

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามและความหมาย

2.1.1 คะน้า

ชื่อสามัญ Kaailan หรือ Chinese kale เป็นพืชในตระกูล Brassicaceae (Cruciferae-Mustard family) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* Var. *alboglabra* เป็นผักที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากทั่วทุกภาคของประเทศไทย เป็นผักที่ปลูกเพื่อบริโภคส่วนของใบและลำต้น คะน้าเป็นผักที่สามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิดที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีความชื้นในดินสูง สม่ำเสมอ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินอยู่ในช่วง 5.5-6.8 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารอยู่ในช่วง 1.5-3.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร คะน้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ย 20 องศาเซลเซียส และให้ผลผลิตเป็นที่น่าสนใจในสภาพอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นค่าน้ำยังสามารถทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ดี และต้องการแสงแดดเต็มที่ เป็นผักอายุ 2 ปี แต่ปลูกเป็นผักอายุปีเดียว อายุตั้งแต่หว่านหรือหยอดเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 45-55 วัน ผักค่าน้ำสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ช่วงเวลาที่ปลูกได้ผลดีที่สุดอยู่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเมษายน ผักค่าน้ำมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชียและมีปลูกกันมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ประเทศจีน ฮองกง ไต้หวัน มาเลเซีย และประเทศไทย ซึ่งชาวจีนเรียกค่าน้ำว่า ไก่หลันไซ่ (ประสิทธิ์ โนรี, 2550)

2.1.2 ผักโขมจีน

ชื่อสามัญ Asian Spinach หรือ Chinese Spinach เป็นพืชในตระกูล Amaranthaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Amaranthus tricolor* L. เป็นพืชล้มลุกปีเดียว ลำต้นตั้งตรงสีเขียว แตกกิ่งก้านสาขามากใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่คล้ายสามเหลี่ยม ใบออกแบบเรียงสลับ กว้าง 2.5-8.0 ซม. ยาว 3.5-12.0 ซม. ขอบใบเรียบ ดอกเป็นดอกช่อสีม่วงปนเขียวออกตามซอกใบ เมล็ดสีน้ำตาลเกือบดำ ใบจะมีขนาดใหญ่ ใบบาง ใบมีสีเขียวด้าน ๆ ไม่มัน ก้านจะโต มีขนอ่อนได้ใบ ผักโขมจีนเป็นผักที่ต้องการน้ำอย่างสม่ำเสมอ ถ้าขาดน้ำทำให้ลำต้นและแฉกร่น ถ้าให้น้ำชุ่มชื้นสม่ำเสมอทำให้เจริญเติบโตดี มีลำต้นอวบ ผักโขมชนิดที่รับประทานเป็นผัก มีความต้องการดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH อยู่ในช่วง 6.0-6.5 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารอยู่ในช่วง 1.4-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เมล็ดจะงอกได้ดีในดินที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 18-24 องศาเซลเซียส

เพราะเป็นพืชฤดูร้อน (สุนทร ศิริยะประพันธ์ และคณะ. 2530) มีการเจริญเติบโตเร็ว หลังจากหวานเมล็ด 25 - 35 วัน ผักโขมจีนปลูกได้ตลอดปี

2.1.3 ผักบุ้งจีน

ชื่อสามัญ water convolvulus (water spinach) หรือ kang-kong เป็นพืชในตระกูล Convolvulaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatica* Forsk. Var. *reptan* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อน พบได้ทั่วไปในแอฟริกา และเอเชียเขตร้อนจนถึงมาเลเซียและออสเตรเลีย

ผักบุ้งจีนเป็นไม้ล้มลุก ในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะมีลำต้นตั้งตรง ระยะต่อไปจะเลื้อยทอดยอดไปตามพื้นดินหรือน้ำ ลำต้นมีสีเขียว มีข้อและปล้องข้างในกลวง รากจะเกิดที่ข้อทุกข้อที่สัมผัสกับพื้นดินหรือน้ำ ที่ข้อมักมีตาแตกออกมา ทั้งตาใบและตาดอก โดยตาดอกจะอยู่ด้านใน ส่วนตาใบจะอยู่ด้านนอกใบ เป็นใบเดี่ยว มีขอบใบเรียบ รูปใบคล้ายหอกโคนใบกว้างค่อย ๆ เรียวเล็กไปตอนปลาย ปลายใบแหลม ที่โคนใบเป็นรูปหัวใจ ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่น ใบมีความยาวประมาณ 7-15 เซนติเมตร ก้านใบยาว 3-8 เซนติเมตร ลำต้นอวบ แต่ไม่ยาวเกินไป ความยาวมาตรฐาน ประมาณ 10-12 นิ้ว (วัดจากโคนถึงยอด) รากผักบุ้งจีนมีรากเป็นแบบรากแก้ว มีรากแขนง แตกออกทางด้านข้างของรากแก้ว และยังสามารถแตกรากฝอยออกมาจากข้อของลำต้น ผักบุ้งจีนใช้เวลาในการงอกเพียง 48 ชั่วโมง ระยะแรกของการเจริญเติบโตจะให้ลำต้นตั้งตรง หลังจากงอกได้ 5-7 วัน จะมีใบเลี้ยงโผล่ออกมา 2 ใบมีลักษณะปลายใบเป็นแฉกไม่เหมือนกับใบจริงเมื่อต้นโตในระยะสองสัปดาห์แรก จะมีการเจริญเติบโตทางลำต้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งอายุประมาณ 30-45 วันการเจริญเติบโตจะเปลี่ยนไปในทางทอดยอดและแตกกอ (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนาและภัสรา ชวประดิษฐ์. 2539)

2.2 การเลี้ยงปลาทบิม (ปลานิลแดง)

ลักษณะประจำพันธุ์ ลำตัวมีสีแดง ส้ม ชมพูหรือขาว ริมฝีปากเฉียงขึ้น บริเวณแก้มมีเกล็ด 3 แถว ครีบทองไม่มีลายตามขวางครีบทองหลังมีก้านครีบทอง 15-17 อัน และก้านครีบทอง 12-13 อัน เกล็ดบนเส้นข้างลำตัวมี 25-33 อัน เกล็ดรอบคอดหางมี 18-19 อัน พนักช่องท้องเป็นสีขาว ผสมพันธุ์และวางไข่ได้ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และทะเล ความเค็มตั้งแต่ 0-25 ppt. ลักษณะของไข่ การฟักไข่และพัฒนาการของไข่และตัวอ่อนเช่นเดียวกับปลานิล เจริญเติบโตได้ในน้ำความเค็มตั้งแต่ 0-35 ppt.

ปลาทบิมเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย มีความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมสูงกว่าปลาทั่วไปในฟาร์มปลาน้ำจืด เช่น สามารถทนต่อความเค็มในช่วง 10-15 ppt. อุณหภูมิที่สูง 28.3-31.1 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำถึง 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของน้ำที่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในช่วง 5-10 นอกจากนี้ยังสามารถเติบโตได้ในสภาวะที่มีความเข้มข้น

ของอัลโออินซ์แอมโมเนียถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรเจน 27 มิลลิกรัมต่อลิตร (Thomas and Masser. 1999) อัตราการปล่อยปลาทัติมในกระชัง ปลาขนาด 50-100 กรัม ปล่อยในอัตราความหนาแน่น 50-120 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร โดยขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำที่เลี้ยง ใช้เวลาเลี้ยง 75-90 วัน จะได้ปลาขนาด 2-3 ตัวต่อกิโลกรัม (ทองพูล วรรณโพธิ์ และอัมพาคำวงษา. 2543) ปลาทัติมเป็นสินค้าที่มีการส่งออกไปยังประเทศต่างๆ ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศญี่ปุ่น ประเทศออสเตรเลีย เป็นต้น ซึ่งปริมาณการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศมีปริมาณปีละ 300-1,000 ตัน (อดิสร กฤษณวงศ์. 2543) ราคาขายที่สะพานปลากรุงเทพ ประจำเดือนกันยายน ปี 2550 เท่ากับ 30-50 บาทต่อกิโลกรัม (ตลาดกลางสินค้าเกษตรแห่งประเทศไทย. 2007 ; องค์การสะพานปลา. 2007) ปลาทัติมจึงเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่นิยมเลี้ยงเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน

2.3 การทำงานของระบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT)

การทำงานของ DRFT คือ การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชและอากาศไหลผ่านรากพืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในถาดปลูก ระบบปลูกแบบ DRFT นี้ พัฒนาเพิ่มเติมจากแบบที่นิยมใช้กันในประเทศได้หวัน ซึ่งพัฒนามาจากระบบ Deep Flow Technique (DFT) แต่เพิ่มการไหลเวียนของอากาศและสารอาหาร ที่พื้นของถาดปลูกจะถูกออกแบบให้เป็นร่องและมีอุปกรณ์สำหรับปรับระดับสารอาหารในถาดปลูกพืชตามอายุของพืช เพื่อให้รากพืชลอยอยู่ในอากาศและสารละลายธาตุอาหารพืช อุปกรณ์นี้จะมีรูให้สารละลายธาตุอาหารไหลลงสู่ถังสารละลายธาตุอาหารข้างล่าง ซึ่งปกติถังนี้มักจะวางอยู่ต่ำกว่าถาดปลูก หรือฝังดินใต้ถาดปลูก (ภาพที่ 2.1) จากนั้นสารละลายธาตุอาหารจะถูกส่งขึ้นไปยังถาดปลูกพืชที่อยู่ข้างบนแบบหมุนเวียนเป็นระยะๆ โดยใช้ปั๊มน้ำ บนถาดปลูกด้านต้นทางที่สารละลายไหลขึ้นจะมีอุปกรณ์สำหรับเพิ่มอากาศให้กับสารละลายธาตุอาหารพืช ก่อนที่จะไหลวนผ่านรากพืชกลับลงสู่ถังใส่สารละลายข้างล่างที่อยู่ด้านปลายทางของถาดปลูก และตรงจุดที่สารละลายจะไหลลงนี้ จะไหลผ่านอุปกรณ์สำหรับปรับระดับของสารละลายในถาดปลูกที่ปรับได้ตามการเจริญเติบโตของพืช (อวิศา สงครามยศ. 2548)



ภาพที่ 2.1 โต๊ะปลูกพืชในระบบ DRFT

2.4 ระบบการเลี้ยงปลา ร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (aquaponic system)

ระบบ aquaponic เกิดจากการรวมของระบบการเลี้ยงปลา (aquaculture) ร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponic) ระบบ aquaponic ปัจจุบันเป็นที่นิยมอย่างมากในต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศที่มีปริมาณน้ำใช้อย่างจำกัด หรือมีเนื้อที่ในการเพาะปลูกจำกัด เช่น อเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย (Wilson, 2006) เม็กซิโก (Carlos, 2006) เป็นต้น

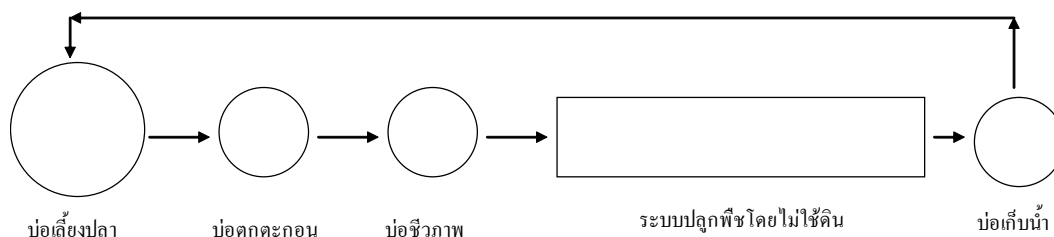
การเลือกชนิดปลาที่เหมาะสมกับการเลี้ยงในระบบ aquaponic ควรเลือกชนิดที่เป็นปลาน้ำจืดจะดีที่สุด (Kehdi, 2005) โดยปลาที่นิยมเลี้ยงในระบบ คือ ปลานิล (tilapia) ปลาทาบิมา (red tilapia), ปลาดุก (catfish) ปลาคะเพียน (carp) และปลาหางนกยูง เช่น ปลาทอง (goldfish) ปลาการ์ฟ (koi) ปลาซันฟิช (sunfish) ปลาเทวดา (angelfish) ปลาหางนกยูง (guppy) ปลาเททรา (tetra) ปลากระดี่ (gourami) ปลาสอด (swordfish) เป็นต้น (Nelson, 2006b)

การเลือกชนิดพืช ควรเป็นพืชที่ต้องการปริมาณไนโตรเจนสูง (Kehdi, 2005) สำหรับพืชที่สามารถปลูกได้ในระบบ aquaponic ได้แก่ พืชผัก เช่น มะเขือเทศ ผักโขม กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด เรดโอ๊ค ไม้ผล เช่น สตรอเบอร์รี่ แคนตาลูป แตงกวา สมุนไพร เช่น ว่านหางจระเข้ พริกไทย พืชผักสวนครัวต่างๆ เช่น โหระพา แมงลัก พืชอาหารสัตว์ เช่น หญ้า ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น (Anonymous, 2003 ; Nelson, 2006b)

2.4.1 ส่วนประกอบของระบบ

ระบบ aquaponic ประกอบด้วย บ่อเลี้ยงปลา (fish tanks) ทำหน้าที่หลักในการเลี้ยงปลา และรวบรวมตะกอนทางด้านล่างของถังเพื่อส่งต่อไปยังถังตกตะกอน ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้นด้านล่างของถังควรมีลักษณะเป็นทรงกรวย บ่อตกตะกอน (sedimentation) ทำหน้าที่ใน

การกำจัดตะกอนออกจากระบบ ระบบกรองชีวภาพ (biofiltration) ทำหน้าที่ในการกรองตะกอนบางส่วนที่เหลือ และเป็นส่วนสำคัญในการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (hydroponic system) ทำหน้าที่ปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน และบ่อเก็บน้ำ (sump) เป็นส่วนที่รองรับน้ำที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวกลับไปยังบ่อเลี้ยงปลาอีกครั้ง ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (aquaponic system)

ที่มา : นงนุช เลหาะวิสุทธิ (2544)

2.4.2 หลักการทำงาน

ปัจจัยหลักของการทำงานของระบบ aquaponic ประกอบด้วย ปลา แบคทีเรีย และพืช ทำงานร่วมกันในระบบหมุนเวียนแบบปิด โดยสารประกอบไนโตรเจน 70-75 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากของเสียของปลา และอาหารปลาที่เหลือ ผ่านบ่อดกตะกอนเพื่อลดตะกอนแขวนลอยไปยังระบบกรองชีวภาพที่มีแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟิเคชัน ซึ่งสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนเตรท จากนั้นน้ำจะไหลผ่านระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน ซึ่งไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช และน้ำจะไหลไปสู่บ่อเก็บน้ำเพื่อที่จะนำน้ำกลับมายังบ่อเลี้ยงปลา (นงนุช เลหาะวิสุทธิ, 2544) โดยขนาดของถังหรือบ่อที่ใช้จะขึ้นอยู่กับจำนวนปลาที่เลี้ยงและมีความเหมาะสมกับปริมาณของพืชที่ปลูกในระบบ กล่าวคือถ้าเลี้ยงปลาจำนวนมากต้องปลูกพืชจำนวนมากตามไปด้วย เนื่องจากธาตุอาหารที่ได้จากของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมาจะมีปริมาณมากซึ่งจะต้องใช้พืชจำนวนที่เพียงพอต่อการดูดซับธาตุอาหารเหล่านี้ให้ลดลง อยู่ในระดับที่ปลาสามารถดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโตได้ โดยอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปลูกพืชต่อปริมาณน้ำในบ่อจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณปลาที่เลี้ยง (ตารางที่ 2.1) (Rakocy, J.E. et al. 1993)

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนพื้นที่การเลี้ยงปลา ร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

บ่อเลี้ยงปลา (m ³)	ปริมาตร ของระบบ (m ³)	พื้นที่ของระบบ ปลูกแบบไม่ใช้ดิน (m ²)	อัตราส่วน	เอกสารอ้างอิง
0.25	2.00	0.74	0.37	Neagel. 1977
0.87	3.85	8.80	2.29	Lewis et al. 1978
2.30	2.60	1.60	0.62	NAI. 1980
1.70	2.84	1.40	0.49	Pierce. 1980
2.30	2.30	1.70	0.74	Zweig. 1980
0.19	0.75	1.55	2.07	Sutton and Lewis. 1982
6.40	6.60	1.80	0.27	Head. 1984
6.90	7.40	9.00	1.22	Wattan and Busch. 1984
2.20	7.20	2.00	0.28	Wren. 1984
0.50	0.50	3.40	6.80	McMutry. 1989
0.50	0.50	2.30	4.60	McMutry. 1990
0.50	0.50	1.50	3.00	McMutry. 1991
0.50	0.50	1.20	2.40	McMutry. 1992
11.20	17.80	13.80	0.78	Rakocy. 1989
22.50	22.50	100	4.44	McMutry et al. 1989
11.20	15.10	13.80	0.91	Rakocy,J.E. et al. 1993

ที่มา : Rakocy,J.E. et al. (1993)

หมายเหตุ : อัตราส่วน = พื้นที่ของระบบปลูกแบบไม่ใช้ดิน/ปริมาตรของระบบ (m²/m³)

2.4.3 ปลาที่เลี้ยงในระบบ aquaponic

ปลาเป็นส่วนสำคัญที่กำหนดขอบเขตทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำ เช่น กำหนดอุณหภูมิ ค่า pH ของน้ำ ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เป็นต้น Quillert,I. et al. (1993) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลา ร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน โดยเลือกปลานิล (tilapias) ในการทดลอง เนื่องจากเป็นปลาที่มีความทนทานสูงในด้านคุณภาพน้ำ และมีอัตราการเจริญเติบโตสูง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 24 - 35 องศาเซลเซียส (Quillert,I. et al. 1993) ค่า

pH ของน้ำอยู่ในช่วง 5 - 11 (Balarin and Hatton. 1979) ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (Thomas and Masser. 1999)

สารประกอบไนโตรเจนทั้งหมด ปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาผลาญอาหารของปลาตามอุณหภูมิ ค่า pH ของน้ำ และความเค็มที่เปลี่ยนแปลงอย่างสมดุล Quillert, I. et al. (1993) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล (น้ำหนักเฉลี่ย 14 กรัม) 216 ตัว ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ 80 ต้น ในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในฤดูใบไม้ผลิถึงฤดูร้อน พบว่าน้ำที่หมุนเวียนในระบบที่มีไนโตรเจนเหลืออยู่ 1 มิลลิกรัมต่อโมล ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่พบ ได้จากปลา 31 เปอร์เซ็นต์ และพืช 28 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาเพิ่ม 13.8 ± 5 กรัม (ก่อนการทดลอง) เป็น 224.6 ± 81 กรัม (178 วัน) ผลผลิตของมะเขือเทศประมาณ 60-75 เปอร์เซ็นต์

Quillert, I. et al. (1993) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล โดยเพิ่มอาหารอย่างสม่ำเสมอจาก 100-250 กรัม (ให้อาหาร 5.6 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว) พบว่าช่วงที่มีการให้ปริมาณอาหารเพิ่ม (200 กรัม) จนอาหารเหลืออยู่ในบ่อ ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนมากจนเป็นอันตรายต่อปลา (สูงกว่า 14 มิลลิโมลต่อลิตร) และปริมาณแอมโมเนียจากการขับถ่ายของเสียของปลามีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของอาหารที่ปลากินเพิ่มขึ้น (Quillert, I. et al. 1993)

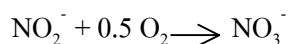
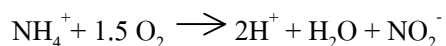
ผลผลิตปลาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ และความหนาแน่นที่เลี้ยง ปลาจะมีการเจริญเติบโตช้า และอัตราการตายสูงถ้าเลี้ยงในความหนาแน่นที่สูง (Anonymous. 2002)

Rakocy, J.E. et al. (2004) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล และปลาตะเพียน ร่วมกับการปลูกโหระพา และกระเจียบ น้ำหนักเริ่มต้นของปลานิล และปลาตะเพียนเฉลี่ยต่อตัว 79.2 กรัม และ 58.8 กรัม เลี้ยงที่ความหนาแน่น 77 และ 154 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลานิล 813.8 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.7 อัตรารอด 98.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ยของปลาตะเพียน 512.5 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.8 อัตรารอด 89.9 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นสูงมีผลต่อการเจริญเติบโตที่ลดลง และอัตราการลดลงเช่นกัน

2.4.4 แบคทีเรีย

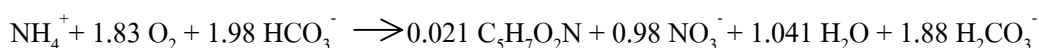
กระบวนการไนตริฟิเคชันในธรรมชาติเกิดจากการทำงานของแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มไนโตรซิไฟอิง (nitrifying bacteria) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย และแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิง (nitrifying bacteria) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนโตรเจน และผลิตไนเตรต (Anonymous. 2006b) โดย *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* เป็นแบคทีเรียชนิดแกรมบวก ส่วนมากมีลักษณะเป็นแท่ง มีขนาด 0.6-4.0 ไมครอน (Anonymous. 2006a)

การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนีย แอมโมเนียในน้ำจะถูกออกซิไดซ์โดย *Nitrosomonas* ให้เป็นไนไตรท์ และไนไตรท์จะถูกออกซิไดซ์ต่อโดย *Nitrobacter* ให้เป็นไนเตรต ดังสมการ (USEPA, 1975 ; Water Pollution Control Federation, 1983)



จากสมการดังกล่าว พบว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันต้องการออกซิเจนในการผลิตไฮโดรเจนไอออน และผลิตไนไตรท์ซึ่งเป็นผลผลิตระหว่างขบวนการ

นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตเซลล์ของแบคทีเรียมีปัจจัยที่จำเป็น คือออกซิเจน และ alkalinity (คือ CaCO_3) โดยทุกๆ 1 กรัมของแอมโมเนียมที่ถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรตต้องใช้ ออกซิเจน 4.18 กรัม แคลเซียมคาร์บอเนต 7.14 กรัม กรดคาร์บอนิก 8.59 กรัม และจะผลิตเซลล์ได้ 0.17 กรัม (Timmons and Losordol, 1994) ดังสมการ



สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไนตริฟิเคชัน คือ ต้องการปริมาณออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เพียงพอ อุณหภูมิเหมาะสมที่ 37 องศาเซลเซียส และค่า pH ของน้ำประมาณ 8.5 (Quillert, I. et al. 1993) (ซึ่งรายละเอียดแสดงในหัวข้อ 2.6)

2.3.5 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในน้ำ

Quillert, I. et al. (1993) รายงานว่า ความเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหารของน้ำที่หมุนเวียน เกิดจากการขับถ่ายของเสียซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุของปลา การดูดซับแร่ธาตุโดยพืช และการเพิ่มของน้ำที่ใส่ทดแทนน้ำที่สูญเสียไปโดยการระเหย การเอาตะกอนออก การหายใจ การกระเด็น หรือการทำความสะอาดเครื่องกรอง (Rakocy, J.E. et al. 2004) โดยสารละลายธาตุอาหารที่ไหลออกจากถังเลี้ยงปลาจะมีปริมาณไนเตรต และฟอสเฟตจากของเสียของปลาเพิ่มขึ้น ซึ่งของเสียจากปลาดังกล่าวจะเป็นปุ๋ยของพืช (Quillert, I. et al. 1993) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายธาตุอาหารมาตรฐาน พบว่าสารละลายธาตุอาหารที่ไหลออกจากถังเลี้ยงปลามีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช เพราะว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูง (7-8) ปริมาณโพแทสเซียม และฟอสเฟตต่ำ (0.15, 0.1 ตามลำดับ) ปริมาณซัลเฟตสูง (1.25) และมีความไม่สมดุลระหว่างไอออนบวก ดังนั้น Rakocy, J.E. et al. (1992) จึงกล่าวว่า ในระบบ aquaponic พืชสามารถใช้ธาตุอาหารจากน้ำเลี้ยงปลาได้ส่วนหนึ่ง แต่ยังไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จึงควรมีการเติมจุลธาตุอาหาร โดยเฉพาะเหล็ก

เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช สอดคล้องกับการทดลองของ Miao, X. et al. (2002) ที่ได้ทดลองนำน้ำจากบ่อเลี้ยงเตามาใช้ในการปลูกมะเขือเทศโดยไม่ใช้ดิน พบว่า มะเขือเทศที่ปลูกโดยน้ำจากการเลี้ยงเตาที่ไม่ได้ปรับปรุงมีสัดส่วนของรากตอยอดสูงสุด มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในโตรเจน ฟอสฟอรัสต่ำที่สุด จากการทดลองนี้มีข้อเสนอแนะว่าน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่เหมาะสมกับการปลูกพืช ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงก่อนนำไปใช้

2.5 การเจริญเติบโตของปลาและผลผลิตของพืชในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืช

Rakocy, J.E. et al. (2004) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล และปลาตะเพียนร่วมกับการปลูกโหระพา และกระเจี๊ยบ 3 สายพันธุ์คือ Clemson Spineless, Annie Oakley และ North South โดยเลี้ยงที่ความหนาแน่น 77 และ 154 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ โดยเก็บผลผลิตปลาทุก 6 สัปดาห์ พบว่าได้ผลผลิตปลานิล และปลาตะเพียน 61.5 และ 70.7 กิโลกรัมต่อตารางเมตรตามลำดับ น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิล 813.8 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.7 อัตรารอด 98.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ยของปลาตะเพียน 512.5 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.8 อัตรารอด 89.9 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นสูงมีผลต่อการเจริญเติบโตที่ลดลง และอัตราการลดลงเช่นกัน ในขณะเดียวกันการปลูกโหระพา โดยเก็บผลผลิตทุก 28 วัน เป็นระยะเวลา 8 เดือน พบว่าการปลูกโหระพาที่ความหนาแน่น 8 ต้นต่อตารางเมตร ให้ผลผลิต 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร อัตรารอด 84.7 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นปลูกกระเจี๊ยบ โดยเก็บผลผลิต 22 ครั้ง (หลังจากวันที่ 33 ทำการเก็บผลผลิตทุกวันจันทร์ พุธ และศุกร์) เป็นระยะเวลา 3 เดือน ที่ความหนาแน่น 2 ระดับ คือ 2.7 ต้นต่อตารางเมตร และ 4.0 ต้นต่อตารางเมตร มีผลผลิตของกระเจี๊ยบ สายพันธุ์ North South ที่ความหนาแน่น 4.0 ต้นต่อตารางเมตร ให้ผลผลิตสูงสุดคือ 3.04 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และก่อนหน้านี้ในปี 1982 Sutton and Lewis ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลาคู (Ictalurus punctatus) ร่วมกับ biofiltration และการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum*) ที่ 25 องศาเซลเซียส (กลุ่มควบคุม) และที่ 28 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองอัตราการเจริญเติบโตของปลาแต่ละระบบ คือ 0.96 และ 1.47 กรัมต่อตัวต่อวัน ผลผลิตพืชรวม 8.9 และ 9.1 กิโลกรัมต่อต้น และยังมีการศึกษาการเลี้ยงปลานิล (*Sarotherodon aurea*) ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum*) แบบไม่ใช้ดินในระบบปิด ระยะเวลา 181 วัน พบว่าปลานิลมีอัตราการรอด 97.5 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโต 2.54 กรัมต่อตัวต่อวัน น้ำหนักเฉลี่ย 521 กรัมต่อตัว คุณภาพของผลผลิตมะเขือเทศ 87.4 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดมีคุณภาพสามารถนำไปจำหน่ายได้ (Watten and Busch, 1984)

2.6 การจัดการคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

คุณภาพน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สำคัญอย่างยิ่งที่ผู้เลี้ยงสัตว์น้ำควรพิจารณาเพื่อควบคุมให้เหมาะสม เพราะน้ำเป็นตัวกลางในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ การกินอาหาร การเจริญเติบโต ความแข็งแรง ความทนทานต่อการเกิดโรค ความเครียดของสัตว์น้ำ (ไมตรี ดวงสวัสดิ์, 2532) อีกทั้งคุณภาพน้ำยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และแบคทีเรียซึ่งถือเป็นสิ่งสำคัญของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินเช่นกัน ดังนั้นจึงควรควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลา พืช และแบคทีเรียด้วย (Anonymous, 2002)

2.6.1 อุณหภูมิของน้ำ (temperature)

อุณหภูมิของน้ำจะมีผลต่อขบวนการต่างๆ ภายในร่างกายของปลาอย่างมาก เช่น การย่อยอาหาร การเคลื่อนไหว การกินอาหาร การหายใจ การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีผลต่อปฏิกิริยาของสลายอินทรีย์สารของแบคทีเรียในน้ำ ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีผลโดยตรงทำให้ผลผลิตของปลาสูงขึ้น โดยปกติปลาในเขตร้อนจะอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25-32 องศาเซลเซียส แต่ปลาไม่สามารถทนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ (ไมตรี ดวงสวัสดิ์, 2530) อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลานิลคือ 30 องศาเซลเซียส และปลาดุก 28-30 องศาเซลเซียส (Quillert, I. et al. 1993) ในการทดลองของ Sutton and Lewis (1982) โดยเลี้ยงปลาดุกร่วมกับการปลูกมะเขือเทศโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส (กลุ่มควบคุม) และที่ 28 องศาเซลเซียส (กลุ่มทดลอง) พบว่าน้ำหนักโดยเฉลี่ยของปลาเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิที่สูงอย่างคงที่ (28 องศาเซลเซียส) คือ 1.27 กรัมต่อวันต่อตัว ในขณะที่กลุ่มควบคุม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.96 กรัมต่อวันต่อตัว โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ นิพนธ์ ไชยมงคล (2550) กล่าวว่า อุณหภูมิของสารละลายในการปลูกพืชที่ 28 องศาเซลเซียส ทำให้การเจริญเติบโต และการดูดสารละลายขึ้นไปใช้ได้สูงที่สุด ให้ผลผลิตสูงกว่าที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และ 14 องศาเซลเซียส 70 และ 190 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รากพืชที่ปลูกในสารละลายอุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส มีรากแขนงที่สั้นและหนากว่าการปลูกในอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ซึ่งมีรากฝอยและรากขนอ่อนสีขาวจำนวนมาก นอกจากนี้การปลูกที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส พบว่าพืชแสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่ง Park, K.W. et al. (1995) ศึกษาความสามารถของผักกาดกวางตุ้ง และสลัดบัตเตอร์ ในการดูดน้ำ ธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินในอุณหภูมิของสารละลายที่แตกต่างกัน คือ 15, 20 และ 25 องศาเซลเซียส

พบว่าอัตราการคุดน้ำของพืชเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิของสารละลาย ส่วนอัตราการคุดธาตุอาหารขึ้นไปใช้มีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พืชไม่สามารถคุดน้ำขึ้นไปใช้ในปริมาณที่พอเพียงสำหรับการเจริญเติบโต ได้จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการปลูกพืชใบในสารละลาย ในขณะที่ Quillert, I. et al. (1993) กล่าวว่าอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะปลูกทั่วไปคือ 24 องศาเซลเซียส ส่วนในมะเขือเทศอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส หรืออาจแตกต่างกันขึ้นกับระยะการพัฒนากการเจริญเติบโตของพืช และชนิดของพืชที่ปลูก ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มไนโตรไฟอิงอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส การเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และจะตายที่อุณหภูมิ 0 และ 49 องศาเซลเซียส โดยพบว่า *Nitrobacter* จะทนที่อุณหภูมิต่ำได้น้อยกว่า *Nitrosomonas* ซึ่งเป็นสาเหตุให้บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำพบการสะสมของไนไตรท์ได้มากกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง (Anonymous. 2006b)

2.6.2 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH)

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำหรือเรียกย่อๆ ว่า pH เป็นการวัดปริมาณของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในน้ำซึ่งเป็นเครื่องแสดงให้ทราบว่าน้ำเป็นกรดหรือด่าง ค่า pH มีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 โดยที่ pH 7 เป็นค่ากลาง ถ้า pH น้อยกว่า 7 มีค่าเป็นกรด ในทางตรงกันข้ามถ้า pH มากกว่า 7 มีค่าเป็นด่าง

ค่า pH ของน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ควรควบคุมอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ถ้า pH ของน้ำสูงหรือลดลงมากเกินไป ทำให้ปลากินอาหารน้อยลงและการเจริญเติบโตลดลง แต่ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปควรมีค่า pH ของน้ำอยู่ในช่วง 6.5-9.0 ถ้าค่าสูงหรือต่ำกว่านี้จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (มันลิน ตันจุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539) ค่า pH ของน้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจะลดลงอย่างต่อเนื่อง อาจเกิดจากการขับถ่ายของเสีย การหายใจของปลาและรากพืชก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำเป็นกรด (Quillert, I. et al. 1993) และพบว่าค่า pH ของน้ำที่ 6.5 จะลดความเข้มข้นของอัลโลอินซ์ แอมโมเนียที่เป็นพิษ และค่า pH ของน้ำที่ 7.5 จะลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นพิษได้ (Anonymous. 1997)

ปฏิกิริยาหรือสภาพความเป็นกรดด่างของสารละลาย จะมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายของธาตุอาหารและความสามารถในการที่พืชจะนำขึ้นไปใช้ประโยชน์ ค่า pH ของน้ำของสารละลายในช่วง 5.5-6.5 เป็นช่วงที่ธาตุอาหารในสารละลายอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548) ในกรณีที่ pH สูง ควรใช้สารเคมี เช่น กรด ซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เพื่อลด pH ให้ต่ำลง การใช้กรดฟอสฟอ

ริก (H_3PO_4) จะช่วยเพิ่มฟอสฟอรัส ส่วนกรดไนตริก (HNO_3) จะเพิ่มไนโตรเจนในสารละลาย กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) จะมีอันตรายต่อผู้ใช้งาน ควรใช้ด้วยความระมัดระวังกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ก่อนข้างแวงแต่จะลด pH ได้ดีกว่ากรดชนิดอื่น ๆ ในปริมาณที่เท่ากัน ในกรณีที่สารละลายมีค่า pH ต่ำเกินไป (< 5.5) ควรเพิ่ม pH ด้วยการใส่โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate), คอสดิกโซดา (caustic soda), โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (potassium bicarbonate), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) หรือ คอสดิกโพแทส (caustic potash) สารที่นิยมใช้คือ โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) ซึ่งมี pH 8.2 และช่วยเพิ่มโพแทสเซียมในสารละลายได้ ไม่ควรใช้ในรูปแบบของเกลือโซเดียม เนื่องจากพืชไม่ต้องการธาตุนี้ พืชสามารถเจริญได้ในสารละลายที่มี pH 5.5-7.0 ถ้าหากมีธาตุอาหารพอเพียง เนื่องจาก pH มีอิทธิพลต่อการเจริญของรากดำ แต่ pH ต่ำ หรือสูงเกินไป จะทำให้ธาตุอาหารบางชนิดอยู่ในรูปที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ธาตุอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ในสารละลายที่ค่อนข้างเป็นกรด ธาตุอาหารบางชนิดเช่น Mn, Cu, Zn และ Fe เมื่อ pH สูงความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ได้จะลดลง แต่ใน pH ต่ำ P, K, Ca, และ Mg ความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของพืชจะลดลงเพียงเล็กน้อย (นิพนธ์ ไชยมงคล. 2550) การปรับ pH ของสารละลายธาตุอาหารให้ต่ำหรือสูงเกินไป นอกจากจะควบคุมการละลายของเกลือต่าง ๆ ยากแล้ว รากพืชจะเป็นอันตรายเนื่องจากโปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย อย่างไรก็ตามพืชสามารถทนต่อความเป็นพิษโดยตรงของไฮโดรเจนไอออนได้ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง เมื่อปริมาณและสัดส่วนของธาตุอาหารที่พืชได้รับอย่างเหมาะสม (ยงยุทธ โอสดสภา และคณะ. 2541)

ค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมสำหรับ nitrification filters อยู่ระหว่าง 6-9 (ตารางที่ 2.2) โดยที่ค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิงชนิด *Nitrosomonas* อยู่ระหว่าง 7.8-8.0 และชนิด *Nitrobacter* อยู่ระหว่าง 7.3-7.5 Timmons and Losordol. (1994) กล่าวว่าที่ pH ของน้ำต่ำกว่า 6 จะทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันลดลง และที่ pH ของน้ำ 5.5 จะทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันหยุดการทำงาน ดังนั้นจึงควรรักษาระดับ pH ของน้ำไม่ให้มีค่าต่ำกว่า 6

ตารางที่ 2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำ (pH) ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิด *Nitrosomonas* (NS) และ *Nitrobacter* (NB)

ชนิด	ช่วงที่ทดสอบ	pH ที่เหมาะสม	ที่มา
NS		8.0-9.0	Hofman and Lees. 1953
NS	7.0-9.0	8.0	Engle and Alexander. 1958
NS		6.0-9.0	Winogradsky and Winogradsky. 1933
NS	5.0-10.0	9.0	Kawai et al. 1965
NS		7.2-7.8	Loveless and Painter. 1968
NB		8.3-9.3	Meyerhof. 1917
NB	7.0-8.6	7.8	Boon and Laudelout. 1962
NB		6.3-9.4	Winogradsky and Winogradsky. 1933
NB	5.0-10.0	9.0	Kawai et al. 1965

ที่มา : Hochheimer. 1990

2.6.3 การนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (electrical conductivity ; EC)

เป็นค่าบอกความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ค่า EC ในสารละลายขึ้นอยู่กับชนิดพืช ช่วงอายุการเจริญของพืช สภาพภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิ ความเข้มแสง เป็นต้น โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1-4 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548) การเติมปุ๋ยระหว่างการปลูกพืช ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีในน้ำหรือค่า EC เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหาร ค่า EC ของสารละลายจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร คือสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จะมีค่า EC สูง โดยมีหน่วยวัดเป็น Siemens/cm (S/cm) หรือ ต่อด้านส่วน ; micro-Siemens (10^{-6} : $\mu\text{S/cm}$) หรือต่อพันส่วน ; milli-siemens (10^{-3} : mS/cm) (นิพนธ์ ไชยมงคล. 2550) โดยปกติแล้วควรจะรักษา EC ของสารละลายธาตุอาหาร ให้อยู่ในช่วง 2.0-4.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ช่วงที่นิยมคือในช่วง 1.5-2.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่า EC ที่ต่ำ คืออยู่ในช่วง 0.5-2.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสำหรับการปลูกผักสลัด ค่า EC ที่อยู่ในช่วง 1.5-2.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสำหรับการปลูกแตงกวา ค่า EC ที่อยู่ในช่วง 1.8-2.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสำหรับการปลูกผักและไม้ดอกไม้ประดับทั่วไป ค่า EC ในช่วง 2.5-3.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตรเหมาะสำหรับการปลูกมะเขือเทศ ค่า EC ในช่วง 3-4 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะทำให้ปริมาณน้ำตาลในผลสูงเนื่องจากจะทำให้พืชเกิดความเครียด

(stress) ค่า EC ในช่วง 4-6 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสำหรับการปลูกแคนตาลูป ในทางปฏิบัติอาจมีการควบคุม EC ของสารละลายธาตุอาหารแตกต่างกันไปตามช่วงการเจริญเติบโตของพืช เช่น เมื่อพืชยังเล็กจะควบคุมค่า EC ที่ต่ำแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของพืช (ดิเรก ทองอร่าม. 2544)

2.6.4 ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่าง (alkalinity) ค่าที่วัดเป็นค่าของไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ แต่อาจมีพวก ซิลิเกต ฟอสเฟต และสารอินทรีย์ต่างๆ อยู่บ้างแต่เป็นจำนวนน้อย ความสำคัญของความเป็นด่างของน้ำ คือเป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้ค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำเร็วเกินไป (buffering capacity) หากความเป็นด่างของน้ำมีค่าต่ำแสดงว่าความสามารถในการควบคุมค่า pH ของน้ำไม่ให้เปลี่ยนแปลงน้อยลงไปด้วย ทำให้ค่า pH ของน้ำผันแปรง่าย ส่งผลให้สัตว์น้ำเครียด ค่าความเป็นด่างไม่ส่งผลเสียโดยตรง แต่มีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติอื่นๆ (มันสิน ดันทุลเทศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539)

ความเป็นด่างที่อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตเป็นธาตุอาหารของแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิงที่ใช้ในการผลิตเซลล์ โดยการผลิตเซลล์ 0.17 กรัม จะใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 7.14 กรัม กรดคาร์บอนิก 8.59 กรัม (Timmons and Losordol. 1994) แบคทีเรียจะกำจัดแอมโมเนียด้วยไบคาร์บอเนตจนหมด เป็นสาเหตุให้ค่าความเป็นด่างในน้ำลดลงในเวลาต่อมา ค่าที่ตรวจวัดได้ควรมีค่ามากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่ควรเกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (Anonymous. 2002)

2.6.5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved solid oxygen)

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ระดับความสูง และความเค็มของน้ำ กล่าวคือปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำที่มีความเค็มสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนจะละลายได้น้อยลง (ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2532) ถึงแม้ว่าออกซิเจนสามารถแพร่กระจายจากอากาศไปในน้ำได้แต่อัตราการแพร่กระจายจะต่ำและช้ากว่ามากในบรรยากาศ แหล่งสำคัญของการเพิ่มปริมาณออกซิเจน คือจากขบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของพืชน้ำ และแพลงก์ตอนพืช ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำจัด อยู่ระหว่าง 14.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส และ 6.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส สาเหตุที่ทำให้ ออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง ได้แก่ สัตว์น้ำและพืชน้ำใช้ออกซิเจนในการหายใจ แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์วัตถุต่างๆ ในน้ำ การแพร่กระจายจากน้ำสู่อากาศ ปัญหาการขาดออกซิเจน มักจะเกิดในบ่อที่มีสารอินทรีย์สะสมอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้มาจากเศษเหลือของอาหาร ของเสียจากสัตว์น้ำ ตะกอนสารอินทรีย์ที่ติด

มากับน้ำ และแพลงก์ตอนที่ตายลง ซึ่งเมื่อน้ำสลายก็จะดึงออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำไปใช้ จุดวิกฤตในการเกิดปัญหาการขาดออกซิเจนจะเป็นในช่วงเช้ามืดที่ยังไม่มีการสังเคราะห์แสง สัตว์น้ำมักจะลอยหัวขึ้นชายบ่อและตายในช่วงนี้ การหายใจของสัตว์น้ำจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาหลังจากกินอาหาร เป็นสาเหตุให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีปริมาณน้อยลง ปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ขึ้นอยู่กับการกินอาหาร ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำควรมีการตรวจวัดค่าในถังเลี้ยงสัตว์น้ำหลังจากกินอาหารประมาณ 1 ชั่วโมง และเมื่อให้อาหารในระดับมากที่สุด (2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับที่สัตว์น้ำพอทนอาศัยอยู่ได้แต่การเจริญเติบโตไม่ดี คือที่ 1-4 มิลลิกรัมต่อลิตร และระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำคือต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boyd. 1989)

การปลูกพืชในสารละลาย (water culture) ปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ รากพืชต้องการออกซิเจน สำหรับการหายใจ และการดูดอาหารขึ้นไปใช้ ถ้าหากออกซิเจนไม่พอเพียงรากจะเกิดการเจริญ อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคและเน่าตาย การปลูกพืชในสารละลายที่มีอัตราการหมุนเวียนของน้ำต่ำ จะทำให้รากพืชขาดออกซิเจนออกซิเจนที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในรูปของจุลธาตุอาหาร และอัตราการเคลื่อนย้ายในพืชจะเร็วกว่าธาตุอื่น ๆ การปลูกพืชในระบบ NFT หรือการให้สารละลายไหลผ่านรากบาง ๆ จะช่วยเพิ่มออกซิเจนในสารละลายได้ แต่ในกรณีที่อัตราการหมุนเวียนของน้ำต่ำ และรากมีขนาดใหญ่ จะทำให้รากพืชขาดออกซิเจนได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้อัตราการหายใจของรากลดลง ลดความสามารถในการดูดแร่ธาตุอาหาร เพิ่มปริมาณการสูญเสียไนโตรเจน และรากอ่อนแอต่อโรค นอกจากนี้ Douglas (1976) and Resh (1987) รายงานว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้อัตราการหายใจของรากลดลง สอดคล้องกับ Lorenzen, B et al. (2001) ที่กล่าวว่าพืชจะสามารถปรับเปลี่ยนธาตุอาหารที่อยู่ในเซลล์ได้นั้นต้องอาศัยปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอในการเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีกับธาตุอาหารต่างๆ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีประโยชน์ต่อพืช และรากที่ได้รับออกซิเจนน้อยจะมีลักษณะผอมและยาวกว่ารากที่ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอซึ่งจะมีลักษณะอ้วนและสั้นกว่า

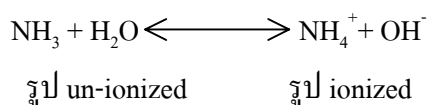
กระบวนการไนตริฟิเคชันจะลดลงถ้ามีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของแบคทีเรีย (Kaiser and Wheaton. 1983 ; Nagel and Haworth. 1969) และไม่สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า *Nitrobacter* จะสามารถทนต่อระดับของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ต่ำมากกว่า *Nitrosomonas* (Anonymous. 2006b)

2.6.6 การบอนด์ออกไซด์ (CO₂)

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นของเสียในน้ำที่ได้จากการหายใจของสัตว์น้ำ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะรบกวนการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นระดับที่ปลอดภัยสำหรับปลา โดยปริมาณการผลิตของคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้ pH ของน้ำลดลง ระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเป็นผลจากระบบหมุนเวียนที่ไม่ดี หรือการให้อาหารไม่เพียงพอ ระหว่างช่วงที่มีการให้อาหารในปริมาณสูง แต่จะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เนื่องจากการสังเคราะห์แสงทางกระบวนการทางเคมีของแบคทีเรียกลุ่มไนโตรไฟอิง (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) (Anonymous. 1997)

2.6.7 แอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมด (total ammonia nitrogen ; NH₃ , NH₄⁺)

แอมโมเนียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้มาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ ซึ่งอินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้ประกอบไปด้วย กรดอะมิโน เปปไทด์ ได้แปรสภาพเป็นแอมโมเนีย โดยกระบวนการ Ammonification (ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และคณะ. 2532) แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำจะมีอยู่ 2 รูป คือ แอมโมเนียอิสระ หรือ unionized ammonia (NH₃) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ อีกรูปหนึ่งคือ แอมโมเนียไอออน หรือ ionized ammonia (NH₄⁺) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุลกันดังสมการ



รูปของแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เมื่อมีความเข้มข้นสูง ในทางตรงกันข้ามรูปของแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเมื่อมีความเข้มข้นต่ำกว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในรูปอัลไอออนไนซ์แอมโมเนียจะขึ้นอยู่กับค่า pH ของน้ำ และอุณหภูมิของน้ำ (ตารางที่ 2.3) โดยปริมาณอัลไอออนไนซ์แอมโมเนียจะแปรผันตามค่า pH ของน้ำ กล่าวคือเมื่อ pH ของน้ำ และอุณหภูมิสูง เปอร์เซ็นต์ของอัลไอออนไนซ์แอมโมเนียจะมากขึ้น (Wheaton. 1977) ระดับอัลไอออนไนซ์แอมโมเนียในช่วง 0.2-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้สัตว์น้ำเครียด เป็นสาเหตุทำให้สัตว์น้ำกินอาหารลดลง ระดับที่สูงมากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้สัตว์น้ำตายได้ การผลิตแอมโมเนียมีความสัมพันธ์กับขนาดของสัตว์น้ำ โดยพบว่าการผลิตแอมโมเนียจะเกิดมากเมื่อสัตว์น้ำมีขนาดเล็ก (Ng, W.J. et al. 1993) นอกจากนี้ยังพบว่าสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนพิษจากแอมโมเนียแตกต่างกัน (Lawson. 1995) โดยปริมาณแอมโมเนียสามารถลดลงได้ จากการนำไปใช้ในเจริญเติบโตของเซลล์ *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* ซึ่งแอมโมเนียเป็นธาตุอาหารของ *Nitrosomonas* (Timmons and Losordol. 1994)

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของแอมโมเนียอิสระในน้ำที่ระดับ pH และอุณหภูมิต่างๆ ในน้ำจืด

อุณหภูมิ (°C)	pH						
	7.0	7.8	7.9	8.0	8.1	8.3	9.0
5	0.12	0.78	0.98	1.23	1.54	2.42	11.07
10	0.19	1.16	1.45	1.82	2.29	3.57	15.67
15	0.27	1.69	2.12	2.66	3.32	5.16	21.44
20	0.39	2.43	3.04	3.80	4.74	7.31	28.33
25	0.56	3.46	4.31	5.37	6.67	10.17	36.21
30	0.80	4.83	6.00	7.44	9.19	13.82	44.55
35	1.11	6.63	8.20	10.11	12.40	18.33	52.93

ที่มา : Huguenin and Colt. 1989

2.6.8 ไนไตรท์-ไนโตรเจน (nitrite ; NO_2^- -N)

ไนไตรท์เป็นตัวกลางของการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียให้เป็นไนเตรท ไนไตรท์จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยไนไตรท์จะซึมผ่านผิวหนังและเหงือกเข้าไปในพลาสมาของสัตว์น้ำ แล้วเข้าไปจับกับเม็ดเลือดแดงแล้วจะไปออกซิไดซ์ฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงให้กลายเป็น methemoglobin ซึ่งเป็น haemoglobin ที่ไม่สามารถรับออกซิเจนส่งไปให้เซลล์ต่างๆ ในร่างกายได้ ทำให้สัตว์ขาดออกซิเจน ร่างกายอ่อนแอ และติดเชื้อง่าย ส่งผลให้เจริญเติบโตช้า เนื่องจากสัตว์น้ำจะกินอาหารลดลงและตายในที่สุด (ช่วยชูศรี ศรีภู่มนั และจารุวรรณ สมศิริ. 2525) ปริมาณไนไตรท์โดยทั่วไปควรมีระดับต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ระดับ 2-10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลาเครียด ถ้าสูงกว่า 10-20 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสาเหตุให้ปลาเป็นโรคเลือดสีน้ำตาล จนอาจถึงตายได้ ปลาแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนพิษจากไนไตรท์แตกต่างกัน (Lawson. 1995) การลดปริมาณไนไตรท์ในน้ำสามารถทำได้โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ในระบบ

2.6.9 ไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate ; NO_3^- -N)

ไนเตรทเป็นผลจากขบวนการ nitrification การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทเกิดจากการใช้ไนเตรทโดยแพลงก์ตอนพืช หรือการเปลี่ยนถ่ายน้ำใหม่ โดยปกติแล้วไนเตรทจะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ยกเว้นในกรณีที่ไนเตรทมีความเข้มข้นสูงมาก (ขงยุทธ ปรีดาลัมพะ

บุตร และคณะ. 2532) Quillert, I. et al. (1993) กล่าวว่าไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษต่ำกว่าแอมโมเนียและไนไตรท์ แต่เมื่อเกิดการสะสมของไนเตรทถึงระดับหนึ่งจะเป็นพิษต่อปลา และสัตว์น้ำอื่นได้ เช่นในระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้ น้ำแบบไม่ใช้ดิน ควรมีปริมาณไนเตรทน้อยกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (นงนุช เลาหะวิสุทธิ. 2544) แต่สำหรับการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณไนเตรทที่มีความเข้มข้นสูงมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตทางใบและลำต้นของพืช ขณะที่ปริมาณไนเตรทที่มีความเข้มข้นต่ำจะกระตุ้นการติดผล สอดคล้องกับการทดลองของ Naegel (1977) ได้ทำการทดลองปลูกมะเขือเทศและผักกาดหอมในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และไม่มีการให้ธาตุอาหารเสริม พบว่าผักกาดหอมและมะเขือเทศสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ภายใน 4 สัปดาห์ และ 8 สัปดาห์ตามลำดับ โดยที่ผักกาดหอมมีระดับการใช้ไนเตรทมากกว่ามะเขือเทศ

2.6.10 ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (orthophosphate)

ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และการสร้างโปรตีนพลาสม (สุชาติ อิงธรรมจิตร และคณะ. 2534) ในทางประมงมักจะพิจารณาในรูปของสารประกอบออร์โธฟอสเฟต ได้แก่ PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} และ H_2PO_4^- สารประกอบเหล่านี้ละลายน้ำได้ดี (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528) ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะพบฟอสเฟตในปริมาณต่ำ เนื่องจากสามารถตกตะกอนกับเหล็ก แคลเซียม อลูมิเนียม และโซเดียมได้ และบางส่วนจะถูกดูดซับโดยดินเหนียวใต้ท้องน้ำ สำหรับน้ำที่มี pH ของน้ำอยู่ใน ช่วง 6.3-6.9 จะเป็นช่วงที่มือนินทรีย์ฟอสเฟต อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากที่สุด (กานู เทวรัตน์ มณีกุล และคณะ. 2539) ถ้า pH ของน้ำของน้ำสูงกว่านี้ปริมาณฟอสเฟตจะลดลง เพราะน้ำมีความเป็นด่าง ฟอสเฟตจะตกตะกอนกับแคลเซียมในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต (Boyd. 1989)

2.6.11 ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด เกิดจากสูญเสียจากการระเหยของน้ำ การทำความสะอาดถังกรอง การถ่ายตะกอน และการเปลี่ยนถ่ายน้ำบางส่วน เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนน้ำควรทำการเปลี่ยนในปริมาณน้อยที่สุด เพื่อรักษาปริมาณแร่ธาตุอาหารในระบบให้มากที่สุด จากการทดลองของ Sutton and Lewis (1982) ได้ทดลองเลี้ยงปลาครีโอลร่วมกับการปลูกมะเขือเทศแบบไม่ใช้ดิน พบว่าปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากการระเหยประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ที่อุณหภูมิ 25 และ 28 องศาเซลเซียส ในภายหลัง Rakocy, J.E. et al. (2004) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิลและปลาปักทิมร่วมกับการปลูกโหระพาและกระเจียว 3 สายพันธุ์คือ Clemson Spineless, Annie Oakley และ North South โดยทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ปี โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนน้ำทั้งหมด แต่จะมีการเติมน้ำเฉลี่ยในอัตรา 0.26-0.46 เปอร์เซ็นต์ต่อวันเท่านั้น เพื่อชดเชยปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการทำความสะอาดถังกรอง 1-2 ครั้งต่อ

ลึปลาห้ สอดคล้องกับการทดลองของ Quillert, I. et al. (1993) กล่าวว่า น้ำจะถูกเปลี่ยนใหม่ทุกวันประมาณ 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้ทั้งหมดในระบบหมุนเวียน หรือ 3.5-9 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมดของระบบ และตะกอนที่สะสมอยู่ในระบบ ควรมีการถ่ายออก 2-3 ครั้งต่อวัน เนื่องจากเมื่อมีตะกอนสะสมปริมาณมาก จะเกิดการย่อยสลาย และดึงออกซิเจนจากปลา และพืชมาใช้ อีกทั้งยังทำให้อัตราการไหลของน้ำในระบบไหลช้า ตะกอนจะไปจับรากพืช และทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ และธาตุอาหารลดลง (Zweig, 1986) นอกจากนี้ยังมีการแนะนำว่าควรมีการเปลี่ยนน้ำ 10-15 เปอร์เซ็นต์ทุกเดือน (Nelson, 2006a)

2.6.12 คลอรีน

น้ำประปาจะใส่คลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค ซึ่งถ้าในน้ำมีปริมาณคลอรีนมากจะทำให้ปลาหายใจไม่สะดวก ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำในระบบต่อครั้ง ปริมาณคลอรีนในน้ำประปาสามารถทำให้ปลาเครียดได้ จึงควรตั้งทิ้งไว้ก่อน 1 วัน เพื่อให้ระดับคลอรีนในน้ำประปาลดลง (Anonymous, 1997)

2.7 ประสิทธิภาพการใช้น้ำและการบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำในระบบการเลี้ยงปลาทั่วไป พบว่าสามารถประหยัดปริมาณน้ำได้ 4-5 เท่า (สัจเทพ สุขแก้ว, 2544 ; นันทิมา สุทธิวรรณกุล, 2546 ; วราภรณ์ กาซ่ม, 2545) เนื่องจากเป็นระบบปิด มีการหมุนเวียนน้ำเพื่อนำกลับมาใช้อีก

การบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชในระบบปิด พบว่าพืชจะช่วยดูดซับของเสียในรูปไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและธาตุอื่นๆ ได้ ทำให้คุณภาพน้ำที่ได้ปรับปรุงมีคุณภาพเหมาะสมกับการเลี้ยงปลา โดย นันทิมา สุทธิวรรณกุล (2546) ได้ทดสอบการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาทองด้วยพรรณไม้น้ำชนิดอะโกลนีมา (*Aglaonema* sp.) และใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) ในระบบ Nutrient film technique (NFT) และ Deep flow technique (DFT) พบว่าพรรณไม้น้ำชนิดอะโกลนีมาสามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 18.62 และ 17.53 และลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 5.77 และ 5.64 ตามลำดับ ส่วนใบพายศรีลังกาสามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 13.16 และ 13.26 และลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 3.80 และ 2.56 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาทองด้วยพรรณไม้น้ำชนิดใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) และอะเมซอน (*Echinodorus amazonicus*) ในระบบ NFT, DFT และ Sand พบว่าระบบ

Sand ใบพวยศรีลังกา และอเมซอนมีประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุด สามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด 17.85 และ 18.21 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และฟอสฟอรัส 8.65 และ 10.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รองลงมาคือระบบ NFT และระบบ DFT (วรารณา กาซิม, 2545) ในขณะที่ สัจเทพ สุขแก้ว (2544) ทดลองเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกใบพวยศรีลังกา พบว่าใบพวยศรีลังกาช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต และฟอสฟอรัสได้ 11.62, 10.06, 10.92 และ 2.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ Rakocy and Allison (1981) ที่นำพรรณไม้น้ำในกลุ่มของสาหร่าย คือสาหร่ายเดนซ่า และเทป มาใช้ในการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลานิล พบว่าพรรณไม้น้ำดังกล่าวช่วยลดแอมโมเนีย และไนโตรเจนได้ 85.8 และ 17.3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การปลูก alfalfa, white clover, oat, fall rye และ barley ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถช่วยลดปริมาณไนโตรเจน ไนเตรต ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมจากน้ำเลี้ยงปลานิล ได้ 95.9-99.5 82.9-98.1 54.5-93.6 และ 99.6-99.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Ghaly, A.E. et al. 2005) และ Takeda, F. et al. (1997) ได้ทำการศึกษาการปลูก oso grande และ sweet charlie ในระบบ NFT ภายในโรงเรือนที่ Kearneysville USA โดยใช้ น้ำจากการเลี้ยงปลา rainbow trout และมีการใส่ธาตุโพแทสเซียม และธาตุอาหารรอง จากการทดลองพบว่าระบบนี้สามารถลดความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำจากการเลี้ยงปลาได้ จาก 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำเข้า) เหลือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำออก) ดังนั้นระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่มีปริมาณมาก