ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการประมง)

ปริญญา

การจัดการประมง | การจัดการประมง

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) และวิธีในการเพาะขยายพันธุ์แบบมหมวล

Studies on Factors Effecting Growth of Wolffia (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) and Methodology for Mass Production Culture

นามผู้วิจัย นางสาวกันย์สินี พันธ์วนิชดำรง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์สุขุม เร้าใจ, D.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์อิสริยา วุฒิสินธุ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภัสสรา รัตนพิศิฏฐ์, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) และวิธีในการเพาะขยายพันธุ์แบบมหมวล

Studies on Factors Effecting Growth of Wolffia (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) and Methodology for Mass Production Culture

โดย

นางสาวกันย์สินี พันธ์วนิชดำรง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการประมง)
พ.ศ. 2552

กันย์สินี พันธ์วนิชดำรง 2552: การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) และวิธีในการเพาะขยายพันธุ์แบบมหมวล ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการประมง) สาขาการจัดการประมง ภาควิชาการจัดการประมง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สุขุม เร้าใจ, D.Agr. 97 หน้า

ไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) เป็นผักชนิดหนึ่งที่มนุษย์นิยมนำมาบริโภคในประเทศพม่า ลาว และไทย โดยในประเทศไทยรู้จักกันมากทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพบว่าเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะโปรตีน กรดอมิโนที่จำเป็น และวิตามินต่างๆ แต่ผลผลิตไข่น้ำในปัจจุบันได้จากการเก็บเกี่ยวในแหล่งน้ำธรรมชาติ ผลผลิตไข่น้ำที่ได้จึงมีไม่เพียงพอและไม่ต่อเนื่อง นอกจากนี้ ยังมีข้อจำกัดด้านการยอมรับของผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องกับสุขอนามัยของไข่น้ำที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในแหล่งน้ำธรรมชาติ จากปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำและวิธีในการเพาะขยายพันธุ์แบบมหมวล เพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์และอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

จากการทดลองเลี้ยงไข่น้ำในห้องปฏิบัติการและอาคารเปิด พบว่าไข่น้ำมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดเมื่อเลี้ยงในน้ำประปาที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณสมบัติของน้ำเลี้ยงที่เหมาะสมคือ มีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 5-6 และมีค่าความกระด้างต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต สำหรับความเข้มแสงที่เหมาะสมในการเลี้ยง มีค่าอยู่ระหว่าง 5,000-10,000 ลักซ์ และต้นไข่น้ำมีอายุการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ 15 วันเมื่อทดลองเลี้ยงไข่น้ำเป็นระยะเวลา 30 วัน สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตไข่น้ำได้ประมาณ 2 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร และตรวจวัดปริมาณเบต้า-แคโรทีนในไข่น้ำที่มีอายุการเลี้ยง 24 วัน พบเฉลี่ยประมาณ 600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง การทดลองต่อมาศึกษาการเลี้ยงไข่น้ำแบบแบ่งชั้นเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ให้มากขึ้น โดยเลี้ยงในถังทดลองซึ่งเรียงตามความสูงสามชั้น แต่ละชั้นได้รับแสงต่างกันเป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่า ได้ผลผลิตทั้งหมดประมาณ 4.6 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร การทดลองสุดท้ายศึกษาการเพิ่มธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ พบว่า ไข่น้ำที่เลี้ยงโดยการเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และ EDTA 0.5 มิลลิโมล เป็นระยะเวลา 10 วัน มีปริมาณธาตุแคลเซียมในต้นไข่น้ำสูงสุดเฉลี่ยที่ 873 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าในต้นไข่น้ำก่อนการทดลองประมาณร้อยละ 40

_____ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Kansinee Panwanitdumrong 2009: Studies on Factors Effecting Growth of Wolffia (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) and Methodology for Mass Production Culture. Master of Science (Fishery Management), Major Field: Fishery Management, Department of Fishery Management.
Thesis Advisor: Associate Professor Sukhoom Rowchai, D.Agr. 97 pages.

Wolffia (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) is a kind of aquatic plant that human have been eating in Burma, Laos and Thailand. In Thailand, it is well-known in the North and the Northeast. It has high nutrition especially proteins, essential amino acids and minerals. Wolffia yield came from natural waters; therefore, its production were not sufficient and continuously. Beside, there is a limitation in consumer acceptance, in term of wolffia sanitary in nature. In order to eradicate the limitation, The study on factors effecting growth of wolffia and methodology for mass production culture was conducted for human food and aquaculture industries.

In the study, wolffia was cultured in both a laboratory and an opened building. The results showing the highest growth rate of wolffiia were found in tap water, added with the 16-16-16 , N-P-K fertilizer formula, at 100 milligrams per liter. Suitable water quality for wolffiia culture was pH 5-6 and water hardness must be lower than 100 milligrams per liter as Calciumcarbonate .Light intensity was 5,000-10,000 luxs. Average growing time of wolffia was 15 days. At the culture period of 30 days, the average production of cultured wolffia was about 2.2 kilograms wet weight per square meter and Beta carotene concentration in wolffia was found around 600 milligrams per Kilogram dry weight at 24 days culture. Next experiment was the partition culture to increase wolffia production per unit area. Wolffia was cultured in tanks which vertically placed in three layers .Light intensity in each layer was different. At the culture period of 28 days, the total productions of wolffia were about 4.6 kilograms wet weight. In the last experiment, adding calcium mineral to wolffia culture, cultured water enriched with calcium dihydrogen phosphate ($CaH_4O_8P_2H_2O$) 500 milligrams per liter and chapleted EDTA 0.5 millimoles for 10 days can increase average calcium concentration in wolffia tissue at the level of 873 milligrams per 100 grams dry weight. Calcium concentration was 40 percent higher than calcium concentration in natural wolffia.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สุขุม เร้าใจ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ช่วยในการวางแผนการวิจัย ให้คำปรึกษาแนะนำและชี้แนวทางการแก้ปัญหา ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณ ดร.อิสริยา วุฒิสินธุ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ ขอขอบคุณผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย รศ.ดร.นนทวิทย์ อารีย์ชน ประธานกรรมการสอบประมวลความรู้ ผศ.ดร.เรืองวิชญ์ ยุ้นพันธ์ ประธานกรรมการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และดร.อนุวัฒน์ นทีวัฒนา ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาการจัดการประมงทุกท่านเป็นอย่างสูง ที่ให้การอบรมสั่งสอน ให้ความรู้ และให้คำปรึกษาอันมีคุณค่ายิ่งแก่ผู้วิจัยจนสามารถนำความรู้มาใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ และเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไป

ขอขอบคุณพี่สุทิน สมบูรณ์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ณ ศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกทั้งอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ปริญญาโทภาควิชาการจัดการประมง และผู้มิได้กล่าวนามทุกท่านที่คอยให้ความห่วงใย ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ ที่สำคัญที่สุด คือให้ความเป็นเพื่อน เป็นพี่น้อง และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอตลอดระยะเวลาที่ศึกษา ด้วยความรู้สึกจากใจขอให้ทุกท่านสำเร็จการศึกษาอย่างสวยงามในเวลาอันรวดเร็ว

เหนือสิ่งอื่นใด ด้วยความดีหรือประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดามารดาและครอบครัวที่ได้ให้ความรัก ให้กำลังใจ พร้อมทั้งให้การสนับสนุนการศึกษาด้วยดีตลอดมา และขอน้อมรำลึกถึงบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จได้ ตราบเท่าทุกวันนี้

กันย์สินี พันธ์วนิชดำรง

กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	33
อุปกรณ์	33
วิธีการ	34
ผลและวิจารณ์	42
ผล	42
วิจารณ์	64
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	79
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	97

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของไข่น้ำ	10
2	บทบาทหน้าที่และอาการขาดธาตุอาหารของพืช	15
3	ข้อดี ข้อด้อยของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี	17
4	ประเภทของน้ำแบ่งตามความกระด้าง	19
5	ประโยชน์และผลของการขาดแคลเซียม	24
6	ปริมาณแคลเซียมที่ควรได้รับในแต่ละวัย	25
7	ผลการสำรวจคุณสมบัติน้ำและสภาพแวดล้อมเบื้องต้นของแหล่งเลี้ยงไข่น้ำในจังหวัดมหาสารคามและขอนแก่นระหว่างวันที่ 12-14 กุมภาพันธ์ 2549	28
8	ผลการสำรวจคุณสมบัติน้ำและสภาพแวดล้อมเบื้องต้นของแหล่งเลี้ยงไข่น้ำในจังหวัดมหาสารคามและขอนแก่นระหว่างวันที่ 18-20 กุมภาพันธ์ 2549	29
9	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 18 วัน	43
10	การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ กัน	44
11	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีสารอาหารชนิดต่างๆ กัน	45
12	การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีสารอาหารชนิดต่างๆ กัน	46
13	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ต่างๆ กัน	47
14	การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ต่างๆ กัน	48
15	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	49
16	การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้างต่างๆ กัน	52
18	การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้างต่างๆ กัน	53
19	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ กัน	54
20	การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ กัน	55
21	ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นของไข่น้ำทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน	57
22	ผลการวิเคราะห์ Beta-carotene จากตัวอย่างที่เลี้ยงในระยะยาว	58
23	ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยในแต่ละชั้นของการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น เป็นระยะเวลา 28 วัน	59
24	การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มผลผลิตไข่น้ำในแต่ละระดับชั้นของพื้นที่ที่ใช้ในการเลี้ยง	60
25	คุณสมบัติน้ำเลี้ยง ผลผลิต และปริมาณธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน เป็นระยะ เวลา 10 วัน	61
26	การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยที่เลี้ยงในน้ำเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน	63
27	การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุแคลเซียมเฉลี่ยในไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน	63
28	คุณสมบัติของสารละลายเกลือแคลเซียมต่างๆ ที่ความเข้มข้นประมาณ 10 mM	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำที่เก็บตัวอย่างจากจังหวัดกำแพงเพชร ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 18 วัน	80
2	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำที่เก็บตัวอย่างจากจังหวัดขอนแก่น ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 18 วัน	80
3	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำที่เก็บตัวอย่างจากจังหวัดมหาสารคาม ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 18 วัน	81
4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ กัน	81
5	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำบ่อเลี้ยงปลา	81
6	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำใบก้ามปู (5 มิลลิกรัมต่อลิตร)	82
7	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (100 มิลลิกรัมต่อลิตร)	82
8	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 46-0-0 (100 มิลลิกรัมต่อลิตร)	83
9	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในอาหารเลี้ยง *Spirulina* สูตร 1	83
10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีสารอาหารชนิดต่างๆ กัน	83
11	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (50 มิลลิกรัมต่อลิตร)	84
12	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (100 มิลลิกรัมต่อลิตร)	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
13	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (200 มิลลิกรัมต่อลิตร)	85
14	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (400 มิลลิกรัมต่อลิตร)	85
15	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (800 มิลลิกรัมต่อลิตร)	86
16	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร)	86
17	การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ต่างๆ กัน	86
18	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5	87
19	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6	87
20	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7	88
21	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8	88
22	การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	88
23	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะ เวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้าง 0 mg/l as $CaCO_3$	89
24	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะ เวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้าง 100 mg/l as $CaCO_3$	89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
25	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะ เวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้าง 200 mg/l as $CaCO_3$	90
26	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะ เวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้าง 400 mg/l as $CaCO_3$	90
27	การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้างต่างๆ กัน	90
28	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสง 10,500 ลักซ์	91
29	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสง 7,000 ลักซ์	91
30	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสง 5,100 ลักซ์	92
31	การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสง 1,500 ลักซ์	92
32	การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ กัน	92
33	ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยชั้นบนของการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น เป็นระยะเวลา 28 วัน	93
34	ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยชั้นกลางของการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น เป็นระยะเวลา 28 วัน	93
35	ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยชั้นล่างของการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น เป็นระยะเวลา 28 วัน	93
36	การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One Way ANOVA ของการเพิ่มผลผลิตไข่น้ำในแต่ละระดับชั้นของพื้นที่ที่ใช้ในการเลี้ยง	94
37	การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One Way ANOVA ของผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยที่เลี้ยงในน้ำเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphateและEDTA ต่างกัน	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
38	การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One Way ANOVA ของปริมาณธาตุแคลเซียมเฉลี่ยในไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน	94
39	ผลการวิเคราะห์สารอาหารในไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) จากตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งเลี้ยงธรรมชาติ จากการทดลองเลี้ยงกลางแจ้งในระยะเวลาการเลี้ยงต่างๆ และจากการทดลองเพื่อเพิ่มปริมาณเกลือแร่	95
40	อาหารสูตร 1 สำหรับเพาะเลี้ยง *Spilurina* 1 ตัน	96

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) กำลังขยาย 4X	4
2	การออกดอกของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.)	7
3	Diagram of the Electromagnetic Spectrum	22
4	แสดงภาพการทดลองที่ 1.1-1.5	36
5	แสดงภาพการทดลองที่ 1.6	37
6	แสดงภาพการทดลองที่ 2	38
7	แสดงภาพการทดลองที่ 3	39
8	แสดงภาพการทดลองที่ 4	41
9	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 18 วัน ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างจากที่ต่างๆ กัน	43
10	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีสารอาหารชนิดต่างๆ กัน	45
11	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการ เลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ต่างๆ กัน	47
12	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน	50
13	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้างต่างๆ กัน	52
14	การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ กัน	55
15	ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นของไข่น้ำทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน	57
16	ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยในแต่ละชั้นของพื้นที่เลี้ยงทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 28 วัน	59
17	ปริมาณธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน เป็นระยะ เวลา 10 วัน	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ลักษณะการแตกหน่อ (budding) ของไข่น้ำ	65
19	สาหร่ายสีเขียว *Ulothrix aequalis* ที่เกาะติดกับไข่น้ำ (กำลังขยาย 4X)	67
20	สาหร่ายสีเขียว *Ulothrix aequalis* ที่ปรากฏในน้ำเลี้ยงไข่น้ำที่มี pH ต่างๆ กัน	68

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) และวิธีในการเพาะขยายพันธุ์แบบมหมวล

Studies on Factors Effecting Growth of Wolffia (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) and Methodology for Mass Production Culture

คำนำ

ไข่น้ำหรือผำ (Wolffia) เป็นพืชดอกที่มีขนาดเล็กที่สุดในโลก มีรูปร่างกลมหรือเกือบกลม สีเขียว ไม่มีราก ลอยอยู่บนผิวน้ำ พบในทะเลสาบและหนองบึงในพื้นที่เขตร้อนและใกล้เขตร้อน ในประเทศไทยพบมากระหว่างฤดูหนาวต่อกับฤดูร้อน บริเวณแหล่งน้ำนิ่งโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ มีความสำคัญในระบบนิเวศน์โดยการเป็นอาหารขั้นต้นในห่วงโซ่อาหารสำหรับปลากินพืช เป็นอาหารของมนุษย์ และเป็นอาหารสัตว์ทั้งสัตว์บกและสัตว์น้ำนอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสียอีกด้วย

ไข่น้ำเป็นพืชที่มีโปรตีนสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในการเจริญเติบโต จากการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์จากน้ำหนักแห้งของไข่น้ำ (กองโภชนาการ, 2544) พบว่า ไข่น้ำมีปริมาณปรตีนร้อยละ 6.8-45 ไขมันร้อยละ 1.8-9.2 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 14.1-43.6 และไฟเบอร์ร้อยละ 5.7-16.2 และจากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอมิโนของไข่น้ำ พบว่า ไข่น้ำมีร้อยละของกรดอมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) ได้แก่ ลูซีน (leucine), ทรีโอนีน (threonine), วาลีน (valine), ไอโซลูซีน (isoleucine) และเฟนิลอะลานีน (phenylalanine) ในปริมาณสูง ไข่น้ำถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารพื้นบ้านของไทยเป็นเวลานาน แต่มีผู้บริโภคเพียงบางกลุ่มเท่านั้นที่ทราบถึงคุณประโยชน์ของไข่น้ำดังกล่าวข้างต้น โดยปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น จึงนิยมรับประทานอาหารเสริมที่มีมากมายหลายชนิดและมีราคาแพง เมื่อเปรียบเทียบกับการเลือกรับประทานผักผลไม้สด ไข่น้ำจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้แก่ผู้บริโภคนอกจากพืชผักชนิดอื่นๆ ซึ่งมีโปรตีนสูงในระดับเดียวกับเนื้อสัตว์และถั่ว ช่วยในการให้พลังงานและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย มีเบต้า-แคโรทีนสูง และประกอบไปด้วยกรดอมิโนที่มีคุณภาพสูง อีกทั้งยังมีราคาถูก แต่ไข่น้ำยังมีผลผลิตจำนวนจำกัดเนื่องจากจะพบเฉพาะบางฤดูกาลและในบางพื้นที่ขึ้นอยู่กับสภาพของแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งน้ำอาจแห้งขอดในฤดูร้อน ส่งผลให้ไข่น้ำไม่สามารถเจริญเติบโต ประกอบกับปัจจุบันมีความต้องการผลผลิตไข่น้ำมากขึ้น เนื่องจากนำมาประกอบอาหารได้

ง่ายและหลากหลาย รวมทั้งได้รับการสนับสนุนให้มีการบริโภคทั้งจากภาครัฐและเอกชน จึงควรมีการศึกษาวิธีการเพาะปลูกไข่น้ำ เพื่อให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ในทุกสถานที่และทุกฤดูกาล ซึ่งส่วนที่เหลือจากการบริโภคของมนุษย์ยังสามารถนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ได้อีกด้วย

จากการเก็บรวบรวมเอกสารเกี่ยวกับไข่น้ำ ทำให้ทราบว่ามีข้อมูลเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำน้อยมาก โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงเพื่อเป็นอาหารของมนุษย์ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเน้นศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของไข่น้ำ ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นในการเพาะขยายพันธุ์ไข่น้ำเพื่อเป็นอาหารของมนุษย์ การเพาะเลี้ยงไข่น้ำระยะยาวสำหรับใช้ในระบบฟาร์มและการขยายผลผลิตไข่น้ำโดยการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น รวมทั้งการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มธาตุแคลเซียม เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางสารอาหารที่สำคัญของมนุษย์และเป็นการเพิ่มมูลค่าของไข่น้ำ อีกทั้งยังสามารถผลิตเป็นอาหารเสริมสำหรับมนุษย์ในรูปแบบต่างๆ นอกจากนี้ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาปรับปรุงรูปแบบการเพาะเลี้ยงไข่น้ำหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไปได้

วัตถุประสงค์

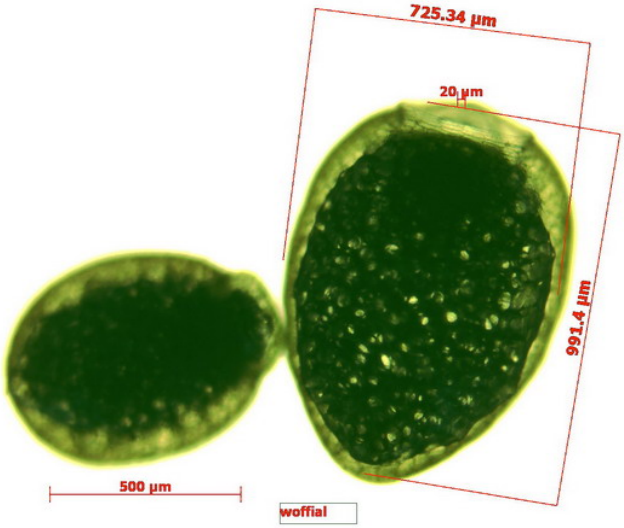
1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขยายพันธุ์ของไข่น้ำ
2. เพื่อศึกษาวิธีการเพาะเลี้ยงไข่น้ำระยะยาวในระบบฟาร์ม
3. เพื่อศึกษาแนวทางในการขยายผลผลิตไข่น้ำโดยการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น
4. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มแร่ธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ

การตรวจเอกสาร

ในการศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ และวิธีในการเพาะขยายพันธุ์แบบมหมวลนั้นจำเป็นต้องมีการตรวจเอกสารเพื่อหาทฤษฎี ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ประกอบในงานวิจัย โดยได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

1. ชีววิทยาบางประการของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) และการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

ไข่น้ำเป็นพืชชั้นสูง เป็นพืชล้มลุก ใบเลี้ยงเดี่ยว ไม่มีระบบท่อลำเลียง มีวิวัฒนาการโดยลดลักษณะและโครงสร้างต่างๆ ลงจากที่ซับซ้อนไปสู่โครงสร้างง่ายๆ เป็นพืชดอกที่มีขนาดเล็กที่สุด มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยใช้เมล็ดซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยรังไข่ และการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อ



ภาพที่ 1 ลักษณะของไข่น้ำ *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. กำลังขยาย 4X

1.1 การจำแนกชนิดของไข่น้ำ

ขนาดและรูปร่างของไข่น้ำเป็นสิ่งสำคัญในการจำแนกชนิดของไข่น้ำ ไข่น้ำพบมากทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีลำดับอนุกรมวิธานดังนี้

ชื่อไทย : ไข่น้ำ

ชื่อสามัญ : Wolffia, Water meal

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.

Kingdom Plantae

Division Tracheophyta

Class Angiospermae

Order Arales

Family Lemnaceae

Genus Wolffia

Species *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.

ปัจจุบันไข่น้ำที่พบในสกุล Wolffia มีทั้งหมด 16 ชนิด ดังนี้ *W. angusta*, *W. arrhiza*, *W. borealis*, *W. brasiliensis*, *W. columbiana*, *W. denticulate*, *W. gladiata*, *W. globosa*, *W. hyaline*, *W. lingulata*, *W. microsvopica*, *W. netropica*, *W. oblonga*, *W. reanda*, *W. rotunda* และ *W. welwitschii* แต่ที่ปรากฏในประเทศไทยมี 2 ชนิด ได้แก่ *W. arrhiza* (L.) Wimm. และ *W. globosa* (L.) Wimm. (ธวัชชัย และแมกซ์เวล, 2535) ซึ่งมีชื่อที่ใช้เรียกกันตามท้องถิ่นต่างๆ ของประเทศไทย ได้แก่ ผำ ไข่ผำ และไข่แหน นอกจากนี้ยังพบไข่น้ำในประเทศแถบยุโรป แอฟริกากลาง แอฟริกาใต้ ออสเตรเลีย บราซิล และอินโดนีเซีย (Landolt, 1980)

1.2 ชีววิทยาและนิเวศวิทยาของไข่น้ำ

ไข่น้ำพบมากในระหว่างฤดูหนาวต่อกับฤดูร้อน บริเวณแหล่งน้ำนิ่งโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทย โดยมีการซื้อขายตามท้องตลาดกิโลกรัมละ 20-30 บาท (จากการสำรวจของผู้วิจัยภายในจังหวัดกรุงเทพมหานคร, 2550) ไข่น้ำมีลักษณะทางชีววิทยาและนิเวศวิทยา ดังนี้

1. ทัลลัส (thallus) หรือ ฟรอนด์ (frond) ลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ รูปร่างกลมพองหรือรูปไข่ พองทั้งด้านบนและด้านล่าง หรือด้านบนอาจแบนราบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5-1.5 มิลลิเมตร (กองประมงน้ำจืด, 2538) สีเขียวตลอดทั้งทัลลัส ทัลลัสทำหน้าที่เป็นทั้งต้นและใบ ไม่มีราก ไม่มีใบที่แท้จริง (ดังแสดงในภาพที่ 1) มักอยู่กันเดี่ยวๆ หรือติดกันเป็นคู่

2. ไข่น้ำไม่มีเนื้อเยื่อท่อลำเลียง ส่วนใหญ่เป็นเนื้เยื่อพาเรนไคมา (parenchyma) ที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีชีวิต ในลำต้นที่มีสีเขียวจะมีคลอโรพลาสท์ซึ่งทำหน้าที่สังเคราะห์แสง และมีช่องอากาศแทรกอยู่ระหว่างเซลล์ จึงทำให้เห็นคล้ายฟองน้ำ

3. ดอก (flower) มีขนาดเล็กที่สุดในโลก ดอกออกเป็นช่อภายในถุงตรงขอบทัลลัส เป็นดอกเดี่ยว แยกเพศ ประกอบด้วยดอกเพศผู้ 1 ดอก ไม่มีกลีบเลี้ยงและกลีบดอก มีเพียงอับเกสร 2 ช่อง และดอกเพศเมีย 1 ดอก ไม่มีกลีบเลี้ยงและกลีบดอก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น (Landolt, 1986) (แสดงดังภาพที่ 2)

4. การสืบพันธุ์ (reproduction) ไข่น้ำสามารถสืบพันธุ์ได้ 2 แบบ ได้แก่ การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเนื่องจากไข่น้ำเป็นพืชมีดอก โดยการผสมเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียภายในดอก อาศัยแมลงหรือน้ำในการแพร่กระจายละอองเกสร ซึ่งในประเทศไทยดอกและเมล็ดจะพบประมาณเดือนตุลาคมถึงมกราคม และการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อ (budding) แบ่งทัลลัสใหม่ออกทางด้านข้าง ทัลลัสใหม่ (daughter frond) ที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กกว่าทัลลัสเดิม (mother frond) โดยระยะเวลาในการเจริญเติบโตจนมีขนาดเท่ากับทัลลัสเดิมและหลุดออกเป็นเดี่ยวๆ ใช้เวลาประมาณ 5-6 วัน (สุมาลี, 2506)

5. สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต ไข่น้ำชอบขึ้นในที่อากาศร้อนและแสงแดดมาก โดยทั่วไปมักพบในแหล่งน้ำประเภทน้ำนิ่ง เช่น บึง หนองน้ำ บ่อเก่าๆ หรือที่น้ำขัง มีใบไม้และมูลสัตว์สะสมอยู่ในบริเวณใกล้เคียง น้ำลึกตั้งแต่ 20 เซนติเมตร (อุไร, 2547)

6. การเจริญเติบโตของไข่น้ำขึ้นอยู่กับธาตุอาหารหรือปุ๋ยที่มีอยู่ในน้ำ ธาตุอาหารที่ไข่น้ำต้องการเช่นเดียวกับพืชทั่วไป เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม นอกจากนี้ยังต้องการพลังงานแสงเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ไข่น้ำเจริญเติบโตเร็วในช่วงฤดูหนาวต่อกับฤดูร้อน และลดการเจริญเติบโตลงในฤดูฝน เนื่องจากความเข้มข้นของธาตุอาหารในฤดูฝนเจือจางกว่า และความเข้มแสงน้อยกว่าด้วย (บุหลัน, 2519)

7. เมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ไข่น้ำจะมีการเปลี่ยนรูปร่างอยู่ในระยะพัก เรียกว่า turion ซึ่งสีของไข่น้ำเข้มขึ้น มีการลดทั้งขนาดและโครงสร้าง ประกอบด้วยแป้งจำนวนมากและจมอยู่บริเวณก้นบ่อ เนื่องจากความหนาแน่นของไข่น้ำมีการเปลี่ยนแปลง ไข่น้ำ

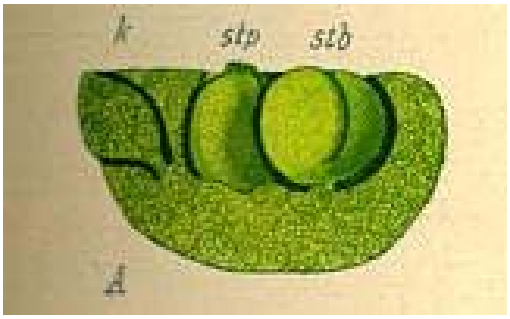
จึงมีชีวิตรอดในช่วงฤดูหนาว โดยมีการเจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 14 องศาเซลเซียส แต่ turion สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาหลายสัปดาห์แม้ไม่มีการเจริญเติบโต (Masanori, 1998)

8. การขยายพันธุ์ โดยปล่อยให้ขยายพันธุ์เองตามธรรมชาติ ซึ่งไข่น้ำสามารถแตกหน่อขยายพันธุ์ได้รวดเร็วจนเต็มผิวน้ำดูคล้ายกับพรมสีเขียว หรือขยายพันธุ์โดยการปลูกเลี้ยงในอ่างบัวขนาดพอประมาณ วางในที่มีแสงแดดส่องตลอดวันหรืออย่างน้อยถึงช่วงบ่าย โดยวิธีการปล่อยไข่น้ำในน้ำสะอาด ดูแลให้น้ำสะอาดอยู่เสมอประมาณ 1 เดือน เม็ดเล็กๆ ของไข่น้ำจะขยายพันธุ์จนเต็มผิวน้ำ แต่ถ้าน้ำเริ่มเน่าเสียไข่น้ำจะตายหมด

9. การเก็บเกี่ยวไข่น้ำโดยใช้ตะแกรงบุด้วยผ้าขาวบางช้อนขึ้นจากผิวน้ำ จากนั้นล้างทำความสะอาดก่อนนำมาประกอบอาหาร (บุหลัน, 2519)

10. ความสัมพันธ์กับระบบนิเวศน์ ไข่น้ำเป็นอาหารขั้นต้นของห่วงโซ่อาหารสำหรับปลากินพืช

11. ความแตกต่างของไข่น้ำสองชนิดที่พบในประเทศไทย ได้แก่ *W. arrhiza* จะมีขนาดใหญ่กว่า ผิวด้านบนมีสีเขียวเข้ม และต้นมีลักษณะทึบแสง ส่วน *W. globosa* เป็นพืชดอกที่มีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าและเป็นรูปทรงกระบอกมากกว่า W. *arrhiza* นอกจากนี้ ต้นยังมีลักษณะโปร่งแสงมากกว่าด้วย (Landolt, 1980)



ภาพที่ 2 การออกดอกของไข่น้ำ *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.

ที่มา: Flora von Deutschland Österreich und der Schweiz (1885)

1.3 การใช้ประโยชน์ของไข่น้ำ

มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์ของไข่น้ำโดยนำมาเป็นอาหารทั้งของมนุษย์และสัตว์ ตลอดจนใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้

1. ไข่น้ำเป็นพืชชนิดหนึ่งในวงศ์ Lemnaceae ที่ใช้เป็นอาหารมนุษย์ เนื่องจากพืชบางชนิดในวงศ์นี้จะมีการสะสมแคลเซียมออกซาเลตสูง ซึ่งอยู่ในรูป crystal ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้ได้ เป็นสาเหตุทำให้เกิดนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ แต่ในไข่น้ำไม่พบการสะสมของแคลเซียมออกซาเลต จึงไม่เป็นอันตรายเมื่อนำมารับประทาน (http://www.mobot.org, 2008) โดยในประเทศไทยนิยมรับประทานมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ นอกจากนี้ไข่น้ำยังมีปริมาณโปรตีนสูง มีรสชาติเหมือนผักทั่วไปและไม่มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ จะมีส่วนที่ยุ่งยากเฉพาะการล้างทำความสะอาดก่อนนำมาปรุงอาหาร (บุหลัน, 2519) การนำไข่น้ำมาปรุงอาหารทำได้ง่าย พร้อมทั้งยังเพิ่มรสชาติให้กับอาหารได้เป็นอย่างดี เช่น แกงอ่อม แกงปลา แกงไก่ แกงเนื้อหรือตำกินสดๆ และเป็นส่วนผสมในข้าวเกรียบกุ้ง (ชุตินุชและมาโนช, 2542) หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไข่น้ำแผ่นทอดกรอบ (กันย์สินี, 2551) เพื่อเพิ่มมูลค่าของไข่น้ำให้สูงขึ้น เป็นต้น

2. เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ทั้งสัตว์บกและสัตว์น้ำ โดยเป็นส่วนผสมในอาหารหรือโปรยให้กินสดๆ เช่น หมู เป็ด และปลาไน (ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดมหาสารคาม, 2548) จากการศึกษาการเลี้ยงลูกปลาไนขนาดเล็กให้เป็นลูกปลาไนขนาดใหญ่โดยให้อาหารด้วยไรแดงและไข่น้ำ (สุอินทร์ และวัฒนะ, 2515) พบว่า ส่วนผสมของอาหารไรแดงและไข่น้ำที่ทำให้ลูกปลาไนมีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือ ไรแดงผสมไข่น้ำในอัตราส่วนน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 2 : 2 นอกจากนี้ไข่น้ำยังเป็นส่วนผสมของอาหารเลี้ยงปลานิล ซึ่งนำมาใช้ทดแทนถั่วเหลืองที่มีราคาแพง (นำชัย และคณะ, 2541)

3. ไข่น้ำมีสาร antioxidant ที่อยู่ในรูปของ β-carotene และ lindeic acid พบในไข่น้ำปริมาณร้อยละ 56 ของน้ำหนักเปียก และร้อยละ 80 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งช่วยในการป้องกันโรคมะเร็งและโรคหัวใจ เป็นต้น (Mookdasanit *et al*., 2007)

4. ช่วยดูดซับสารอาหารจากน้ำเสีย (Fujita, Mori and Kodera, 1998)

5. เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตแอลกอฮอล์ และพลาสติก เป็นต้น (Fujita, Mori and Kodera, 1998)

6. เป็นแหล่งรงควัตถุแคโรทีนอยด์ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพสีของปลาสวยงามให้มีสีสันสดใส จากการศึกษาปัญหาพิเศษเรื่องการปรับปรุงคุณภาพสีปลาทองด้วยรงควัตถุแคโรทีนอยด์จากไข่น้ำ (*W. arrhiza* (L.) Wimm.) (กันย์สินี, 2550) พบว่า ลูกปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมไข่น้ำร้อยละ 15 เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีความเข้มสีมากที่สุด โดยเริ่มปรากฏความแตกต่างในสัปดาห์ที่ 6 ของการเลี้ยง

1.4 คุณค่าทางโภชนาการของไข่น้ำ

ความรู้ด้านคุณค่าทางโภชนาการของไข่น้ำไม่เป็นที่ทราบกันแพร่หลายในกลุ่มบุคคลทั่วไป แต่จะพบเฉพาะกลุ่มบุคคลที่มีความรู้ที่เกี่ยวข้อง โดยพบว่าไข่น้ำเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะโปรตีนที่พบมากกว่าในเนื้อสัตว์ต่างๆ และถั่วเหลือง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในการเจริญเติบโต เช่น ธาตุอาหารที่ได้รับ ความเข้มแสงในระหว่างการเจริญเติบโต เป็นต้น โดยพบปริมาณสารอาหารต่างๆของไข่น้ำ ดังตารางที่ 1 (กองโภชนาการ, 2544)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของไข่น้ำ

สารอาหาร	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี่/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	8.00
โปรตีน (ร้อยละ)	6.8-45
ไขมัน (ร้อยละ)	1.8-9.2
เส้นใย (ร้อยละ)	5.7-16.2
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	59.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	25.00
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	6.60
วิตามินเอ (IU/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	5,346.00
วิตามินบี (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	0.03
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	11.00
กรดอะมิโน (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	
Alanine	1,386
Arginine	1,045
Aspartic acid	1,576
Cystine	339
Glutamic acid	1,723
Glycine	756
Histidine	335
Isoleucine	524
Leucine	1,222
Lysine	1,094
Methionine	176
Phenylalanine	728
Proline	820
Serine	710
Threonine	636
Tryptophan	1,272
Tyrosine	1,095
Valine	774
Total amino acids	16,211
Total essential amino acids	7,860

1.5 การเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

เนื่องจากปัจจุบันผลผลิตไข่น้ำได้จากการเพาะเลี้ยงในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งอาจมีการเติมปุ๋ยอินทรีย์ เช่น มูลสัตว์ต่างๆ ลงในแหล่งน้ำเหล่านั้น จึงเกิดการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก ส่งผลให้มีข้อจำกัดด้านการยอมรับของผู้บริโภคในเรื่องความสะอาดของผลผลิตไข่น้ำ นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้ยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและฤดูกาลของแต่ละพื้นที่ ดังนั้น ผู้วิจัยบางท่านจึงสนใจศึกษาการเพาะขยายพันธุ์ไข่น้ำในน้ำเลี้ยงที่มีสารอาหารต่างๆ เพื่อเป็นการควบคุมผลผลิตของไข่น้ำ พบว่า น้ำเลี้ยงที่มีสารอาหารต่างๆ สำหรับเลี้ยงไข่น้ำมีหลายสูตร ดังนี้

การเพาะเลี้ยงไข่น้ำเพื่อเพิ่มปริมาณ (น้ำหนักสดหรือแห้งต่อหน่วยพื้นที่) ได้แก่ การเลี้ยงไข่น้ำด้วยสูตรอาหารที่ผสมปุ๋ยมูลโคแห้ง ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ และรำละเอียด (ผ่องศรี, 2532 และสมศักดิ์, 2542) การเลี้ยงไข่น้ำในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งทำขนมจีน (อะโน, 2542) การเลี้ยงไข่น้ำด้วยมูลไก่ (ศิริภาวี และคณะ, 2544) และการเลี้ยงไข่น้ำโดยใช้ดินนาและมูลไก่ (ชุตินุช และมาโนช, 2542) เริ่มต้นการเลี้ยงโดยใส่ไข่น้ำ 10-20 กรัมต่อตารางเมตร ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 12-14 วัน ได้ผลผลิตน้ำหนักสดประมาณ 0.3-1 กิโลกรัมน้ำหนักสดต่อตารางเมตร ขึ้นอยู่กับธาตุอาหารที่ไข่น้ำได้รับ โดยการเลี้ยงไข่น้ำด้วยปุ๋ยวิทยาศาสตร์จะให้ผลผลิตมากกว่าการเลี้ยงด้วยปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้ยังมีการเพาะเลี้ยงไข่น้ำเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในไข่น้ำ ได้แก่ การเลี้ยงไข่น้ำด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งทำขนมจีนและได้รับความเข้มแสงร้อยละ 50 (อะโน, 2542 และอนัญยา, 2542) การเลี้ยงไข่น้ำด้วยน้ำสกัดจากมูลวัวเข้มข้นและได้รับความเข้มแสงร้อยละ 50 (สมศักดิ์, 2542) หลังจากเลี้ยงเป็นระยะเวลา 12 วัน ไข่น้ำมีปริมาณโปรตีนสูงสุดร้อยละ 26.55 และ 30.21 ตามลำดับ โดยคุณภาพน้ำที่พบในระหว่างการเลี้ยงไข่น้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส pH 6.7-8.5 DO 3.0-8.3 มิลลิกรัมต่อลิตร สภาพความเป็นด่าง 138-170 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต และความกระด้าง 170-280 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต (ผ่องศรี, 2532 และชุตินุชและมาโนช, 2542)

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นตัวกำหนดทิศทางการเจริญเติบโต การแพร่กระจาย และความหลากหลายของสังคมพืช ในทางนิเวศวิทยาแบ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัจจัยที่ไม่มีชีวิต (abiotic factors) และปัจจัยที่มีชีวิต (biotic factors) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ไม่มีชีวิต เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ในการทดลอง ได้แก่ ธาตุอาหาร (nutrient) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความกระด้าง (hardness) และแสง (light)

2.1 ธาตุอาหารพืช (Nutrient)

ธาตุอาหารมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้าขาดธาตุอาหารบางชนิดพืชจะไม่สามารถดำรงชีพ ทำให้การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของพืชไม่ครบวัฏจักร ซึ่งความต้องการชนิดของธาตุอาหารในการเจริญเติบโตของพืชมีความจำเพาะลงไป จะใช้ธาตุอื่นทดแทนไม่ได้ โดยธาตุอาหารนั้นจำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมและการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง ไม่ได้มีจุดประสงค์เพื่อแก้ไขความไม่เหมาะสมของดิน ดังนั้น พืชแต่ละชนิดต้องการธาตุอาหารที่แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ

ชนิดของธาตุอาหาร

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกันไปทั้งชนิดและปริมาณ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณของธาตุอาหารแต่ละชนิดที่พืชต้องการ คือ

1. มหธาตุ (macronutrients) หรือธาตุอาหารหลัก เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากในการเจริญเติบโต คือ ประมาณ 1,000 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืช 1 กรัม มี 9 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์

2. จุลธาตุ (micronutrients) หรือธาตุอาหารเสริม เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็เพียงพอต่อการดำรงชีพ ส่วนใหญ่พืชต้องการในปริมาณน้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืช 1 กรัม มี 7 ธาตุ ได้แก่ โบรอน เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส โมลิบดินัม และคลอรีน

แม้ว่าพืชต้องการมหธาตุในปริมาณมากในขณะที่ต้องการจุลธาตุในปริมาณที่น้อย แต่ทั้งมหธาตุและจุลธาตุต่างก็มีความสำคัญ พืชจะขาดธาตุใดธาตุหนึ่งไม่ได้หรือจะใช้ทดแทนกันไม่ได้ พืชต้องได้รับธาตุอาหารครบทุกชนิดในปริมาณที่เพียงพอจึงเจริญเติบโตได้ดี ถ้าพืชได้รับธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอจะเกิดอาการขาดธาตุอาหาร (deficiency symptom) (แสดงในตารางที่ 2) (สมบุญ, 2548) ซึ่งสามารถป้องกันการขาดธาตุอาหารพืชได้ด้วยการใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆ

ปุ๋ย หมายถึง สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ที่ได้จากธรรมชาติหรือการสังเคราะห์ เป็นสารที่ใส่ลงไปในดินเพื่อให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชตามความต้องการของพืชนั้นๆ เพื่อพืชนำไปใช้ในการเสริมสร้างการเจริญเติบโต (มุกดา, 2547) หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมีของดิน

การจำแนกประเภทของปุ๋ย

การจำแนกประเภทของปุ๋ยโดยถือสภาพของสารประกอบที่ใช้เป็นหลัก สามารถแบ่งปุ๋ยออกเป็น 2 ประเภท คือ ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยอนินทรีย์

1. ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilizer) คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบและเป็นสารปรับปรุงดิน ทำให้ดินมีคุณภาพทางกายภาพดีขึ้น มีแหล่งกำเนิดจากสารอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด

1.1 ปุ๋ยคอก คือ มูลสัตว์ต่างๆ ที่อยู่ในรูปของเหลวและของแข็ง ส่วนใหญ่จะเป็นมูลสัตว์เลี้ยง เช่น มูลวัว ไก่ เป็ด และสุกร ธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยคอกจะมีปริมาณน้อย และอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อาหารที่สัตว์บริโภค อายุสัตว์ และการเก็บรักษาปุ๋ยคอก เป็นต้น

1.2 ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยที่ได้จากการหมักสารอินทรีย์ให้สลายตัวผุพังตามธรรมชาติ โดยนำสิ่งเหล่านั้นมากองรวมกันรดน้ำให้ชื้น แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จึงนำไปใช้ปรับปรุงดิน ในการเตรียมปุ๋ยหมักอาจใส่ปุ๋ยเคมี ลงไปเพื่อช่วยเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์และเป็นการเพิ่มคุณค่าด้านธาตุอาหารของปุ๋ยหมักด้วย

1.3 ปุ๋ยพืชสด คือ ปุ๋ยที่ได้จากการไถกลบพืชและคลุกเคล้าลงสู่ดิน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้ดีขึ้น โดยได้จากการปลูกพืชบางชนิด เมื่อพืชนั้นเจริญเติบโตถึงระยะที่เริ่มออกดอกถึงระยะดอกบานจะไถกลบลงในดิน หรือได้จากการไถกลบเศษซากพืช หลังจากพืชย่อยสลายโดยสมบูรณ์จึงทำการปลูกพืชเศรษฐกิจที่ต้องการต่อไป

2. ปุ๋ยอนินทรีย์ (Inorganic fertilizer) หรือปุ๋ยเคมี คือ ปุ๋ยหรือวัสดุที่เตรียมจากสารประกอบอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์สังเคราะห์เพื่อให้ธาตุอาหารแก่ดิน ปุ๋ยเคมีที่ใช้กันในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามลักษณะ สภาพ และสมบัติของปุ๋ยเคมีชนิดนั้นๆ ดังนั้นการจำแนกประเภทปุ๋ยเคมีสามารถใช้ได้หลายหลักเกณฑ์ แต่ในที่นี้ได้จัดจำแนกประเภทปุ๋ยเคมีโดยจำแนกตามจำนวนของธาตุหลัก ดังนี้

2.1 ปุ๋ยเดี่ยวหรือแม่ปุ๋ย คือ ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารหลักเพียงธาตุเดียว ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟต หรือปุ๋ยโพแทซเซียม

2.2 ปุ๋ยประกอบ คือ ปุ๋ยเคมีที่ทำขึ้นด้วยกรรมวิธีทางเคมี และมีธาตุอาหารหลักอย่างน้อยสองธาตุขึ้นไป เพื่อให้ได้ธาตุอาหารตามต้องการ เช่น ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต มีปุ๋ยไนโตรเจนกับฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ และโมโนโพแทซเซียม มีปุ๋ยฟอสฟอรัสกับโพแทซเซียมเป็นองค์ประกอบ เป็นต้น

การปลูกพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตหรือผลตอบแทนมากที่สุด พืชต้องได้รับปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตทุกปัจจัยอย่างเพียงพอ และในสัดส่วนที่พอเหมาะ ซึ่งมนุษย์สามารถควบคุมปัจจัยที่ไม่มีชีวิตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุอาหารพืช ดังนั้นการปรับปรุงความสามารถในการให้ผลผลิตของดินหรือน้ำแก่พืชที่ให้ผลดีและรวดเร็ว คือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยเคมีตามความต้องการของเกษตรกร ซึ่งสามารถพิจารณาข้อดี-ข้อด้อยของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 บทบาทหน้าที่และอาการขาดธาตุอาหารของพืช

ธาตุอาหาร	สัญลักษณ์	ปริมาณที่เหมาะสม	หน้าที่	อาการขาดธาตุอาหาร
คาร์บอน, ไฮโดรเจน และออกซิเจน	C, H และ O	-	เป็นองค์ประกอบต่างๆ ในเซลล์พืช เช่น คาร์โบไฮเดรต เซลลูโลส โปรตีน ลิพิด ลิกนิน และกรดอะมิโน เป็นต้น	-
ไนโตรเจน	N	1-5 %	เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน co-enzyme นิวคลีอิก และคลอโรฟิลด์	ต้นแคระแกรน การเจริญเติบโตชะงัก ไม่แตกกอหรือแขนง ออกดอกเร็ว ใบมีสีเหลืองปลายใบแห้งและหลุดร่วงก่อนกำหนด
ฟอสฟอรัส	P	0.1-0.8 %	ให้พลังงานแก่ต้นพืช (ATP, ADP, NADP) ทำให้ลำต้นพืชแข็งแรง ทนทานต่อโรค	ลำต้นแคระแกรน ฐานใบแห้งและตัวใบมีจุดสีน้ำตาล ใบมีขนาดเล็ก การติดดอกและผลไม่สมบูรณ์
โปตัสเซียม	K	1-5 %	กระตุ้นการทำงานของ enzyme และ co-enzyme จำเป็นต่อการสังเคราะห์โปรตีน ควบคุมการปิดเปิดของปากใบ	ขอบใบและปลายใบแห้ง จากนั้นลามเข้าสู่กลางใบ ใบอาจมีจุดสีน้ำตาลปนแดง การเจริญเติบโตลดลง
แคลเซียม	Ca	0.2-3.5 %	เป็นโครงสร้างของเซลล์ รักษาสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งเสริมกระบวนการเคลื่อนย้ายแป้ง การหายใจ และ การดูด K^+, NO_3^-	เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด ปลายรากไม่เจริญและตายในที่สุด ใบอ่อนหงิกงอ
แมกนีเซียม	Mg	0.1-0.4 %	เป็นโครงสร้างของคลอโรฟิลด์และ ribosome	เนื้อเยื่อใบตายเป็นหย่อมๆ โดยใบซีดแต่เส้นใบยังคงเขียว (interveinal chlorosis)
ซัลเฟอร์	S	0.1-0.4 %	เป็นองค์ประกอบของโปรตีนและ co-enzyme	เกิดกับยอดหรือใบอ่อน เส้นใบเขียว เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบสีเขียวอ่อน
โบรอน	B	6-60 mg/kg	เร่งการเติบโตของราก เนื้อเยื่ออ่อน การงอกของท่อละอองเกสร การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล	เกิดกับยอดหรือใบอ่อน ฐานใบมีสีขาวซีด รูปร่างใบบิดเบี้ยว ผิดปกติ

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ธาตุอาหาร	สัญลักษณ์	ปริมาณที่เหมาะสม	หน้าที่	อาการขาดธาตุอาหาร
แมงกานีส	Mn	20-500 mg/kg	เคลื่อนย้ายอิเลคตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง ควบคุมการทำงานของ enzyme และฮอร์โมนพืช	เกิดที่ใบหรือยอดอ่อนแบบ interveinal chlorosis พืชชะงักการเจริญเติบโต แต่ถ้าได้รับมากเกินจะเกิดพิษ แสดงอาการใบจุดสีน้ำตาล และชักนำให้พืชเกิดการขาดแคลเซียม สังกะสี และเหล็ก
เหล็ก	Fe	50-250 mg/kg	เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจ สังเคราะห์แสง และการทำงานของ nitrogenase enzyme	เกิดกับใบยอดแบบ interveinal chlorosis ถ้ารุนแรงมากจะเปลี่ยนเป็นสีขาว ต้นเรียวเล็ก
สังกะสี	Zn	25-150 mg/kg	เป็นองค์ประกอบของ enzyme และเร่งการทำงานของฮอร์โมนออกซิน ช่วยเร่งกระบวนการใช้สารคาร์โบไฮเดรต	เกิดแถบสีขาวตรงเส้นกลางใบและขอบใบ ทำให้การเติบโตของต้นพืชชะงัก ใบเล็ก รวมกันเป็นกระจุก (rosette)
ทองแดง	Cu	5-20 mg/kg	เร่งปฏิกิริยาของ enzyme และการเคลื่อนย้ายอิเลคตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง ช่วยให้พืชตระกูลถั่วติดปมมากขึ้น	ใบอ่อนมีสีเหลือง ม้วนงอ เหี่ยว ขอบใบแห้ง พืชโตช้า ไม่แตกกอ และมักไม่ติดเมล็ด
โมลิบดินัม	Mo	0.1 mg/kg	เป็นองค์ประกอบของ nitrate reductase enzyme และ nitrogenase enzyme ช่วยเพิ่มการตรึงไนโตรเจนในพืชตระกูลถั่ว	พืชเติบโตช้าและแสดงอาการขาดไนโตรเจน ใบอ่อนม้วนงอ และอาจตาย การพัฒนาของเกสรและดอกช้า
คลอรีน	Cl	0.2-2.0 mg/kg	ทำให้เซลล์พืชเต่งตัว คงสภาพ ลดการเกิดโรครากเน่า และราสนิมในพืชบางชนิด	ปลายใบเหี่ยวแล้วแห้งตายเป็นดวง ลำต้นแคระแกรน ปลายรากพองออกหนาหรือบวมเป็นกระบอง
โคบอลท์	Cb	0.02-0.5 mg/kg	มีบทบาทในการสร้างวิตามิน B12 และกระบวนการทำงานของ leghaemoglobin ในการตรึงไนโตรเจน	ไม่แสดงออก แต่จะพบว่าพืชตอบสนองต่อการให้โคบอลท์

ตารางที่ 3 ข้อดี ข้อด้อยของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี

ชนิดของปุ๋ย	ปุ๋ยอินทรีย์	ปุ๋ยเคมี
ข้อดี	1. ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น ทำให้ดินมีคุณสมบัติทางกายภาพดี เช่น มีความโปร่งร่วนซุย มีความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหารพืชได้ดี	1. มีปริมาณธาตุอาหารพืชต่อน้ำหนักปุ๋ยสูง ใช้ปริมาณเล็กน้อยก็เพียงพอ
	2. สามารถอยู่ในดินหรือน้ำได้นาน และค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ	2. ปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้เร็ว
	3. ส่งเสริมให้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการบำรุงดิน สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น	3. ราคาต่อน้ำหนักของธาตุอาหารพืชมีราคาต่ำ สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา
	4. เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี จะส่งเสริมให้ปุ๋ยเคมีเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น	4. หาซื้อง่าย เพราะเป็นผลิตผลที่ผลิตได้จากโรงงาน สามารถผลิตได้จำนวนมาก
ข้อด้อย	1. มีปริมาณธาตุอาหารพืชต่อน้ำหนักปุ๋ยต่ำ ต้องใช้ปริมาณมาก	1. ไม่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน
	2. ใช้เวลานานในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์หให้แก่พืช	2. ปุ๋ยเคมีบางชนิด เช่น ปุ๋ยแอมโมเนีย ถ้าใช้ในปริมาณมากและติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น
	3. ราคาต่อน้ำหนักของธาตุอาหารพืชมีราคาสูง	3. การใช้ปุ๋ยเคมีต้องระมัดระวัง เพราะปุ๋ยเคมีทุกชนิดมีความเค็ม ถ้าใส่มากหรือใส่ติดโคนต้นพืชจะเป็นอันตรายต่อต้นพืชและการงอกของเมล็ด
	4. มีจำนวนจำกัด ไม่สามารถหาซื้อในปริมาณมากๆ ได้	4. ผู้ใช้ปุ๋ยเคมีจะต้องมีความรู้ความเข้าใจเรื่องปุ๋ยพอสมควร จึงจะใช้อย่างได้ผลตอบแทนคุ้มค่า

ที่มา: วินัย (2548)

2.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ หรือ pH เป็นการวัดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนที่มีอยู่ในน้ำ ระดับ pH มีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 โดยระดับ pH 7 สารละลายเป็นกลาง ต่ำกว่า 7 สารละลายเป็นกรด สูงกว่า 7 สารละลายเป็นด่าง pH ของน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบของกรดต่างๆ แหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป มีค่า pH ระหว่าง 5-9 ขึ้นอยู่กับลักษณะของภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมบริเวณนั้น เช่น ลักษณะพื้นดินและปริมาณน้ำฝน ตลอดจนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนั้นในบริเวณที่ดินมีสภาพเป็นกรดก็จะทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดตามไปด้วย นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตทั้งในดินและน้ำ เช่น จุลินทรีย์และแพลงก์ตอนพืช สามารถทำให้ค่า pH ของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง pH ของน้ำมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ คือ มีผลต่อการตาย การเจริญเติบโตตลอดจนการสืบพันธุ์

พืชส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มี pH อยู่ในช่วง 5.5-7 ซึ่งเป็นสภาวะที่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ในรูปที่รากพืชสามารถดูดนำไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด โดยในสภาวะ pH ที่ไม่เหมาะสมจะมีผลกระทบต่อธาตุอาหารในดิน กล่าวคือในดินที่มี pH ต่ำ จะมีธาตุ Ca, Mg และ K น้อย ถ้าค่า pH สูงกว่า 8.5 ปริมาณ Ca ที่พืชสามารถนำไปใช้ได้จะลดลง นอกจากนี้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะมีมากในช่วง pH 6-7 ถ้า pH สูง ฟอสฟอรัสจะถูกตรึงโดย Fe และ Al ในขณะที่ pH ต่ำ ฟอสฟอรัสจะถูกตรึงโดย Ca และ Mg ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ พืชไม่สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (สมบุญ,2548)

จากการสำรวจค่าความเป็นกรด-ด่างของแหล่งน้ำที่พบไข่น้ำในจังหวัดมหาสารคามและจังหวัดขอนแก่น พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของแหล่งน้ำที่ยังคงให้ผลผลิตไข่น้ำ มีค่าอยู่ที่ระดับ 7 หรือต่ำกว่า ขณะที่แหล่งน้ำที่ไม่ให้ผลผลิตแล้วมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 (ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8) และพบพืชน้ำชนิดอื่นขึ้นปะปน

2.3 ความกระด้าง (Hardness)

ความกระด้าง หมายถึง ความเข้มข้นของไอออนของโลหะที่มีเวเลนซีเท่ากับ 2 ทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำ เช่น Ca^{2+} และ Mg^{2+} โดยคิดเทียบกับปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l as $CaCO_3$) ความกระด้างรวมของน้ำมักสัมพันธ์กับสภาพความเป็นด่างรวม (total

alkalinity) ของน้ำ ความกระด้างของน้ำมี 2 ประเภท คือ ความกระด้างชั่วคราว และความกระด้างถาวร ความกระด้างชั่วคราวเกิดจากโลหะที่มีเวเลนซี 2 ในสารประกอบคาร์บอเนต ถูกกำจัดได้ด้วยการต้มซึ่งจะทำให้เกิดตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต Sawyer และ Mccarty (1967) ได้แบ่งประเภทของน้ำตามระดับความกระด้างดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 4 ประเภทของน้ำแบ่งตามความกระด้างของ Sawyer และ Mccarty (1967)

ประเภทของน้ำ	ความกระด้าง (mg/l as $CaCO_3$)
น้ำอ่อน (solf water)	0 – 75
น้ำกระด้างปานกลาง (moderately hard water)	75 – 150
น้ำกระด้าง (hard water)	150 – 300
น้ำกระด้างมาก (very hard water)	มากกว่า 300

พืชน้ำส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำประเภทน้ำอ่อนถึงน้ำกระด้างปานกลาง ซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำที่พบไข่น้ำในจังหวัดมหาสารคามและจังหวัดขอนแก่น พบว่ามีคุณภาพน้ำใกล้เคียงกัน คือ มีลักษณะเป็นน้ำอ่อน มีค่าความกระด้างต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต (ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8) เมื่อความกระด้างของแหล่งน้ำมีค่าต่ำกว่าที่ต้องการ สามารถเพิ่มโดยการเติมเกลือยิปซัม ($CaSO_4$) ซึ่งสามารถเพิ่มค่าความกระด้างแต่ช่วยลดค่าความเป็นด่างในแหล่งน้ำ ขณะที่ปูนขาว ($Ca(OH_2)$) ปูนบด ($CaCO_3$) และปูนเผา (CaO) ทำให้น้ำที่มีค่าความเป็นด่างสูงอยู่แล้วสูงยิ่งขึ้นอีก (ประเทือง, 2534)

2.4 แสง (Light)

แสงเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีพของพืชและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ บนพื้นผิวโลก พืชได้รับพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มแสง (Light intensity) คุณภาพแสง (Light quality) และช่วงเวลาที่ได้รับแสง (Photoperiod)

ความเข้มของแสง (light intensity)

พืชได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง (direct sunlight) โดยการแพร่กระจาย (diffusion scattering) ของแสงจากบรรยากาศ เมฆหมอก และการสะท้อนกลับ (reflection) ของรังสีจากพื้นผิวโลก รวมทั้งวัตถุอื่นๆ ความเข้มของแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณความเข้มของแสงที่แตกต่างกันไป โดยพืชจะมีการปรับตัวทางสรีรวิทยาโครงสร้างภายนอกและภายในให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโต พืชที่ชอบแสงมักมีใบลดรูปขนาดเล็ก ลำต้นอวบหนา บางชนิดมีข้อปล้องสั้น บางชนิดปากใบฝังตัวเข้าในเนื้อเยื่อใบ เซลล์ผิวมีคิวตินหนา ใบมักเรียงตัวในแนวตั้ง ทนทานต่ออุณหภูมิสูงและสภาวการณ์ขาดน้ำได้ดี ในขณะที่พืชทนร่มใบมักแผ่กว้างขนาดใหญ่ เรียงตัวในแนวราบ ความเข้มของแสงนอกจากจะส่งผลต่อโครงสร้างของพืชที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชดังนี้

1. การสังเคราะห์แสงและการหายใจ แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง ความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น

2. รงควัตถุและอุณหภูมิในใบพืช คลอโรฟิลล์ในใบจะถูกสร้างขึ้นในสภาวะที่พืชได้รับแสง ถ้าแสงมากเกินไปการสร้างคลอโรฟิลล์ของพืชจะลดลง ซึ่งเป็นการปรับตัวของพืชเพื่อลดการดูดซับแสงของใบ ถ้าใบพืชดูดซับแสงมากเกินไป แสงบางส่วนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิของใบสูงซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อพืชได้

3. การคายน้ำของพืช แสงเป็นตัวกระตุ้นการเปิดของปากใบ ความเข้มของแสงสูงพืชจะมีการคายน้ำมาก ถ้าในที่แสงจ้า อากาศแห้งแล้งและร้อนจัด การคายน้ำของพืชจะเพิ่มมากขึ้น

4. การเคลื่อนย้ายธาตุอาหารบางชนิด แสงมีผลต่อการสร้างอาหารหรือคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสารอาหารเหล่านี้จะถูกส่งไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของพืช

5. การออกของดอกและผล แสงเป็นตัวกระตุ้นการออกดอกและผลของพืช ในขณะที่แสงน้อยพืชจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของกิ่งก้าน แต่ดอกผลจะถูกสร้างเมื่อมีแสงมาก

คุณภาพของแสง (Light quality)

คลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible light) (แสดงดังภาพที่ 3) เป็นช่วงที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ซึ่งช่วงคลื่นแต่ละช่วงมีบทบาทเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของพืชที่แตกต่างกันได้แก่

ช่วงคลื่นที่ต่ำกว่า 0.28 ไมครอน นิวคลีโอโปรตีนจะถูกทำลาย ทำให้สิ่งมีชีวิตทั้งพืชและจุลินทรีย์ตายหมด

ช่วงคลื่น 0.28-0.4 ไมครอน (รังสีอัลตราไวโอเลต) พืชชั้นต่ำและจุลินทรีย์จะตาย ยับยั้งการงอกของเมล็ดและการเจริญของเนื้อเยื่อพืช พืชชั้นสูงที่มีการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (anthocyanin) มาก ใบจะสั้น หนา ลำต้นแคระแกรน

ช่วงคลื่น 0.4-0.51 ไมครอน (แสงม่วงคราม) จะถูกดูดซับโดยคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงได้มาก ในช่วงแสงสีน้ำเงิน (0.435-0.49 ไมครอน) ช่วยกระตุ้นการหายใจแสงของพืช (Photorespiration)

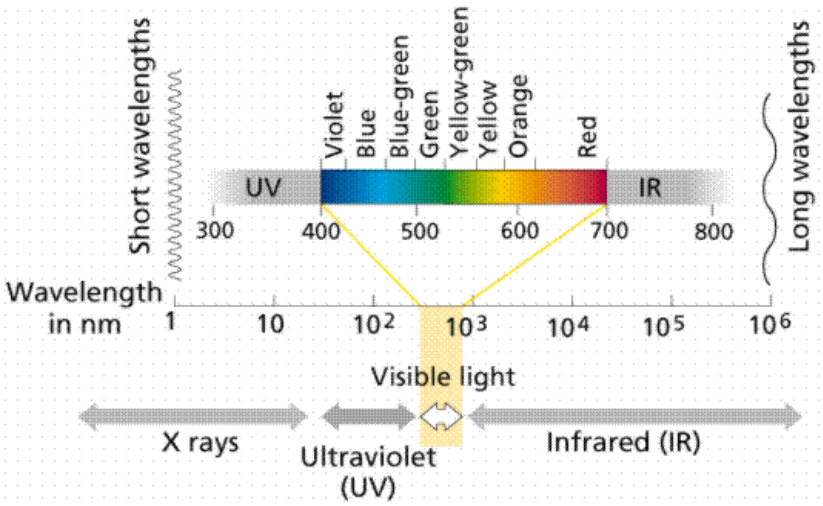
ช่วงคลื่น 0.51-0.6 ไมครอน (แสงสีเขียว เหลือง ส้ม) การสังเคราะห์แสงจะลดลง แสงช่วงคลื่นนี้ส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับหรือทะลุผ่านใบพืช

ช่วงคลื่น 0.61-0.7 ไมครอน (แสงสีแดง) ถูกดูดซับโดยคลอโรฟิลล์ มีผลต่อการสังเคราะห์แสงมากและส่งเสริมการงอกของเมล็ด

ช่วงคลื่น 0.7-1.0 ไมครอน (รังสีอินฟาเรด) เป็นช่วงแสงที่มีบทบาทสำคัญต่อการออกดอกของพืชบางชนิด ยับยั้งการงอกของเมล็ด มีผลต่อการเติบโตและยืดยาวของลำต้นตลอดทั้งมีผลต่อการสุกและการเปลี่ยนสีของผลไม้

ช่วงคลื่นที่ยาวกว่า 1.0 ไมครอน มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช เนื่องจากแสงช่วงคลื่นนี้เป็นแสงช่วงคลื่นที่ยาว เมื่อพืชดูดซับเข้าไปจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความ

ร้อน ทำให้อุณหภูมิของใบพืชสูงขึ้น ถ้าพืชได้รับพลังงานความร้อนมากเกินไปจะส่งผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในพืช การเจริญของพืชจะชะงัก



ภาพที่ 3 Diagram of the Electromagnetic Spectrum

ที่มา: http://dwb.unl.edu., (2000)

ช่วงเวลาที่พืชได้รับแสง (photoperiod)

ความยาวของช่วงกลางวันและกลางคืนผันแปรตามท้องถิ่นและฤดูกาล ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ในฤดูร้อนความยาวของช่วงกลางวันจะมากกว่าช่วงกลางคืน พื้นที่ที่ห่างไกลจากเส้นศูนย์สูตร ความแตกต่างของช่วงกลางวันและกลางคืนย่อมมีมากกว่า 12 ชั่วโมง พืชหลายชนิดช่วงเวลาที่พืชได้รับแสงเป็นตัวกำหนดการออกดอก ซึ่งสามารถแบ่งพืชตามการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของช่วงวันได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. Short day plant คือ พืชที่ออกดอกเมื่อช่วงวันสั้นกว่าช่วงวันวิกฤต (critical day length)

2. Long day plant คือ พืชที่ออกดอกเมื่อช่วงวันยาวกว่าช่วงวันวิกฤต ถ้าช่วงวันน้อยกว่าช่วงวันวิกฤต นอกจากพืชจะไม่ออกดอกแล้ว พืชจะมีลักษณะแคระแกรน ข้อปล้องสั้น ใบเป็นกระจุก

3. Day neutral plant คือ พืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงวันออกดอกโดยไม่ขึ้นกับช่วงแสง

ช่วงวันวิกฤต (Critical day length) หมายถึง ค่าที่บอกเป็นจำนวนชั่วโมงของช่วงวันที่ยาวที่สุด (สำหรับพืชวันสั้น) หรือสั้นที่สุด (สำหรับพืชวันยาว) ซึ่งจะกำหนดการออกดอกของพืช

3. แหล่งและความสำคัญของแคลเซียม (Ca) ต่อมนุษย์

แคลเซียมเป็นธาตุที่สำคัญที่พบมากที่สุดในทุกส่วนของร่างกาย แคลเซียมร้อยละ 99 ของร่างกายสะสมอยู่ที่กระดูกและฟัน แคลเซียมมักอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมกลูโคเนต แคลเซียมซิเตรด แคลเซียมซิเตรดมาเลต แคลเซียมแลคเตต และแคลเซียมฟอสเฟต ร่างกายไม่สามารถสร้างแคลเซียมได้เองแต่จะได้รับจากอาหารที่รับประทาน ซึ่งปริมาณแคลเซียมที่มนุษย์ต้องการจะเปลี่ยนแปลงไปตามวัยหรือสภาวะต่างๆ ของร่างกายไม่ควรได้รับในปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไป ถ้าร่างการขาดแคลเซียมสามารถหาทดแทนได้ด้วยการบริโภคอาหารเสริมที่มีความหลากหลายทั้งคุณภาพและราคา

3.1 แหล่งที่พบแคลเซียม

การรับประทานอาหารในแต่ละมื้อควรรับประทานให้ครบทั้ง 5 หมู่ เพื่อป้องกันการขาดสารอาหาร การขาดแคลเซียม ส่วนใหญ่เป็นการขาดแบบเรื้อรัง ทำให้แหล่งสะสมแคลเซียม คือ กระดูกเกิดการผุกร่อน ผลที่ตามมาก็คือกระดูกหักง่ายขึ้นทั้งๆ ที่ได้รับแรงกระทบเพียงเบาๆ ตำแหน่งที่พบบ่อย คือกระดูกที่ต้นแขนใกล้ข้อมือหรือต้นขาบริเวณสะโพก ถ้าปัญหานี้เกิดขึ้นที่กระดูกสันหลังก็จะทำให้กระดูกสันหลังทรุดได้ง่าย ดังนั้นวิธีป้องกันคือเลือกรับประทานอาหารที่มีปริมาณแคลเซียมในปริมาณสูง ได้แก่ นมและผลิตภัณฑ์นม โดยเฉพาะนมวัว ปลาและสัตว์เล็กอื่นที่

สามารถกินได้ทั้งกระดูกหรือเปลือก เช่น ปลารากกล้วย ถั่วลิสงและผลิตภัณฑ์ และผักใบเขียว เป็นต้น

3.2 ประโยชน์และผลของการขาดแคลเซียม

ร่างกายได้รับแคลเซียมจากการบริโภคอาหาร ซึ่งถูกดูดซึมเพียงร้อยละ 20-30 ของที่บริโภคบริเวณลำไส้เล็กตอนต้น นอกนั้นถูกขับถ่ายออกจากร่างกายทางอุจจาระและปัสสาวะเพียงเล็กน้อย แต่ในภาวะที่บริโภคอาหารที่มีแคลเซียมต่ำ และหญิงท้องติดๆ กันหรือให้นมบุตรเป็นเวลานานอาจเกิดการขาดแคลเซียมได้ แคลเซียมมีประโยชน์ต่อร่างกายแต่ถ้าได้รับในปริมาณที่ไม่เพียงพออาจส่งผลกระทบต่อร่างกาย ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 5 ประโยชน์และผลของการขาดแคลเซียม

ประโยชน์	ผลของการขาด
- ช่วยในการสร้างฟันและกระดูกให้แข็งแรง - ช่วยให้กล้ามเนื้อหดตัวได้เป็นปกติโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจ - ช่วยในขบวนการทำให้เลือดแข็งตัว - ช่วยในขบวนการสร้างภูมิคุ้มกันโรค - ช่วยในการย่อยโปรตีนของน้ำนม (casein) - ช่วยในการดูดซึมวิตามินบี 12 ที่ลำไส้เล็กตอนปลาย - เป็นตัวนำสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาทให้สื่อสารกันได้เป็นปกติ - ลดอาการโรคกระเพาะ หากรับประทานแคลเซียมในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นรูปแบบของยาลดกรด - ป้องกันอาการนอนไม่หลับ - ป้องกันอาการไมเกรนเมื่อรับประทานร่วมกับแมกนีเซียม จะช่วยให้ระบบหลอดเลือดและสมองมีการทำงานดีขึ้น	- เป็นตะคริวและชา - การสร้างกระดูกผิดปกติ กระดูกจะไม่แข็งแรงและอ่อน หรือส่วนประกอบของสารในกระดูกลดลง ทำให้มีโครงร่างผิดไปและร้าวง่าย - โรคกระดูดพรุน ความหนาแน่นของกระดูกลดลง แต่องค์ประกอบของกระดูดไม่เปลี่ยนแปลง - เทแทนนี่ (tetany) ประสาทจะไวผิดปกติในการรับสื่อกระตุ้น ทำให้ไม่สามารถควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อ เกิดอาการชัก มีอาการมือกำ พบมากในหญิงตั้งครรภ์และคลอดบุตร

3.3 ปริมาณแคลเซียมที่ควรได้รับ

ปริมาณแคลเซียมที่ควรได้รับในแต่ละวันไม่ควรมากหรือน้อยกว่าปริมาณที่เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัยและสภาวะต่างๆ ของร่างกาย ดังนี้ (สิริพันธุ์, 2541)

ตารางที่ 6 ปริมาณแคลเซียมที่ควรได้รับในแต่ละวัย

วัย	ปริมาณที่ต้องการ (มิลลิกรัมต่อวัน)
เด็กทารก (0-11 เดือน)	360 - 450
เด็ก (1-10 ปี)	800 - 1,000
วัยรุ่น (11-25 ปี)	1,000
ผู้ใหญ่	1,500
หญิงมีครรภ์	1,500
หญิงให้นมบุตร	1,500 - 2,000
ผู้ป่วยกระดูกหัก	1,500

แคลเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นและมีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งพบปริมาณแคลเซียมในไข่น้ำน้อย แต่ไข่น้ำมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในแหล่งน้ำ จึงสนใจศึกษาความสามารถในการดูดซับธาตุแคลเซียมของไข่น้ำ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการดูดซับธาตุอาหารอื่นๆ ของไข่น้ำ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของไข่น้ำ และเป็นแหล่งผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีราคาถูก ลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ

3.4 การใช้ปุ๋ยแคลเซียมสำหรับพืช

ปุ๋ยแคลเซียมเป็นปุ๋ยที่นำมาใช้เพื่อให้ธาตุแคลเซียมแก่พืช โดยทั่วไปปุ๋ยแคลเซียมจะไม่ใช้วิธีการทางเคมีในการผลิต เพราะวัสดุธรรมชาติที่ให้แคลเซียมโดยตรงหาง่ายและมีมากมาย เช่น หินแร่ทุกชนิดที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเรียกว่าวัสดุปูน หรือปุ๋ยธาตุอาหารหลักบางชนิดที่มีแคลเซียมติดมาด้วย เช่น

ปุ๋ยแคลเซียมออกไซด์ สูตรเคมี CaO มีแคลเซียมประมาณร้อยละ 70
ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สูตรเคมี $Ca(OH)_2$ มีแคลเซียมประมาณร้อยละ 50
ปุ๋ยแคลเซียมคาร์บอเนต สูตรเคมี $CaCO_3$ มีแคลเซียมประมาณร้อยละ 36
เบสิกสแลค สูตรเคมี $(CaO)_5.P_2O_5.SiO_2$ มีแคลเซียมประมาณร้อยละ 30
แคลเซียมซัลเฟต (ยิปซัม) สูตรเคมี $CaSO_4.2H_2O$ มีแคลเซียมประมาณร้อยละ 22
หินโดโลไมล์ สูตรเคมี $CaCO_3.MgCO_3$ มีแคลเซียมประมาณร้อยละ 17
หินฟอสเฟต สูตรเคมี $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ มีแคลเซียมประมาณร้อยละ 3

การเพิ่มธาตุแคลเซียมให้แก่พืช จำเป็นต้องให้สารประกอบแคลเซียมจำนวนมากแก่พืช เพื่อให้พืชดูดซับธาตุแคลเซียมมากที่สุด โดยวิธีป้องกันการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารสามารถทำได้ โดยใช้ปุ๋ยในรูปคีเลตที่สามารถดูดยึดไอออนบวกไว้ในโครงสร้าง ทำให้ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นในดินหรือในน้ำ พืชจึงยังสามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้

คีเลต (chelate) หมายถึง สารที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน จัดเป็นสารประกอบโคออดิเนชัน (coordination compound) หรือสารเชิงซ้อน (complex compound) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารคีเลต (chelating agent) กับไอออนของโลหะทรานซิชัน (transition metal) เรียกปฏิกิริยานี้ว่า คีเลชัน (chelation)

สารคีเลท (chelating agent) เป็นลิแกนด์ (ligand) เนื่องจากมีสมบัติที่สำคัญ คือ มีอิเล็กตรอนคู่โดด (lone pair electrons) มากกว่าหนึ่งคู่เพื่อใช้ในการสร้างพันธะโคออดิเนตโคเวเลนซ์กับไอออนของโลหะ ลิแกนจะก่อให้เกิดคีเลตได้ต้องมีหมู่แสดงปฏิกิริยาเฉพาะตัวตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป ไอออนของโลหะที่เกิดพันธะกับลิแกนด์กลายเป็นคีเลตแล้ว จะไม่มีสภาพเป็นไอออนบวกอีกต่อไป จุลธาตุซึ่งอยู่ในรูปของคีเลตที่มีเสถียรภาพพอควร จะอยู่ในดินหรือน้ำและเป็นประโยชน์แก่พืชต่อไป สารคีเลตมี 2 ประเภท คือ สารสังเคราะห์ ได้แก่ EDTA (ethylenediamine tetraacetic acid) เป็นสารคีเลตที่มีจำนวนอะตอมในโมเลกุลที่ให้อิเล็กตรอนแก่ไอออนของโลหะได้ 6 อะตอม จึงมีพันธะทางเคมีเกิดขึ้นถึง 6 จุด, CDTA (cyclohexanediamine tetraacetic acid), DTPA (diethylenetriamine pentaacetic acid), EDDHA (ethylenediamine di (o) hydroxyphenylacetic acid) และ HEDTA (hydoxyethylene diamineteraacetic acid และสารจากธรรมชาติ ได้แก่ อินทรียสารจากธรรมชาติ เช่น กรดอะมิโน กรดฮิวมิก สารประกอบเชิงซ้อนบางชนิด และกรดฟีโนลิก เป็นต้น

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเทศไทยพบไข่น้ำในช่วงฤดูหนาวต่อกับฤดูร้อน ซึ่งไข่น้ำจะไม่ค่อยเจริญเติบโตในฤดูฝน เนื่องจากน้ำฝนเจือจางธาตุอาหารในแหล่งน้ำและไม่ค่อยมีแสงแดด ไข่น้ำจึงไม่ค่อยเจริญเติบโต การเจริญเติบโตของไข่น้ำขึ้นอยู่กับอาหารหรือปุ๋ยที่มีอยู่ในน้ำ เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส นอกจากนี้ยังต้องการพลังงานจากแสงอาทิตย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เพื่อใช้ในการสร้างอาหารของพืชและทำให้เซลล์พืชมีสีเขียว (บุหลัน, 2519) ซึ่งลักษณะทางชีววิทยาที่ศึกษาโดยสุมาลี (2506) พบว่า ไข่น้ำมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศได้โดยการแบ่งทัลลัสใหม่ออกทางด้านข้าง ทัลลัสใหม่ที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กกว่าทัลลัสเดิม โดยจะใช้เวลาในการเจริญเติบโตจนมีขนาดเท่ากับทัลลัสเดิม และหลุดออกเป็นทัลลัสใหม่ใช้เวลา 5-6 วัน

การสำรวจและเก็บตัวอย่างไข่น้ำจากแหล่งเลี้ยงในธรรมชาติรวมทั้งสภาพแวดล้อมทางน้ำเบื้องต้น เพื่อเก็บตัวอย่างไข่น้ำมาใช้ในการทดลอง (stock) และใช้ข้อมูลทางสภาพแวดล้อมเป็นแนวทางในการทดลอง โดยทำการสำรวจแหล่งเลี้ยงไข่น้ำจำนวน 2 ครั้ง คือ ในช่วงฤดูหนาว (เดือนกุมภาพันธ์ 2549) และฤดูฝน (เดือนตุลาคม 2549) ในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามและจังหวัดขอนแก่น ได้ผลการตรวจสอบคุณสมบัติน้ำและสภาพแวดล้อมเบื้องต้นในแหล่งเลี้ยงไข่น้ำ ดังตารางที่ 7 และ 8

ในการสำรวจครั้งที่ 1 น้ำในแหล่งเลี้ยงไข่น้ำทั้งหมดมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน คือมีลักษณะเป็นน้ำอ่อนมีค่าความกระด้างต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าความเป็นกรด-ด่างในบ่อที่ยังคงให้ผลผลิตไข่น้ำจะอยู่ที่ระดับ 7 หรือต่ำกว่า ขณะที่บ่อที่ไม่ให้ผลผลิตไข่น้ำแล้วเริ่มมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 และมีพืชน้ำชนิดอื่นขึ้นปะปน สำหรับธาตุอาหารพืช ในแหล่งเลี้ยงไข่น้ำที่ยังให้ผลผลิตพบมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและออร์โธฟอสเฟตอยู่ในระดับค่อนข้างสูงประมาณ 0.2-0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.02-0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ต่างกับแหล่งเลี้ยงไข่น้ำที่ไม่ให้ผลผลิตแล้ว ซึ่งพบปริมาณธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะออร์โธฟอสเฟตอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก ส่วนปริมาณความเข้มแสงในแหล่งเลี้ยงไข่น้ำมีความเข้มแสงต่ำกว่าบริเวณกลางแจ้งเนื่องจากมีร่มเงาของต้นก้ามปูช่วยพลางแสง โดยพบความเข้มแสงสูงสุดต่ำกว่า 10,000 ลักซ์ หรืออยู่ในระดับต่ำกว่าร้อยละ 50 ของแสงกลางแจ้ง แสดงว่าไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ในที่มีแสงน้อย ซึ่ง Landolt (1986) กล่าวว่าไข่น้ำเป็นพืชน้ำที่สามารถดำรงชีวิตได้ในน้ำที่มีค่าความ

ตารางที่ 7 ผลการสำรวจคุณสมบัติน้ำและสภาพแวดล้อมเบื้องต้นของแหล่งเลี้ยงไข่น้ำในจังหวัดมหาสารคามและขอนแก่นระหว่างวันที่ 12-14 กุมภาพันธ์ 2549

ดัชนีคุณภาพน้ำ/สภาพแวดล้อม	บ้านโจดใต้ มหาสารคาม	บ้านหนองตาไก้ (บ่อที่ 1) ขอนแก่น	บ้านหนองตาไก้ (บ่อที่ 2) ขอนแก่น
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	24.0	22.5	22.0
ความขุ่น (เอ็นทียู)	867	92	37
ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์/ซม.)	270	240	180
ปริมาณสารละลายน้ำ (มก./ล.)	190	150	120
ความเป็นกรด-ด่าง	7.0	6.8	7.3
ค่าสภาพด่าง (มก./ล. $CaCO_3$)	103	50	77
ค่าความกระด้าง (มก./ล. $CaCO_3$)	92	50	36
ไบคาร์บอเนต (มก./ล.)	104.2	50.3	78.2
คาร์บอเนต (มก./ล.)	ND	ND	ND
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.875	0.245	0.093
ไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.082	0.049	0.048
ออร์โธฟอสเฟต (มก./ล.)	0.038	0.018	0.008
ความเข้มแสง (ลักซ์) ต่ำสุด	8,700	3,300	2,700
สูงสุด	8,800	3,400	2,800
สภาพอากาศ	มีเมฆมาก	ฝนตก	ฝนตก
การเจริญเติบโตของไข่น้ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	ไม่มีไข่น้ำ
ค่าประมาณน้ำหนักเปียกไข่น้ำต่อ 1 ตารางเมตร (ก.ก.)	1.5	1.5	-

เป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3.5-10.4 และมีค่าความเข้มแสงระหว่าง 4,000-15,000 ลักซ์ ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ไข่น้ำจะลดขนาดและโครงสร้างซึ่งเต็มไปด้วยเม็ดแป้ง มีสีคล้ำ และจมลงสู่พื้นท้องน้ำ เรียกลักษณะของไข่น้ำแบบนี้ว่า turions โดยยังสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้เมื่อมีสภาวะแวดล้อมเหมาะสม ขณะทำการสำรวจความเข้มแสงพบว่าท้องฟ้ามีเมฆมาก ทำให้ความเข้มแสงที่ตรวจพบในครั้งนี้ไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนที่แท้จริงของแหล่งเลี้ยงไข่น้ำได้ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบซ้ำในการสำรวจครั้งที่สอง การทดสอบหาผลผลิตไข่น้ำในแหล่งเลี้ยงไข่น้ำโดยใช้สวิงตาถี่ที่ทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตักไข่น้ำขึ้นมาชั่งวัดสามครั้ง พบว่าแหล่งเลี้ยงไข่น้ำที่ยังคงให้ผลผลิตได้ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ย 1.5 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อ 1 ตารางเมตร

การสำรวจคุณสมบัติน้ำและสภาพแวดล้อมในแหล่งเลี้ยงไข่น้ำครั้งที่ 2 ให้ผลใกล้เคียงกับการสำรวจในครั้งที่ 1 กล่าวคือ น้ำในแหล่งเลี้ยงไข่น้ำโดยทั่วไปมีสภาพเป็นน้ำอ่อนมีค่าความ

ตารางที่ 8 ผลการสำรวจคุณสมบัติน้ำและสภาพแวดล้อมเบื้องต้นของแหล่งเลี้ยงไข่น้ำในจังหวัดมหาสารคามและขอนแก่นระหว่างวันที่ 18-20 กุมภาพันธ์ 2549

ดัชนีคุณภาพน้ำ/สภาพแวดล้อม	บ้านโจดใต้ มหาสารคาม	บ้านป่ายาง หัวช้าง มหาสารคาม	บ้านหนองตาไก้ (บ่อที่ 1) ขอนแก่น	บ้านหนองตาไก้ (บ่อที่ 2) ขอนแก่น	ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด ขอนแก่น
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	28.0	29.0	28.0	30.5	28.5
.6ความขุ่น (เอ็นทียู)	14.0	10.0	6.7	13.0	11.0
ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์/ซม.)	70	170	210	60	520
ปริมาณสารละลายน้ำ (มก./ล.)	50	130	190	40	370
ความเป็นกรด-ด่าง	6.8	7.5	7.3	7.4	6.6
ค่าสภาพด่าง (มก./ล. $CaCO_3$)	37	78	28	30	123
ค่าความกระด้าง (มก./ล. $CaCO_3$)	32	66	72	32	104
ไบคาร์บอเนต (มก./ล.)	37.8	78.8	28.8	30.0	124.2
คาร์บอเนต (มก./ล.)	ND	ND	ND	ND	ND
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก./ล.)	ND	0.275	0.026	0.026	0.333
ไนเตรท-ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.073	0.231	0.031	0.045	0.026
ออร์โธฟอสเฟต (มก./ล.)	0.053	0.158	0.019	0.035	0.036
ความเข้มแสง (ลักซ์) ต่ำสุด	4,000	1,600	2,000	5,000	10,000
สูงสุด	10,000	2,000	3,000	31,000	40,000
สภาพอากาศ	ท้องฟ้าโปร่ง	ท้องฟ้าโปร่ง	ท้องฟ้าโปร่ง	ท้องฟ้าโปร่ง	ท้องฟ้าโปร่ง
การเจริญเติบโตของไข่น้ำ	เพิ่งเริ่มแตกหน่อ	อยู่ในสภาพ turion	อยู่ในสภาพ turion	ไม่มีการเจริญเติบโต	หนาแน่น
ค่าประมาณน้ำหนักเปียกไข่น้ำต่อ 1 ตารางเมตร (ก.ก.)	0.5	-	-	-	1.8

กระด้างต่ำยกเว้นแหล่งเลี้ยงไข่น้ำที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดขอนแก่นที่น้ำมีลักษณะเป็นน้ำกระด้างเล็กน้อย ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ให้ผลผลิตไข่น้ำมีลักษณะเป็นกรดเล็กน้อย ในขณะที่แหล่งอื่นที่ไม่พบการเจริญเติบโตของไข่น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า สำหรับการสำรวจความเข้มแสงในแหล่งเลี้ยงไข่น้ำของศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดขอนแก่นซึ่งเป็นบ่อกลางแจ้ง มีค่าความเข้มแสงอยู่ที่ 10,000-40,000 ลักซ์ แสดงว่าไข่น้ำมาสารถเจริญเติบโตได้ทั้งในที่ร่มและที่แดดจัด ซึ่งในที่มีแดดจัดไข่น้ำมีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็วแต่มีอายุการเจริญเติบโตสั้น สังเกตได้จากการเก็บตัวอย่างไข่น้ำพบมีต้นไข่น้ำตายปะปนอยู่ปริมาณมากกว่าแหล่งอื่น ส่วนต้นไม้ใหญ่ที่พบบริเวณแหล่งเลี้ยงไข่น้ำมีบทบาทต่อการเกิดของไข่น้ำ อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายของซากพืชทำให้เกิดธาตุอาหารพืช พร้อมทั้งช่วยลดปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ซึ่งทำให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตองไข่น้ำ

สำหรับการศึกษาการเพาะเลี้ยงไข่น้ำได้มีผู้วิจัยบางท่านทำการศึกษาไว้ ดังนี้ อำพล และอารีย์ (2532) ทดลองเลี้ยงไข่น้ำ 20 กรัม ในบ่อซีเมนต์ขนาด 10 เมตร ที่มีดินโคลนบริเวณก้นบ่อ ใส่ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ (ปุ๋ยยูเรียและปุ๋ยฟอสเฟต) 10 กรัมต่อตารางเมตร เติมน้ำปริมาณ 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 800-1,000 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร

อะโน (2542) ศึกษาและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) ที่เพาะเลี้ยงในชนิดของอาหารและความเข้มแสงต่างกัน โดยเลี้ยงในอ่างพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่าไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในน้ำสกัดจากมูลวัวแห้งความเข้มข้น 2.1 กรัมต่อลิตร และได้รับความเข้มแสงร้อยละ 100 มีน้ำหนักสด (เฉลี่ย 162.86 กรัมต่อหน่วยทดลอง) และน้ำหนักแห้ง (เฉลี่ย 6.20 กรัมต่อหน่วยทดลอง) มากกว่าไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งทำขนมจีนความเข้มข้นร้อยละ 20 และได้รับความเข้มแสงร้อยละ 50 พบว่าไข่น้ำมีปริมาณโปรตีน (เฉลี่ยร้อยละ 26.55) มากกว่าไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

อนัญยา (2542) ศึกษาการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารต่างกัน โดยแต่ละสูตรใช้น้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนผสมปุ๋ยเคมีต่างกัน ทำการเพาะเลี้ยงในอ่างพลาสติกขนาด 20 ลิตร เพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งที่มีค่าความเข้มแสงร้อยละ 50 (ใช้ซาแรน คลุม) เป็นเวลา 10 วัน วัดการเจริญเติบโตของไข่น้ำเป็นน้ำหนังแห้ง และนำผลผลิตที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ผลการทดลองปรากฏว่าไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำทิ้งความเข้มข้นร้อยละ 5 ผสมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำทิ้งความเข้มข้นร้อยละ 5 ผสมปุ๋ยไมเพล็กซ์ มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งสูงที่สุดอยู่ที่ 4.64 และ 4.35 กรัมต่อหน่วยทดลอง ตามลำดับ แตกต่างจากไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำทิ้งความเข้มข้นร้อยละ 5 ผสมปุ๋ยเคมีสูตร 0-0-60, ไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำทิ้งความเข้มข้นร้อยละ 5 ผสมปุ๋ยเคมีสูตร 0-46-0, ไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำทิ้งความเข้มข้นร้อยละ 5 ผสมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำทิ้งความเข้มข้นร้อยละ 5 ผสมปุ๋ยไมเพล็กซ์ พบปริมาณโปรตีนในไข่น้ำมากกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ศิริภาวี และคณะ (2544) ศึกษาการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) สำหรับการลดต้นทุนค่าอาหารปลา พบว่าการเลี้ยงไข่น้ำด้วยมูลไก่ให้ผลผลิตสูงสุดในวันที่ 4 ของการเลี้ยง แตกต่างจากการเลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หลังจากนั้นนำไข่น้ำที่ได้จากการเลี้ยงเป็นวัตถุดิบในอาหารเลี้ยงปลานิล พบว่าปลานิลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารผสมไข่น้ำที่ร้อยละ 0 และ 15 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกใช้อาหารผสมไข่น้ำที่ระดับร้อยละ 15 เพราะต้นทุนค่าอาหารปลานิลต่ำสุด

การศึกษาการใช้ประโยชน์จากไข่น้ำ พบว่าชุตินุชและมาโนช (2542) นำไข่น้ำมาเป็นส่วนผสมในข้าวเกรียบกุ้งในอัตราไข่น้ำต่อกุ้งเท่ากับ 50 : 50 ได้รับการยอมรับของสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวมจากกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคมากที่สุด และใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยเป็นแหล่งอาหารโปรตีนสำหรับปลานิล (*Oreochromis niloticus*) นำชัยและคณะ (2541) กล่าวว่าปลานิลขนาดปลานิ้วและปลาโตสามารถย่อยไข่น้ำได้ ดังนั้นไข่น้ำสามารถใช้ทดแทนถั่วเหลืองที่มีราคาแพงในการผสมอาหารปลา เป็นการประหยัดเวลาและต้นทุนในการเลี้ยงปลานิล (ศิริภาวีและคณะ, 2544)

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ธาตุอาหารในการเลี้ยงไข่น้ำส่วนใหญ่ได้จากมูลสัตว์ ได้แก่ มูลวัว ซึ่งมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมสูงกว่ามูลสัตว์ชนิดอื่น (สมศักดิ์, 2542) เป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังต้องการแสงแดดเพื่อการสังเคราะห์แสง (ผ่องศรี, 2532) ส่วนไข่น้ำที่เลี้ยงที่ความเข้มแสงร้อยละ 50 มีปริมาณโปรตีนสูง เนื่องจากความเข้มแสงร้อยละ 50 มีบทบาทในการเร่งการทำงานของเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนมากกว่าที่ความเข้มแสงร้อยละ 100 (อะโน, 2542) แต่ผลผลิตไข่น้ำที่ได้จากการเลี้ยงด้วยปุ๋ยอินทรีย์จะให้ผลผลิตน้อยกว่าการเลี้ยงด้วยปุ๋ยอินทรีย์ผสมปุ๋ยเคมี และการเลี้ยงด้วยปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว กรอบในการวิจัยในการศึกษาครั้งนี้ส่วนใหญ่เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาอายุการเจริญเติบโต และรูปแบบการเจริญเติบโต พร้อมทั้งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ เนื่องจากสามารถวัดผลการทดลองได้ง่ายโดยการแยกต้นไข่น้ำเพียง 1 ต้นจากตัวอย่างที่เลี้ยงเก็บเป็น stock มาเลี้ยงในจานแก้ว แล้วเปรียบเทียบจำนวนต้นที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง นอกจากนี้ได้เลือกใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับเป็นสารอาหารในการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยต้องการทำการเลี้ยงไข่น้ำเพื่อการบริโภคของมนุษย์ การใช้ปุ๋ยเคมีจึงมีความเหมาะสมมากกว่าปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากมีการปนเปื้อนของจุลชีพน้อยกว่า และพืชสามารถนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุอุปกรณ์

1.1 ถังไฟเบอร์กลาสขนาด 250 ลิตร
1.2 ตู้เลี้ยงสาหร่าย
1.3 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
1.4 ชุดหลอดไฟนีออน
1.5 กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ
1.6 สวิทช์ไฟฟ้าอัตโนมัติ
1.7 Lux meter
1.8 pH meter
1.9 ถังพลาสติกขนาด 45x60x20 เซนติเมตร
1.10 โครงเหล็ก
1.11 จานแก้ว
1.12 สวิง

2. สารเคมี

2.1 ไฮโดรคลอริค (HCl)
2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
2.3 แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$)
2.4 โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)
2.5 โซเดียมไนเตรท ($NaNO_3$)
2.6 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
2.7 โปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
2.8 ไดโปแตสเซียมฟอสเฟต (K_2HPO_4)
2.9 แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$)

2.10 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$), เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) และ EDTA

2.11 ปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16

2.12 ปุ๋ย N-P-K สูตร 40-0-0

วิธีการ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ และวิธีในการเพาะขยายพันธุ์แบบมหมวล ได้เก็บตัวอย่างพันธุ์ไข่น้ำจากจังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดมหาสารคาม เพื่อนำมาใช้เป็นต้นพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง (stock) โดยการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. การศึกษาอายุการเจริญเติบโต และปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

การศึกษาหัวข้อนี้ ถือเป็นจุดเริ่มต้นของการทดลองเพาะเลี้ยงไข่น้ำเพื่อใช้เป็นอาหารมนุษย์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็นหัวข้อย่อยต่างๆ ดังนี้

1.1 การศึกษาอายุการเจริญเติบโตของไข่น้ำ

ทำการแยกไข่น้ำต้นใหม่ คือ ไข่น้ำที่มีร่องรอยของการแตกหน่อ จากตัวอย่างที่เลี้ยงเก็บเป็น stock จากจังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดมหาสารคาม นำมาเลี้ยงในจานแก้ว จำนวน 10 จาน ความหนาแน่นของไข่น้ำ 1 ต้น/จาน เลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งให้แสงด้วยหลอดไฟนีออนที่เปิดปิดด้วยสวิทช์ไฟฟ้าอัตโนมัติ ตั้งรอบเวลาไว้ที่ 12:12 ชั่วโมง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 18 วัน ในระหว่างการทดลองทำการนับจำนวนไข่น้ำต้นที่เพิ่มและตายทุกๆ 3 วันภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ

1.2 การศึกษาสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

ทำการแยกไข่น้ำต้นใหม่ คือ ไข่น้ำที่มีร่องรอยของการแตกหน่อ จากตัวอย่างที่เลี้ยงเก็บเป็น stock มาเลี้ยงในจานแก้วที่มีสารอาหารแตกต่างกัน ได้แก่ น้ำจากบ่อเลี้ยงปลา, น้ำสกัดจากใบก้ามปู ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร, น้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร, น้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 46-0-0 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารอาหาร *Spirulina*

สูตรที่ 1 (ตารางภาคผนวกที่ 40) โดยมีความหนาแน่นของไข่น้ำ 5 ต้น/จาน จำนวน 6 จานต่อสารอาหารแต่ละชนิด (5 Treatment x 6 Replication) เลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง ให้แสงด้วยหลอดไฟนีออนที่เปิดปิดด้วยสวิทช์ไฟฟ้าอัตโนมัติ ตั้งรอบเวลาไว้ที่ 12:12 ชั่วโมง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน (ข้อมูลจากการทดลองที่ 1.1 ซึ่งไข่น้ำมีอายุการเจริญเติบโตสูงสุด) ในระหว่างการทดลองทำการนับจำนวนไข่น้ำต้นที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 3 วันภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ

1.3 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

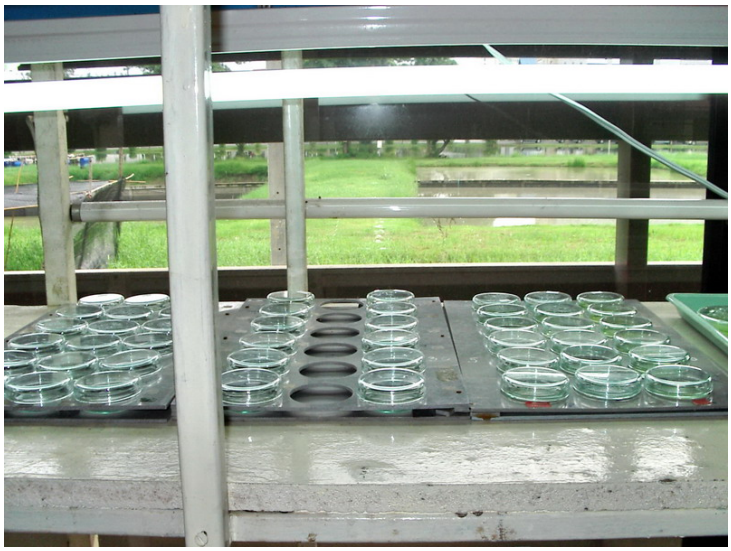
ทำการแยกไข่น้ำต้นใหม่ คือ ไข่น้ำที่มีร่องรอยของการแตกหน่อ จากตัวอย่างที่เลี้ยงเก็บเป็น stock มาเลี้ยงในจานแก้วที่มีสารอาหารที่ให้ผลผลิตไข่น้ำสูงสุด (ใช้ผลจากการทดลองข้อ 1.2) โดยเลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับ ได้แก่ 50, 100, 200, 400, 800, และ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความหนาแน่นของไข่น้ำ 5 ต้น/จาน จำนวน 6 จานต่อระดับความเข้มข้นต่างๆ (5 Treatment x 6 Replication) เลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง ให้แสงด้วยหลอดไฟนีออนที่เปิดปิดด้วยสวิทช์ไฟฟ้าอัตโนมัติ ตั้งรอบเวลาไว้ที่ 12:12 ชั่วโมง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน ในระหว่างการทดลองทำการนับจำนวนไข่น้ำต้นที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 3 วันภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ

1.4 การศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

ทำการแยกไข่น้ำต้นใหม่ คือ ไข่น้ำที่มีร่องรอยของการแตกหน่อ จากตัวอย่างที่เลี้ยงเก็บเป็น stock มาเลี้ยงในจานแก้วที่มีน้ำซึ่งเติมชนิดสารอาหารและมีระดับความเข้มข้นสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไข่น้ำ (ใช้ผลจากการทดลองข้อ 1.2 และ 1.3) ทำการปรับระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยสารละลายเจือจางของกรดไฮโดรคลอริค (HCl) และด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จำนวน 4 ระดับ ได้แก่ 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 มีความหนาแน่นของไข่น้ำ 5 ต้น/จาน จำนวน 6 จานต่อระดับ pH (4 Treatment x 6 Replication) เลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง ให้แสงด้วยหลอดไฟนีออนที่เปิดปิดด้วยสวิทช์ไฟฟ้าอัตโนมัติ ตั้งรอบเวลาไว้ที่ 12:12 ชั่วโมง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน ในระหว่างการทดลองทำการนับจำนวนไข่น้ำต้นที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 3 วันภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ

1.5 การศึกษาระดับความกระด้างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

ทำการแยกไข่น้ำต้นใหม่ คือ ไข่น้ำที่มีร่องรอยของการแตกหน่อ จากตัวอย่างที่เลี้ยงเก็บเป็น stock มาเลี้ยงในจานแก้วที่มีน้ำซึ่งเติมชนิดสารอาหาร มีระดับความเข้มข้นสารอาหาร และมีการปรับ pH ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไข่น้ำ (ใช้ผลจากการทดลองข้อ 1.2, 1.3 และ 1.4) ทำการปรับระดับความกระด้างของน้ำด้วยเกลือแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต มีความหนาแน่นของไข่น้ำ 5 ต้น/จาน จำนวน 6 จานต่อระดับความกระด้าง (4 Treatment x 6 Replication) เลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง ให้แสงด้วยหลอดไฟนีออนที่เปิดปิดด้วยสวิทช์ไฟฟ้าอัตโนมัติ ตั้งรอบเวลาไว้ที่ 12:12 ชั่วโมง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน ในระหว่างการทดลองทำการนับจำนวนไข่น้ำต้นที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 3 วันภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ



ภาพที่ 4 แสดงการทดลองที่ 1.1-1.5

1.6 การศึกษาระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

ทำการแยกไข่น้ำต้นใหม่ คือ ไข่น้ำที่มีร่องรอยของการแตกหน่อ จากตัวอย่างที่เลี้ยงเก็บเป็น stock มาเลี้ยงในจานแก้วที่มีน้ำซึ่งเติมชนิดสารอาหาร มีระดับความเข้มข้นสารอาหาร มีระดับ pH และมีระดับความกระด้างที่เหมาะสมในการเลี้ยงไข่น้ำ (ใช้ผลจากการทดลองข้อ 1.2, 1.3, 1.4 และ 1.5) ทำการเลี้ยงในตู้เลี้ยงสาหร่ายที่ให้แสงด้วยชุดหลอดไฟนีออน ปรับระดับความเข้มแสงโดยการปิดด้วยพลาสติกขุ่น ซึ่งได้ระดับความเข้มแสงในการทดลอง 4 ระดับ ได้แก่ 10,500 ลักซ์, 7,100 ลักซ์ , 5,100 ลักซ์ และ 1,500 ลักซ์ ตามลำดับ มีความหนาแน่นของไข่น้ำ 5 ต้น/จาน จำนวน 6 จานต่อระดับความเข้มแสง (4 Treatment x 6 Replication) ตั้งอุณหภูมิภายในตู้ที่ 27 องศาเซลเซียส ตั้งรอบเวลาให้แสงที่ 12:12 ชั่วโมง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน ในระหว่างการทดลองทำการนับจำนวนไข่น้ำต้นที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 3 วันภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ

ภาพที่ 5 แสดงภาพการทดลองที่ 1.6

2. การศึกษาทดลองเลี้ยงไข่น้ำในระยะยาวเพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการเลี้ยงในระบบฟาร์ม

ทำการเลี้ยงไข่น้ำในถังไฟเบอร์กลาสกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ความจุปริมาตร 250 ลิตร จำนวน 3 ถัง ในแต่ละถังใส่น้ำประปาจำนวน 100 ลิตร เติมชนิดสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงไข่น้ำ (ใช้ผลจากการทดลองที่ 1.2) มีความเข้มข้นสารอาหารที่เหมาะสม (ใช้ผลจากการทดลองที่ 1.3) และปรับความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยง (ใช้ผลจากการทดลองที่ 1.4) เติมเชื้อไข่น้ำเริ่มต้นที่ 100 กรัมน้ำหนักเปียกต่อถัง ทำการทดลองเลี้ยงเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยทำการสุ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตขึ้นมาชั่งแล้วปล่อยกลับลงเลี้ยงใหม่ในทุก 3 วัน ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และเปลี่ยนน้ำเติมปุ๋ยในทุกถังทดลองในทุก 6 วัน

ภาพที่ 6 แสดงภาพการทดลองที่ 2

3. การศึกษาการขยายผลผลิตไข่น้ำโดยการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น

ทำการเลี้ยงไข่น้ำในถังพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 45 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 9 ถัง ในแต่ละถังใส่น้ำประปาจำนวน 20 ลิตร ใส่ปุ๋ย N-P-K สูตรที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงไข่น้ำ (ใช้ผลจากการทดลองที่ 1.2) ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม (ใช้ผลจากการทดลองที่ 1.3) และปรับความเป็นกรด-ด่างของแต่ละถังให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยง (ใช้ผลจากการทดลองที่ 1.4) จัดวางถังพลาสติกบนโครงเหล็ก 3 ชั้น ซึ่งมีระดับความเข้มแสงที่แตกต่างกัน แต่ละชั้นมีจำนวน 3 ถัง (3 Treatment x 3 Replication) แต่ละถังเติมเชื้อไข่น้ำเริ่มต้นที่ 10 กรัมน้ำหนักเปียกต่อถัง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 28 วัน ทำการวัดความเข้มของแสงในแต่ละชั้นตลอดระยะเวลาการทดลอง และทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกสัปดาห์ เมื่อทดลองครบ 28 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดขึ้นมาชั่งหาน้ำหนักสด

ภาพที่ 7 แสดงภาพการทดลองที่ 3

4. การศึกษาการเพิ่มธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ

ทำการเลี้ยงไข่น้ำในถังไฟเบอร์กลาสกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร ความจุปริมาตร 200 ลิตร จำนวน 9 ถัง ในแต่ละถังใส่น้ำประปาจำนวน 100 ลิตร ใส่ปุ๋ยสูตรที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงไข่น้ำโดยใช้ผลจากการทดลองที่ 1.2 ที่ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างของแต่ละถังให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยง (ใช้ผลจากการทดลองที่ 1.4) นำเกลือ Calcium dihydrogen phosphate ($CaH_4O_8P_2H_2O$) และ EDTA มาเติมผสมในแต่ละถังการทดทอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 Treatment แต่ละ Treatment มีจำนวน 3 ซ้ำ (3 Treatment x 3 Replication) ดังนี้

Treatment ที่ 1 ใส่เกลือ $CaH_4O_8P_2H_2O$ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประมาณ 1 mM) ไม่เติม EDTA

Treatment ที่ 2 ใส่เกลือ $CaH_4O_8P_2H_2O$ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประมาณ 1 mM) เติม EDTA ประมาณ 0.5 mM

Treatment ที่ 3 ใส่เกลือ $CaH_4O_8P_2H_2O$ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประมาณ 2 mM) เติม EDTA ประมาณ 0.5 mM

ใส่เชื้อไข่น้ำเริ่มต้นที่ 50 กรัมน้ำหนักเปียกต่อถัง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 10 วัน ในระหว่างการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างตลอดระยะเวลาการเลี้ยง แต่ไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ เมื่อเลี้ยงครบ 10 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดมาชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งนำตัวอย่างต้นไข่น้ำจากการทดลองไปอบแห้งด้วยวิธี Dry freeze และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer

ภาพที่ 8 แสดงภาพการทดลองที่ 4

5. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์หาความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นไข่น้ำในชุดการทดลองที่ 1.1-1.6 ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของผลผลิตไข่น้ำในชุดการทดลองที่ 2-3 และความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของปริมาณแคลเซียมในชุดการทดลองที่ 4 ด้วยวิธี Analysis of variance และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลและวิจารณ์

ผล

การศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) และวิธีในการเพาะขยายพันธุ์แบบมหมวล ได้ทำการทดลองเป็นลำดับขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถเชื่อมต่อกับการทดลองลำดับถัดไป มีผลการทดลองทั้งหมด ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาอายุการเจริญเติบโต และปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มาจากการเก็บมาจากแหล่งกำเนิดหรือแหล่งเลี้ยงไข่น้ำในช่วงปลายฤดูหนาวเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ 2549 และในช่วงปลายฤดูฝนเมื่อเดือนตุลาคม 2549 มีพื้นที่เก็บตัวอย่างได้แก่ บ้านป่ายางหัวช้าง ตำบลยางน้อย อำเภอโกสุมพิสัย และบ้านโจดใต้ ตำบลกู่ทอง อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม และบ้านหนองตาไก้ ตำบลสารภี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น รวมทั้งตัวอย่างบางส่วนที่เก็บมาก่อนหน้านี้จากจังหวัดกำแพงเพชร

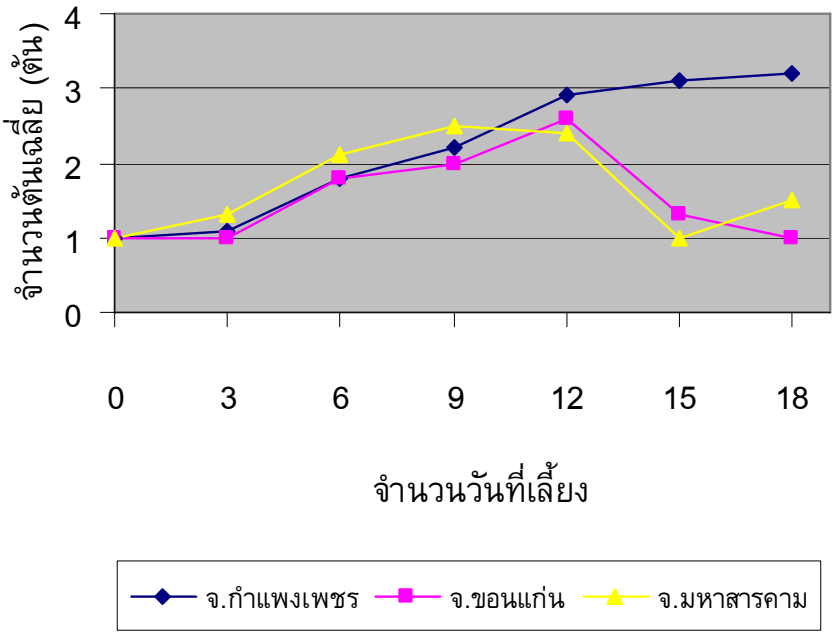
1.1 การศึกษาอายุการเจริญเติบโตของไข่น้ำ

การศึกษาอายุการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของไข่น้ำ นำไข่น้ำที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากจังหวัดกำแพงเพชร บ้านหนองตาไก้ จังหวัดขอนแก่น และบ้านโจด จังหวัดมหาสารคาม มาใช้ในการทดลอง ได้ผลดังตารางที่ 6 และภาพที่ 9 (วิเคราะห์ข้อมูลจากตารางภาคผนวกที่ 1 ถึง 4)

ตารางที่ 9 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 18 วัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ (ต้น)		
	จ. กำแพงเพชร	จ. ขอนแก่น	จ. มหาสารคาม
เริ่มต้น	1.0 ± 0.00	1.0 ± 0.00	1.0 ± 0.00
3	1.1 ± 0.32	1.0 ± 0.00	1.3 ± 0.48
6	1.8 ± 0.42	1.8 ± 0.42	2.1 ± 0.32
9	2.2 ± 0.63	2.0 ± 0.67	2.5 ± 0.71
12	2.9 ± 0.57	2.6 ± 0.84	2.4 ± 0.87
15	3.1 ± 0.74	1.3 ± 0.52	1.0 ± 1.00
18	3.2 ± 0.79	1.0 ± 0.53	1.5 ± 0.50

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง: เลี้ยงในน้ำจากแหล่งเก็บตัวอย่าง อุณหภูมิอากาศ 30-35 องศาเซลเซียส, ให้แสง 2.5-3.5 กิโลลักซ์ ที่ 12:12 ชั่วโมง



ภาพที่ 9 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 18 วัน

จากการทดลอง พบว่าตัวอย่างไข่น้ำที่เก็บมาจากกำแพงเพชร หนองตาไก้ และบ้านโจด เมื่อนำมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการมีแนวโน้มของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำต่อระยะเวลาการ

เลี้ยงในทิศทางเดียวกัน ซึ่งไข่น้ำมีจำนวนต้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลา 3-6 วันของการเลี้ยง โดยการแตกหน่อต้นใหม่ที่มีขนาดเล็กกว่าออกทางด้านข้างของต้นเดิม และมีจำนวนต้นสูงสุดในวันที่ 12 ของการเลี้ยง คือ มีจำนวนต้นไข่น้ำเฉลี่ยเท่ากันที่ 3 ต้น หลังจากนั้นจำนวนต้นของไข่น้ำจะเริ่มลดลง และพบมีจำนวนต้นต่ำสุดในวันที่ 15 ของการเลี้ยง เมื่อนำข้อมูลจำนวนต้นเฉลี่ยในวันที่ 12 ของการเลี้ยงมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า จำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำจากตัวอย่างของจังหวัดมหาสารคาม ขอนแก่น และกำแพงเพชร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 7) ดังนั้นในการศึกษาหัวข้อต่อไป จึงสามารถใช้ stock ไข่น้ำจากทุกแหล่งเก็บตัวอย่างมาใช้ในการทดลองได้อย่างเหมาะสมเท่าเทียมกัน นอกจากนี้ข้อมูลการทดลองยังบ่งชี้ว่า ไข่น้ำที่นำมาเลี้ยงจะมีอายุการเจริญเติบโตอยู่ที่ประมาณ 15 วัน ซึ่งสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการกำหนดระยะเวลาการทดลองลำดับต่อไปได้อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 10 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ กัน

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
1	10	2.4
2	10	2.6
3	10	2.9
Sig.		0.249

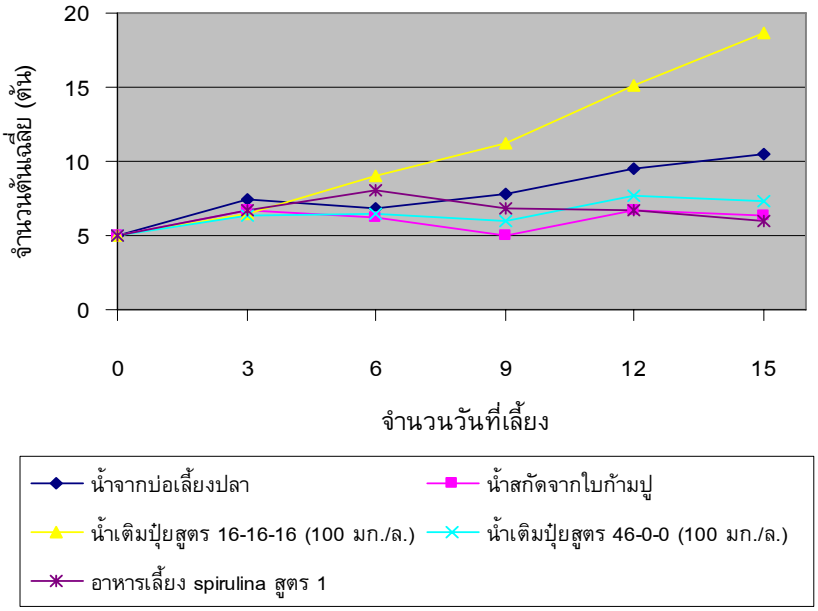
1.2 การศึกษาสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

ในการทดลองสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไข่น้ำเพื่อใช้เป็นอาหารมนุษย์ สารอาหารที่นำมาทดลองจึงเน้นการใช้ปุ๋ยเคมีและอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่ายเป็นหลัก แต่จากผลการสำรวจแหล่งไข่น้ำตามธรรมชาติ พบว่า มีใบก้ามปูสะสมอยู่เป็นจำนวนมากในบ่อเลี้ยง จึงได้นำใบก้ามปูนำมาใช้ในการทดลองด้วย ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 10 (วิเคราะห์ข้อมูลจากตารางภาคผนวกที่ 5 ถึง 10)

ตารางที่ 11 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีสารอาหารชนิดต่างๆ กัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ (ต้น)				
	น้ำจากบ่อเลี้ยงปลา	น้ำสกัดจากใบก้ามปู	น้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (100 มก./ล.)	น้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 46-0-0 (100 มก./ล.)	อาหารเลี้ยง *Spirulina* สูตร 1
เริ่มต้น	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00
3	7.5 ± 0.84	6.7 ± 1.37	6.5 ± 1.22	6.3 ± 1.21	6.7 ± 1.51
6	6.8 ± 1.33	6.2 ± 2.14	9.0 ± 2.10	6.5 ± 1.38	8.0 ± 1.26
9	7.8 ± 2.64	5.0 ± 1.41	11.2 ± 2.23	6.0 ± 1.10	6.8 ± 0.98
12	9.5 ± 3.08	6.7 ± 2.58	15.2 ± 4.62	7.7 ± 1.97	6.7 ± 3.08
15	10.5 ± 5.50	6.3 ± 2.50	18.7 ± 5.39	7.3 ± 2.34	6.0 ± 2.68

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง: อุณหภูมิอากาศ 30-35 องศาเซลเซียส
ให้แสง 2.5-3.5 กิโลลักซ์ ที่ 12:12 ชั่วโมง



ภาพที่ 10 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีสารอาหารชนิดต่างๆ กัน

จากการทดลอง พบว่าเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงไข่น้ำที่ 15 วัน ไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการจำนวนต้นเฉลี่ย (19 ต้น) สูงกว่าที่ได้การเลี้ยงในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา, น้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 46-0-0 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร, น้ำสกัดจากใบก้ามปู และน้ำเติมอาหารเลี้ยง *Spirulina* สูตร 1 (เฉลี่ยที่ 11, 8, 7 และ 6 ต้น ตามลำดับ) ซึ่งมีจำนวนต้นเฉลี่ยอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน โดยความแตกต่างของจำนวนต้นเริ่มปรากฏในวันที่ 9 ของการเลี้ยง และเมื่อนำข้อมูลจำนวนต้นเฉลี่ยในวันที่ 15 ของการเลี้ยงมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า จำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างจากการเลี้ยงไข่น้ำในอาหารชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 9 ดังนั้นจากข้อมูลการทดลองเท่าที่ปรากฏในการศึกษานี้ ปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 จึงเป็นสารอาหารที่มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไข่น้ำมากที่สุด

ตารางที่ 12 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีสารอาหารชนิดต่างๆ กัน

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
5	6	6.00	
2	6	6.33	
4	6	7.33	
1	6	10.50	
3	6		18.67
Sig.		0.082	1.000

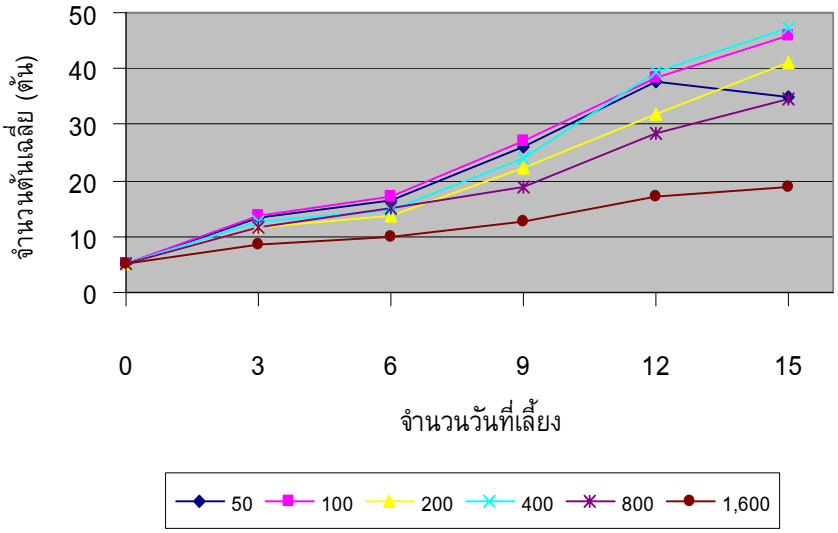
1.3 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

การทดลองนี้เป็นผลต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1.2 เพื่อหาระดับความเข้มข้นของปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ซึ่งเป็นปุ๋ยที่มีความเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ โดยนำไข่น้ำมาเลี้ยงในน้ำที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ระดับความเข้มข้น 6 ระดับ คือ 50, 100, 200, 400, 800 และ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพที่ 11 (วิเคราะห์ข้อมูลจากตารางภาคผนวกที่ 11 ถึง 17)

ตารางที่ 13 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ต่างๆ กัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ (ต้น)					
	50	**100**	**200**	**400**	**800**	**1,600**
เริ่มต้น	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00
3	13.5 ± 3.73	13.7 ± 3.61	11.7 ± 3.39	12.8 ± 1.83	11.5 ± 1.64	8.5 ± 1.87
6	16.3 ± 3.50	17.2 ± 3.49	13.7 ± 2.50	14.7 ± 2.16	15.0 ± 2.97	9.8 ± 2.04
9	26.0 ± 7.72	27.0 ± 7.59	22.2 ± 5.42	24.0 ± 4.00	19.0 ± 3.03	12.8 ± 3.06
12	37.6 ± 12.50	38.3 ± 12.40	31.8 ± 9.06	39.5 ± 10.25	28.3 ± 8.04	17.0 ± 3.03
15	35.0 ± 8.12	46.0 ± 13.06	41.2 ± 13.01	47.3 ± 10.98	34.7 ± 11.78	18.7 ± 2.88

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง: อุณหภูมิอากาศ 30-35 องศาเซลเซียส
ให้แสง 2.5-3.5 กิโลลักซ์ ที่ 12:12 ชั่วโมง



ภาพที่ 11 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการ เลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ต่างๆ กัน

จากการทดลอง พบว่าในวันที่ 12 ของการเลี้ยงไข่น้ำ ในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ระดับความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลผลิตไข่น้ำสูงสุด (เฉลี่ยที่ 40 ต้น) ซึ่งใกล้เคียงกับการเลี้ยงไข่น้ำที่ระดับความเข้มข้นของปุ๋ยที่ 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (เฉลี่ยที่ 39 และ 38 ต้น ตามลำดับ) รองลงมาได้แก่การเลี้ยงไข่น้ำที่ระดับความเข้มข้นของปุ๋ยที่ 200, 800 และ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร (เฉลี่ยที่ 32, 29 และ 17 ต้น ตามลำดับ) แต่หลังจากวันที่ 12 ของการเลี้ยง ไข่น้ำที่เลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของปุ๋ยที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มมีจำนวนต้นเฉลี่ยลดลง ขณะที่การเลี้ยงไข่น้ำที่ระดับความเข้มข้นของปุ๋ยที่ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ไข่น้ำมีจำนวนต้นเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง ซึ่งเมื่อนำข้อมูลจำนวนต้นเฉลี่ยในวันที่ 15 ของการเลี้ยงมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ ความเข้มข้น 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างจากการเลี้ยงไข่น้ำที่ระดับความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 11 ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า หากจะนำปุ๋ยสูตร 16-16-16 มาใช้ในการเลี้ยงไข่น้ำ สามารถจะใช้ได้ตั้งแต่ระดับความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไปจนถึง 800 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่การใช้ปุ๋ยที่ระดับความเข้มข้นของปุ๋ยที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบไข่น้ำเริ่มมีจำนวนต้นลดลงเมื่อมีระยะเวลาการเลี้ยงนานขึ้น ขณะที่การใช้ปุ๋ยในระดับความเข้มข้นสูง จะเป็นการสิ้นเปลือง จึงกล่าวได้ว่า การใช้ปุ๋ยเพียงที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ควรเป็นระดับที่มีความเหมาะสมต่อการใช้เลี้ยงไข่น้ำมากที่สุดสำหรับการทดลองนี้

ตารางที่ 14 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ต่างๆ กัน

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
6	6	18.67	
5	6		34.67
1	4		35.00
3	6		41.17
2	5		46.00
4	6		47.33
Sig.		1.000	0.091

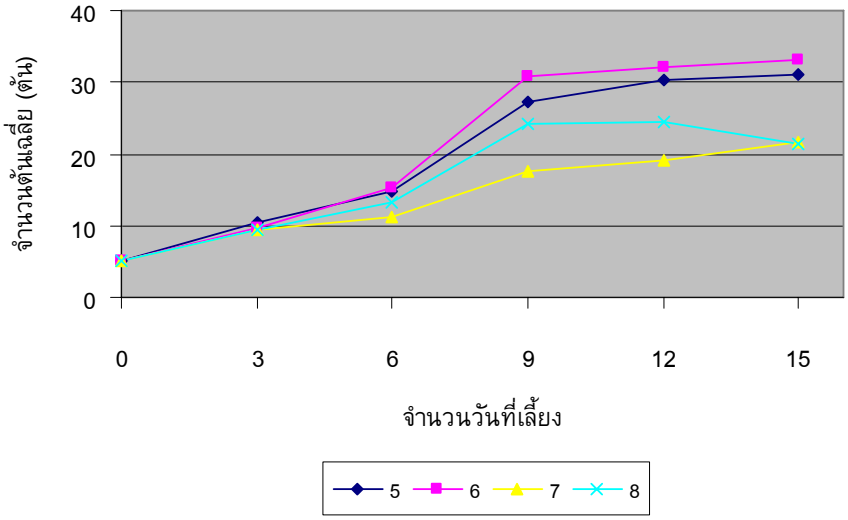
1.4 การศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

จากการสำรวจบ่อเลี้ยงไข่น้ำธรรมชาติ พบว่าบ่อที่ให้ผลผลิตไข่น้ำจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7 การทดลองครั้งนี้ จึงดำเนินการเพื่อทราบถึงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ ในการทดลอง ได้นำไข่น้ำมาเลี้ยงในน้ำที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ผลจากการทดลองที่ 2 และ 3) นำมาเลี้ยงในน้ำเลี้ยงที่มีระดับความเป็นกรด-ด่าง ต่างกัน 4 ระดับ คือ 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 12 และภาพที่ 12 (วิเคราะห์ข้อมูลจากตารางภาคผนวกที่ 18 ถึง 22)

ตารางที่ 15 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ (ต้น)			
	5.0	**6.0**	**7.0**	**8.0**
เริ่มต้น	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00
3	10.3 ± 0.82	9.7 ± 0.82	9.3 ± 1.51	9.3 ± 1.21
6	14.7 ± 3.01	15.3 ± 3.33	11.3 ± 3.44	13.3 ± 3.72
9	27.3 ± 4.37	30.8 ± 5.91	17.7 ± 7.00	24.2 ± 2.40
12	30.3 ± 1.37	32.2 ± 1.72	19.0 ± 8.65	24.3 ± 2.34
15	35.2 ± 3.70	33.2 ± 1.72	21.7 ± 16.42	21.3 ± 5.24

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง: เลี้ยงในน้ำที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร, อุณหภูมิอากาศ 30-35 องศาเซลเซียส, ให้แสง 2.5-3.5 กิโลลักซ์ ที่ 12:12 ชั่วโมง



ภาพที่ 12 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

จากการทดลอง พบว่าไข่น้ำจะมีอัตราการแตกหน่อสูงเมื่อเลี้ยงในน้ำเลี้ยงที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ โดยไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 และ 6 มีจำนวนต้นเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 3 วัน อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ซึ่งแตกต่างจากการเลี้ยงในน้ำเลี้ยงที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7 และ 8 โดยเริ่มปรากฏความแตกต่างตั้งแต่ในวันที่ 9 ของการเลี้ยง และเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงในระยะเวลา 15 วัน ปรากฏว่าไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเลี้ยงที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 มีจำนวนต้นเฉลี่ยสูงที่สุด (เฉลี่ยที่ 36 ต้น) รองลงมาได้แก่ไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเลี้ยงที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6, 7 และ 8 ตามลำดับ (เฉลี่ยที่ 34, 22 และ 22 ต้น ตามลำดับ) เมื่อนำข้อมูลจำนวนต้นเฉลี่ยในวันที่ 15 ของการเลี้ยงมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า จำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 และ 6 ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากการเลี้ยงไข่น้ำในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 13 จากข้อมูลดังการทดลองนี้ จึงกล่าวในเบื้องต้นได้ว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีความเหมาะสมสำหรับการขยายแพร่พันธุ์ของไข่น้ำ จะอยู่ที่ระหว่าง 5-6

ตารางที่ 16 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4	6	21.33	
3	6	21.67	
2	6		33.17
1	5		35.20
Sig.		1.000	0.091

1.5 การศึกษาระดับความกระด้างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

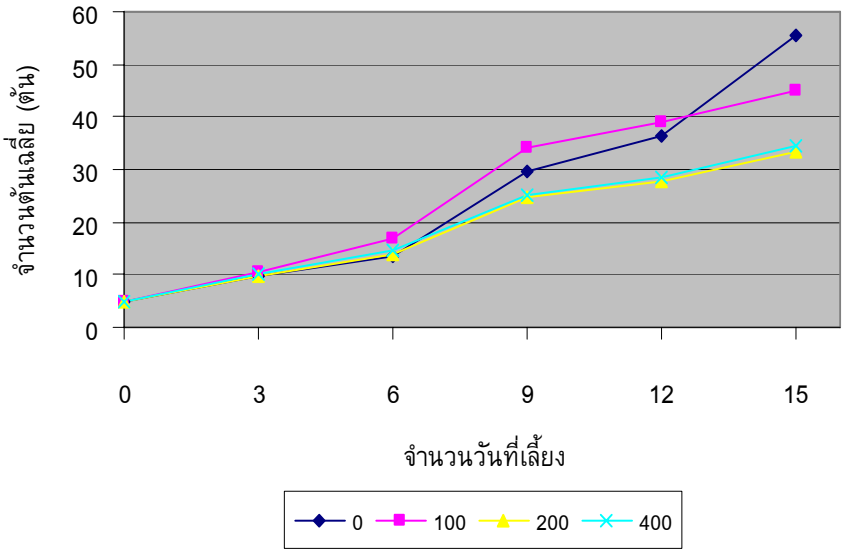
การทดลองเพื่อศึกษาค่าความกระด้างของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ โดยนำไข่น้ำมาเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้อยู่ที่ระดับ 6.0-6.5 และปรับค่าความกระด้างของน้ำที่เลี้ยงให้แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 14 และภาพที่ 13 (วิเคราะห์ข้อมูลจากตารางภาคผนวกที่ 23 ถึง 27)

จากการทดลอง พบว่าอัตราการเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำจะลดลงเมื่อน้ำเลี้ยงมีค่าความกระด้างเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 12 ของการเลี้ยง ไข่น้ำที่เลี้ยงด้วยน้ำที่มีค่าความกระด้าง 0 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต มีจำนวนต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และสูงกว่าการเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความความกระด้าง 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งความแตกต่างของจำนวนต้นเริ่มปรากฏตั้งแต่วันที่ 9 ของการเลี้ยง เมื่อเลี้ยงไข่น้ำครบ 15 วัน พบว่าไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำซึ่งมีค่าความกระด้าง 0 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนต มีจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำสูงที่สุด (56 ต้น) รองลงมาได้แก่ ไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำซึ่งมีค่าความกระด้าง 100, 400 และ 200 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนต (เฉลี่ยที่ 46, 35 และ 34 ต้น ตามลำดับ)

ตารางที่ 17 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้างต่างๆ กัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ (ต้น)			
	0	**100**	**200**	**400**
เริ่มต้น	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00
3	9.7 ± 0.52	10.3 ± 0.52	9.8 ± 0.41	10.2 ± 0.41
6	13.5 ± 3.62	16.8 ± 4.17	14.0 ± 3.22	14.7 ± 2.25
9	29.5 ± 7.64	34.0 ± 9.53	24.8 ± 5.78	25.2 ± 4.96
12	36.5 ± 10.05	38.8 ± 9.66	27.7 ± 7.06	28.5 ± 5.82
15	55.3 ± 14.33	45.2 ± 9.28	33.5 ± 8.07	34.5 ± 8.38

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง: เลี้ยงในน้ำที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร, อุณหภูมิอากาศ 30-35 องศาเซลเซียส, ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.2-6.5 ให้แสง 2.5-3.5 กิโลลักซ์ ที่ 12:12 ชั่วโมง



ภาพที่ 13 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้างต่างๆ กัน

จากการนับจำนวนต้นไข่น้ำในทุก 3 วัน พบว่าจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงที่ 15 วัน พบไข่น้ำมีจำนวนต้นเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อเลี้ยงที่ความเข้มแสง 10,500 ลักซ์ (99 ต้น) และเป็นจำนวนต้นเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับการเลี้ยงที่ความเข้มแสง 7,100 และ 5,100 ลักซ์ (เฉลี่ย 82 และ 80 ต้น ตามลำดับ) แต่จะแตกต่างจากการเลี้ยงที่ความเข้มแสง 1,500 ลักซ์ (เฉลี่ย 22 ต้น) ซึ่งมีการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำน้อยที่สุด โดยความแตกต่างเริ่มปรากฏตั้งแต่วันที่ 6 ของการเลี้ยง เมื่อนำข้อมูลจำนวนต้นเฉลี่ยในวันที่ 15 ของการเลี้ยงไปวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า จำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้าง 0 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต ไม่มีความแตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากการเลี้ยงไข่น้ำในน้ำที่มีค่าความกระด้าง 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 15 ผลจากการทดลองนี้จึงแสดงว่า ค่าความกระด้างที่มีความเหมาะสมการเลี้ยงไข่น้ำ ควรมีระดับไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 18 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้างต่างๆ กัน

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4	6	33.50	
3	6	34.50	
2	6	45.17	45.17
1	6		55.33
Sig.		0.078	0.104

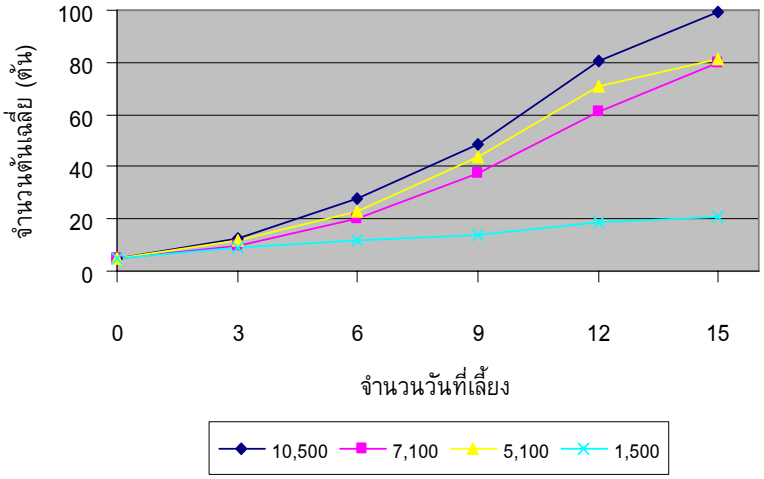
1.6 การศึกษาระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

การทดลองเพื่อศึกษาความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ ดำเนินการโดยนำไข่น้ำมาเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงอยู่ที่ระดับประมาณ 6 เลี้ยงในตู้เลี้ยงสาหร่าย และใช้พลาสติกขุ่นบังแสง มีระดับความเข้มแสงในการทดลอง 4 ระดับ คือ 10,500 ลักซ์, 7,100 ลักซ์, 5,100 ลักซ์ และ 1,500 ลักซ์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 16 และภาพที่ 14 (วิเคราะห์ข้อมูลจากตารางภาคผนวกที่ 28 ถึง 32)

ตารางที่ 19 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ กัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ (ต้น)			
	10,500	**7,100**	**5,100**	**1,500**
เริ่มต้น	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00	5.0 ± 0.00
3	12.8 ± 2.56	10.0 ± 2.28	11.5 ± 1.64	8.8 ± 0.75
6	27.7 ± 4.50	20.0 ± 4.73	22.7 ± 3.72	12.0 ± 1.79
9	48.5 ± 14.69	37.8 ± 13.61	43.7 ± 8.29	14.2 ± 2.23
12	80.8 ± 37.59	61.3 ± 19.51	70.8 ± 16.09	18.5 ± 2.74
15	99.0 ± 64.08	79.7 ± 32.80	81.5 ± 33.22	21.2 ± 3.76

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง: เลี้ยงในน้ำที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร, อุณหภูมิอากาศ 27 องศาเซลเซียส, ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 6.0, ให้แสงที่รอบ 12:12 ชั่วโมง



ภาพที่ 14 การเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ กัน

เมื่อนำข้อมูลจำนวนต้นเฉลี่ยในวันที่ 15 ของการเลี้ยงไปวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำที่เลี้ยงที่ความเข้มแสง 1,500 ลักซ์ มีความแตกต่างจากการเลี้ยงไข่น้ำที่ความเข้มแสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 17 ผลการทดลองนี้จึงบ่งชี้ว่า ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ จึงควรมีค่าสูงกว่า 5,000 ลักซ์ขึ้นไป

ตารางที่ 20 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ กัน

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4	6	21.17	
2	6		79.67
3	6		81.50
1	6		99.00
Sig.		1.000	0.435

2. การศึกษาทดลองเลี้ยงไข่น้ำในระยะยาวเพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการเลี้ยงในระบบฟาร์ม

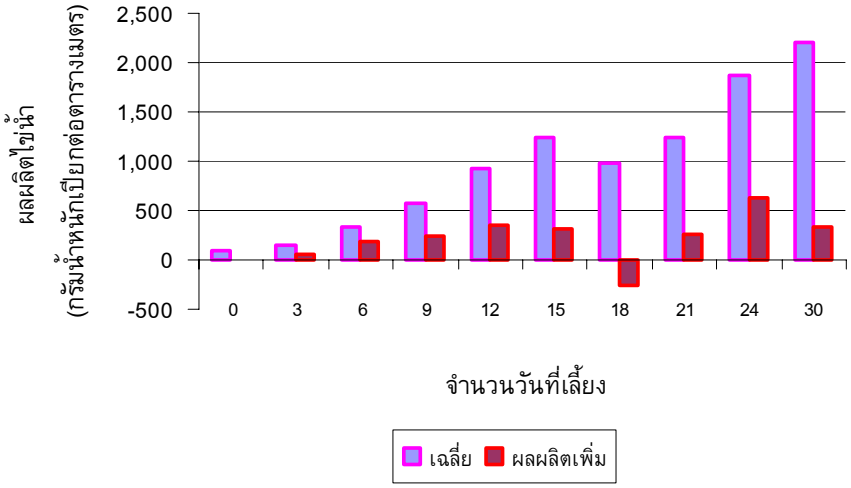
การทดลองเลี้ยงไข่น้ำระยะยาวเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเลี้ยงในระบบฟาร์ม เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตไข่น้ำตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น โดยมีระยะเวลาในการทดลอง 30 วัน มีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 18 และภาพที่ 15

จากการเลี้ยงไข่น้ำในระยะเวลา 30 วัน พบว่าไข่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นและลดลงแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงครึ่งเดือนแรก ซึ่งจากการชั่งวัดในทุก 3 วัน พบไข่น้ำมีอัตราการเพิ่มจำนวนผลผลิตมากขึ้นตามลำดับ โดยผลผลิตเพิ่มในทุก 3 วัน มีค่าสูงสุดในวันที่ 12 ของการเลี้ยง ที่ 345 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตรวมเฉลี่ยที่ 925 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร จากนั้นไข่น้ำมีอัตราการเพิ่มผลผลิตลดลง โดยในวันที่ 15 ของการเลี้ยง ไข่น้ำมีผลผลิตเพิ่มในทุก 3 วัน ลดลงเป็น 313 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร แต่ยังคงมีผลผลิตรวมโดยเฉลี่ยสูงขึ้นเป็น 1,237 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร และในวันที่ 18 ของการเลี้ยง ไข่น้ำไม่มีการเพิ่มผลผลิต รวมทั้งมีผลผลิตรวมโดยเฉลี่ยลดลงเหลือ 985 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร หลังจากนั้นในช่วงครึ่งเดือนหลังไข่น้ำเริ่มมีผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง โดยในวันที่ 24 ของการเลี้ยง พบมีผลผลิตเพิ่มในทุก 3 วันที่ 624 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นผลผลิตเพิ่มที่สูงที่สุดตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ส่งผลให้มีผลผลิตรวมโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 1,866 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ไข่น้ำผลผลิตเพิ่มในทุก 3 วันที่ 333 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร และมีผลผลิตเฉลี่ยรวมที่ 2,199 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร ผลจากการทดลองนี้ จึงบ่งชี้ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการเลี้ยงไข่น้ำแบบมหมวลอย่างต่อเนื่องในระบบฟาร์ม ซึงในการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 30 วัน จะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตไข่น้ำได้เฉลี่ยที่ 2.2 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร

ตารางที่ 21 ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นของไข่น้ำทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	ผลผลิตไข่น้ำ (กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร)				
	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	เฉลี่ย	ผลผลิตเพิ่ม
เริ่มต้น	100	100	100	100.0 ± 0.00	0.0
3	145	194	106	148.3 ± 44.09	48.3
6	274	369	355	332.7 ± 51.29	184.3
9	503	539	696	579.3 ± 102.63	246.7
12	833	983	957	924.3 ± 80.53	345.0
15	1,142	1,268	1,300	1,236.7 ± 83.53	312.3
18	1,116	794	1,044	984.7 ± 169.00	-252.0
21	1,178	1,226	1,322	1,242.0 ± 73.32	257.3
24	1,996	2,014	1,587	1,865.7 ± 241.50	623.7
30	2,334	2,135	2,126	2,198.3 ± 117.58	332.7

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง: เลี้ยงในน้ำที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร, ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 6.0



ภาพที่ 15 ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นของไข่น้ำทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน

นอกจากนี้ จากการนำผลผลิตไข่น้ำที่ได้จากการเลี้ยงทุกๆ 6 วัน ไปวิเคราะห์ค่า Beta-carotene พบว่า ไข่น้ำจะมีค่า Beta-carotene เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น โดยในไข่น้ำที่มีระยะเวลาการเลี้ยงที่ 6, 12 และ 18 วัน พบมีค่า Beta-carotene เท่ากับ 140.8, 177.1 และ 492.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และในไข่น้ำที่มีระยะเวลาการเลี้ยง 24 วัน พบมีค่า Beta-carotene อยู่ที่ 631.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ดังได้แสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 19

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ Beta-carotene จากตัวอย่างที่เลี้ยงในระยะยาว

ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)	Beta-carotene (มก./ก.ก. น้ำหนักแห้ง)
6	140.8
12	177.1
18	492.0
24	631.9

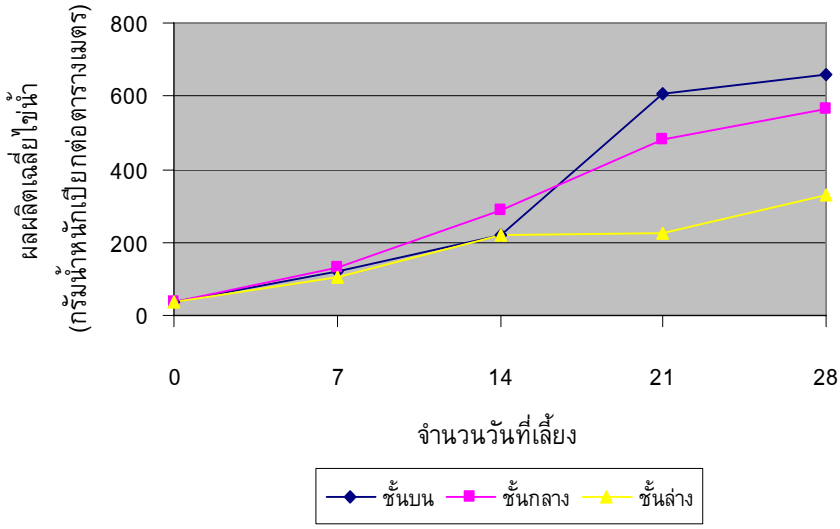
3. การศึกษาการขยายผลผลิตไข่น้ำโดยการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น

ไข่น้ำเป็นพืชลอยน้ำ มีการเจริญเติบโตเฉพาะบริเวณผิวน้ำ การเพาะเลี้ยงไข่น้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงจึงจำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงมาก อย่างไรก็ตาม รูปแบบการเลี้ยงไข่น้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่ใช้งานให้มากขึ้น สามารถทำได้โดยการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น แต่เนื่องจากการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น จะมีความแตกต่างในด้านความเข้มแสงในแต่ละระดับชั้น ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและต่อผลผลิตไข่น้ำ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลผลิตไข่น้ำที่ได้จากการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเทคนิคของวิธีเลี้ยงนี้ ซึ่งจากการทดลองได้ผลดังแสดงในตารางที่ 20 และภาพที่ 16 (วิเคราะห์ข้อมูลจากตารางภาคผนวกที่ 33 ถึง 36)

ตารางที่ 23 ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยในแต่ละชั้นของการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น เป็นระยะเวลา 28 วัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ย (กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร)		
	ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง
เริ่มต้น	37.0 ± 0.00	37.0 ± 0.00	37.0 ± 0.00
7	119.6 ± 3.27	132.2 ± 10.94	105.6 ± 10.68
14	220.2 ± 6.78	289.4 ± 11.20	219.1 ± 79.88
21	604.5 ± 12.79	480.3 ± 121.31	223.9 ± 91.13
28	657.3 ± 29.08	562.4 ± 193.35	329.7 ± 143.59

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง: ชั้นบนได้รับปริมาณความเข้มแสงร้อยละ 100
ชั้นกลางได้รับปริมาณความเข้มแสงร้อยละ 70
ชั้นล่างได้รับปริมาณความเข้มแสงร้อยละ 60



ภาพที่ 16 ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยในแต่ละชั้นของพื้นที่เลี้ยงทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 28 วัน

จากการวัดความเข้มแสงในแต่ละชั้นของถังทดลอง พบว่าตลอดการทดลอง ถังทดลองชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง ได้รับปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ยที่ประมาณ 25,000, 17,500 และ 15,000 ลักซ์ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 100, 70 และ 60 ของความเข้มแสงสูงสุดภายในอาคาร โดยไข่น้ำที่เลี้ยงในถังทดลองชั้นบนซึ่งได้รับแสงทั่วทั้งผิวน้ำ จะมีการแตกหน่ออย่างรวดเร็ว แต่ไข่น้ำที่เลี้ยงในถังทดลองชั้นกลางและชั้นล่าง เนื่องจากมีพื้นที่บางส่วนถูกเงาของถังทดลองที่อยู่ชั้นบนกว่าบดบัง

แสงไว้ มีผลให้ไข่น้ำที่เลี้ยงในชั้นล่างลงมา มีการเจริญเติบโตช้าและให้ผลผลิตต่ำกว่าตามลำดับ โดยผลผลิตไข่น้ำในแต่ละชั้นทดลอง จะเริ่มปรากฏความแตกต่างอย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 14 ของการเลี้ยง วัน และเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงในเวลา 28 วัน พบว่าไข่น้ำที่เลี้ยงในถังทดลองชั้นบนมีผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุด (657.3±29.08 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร) รองลงมาได้แก่ ผลผลิตไข่น้ำที่เลี้ยงในถังทดลองชั้นกลางและชั้นล่าง (562.4±193.35 และ 329.7±43.59 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร ตามลำดับ) และมีผลผลิตไข่น้ำรวมจากการเลี้ยงทั้ง 3 ชั้นที่ประมาณ 4.6 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร และเมื่อนำข้อมูลผลผลิตไข่น้ำในวันที่ 28 ของการเลี้ยงไปวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยที่เลี้ยงในถังทดลองชั้นบน (ปริมาณความเข้มแสงร้อยละ 100) ไม่แตกต่างจากการเลี้ยงไข่น้ำชั้นกลาง (ปริมาณความเข้มแสงร้อยละ 70) แต่แตกต่างจากการเลี้ยงชั้นล่าง (ปริมาณความเข้มแสงร้อยละ 60) อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 21

ตารางที่ 24 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการเพิ่มผลผลิตไข่น้ำในแต่ละระดับชั้นของพื้นที่ที่ใช้ในการเลี้ยง

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
3	3	329.6	
2	3	562.4	562.4
1	3		657.3
Sig.		0.880	0.439

4. การศึกษาการเพิ่มธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ

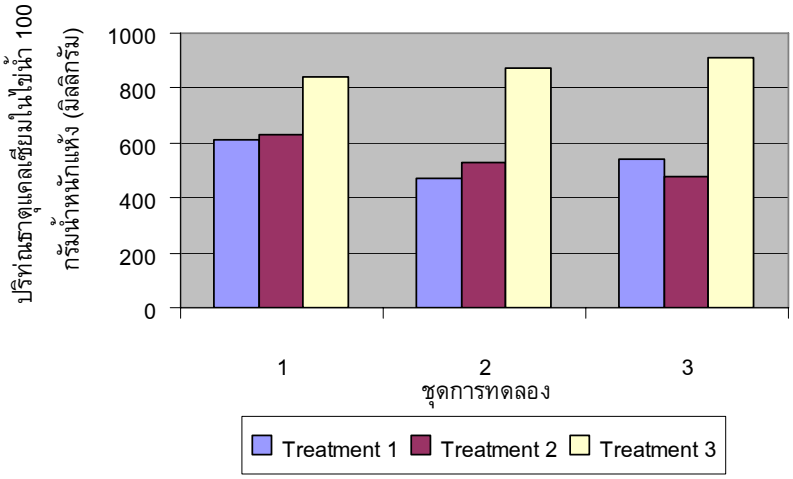
ก่อนการทดลองนี้ ได้นำเกลือแคลเซียมชนิดต่าง ๆ มาทดสอบคุณสมบัติ และพบว่าเกลือ Calcium dihydrogen phosphate ($CaH_4O_8P_2H_2O$) มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุด เนื่องจากแ)นเกลือที่ละลายน้ำได้ดี ให้ธาตุแคลเซียมละลายน้ำสูง รวมทั้งมีผลทำให้น้ำเลี้ยงมีปฏิกริยาเป็นกรดและไม่มีความกระด้าง ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ จึงได้นำเกลือชนิดนี้มาผสมในน้ำเลี้ยงเพื่อเพิ่มธาตุแคลเซียมในต้นไข่น้ำ สำหรับเกลือ EDTA ถูกนำมาใช้เพื่อเป็น chealate จับกับธาตุโลหะให้ถูกดูดซับเข้าสู่เนื้อเยื่อของพืชได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจากการทดลองได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 22 และภาพที่ 17 (วิเคราะห์ข้อมูลจากตารางภาคผนวกที่ 37 และ 38)

ตารางที่ 25 คุณสมบัติน้ำเลี้ยง ผลผลิต และปริมาณธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน เป็นระยะ เวลา 10 วัน

ชุดการทดลอง		คุณสมบัติน้ำ/ผลผลิต /ปริมาณธาตุแคลเซียม				
		ความเป็นกรด-ด่าง	ความกระด้าง (mg/l as $CaCO_3$)	ปริมาณธาตุแคลเซียมในน้ำเลี้ยง (mg/l)	ผลผลิต (กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร)	ปริมาณธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (mg)
Treatment 1	R1	4.9	162	52.7	540.5	610
	R2	4.8	160	56.5	480.7	470
	R3	4.7	160	55.7	338.9	540
	เฉลี่ย	4.8±0.1	160.7±1.2	55.0±2.0	453.4±103.5	540.0±70.0
Treatment 2	R1	5.0	120	57.0	576.8	630
	R2	5.0	120	55.9	490.9	530
	R3	5.0	120	57.1	488.0	480
	เฉลี่ย	5.0±0.0	120±0.0	56.7±0.7	518.6±50.5	546.7±76.4
Treatment 3	R1	4.8	200	73.2	599.4	840
	R2	4.8	200	72.5	549.0	870
	R3	4.8	200	72.1	481.2	910
	เฉลี่ย	4.8±0.0	200±0.0	72.6±0.6	543.2±59.3	873.3±35.1

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง: ความเข้มแสง 7,000-9,000 ลักซ์

ปริมาณธาตุแคลเซียมในไข่น้ำก่อนการทดลองเฉลี่ย 635 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 17 ปริมาณธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน เป็นระยะ เวลา 10 วัน

จากการทดลอง พบว่า ไข่น้ำที่เลี้ยงไว้ในชุดการทดลองทั้ง 3 กล่าวคือ (1) เติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 250 ppm (2) เติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 250 ppm และ EDTA 0.5 mM และ (3) เติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 500 ppm และ EDTA 0.5 mM มีผลผลิตเฉลี่ยในระยะเวลาการเลี้ยง 10 วันอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 23) คือเฉลี่ยที่ 453, 518 และ 543 กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร ตามลำดับ

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแคลเซียมในไข่น้ำอบแห้ง พบว่าไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเลี้ยงเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 500 ppm และ EDTA (Treatment 3) มีปริมาณธาตุแคลเซียมเฉลี่ยในไข่น้ำสูงสุด คือที่ 873.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าในไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเลี้ยงเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 250 ppm และ EDTA (Treatment 2) และในไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเลี้ยงเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 250 ppm (Treatment 1) ที่มีปริมาณแคลเซียมในต้นไข่น้ำเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือที่ 546.7 และ 540.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณธาตุแคลเซียมที่พบในต้นไข่น้ำในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 นี้ เป็นปริมาณที่ไม่สูงกว่าในต้นไข่น้ำก่อนการทดลอง (635 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ขณะที่ในไข่น้ำที่เลี้ยงด้วยน้ำเลี้ยงเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 500 ppm และ EDTA (Treatment 3) จะมีปริมาณธาตุแคลเซียมสูงกว่าในไข่น้ำก่อนการทดลองประมาณร้อยละ 40 และจากการนำข้อ

มูลปริมาณธาตุแคลเซียมเฉลี่ยในไข่น้ำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ปริมาณธาตุแคลเซียมเฉลี่ยในไข่น้ำที่เลี้ยงด้วยเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 250 ppm (Treatment 1) จะไม่แตกต่างกับปริมาณธาตุแคลเซียมเฉลี่ยในไข่น้ำที่เลี้ยงด้วยน้ำเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 250 ppm และ EDTA (Treatment 2) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณธาตุแคลเซียมเฉลี่ยในไข่น้ำที่เลี้ยงด้วยน้ำเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 500 ppm และ EDTA (Treatment 3) ดังแสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 24

ผลจากการทดลองนี้ บ่งชี้ถึงศักยะและความเป็นไปได้ในการนำไข่น้ำมาใช้ในการดูดซับธาตุแคลเซียมเพื่อผลิตเป็นอาหารเสริมของมนุษย์ รวมทั้งบ่งชี้ว่า การใช้เกลือ EDTA จะไม่ให้ผลและอาจไม่จำเป็นสำหรับนำไปใช้ในการดูดซับธาตุแคลเซียมของไข่น้ำ

ตารางที่ 26 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยที่เลี้ยงในน้ำเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
1	3	453.4
2	3	518.6
3	3	543.2
Sig.		0.205

ตารางที่ 27 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุแคลเซียมเฉลี่ยในไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1	3	540.0	
2	3	546.7	
3	3		873.3
Sig.		0.901	1.000

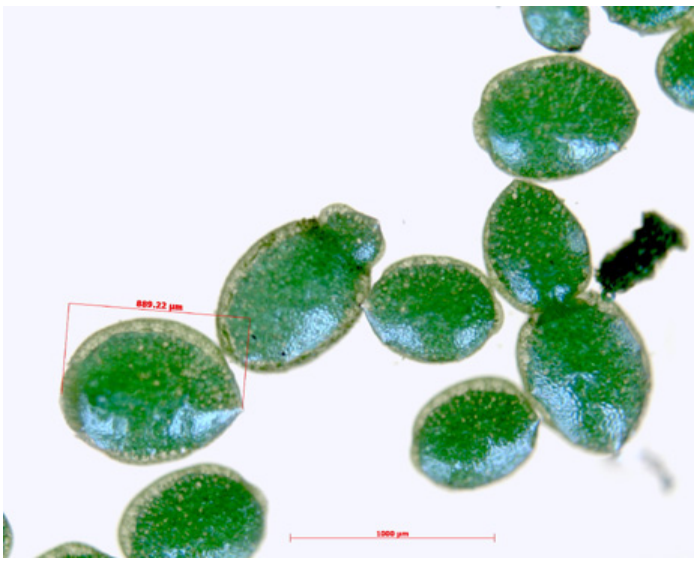
วิจารณ์

การศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) และวิธีในการเพาะขยายพันธุ์แบบมหมวล ได้ทำการสำรวจแหล่งกำเนิดไข่น้ำในจังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เพื่อทำการเก็บตัวอย่างไข่น้ำมาทดลองเลี้ยงในห้อง ปฏิบัติการ และสำรวจคุณสมบัติน้ำในแหล่งที่พบไข่น้ำเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาทดลองต่อไป โดยได้ทำการทดลองทั้งในห้องปฏิบัติการและกลางแจ้ง เป็นลำดับขั้นตอนในหัวข้อต่างๆ ดังนี้ 1) การศึกษาอายุการเจริญเติบโตและปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ ประกอบ ด้วยการศึกษาอายุการเจริญเติบโตของไข่น้ำ การศึกษาสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ การศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ การศึกษาระดับความกระด้างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ และการศึกษาระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ 2) การศึกษาการทดลองเลี้ยงไข่น้ำในระยะยาวเพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการเลี้ยงในระบบฟาร์ม 3) การศึกษาการขยายผลผลิตไข่น้ำโดยการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น และ 4) การศึกษาการเพิ่มธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ

1. การศึกษาอายุการเจริญเติบโต และปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

1.1 การศึกษาอายุการเจริญเติบโตของไข่น้ำ

จากการทดลองเลี้ยงไข่น้ำในจานแก้ว พบว่าไข่น้ำมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยมีการแตกหน่อ (budding) แบ่งทัลลัสใหม่ออกทางด้านข้างของทัลลัสเดิม (ดังแสดงในภาพที่ 18) ซึ่งการแตกหน่อจะเริ่มพบในประมาณวันที่ 3-6 ของการเลี้ยง ทั้งนี้สุมาลี (2526) กล่าวว่าไข่น้ำจะแตกหน่อให้ต้นใหม่ทุกๆ 4 วัน เมื่อเลี้ยงในพื้นที่ที่มีปริมาณความเข้มแสง 1,300 ลักซ์ นอกจากนี้ยังพบว่าของไข่น้ำมีจำนวนต้นเฉลี่ยสูงสุดในวันที่ 12 ของการเลี้ยง จากนั้นจะลดลงตามลำดับเนื่องจากเริ่มมีการตายของต้นแม่ จนกระทั่งมีจำนวนน้อยสุดในวันที่ 15 ของการเลี้ยง จากข้อมูลนี้ ทำให้สามารถประเมินในเบื้องต้นได้ว่า ไข่น้ำที่ใช้ในการทดลอง จะมีอายุการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ 15 วัน โดยประมาณ



ภาพที่ 18 แสดงลักษณะการแตกหน่อ (budding) ของไข่น้ำ

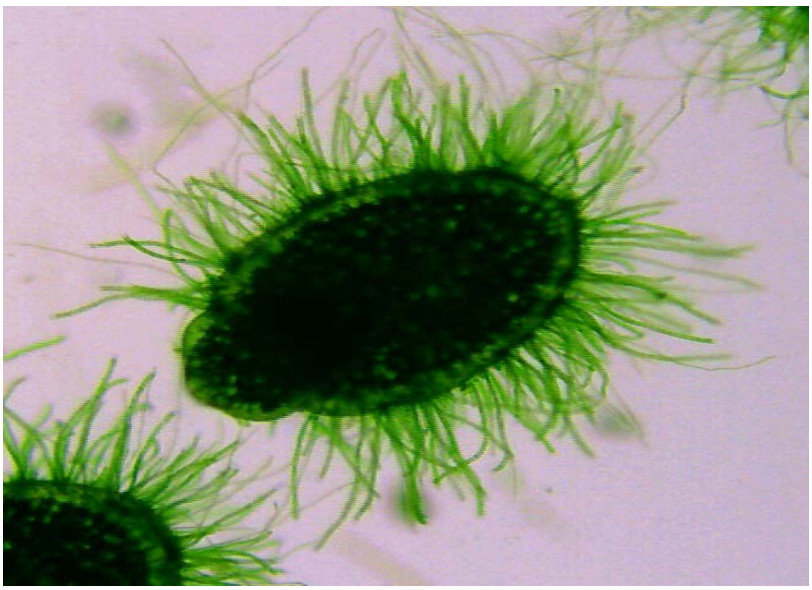
1.2 การศึกษาสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

ผลของการเลี้ยงไข่น้ำด้วยสารอาหารชนิดต่าง ๆ พบว่าการเลี้ยงไข่น้ำด้วยน้ำที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 จะมีความเหมาะสมในการเลี้ยงไข่น้ำมากที่สุด เนื่องจากปุ๋ยชนิดนี้มีส่วนประกอบของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ในการเจริญเติบโตครบถ้วนและเพียงพอ โดยไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในการสร้างกรดอะมิโน โปรตีน co-enzyme นิวคลีอิก และคลอโรฟิลล์ในพืช ขณะที่ฟอสฟอรัสให้พลังงานแก่พืช ช่วยกระตุ้นการแตกหน่อ และทำให้พืชแข็งแรงทนทานต่อโรค สำหรับโปตัสเซียมทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของ enzyme และ co-enzyme ที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์โปรตีน และช่วยให้พืชใช้ธาตุไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สมบุญ, 2548) ซึ่งถ้าขาดธาตุอาหารเหล่านี้ การเจริญเติบโตของพืชจะชะงักหรือลดลง ดังจะเปรียบเทียบได้จากไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา น้ำสกัดจากใบก้ามปู น้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 46-0-0 และอาหารเลี้ยง *Spirulina* สูตร 1 ซึ่งให้ธาตุอาหารทั้งสามไม่ครบถ้วนหรือไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต จะมีการแตกหน่อและมีจำนวนต้นเฉลี่ยน้อยกว่าการเลี้ยงในน้ำมที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ทั้งนี้ จากการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตและปริมาณแอมโมเนียในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาและน้ำที่สกัดจากใบก้ามปู พบมีความเข้มข้นอยู่ต่ำมาก กล่าวคือน้ำสกัดจากใบก้ามปูมีปริมาณแอมโมเนียเพียง 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำในบ่อเลี้ยงปลา มีออร์โธฟอสเฟตเพียง 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นไข่น้ำ ที่เลี้ยงในน้ำที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน พบว่า ความเข้มข้นของปุ๋ยที่ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นไข่น้ำน้อยกว่าและแตกต่างจากความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไข่น้ำ จะมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 50-800 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้ความเข้มข้นสูงเกินกว่านี้ จะส่งผลให้การแตกหน่อของไข่น้ำลดลง อย่างไรก็ตาม ที่ความเข้มข้นปุ๋ย 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าสารอาหารจะไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำในระยะยาว โดยพบว่าไข่น้ำที่เลี้ยงด้วยความเข้มข้นปุ๋ย 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนต้นเฉลี่ยลดลงในวันที่ 12 ของการเลี้ยง ในขณะที่ในความเข้มข้น 100-800 มิลลิกรัมต่อลิตร ไข่น้ำยังมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะฉะนั้น ในการเลี้ยงไข่น้ำระยะยาวควรเลือกใช้ปุ๋ยที่ระดับความเข้มข้น 100-800 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการเลี้ยงจึงควรเลือกใช้ปุ๋ยที่มีความเข้มข้นต่ำไว้ก่อน ดังนั้น ความเข้มข้นของปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่มีความเหมาะสมในการเลี้ยงไข่น้ำมากที่สุดจึงควรอยู่ที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

นอกจากนี้ จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนต้นไข่น้ำที่เลี้ยงด้วยน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรเหมือนกัน ในระหว่างการทดลองที่ 1.3 นี้ กับการทดลองชนิดสารอาหารที่เหมาะสม (การทดลองที่ 1) พบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนต้นไข่น้ำที่ได้จากการทดลองนี้จะมีค่าสูงกว่าอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากในการทดลองที่ 1.2 พบมีสาหร่ายประเภท attached algae มาเกาะติดกับต้นไข่น้ำ จากการวิเคราะห์ พบว่าเป็นสาหร่ายสีเขียวชนิด *Ulothrix aequalis* (ดังแสดงในภาพที่ 19) ซึ่งเป็นสาหร่ายชนิดเดียวกับที่พบเกาะติดกับพรรณไม้น้ำในตู้เลี้ยงปลาสวยงานน้ำจืดทั่วไป สาหร่ายดังกล่าวนี้ จะแย่งอาหารภายในจานเลี้ยงไข่น้ำ และมีเซลล์บางส่วนแทรกเข้าไปในเนื้อเยื่อไขน้ำ มีผลทำให้ไข่น้ำไม่แตกหน่อหรือตาย ดังนั้นในการทดลองที่ 1.3 จึงทำการป้องกันการเกิดสาหร่ายเส้นใยโดยการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้ลดต่ำลง ทำให้ไข่น้ำในการทดลองสามารถแตกหน่อได้มากขึ้น และด้วยเหตุนี้ จึงได้นำไปสู่การทดลองเกี่ยวกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไข่น้ำในหัวข้อลำดับถัดไป

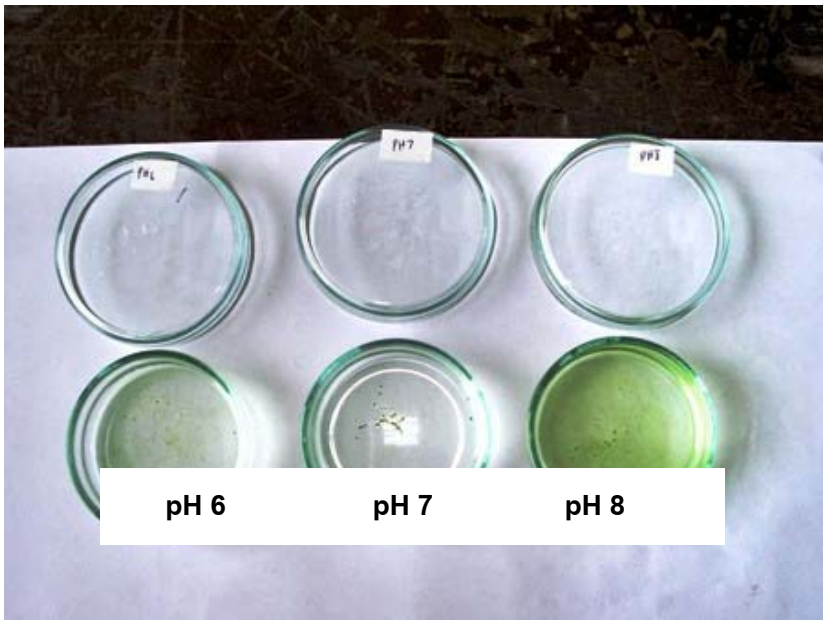


ภาพที่ 19 สาหร่ายสีเขียวสกุล *Ulothrix aequalis* ที่เกาะติดกับไข่น้ำ (กำลังขยาย 4X)

1.4 การศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

จากผลการทดลอง พบว่าไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่เป็นกรดอ่อน ซึ่ง Landolt (1986) ได้ทำการศึกษาพืชในวงศ์ Lemnaceae พบว่าส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4 และน้ำที่มีลักษณะค่อนไปทางด่างจะมีผลทำให้การแตกหน่อแพร่พันธุ์ของพืชในวงศ์นี้ไม่สมบูรณ์เต็มที่ ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานทดลองของผ่องศรี (2532) ซึ่งกล่าวว่า ผลผลิตไข่น้ำจะเพิ่มขึ้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ แต่เมื่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลผลิตไข่น้ำลดลง เนื่องจากสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของพืชน้ำ นอกจากนี้ผลการศึกษาของกุณฑลี (2537) กล่าวว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ให้ผลผลิตไข่น้ำดีจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 5.0 จากการทดลองเลี้ยงพืชวงศ์ Lemnaceae ในห้องปฏิบัติการของ McLAY (1976) พบว่าพืชวงศ์นี้มีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วแบบ Logarithmic เมื่อมีการควบคุมความเป็นกรด-ด่างอย่างต่อเนื่อง โดยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างสำหรับการเลี้ยงไข่น้ำไม่สามารถใช้สาร buffer เนื่องจากมีผลทำให้ไข่น้ำไม่เจริญเติบโต ต้องดำเนินการควบคุมด้วยมือเป็นหลัก ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไข่น้ำมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 5-6

นอกจากนี้แล้ว น้ำเลี้ยงไข่น้ำที่มีสภาพเป็นกรดอ่อนยังช่วยในการป้องกันการเกิดสาหร่ายประเภท attached algae ที่มาเกาะติดกับต้นไข่น้ำและส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตแตกหน่อของไข่น้ำ ทั้งนี้ จากการสังเกตระหว่างการทดลอง พบว่าในจานแก้วเลี้ยงไข่น้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงเกิน 7 ขึ้นไป จะเกิดมีสาหร่ายดังกล่าวเจริญเติบโตในจานเลี้ยง (ดังแสดงในภาพที่ 20) ทำให้เกิดการแย่งธาตุอาหารพืชไปใช้ และทำให้ไข่น้ำมีการเติบโตลดลง



ภาพที่ 20 แสดงสาหร่ายเกาะติดสกุล *Ulothrix* ที่ปรากฏในน้ำเลี้ยงไข่น้ำที่มี pH 8

1.5 การศึกษาระดับความกระด้างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าความกระด้างที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไข่น้ำมีค่าไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งแสดงว่าไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำอ่อน ทั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของผ่องศรี (2532) ที่กล่าวไว้ว่า ผลผลิตของไข่น้ำจะลดลงเมื่อค่าความกระด้างของน้ำสูงขึ้น ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ รวมทั้งสอดคล้องกับผลการสำรวจคุณสมบัติน้ำในแหล่งเลี้ยงไข่น้ำตามธรรมชาติ ที่พบว่าแหล่งเลี้ยงไข่น้ำส่วนใหญ่มีค่าความกระด้างของน้ำต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากในน้ำที่มีค่าความกระด้างสูง จะส่งผลให้ไข่น้ำมีการสร้างเนื้อเยื่อผิวชั้นนอกหนาขึ้น จำกัดการสร้างคลอโรฟิลล์ซึ่งไข่น้ำใช้ในการสังเคราะห์แสง และยับยั้งการแลกเปลี่ยนสารอาหารระหว่างเซลล์และสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากไข่น้ำเป็นพืชที่ไม่มีระบบท่อลำเลียง จึงมีการแลกเปลี่ยนสารอาหารระหว่างเซลล์และสิ่งแวดล้อมโดยตรง เมื่อไข่น้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงและแลกเปลี่ยนสารอาหารระหว่างเซลล์กับสิ่งแวดล้อม ไข่น้ำจึงชะงักการเจริญเติบโตและมีจำนวนลดน้อลลง

1.6 การศึกษาระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ

การทำ pre-test ศึกษาความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ ด้วยการเลี้ยงในน้ำประปาเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงอยู่ในช่วง 5-6 และมีค่าความกระด้างน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าไข่น้ำที่เลี้ยงในความเข้มแสงสูงกว่า 10,000 ลักซ์ ไข่น้ำจะเริ่มตายและมีจำนวนต้นเฉลี่ยลดลงตั้งแต่วันที่ 9-12 ของการเลี้ยง หากเลี้ยงในน้ำที่มีธาตุอาหารปกติและเลี้ยงเป็นระยะเวลา 15 วัน (จากการทดลอง) ความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำควรมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 10,000 ลักซ์

จากการทดลอง พบว่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไข่น้ำ จะมีค่าอยู่รหว่าง 5,000-10,000 ลักซ์ โดยที่ความเข้มแสงต่ำกว่า 5,000 ลักซ์ ไข่น้ำจะมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ขณะที่ในความเข้มแสงที่สูงกว่า 10,000 ลักซ์ ไข่น้ำจะมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว และถ้าหากมีปริมาณสารอาหารในน้ำเลี้ยงไม่เพียงพอ ไข่น้ำจะมีอายุการเจริญเติบโตสั้น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Landolt (1986) กล่าวว่า ไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงความเข้มแสงระหว่าง 4,000-15,000 ลักซ์ และที่ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ ไข่น้ำจะเติบโตได้เพียงประมาณร้อยละ 50 ของการเติบโตปกติ และจากการศึกษาของสมศักดิ์ (2542) พบว่าไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับความเข้มข้นแสงร้อยละ 100 จะมีน้ำหนักสดมากกว่าไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในบริเวณที่มีความเข้มข้นแสงร้อยละ 50 อย่างมีนัยสำคัญ

2. การศึกษาทดลองเลี้ยงไข่น้ำในระยะยาวเพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการเลี้ยงในระบบฟาร์ม

จากการทดลองเลี้ยงไข่น้ำระยะยาวเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในระบบฟาร์ม พบว่าไข่น้ำมีการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตในระยะเวลา 30 วัน แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ครึ่งแรกของการทดลอง พบไข่น้ำมีผลผลิตสูงสุดในวันที่ 12 ของการเลี้ยง จากนั้นจะลดลงจนต่ำสุดในวันที่ 18 ของการเลี้ยง และในครึ่งหลังของการทดลอง ผลผลิตไข่น้ำจะเพิ่มขึ้นสูงสุดอีกครั้งในวันที่ 24 ของการเลี้ยง การลดลงของผลผลิตไข่น้ำหลังจากมีการเจริญเติบโตสูงสุด อาจเกิดจากเมื่อไข่น้ำมีปริมาณมาก ต้นไข่น้ำจะกระจายเต็มผิวน้ำจนไม่มีพื้นที่ที่จะให้แตกหน่อต่อไป สารอาหารจะถูกใช้ไปมากจนไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต รวมทั้งไข่น้ำต้นแม่จะเริ่มมการตายลง ส่งผลโดยรวมให้ไข่น้ำมีจำนวนลดลงจนอยู่ในระดับที่สมดุลกับสภาวะกาทดลอง โดยรอบผลผลิตสูงสุดแต่ละครั้งจะห่างกันประมาณ 12 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ใกล้เคียงกับอายุการเจริญเติบโตของไข่น้ำ และผลผลิตรวมที่ได้จากการเลี้ยงไข่น้ำระยะเวลา 30 วัน มีค่าประมาณ 2 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร มากกว่าผลผลิตที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว และปุ๋ยอินทรีย์ผสมปุ๋ยเคมี ซึ่งได้ผลผลิตไข่น้ำระหว่าง 0.3-1 กิโลกรัม จากการทดลองครั้งนี้ผู้ประกอบการที่สนใจนำไข่น้ำไปเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์สามารถนำข้อมูลการศึกษานี้ไปใช้ในการกำหนดระยะเวลาการเลี้ยงและการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้ผลผลิตไข่น้ำที่มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำสุดต่อไปได้

และในการวิเคราะห์หาค่าเบต้า-แคโรทีนในต้นไข่น้ำที่ทำการเลี้ยง พบว่า ไข่น้ำจะมีปริมาณเบต้า-แคโรทีนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่มากขึ้น แสดงว่าระยะเวลาในการสังเคราห์แสง จะมีผลต่อการสร้างเบต้า-แคโรทีนในไข่น้ำ โดยในไข่น้ำที่มีระยะเวลาการเลี้ยง 24 วัน จะมีค่าเบต้า-แคโรทีนที่ประมาณ 630 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง หรือคิดเป็นหน่วย Ratinol Equivalent (RE) ได้ประมาณ 100,000 ไมโครกรัม RE ซึ่งนับเป็นปริมาณที่สูงมากเทียบเท่ากับปริมาณเบต้า-แคโรทีนที่ได้จากสาหร่าย *Spirulina*

3. การศึกษาการขยายผลผลิตไข่น้ำโดยการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น

การขยายผลผลิตไข่น้ำโดยเทคนิคการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น มีเป้าหมายเพื่อการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการทำชั้นสำหรับวางถังเลี้ยง 3 ระดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่า ไข่น้ำในถังทดลองชั้นบนจะให้ผลผลิตไข่น้ำมากที่สุด เนื่องอย่างได้รับปริมาณแสงอย่างเต็มที่และทั่วทั้งผิวน้ำ ส่วนในชั้นกลางและชั้นล่างจะให้ผลผลิตลดน้อยลงตามลำดับ เนื่องจากไข่น้ำชั้นล่างลงมาจะถูกเงาของถังทดลองที่อยู่ชั้นบนกว่าบดบังแสง ซึ่งแสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น ไข่น้ำที่เลี้ยงในพื้นที่ชั้นล่างจึงมีการเจริญเติบโตและมีผลผลิตรวมที่น้อยกว่าไข่น้ำที่เลี้ยงในชั้นบนขึ้นไป โดยค่าความเข้มแสงที่ถังทดลองชั้นบนพบมีค่าร้อยละ 100 ชั้นกลางลดลงมาเป็นร้อยละ 70 และชั้นล่างมีค่าความเข้มแสงร้อยละ 60 ของความเข้มแสงชั้นบน อย่างไรก็ตาม ผลผลิตรวมที่เก็บเกี่ยวได้จากการเลี้ยงโดยวิธีการแบ่งชั้นนี้ มีค่าประมาณ 4.6 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร

4. การศึกษาการเพิ่มธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ

ก่อนทำการทดลองศึกษาการเพิ่มธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ ได้ทดสอบคุณสมบัติของสารละลายเกลือแคลเซียมชนิดต่างๆ เพื่อเลือกสารที่มีความเหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 คุณสมบัติของสารละลายเกลือแคลเซียมต่างๆ ที่ความเข้มข้นประมาณ 10 mM

คุณสมบัติ	$CaSO_4$	$Ca(NO_3)_2$	$Ca(PO_4)_2$	$CaHPO_4$	$CaH_4O_8P_2H_2O$
ความเป็นกรด-ด่าง	7.3	7.1	6.5	7.0	3.5
ความกระด้าง (mg/l as $CaCO_3$)	280.0	980.0	80.0	70.0	0.0
ปริมาณธาตุแคลเซียม (mg/l)	134.1	469.7	17.4	2.9	264.9

จากการทดสอบ พบว่ามีเพียงเกลือ Calcium Nitrate ($Ca(NO_3)_2$) และเกลือ Calcium dihydrogen phosphate ($CaH_4O_8P_2H_2O$) ที่สามารถละลายน้ำได้ดี สามารถให้ธาตุแคลเซียมละลายน้ำสูงกว่าเกลือชนิดอื่น แต่ $Ca(NO_3)_2$ เป็นเกลือที่เมื่อละลายน้ำแล้วให้ค่าความกระด้างสูงมาก (280 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต) ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ สำหรับเกลือ $CaH_4O_8P_2H_2O$ นอกจากจะไม่ให้ค่าความกระด้างแล้ว ยังมีปฏิกิริยาเป็นกรดและเป็นสาร Buffer ซึ่ง

ช่วยให้น้ำเลี้ยงมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้เกลือ $CaH_4O_8P_2H_2O$ ในการทดลองครั้งนี้

ในการศึกษาการเพิ่มธาตุแคลเซียมในไข่น้ำโดยการเติมเกลือ $CaH_4O_8P_2H_2O$ ทำให้น้ำเลี้ยงไข่น้ำมีธาตุอาหารกลุ่มฟอสเฟตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและแตกหน่อของไข่น้ำ ขณะที่การเติมเกลือ EDTA ส่งผลให้น้ำเลี้ยงมีค่าความกระด้างลดลงและมีความเหมาะสมในการเลี้ยงไข่น้ำมากขึ้น ซึ่งจากการทดลอง ไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเติมเกลือ $CaH_4O_8P_2H_2O$ ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และ EDTA 0.5 mM พบมีปริมาณธาตุแคลเซียมในเนื้อเยื่อสูงที่สุด และสูงกว่าในเนื้อเยื่อไข่น้ำก่อนการทดลองประมาณร้อยละ 40 ข้อมูลดังกล่าวนี้บ่งชี้ถึงศักยะในการนำไข่น้ำมาใช้ในการดูดซับแร่ธาตุที่มีประโยชน์และนำไปผลิตเป็นอาหารเสริมของมนุษย์ สำหรับการเลี้ยงไข่น้ำในน้ำเติมเกลือ $CaH_4O_8P_2H_2O$ ที่ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร และการเลี้ยงไข่น้ำในน้ำเติมเกลือ $CaH_4O_8P_2H_2O$ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเกลือ EDTA 0.5 mM พบมีปริมาณธาตุแคลเซียมในเนื้อเยื่อไข่น้ำไม่สูงไปกว่าในไข่น้ำก่อนการทดลอง ทั้งนี้วิเคราะห์ว่า เป็นเพราะปริมาณแคลเซียมในความเข้มข้นดังกล่าว ยังอยู่ในระดับที่ไม่เกินสมดุลย์กับปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่เดิมในต้นไข่น้ำ จึงไม่เกิดการดูดซับอิออนแคลเซียมเพิ่มเข้าสู่เนื้อเยื่อ นอกจากนี้ การเติม EDTA เพื่อใช้เป็นสารคีเลตที่เป็นสารช่วยจับและนำแคลเซียมเข้าสู่เนื้อเยื่อไข่น้ำ ก็ให้ผลในการดูดซับเพิ่มค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจาก EDTA เป็นสารคีเลตที่ช่วยดูดซับอิออนของจุลธาตุเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชได้ดีกว่าอิออนของมหธาตุดังเช่นอิออนของแคลเซียม ประกอบกับแคลเซียมเป็นสารที่มีปริมาณมากในน้ำและอยู่ในรูปอิออนที่พืชสามารถนำเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง จึงไม่จำเป็นต้องใช้สารคีเลตช่วยในการดูดซับ ดังนั้น ผลจากการทดลองจึงแสดงว่า การเพิ่มธาตุแคลเซียมในเนื้อเยื่อไข่น้ำ ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการใช้สารคีเลตเข้าช่วยในการดูดซับแต่ประการใด

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการการศึกษาอายุการเจริญเติบโต และปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ โดยการเลี้ยงไข่น้ำในจานแก้วตั้งในห้องปฏิบัติการ เลี้ยงที่อุณหภูมิห้องและให้แสงด้วยหลอดไฟนีออนที่เปิดปิดด้วยสวิทช์ไฟฟ้าอัตโนมัติ ตั้งรอบเวลาไว้ที่ 12:12 ชั่วโมง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา15-18 วัน พบว่าต้นไข่น้ำมีอายุการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ 15 วัน สารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไข่น้ำคือน้ำประปาที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณสมบัติของน้ำเลี้ยงที่มีความเหมาะสมคือมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระหว่าง 5-6 และมีค่าความกระด้างต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต สำหรับความเข้มแสงที่เหมาะสมในการเลี้ยงมีค่าอยู่ระหว่าง 5,000-10,000 ลักซ์

2. จากการศึกษาการทดลองเพาะเลี้ยงไข่น้ำในระยะยาว โดยการเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสตั้งในอาคารเปิดที่มีค่าความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 5,000 ลักซ์ ใช้น้ำประปาที่เติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการเลี้ยงปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้อยู่ในระดับ 5-6 ทำการทดลองเลี้ยงไข่น้ำเป็นเวลา 30 วัน พบว่า ไข่น้ำจะมีผลผลิตรวมเพิ่มขึ้นตามอายุการเลี้ยง โดยมีอัตราการผลผลิตเพิ่มในทุก 3 วัน ช่วง สูงสุดในช่วงวันที่ 12 และ 24 ของการเลี้ยง และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จะได้ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยที่ประมาณ 2 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร มีปริมาณ Beta-carotene ในไข่น้ำที่มีอายุการเลี้ยง 24 วันที่ประมาณ 600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง หรือเท่ากับ 100,000 ไมโครกรัม RE

3. จากการทดลองเลี้ยงไข่น้ำแบบแบ่งชั้นเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ให้มากขึ้น โดยวางเรียงถังทดลองตามสูงเป็นสามชั้น แต่ละชั้นได้รับความเข้มแสงแตกต่างกัน เลี้ยงโดยใช้น้ำประปาเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้อยู่ในระดับ 5-6 ทำการทดลองเลี้ยงไข่น้ำเป็นเวลา 28 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เฉลี่ยที่ประมาณ 5 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นการประหยัดพื้นที่สำหรับการเลี้ยงไข่น้ำในเชิงพาณิชย์

4. จากการศึกษาการเพิ่มธาตุแคลเซียมในไข่น้ำ โดยทำการเลี้ยงไข่น้ำในน้ำประปาเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ที่ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงให้อยู่ในระดับ 5-6 นำเกลือ Calcium dihydrogen phosphate ($CaH_4O_8P_2H_2O$) และ EDTA มาเติมผสมในน้ำเลี้ยงที่ระดับแตกต่างกันในแต่ละชุดทดลอง ทำการทดลองเป็นเวลา 10 วัน พบว่าไข่น้ำที่เลี้ยงโดยการเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และ EDTA 0.5 mM มีปริมาณธาตุแคลเซียมในต้นไข่น้ำสูงสุดเฉลียที่ 873.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าในต้นไข่น้ำก่อนการทดลองประมาณร้อยละ 40 ขณะที่ไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเลี้ยงเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate ที่ 250 ppm ซึ่งมีและไม่มีการเติมเกลือ EDTA พบมีปริมาณธาตุแคลเซียมในต้นไข่น้ำไม่สูงไปกว่าในต้นไข่น้ำก่อนการทดลอง

ข้อเสนอแนะ

1. ในระหว่างการเพาะเลี้ยงไข่น้ำควรควบคุมปริมาณความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ในระดับต่ำกว่า 7 เพื่อป้องกันการเกิดสาหร่ายเส้นใยในถังทดลอง ซึ่งจะแย่งสารอาหารของไข่น้ำทำให้ไข่น้ำเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่

2. การเลี้ยงไข่น้ำระยะยาวในระบบฟาร์ม ควรกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการเลี้ยงและการเก็บเกี่ยวผลผลิตไข่น้ำเพื่อให้ได้ต้นทุนในการผลิตต่อหน่วยต่ำสุด อย่างไรก็ตามไข่น้ำที่เลี้ยงในระยะสั้น จะมีปริมาณ Beta-carotene ต่ำกว่าไข่น้ำที่เลี้ยงในระยะยาว

3. การขยายผลผลิตไข่น้ำโดยการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น ควรมีการปรับความห่างระหว่างชั้นวางถังเลี้ยงแต่ละชั้นให้มากขึ้น เป็นการหลีกเลี่ยงการบดบังแสงของชั้นที่อยู่สูงกว่า เพื่อให้ไข่น้ำมีการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่และมีประสิทธิภาพ และควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Beta-carotene ในต้นไข่น้ำที่ได้รับความเข้มแสงต่างกัน เนื่องจากปริมาณการสร้าง Beta-carotene ในต้นไข่น้ำ จะขึ้นกับความเข้มข้นในการสังเคราะห์แสงเป็นสำคัญ

4. ควรมีการศึกษาการเพิ่มแร่ธาตุอื่นในต้นไข่น้ำ เช่น ธาตุเหล็ก เป็นต้น เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนากรของไข่น้ำให้สูงขึ้น รวมทั้งมีการศึกษานำไข่น้ำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารในเชิงพาณิชย์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กันย์สินี พันธ์วนิชดำรง. 2550. **การปรับปรุงคุณภาพสีปลาทองโดยใช้รงควัตถุแคโรทีนอยด์จากไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.).** (ปัญหาพิเศษระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) แผ่นทอดกรอบ.** (ปัญหาพิเศษระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กุณฑลี จงผาติวุฒิ. 2537. การเพาะเลี้ยงต้นไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* Wimm) ในห้องปฏิบัติการ. **ปัญหาพิเศษ** ระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพ.

กองประมงน้ำจืด. 2538. **พรรณไม้น้ำในประเทศไทย.** กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กองโภชนาการ. 2544. **ตารางแสดงชนิดและปริมาณกรดอมิโนในอาหารไทย**. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

ชุตินุช สุจริต และมาโนช ขำเจริญ. 2542. การศึกษาการใช้ประโยชน์จากไข่น้ำ. **รายงานการวิจัย ปี 2542**. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

ธวัชชัย รัตน์ชเลศ และเจมส์ เอฟ แมกซ์เวล. 2535. **รายชื่อวัชพืชที่มีรายงานพบในประเทศไทย.** บริษัทเมืองเหนือจำกัด, เชียงใหม่.

นำชัย เจริญเทศประสิทธิ์ และคณะ. 2541. การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของไข่น้ำ ((*Wolffia arrhiza* (Linn) Wimm.) เป็นแหล่งอาหารโปรตีนสำหรับปลานิล (*Oreochromis niloticus*). **รายงานโครงการวิจัย ปี 2541**. สำนักคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.

บุหลัน พิทักษ์พล. 2519. ไข่น้ำ. **วารสารส่งเสริมการเกษตร** 9 (มิ.ย.-ก.ค.): 32-33.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. **คุณภาพน้ำทางการประมง**. แผนกประมง คณะวิชาสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง.

ผ่องศรี จุลวงศ์. 2532. **การศึกษาคุณภาพของน้ำบางประการที่เหมาะสมต่อการเจริญ เติบโตของไข่น้ำ**. สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ.** โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

วินัย นาคปาน. 2548. **ข้อดี ข้อด้อยของหารใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี.** เกร็ดพรรณไม้. แหล่งที่มา: http://www.panmai.com/Tip/Tip01/Tip01.shtml, 12 พฤษภาคม 2550.

ศิริภาวี ศรีเจริญ และคณะ. 2544. การเพาะเลี้ยงไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza*) สำหรับการลดต้นทุนค่าอาหารปลา. **รายงานการวิจัย ปี 2544**. ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดมหาสารคาม. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2548. **ปลาไน**. แหล่งที่มา: http://www.fisheries.go.th/ifm_sarakham/index.php?body=fish_ni.php, 15 สิงหาคม 2550.

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2541. **โภชนศาสตร์เบื้องต้น**. ภาควิชาคหกรรม คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุมาลี พิชญางกูร. 2506. **Growth of *Wolffia arrhiza*.** (ปัญหาพิเศษระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุอินทร์ ฤทธิ์จรุง. 2515. การเลี้ยงลูกปลาไนขนาดเล็กให้เป็นลูกปลาไนขนาดใหญ่โดยให้อาหารด้วยไรแดงและไข่น้ำ. **รายงานประจำปี 2515** สถานีประมงจังหวัดสุรินทร์, กรมประมง.

สมบุญ เคชะภิญญาวัฒน์. 2548. **ชีววิทยาพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศักดิ์ สันวิลาศ. 2542. **การเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารและระดับความเข้มแสงต่างกันในสภาพกลางแจ้ง**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาสารคาม.

อนัญยา ภักดีศรี. 2542. **การเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนผสมปุ๋ยเคมี**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาสารคาม.

อะโน สุขเจริญ. 2542. **การเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (Linn) Wimm.) ที่เพาะเลี้ยงในชนิดอาหารและระดับความเข้มข้นแสงต่างกันในสภาพกลางแจ้ง**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาสารคาม.

อุไร จิรมงคลการ. 2547. ไข่น้ำ. **ผักพื้นบ้าน 1 ชุดรู้จักผักรู้จักกิน** 2: 224.

Duckweed nutritional composition. 2003. Available Source: http://www.mobot.org, March 5, 2008.

Fujita, M. , Mori, K และ Kodera, T . 1998. Nutrient Removal and Starch Production through Cultivation of *Wolffia arrhiza*. **Bioscience and Bioengineering Journal** 2 (87): 194-198.

Landolt, E. 1980 and 1986, Biosystematic Investigation in the Family of Duckweeds. (Lemnaceae). **Veroff. Geobot. Inst. ETH**, Zurich. vol. 1, 2 and 3

McLAY, C.L. 1976. The effect of pH on the population growth of three species of duckweed: *Spirodela oligorrhiza*, *lemna minor* and *Wolffia arrhiza*. **Freshwater Biology** 2 (6): 125.

Mookdasanit, J. *et al*. 2007. Antioxidant activity of some aquatic plants. **International Workshop on medicinal and aromatic plants**. p. 94.

Sawyer, C.N. and McCarty, P.C. 1967. **Chemistry for Sanitary Engineers.** McGraw - Hill Book Co., New York.

The Nature of Light. 2000**.** Photosynthesis. Available Source: http://dwb.unl.edu, May 2, 2007.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำที่เก็บตัวอย่างจากจังหวัดกำแพงเพชร ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 18 วัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)										เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
เริ่มต้น	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0	0.00
3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1.1	0.32
6	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1.8	0.42
9	3	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2.2	0.63
12	2	3	4	2	3	3	3	3	3	3	2.9	0.57
15	2	4	4	2	3	3	3	3	3	4	3.1	0.74
18	2	4	4	2	3	3	3	3	4	4	3.2	0.79

ตารางผนวกที่ 2 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำที่เก็บตัวอย่างจากจังหวัดขอนแก่น ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 18 วัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)										เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
เริ่มต้น	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0	0.00
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0	0.00
6	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1.8	0.42
9	1	2	2	3	1	2	2	3	2	2	2.0	0.67
12	1	3	3	3	1	3	3	3	3	3	2.6	0.84
15	0	1	2	2	0	2	1	2	2	1	1.3	0.52
18	0	0	2	1	0	2	1	2	1	1	1.0	0.53

ตารางผนวกที่ 3 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำที่เก็บตัวอย่างจากจังหวัดมหาสารคาม ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 18 วัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)										เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
เริ่มต้น	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0	0.00
3	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1.0	0.00
6	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1.8	0.42
9	2	3	3	2	3	3	1	3	2	3	2.0	0.67
12	2	4	3	3	3	2	0	3	1	3	2.6	0.84
15	0	3	1	0	1	0	0	0	0	1	1.3	0.52
18	0	2	2	0	2	0	0	0	0	3	1.0	0.53

ตารางผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ กัน

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Treatment	2	1.267	0.633	0.788^{ns}	0.465
Error	27	21.700	0.804		
Total	29	22.967			

ตารางผนวกที่ 5 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำบ่อเลี้ยงปลา

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	9	7	7	8	7	7	7.5	0.84
6	9	7	5	6	7	7	6.8	1.33
9	11	9	7	6	4	10	7.8	2.64
12	15	9	7	7	8	11	9.5	3.08
15	20	8	5	8	8	14	10.5	5.50

ตารางผนวกที่ 6 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำใบก้ามปู (5 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	9	7	5	6	7	6	6.7	1.37
6	10	6	4	5	5	7	6.2	2.14
9	7	6	3	5	5	4	5.0	1.41
12	9	5	4	4	9	9	6.7	2.58
15	10	5	3	7	8	5	6.3	2.50

ตารางผนวกที่ 7 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (100 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	8	6	6	5	8	6	6.5	1.22
6	11	6	9	7	10	11	9.0	2.10
9	12	10	8	14	10	13	11.2	2.23
12	21	16	19	13	8	14	15.2	4.62
15	17	15	29	18	14	19	18.7	5.39

ตารางผนวกที่ 8 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 46-0-0 (100 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	7	5	6	5	8	7	6.3	1.21
6	6	5	7	5	8	8	6.5	1.38
9	6	5	8	5	6	6	6.0	1.10
12	9	5	10	6	7	9	7.7	1.97
15	9	3	9	7	7	9	7.3	2.34

ตารางผนวกที่ 9 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในอาหารเลี้ยง *Spirulina* สูตร 1

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	8	8	8	6	5	5	6.7	1.51
6	9	9	9	7	6	8	8.0	1.26
9	7	7	8	7	5	7	6.8	0.98
12	4	10	7	8	2	9	6.7	3.08
15	6	11	5	6	3	5	6.0	2.68

ตารางผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีสารอาหารชนิดต่างๆ กัน

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Treatment	4	655.333	163.833	10.588*	0.000
Error	25	386.833	15.473		
Total	29	1042.167			

ตารางผนวกที่ 11 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (50 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	13	18	18	12	11	9	13.5	3.73
6	16	20	21	14	15	12	16.3	3.50
9	23	33	38	22	22	18	26.0	7.72
12	0	48	52	34	33	21	37.6	12.50
15	0	0	37	40	40	23	35.0	8.12

ตารางผนวกที่ 12 จำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (100 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	18	15	16	14	11	8	13.7	3.61
6	20	19	19	19	15	11	17.2	3.49
9	31	34	32	29	22	14	27.0	7.59
12	32	53	48	45	32	20	38.3	12.40
15	0	61	50	51	42	26	46.0	13.06

ตารางผนวกที่ 13 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (200 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	11	18	11	12	10	8	11.7	3.39
6	16	15	15	14	13	9	13.7	2.50
9	29	24	25	22	20	13	22.2	5.42
12	46	33	35	32	26	19	31.8	9.06
15	61	37	48	44	34	23	41.2	13.01

ตารางผนวกที่ 14 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (400 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	15	15	13	11	12	11	12.8	1.83
6	18	16	15	13	14	12	14.7	2.16
9	28	29	25	21	22	19	24.0	4.00
12	52	52	37	34	35	27	39.5	10.25
15	59	61	49	37	43	35	47.3	10.98

ตารางผนวกที่ 15 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (800 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	11	14	13	11	10	10	11.5	1.64
6	16	18	18	15	11	12	15.0	2.97
9	18	22	23	19	15	17	19.0	3.03
12	21	38	38	29	21	23	28.3	8.04
15	23	49	49	34	24	29	34.7	11.78

ตารางผนวกที่ 16 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำเติมปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 (1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	11	8	6	7	9	10	8.5	1.87
6	13	11	9	7	9	10	9.8	2.04
9	18	12	11	9	13	14	12.8	3.06
12	21	17	15	13	16	20	17.0	3.03
15	20	19	16	15	19	23	18.7	2.88

ตารางผนวกที่ 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของปุ๋ย N-P-K สูตร 16-16-16 ต่างๆ กัน

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Treatment	5	3215.167	643.033	5.665*	0.001
Error	27	3064.833	113.512		
Total	32	6280.000			

ตารางผนวกที่ 18 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	10	11	10	11	9	11	10.3	0.82
6	19	17	15	14	11	12	14.7	3.01
9	32	33	24	28	24	23	27.3	4.37
12	32	31	31	30	30	28	30.3	1.37
15	10	31	33	38	40	34	31.0	10.81

ตารางผนวกที่ 19 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	10	10	8	10	10	10	9.7	0.82
6	20	19	14	14	12	13	15.3	3.33
9	37	39	26	26	31	26	30.8	5.91
12	33	35	31	32	32	30	32.2	1.72
15	34	35	34	33	33	30	33.2	1.72

ตารางผนวกที่ 20 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	10	7	10	8	10	11	9.3	1.51
6	17	7	9	11	11	13	11.3	3.44
9	29	11	10	20	16	20	17.7	7.00
12	33	10	10	23	19	19	19.0	8.65
15	53	10	7	21	21	18	21.7	16.42

ตารางผนวกที่ 21 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	10	10	7	9	10	10	9.3	1.21
6	17	19	11	12	11	10	13.3	3.72
9	26	26	24	26	20	23	24.2	2.40
12	27	26	22	25	21	25	24.3	2.34
15	23	27	20	12	21	25	21.3	5.24

ตารางผนวกที่ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Treatment	3	921.439	307.146	3.755*	0.028
Error	19	1554.300	81.805		
Total	22	2475.739			

ตารางผนวกที่ 23 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้าง 0 mg/l as $CaCO_3$

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	10	10	9	10	10	9	9.7	0.52
6	19	17	10	12	12	11	13.5	3.62
9	39	39	22	27	27	23	29.5	7.64
12	47	50	27	36	33	26	36.5	10.05
15	74	70	38	57	45	48	55.3	14.33

ตารางผนวกที่ 24 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้าง 100 mg/l as $CaCO_3$

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	11	11	10	10	10	10	10.3	0.52
6	24	19	16	15	15	12	16.8	4.17
9	46	46	32	27	27	26	34.0	9.53
12	45	55	34	29	38	32	38.8	9.66
15	45	60	38	33	47	48	45.2	9.28

ตารางผนวกที่ 25 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้าง 200 mg/l as $CaCO_3$

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	10	10	10	10	10	9	9.8	0.41
6	18	17	14	13	13	9	14.0	3.22
9	29	30	21	26	28	15	24.8	5.78
12	34	36	21	29	28	18	27.7	7.06
15	39	42	24	38	35	23	33.5	8.07

ตารางผนวกที่ 26 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้าง 400 mg/l as $CaCO_3$

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	10	11	10	10	10	10	10.2	0.41
6	17	17	15	14	14	11	14.7	2.25
9	33	24	24	29	20	21	25.2	4.96
12	33	29	29	36	24	20	28.5	5.82
15	32	36	34	50	29	26	34.5	8.38

ตารางผนวกที่ 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงในน้ำที่มีค่าความกระด้างต่างๆ กัน

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Treatment	3	1897.458	632.486	5.924*	0.005
Error	20	2135.167	106.758		
Total	23	4032.625			

ตารางผนวกที่ 28 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสง 10,500 ลักซ์

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	14	10	12	10	15	16	12.8	2.56
6	28	23	30	22	29	34	27.7	4.50
9	44	38	39	40	54	76	48.5	14.69
12	63	46	70	59	98	149	80.8	37.59
15	69	40	79	49	161	196	99.0	64.08

ตารางผนวกที่ 29 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสง 7,000 ลักซ์

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	10	12	7	8	10	13	10.0	2.28
6	19	21	17	16	18	29	20.0	4.73
9	37	44	29	25	30	62	37.8	13.61
12	62	79	45	42	50	90	61.3	19.51
15	74	137	57	57	54	99	79.7	32.80

ตารางผนวกที่ 30 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสง 5,100 ลักซ์

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	12	10	12	13	13	9	11.5	1.64
6	16	23	25	26	21	25	22.7	3.72
9	33	48	54	49	35	43	43.7	8.29
12	47	75	90	80	56	77	70.8	16.09
15	63	130	106	92	49	49	81.5	33.22

ตารางผนวกที่ 31 การเพิ่มจำนวนต้นของไข่น้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสง 1,500 ลักซ์

จำนวนวันที่เลี้ยง	จำนวนต้นของไข่น้ำ (ต้น)						เฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6		
เริ่มต้น	5	5	5	5	5	5	5.0	0.00
3	8	9	9	10	9	8	8.8	0.75
6	11	10	13	12	15	11	12.0	1.79
9	11	13	15	16	17	13	14.2	2.23
12	15	18	22	19	21	16	18.5	2.74
15	18	21	20	27	24	17	21.2	3.76

ตารางผนวกที่ 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-Way ANOVA ของการเพิ่มจำนวนต้นเฉลี่ยของไข่น้ำ ซึ่งเลี้ยงที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ กัน

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Treatment	3	20705.667	6901.889	4.382*	0.016
Error	20	31501.667	1575.083		
Total	23	52207.333			

ตารางผนวกที่ 33 ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยชั้นบนของการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น เป็นระยะเวลา 28 วัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ย (กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร)			เฉลี่ย	S.D.
	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3		
เริ่มต้น	37.0	37.0	37.0	37.0	0.00
7	117.2	118.3	123.3	119.6	3.27
14	213.4	227.0	220.1	220.2	6.78
21	611.5	612.4	589.8	604.5	12.79
28	630.6	652.9	688.3	657.3	29.08

ตารางผนวกที่ 34 ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยชั้นกลางของการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น เป็นระยะเวลา 28 วัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ย (กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร)			เฉลี่ย	S.D.
	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3		
เริ่มต้น	37.0	37.0	37.0	37.0	0.00
7	143.4	131.6	121.6	132.2	10.94
14	276.9	298.4	293.0	289.4	11.20
21	545.6	554.9	340.3	480.3	121.31
28	683.5	664.4	339.4	562.4	193.35

ตารางผนวกที่ 35 ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยชั้นล่างของการเลี้ยงแบบแบ่งชั้น เป็นระยะเวลา 28 วัน

จำนวนวันที่เลี้ยง	ผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ย (กรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร)			เฉลี่ย	S.D.
	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3		
เริ่มต้น	37.0	37.0	37.0	37.0	0.00
7	115.9	106.3	94.6	105.6	10.68
14	294.1	228.1	135.1	219.1	79.88
21	126.3	238.8	306.7	223.9	91.13
28	165.3	393.4	430.4	329.7	143.59

ตารางผนวกที่ 36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One Way ANOVA ของการเพิ่มผลผลิตไข่น้ำในแต่ละระดับชั้นของพื้นที่ที่ใช้ในการเลี้ยง

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Treatment	2	170607.536	85303.768	4.351^{ns}	0.068
Error	6	117636.540	19606.090		
Total	8	288244.076			

ตารางผนวกที่ 37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One Way ANOVA ของผลผลิตไข่น้ำเฉลี่ยที่เลี้ยงในน้ำเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Treatment	2	12927.869	6463.934	1.155^{ns}	0.376
Error	6	33568.913	5594.819		
Total	8	46496.782			

ตารางผนวกที่ 38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One Way ANOVA ของปริมาณธาตุแคลเซียมเฉลี่ยในไข่น้ำที่เลี้ยงในน้ำเติมเกลือ Calcium dihydrogen phosphate และ EDTA ต่างๆ กัน

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Treatment	2	217866.667	108933.333	27.309*	0.001
Error	6	23933.333	3988.889		
Total	8	241800.000			

ตารางผนวกที่ 39 ผลการวิเคราะห์สารอาหารในไข่น้ำจากตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งเลี้ยงธรรมชาติ จากการทดลองเลี้ยงกลางแจ้งในระยะเวลาการเลี้ยงต่างๆ และจากการทดลองเพื่อเพิ่มปริมาณเกลือแร่

ตัวอย่างไข่น้ำ	ร้อยละสารอาหาร			Total carotenoids (มก./ก.ก. น้ำหนักแห้ง)	Beta-carotene (มก./ก.ก. น้ำหนักแห้ง)
	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย		
ตัวอย่างแหล่งเลี้ยงธรรมชาติ					
จ.มหาสารคาม	34.25	1.97	11.25	1,268.6	514.0
จ.ขอนแก่น	33.11	0.42	13.47	-	-
เฉลี่ย	33.68	1.19	12.36	1,268.6	514.0
ตัวอย่างการเลี้ยงกลางแจ้ง					
การเลี้ยงที่ 6 วัน	38.56	0.42	14.04	893.3	140.8
การเลี้ยงที่ 12 วัน	32.89	1.19	16.36	1,094.0	177.1
การเลี้ยงที่ 18 วัน	34.91	1.11	10.44	993.7	492.0
การเลี้ยงที่ 24 วัน	33.88	0.92	10.29	1,006.8	631.9
เฉลี่ย	35.06	0.91	12.78	996.9	360.4
ตัวอย่างจากการทดลองเพิ่มธาตุแคลเซียม					
Treatment ที่ 1	35.30	1.14	15.78	1,347.3	161.6
Treatment ที่ 2	33.19	0.92	11.44	1,164.0	167.1
Treatment ที่ 3	36.45	0.81	14.79	1,523.7	197.2
เฉลี่ย	34.98	0.95	13.90	1,345.0	175.3

หมายเหตุ ตัวอย่างทำแห้งด้วยวิธี Freeze-Dry

ที่มา: สุขุมและสุทิน (2549)

ตารางผนวกที่ 40 อาหารสูตร 1 สำหรับเพาะเลี้ยง *Spilurina* 1 ตัน

สารอาหาร	ปริมาณ (กรัม)
โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)	3,000
โซเดียมไนเตรท ($NaNO_3$)	500
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	300
โปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)	300
ไดโปแตสเซียมฟอสเฟต (K_2HPO_4)	150
แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$)	60
แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)	12
เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$)	3
EDTA	24

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวกันย์สินี พันธ์วนิชดำรง	
วัน เดือน ปี ที่เกิด	1 กันยายน 2526	
สถานที่เกิด	จังหวัดตรัง	
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2549 – 2552	ศึกษาในภาควิชาการจัดการประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	พ.ศ.2545 – 2548	ศึกษาในภาควิชาการจัดการประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ประสบการณ์พิเศษ	พ.ศ.2551	เข้าร่วมโครงการ Louisiana State University and Kasetsart University Summer 2008 Internship Program May 15-August 14, 2008