# บทที่ 1

# บทนำ

## บทนำต้นเรื่อง

คุณค่าของสาหร่าย *Spirulina* sp. ต่อมนุษย์มีมาก เนื่องจากความต้องการอาหารและความจำกัดของพื้นที่เป็นปัญหาที่นับจะทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. จึงเป็นทางเลือกอย่างหนึ่ง เพราะเป็นสาหร่ายที่ให้โปรตีนสูง (เจียมจิตต์, 2531; Nakamura, 1982; Henrikson, 1989; Pelizer *et al.,* 2003) สามารถเพาะเลี้ยงได้ง่าย (ยุวดี, 2544; Nakamura, 1982) ในพื้นที่จำกัดสามารถเจริญได้ในอาหารที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตต่างๆ (Baldia *et al.,* 1990(a), Phang *et al.,* 2000) หรือสารอนินทรีย์ทั่วไปที่พืชใช้ได้ (Danesi *et al.,* 2002) จึงไม่ต้องใช้พื้นที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. จำนวนมากเหมือนกับการปศุสัตว์หรือการปลูกพืชต่างๆ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งของการผลิตสาหร่ายต่อการผลิตอาหารอื่นๆ นอกจากนี้ยังเป็นที่ยอมรับกันเกี่ยวกับคุณสมบัติที่ดีอื่นๆ ของสาหร่าย *Spirulina* sp. เช่น ประสิทธิภาพในการย่อยของสาหร่ายที่สูงกว่าในสาหร่ายชนิดอื่นประมาณ 85-95% (เจียมจิตต์, 2531; Pelizer *et al.,* 2003) ต่างจากยีสต์หรือราบางชนิดที่แม้ร่างกายจะสามารถนำไปใช้ได้แต่มีปริมาณกรดนิวคลีอิคในเซลล์สูง เมื่อบริโภคเข้าไปร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ยูริเอสที่จะย่อยทำให้เกิดการตกตะกอนของกรดยูริคตามไขข้อและเอ็น เรียกว่า โรคเก๊าท์ (Gout) (เจียมจิตต์, 2531)

สาหร่าย *Spirulina* sp. มีปริมาณโปรตีน 50-70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นโปรตีนที่ประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน (ปิยสิทธิ์, 2536; Nakamura, 1982; Venkataraman, 1983; Pelizer *et al*., 2003) สาหร่าย *Spirulina* sp. ยังประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตและไขมันในปริมาณที่พอเหมาะคือมีคาร์โบไฮเดรต 12.5 เปอร์เซ็นต์และไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้สาหร่าย *Spirulina* sp. ยังมีเกลือแร่ และวิตามินหลายชนิดที่สำคัญ เช่น โปแตสเซียม ร้อยละ 1-1.8 โซเดียม ร้อยละ 1.2-1.4 แมกนีเซียมร้อยละ 1-1.3 และแคลเซียมร้อยละ 0.2-0.4 วิตามินเอ บี 1 บี 2 บี 6 บี 12 วิตามินอี กรดนิโคทินิค (Nicotinic acid) กรดโฟลิค (Folic acid) และกรดแพนโททีนิค (Pantothenic acid) เป็นต้น ( ปิยสิทธิ์, 2536; Nakamura, 1982; Venkataraman, 1983; Richmond, 1986; Vonshak *et al.*, 1982; Belay and Ota, 1994)

สาหร่าย *Spirulina* sp. ยังมีประสิทธิภาพในการป้องกันและควบคุมโรคเบาหวาน โรคโลหิตจาง โรคตับ และโรคกระเพาะอาหารอักเสบ และยังช่วยให้ผมดำอีกด้วย (เจียมจิตต์, 2531; Joseph, 1981; Hoddy, 1983; Michael and Lesley, 1988; Belay and Ota, 1994) สาหร่าย *Spirulina* sp. เป็นสาหร่ายที่ร่างกายสามารถย่อยได้ง่าย ปัจจุบันความนิยมรับประทานสาหร่ายชนิดนี้โดยตรงทั้งในรูปชนิดเม็ดหรือผงในรูปของอาหารเสริม เนื่องจากเชื่อกันว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถให้โปรตีนที่มีคุณค่าต่อร่างกายรวมทั้งยังเป็นส่วนช่วยในการรักษาโรคบางชนิดได้ อย่างไรก็ตามต้นทุนในการผลิตสาหร่ายโดยเฉพาะต้นทุนทางด้านการเพาะเลี้ยง (Ogbonna *et al.,* 2000; Phang *et al.,* 2000) ยังคงมีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากอาหารที่นำมาเพาะเลี้ยงในปัจจุบันต้องใช้สารเคมีหลายชนิดยังมีราคาแพง

ในระยะเวลาที่ผ่านมามีความพยายามในการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ทั้งในส่วนที่เกี่ยวกับการพัฒนาผลผลิตและวิธีการ (Kosaric *et al.,* 1974; Ogbonna *et al.,* 2000; Chuntapa *et al.,* 2003) รวมทั้งความพยายามในการใช้แหล่งอาหารอื่นๆ สำหรับการเพาะเลี้ยงรวมทั้งการนำเศษเหลือจากการเกษตรบางประเภทมาทดแทนสารเคมีบางส่วน เพื่อช่วยลดต้นทุนรวมทั้งยังเป็นการนำสิ่งของที่เหลือจากการเกษตรนำกลับมาใช้ใหม่ ช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตทั้งจากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. เอง และการผลิตอื่นๆ

นอกจากนี้ปัจจุบันปริมาณน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม หรือเศษเหลือจากการเกษตรที่มีเพิ่มขึ้น (Prasertsan *et al.,* 1998) หรือจากการขยายตัวของกิจกรรมก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นที่รู้กันทั่วไป น้ำทิ้งหรือเศษเหลือจากการเกษตรส่วนใหญ่มีปริมาณสารอาหารจำพวกไนเตรทและฟอสเฟตที่มีความจำเป็นต่อการเจริญทวีจำนวนของพวกสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช ในปริมาณสูง (ธงชัย, 2544; Ogbonna *et al.,* 2000) ก่อให้เกิดปัญหาจากการทวีจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่าย ทำให้เกิดภาวะการเสียสมดุลย์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำตามมา (เกษม, 2544) ถึงแม้ว่าจะได้มีการใช้วิธีการในการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดปัญหาดังกล่าว ซึ่งมีอยู่หลายวิธีทั้งการใช้วิธีทางฟิสิกส์ เช่น การใช้วิธีการตกตะกอนหรือการใช้ใบพัดเติมอากาศให้แก่น้ำเสีย หรือวิธีการทางเคมี เช่น การใช้สารเคมีเพื่อไปลดค่าความเป็นพิษของน้ำเสีย แต่วิธีการดังกล่าวยังประสบปัญหาการตกค้างของสารเคมี (สุพร, 2538) บางวิธีต้องใช้ระยะเวลาในการบำบัดนาน และหรือต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายสูง (ไชยยุทธ, 2538; Ogbonna *et al.,* 2000) ส่วนการใช้วิธีการทางชีวภาพนั้นเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป เนื่องจากมีผลของการตกค้างหรือผลข้างเคียงอื่นๆ น้อยกว่าวิธีการดังที่กล่าวมาแล้ว รวมทั้งยังสูญเสียค่าใช้จ่ายน้อย (ธงชัย, 2544) วิธีการบำบัดทางชีวภาพที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันหลายวิธี เช่น การใช้จุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารอาหารต่างๆ ในน้ำทิ้ง การทำบ่อผึ่งเพื่อให้มีการย่อยสลายไปตามธรรมชาติของสารอาหาร หรือการนำน้ำเสียหรือเศษเหลือจากการเกษตรมาใช้

ให้เกิดประโยชน์อื่นๆ เช่น การนำกลับมาใช้เป็นปุ๋ยรวมทั้งการนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย (Laliberte *et al.,* 1997) ปัจจุบันมีการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp.ในน้ำทิ้งประเภทต่างๆ พบว่าสามารถเจริญทวีจำนวนได้ดี (ชื่นจิตร์ และคณะ, 2531; เสาวภาและอโณทัย, 2532; วุฒิชัย, 2536; สมเกียรติ, 2542; Kosaric *et al.,* 1974; Phang *et al.,* 2000) สาหร่ายดึงเอาสาร พวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัส รวมทั้งกรดอินทรีย์ต่างๆ (Ogbonna *et al.,* 2000) ที่ตกค้างในน้ำทิ้งมาใช้เป็นอาหารแล้วสาหร่ายยังให้ออกซิเจนแก่แหล่งน้ำนั้นด้วยทำให้คุณภาพน้ำทิ้งดีขึ้น (สุมนทิพย์, 2529; สุชาติ, 2530; Joseph, 1981; Ciferri and Tibboni, 1985; Michael and Laesley, 1988; Phang *et al.,* 2000)

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในอาหารจากเศษเหลือการเกษตรครั้งนี้ เป็นแนวทางในการใช้เศษเหลือจากการเกษตรมาใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. เพื่อทดแทนสารเคมีบางส่วนในการใช้เพาะเลี้ยง รวมทั้งเป็นแนวทางในการลดต้นทุนจากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ทั้งยังเป็นการนำเศษเหลือทิ้งจากการเกษตรกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เพื่อช่วยลดปัญหามลพิษที่เกิดจากการทิ้งของเสียจากการเกษตรลงสู่แหล่งน้ำ และสามารถใช้เป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียได้อีกทางหนึ่งด้วย

**ตรวจเอกสาร**

สาหร่าย *Spirulina* sp. จัดเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะดังนี้

**1. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue-green algae)**

**1.1 ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน**

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสิ่งที่มีชีวิตชั้นต่ำ จัดอยู่ในอาณาจักรโมเนอรา (Monera) (Weisz, 1963; Baldia *et al.,* 1994) ที่มีลักษณะของสิ่งที่มีชีวิตในอาณาจักรนี้ประกอบด้วยเซลล์แบบโปรคาริโอต (procaryote) ภายในเซลล์ไม่มีออร์แกแนลล์ (organelle) มีเฉพาะสารพันธุกรรม (DNA) ที่มีลักษณะเป็นตาข่ายสานกันหลวมๆ อยู่ตรงกลางเซลล์ (Dawes, 1981) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอยู่ในดิวิชั่นไซยาโนไฟตา (Cyanophyta) ลักษณะรูปร่างของสาหร่ายในดิวิชั่นนี้แบ่งออกเป็น 3 พวกคือ พวกที่อยู่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ (single cell) พวกที่อยู่เป็นกลุ่มเซลล์หรืออยู่เป็นโคโลนี (colony) และพวกที่มีลักษณะเป็นสายหรือไตรโคม (trichome) (Dawes, 1981) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีการสืบพันธุ์เฉพาะแบบไม่อาศัยเพศเท่านั้น (สมศักดิ์, 2533; Echlin, 1966) ซึ่งมี 2 วิธี

1. การแบ่งเซลล์ เกิดทั้งสาหร่ายที่เป็นเซลล์เดียว และพวกที่อยู่รวมกันเป็นโคโลนี ผลจากการแบ่งเซลล์ทำให้เกิดกลุ่มเซลล์รวมกันอยู่ภายในผนังเซลล์เดียวกัน (สมศักดิ์, 2533; Chapman and Chapman, 1977) หลังจากนั้นเซลล์ที่ได้จากการแบ่งตัวจึงหลุดออกจากผนังเซลล์เจริญเติบโตเป็นเซลล์เดี่ยวๆ (Bold and Wynne, 1985) ส่วนพวกที่อยู่เป็นโคโลนีการแบ่งเซลล์จะทำให้ขนาดของโคโลนีใหญ่ขึ้น ต่อมาอาจจะมีการหลุดเป็นกลุ่มย่อยๆ แล้วจึงเจริญต่อไป (กาญจนภาชน์, 2527) พวกที่เป็นไตรโคม (trichome) จะมีบริเวณที่ง่ายต่อการขาดออกจากกัน เมื่อไตรโคมขาดจะทำให้ได้ไตรโคมใหม่เป็นท่อนสั้น ๆ เรียกว่าฮอร์โมโกเนีย (Homogonia) แต่ละฮอร์โมโกเนียอาจจะประกอบด้วยเซลล์จำนวน 2-3 เซลล์ หรือมากกว่านั้นและมักจะมีการเคลื่อนไหวมากกว่าไตรโคมเดิม ต่อจากนั้นฮอร์โมโกเนียก็จะเจริญเป็นสายใหม่ต่อไป สำหรับบริเวณที่เซลล์ขาดออกจากกัน เพราะเซลล์บริเวณนี้ตายเกิดเป็นช่องว่าง เรียกว่า เซพาเรชันดิสค์ (separation disks) หรือเนครีเดีย (Necridia) (Smith, 1982) นอกจากนี้พวกที่เป็นสายหรือไตรโคมยังมีการสร้างเฮทเทอโรซิสต์ (Heterocyst) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ปกติ การขาดเป็นท่อน ๆของไตรโคมบริเวณนี้มักจะขาดตรงรอยต่อระหว่างเฮทเทอโรซิสต์กับเซลล์ที่อยู่ติดกัน (กาญจนภาชน์, 2527) นอกจากนี้พวกที่เป็นไตรโคม ยังสามารถสืบพันธุ์โดยการสร้างอะคีนีต (akinete) ซึ่งมีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวที่มีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ปกติมีผนังหนาคล้ายสปอร์ ภายในมีอาหารสะสมประเภทแป้งที่เรียกว่า cyanophycin granules การเจริญหรือการงอกใหม่จากอะคีนีต พบว่า จะเจริญเมื่อมีการสร้างอะคีนีตเสร็จใหม่ๆ หรือบางครั้งอะคีนีตอาจจะพักตัว โดยไม่มีการเจริญเป็นสายใหม่ อะคีนีตสามารถที่จะอยู่ภายใต้สภาพแห้งแล้งมาก หรือในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงระยะหนึ่งได้จนกว่าสภาพแวดล้อมเหมาะสมจึงจะเจริญเป็นสายใหม่ (สมศักดิ์, 2533)

2. การสร้างสปอร์ สปอร์ที่สร้างขึ้นเป็นสปอร์ที่ไม่มีแฟลกเจลลัม (flagellum) สำหรับใช้ในการเคลื่อนที่ สปอร์ที่สร้างมี 2 ชนิด ได้แก่ เอนโดสปอร์ (endospore) เป็นสปอร์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์โดยเกิดจากการแบ่งโปรโตพลาสต์ออกเป็นสองส่วนหรือหลายส่วน แต่ละส่วนพัฒนาไปเป็นสปอร์เมื่อหลุดออกจากผนังเซลล์เดิมจะไปงอกเป็นทัลลัส (thallus) ใหม่ต่อไปอีกชนิดหนึ่ง คือ เอกโซสปอร์ (exospore) เป็นสปอร์ที่เกิดขึ้นโดยการตัดแบ่งส่วนปลายของเซลล์ออกมา (กาญจนภาชน์, 2527)

### 1.2 การแพร่กระจายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สาหร่ายในดิวิชั่นนี้กระจายอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตร้อนชื้นสามารถเจริญได้ดีในแหล่งน้ำทั่วไปทั้งในน้ำสะอาดและน้ำสกปรก ในละอองน้ำตามชายฝั่งทะเลหรือลอยตาม

ผิวน้ำทะเล พบทั่วไปในทุ่งนา บนเปลือกต้นไม้ บนพื้นดินหรือก้อนดิน ผิวกระถางปลูกต้นไม้ที่มีความชื้น (Kumar and Singh, 1976) นอกจากนี้ยังสามารถเจริญได้ในน้ำที่มีความเค็มสูง ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ถึง 75 องศาเซลเซียส (สมศักดิ์, 2533) สามารถอาศัยในเนื้อเยื่อของพืชหรือสัตว์แบบภาวะอาศัยร่วม (Symbiotic) หรือภาวะปรสิต (Parasite) (สมศักดิ์, 2533; Nguitragool, 1973)

## 2. สาหร่าย *Spirulina* sp.

### 2.1 การจัดจำแนก

การศึกษาและการจำแนกชนิดของสาหร่าย *Spirulina* sp. เป็นชนิดต่างๆ พิจารณาจากลักษณะของไตรโคม (Dawson, 1981) เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียว (helix) ระยะห่างระหว่างเกลียว (pitch) ความกว้างของเซลล์ที่ประกอบขึ้นเป็นไตรโคม ถ้าความกว้างของเซลล์อยู่ในช่วง 1-3 ไมโครเมตร จัดเป็นชนิดเล็ก ความกว้างตั้งแต่ 3-12 ไมโครเมตร เป็นชนิดใหญ่ (Ciferri, 1983)

สาหร่าย *Spirulina* sp. เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีการจัดอยู่ในหมวดหมู่ ดังนี้ (Fogg, 1973)

Division Cyanophyta

Class Cyanophyceae

Order Oscillatoriales

Family Oscillatoriaceae

Genus *Spirulina*

### 2.2 ชีววิทยา และการแพร่กระจายของสาหร่าย *Spirulina* sp.

สาหร่าย *Spirulina* sp. เป็นสาหร่ายที่เซลล์เรียงต่อกันเป็นสายที่บิดเป็นเกลียวคล้ายเกลียวลวดสปริง ไม่แตกแขนง มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียว ตั้งแต่ 35-50 ไมโครเมตร ระยะห่างระหว่างเกลียว 60-80 ไมโครเมตร ความกว้างของไตรโคม ประมาณ 4-8 ไมโครเมตร (สุชาติ, 2529; Boney, 1969; Venkataraman, 1983; Ciferri, 1989)

ขนาดของเซลล์ที่ต่อกันเป็นไตรโคม ระดับการบิดและความยาวของไตรโคมของสาหร่าย *Spirulina* sp. มีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิด (species) นอกจากนี้ความยาวของไตรโคมยังขึ้นอยู่กับระยะการเจริญและขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่สาหร่าย *Spirulina* sp. อาศัยอยู่ (Ciferi and Tiboni, 1985) ภายในเซลล์ของสาหร่าย *Spirulina* sp. ไม่มีคลอโรพลาสต์แต่มีไทลาคอยด์ (thylakoids) เดี่ยวๆ กระจายตามขอบเซลล์ ที่ผิวของไทลาคอยด์ มีสารคลอโรฟิลล์เอ

(chlorophyll a) และคาโรทีนอยด์ (carotenoid) หลายชนิด เช่น เบตาคาโรทีน (β-carotene), ซีแซนทีน (zeaxanthin), เอไคเนโนน (echinenone), เบตาไครโทแซนทีน (β-crytoxanthin), ออสซิลลาแซนทิน (oscillaxanthin), ไมโซแซนโทฟิลล์ (myxoxanthophyll) โดยมีเบตาคาโรทีนร้อยละ 70-80 ของคาโรทีนอยด์ทั้งหมด นอกจากนี้สาหร่าย *Spirulina* sp. ยังมีสารประกอบพวกบิลิโปรตีน (biliproteins) เช่น อัลโลไฟโคไซยานิน (allophycocyanin), ซีไฟโคไซยานิน (c-phycocyanin) และยังมีแก๊สแวคคิวโอล (gas vacuole)อยู่ในเซลล์ ทำให้ลอยอยู่บริเวณผิวน้ำได้ (สุชาติ, 2530; Palla, 1970; Smith 1982;Venkataraman, 1983; Belay and Ota, 1994; Henry, 1996) สาหร่าย *Spirulina* sp. มีผนังชั้นนอกสุดประกอบด้วยสารที่มีองค์ประกอบคล้ายคลึงกับผนังของแบคทีเรียชนิดแกรมลบ ผนังชั้นที่ 2 ประกอบด้วยสารเส้นใยของโปรตีน (protein fibril) (Ciferri, 1983)

สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเคลื่อนที่แบบ Creeping หรือ Gliding เป็นการหมุนตัวบิดเป็นเกลียวรอบแกนตามความยาวของไตรโคม อาจจะหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาทำให้ไตรโคมสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลังได้ (Venkataraman , 1974) กลไกการเคลื่อนที่แบบนี้เชื่อว่าเกิดจากการขับเมือกออกจากรูเล็กๆ ของผนังเซลล์หรือเกิดจากการเคลื่อนไหวแบบลูกคลื่นที่ผิวของเซลล์และยังค้นพบเส้นใยในบริเวณผิวของผนังเซลล์และบริเวณที่เกิดคลื่นหรือจากการแลกเปลี่ยนน้ำกับสารละลายภายในเซลล์ซึ่งไม่เท่ากันตลอดทั้งสายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงตึงผิว (surface tension) จึงทำให้ เกิดการเคลื่อนตัวซึ่งเชื่อว่าเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของไตรโคม (กาญจนกาชน์, 2527; Dawson, 1981; Bold and Wynne, 1985)

### 2.3 การสืบพันธุ์

สาหร่าย *Spirulina* sp. สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ไม่มีการสร้างเฮทเทอโรซีสต์ (ชื่นจิตร์, 2530) การสืบพันธุ์ของสาหร่าย *Spirulina* sp. เริ่มจากไตรโคมขาดเป็นท่อนๆ แล้วแยกจากกันเป็นอิสระ แต่ละท่อนเรียกว่า ฮอร์โมโกเนีย ซึ่งจะเจริญเป็นไตรโคมใหม่ที่มีลักษณะเหมือนเดิม การสืบพันธุ์วิธีนี้ เรียกว่า แฟรกเมนเตชั่น (fragmentation) (เสนาะ, 2528; Chapman and Chapman, 1977; Bold and Wynne, 1985)

### 2.4 การแพร่กระจาย

สาหร่าย *Spirulina* sp.เป็นสาหร่ายพบในธรรมชาติ ในแหล่งน้ำจืดทั่วไปที่มีฤทธิ์เป็นด่างและในแหล่งน้ำที่มีความเค็มค่อนข้างสูง 20-70 กรัมต่อลิตร (Bold and Wynne, 1985; Baldia *et al.,* 1994; Richmond, 1986) ทั้งนี้ปริมาณและชนิดของเกลือมีอิทธิพลต่อชนิดและปริมาณของสาหร่ายที่มีในแหล่งน้ำนั้นโดยแบ่งปริมาณของเกลือที่ละลายในแหล่งน้ำธรรมชาติเป็น 3 ระดับ แต่ละระดับจะพบชนิดของสาหร่ายมากน้อยแตกต่างกันไป ถ้ามีปริมาณของเกลือมากว่า 30 กรัมต่อ

ลิตรขึ้นไปจะพบสาหร่าย *Spirulina* sp.เจริญอยู่อย่างหนาแน่นเพียงชนิดเดียว (สุชาติ, 2529; Ciferri, 1983) แหล่งน้ำจืดที่พบสาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญได้แก่แหล่งน้ำที่มีปริมาณของไบคาร์บอเนต 20-70 กรัมต่อลิตร (Ciferri, 1983) เช่น ทะเลสาบในบริเวณน้ำพุร้อนที่เยลโลสโตนปาร์คที่มีอุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส (ชื่นจิตร์ 2530; พนิดา, 2530; Round, 1977) ในประเทศไทยสามารถพบสาหร่าย *Spirulina* sp. ได้ตามแหล่งน้ำทั่วไป (สมศักดิ์, 2517; ยุวดี, 2544) ส่วนใหญ่จะพบสาหร่าย *Spirulina* sp. ในน้ำจืดมากกว่าในน้ำเค็ม หรืออาจพบปะปนกับสาหร่ายชนิดอื่น (Venkataraman, 1983)

**2.5 คุณค่าทางโภชนาการ**

สาหร่าย *Spirulina* sp. มีโปรตีนร้อยละ 50-70 ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด (ตาราง 1) คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 10-20 ไขมัน ร้อยละ 10-15 เถ้าร้อยละ 5-10 ของน้ำหนักแห้ง (สุชาติ, 2530; สุมนทิพย์และปิยะดา, 2533; Joseph, 1981; Ciferri, 1983; Venkataraman, 1983; Michael and Lesley, 1988; Dillon *et al.,* 1995) นอกจากนี้ สาหร่าย *Spirulina* sp. ยังมีวิตามินและเกลือแร่ที่สำคัญอีกหลายชนิด เช่น วิตามินเอ มีประมาณ 40-60 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง วิตามินบี มีประมาณ 10-12 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง โปแตสเซียม มีประมาณ 1,000-1,400 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง แมกนีเซียม มีประมาณ 150-200 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนัก (Nakamura,1982)

**ตาราง 1** ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของสาหร่าย *Spirulina* sp. (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมโปรตีน)

| กรดอะมิโน | มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมโปรตีน |
|---|---|
| Isoleucine | 5.7 |
| Leucine | 8.7 |
| Lysine | 5.1 |
| Methionine | 2.6 |
| Phenylalanine | 5.0 |
| Threonine | 5.4 |
| Tryptophan | 1.5 |
| Valine | 7.5 |
| Alanine | 7.9 |
| Arginine | 7.6 |
| Aspartic acid | 9.1 |
| Cysteine | 0.9 |
| Glutamic acid | 12.7 |
| Glycine | 4.8 |
| Histidine | 1.5 |
| Proline | 4.1 |
| Serine | 5.3 |
| Tyrosine | 4.6 |

ที่มา : Richmond (1986)

จากการเปรียบเทียบปริมาณของกรดกรดอะมิโนที่ได้จากสาหร่าย *Spirulina* sp. มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ตั้งไว้ เปรียบเทียบกับไข่และสาหร่ายซีนีเดสมัส *(Scenedesmus* sp.) ซึ่งพบว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. นั้นมีปริมาณกรดอะมิโนสูงกว่าในซีนีเดสมัสและไข่ (ตาราง 2)

**ตาราง 2** ปริมาณของกรดอะมิโนจากสาหร่าย *Spirulina* sp. สาหร่าย *Scenedesmus* sp.และไข่ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของโปรตีน)

| กรดอะมิโน | FAO | *Spirulina* sp. (ตากแห้ง) | *Scenedesmus* sp. (Drum-dried) | Egg |
|---|---|---|---|---|
| Isoleucine | 4.0 | 6.7 | 3.6 | 5.8 |
| Leucine | 7.0 | 9.8 | 7.3 | 9.0 |
| Valine | 5.0 | 7.1 | 6.0 | 7.8 |
| Phenylalanine | 6.0 | 5.3 | 4.8 | 5.9 |
| Tyrosine | - | 5.3 | 3.2 | 4.2 |
| Lysine | 5.5 | 4.8 | 5.6 | 6.6 |
| Methionine | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 4.0 |
| Cystine | - | 0.9 | 0.6 | 2.2 |
| Tryptophan | - | 0.3 | 0.3 | 1.9 |
| Threonine | - | 6.2 | 5.1 | 5.0 |
| Alanine | - | 9.5 | 9.0 | - |
| Arginine | - | 7.3 | 7.1 | 6.2 |
| Aspartic Acid | - | 11.8 | 8.4 | 11.0 |
| Glutamic Acid | - | 10.3 | 10.7 | 12.6 |
| Glycine | - | 5.7 | 7.1 | 4.2 |
| Histidine | - | 2.2 | 2.1 | 2.4 |
| Proline | - | 4.2 | 3.9 | 4.2 |
| Serine | - | 5.1 | 3.8 | 6.9 |
| Available Lysin | - | 3.7 | 3.0 | - |

ที่มา : Venkataraman (1983)

## 3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina* sp.

### 3.1 ชนิดและปริมาณสารอาหาร

#### 3.1.1 คาร์บอน

คาร์บอนเป็นปัจจัยที่สำคัญมีผลต่อการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย ในสาหร่ายมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (เจียมจิตต์, 2531) สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถใช้คาร์บอนได้ทั้งในรูปของอนินทรีย์สาร และอินทรีย์สาร การเติมสารอาหารอื่นลงไปในอาหารที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. มากขึ้นจะไม่มีผลต่อการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายถ้าปริมาณของคาร์บอนมีอยู่ในอาหารอย่างจำกัด (Becker and Venkataraman, 1982) แหล่งคาร์บอนอินทรีย์ที่สำคัญของสาหร่าย *Spirulina* sp. คือ กลูโกส (Glucose) อาซีเทต (Acetate) เอทธานอล (Ethanol) อะลานิน (Alanine) เอสพาร์เทต (Espatate) ฟรักโทส (Fructose) กาแลคโทส (Galactose) ไพรูเวท (Pyruvate) และซักซิเนต (Succinate) (Becker and Venkataraman, 1982) สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในปัจจุบันพบว่าโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) มีความจำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina* sp. มากกว่าโซเดียมไนเตรท ทั้งนี้เพราะโซเดียมไบคาร์บอเนต จะทำหน้าที่เป็นแหล่งให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และในขณะเดียวกันยังเป็นตัวป้องกันไม่ให้ระดับความเป็นกรด- ด่าง เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Nakamura, 1982; Richmond, 1986) Xiaoyong และคณะ (2000) กล่าวว่า การใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตจำนวน 50-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้แต่จะช่วยรักษาระดับของความเป็นกรด – ด่างของน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง การใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตจำนวน 15 กรัมต่อลิตรในอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ทำให้สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถสามารถเจริญทวีจำนวนได้ดี (ไปรมา และคณะ, 2531; สุขใจ และคณะ, 2535; Nakamura, 1982) แต่การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) สามารถให้ผลผลิตของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่มากกว่าการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นแหล่งคาร์บอน (เจียมจิตต์ และสุชาติ, 2530; ยุวดี, 2544)

#### 3.1.2 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญทวีจำนวนและน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ไนโตรเจนมีหน้าที่เกี่ยวกับเมทาบอลิซึมภายในเซลล์ สาหร่ายมีปริมาณไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 7-10 ของน้ำหนักแห้ง (Becker and Venkataraman, 1982) การขาดไนโตรเจนของสาหร่าย *Spirulina* sp. ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และอาร์เอนเอ (RNA) ลดลง แต่จะมีคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น (Hosakul, 1972; Danesi *et al.,* 2002) สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถใช้ไนโตรเจนได้ทั้งในรูปของอินทรีย์สารและอนินทร์สารในรูปของเกลือแอมโมเนียม ($NH^+_4$) ไนเตรท ($NO^-_3$) และไนไตรท์

($NO^-_2$) (Badia *et al.,* 1991; Chuntapa *et al.,* 2003) โดยทั่วไปพบว่าสาหร่ายจะใช้แอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจนก่อนการใช้ไนเตรท (Badia *et al.,* 1991; Ogbonna *et al.,* 2000) แต่การใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจนทำให้อาหารมีสภาพเป็นกรดก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสาหร่ายได้ ถ้าในแหล่งอาหารมีแอมโมเนียมีความเข้มข้นสูงเกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ogbonna *et al.,* 2000) หรือไนไตรท์ที่มีปริมาณความเข้มข้นสูงเกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตรจะไปมีผลยับยั้งการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย สาหร่ายบางชนิดสามารถใช้ไนไตรท์ที่มีความเข้มข้นประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ควรมีไนเตรทในอาหาร ประมาณ 1.4-138.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Piorreck *et al.,* 1984; Zhenxia *et al.,* 2000) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญได้ดีเมื่อมีการเติมโซเดียมไนเตรท ($NaNO_3$) ลงในอาหาร 2.5 กรัมต่อลิตร (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531; สุมาลี, 2535; Kaplan *et al*., 1986) Chuntapa และคณะ (2003) ได้รายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถใช้ไนโตรเจนในรูปของไนเตรท แอมโมเนีย และไนไตรท์ที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงกุ้งได้ดีโดยสามารถลดปริมาณไนเตรทในน้ำจาก 16-18 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือเพียง 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 1 วัน และสามารถลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ 0.0 – 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 1 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของกุ้งที่มีอยู่ในบ่อเลี้ยง สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่ผสมน้ำกากมูลหมักร้อยละ 10 ร่วมกับการเติมโซเดียมไนเตรท 2.5 และ 1.25 กรัมต่อลิตร (เจียมจิตต์และคณะ 2528) ไนโตรเจนที่ได้จากโซเดียมไนเตรท 20.7 กรัมต่อลิตร สามารถให้ผลผลิตสาหร่าย *Spirulina* sp. ได้ 1.992 กรัมต่อลิตร (Costa *et al.,* 2001) การใช้ยูเรียในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. จะให้ผลผลิตใกล้เคียงกับการใช้ไนเตรทและแอมโมเนีย โดย Danesi และคณะ (2002) พบว่าการเติมยูเรียลงในอาหาร 5.6 กรัม ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp.จะไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสาหร่าย *Spirulina* sp. ไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้แก่ อมีน (amine) ยูเรีย (urea) กลูตามีน (glutamine) แอสพาราจีน (asparagine) (Baldia *et al.,* 1990(a); Ogbonna *et al.,* 2000; Danesi *et al.,* 2002)

**3.1.3 ฟอสฟอรัส**

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทในกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์ เช่น การเคลื่อนย้ายพลังงานและการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิค (Nucleic acid) ในสาหร่าย *Spirulina* sp. จะมีฟอสฟอรัสอยู่ 0.69 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (เจียมจิตต์, 2531; Kosaric *et al.,* 1974; Richmond, 1986; Dela Nove and Basseres, 1989) ในแหล่งน้ำธรรมชาติพบฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ฟอสเฟต สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถใช้ฟอสฟอรัสในรูปของสารอินทรีย์ฟอตเฟตได้ดีกว่าอนินทรีย์ฟอสเฟต (Baldia *et al.,* 1994) การขาดฟอสฟอรัสของสาหร่ายมีผลใกล้เคียงกับการขาดไนโตรเจนคือทำให้ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์เอ และอาร์เอ็นเอ (RNA).ของสาหร่ายลดลง

แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น เคยมีรายงานว่าการเติมสารอาหารจำพวกฟอสฟอรัสบางตัว เช่น โปแตสเซียมไดซัลเฟตและไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตลงไปในอาหารไม่ได้ทำให้การเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายเพิ่มขึ้นเนื่องจากหากมีปริมาณฟอสเฟตที่มากเกินไปสาหร่ายก็ไม่สามารถที่จะนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นได้ทำให้เป็นการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531; อำนาจและคณะ, 2531; Chaufari *et al.,* 1980) การเติมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.05 กรัมต่อลิตรลงไปในอาหารจะช่วยให้สาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญทวีจำนวนได้ดี (นฤมล และคณะ 2529) สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถใช้สารอาหารจำพวกฟอสเฟตที่มีในอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงได้ถึง 60-99 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งฟอสฟอรัส (Kosaric *et al.,* 1974; Ogbonna *et al.,* 2000; Phang *et al.,* 2000; Xiaoyong *et al.,* 2000)

**3.1.4 การหมุนเวียนของสารอาหาร**

การหมุนเวียนของสารอาหารเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. เพราะการหมุนเวียนของสารอาหารช่วยทำให้สาหร่ายที่อยู่ในระดับต่าง ๆ มีโอกาสได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอ ลดการตกตะกอนของสาหร่าย นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มอากาศ ทำให้เซลล์ของสาหร่าย *Spirulina* sp. มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในสภาพที่ไม่มีการหมุนเวียนของสารอาหาร เซลล์สาหร่ายจะจับตัวกันเป็นกลุ่ม และมีอัตราการเจริญลดลง นอกจากนั้นการหมุนเวียนของสารอาหารยังทำให้เซลล์ของสาหร่ายได้สัมผัสธาตุอาหารอย่างทั่วถึงและทำให้สามารถดูดซึมธาตุอาหารต่างๆ ไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวน้ำ กับที่ระดับลึกลงไป ถ้าหากไม่มีการหมุนเวียนของสารอาหารแล้วจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวน้ำสูงและเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงถึงระดับหนึ่งจะไปยับยั้งการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย *Spirulina* sp. (สุมาลี, 2527; ชื่นจิตร์, 2530; Venkataraman, 1983) อย่างไรก็ตามสามารถทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. โดยไม่มีการทำให้น้ำหมุนเวียนตลอดเวลาได้ (Venkatamaran, 1983) แต่สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะในถังที่มีน้ำหมุนอยู่ตลอดเวลา พบว่ามีอัตราการเจริญสูงกว่าถังที่มีน้ำหมุนเวียนเป็นครั้งคราวสีของสาหร่ายในถังที่มีน้ำหมุนเวียนตลอดเวลาจะเข้มกว่าและมีไตรโคมสั้นกว่า เนื่องจากมีการขาดออกจากกันของไตรโคม สุชาติ (2528) เสนอว่า การกวนเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของสารอาหารควรกวนวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 15 นาที เครื่องมือที่ใช้กวนอาจจะเป็น Thermosiphons หรือใบพัดที่หมุนด้วยแรงลม (สุมาลี, 2527) Phang และคณะ (2000) รายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญทวีจำนวนได้ดีเมื่อมีอัตราการหมุนเวียนของน้ำ 24 เซนติเมตรต่อวินาที

**3.2 แสงสว่าง**

ความเข้มของแสงจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับฤดูกาล และสถานที่เช่น ในฤดูร้อนแสงมีความเข้มสูง 80-110 กิโลลักซ์ ในสภาพที่ความเข้มข้นของแสงต่ำกว่า 20 กิโลลักซ์ สาหร่ายและพืชชั้นสูงสามารถใช้พลังงานแสงได้เพียงร้อยละ 20 ของแสงที่ตกกระทบ (สุมนทิพย์, 2529; Nakamura, 1982) ถ้าความเข้มของแสงสูงกว่า 80 กิโลลักซ์ ความสามารถในการใช้พลังงานของสาหร่ายจะลดลง (Nakamura, 1982) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อที่มีความลึกไม่เกิน 20-25 เซนติเมตร สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญได้ดี (ยุวดี, 2544) สาหร่าย *Spirulina* sp. ต้องการแสงที่มีความเข้มในช่วง 30-35 กิโลลักซ์ในบริเวณกลางแจ้ง (สุมนทิพย์ 2529; สุมาลี, 2535; Ogawa, 1972; Kosaric *et al*, 1974; Nakamura,1982; Richmond, 1986; Baldia *et al*, 1990(b); Pelizer *et al.,* 2003) อย่างไรก็ตาม Costa และคณะ (2001) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. โดยใช้แสงความเข้ม 1,900 ลักซ์ ในห้องปฏิบัติการและใช้หลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ในการเพาะเลี้ยง พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญได้ดี ได้ผลผลิต 1.992 กรัมต่อลิตร Olguin และคณะ (2001) รายงานว่า ความเข้มของแสงช่วง 60-144 ไมโครโมลโฟตรอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณผลผลิตของสาหร่าย*Spirulina* sp. แต่จะมีผลต่อปริมาณสารอาหารของสาหร่าย *Spirulina* sp. เช่น ปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันในสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่ทำการเพาะเลี้ยงโดยปริมาณโปรตีนในอาหารสูตร Zarrouk จะมีสูงกว่าในอาหารจากน้ำหมักมูลสุกรแต่จะมีปริมาณไขมันต่ำกว่าในอาหารที่ได้จากน้ำหมักมูลสุกร โดยในอาหารสูตร Zarrouk จะมีปริมาณโปรตีน 0.42 กรัมต่อลิตร ในอาหารน้ำหมักมูลสุกรมี 0.26 กรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณไขมันในอาหารสูตร Zarrouk มี 6.4 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารน้ำหมักมูลสุกรที่ 18 เปอร์เซ็นต์

**3.3 อุณหภูมิ**

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศของสาหร่าย อุณหภูมิถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกชนิดของสาหร่าย (ปิยสิทธิ์, 2536) อุณหภูมิมีบทบาทในการเร่งการเจริญและการสืบพันธุ์ (จีระพรรณ, 2525) ปกติสาหร่าย *Spirulina* sp. จะเจริญได้ดีในอุณหภูมิเฉลี่ย 28-34 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 37 องศาเซลเซียสไม่เหมาะต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina* sp. ช่วงอุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียสเหมาะสมที่สุดต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina* sp. (สุมาลี, 2536; Nakamura, 1970; Chung, 1978; Venkataraman, 1983; Richmond, 1986; Baldia *et al,* 1990(a), 1994; Ogbonna *et al,* 2000; Costa *et al,* 2001) อย่างไรก็ตาม Vonshak และคณะ (1985) ได้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในช่วงฤดู

ใบไม้ร่วงถึงช่วงฤดูหนาวซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ย 19-20 องศาเซลเซียส พบว่า สาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญได้ดี วัดน้ำหนักแห้งได้ 1,200 มิลลิกรัมต่ออาหารเหลว 1 ลิตร

**3.4 ความเป็นกรด-ด่าง**

สาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญอย่างหนาแน่นในแหล่งน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงไม่ว่าจะเป็นสาหร่าย *S. platensis* ที่ทะเลสาบในอาฟริกา หรือ *S. maxima* ในทะเลสาบเท็กซ์โกโก (Ciferri, 1983) ความเป็นกรด – ด่าง ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ทางชีววิทยาของเซลล์ (Ciferri and Tiboni, 1985) ค่าความเป็นกรด – ด่าง มีความสัมพันธ์กับการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Venkataraman, 1983) หรือปริมาณของไบคาร์บอเนตในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย (สุมนทิพย์, 2529) ซึ่งจะส่งผลทางตรงและทางอ้อมต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมของเซลล์สาหร่าย (Becker and Venkataraman, 1982) เนื่องจากค่าความเป็นกรด – ด่าง จะมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมทั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด – ด่าง 10-11 ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. อาจทำให้มีการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียสูงถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้เป็นพิษต่อสาหร่ายได้ (Ogbona *et al.,* 2000) สภาวะความเหมาะสมของความเป็นกรด – ด่างของน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. อยู่ในช่วง 7-11 (Iehana, 1987; Baldia *et al.,*1990(a); Olguin *et al.,* 1997; Ogbonna *et al.,* 2000; Olguin *et al.,* 2001; Danesi *et al.,* 2002; Pelizer *et al.,* 2003)

**3.5 ความหนาแน่นเริ่มต้น**

ความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่ายเมื่อเพาะเลี้ยงมีความสัมพันธ์กับความเข้มของแสง จะสามารถผ่านลงไปในน้ำได้ ถ้าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายต่ำเป็นสภาวะที่เรียกว่าสาหร่ายเกิดการจาง (Becker and Venkataraman, 1982) แสงส่องผ่านลงไปในน้ำได้มาก ซึ่งอาจเป็นผลทำให้เกิดการตายของสาหร่ายจากการเกิดขบวนการโฟโตออกซิเดชัน (Photo oxidation) ในทางกลับกันถ้าความหนาแน่นเริ่มต้นสูงเกินไปจะทำให้เกิดการบังกันเองของสาหร่าย ทำให้การรับพลังงานแสงและประสิทธิภาพในการหายใจลดลง ปริมาณความหนาแน่นเริ่มต้นที่เหมาะสมของสาหร่าย *Spirulina* sp. สำหรับเพาะเลี้ยงควรอยู่ที่ 225-250 มิลลิกรัมของน้ำหนักแห้งต่อลิตร (Venkataraman, 1983) หรือ 13-15 กรัม น้ำหนักแห้ง ต่อตารางเมตรในฤดูร้อนและ 20 กรัมต่อตารางเมตรในฤดูหนาว สาหร่าย *Spirulina* sp. มีค่าเริ่มต้น 0.6 (OD, $560_{น.ม.}$) (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531; Chung, 1978) ข้อมูลจากการทดลองในปัจจุบันรายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ควรมีปริมาณเริ่มต้น 50-120

มิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำหนักแห้ง (Ogbonna *et al.,* 2000; Danesi *et al.,* 2002; Pelizer *et al., 2*003)

## 4. ประโยชน์ของสาหร่าย *Spirulina* sp.

### 4.1 ประโยชน์ทางการแพทย์

เนื่องจากสาหร่าย *Spirulina* sp. มีปริมาณสารอาหารสูงกว่าพืชหรือสาหร่ายชนิดอื่น (เจียมจิตต์, 2531) และมีคุณภาพเกี่ยวกับส่วนประกอบต่างๆสูง (Richmond, 1986) ทำให้สาหร่าย *Spirulina* sp. เป็นทั้งอาหารและยาที่ให้ผลในทางป้องกัน ควบคุมและรักษาโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคกระเพาะอาหาร โรคตับ โรคริดสีดวงทวาร โรคโลหิตจาง โรงความดันโลหิตสูง และแม้แต่โรคมะเร็ง นอกจากนี้สาหร่าย *Spirulina* sp. ยังเหมาะสมที่จะใช้รักษาโรคแผลมีหนองได้เป็นอย่างดีเพราะมีปริมาณโปรตีนและซีสติอินอยู่ในปริมาณสูง สาหร่าย *Spirulina* sp. มีสารคลอโรฟิลล์จำนวนมากจึงช่วยรักษาและป้องกันโรคกระเพาะอาหารได้ดี (เจียมจิตต์, 2531; สมบูรณ์, 2529; Aaronson *et al.,* 1980; Joseph, 1981; Richmond, 1986)

### 4.2 เป็นอาหารของมนุษย์

ในศตวรรษที่ 16 ชาวแอสเทกส์ (Aztecs) ที่อาศัยอยู่ในประเทศเม็กซิโกรวมทั้งชนเผ่ามายา (Maya) ที่อาศัยอยู่ในเม็กซิโกและสาธารณรัฐชาด ชนเผ่าคาเนมบู (Kanembou) ที่อาศัยอยู่แถบทะเลทรายซาฮาราทางตะวันออกเฉียงเหนือของทะเลสาบชาด ได้นำสาหร่าย *Spirulina* sp. มาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารในรูปแบบต่างๆ (สุมนทิพย์, 2529; Nakamura, 1970; Venkataraman, 1983; Bold and Wynne, 1985; Ciferri and Tiboni, 1985) ในปัจจุบันมีการนำสาหร่าย *Spirulina* sp. มาผลิตเป็นอาหารมนุษย์ เป็นอาหารบำรุงสุขภาพในรูปของสาหร่ายอัดเม็ด, ผงและเป็นส่วนผสมอาหารอื่นๆกันทั่วไป (สุมาลี, 2527; สุมนทิพย์, 2529; Hoddy, 1983; Venkataraman, 1983; Ciferri and Tiboni, 1985) ในประเทศไทยมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างกว้างขวาง มีผลิตภัณฑ์ของสาหร่าย *Spirulina* sp. ในรูปอาหารเสริมมากมายในปัจจุบัน (ยุวดี, 2544)

### 4.3 เป็นอาหารสัตว์

สาหร่าย *Spirulina* sp. ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์หลายชนิด การใช้สาหร่าย *Spirulina* sp. แห้งเป็นส่วนผสมอาหารทำให้สัตว์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น เช่น ในสัตว์ปีกพวกเป็ด ไก่ จะช่วยทำให้ไข่ดก และไข่แดงมีสีเข้มน่ารับประทาน เพราะสารเบตาแคโรทีนที่มีในสาหร่าย *Spirulina*

sp. จะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ ซึ่งจะทำให้ไข่แดงและเนื้อของสัตว์เหล่านั้นมีสีเข้มขึ้น ถ้านำไปเลี้ยงลูกกุ้งและลูกปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจก็จะช่วยทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้น อัตราการรอดตายสูงขึ้นการเจริญทางเพศเร็วสามารถผสมพันธุ์ได้เร็วขึ้น (สุชาติ 2529; Venkataraman, 1983) ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้มีการทดลองใช้สาหร่าย *Spirulina* sp. เพื่อเลี้ยงลูกปลาระยะที่ถุงไข่แดงเริ่มยุบ พบว่า ลูกปลาที่เลี้ยงด้วยไข่แดงต้มสุกผสมสาหร่าย *Spirulina* sp. มีอัตราการอยู่รอดสูงถึงร้อยละ 90 ในขณะที่ลูกปลาที่ให้ไข่แดงต้มสุกเพียงอย่างเดียวมีอัตราการอยู่รอดร้อยละ 60 (เจียมจิตต์, 2531) วิพัฒน์ (2523) รายงานว่า อาหารเลี้ยงลูกปลาไนที่ผสมด้วยสาหร่าย *Spirulina* sp. ทำให้ลูกปลาไนมีอัตราการเจริญดีกว่าอาหารเลี้ยงที่ไม่มีสาหร่าย *Spirulina* sp. วุฒิพร (2527) เลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พที่กินอาหารที่ผสมสาหร่าย *Spirulina* sp. ร้อยละ 15 ระยะเวลาเลี้ยงนาน 8 สัปดาห์ พบว่ามีสีเข้มกว่าปลาที่กินอาหารที่ผสมอาหารจากวัตถุดิบ กุ้งป่น หอยแมลงภู่ และกลีบดอกดาวเรือง เนื่องจากปลาแฟนซีคาร์พสามารถสะสมคาโรทีนอยด์จากอาหารได้โดยตรงโดยเฉพาะเอไคเนโนน (echinenone) ในสาหร่าย *Spirulina* sp.เป็นตัวนำทำให้เกิดสีแดงในปลา นอกจากนี้ยังมีคาโรทีนอยด์อีกหลายชนิดในสาหร่ายชนิดนี้ (Richmond, 1988; O'callaghan, 1996; Henry, 1996)

**4.4 ใช้ในการจัดการคุณภาพน้ำ**

สาหร่าย *Spirulina* sp. เป็นสาหร่ายที่สามารถเจริญได้ในแหล่งน้ำทิ้งหรือน้ำหมักมูลสัตว์ที่มีปริมาณสารอาหารหลงเหลืออยู่ ดังนั้นสาหร่ายชนิดนี้สามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสีย เพราะขณะที่สาหร่าย *Spirulina* sp. สังเคราะห์แสงไม่เพียงแต่ให้ออกซิเจนแก่แหล่งน้ำเท่านั้น สาหร่าย *Spirulina* sp. ยังดึงเอาสารอาหารพวกไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำ เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตอีกด้วย (Becker and Venkataraman, 1982; Ciferri and Tiboni, 1985) Chuntapa และคณะ (2003) ทดลองใช้สาหร่าย *Spirulina* sp. ในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่า สามารถลดปริมาณไนเตรทได้ถึง 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อวัน และควบคุม แอมโมเนียให้อยู่ในช่วง 0.0-0.15 มิลลิกรัม / ลิตร Ogbonna และคณะ (2000) ทดลองใช้สาหร่าย 3 ชนิด คือ *Rhodobacter sphaeroides Chlorella Sorokiniana* และ *Spirulina platensis* ในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า สาหร่ายทั้ง 3 ชนิด สามารถลดปริมาณกรดอินทรีย์ และสารอาหารจำพวกไนเตรท ฟอสเฟต โดยสามารถลด อาซีเตด (acetate) ได้ 500 ส่วนในล้านส่วน โพรพิโอเนท (propionate) 1000 ส่วนในล้านส่วน แอมโมเนีย 100 ส่วนในล้านส่วน ฟอสเฟต 50 ส่วนในล้านส่วน และไนเตรท 20 ส่วนในล้านส่วน

วิลาสินี (2532) ได้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในกากส่าเหล้าความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยการเติมปุ๋ย N - P - K

(16 – 16 - 16) จำนวน 0.6 กรัมต่อลิตร โซเดียมไบคาร์บอเนต 8.5 กรัมต่อลิตร โซเดียมไนเตรท 1.5 กรัมต่อลิตร และ ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ในช่วง 10±1 ในห้องปฏิบัติการและกลางแจ้งพบว่า สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถลดค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) ได้ 44 เปอร์เซ็นต์ และ 46.43 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของสีน้ำกากส่าลดลง 51.13 เปอร์เซ็นต์และ 58.69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เวลาประมาณ 15 วัน สาหร่าย *Spirulina* sp. มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD (Chemical Oxygen Demand) ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสาที่มีปริมาณฟอสฟอรัสรวมประมาณ 200-300 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ไนโตรเจนประมาณ 2.3-10.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทไนโตรเจนประมาณ 200-500 มิลลิกรัมต่อลิตรอยู่ในช่วง 70-75 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนรวมประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณฟอสเฟตมีค่าลดลงเล็กน้อย (สุทธิพรรณและอนุพงษ์, 2536)

## 5. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp.

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเพาะเลี้ยงได้หลายวิธีได้แก่

### 5.1 การเพาะเลี้ยงโดยใช้สารเคมี

อาหารสูตรมาตรฐานที่นิยมใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ได้แก่ อาหารสูตร Zarrouk (Venkataraman, 1983) ที่นิยมใช้ในการทดลองเป็นตัวเปรียบเทียบกับอาหารสูตรอื่นๆ (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531; อำนาจและคณะ, 2531; Jimenez *et al.*, 2003) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ด้วยอาหารสูตร Zarrouk ให้แสงความเข้ม 3,500 ลักซ์ วันละ 16 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด- ด่าง เท่ากับ 8 เจริญทวีจำนวนได้สูงสุด 1.2 (OD, $560_{นม.}$) หรือเท่ากับ 555 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ในเวลา 7-10 วัน (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531; อำนาจ และคณะ, 2531) Faucher และคณะ (1979) รายงานว่า สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ความเข้มแสง 3,500 ลักซ์ วันละ 12 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด – ด่าง 9-11 สามารถเจริญทวีจำนวนได้ที่ 9.15 กรัมต่อตารางเมตร Vonshak และคณะ (1982) พบว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk สามารถเจริญทวีจำนวนในบ่อ 100 ตารางเมตร น้ำลึก 13-15 เซนติเมตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ได้น้ำหนักแห้งสูงสุดประมาณ 0.50 กรัมต่อลิตร Olguin และคณะ ( 2001) พบว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ที่ระดับความเป็นกรด – ด่าง 8-10 อุณหภูมิ 21-26 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 3,500 ลักซ์ สามารถทวีจำนวนได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.77 กรัมต่อลิตร

**ตาราง 3** ส่วนประกอบของอาหารสูตร Zarrouk

| ส่วนประกอบ | ปริมาณ (กรัมต่อลิตร) |
|---|---|
| $NaHCO_3$ | 16.80 |
| $K_2HPO_4$ | 0.50 |
| $NaNO_3$ | 2.50 |
| NaCl | 1.00 |
| $MgSO_4.7H_2O$ | 0.20 |
| $FeSO_4.7H_2O$ | 0.01 |
| $K_2SO_4$ | 1.00 |
| $CaCl_2.2H_2O$ | 0.04 |
| EDTA | 0.08 |
| $A_5$ Solution | 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| $B_6$ Solution | 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| pH | 8-10 |

$A_5$ Solution = (มิลลิกรัมต่อลิตร) : $H_3BO_3$ = 2.86 : $MnCl_2.4H_2O$ = 1.80; $ZnSo_4.7H_2O$ = 0.22; $MoO_3$ = 0.01; $CuSO_4.5H_2O$ = 0.08

$B_6$ Solution = (มิลลิกรัมต่อลิตร) : $NH_4VO_3$ = 22.9 ; $NiSO_3.7H_2O$ = 47.8; $Na_2WO_4$ = 17.9; $TI(SO_4)_3$ = 40.0; $Co(NO)_3.6H_2O$ = 4.41

ที่มา : Venkataraman (1983)

ในอาหารสูตร Zarrouk มาตรฐานที่ใช้ประกอบด้วยจำนวนของสารเคมีค่อนข้างยุ่งยาก ต่อมา Central Food Technology Research Institute (CFTRI) จึงได้พัฒนาส่วนผสมของอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. แบบง่ายๆ อีก 3 สูตร (ตาราง 4)

**ตาราง 4** สูตรอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่พัฒนาจากอาหารสูตร Zarrouk

| สารอาหาร (มิลลิกรัมต่อลิตร) | CFIRI Medium | Improved CFIRI Medium | Rural Wastes |
|---|---|---|---|
| $NaHCO_3$ | 4.5 | 4.0 | 4.0 |
| $K_2HPO_4$ | 0.5 | 0.5 (Super phosphate) | 1% (Cow Dung Ash) |
| $NaNO_3$ | 1.5 | 1.0 (Urea) | 1% (Cow's Urine) |
| $K_2SO_4$ | 1.0 | 1.0 | - |
| NaCl | 1.0 (Crude Sea Salt) | 1.0 | - |
| $MgSO_4$ | 0.2 | 0.2 | - |
| $CaCl_2$ | 0.04 | - | - |
| $FeSO_4$ | 0.01 | - | - |

ที่มา : Venkataraman (1983)

**5.2 การเพาะเลี้ยงโดยใช้มูลสัตว์**

Stanley และ Jones (1976) ได้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. เพื่อนำไปใช้เป็นอาหารปลา โดยสูตรอาหารที่ใช้ประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1 โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.5 ปุ๋ยเคมีสูตร (NPK = 12-12-12) 1 กรัมต่อลิตร ใช้มูลวัวเก่าไม่ระบุปริมาณและให้แสงสว่าง 400 วัตต์ ส่องห่างจากบ่อเลี้ยงเป็นระยะ 1 เมตร ปรากฏว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญได้ดี

ชื่นจิตร์ (2530) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตของสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร 10 สูตร ใช้มูลสัตว์ 100 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ที่ประกอบด้วยมูลไก่, มูลสุกร, มูลเป็ด, มูลวัว, มูลสุกร + ปุ๋ยเคมี, มูลไก่ +ปุ๋ยเคมี, มูลเป็ด+ปุ๋ยเคมี, มูลวัว + ปุ๋ยเคมี, ไข่น้ำ + ปุ๋ยเคมี และอาหารสูตร Ciferri ที่ระดับความเป็นกรดด่างเริ่มต้นของสูตรอาหาร 4 ระดับ คือ 6, 7, 8, 9 และระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 10 วัน ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 (OD, 560 $_{นม.}$) ปรากฏว่า ผลผลิตของสาหร่าย *Spirulina* sp. สูงสุดได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้จากมูลไก่ผสมปุ๋ยเคมี N-P-K (16 - 16 - 16) จำนวน 1 กรัม โซเดียมไบคาร์บอเนต 5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 10 กรัม ในสารละลาย 1 ลิตร ที่ระดับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 9 ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยง 10 วัน ได้ผลผลิตเฉลี่ยของน้ำหนักแห้ง 2.74 กรัมต่อลิตร

วิรัตน์ (2533) รายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. มีอัตราการเจริญดีที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงในน้ำสกัดจากมูลหมูผสมมูลไก่ น้ำสกัดจากมูลวัว และน้ำสกัดจากมูลหมูผสมมูลวัว 12 กรัมต่อลิตร

ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8 อุณหภูมิ 30 –35 องศาเซลเซียส ได้รับแสงวันละ 16 ชั่วโมง ใช้เวลาเพาะเลี้ยง 10 วัน ที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 0.6 (OD, $560_{นม.}$) ได้สาหร่าย *Spirulina* sp. 1.7 , 1.5, 1.4 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ Olguin และคณะ (2001) ทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. จากน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ความเป็นกรด – ด่าง 8-10 อุณหภูมิ 21-26 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 3,000-3,500 ลักซ์ พบว่า สาหร่ายสามารถเจริญได้ไม่แตกต่างกับสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk โดยได้น้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 0.67 และ 0.77 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Oron และคณะ (1979) เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. โดยใช้น้ำหมักมูลวัว 16 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 16 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 400 แคลลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน ค่าความเป็นกรด – ด่าง ประมาณ 9.2 สาหร่ายสามารถเจริญได้ความหนาแน่น 3 กรัมน้ำหนักเปียกต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงไปได้ 13 วัน

### 5.3 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp.ในน้ำที่เตรียมจากดิน

อำนาจ และคณะ (2531) เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp.ในอาหารที่เตรียมจากดินใช้ความหนาแน่นเริ่มต้น 0.6 (OD, $560_{นม.}$) ให้แสงความเข้ม 3,500 ลักซ์ 16 ชั่วโมงต่อวัน พบว่าในอาหารที่เตรียมจากดินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 80 สาหร่าย *Spirulina* sp. มีการเจริญได้ดีที่สุดเมื่อมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 3.5 กรัมต่อลิตร โปแตสเซียมซัลเฟต ($K_2SO_4$) 0.2 กรัมต่อลิตร แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H_2O$) 0.2 กรัมต่อลิตร และแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2.2H_2O$) 0.04 กรัมต่อลิตร มีอัตราการเจริญของสาหร่าย *Spirulina* sp. เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1.092 หรือ 505 มิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำหนักแห้ง ซึ่งต่ำกว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ที่มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 1.20 (OD $560_{นม}$)หรือ 555 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร

### 5.4 การเพาะเลี้ยงจากวัสดุที่เหลือใช้

สมบัติ (2528) ทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. โดยใช้น้ำทิ้งจากนาเกลือและเกลือทะเลแทนสารอาหารที่จำเป็นน้อยจากสาร $A_5$ และ $B_6$ ในอาหารสูตร Zarrouk เปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk และการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงที่ไม่มีธาตุอาหารจำเป็นให้ความเข้มแสง 5,086 ลักซ์ ค่า OD, $560_{นม.}$ เริ่มต้น 0.5-0.7 อุณหภูมิ 31-34 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ซ้ำเป็นครั้งที่ 2, 3 และ 4 สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่ไม่ได้รับธาตุ

อาหารจำเป็นจะมีอัตราการเจริญต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารชนิดอื่น โดยอัตราการเจริญของสาหร่ายโดยเฉลี่ยประมาณ 99 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวันดังนั้นจึงสามารถใช้น้ำทิ้งจากนาเกลือและเกลือทะเลแทนสารละลายธาตุอาหารจำเป็นได้

พิมพรรณ และอารักษ์ (2531) เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในน้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา ในสภาพที่มีแสงความเข้มแสง 3,500 ลักซ์ ความหนาแน่นเริ่มต้น 0.6 (OD, 560 $_{นม.}$) ได้รับแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน พบว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญได้ดี ในน้ำทิ้งจากโรงงานยางพาราที่ไม่มีการเจือจางเมื่อมีการเติมโซเดียมไนเตรท 2.5 กรัมต่อลิตรลงไป ดีกว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk โดยในน้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา มีการเจริญเฉลี่ย 1.188 (OD560 $_{นม}$) (600 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร)

นฤมล และคณะ (2539)รายงานว่า สาหร่ายสามารถเจริญได้ดีเมื่อเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนต 8.5 กรัมต่อลิตร และไนโตรเจนในรูปของ N-P-K (16-16-16) 0.6 กรัมต่อลิตร ให้แสง 3,500 ลักซ์ ค่าความเป็นกรด – ด่าง 8-10 ได้รับแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ความหนาแน่นเริ่มต้น 0.6 (OD, 560 $_{นม.}$) ให้ผลผลิตเฉลี่ย 500 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร

Kosaric และคณะ (1974) รายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญได้ในน้ำทิ้งที่มีปริมาณของไนโตรเจน 40.8 ส่วนในล้านส่วน และฟอสฟอรัส 4.8 ส่วนในล้านส่วน จากเทศบาลในกรุงลอนดอน โดยทำการเพาะเลี้ยงใช้แสงความเข้ม 4,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 30±5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด – ด่าง 8-5-10 สาหร่ายสามารถเจริญได้ความหนาแน่นสูงสุดในวันที่ 6 ของการเพาะเลี้ยงได้ผลผลิต 0.77 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร

Phang และคณะ (2000) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งสาคู พบว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญได้ดีโดยน้ำทิ้งมีปริมาณ C : N: P เท่ากับ 24 : 0.14 : 1 ความเป็นกรด – ด่าง 9-10 ที่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ 0.5 กรัมต่อลิตร โซเดียมไบคาร์บอเนต 9-15 กรัมต่อลิตรได้ผลผลิตสูงสุด 588 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร

**วัตถุประสงค์** เพื่อ

1. ทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. โดยใช้น้ำหมักมูลไก่ไข่ น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ และน้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา เปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk

2. เปรียบเทียบการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย *Spirulina* sp. ในน้ำเลี้ยงสูตร Zarrouk สูตรที่ใช้แฉพาะ 3 ธาตุหลัก ในสูตร Zarrouk (อาหารอย่างง่าย) และสูตรที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลองในข้อ 1 รวม 5 สูตร

3. ศึกษาการลดลงของไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตในน้ำเลี้ยงแต่ละสูตร