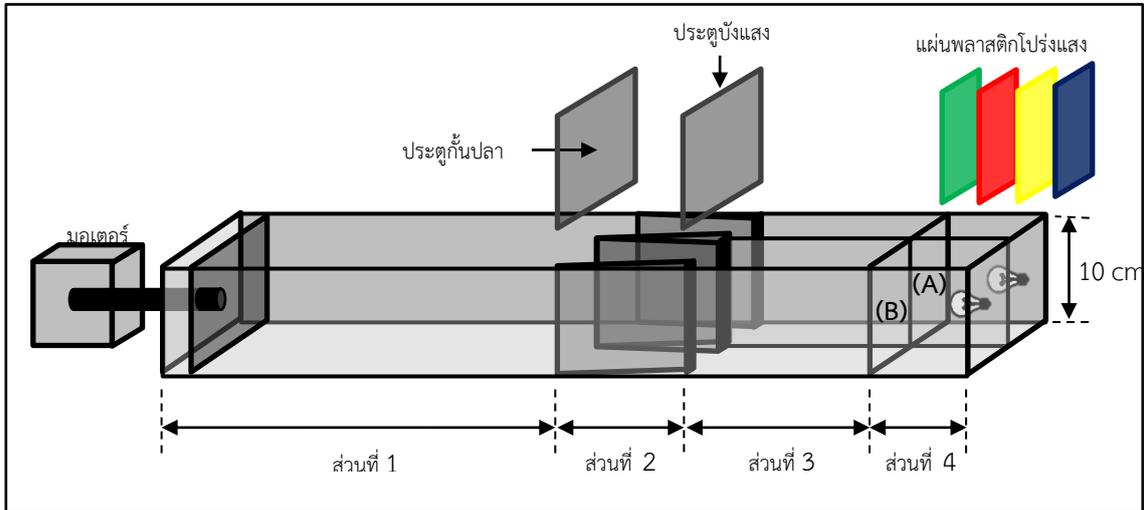


รูปที่ 1 แสดงอ่างเลี้ยงปลาหางนกยูง

1.2 เตรียมกระบะสำหรับทดลอง แบ่งกระบะเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 2 และ 3

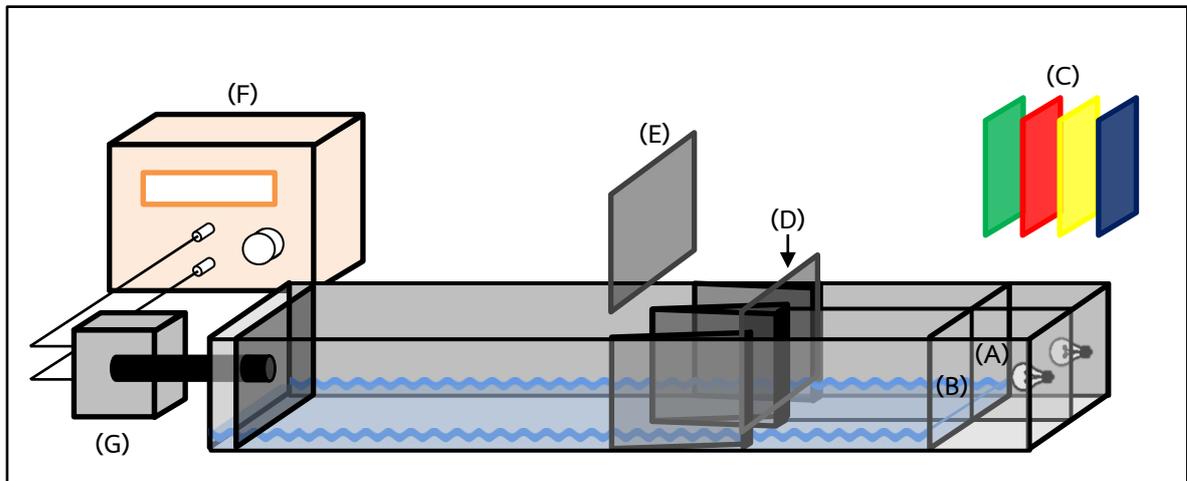


รูปที่ 2 แสดงกระบะจากด้านบน (A) ช่องทางเลือก A และ (B) ช่องทางเลือก B



รูปที่ 3 แสดงกระบวนจากด้านข้าง (A) ช่องทางเลือก A และ (B) ช่องทางเลือก B

ขั้นตอนที่ 2 การทดลอง



รูปที่ 4 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลอง (A) ช่องทางเลือก A, (B) ช่องทางเลือก B, (C) แผ่นพลาสติกโปร่งแสง, (D) ประตูป้องแสง, (E) ประตูกั้นปลา, (F) เครื่อง DC Power Supply และ (G) มอเตอร์

สำหรับขั้นตอนที่ 2 นี้จะเป็นขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองตามรูปที่ 4 หลังจากการนั้นจะเริ่มทำการทดลองปล่อยปลาทางนกยูงลงในอ่างและกระตุ้นเร้าทั้งหมด 5 คู่สี ได้แก่ แสงสีขาวกับแสงสีขาว, แสงสีขาวกับแสงสีเขียว, แสงสีขาวกับแสงสีแดง, แสงสีขาวกับแสงสีเหลือง และแสงสีขาวกับแสงสีน้ำเงินมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

2.1 ใส่น้ำลงในกระบอกให้มีความสูง 2 เซนติเมตร

2.2 ปิดประตูกั้นปลาแล้วเปิดไฟที่ใช้เป็นตัวกระตุ้นเร้า 2 หลอด ปรับประตูป้องแสงให้อยู่พอดีกับระดับน้ำในกระบอก

- 2.3 ปล่อยปลาจำนวน 101 ตัวลงในส่วนที่ 1 เพราะจะต้องเป็นจำนวนเลขคี่ถึงจะพบผู้ชนะในการทดลอง
- 2.4 เปิดประตูกั้นปลาแล้วค่อยๆ ไล่ปลาให้เข้าช่องทางเลือกทั้งหมด แล้วปิดประตูกั้นปลา บันทึกจำนวนปลาที่เข้าไปในช่อง A ไว้
- 2.5 ไล่ปลาออกมาจากช่องทางเลือก A และ B จนหมดแล้วปิดประตูกั้นปลา
- 2.6 ทำซ้ำตามข้อ 2.4 และ 2.5 200 ครั้งโดยการทดลองในที่มืด

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน $X(A)$ ในเชิงสถิติ

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลา $X(A)$ กับจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง เมื่อใช้แสงคู่สี ได้แก่ แสงสีขาวยกกับแสงสีขาว, แสงสีขาวยกกับแสงสีเขียว, แสงสีขาวยกกับแสงสีแดง, แสงสีขาวยกกับแสงสีเหลือง และแสงสีขาวยกกับแสงสีน้ำเงิน เป็นตัวกระตุ้นเรามีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

- 3.1 นำข้อมูลจำนวนปลาที่เข้าไปในช่องทางเลือก A มาคำนวณหาค่าความแปรปรวนดังสมการที่ (1)

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^L (n_i(A) - \langle n(A) \rangle)^2 \quad (1)$$

จากสมการที่ 1 เมื่อ σ_A^2 คือ ค่าความแปรปรวนของปลาที่ว่ายเข้าช่องทางเลือก A, $n_i(A)$ คือ จำนวนปลาที่ว่ายเข้าช่องทางเลือก A เมื่อทำการทดลอง $i-L$ ครั้ง, $\langle n(A) \rangle$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของจำนวนปลาที่ว่ายเข้าช่องทางเลือก A เมื่อทำการทดลอง $i-L$ ครั้ง, L คือ จำนวนครั้งของการทดลองที่ช่องทางเลือก A เป็นฝ่ายชนะ (A มีจำนวนปลาน้อยกว่า B), T คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลองและคำนวณค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลา $X(A)$ โดยใช้สมการที่ (2)

$$X(A) = \frac{\sigma_A^2}{N} \quad (2)$$

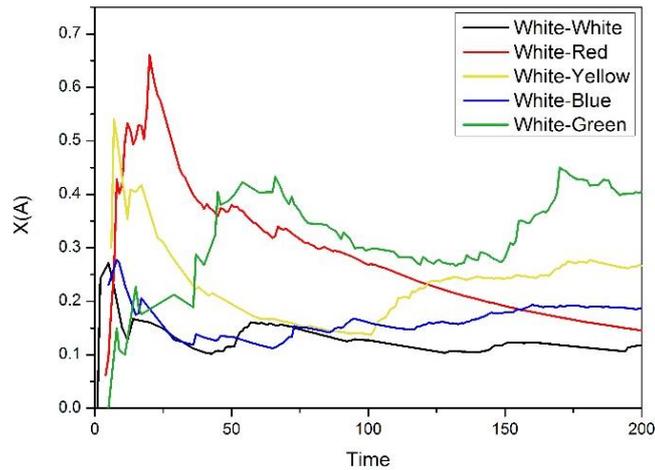
จากสมการที่ 2 เมื่อ $X(A)$ คือ ค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลา, σ_A^2 คือ ค่าความแปรปรวนของปลาที่ว่ายเข้าช่องทางเลือก A, N คือ จำนวนปลา

- 3.2 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนต่อจำนวนปลา $X(A)$ กับจำนวนครั้งที่ทำการทดลองของแต่ละตอน

- 3.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนต่อจำนวนปลา $X(A)$ กับจำนวนครั้งที่ทำการทดลองของแต่ละตอน แล้วสรุปผลการทดลอง

ผลการวิจัย

ผลของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลา $X(A)$ กับจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง เมื่อใช้คู่แสงในกรณีต่างๆ ได้แก่ แสงสีขาวกับแสงสีขาว, แสงสีขาวกับแสงสีเขียว, แสงสีขาวกับแสงสีแดง, แสงสีขาวกับแสงสีเหลือง และแสงสีขาวกับแสงสีน้ำเงิน เป็นตัวกระตุ้นเร้า



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลา $X(A)$ กับจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง เมื่อใช้แสงสีขาวกับแสงสีขาว แสงสีขาวกับแสงสีเขียว แสงสีขาวกับแสงสีแดง แสงสีขาวกับแสงสีเหลือง และแสงสีขาวกับแสงสีน้ำเงิน เป็นตัวกระตุ้นเร้า

พบว่าค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลา $X(A)$ เมื่อใช้แสงสีขาวกับแสงสีขาว แสงสีขาวกับแสงสีแดง แสงสีขาวกับแสงสีเหลืองและแสงสีขาวกับแสงสีน้ำเงิน เป็นตัวกระตุ้นเร้า ค่า $X(A)$ ของแต่ละการทดลองจะมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงการทดลองครั้งที่ 1 – 25 ซึ่งเมื่อใช้แสงสีขาวกับแสงสีแดงเป็นตัวกระตุ้นเร้า ค่า $X(A)$ มีค่าสูงสุดที่ 0.66072 และเมื่อใช้แสงสีขาวกับแสงสีขาวเป็นตัวกระตุ้นเร้า ค่า $X(A)$ มีค่าต่ำสุดที่ 0.25091 และในช่วงหลัง ค่า $X(A)$ ของแต่ละการทดลองจะลดลงเรื่อยๆ แล้วมาคงที่อยู่ในระดับๆหนึ่ง

สำหรับค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลา $X(A)$ เมื่อใช้แสงสีขาวกับสีเขียว, แสงสีขาวกับสีเหลือง และแสงสีขาวกับสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นเร้า นั้นค่า $X(A)$ จะมีค่าสูง 2 ช่วง คือช่วงการทดลองครั้งที่ 1 – 25 และช่วงการทดลองครั้งที่ 100 – 200 หลังจากที่ค่า $X(A)$ ในแต่ละช่วงถึงจุดสูงสุดแล้วจะลดลงมาคงที่อยู่ในระดับๆหนึ่ง

สรุปผลและอภิปรายผล

สรุปผล

ผลมินิอริตีเกมของปลาโดยกระตุ้นเร้าด้วยแสงสีขาว แสงสีเขียว แสงสีแดง แสงสีเหลืองและแสงสีน้ำเงินไม่มีผลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจของปลาแต่จะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งในการทดลอง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลา เมื่อทำการทดลองเพิ่มขึ้นหลายๆครั้ง ค่าความแปรปรวนต่อจำนวนปลาจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก จนถึงระดับ

คงที่ ในระดับๆหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าปลามีการตัดสินใจว่ายเข้าไปในช่องทางเลือกอย่างมีประสิทธิภาพ และแสดงให้เห็นว่าการวิจัยผลมินอริตีเกมของปลาโดยกระตุ้นเร้าด้วยแสงสีนี้สนับสนุนทฤษฎีมินอริตีเกม

อภิปรายผล

จากผลการทดลองในการกระตุ้นเร้าของปลาทางนัยด้วยคูสีต่างๆ ได้แก่ แสงสีขาวกับแสงสีขาว, แสงสีขาวกับแสงสีเขียว, แสงสีขาวกับแสงสีแดง, แสงสีขาวกับแสงสีเหลือง และแสงสีขาวกับแสงสีน้ำเงิน ปรากฏว่าในช่วงครั้งที่ 1-25 ค่าความแปรปรวน $X(A)$ คู่แสงสีขาวกับแสงสีแดงมีค่าสูงสุด และเมื่อใช้คู่แสงสีขาวกับแสงสีขาวเป็นตัวกระตุ้นเร้าค่ามีค่าต่ำสุด และในช่วงการทดลองครั้งที่ 100 - 200 หลังจากทีค่า ในแต่ละช่วงถึงจุดสูงสุดแล้วจะลดลงมาคงที่อยู่ในระดับๆหนึ่ง เมื่อเทียบกับ Liu et al. (2012) พบว่าความแปรปรวนต่อจำนวนผู้เล่นลดลงถึงระดับต่ำสุด แล้วเพิ่มขึ้นเป็นค่าคงที่ใกล้เคียงกับ 0.25

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้หรือข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. สามารถศึกษาผลมินอริตีเกมของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้
2. ในการทดลองควรเลือกใช้สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะแข็งแรง มีความอดทนและสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในการทดลองได้ดี
3. เพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพและมีความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อย ควรมีการศึกษาและติดตั้งอุปกรณ์ที่มีคุณภาพสูงสนับสนุนทฤษฎีมินอริตีเกม

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการศึกษาผลมินอริตีเกมของปลาโดยกระตุ้นเร้าด้วยแสงสี ควรวัดค่าความเข้มแสงและกำหนดความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลองให้ชัดเจนด้วย
2. สามารถนำทฤษฎีมินอริตีเกมไปศึกษาในด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อการลงทุนได้

เอกสารอ้างอิง

- ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. (2555). *ฟิสิกส์ 2 (พิมพ์ครั้งที่ 2)*. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- Challet, D. & Zhang, Y.C. (1997). Emergence of Cooperation and Organization in an Evolutionary Game. *Physical A Statistical Mechanics and its Applications*, 1997(246), 407–418. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4371\(97\)00419-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4371(97)00419-6).
- Damien, C., & Marsili, M. (2000). Relevance of memory in minority games. *Physical Review E*, 2000(62), 862–868. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevE.62.1862>.
- Liu, R.-T., Chung, F. F., & Liaw, S.-S. (2012). Fish play Minority Game as humans do. *Europhysics Letters*, 97(2), 20004. doi:10.1209/0295-5075/97/20004.
- Sherrington, D. (2006). The minority game: A statistical physics perspective. *Physical A Statistical Mechanics and its Applications*, 2006(370), 7-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2006.04.039>.