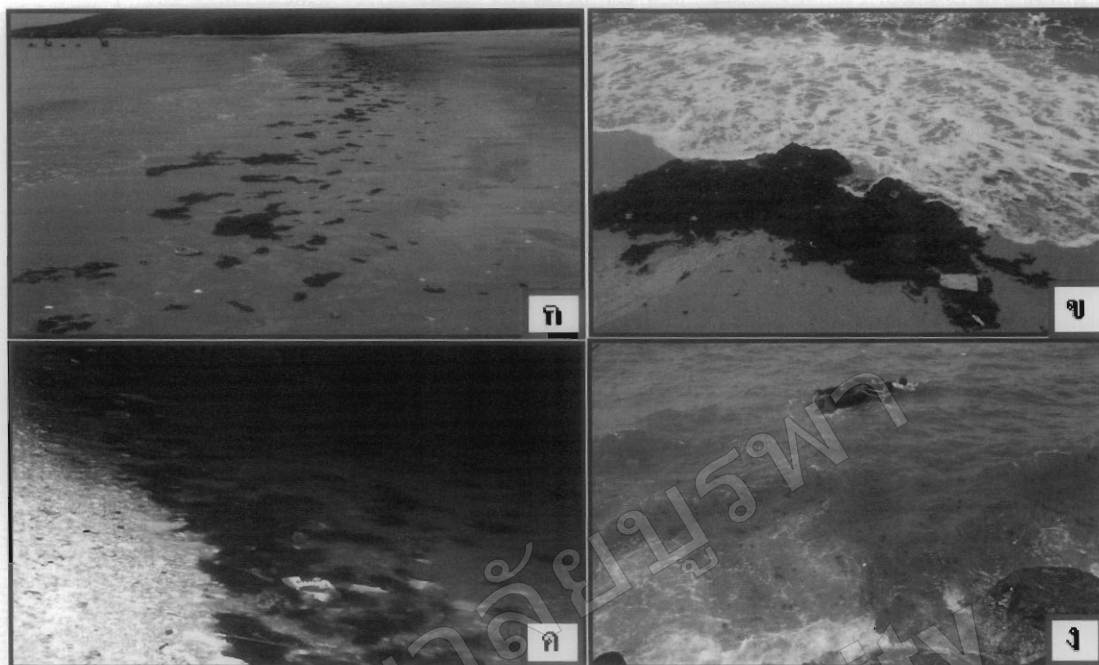


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตามบริเวณชายฝั่งทะเลทางภาคตะวันออกมักจะเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติคือมีการทับถมของสาหร่ายทะเลจำนวนมากบริเวณชายหาดเนื่องจากสาหร่ายทะเลมีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วและถูกคลื่นลมทะเลพัดเข้าสู่ชายฝั่ง มีการทับถมกัน ทำให้เกิดการเน่าเสีย ส่งกลิ่นเหม็น เช่น เหตุการณ์ที่เกิดบริเวณชายหาดบางแสนที่มีสาหร่ายทะเลถูกชะมาบริเวณหาดเป็นจำนวนมาก สาหร่ายทะเลที่ถูกทับถมเหล่านี้ จะถูกนำไปกำจัดโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แต่เนื่องจากมีสาหร่ายทะเลเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้จำนวนคนมาก และใช้รถในการขนหลาย ๆ เที่ยว ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณในการกำจัด แต่บางทีก็จะปล่อยทิ้งไว้ให้สาหร่ายทะเลย่อยสลายอยู่บนชายหาดตามเดิม กลายเป็นขยะที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์อะไรได้ นอกจากบริเวณชายหาดบางแสนแล้วยังมีปรากฏการณ์ที่สาหร่ายทะเลเกิดขึ้นเกิดขึ้นตามชายหาดอื่น ๆ ของจังหวัดชลบุรี ได้แก่ บริเวณหาดพระมหาเจษฎาราชเจ้า อำเภอสัตหีบ สาหร่ายทะเลที่พบมีหลากหลายชนิด เช่น สาหร่ายพวงองุ่น สาหร่ายทุ่น สาหร่ายใบมะกรูด สาหร่ายไส้ไก่ สาหร่ายเฟิร์นเขากวาง เป็นต้น บริเวณหาดวอนนภา อำเภอเมือง พบสาหร่ายไส้ไก่ และบริเวณหาดบ้านโรงโป๊ะ อำเภอบางละมุง พบสาหร่ายไส้ไก่ เป็นต้น (ภาพที่ 2-1) ซึ่งสาหร่ายทะเลในแต่ละพื้นที่มีระยะเวลาการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆด้าน เช่น อุณหภูมิ ปริมาณสารอาหาร แสงสว่าง การไหลเวียนของกระแสน้ำ เป็นต้น สาหร่ายทะเลที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้คือสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva* sp.) ที่เกิดขึ้นบริเวณชายหาดบ้านโรงโป๊ะ อำเภอบางละมุง เนื่องจากมีการเจริญเติบโตในปริมาณมากและยังไม่มีข้อมูลผู้สนใจนำมาใช้ประโยชน์ด้านการเกษตร ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำสาหร่ายทะเลไส้ไก่จากบริเวณนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้นโดยการนำมาทำเป็นน้ำหมักชีวภาพ เพื่อเป็นทางเลือกให้กับเกษตรกรแถบชายฝั่งทะเลในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรด้วยวัสดุที่พบได้ตามท้องถิ่นต่อไป



ภาพที่ 2-1 การเกยตื้นของสาหร่ายทะเลบริเวณชายหาดต่าง ๆ ของจังหวัดชลบุรี

ก) หาดพระมหาเจษฎาราชเจ้า อำเภอสัตหีบ ข) หาดบ้านโรงโป๊ะ อำเภอบางละมุง
ค) และ ง) หาดวอนนภา อำเภอเมือง

2.1 สาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva* sp.)

สาหร่ายไส้ไก่เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียวมีชื่อสามัญว่า Gut Weed หรือ Grass Kelp (ภาพที่ 2-2) ซึ่งปัจจุบันสาหร่ายชนิดนี้ถูกจัดจำแนกแตกต่างออกไปจากเดิม อนุกรมวิธานของสาหร่ายไส้ไก่ มีดังนี้

Division : Chlorophyta

Class : Ulvophyceae

Order : Ulvales

Family : Ulvaceae

Genus : *Ulva*

แต่จากการศึกษาของ Hayden et al. (2003) ได้วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างการถอดแบบ DNA (ITS nrDNA) ภายในนิวเคลียสของไรโบโซม ของสาหร่าย 29 กลุ่ม ที่จัดอยู่ใน Genus *Ulva*

และ *Enteromorpha* ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้านโมเลกุล และข้อมูลจากการเลี้ยงพบว่า *Ulva*.

Enteromorpha และ *Chloropelta* มีวิวัฒนาการไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรรวม *Enteromorpha* และ *Chloropelta* ไว้ใน Genus เดียวกับ *Ulva*



ภาพที่ 2-2 ลักษณะสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva* sp.) ที่ถ่ายด้วย ก) และ ข) กล้องดิจิทัล (Digital camera)

ค) และ ง) กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ (Stereoscopic microscope)

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายไส้ไก่

ทลัสส์ของสาหร่ายไส้ไก่มีลักษณะเป็นหลอดกลวงคล้ายลำไส้ มีความหนาเพียง 1 ชั้นของเซลล์ บางชนิดทลัสส์เรียบ บางชนิดหึ่งงอและข่นเหมือนไส้ไก่ ขัดติดกับพื้นด้วยไรซอยด์พื้นที่ขัดเกาะอาจเป็นก้อนหิน เปลือกหอย เศษไม้ เป็นสาหร่ายทะเลแทบทั้งหมด แต่มีบางชนิดที่เป็นสาหร่ายน้ำจืด เมื่ออายุมากขึ้นอาจหลุดลอยมาตามผิวน้ำ (ฐิติวรรณ จันทร์เจียว, 2551) เมื่อออกเป็นต้นใหม่ ๆ จะเป็นเส้นสายที่มีเซลล์เรียงต่อกันเป็นแถวเดียว ถ้ามีการแบ่งเซลล์จะเป็นเส้นสายมีเซลล์หลายแถวและมีความหนา 2 ชั้นของเซลล์ ต่อมาเซลล์ทั้ง 2 ชั้นจะแยกออกจากกัน เกิดเป็นหลอด

กลวงตรงกลาง โดยมีรากเล็ก ๆ ยึดเกาะ ซึ่งทุกเซลล์บนทลัสสามารถสืบพันธุ์ได้แต่โดยปกติแล้ว จะเกิดขึ้นบริเวณปลายของทลัส (ชนิดดา เกดุมมา, 2551) โดยส่วนใหญ่จะพบสาหร่ายไส้ไก่ได้ตาม ก้อนหินบริเวณชายหาดรวมทั้งตามเปลือกหอยที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเล จะพบเสมอในแหล่งน้ำ กร่อยหรือในบ่อเลี้ยงปลา รวมทั้งพบได้ทั้งเขตร้อน เขตหนาวและเขตอบอุ่น สาหร่ายชนิดนี้ สามารถทนต่อความเค็มได้ การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ใน สิ่งแวดล้อม เช่น ฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงหรือระดับความเค็มของน้ำทะเล

2.1.2 การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายไส้ไก่

การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายไส้ไก่ในต่างประเทศมีมานานแล้ว เช่น ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิlippินส์ และฮาวาย ใช้สาหร่ายชนิดนี้เป็นผักสด หรือแปรรูปเป็นแผ่นแห้ง และรับประทาน กับข้าว นอกจากนี้สารสกัดจากสาหร่ายไส้ไก่ มีคุณสมบัติทางการแพทย์โดยใช้เป็นยาปฏิชีวนะ สารต้านแบคทีเรีย รา และเนื้องอก ส่วนประเทศไทยในอดีตมีการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายไส้ไก่ น้อยมาก แต่ในปัจจุบันเริ่มมีการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายไส้ไก่มากขึ้น เช่น ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์ น้ำ มีการใช้สาหร่ายไส้ไก่เป็นอาหารหอยเป่าฮือ หรือใช้เลี้ยงร่วมกับกุ้งทะเล (เพ็ญแข คุณวรงค์เดช, นพดล คำชาย และจิรารัตน์ น้อยรักษา, 2552) นอกจากนี้ยังสามารถนำมาทำเป็นปุ๋ย ได้ เนื่องจากสาหร่ายไส้ไก่มีธาตุอาหารที่มีความสำคัญสำหรับพืชได้แก่ ธาตุไนโตรเจนและธาตุ โพแทสเซียม ซึ่งประเทศที่นิยมนำสาหร่ายมาทำเป็นปุ๋ยได้แก่ ประเทศไอร์แลนด์ สกอตแลนด์ อังกฤษ สหรัฐอเมริกาและนิวซีแลนด์ เป็นต้น (ชนิดดา เกดุมมา, 2551)

2.2 น้ำหมักชีวภาพ

น้ำหมักชีวภาพ (Bio-fermented liquid) หมายถึง ของเหลวที่เกิดจากการนำเอาเศษพืช หรือเศษสัตว์ มาหมักรวมกับกากน้ำตาล เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ โดยผ่าน กระบวนการหมักในสภาพที่ไม่มีอากาศหรือมีออกซิเจนต่ำ อาจมีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้เร่ง การย่อยสลาย ในน้ำหมักชีวภาพประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่าง ๆ หลากหลายชนิด เช่น เอนไซม์ สอร์บอน และธาตุอาหารต่าง ๆ (ศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัย ราชภัฏสกลนคร, 2552)

2.2.1 ประเภทของน้ำหมักชีวภาพ (พรรณนีย์ วิชชาชู, 2546)

น้ำหมักชีวภาพแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามวัตถุดิบที่นำมาใช้น้ำหมักชีวภาพ คือ

2.3.2.1 น้ำหมักชีวภาพจากพืช

- น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากผักและผลไม้
- น้ำหมักชีวภาพเพื่อป้องกันและกำจัดศัตรูพืช
- น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากขยะเปียก

2.3.2.2 น้ำหมักชีวภาพจากสัตว์

- น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากปลา
- น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่

2.2.2 วิธีการทำน้ำหมักชีวภาพ

การทำน้ำหมักชีวภาพในขั้นตอนแรกต้องเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ โดยล้างวัตถุดิบให้สะอาดไม่ให้มีเศษวัสดุชนิดอื่นที่ไม่ต้องการมาเจือปน จากนั้นสับวัตถุดิบให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วใส่ลงในภาชนะที่ใช้ในปริมาณ 3 ส่วน จากนั้นเติมน้ำตาลลงไป 1 ส่วน (กรณีของพืช) หรือ 3 ส่วน (กรณีของสัตว์) และเติมน้ำ 10 ส่วน คนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน หมักทิ้งไว้เป็นเวลา 15 วัน (มณีรัตน์ สุตันตังใจ, 2545) ควรเก็บถังหมักและน้ำหมักชีวภาพไว้ในที่ร่ม ไม่ควรให้ถูกฝนหรือบริเวณที่มีแสงแดดจัด ๆ และในระหว่างการหมักควรมีการสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นการให้เห็นกระบวนการหมักว่าเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งควรมีลักษณะดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549)

- การเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยจะเกิดฝ้าขาวอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของวัสดุหมัก ในช่วง 1-3 วันของการหมัก

- มีฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นที่บริเวณผิวหน้าวัสดุและใต้ผิววัสดุหมัก
- มีกลิ่นแอลกอฮอล์เกิดขึ้น เนื่องจากการผลิตของยีสต์และจุลินทรีย์ที่สร้างกรด

อินทรีย์พวกกรดแลคติก

การจะนำน้ำหมักชีวภาพไปใช้ประโยชน์ต้องแน่ใจว่า ได้ผ่านกระบวนการหมักที่สมบูรณ์แล้ว เพื่อให้ได้น้ำหมักชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูง สิ่งที่บ่งบอกถึงกระบวนการหมักที่สมบูรณ์มีลักษณะดังนี้

- การเจริญของจุลินทรีย์ลดลง โดยสังเกตบริเวณผิวหน้าของวัสดุหมัก
- กลิ่นแอลกอฮอล์ลดลง
- เกิดกลิ่นเปรี้ยวเพิ่มขึ้น มีความเป็นกรดสูง
- ไม่เกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเกิดน้อยมาก

- ได้ของเหลวที่มีลักษณะใสสีน้ำตาล

2.2.3 ปัจจัยบางประการที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในกระบวนการหมัก (กลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัตถุเหลือใช้, กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, ฝ่ายเผยแพร่และประชาสัมพันธ์, สำนักงานเลขานุการกรมและกองแผนงาน, 2545)

2.2.3.1 ปัจจัยทางด้านเคมีและกายภาพ

- ชนิดและองค์ประกอบของวัสดุหมัก วัสดุจากเศษปลาจะย่อยสลายยากกว่าวัสดุที่เป็นผักและผลไม้ เนื่องจากมีองค์ประกอบของโปรตีน และส่วนของกระดูกปลา ซึ่งจะใช้เวลาในการย่อยสลายนานขึ้น วัสดุที่เป็นผักและผลไม้จะใช้เวลาย่อยสลายน้อยกว่า เนื่องจากมีปริมาณเซลลูโลสสูงแต่จะมีแร่ธาตุที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แล้ว นอกจากนี้เป็นเพราะว่าผักและผลไม้มีน้ำตาลอยู่มากกว่า ซึ่งสารประกอบของน้ำตาลเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการหมักได้ดี ยีสต์จะใช้น้ำตาลที่มีอยู่ในองค์ประกอบของวัสดุหมัก แล้วแปรสภาพให้เป็นของเหลว

- ความอวบน้ำของวัสดุหมัก วัสดุที่มีความอวบน้ำจะทำให้กระบวนการหมักทางชีวภาพดำเนินการย่อยสลายได้ดี

- แหล่งอาหารคาร์บอนของจุลินทรีย์ น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ ในการดำเนินกิจกรรมของการหมักวัสดุลักษณะสด ชนิดของน้ำตาลที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเพิ่มจำนวนเซลล์จะได้มาจากกากน้ำตาล หรือน้ำตาลทรายแดง หรือน้ำตาลทรายขาว น้ำอ้อยสด หรือน้ำตาลสด

- การระบายอากาศ โดยทั่วไปแล้วกระบวนการหมักวัสดุสดนี้เกิดขึ้นในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนมากกว่าที่มีออกซิเจน แต่อย่างไรก็ตามในการหมักวัสดุดังกล่าวควรจะมีช่องว่างเหนือผิววัสดุหมัก ซึ่งอยู่ในถังหมักประมาณ 1 ใน 4 ของปริมาตรทั้งหมด เพื่อเผื่อพื้นที่สำหรับการขยายตัวของวัสดุหมัก

- ค่าความเป็นกรดต่าง ค่า pH ที่มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการหมักวัสดุลักษณะสดเป็นค่า pH ของสารละลายหรือของเหลวในวัสดุหมัก ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยกลุ่มจุลินทรีย์พวก acetic หรือ lactic acid โดยจะทำให้สารละลายมีค่าความเป็นกรดสูงขึ้น

2.2.3.2 ปัจจัยทางด้านชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักเพื่อผลิตน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งจุลินทรีย์นั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลทำให้กระบวนการย่อยสลายมีประสิทธิภาพและใช้ระยะเวลาการหมักสั้นลง กรมพัฒนาที่ดินจึงทำการวิจัยเพื่อให้ได้กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการผลิตแอลกอฮอล์ กรอินทรีย์ เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีนและเศษพืช สำหรับผลิตน้ำหมักชีวภาพที่มีคุณภาพดี นั่นก็คือสารเร่ง พด.2

สารเร่ง พด.2 เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายเศษวัสดุอินทรีย์ทั้งพืชและสัตว์ ซึ่งมีลักษณะสดหรือ มีความชื้นสูง เพื่อผลิตน้ำหมักชีวภาพโดยดำเนินกิจกรรมการหมักในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้กระบวนการหมักดำเนินไปอย่างสมบูรณ์และได้น้ำหมักชีวภาพที่มีคุณภาพ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549) ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์สำคัญที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายเพื่อผลิตน้ำหมักชีวภาพประกอบด้วย

- กลุ่มยีสต์ (Yeasts) เนื่องจากยีสต์มีคุณสมบัติในการหมักน้ำตาลได้ดี ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ยีสต์ในธรรมชาติจะเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์เนื่องจากได้แหล่งอาหารจากน้ำตาล โดยจะปรากฏอยู่ที่บริเวณด้านบนของวัสดุหมักเป็นฟองที่ลอย เป็นฝ้าที่อยู่ผิวของปุ๋ยน้ำชีวภาพ เมื่อการหมักกลดลงยีสต์จะตกตะกอนลงด้านล่าง
- กลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) รูปร่างของเซลล์ จะมีลักษณะเป็นท่อน แบคทีเรียชนิดนี้จัดอยู่ในพวก anaerobic หรือ facultative ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Lactobacillus* sp. มีความต้องการสารอาหารพวกสารประกอบอินทรีย์มีโครงสร้างซับซ้อน พบว่าในกระบวนการหมัก มีการเจริญได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจนด้วย ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดี ทนต่อสภาพความเป็นกรดสูง
- กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก (Acetic acid bacteria) รูปร่างเป็นท่อนแต่มีหลายลักษณะ ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต ทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ดี ในสภาพที่มี pH ของสารละลายต่ำกว่า 5.0 และจะเจริญอยู่ได้ในช่วงค่า pH ระหว่าง 3.0-3.5
- กลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรีย์ในโตรเจนจากโปรตีนและจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพอินทรีย์ในโตรเจน ให้เป็นอนินทรีย์ในโตรเจนซึ่งประกอบด้วย แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซิส ผลัดกันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวนี้ส่วนใหญ่จะได้แอมโมเนีย
- กลุ่มจุลินทรีย์แปรสภาพฟอสฟอรัส ให้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่มีประโยชน์เปลี่ยนเป็นที่มีประโยชน์

2.2.4 คุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารพืชในน้ำหมักชีวภาพ

2.2.4.1 คุณสมบัติทางเคมี

น้ำหมักชีวภาพโดยทั่วไปมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 3.5 - 5.6 มีปริมาณความเข้มข้นของแร่ธาตุและสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ อยู่ในรูปของค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, E.C) เท่ากับ 2-12 เดซิซีเมนต่อเมตร (ds/m) และพิจารณาความสมบูรณ์ในการหมักได้จากค่าอัตราส่วนของสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนต่อสารประกอบไนโตรเจน (C/N ratio) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1/2 - 70/1 (ศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร, 2552)

2.2.4.2 ธาตุอาหารพืชในน้ำหมักชีวภาพ (ออมทรัพย์ นพอมรบดี และคณะ, 2547)

จากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าในน้ำหมักชีวภาพประกอบด้วยธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) ธาตุอาหารรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน) และธาตุอาหารเสริม (แมงกานีส ทองแดง โบรอน เหล็ก เป็นต้น) (รายละเอียดเกี่ยวกับธาตุอาหารพืชดูในหัวข้อ 2.3 ธาตุอาหารและความต้องการของพืช) ซึ่งปริมาณธาตุอาหารพืชจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาทำน้ำหมักชีวภาพ สามารถจำแนกตามวัตถุดิบหลักชนิดต่าง ๆ (ตารางที่ 2-1) ดังนี้

ตารางที่ 2-1 ปริมาณธาตุอาหารพืช (เปอร์เซ็นต์) ในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบหลักชนิดต่าง ๆ

ธาตุอาหารพืช	พืช (เปอร์เซ็นต์)	ปลา (เปอร์เซ็นต์)	หอย (เปอร์เซ็นต์)
ไนโตรเจน	0.05-1.65	0.32-2.00	0.28-1.29
ฟอสฟอรัส	0.01-0.59	0.01-3.74	0.003-0.35
โพแทสเซียม	0.02-1.89	0.38-1.72	0.04-1.53
แคลเซียม	0.008-0.95	0.09-1.08	0.02-2.26
แมกนีเซียม	0.01-0.22	0.05-0.20	0.01-0.84
กำมะถัน	0.006-0.38	0.07-0.35	0.01-0.28
แมงกานีส	0.0001-0.0120	0.0008-0.0072	0.0001-0.0750
ทองแดง	0.0001-0.0006	0.0005-0.0008	0.0004-0.0040
โบรอน	0.0003-0.0040	0.0005-0.0019	0.0003-0.0040
เหล็ก	0.0010-0.0730	0.0048-0.0530	0.0007-0.0980

เด่นนภา ลาคนาเลา และสุธรรมมา กาบิณพงษ์ (2546) ศึกษาปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในน้ำหมักชีวภาพ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพจากใบน้อยหน่า น้ำหมักชีวภาพจากใบเสเดา และน้ำหมักชีวภาพจากใบสาบเสือ โดยทำการสำรวจคุณสมบัติทางกายภาพ และวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช 6 ชนิด คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ทำการหมักน้ำหมักชีวภาพของวัสดุทั้ง 3 ชนิดเป็นเวลา 24 วัน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า ของวัสดุทั้ง 3 มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุพบว่า น้ำ

หมักชีวภาพจากใบสาบเสือ มีปริมาณธาตุอาหารหลักมากกว่าวัสดุชนิดอื่น นอกจากนี้ได้ศึกษาผลของน้ำหมักที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม พบว่าผลของน้ำหมักชีวภาพจากใบสาบเสือทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

2.2.5 การใช้ประโยชน์และวิธีการใช้น้ำหมักชีวภาพในการเกษตร

น้ำหมักชีวภาพมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการทำเกษตรอินทรีย์ ช่วยปรับสมดุลของระบบนิเวศวิทยาการเกษตร มีความปลอดภัยต่อสุขภาพของเกษตรกรมากกว่าการใช้สารเคมีรวมทั้งยังมีประโยชน์ต่อดินและพืชผลทางการเกษตร เช่น ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในดินและน้ำ ปรับสภาพโครงสร้างของดินให้ร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดียิ่งขึ้น ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินให้เป็นธาตุอาหารแก่พืช พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้เลย โดยไม่ต้องใช้พลังงานมากเหมือนกับการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เร่งการเจริญเติบโตของพืชให้สมบูรณ์ แข็งแรงตามธรรมชาติ ด้านทานโรคและแมลงสร้างฮอร์โมนพืช ทำให้ผลผลิตสูง และคุณภาพของผลผลิตดีขึ้น ช่วยให้ผลผลิตคงทน เก็บรักษาไว้ได้นาน เป็นต้น ก่อนที่จะนำน้ำหมักชีวภาพไปใช้ ต้องมีการเจือจางน้ำหมักชีวภาพก่อนนำไปใช้ทุกครั้ง เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพจะมีความเป็นกรดสูงและมีความเข้มข้นมาก ถ้านำไปใช้กับพืชโดยตรง อาจทำให้ต้นพืชเหล่านั้นตายได้ ดังนั้นควรหาความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ต้องการปลูก ซึ่งการให้น้ำหมักชีวภาพกับพืชนั้นสามารถทำได้โดย การรดลงดินโดยตรง หรือจะใช้วิธีฉีดพ่นน้ำหมักชีวภาพบนใบพืชก็ได้ วิธีการและอัตราส่วนการใช้น้ำหมักชีวภาพโดยทั่วไป แสดงไว้ในตารางที่ 2-2 ดังนี้

ตารางที่ 2-2 วิธีการใช้น้ำหมักชีวภาพโดยทั่วไปในพื้นที่การเกษตร

พื้นที่การเกษตร	อัตราส่วนที่ใช้	วิธีการใช้
ข้าว		
- แห่เมล็ดพันธุ์ข้าว	- น้ำหมักชีวภาพ 20 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร/ เมล็ดข้าว 20 กิโลกรัม	- แห่เมล็ดข้าว 12 ชั่วโมง แล้วพักไว้ 1 วันแล้วนำไป ปลูก
- ช่วงการ เจริญเติบโต	- น้ำหมักชีวภาพ 5 ลิตร/ไร่ เมื่อข้าวอายุ 30 50 และ 60 วัน	- เทลงในนาข้าว

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

พื้นที่การเกษตร	อัตราส่วนที่ใช้	วิธีการใช้
พืชไร่		
- ช่วงการเจริญเติบโต	- น้ำหมักชีวภาพ 1 ลิตร เจือจางด้วยน้ำ 500 ลิตร ในพื้นที่ 5 ไร่	- ฉีดพ่นหรือรดลงดินทุก 10 วัน ก่อนออกดอกและช่วงติดผล
พืชผักและไม้ดอก	- น้ำหมักชีวภาพ 1 ลิตร เจือจางด้วยน้ำ 1,000 ลิตร ในพื้นที่ 10 ไร่	- ฉีดพ่นหรือรดลงดินทุก 10 วัน
ไม้ผล	- น้ำหมักชีวภาพ 1 ลิตร เจือจางด้วยน้ำ 500 ลิตร ในพื้นที่ 2 ไร่	- ฉีดพ่นหรือรดลงดินทุก 1 เดือนช่วงกำลังเจริญเติบโต

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน (2550)

อรุ โนทัย สิริธรรมเจริญ (2548) ศึกษาอัตราส่วนความเข้มข้นของน้ำสกัดชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกในถุงดำ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง คือ 1) น้ำสกัดชีวภาพอัตรา 0 มิลลิลิตร ต่อ น้ำ 1 ลิตร (Control), 2) น้ำสกัดชีวภาพ 1 มิลลิลิตร ต่อ น้ำ 1 ลิตร, 3) น้ำสกัดชีวภาพ 2 มิลลิลิตร ต่อ น้ำ 1 ลิตร และ 4) น้ำสกัดชีวภาพ 3 มิลลิลิตร ต่อ น้ำ 1 ลิตร จำนวน 10 ซ้ำ พบว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพ 1 มิลลิลิตร ต่อ น้ำ 1 ลิตร มีผลทำให้ผักกวางตุ้งฮ่องเต้มีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างของใบ ความยาวของใบ เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักสดพร้อมราก น้ำหนักสดหลังตัดแต่งรากดีที่สุด และถ้าให้ความเข้มข้นที่สูงขึ้นมีผลทำให้ผักกวางตุ้งฮ่องเต้มีอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลง

นอกจากน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบหลักที่ได้กล่าวในข้างต้นแล้ว วัตถุดิบที่มีความสำคัญและมีความน่าสนใจอีกชนิดหนึ่งก็คือ สาหร่ายทะเล (seaweed) ซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศวิทยา (ecosystem) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในฐานะผู้ผลิตหรือผู้สร้างอาหาร (producer) หน่วยแรกของห่วงโซ่อาหาร (food chain) ประกอบด้วยหลายเซลล์มีขนาดใหญ่ และพบเกาะกับวัสดุต่าง ๆ บนพื้นใต้ทะเล ส่วนใหญ่มีรูปร่างที่ซับซ้อนแต่บางชนิดก็มีรูปร่างและโครงสร้างง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน สาหร่ายทะเลไม่มีใบ ดอก ผล เมล็ด หรือรากที่แท้จริง อย่างไรก็ตาม สาหร่ายทะเลมีร่างกายนอกซึ่งมองดูเผิน ๆ คล้าย ใบ ดอก ผล หรือรากของพืชบก (คเชนทร เกลิมวัฒน์, 2541) มีงานวิจัยพบว่าในสาหร่ายทะเลประกอบไปด้วยธาตุอาหารพืชหลากหลายชนิดที่

มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช (ตารางที่ 2-3) ซึ่งในต่างประเทศนิยมนำสาหร่ายทะเลมาทำเป็นปุ๋ยเพื่อใช้ในด้านเกษตรกรรม โดยส่วนใหญ่จะนำจะใช้ประโยชน์ในรูปปุ๋ยพืชสด หรือในรูปสารสกัดที่ได้จากสาหร่ายทะเล ในประเทศไทยสามารถพบสาหร่ายทะเลได้หลากหลายชนิด ทั้งทางฝั่งอ่าวไทยและฝั่งอันดามัน ซึ่งการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายทะเลในประเทศไทยนั้นยังมีน้อยมาก ส่วนใหญ่จะเป็นเกษตรกรตามชายฝั่งทะเลที่นำเอาสาหร่ายทะเลไปใช้เพิ่มผลผลิตทางการเกษตรในรูปปุ๋ยพืชสดเท่านั้น ปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวกับน้ำหมักชีวภาพจากสาหร่ายทะเลยังมีไม่มากนัก แต่ในหลาย ๆ ประเทศมีงานวิจัยอยู่ในระดับการค้าโดยผลิตเป็นสินค้าส่งออก ซึ่งในประเทศไทยก็ได้มีการนำเข้าปุ๋ยที่มีสารสกัดจากสาหร่ายทะเลมาวางขายในท้องตลาดด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 2-3 ธาตุอาหารที่พบในตัวอย่างสาหร่ายทะเล 3 ชนิดคือ *Sargassum wightii*, *Ulva lactuca* (พบบริเวณนาเกลือเมือง Kelambakkam ประเทศอินเดีย และ *Kappaphycus alvarezii* (พบบริเวณชายฝั่งทะเลเมือง Rameswaram ประเทศอินเดีย) ((Rathinam et al., 2007; Rathore et al., 2009)

ธาตุอาหาร พืช	<i>Sargassum wightii</i> (มิลลิกรัมต่อกรัม)	<i>Kappaphycus alvarezii</i> (มิลลิกรัมต่อกรัม)	<i>Ulva lactuca</i> (มิลลิกรัมต่อกรัม)
ไนโตรเจน	255.07	0.03	76.1
ฟอสฟอรัส	36.57	33.99	0.48
โพแทสเซียม	70.93	1.97	63.5
แคลเซียม	66.29	460.11	1.24
กำมะถัน	73.36	0.06	26.3
แมงกานีส	5.16	2.50	4.15
ทองแดง	0.75	0.30	0.007
โซเดียม	28.5	0.51	31.4
เหล็ก	7.54	10.59	0.008
สังกะสี	1.62	0.62	1.36

อรกัญญา เม่งหนู และอำไพ ล่องลอย (2553) ทำการวิจัยเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักสาหร่าย *Chaetomorpha crassa* โดยใช้สูตร ที่เป็นที่ยอมรับกัน คือ อัตราส่วนพืช : น้ำตาล : น้ำเท่ากับ 3 : 1 : 10 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ปริมาณน้ำตาลเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจาก

การศึกษาพบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารพืชของน้ำหมักมีค่าที่น่าสนใจเมื่อระยะเวลาการหมัก 30 วัน และได้ศึกษาผลของความเข้มข้นน้ำหมักชีวภาพสาหร่าย *C. crassa* ที่เจือจางด้วยน้ำทะเล (อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพสาหร่าย *C. crassa* : น้ำทะเล เท่ากับ 1:20000, 1:10000, 1:5000, 1:2500, 1:1000, 1:500, 1:250 และ 1:200 ตามลำดับ) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเขากวางพบว่าในทุกความเข้มข้นมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าชุดควบคุม (ไม่เติมน้ำหมักชีวภาพสาหร่าย *C. crassa*)

สุภาจรี นิยะมานนท์ และคณะ (2548) ศึกษาผลของปุ๋ยจากสาหร่ายทะเล *Sargassum polycystum* C. Agardh และ *Padina australis* Hauck ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกะหล่ำดอก (Cauliflower) *Brassica oleracea* var. *botrytis* โดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 15 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ จากผลการทดลองพบว่ากรรมวิธีที่ 14 ใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์สูตร 16:16:16 จำนวน 1.5 กรัมผสมด้วยสาหร่ายทะเลผง *Sargassum polycystum* C. Agardh และ *Padina australis* Hauck สัดส่วน 1:1 จำนวน 20 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร จะทำให้กะหล่ำดอกมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุดทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ทั้งในกระถางและแปลงทดลอง

Kamaladhasan and Subramaniam (2009) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากสาหร่ายทะเล 3 ชนิด คือ สาหร่ายสีน้ำตาล *Sargassum wighii* สาหร่ายสีแดง *Gracilaria corticata* var. และสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa scalpelliformis* ต่อดินถั่วแระ พบว่าที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ และ 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหมักชีวภาพจากสาหร่าย *Gracilaria corticata* var มีอัตราการงอกของเมล็ดสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และความยาวราก เท่ากับ 4.666 ± 3.091 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหมักชีวภาพจากสาหร่าย *Sargassum wightii* ดินถั่วแระมีความยาวยอด เท่ากับ 9.333 ± 2.054 เซนติเมตร และที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหมักชีวภาพจากสาหร่าย *Gracilaria corticata* var. ดินถั่วแระมีความสูง เท่ากับ 13.333 ± 3.39 เซนติเมตร

Rathore et al. (2009) ศึกษาผลกระทบของการประยุกต์ใช้สารสกัดจากสาหร่ายทะเล *Kappaphycus alvarezii* ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 2.5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 เปอร์เซ็นต์) ที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองในช่วงฤดูฝน จากการฉีดพ่นไปที่ใบพบว่าที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ และ 12 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตของถั่วเหลืองสูงสุดถึง 57 เปอร์เซ็นต์และ 46 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

Sridhar and Rengasamy (2010) ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากสาหร่ายทะเล *Ulva lactuca* และการใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี ที่มีต่อผลผลิตของดอกดาวเรือง จากผลการศึกษาพบว่า น้ำหมักชีวภาพจากสาหร่ายทะเล *Ulva lactuca* มีผลต่อการเจริญเติบโตสูงสุดของดอกดาวเรือง จำนวนของ

ดอก และน้ำหนักสดของดอกดาวเรือง ดีที่สุดเมื่อใช้ที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำไปใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี พบว่าให้ผลที่ดีที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์

Thirumaran, Arumugam, Arumugam, and Anantharaman (2009) ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากสาหร่ายทะเล *Rosenvingea intricata* ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ทั้งที่ผสมกับปุ๋ยเคมีและไม่ผสมปุ๋ยเคมี เพื่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต ของ พืชตระกูลถั่ว (*Cyamopsis tetragonoloba*) โดยทำการวัดความยาวของต้น ความยาวราก จำนวนราก จำนวนใบ จำนวนผลผลิต น้ำหนักผลผลิต เป็นต้น เป็นเวลา 45 วันหลังจากการหว่าน จากการศึกษาพบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ให้ผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่วมากที่สุด

2.3 ธาตุอาหารและความต้องการของพืช

พืชสีเขียวเป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารได้เอง (autotrophic organism) และเป็นผู้ผลิตปฐมภูมิ (primary producer) ของระบบนิเวศ เนื่องจากพืชสีเขียวมีการสังเคราะห์แสงจึงสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานทางเคมีในรูปของคาร์โบไฮเดรตที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการดังกล่าว นอกจากนี้ยังสังเคราะห์อินทรีย์สารที่จำเป็นต่าง ๆ เช่น โปรตีน ลิพิด กรดนิวคลีอิก และวิตามินได้เองด้วย (ยงยุทธ โอสภสกา, 2543) พืชจะนำสารที่สังเคราะห์อินทรีย์สารเหล่านี้ใช้ในกิจกรรมการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานในการดำรงชีพของมนุษย์และสัตว์บนโลก ถึงแม้ว่าพืชสามารถที่จะสร้างอาหารเองได้ก็ตาม แต่การเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชก็ต้องการสารอนินทรีย์อีกหลากหลายชนิด ซึ่งสารเหล่านี้พืชจะได้รับมาจากในดินเกือบทั้งหมด ดังนั้นสารอนินทรีย์ที่อยู่ในดินที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้นก็คือ ธาตุอาหาร (วิจิตร วังใน, 2552) โดยธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช สามารถจำแนกออกได้ ดังนี้

ธาตุอาหารมหัพภาค เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ธาตุอาหารที่ได้จากอากาศและน้ำ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน จะปรากฏในรูปสารประกอบเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ เมื่อรวมตัวกันจะมีในพืชไม่ต่ำกว่า 96 % ของน้ำหนักแห้งของพืช ธาตุอาหารหลักหรือธาตุปุ๋ย ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นธาตุอาหารที่พืชดูดจากดินและมักจะขาดแคลน ธาตุอาหารรองอันได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการมากเช่นกัน แต่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารหลัก

ธาตุอาหารจุลภาค เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย บางทีเรียกอาหารเหล่านี้ว่า “ธาตุอาหารเสริม” ได้แก่ ธาตุเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน

(B) โมลิบดีนัม (Mo) และคลอรีน (Cl) แม้พืชจะต้องการธาตุเหล่านี้ในปริมาณน้อยแต่พืชจะขาดธาตุเหล่านี้ไม่ได้ (วิจิตร วังโน, 2552)

ธาตุอาหารพืชที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่จะมีธาตุอาหารบางธาตุเท่านั้นที่เป็นธาตุอาหารที่จำเป็น พืชอาจจะต้องการในปริมาณมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชด้วย ซึ่งธาตุอาหารแต่ละชนิดมีหน้าที่ที่จำเพาะเจาะจงแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 หน้าที่โดยจำเพาะของธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหาร	รูปที่นำมาใช้	หน้าที่โดยจำเพาะของธาตุอาหารพืช
ไนโตรเจน	NO_3^- และ NH_4^+	- เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ กรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์บางชนิดเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของเซลล์และเนื้อเยื่อที่มีชีวิต
ฟอสฟอรัส	H_2PO_4^-	- เป็นส่วนประกอบของกรดนิวคลีอิก และนิวคลีโอโปรตีน ซึ่งมีความสำคัญต่อยีนส์ (genes) การแบ่งเซลล์ และการสร้างเซลล์ในพืช
โพแทสเซียม	K^+	- เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง การสร้างโปรตีน แป้ง ช่วยในการลำเลียง แป้งและน้ำตาล
กำมะถัน	SO_4^{2-} และ SO_2	- เกี่ยวกับการถ่ายทอดพลังงานเช่นเดียวกับฟอสฟอรัส มีผลทางอ้อมต่อการสร้างคลอโรฟิลล์และการแบ่งเซลล์ในส่วนยอดของพืช
แคลเซียม	Ca^{2+}	- เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์ ช่วยให้ผนังเซลล์แข็งแรง รักษาโครงสร้างของโครโมโซม ลดพิษของกรดอินทรีย์ในพืช
แมกนีเซียม	Mg^{2+}	- เป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งสำคัญสำหรับการสังเคราะห์แสง เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจของเซลล์
เหล็ก	Fe^{2+}	- จำเป็นสำหรับการสร้างและรักษาระดับของคลอโรฟิลล์ในพืช เป็นตัวลำเลียงอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจของพืช มีความสำคัญในการสร้างกรดนิวคลีอิก

ตารางที่ 2-4 (ต่อ)

ธาตุอาหาร	สัญลักษณ์	หน้าที่โดยจำเพาะของธาตุอาหารพืช
ทองแดง	Cu^{2+}	- เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส และเอนไซม์อื่น ๆ อีกหลายชนิด ช่วยสร้างวิตามินเอในพืชและเป็นตัวลำเลียงอิเล็กตรอนในเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน
โบรอน	BO_3^{3-}	- มีความสัมพันธ์กับเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและกรดนิวคลีอิก การสร้างผนังเซลล์ การแบ่งเซลล์
แมงกานีส	Mn^{2+}	- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ในพืช เช่น ออกซิเดชัน-รีดักชัน
สังกะสี	Zn^{2+}	- เป็นส่วนประกอบที่จำเป็นของเอนไซม์หลายชนิดรวมทั้งออกซินและฮอร์โมนในพืช

ที่มา: ดัดแปลงจาก วิจิตร วังโน (2552) และ ศรีสม สุวรรณวงศ์ (2547)

2.4 พริก

2.4.1 ข้อมูลพื้นฐานของพริก

พริก เป็นพืชในตระกูล Solanaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum frutescens* L. ชื่อภาษาอังกฤษว่า Chilli peppers, chili, chile หรือ chilli มาจากภาษาสเปน ว่า chile โดยส่วนมากแล้วชื่อเหล่านี้มักหมายถึง พริกที่มีขนาดเล็ก ส่วนพริกขนาดใหญ่ที่มีรสอ่อนกว่าจะเรียกว่า Bell pepper มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum annuum* L. พริกมีแหล่งกำเนิดในอเมริกาเขตร้อน ตั้งแต่ก่อนโคลัมบัสพบทวีปอเมริกา พริกพันธุ์ปลูกแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ *Capsicum baccatum* และ *Capsicum pubescens* R. and P. ซึ่งแยกออกจากกัน ได้ชัดเจนโดยลักษณะทางพฤกษศาสตร์ และอีกกลุ่มหนึ่งที่รวม ๆ กันอยู่ปัจจุบันยอมรับให้แยกเป็นอีก 3 ชนิด (species) ด้วยกัน ได้แก่ *Capsicum annuum* L., *Capsicum frutescens* L. และ *Capsicum chinense* Jacq. (มณีฉัตร นิกรพันธุ์, 2541)

2.4.2 พันธุ์พริกที่ใช้ในการทดสอบ

พริกขี้หนู

พริกขี้หนูมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum frutescens* Linnaeus จัดอยู่ในวงศ์ Solanaceae มีชื่อที่เรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่นต่าง ๆ ได้แก่ กรี ดีปลี ดีปลีขึ้นก ปะแกว

พริกขี้หนู พริกแต้ มะระดี มีือสำโพ Bird pepper และ Chili pepper เป็นต้น มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์คือ เป็นพันธุ์ไม้พุ่มขนาดเล็ก สูงประมาณ 45 ถึง 75 เซนติเมตร ใบเดี่ยวเรียงสลับรูปไข่หรือรูปวงรี กว้าง 2 ถึง 4 เซนติเมตร ยาว 3 ถึง 8 เซนติเมตร โคนใบเอียง ดอกช่อออกที่ซอกใบช่อละ 2 ถึง 3 ดอก กลีบดอกสีขาวหรือเขียวอ่อน ผลเป็นผลสดสีเขียว เมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีส้มแดง ซึ่งผลพริกจะเริ่มสุกหลังจากติดผลแล้วประมาณ 30 วัน การเก็บผลพริกจะเก็บได้ทุก 5-7 วัน สารที่ทำให้ความเผ็ดร้อนเรียกว่า "แคปไซซิน" (capsicin) เป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งในพริกขี้หนูไทยมีปริมาณแคปไซซินอยู่ในช่วงร้อยละ 0.34-0.38 (ต่อน้ำหนักแห้ง) โดยแคปไซซินจะกระจายอยู่ทุกส่วนของผลพริก แต่ส่วนที่พบมากที่สุดนั้นหมายถึงส่วนที่เผ็ดที่สุดคือส่วนของรก หรือส่วนที่เป็นไส้ของพริกซึ่งเป็นที่เกาะของเมล็ดนั่นเอง ส่วนเมล็ดและเปลือกของพริก มีปริมาณแคปไซซินน้อยกว่า

แคปไซซินนอกจากจะให้ความเผ็ดร้อนแล้วยังมีคุณสมบัติช่วยบรรเทาอาการปวด ลดการอักเสบของ กล้ามเนื้อและข้อซึ่งปัจจุบันมีผู้นำ มาทำเป็นเจลทาแก้ปวดกล้ามเนื้อ นอกจากนั้นแคปไซซินยังมีส่วนเพิ่มการเคลื่อนไหวของระบบทางเดินอาหาร และที่น่าสนใจคือผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือดและปัจจัยเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือดด้วย (พัชรานี ภวัตกุล, 2547)

พริกขี้หนูมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทย มีการปลูกและบริโภคอย่างแพร่หลายในทั่วทุกภาคของประเทศ ขึ้นได้ในภูมิอากาศทั่วไปและดินแทบทุกชนิด โดยเฉพาะดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดี มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0 ถึง 6.8 ในดินทรายพริกสามารถขึ้นได้ดีแต่จะต้องให้น้ำและปุ๋ยอย่างพอเพียง พริกสามารถปลูกในดินเค็มได้แต่มีผลกระทบต่อการงอกและความแข็งแรงในระยะแรกของการเจริญเติบโต (ชุติมา ประดิษฐ์เวทย์, 2546)

พริกขี้ฟ้า

พริกขี้ฟ้ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum annuum* Linn. จัดอยู่ในวงศ์

Acuminatum มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์คือ เป็นไม้ล้มลุก สูงประมาณ 30 ถึง 100 เซนติเมตร ใบเดี่ยวเรียงสลับรูปวงรีหรือรูปใบหอก กว้าง 3 ถึง 5 เซนติเมตร ยาว 6 ถึง 8 เซนติเมตร โคนและปลายใบแหลมขอบใบเรียบ ดอกเดี่ยวออกที่ซอกใบ กลีบดอกสีขาวเชื่อมติดกันเป็นหลอดสั้น ๆ ปลายแยกเป็นรูปปากแตรมี 5 แฉก ผลสดเป็นรูปทรงกระบอก ยาว 6 ถึง 12 เซนติเมตร เมื่อสุกผลจะเป็นสีแดงหรือเหลืองส้ม เมล็ดกลมแบน สีขาวนวลมีจำนวนมาก อายุการเก็บเกี่ยวครั้งแรกประมาณ 70-95 วันหลังจากย้ายกล้า ในระยะแรกจะให้ผลผลิตน้อยและจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ผลผลิตจะลดลงเมื่อต้นเริ่มแก่ (ธารรงค์ เครือชุมพล, 2552) สรรพคุณของพริกขี้ฟ้าโดยไม่ระบุส่วนที่ใช้คือ ขับลมในโรค

ที่เกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร แก้อาการท้องอืด ท้องเฟ้อ และแก้ปวดตามบั้นเอว (พัชรานี ภาวดกุล, 2547)

พริกกะเหรียง

พริกกะเหรียงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum frutescens* Linn. อยู่ในวงศ์ Solanaceae มีการปลูกกันมากตามแนวชายแดนไทย-พม่าของจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งปลูกในเขตพื้นที่ป่าทุ่งใหญ่นเรศวร มีการคมนาคมลำบากมากในช่วงของฤดูฝน ตรงกับการปลูกพริกของชาวกะเหรี่ยง และเมื่อผลผลิตพริกสามารถเก็บเกี่ยวได้ก็ไม่สามารถนำออกมาจำหน่ายได้ ต้องแปรรูปเป็นพริกแห้ง พริกกะเหรียงมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม ทนทานต่อสภาวะอากาศและโรคแมลง มีความเผ็ดและหอมซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะ มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์คือ เป็นไม้ล้มลุก สูง 0.3 ถึง 1.5 เมตร กิ่งอ่อนเป็นเหลี่ยม ใบเป็นใบเดี่ยว ออกเรียงสลับ รูปไข่ปลายใบแหลม โคนใบสอบ สีเขียวสด ดอกจะเป็นสีขาว ออกเดี่ยว ๆ หรือ 3 ถึง 5 ดอก ออกตามซอกใบและปลายกิ่ง ก้านดอกยาวกลีบเลี้ยงเชื่อมติดกัน ปลายเป็นแฉก 5 แฉก และจะคงรูปอยู่จนกระทั่งกลายเป็นผล กลีบดอกโคนเชื่อมกันเป็นหลอดสั้น ปลายแยกเป็นกลีบดอก 5 กลีบ กลีบดอกค่อนข้างบาง ใจกลางดอกมีเกสรตัวผู้สีเหลือง ดอกเมื่อบานเต็มที่เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร มีเกสรตัวผู้จำนวน 5 อัน ผลจะชูตั้งขึ้น ติดผลเป็นช่อ ช่อละ 3 ถึง 5 ผล หรืออาจมากกว่านั้น ผลเป็นรูปกลมรีและยาว โคนผลใหญ่ ปลายผลเรียวแหลม ผลโตกว่าผลพริกขี้นกส่วนเห็นชัดเจน ขนาดใหญ่เท่ากับพริกกะเหรียงชนิดที่มีผลเป็นสีแดง (চারুক্ ক্রেতুমূল, 2552)

พริกขูปเปอร์ฮอท

พริกขูปเปอร์ฮอทมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum frutescens* Linn. มีลักษณะเด่นคือ ลำต้นใหญ่ แตกแขนงดี ทรงพุ่มกว้างปานกลาง ต้นสูง 70-80 เซนติเมตร อายุการเก็บเกี่ยว 80-90 วันหลังย้ายปลูก ผลสุกสีแดง ผลยาว 5-7 เซนติเมตร ขั้วผลใหญ่ เนื้อหนา มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าสายพันธุ์อื่น ผลผลิตตกและผลผลิตต่อไร่สูง ช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตนาน 5-6 เดือน

2.4.3 ความสำคัญของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพริก (ไทยเกษตรศาสตร์, 2012)

ในปัจจุบันปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของพริกนั้นส่วนมาจากหลาย ๆ สาเหตุ ได้แก่ สาเหตุจากโรคและแมลงต่าง ๆ การให้น้ำที่ไม่เพียงพอหรือให้น้ำมากเกินไป พวกวัชพืชและศัตรูพืชชนิดอื่น ๆ นอกจากสาเหตุต่าง ๆ เหล่านี้แล้วปัจจัยที่นับว่ามีความสำคัญมากอีกปัจจัยหนึ่งคือ การขาดธาตุอาหารของต้นพริก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ธาตุโพแทสเซียมซึ่งเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ง่าย สลายตัวได้รวดเร็วเมื่อถูกน้ำหรือฝนชะล้าง พริกจึงแสดงอาการขาดโพแทสเซียม ลักษณะอาการของพริกที่ขาดธาตุอาหารนี้ จะแสดง

อาการให้เห็นได้ชัดคือผลพริกที่แก่ใกล้จะสุกเต็มที่จะมีสีไม่สม่ำเสมอ ด้านหนึ่งจะมีสีเขียวปนกับสีแดง เมื่อนำไปตากแห้งจะเห็นผลพริกมีสีขาวซีดบางส่วนเนื้อเยื่อตรงที่เป็นสีขาวมี ลักษณะบางกว่าเนื้อเยื่อที่เป็นสีแดง

การขาดธาตุแมกนีเซียม แสดงให้เห็นที่ใบ โดยเริ่มจากใบแก่ที่ตอนล่างก่อนแล้วปรากฏขึ้นมาจนถึงใบอ่อน อาการบนใบแก่มีสีเหลืองเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่างเส้นใบ แต่เส้นใบยังเป็นสีเขียวอยู่จึงทำให้เกิดเป็นอาการใบด่างเขียวสลับเหลือง แมกนีเซียมเป็นธาตุหนึ่งที่ช่วยให้ใบมีสีเขียว ฉะนั้นเมื่อดันพริกขาดธาตุนี้จึงทำให้เกิดอาการใบเหลืองดังกล่าว มีผลทำให้พืชปรุงอาหารได้ไม่เต็มที่ ต้นเจริญเติบโตช้าและให้ผลผลิตลดน้อยลง ส่วนการป้องกันและแก้ไขอาจทำได้โดยการใส่ปุ๋ยที่มีธาตุแมกนีเซียมร่วมอยู่ด้วย

การขาดธาตุแคลเซียม ทำให้การเจริญเติบโตของเซลล์ผิดปกติ อาการของพริกที่ขาดธาตุแคลเซียมจะปรากฏบนยอดอ่อนก่อน แต่จะแสดงอาการมากขึ้นเรื่อยๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุแคลเซียมที่พืชต้องการ และชนิดพันธุ์ของพริกที่แตกต่างกันด้วย กล่าวคือพริกที่ขนาดของใบใหญ่จะแสดงอาการให้เห็นชัดกว่าพริกที่ใบขนาดเล็ก ส่วนผลกระทบต่อรากขาดธาตุนี้เมื่อดันพริกจะขาดแคลเซียมแต่เพียงเล็กน้อยก็แสดงอาการให้เห็นได้ชัดเจน คือยอดพริกมีสีเขียวอ่อนกว่าปกติ และปลายใบอ่อนที่ยอดทุกใบมีม่วงลงสังเกตเห็นได้ง่าย อาการที่เกิดกับพริกที่กำลังออกดอกหรือติดผลอ่อนก้านดอกและก้านผลจะโค้งงอลงมากกว่าปกติ

การขาดธาตุเหล็ก ใบของพริกที่กำลังเจริญเติบโตจะมีสีเขียวเหลือง คงมีสีเขียวเฉพาะเส้นใบ สีที่ซีดเหลืองจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับในใบอ่อน และจะซีดขาวหมดทั้งใบในเวลาต่อมา ใบอ่อนที่แตกใหม่มีขนาดเล็กผิดปกติ ขอบใบและปลายใบจะแห้งเป็นสีน้ำตาล ดันพริกจะมียอดซีดขาวและชะงักการเจริญเติบโต

อรรรณา ค้างแพง และคณะ (2553) ศึกษาผลของการใช้สารละลายไคโตซานในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพริก 6 สายพันธุ์ คือ พริกกระเหรียงเวียงพิงค์ พริกมันบางช้าง พริกขีหนูสวนพันธุ์บุรพา พริกหยวก พริกหวานและพริกซูปเปอร์ฮอท โดยวางแผนการทดลองแบบ Split-plot in RCBD นิตพ่นดินพริกด้วยสารละลายไคโตซาน 5 กรรมวิธี คือ 1) การพ่นด้วยน้ำสะอาด (Control) 2) การพ่นสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 0.025 เปอร์เซ็นต์ 3) นิตพ่นด้วยสารสกัดไคโตซานความเข้มข้น 200 ppm 4)) นิตพ่นด้วยสารสกัดไคโตซานความเข้มข้น 400 ppm และ 5) นิตพ่นด้วยสารสกัดไคโตซานความเข้มข้น 600 ppm จากการศึกษาพบว่า การนิตพ่นสารละลายไคโตซานระดับความเข้มข้น 200 400 หรือ 600 ppm ทำให้พริก 6 สายพันธุ์ มีความสูงของต้น ความกว้างของทรงพุ่ม ขนาดของลำต้น ความยาวและความกว้างของใบสูงกว่าการนิตพ่นด้วยน้ำ

สะอาดอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการฉีดพ่นด้วยสารละลายกรดอะซิติก 0.025 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ต้นพริก มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าหรือสารละลายไคโตซาน และทำให้ใบพริกเกิดจุดด่างสีขาวและใบไหม้

ชุดิมา ประดิษฐเวทย์ (2546) ศึกษาผลการใช้ น้ำสกัดชีวภาพต่อการเจริญเติบโต การดูดใช้ ธาตุอาหารพืชและผลผลิตพริก โดยใช้พื้นที่ของเกษตรกร ณ บ้านไร่กาญจนา ต.หนองบัว อ.ศรีนคร จ.สุโขทัย เป็นพื้นที่ทดลอง การทดลองประกอบด้วย 3 กรรมวิธี ได้แก่ การใช้ น้ำสกัดชีวภาพในการปลูกพริกเป็นเวลา 3 ปีและ 1 ปี และการปลูกพริกโดยใส่ปุ๋ยเคมี น้ำสกัดชีวภาพที่ใช้ในกรรมวิธีที่ 1 และ 2 เกษตรกรเป็นผู้ผลิตเอง ในการใช้น้ำสกัดชีวภาพใช้วิธีฉีดพ่นบนต้นพริกและดิน โดยใช้น้ำสกัดชีวภาพในอัตรา 60 มิลลิลิตรผสมน้ำ 40 ลิตรต่อพื้นที่ 1 ไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ตั้งแต่ช่วงย้ายกล้าจนสิ้นสุดการเพาะปลูก การใส่ปุ๋ยเคมีใส่ปุ๋ยผสมเกรด 15:15:15 50 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 3 ครั้ง คือช่วงย้ายกล้า ช่วงออกดอกและช่วงติดผล จากผลการศึกษาพบว่า การใช้ น้ำสกัดชีวภาพในการปลูกพริกติดต่อกันเป็นเวลา 3 ปี ทำให้พริกมีความสูง ขนาดลำต้นและทรงพุ่ม น้ำหนักแห้งของ ส่วนที่อยู่เหนือดิน และผลผลิตพริกดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและการใช้น้ำสกัดชีวภาพในปีแรกอย่างมีนัยสำคัญ การดูดใช้ธาตุอาหารพืชของพริกที่มีการใช้น้ำสกัดชีวภาพโดยทั่วไปดีกว่าพริกที่ปลูกโดยใช้สารเคมี

Sridhar and Rengasamy (2012) ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพสาหร่าย *Ulva lactuca* ซึ่งเป็นสาหร่ายทะเลสีเขียว ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีต่อปัจจัยทางกายภาพ ชีวเคมีและผลผลิตของพริก พบว่า การใช้น้ำหมักชีวภาพที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตได้ดีที่สุด และสารสกัดจากสาหร่ายทะเลยังช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน และปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบอ่อน