บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีววิทยาของสาหร่าย

สาหร่าย หมายถึง กลุ่มพืชที่มีโครงสร้างง่าย ๆ คือ ประกอบด้วยเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ แต่การเรียงตัวของเซลล์ไม่ซับซ้อน ไม่มีเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เฉพาะ จึงไม่มีท่อลำเลียง ไม่มีราก ลำต้น และใบที่แท้จริง โครงสร้างของสาหร่ายทั้งหมด เรียกว่า ทัลลัส (thallus) สาหร่ายบางชนิดจัดเป็นแพลงค์ตอนพืชที่สามารถสังเคราะห์แสง ได้ด้วยรงควัตถุชนิดต่าง ๆ ดังนั้นในการแบ่งชนิดของสาหร่ายจึงแบ่งตามชนิดของรงควัตถุ เช่น สาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาล เป็นต้น (กาญจนภาชน์ , 2527)

สาหร่ายจัดเป็นพืชที่ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี จึงสามารถพบสาหร่ายได้ทั่วไป แต่ส่วนมากเจริญได้ดีในน้ำ สาหร่ายแต่ละชนิดจะเจริญได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเฉพาะตัว และมีความทนทานต่อการการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีไม่เท่ากัน สาหร่ายชนิดใดที่ปรับตัวได้ดีจึงสามารถพบได้ในแทบทุกแห่ง แต่บางชนิดจะพบเฉพาะในบางแห่งหรือบางฤดูกาลที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมเท่านั้น (สมถพ , 2525) อ้างโดย ดนัย (2539) บรรดาสาหร่ายทุกชนิดสาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสาหร่ายที่พบมากที่สุดในแหล่งน้ำจืดทั่วไปทุกฤดูกาล

Anabaena สามารถจำแนกหมวดหมู่ตามหลัก อนุกรมวิธานดังนี้ จัดจำแนกโดย (Venkataraman,1983)

Division Cyanophyta

Class Cyanophyceae

Order Nostocales

Family Nostocaceae

Genus Anabaena

Species *Anabaena siamensis*

Anabaena เป็นสาหร่ายที่มีขนาดเล็กมากต้องมองผ่านกล้องจุลทรรศน์จึงจะเห็นลักษณะเซลล์ พบมากในที่ที่มีน้ำขังและน้ำไหลเอื่อย มีลักษณะเซลล์เช่นเดียวกับแบคทีเรีย คือไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ผนังเซลล์บาง มี 3 ชั้นชั้นในเป็นชั้นที่บางประกอบด้วย เซลลูโลส ชั้นกลางเป็นสารพวกเพคติน ส่วนชั้นนอกสุดเป็นสารเมือกเจลาติน ซึ่งเป็นชั้นที่เรียกว่า ปลอกหุ้มหรือชีท ภายในเซลล์จะมีโครมาตินกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปและพบมากบริเวณกลางเซลล์ ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสและไม่มีนิวคลีโอลัส ในนิวเคลียสไม่มีเมมเบรนหุ้ม นอกจากนี้ยังมีสารสีเขียวคือคลอโรฟิวส์เอ และยังมีสารสีน้ำเงิน (phycocyanin) และสารสีแดง (phycoerythrin) เป็นรงควัตถุที่สำคัญในการสังเคราะห์แสง อยู่ในอันดับ Nostocalase มีลักษณะเป็นเส้นสายไม่แตกแขนง สร้างเฮเทอโรซีสต์ภายในเส้นสายเรียกว่า อินเตอร์คาลารี เฮเทอโรซีสต์ (Intercalary heterocyst) และหรืออะคินีท บริเวณตำแหน่งปลายของเส้นสาย (Lee ,1995) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549) มีการสร้างสารเมือกหรือชีทมาห่อหุ้มผนังเซลล์ชั้นนอก ซึ่งเป็นชั้นที่ช่วยให้เซลล์ยึดต่อกันเป็นสาย (Mauseth , 1991) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549) เป็นลักษณะเซลล์เรียงแถวเดียว เรียกว่าไตรโครม(Trichome) (Lee ,1995) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549)

2.2 องค์ประกอบของ *Anabaena*

2.2.1 ผนังเซลล์และชีท

ผนังเซลล์ของ *Anabaena* มี 3 ชั้นชั้นในเป็นชั้นที่บางประกอบด้วยเซลลูโลส ชั้นกลางเป็นสารพวกเพคติน ส่วนชั้นนอกสุดเป็นสารเมือกเจลาติน ซึ่งเป็นชั้นที่เรียกว่า ปลอกหุ้มหรือชีท มีสารพวกเซมิเซลลูโลสปนอยู่กับพวกเพคติน ชีทอาจจะใสไม่มีสี จึงทำให้มองไม่ค่อยชัด (Prescott,1978) อ้างโดย ยุวดี (2549) ชีทมีหน้าที่ป้องกันเซลล์ไม่ให้แห้ง รวมทั้งช่วยทำให้ *Anabaena* เกิดการเคลื่อนที่แบบลื่นไถล ปลายไตรโคมสามารถเคลื่อนไหวเป็นคลื่นช้าๆได้ด้วย (Lee ,1995) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549)

2.2.2 โพรโทพลาสซึม

โพรโทพลาสซึมของ *Anabaena* บริเวณกลางเซลล์จะมีสายของ ดี เอ็น เอ ซึ่งไม่มีโปรตีนฮีสโตน (Lee ,1995) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549) โพรโทพลาสซึมประกอบด้วย ชั้นไทลาคอยด์และมีการรวมกับโครงสร้างไฟโครบิลิโซม (phycobilisome) อยู่บนไทลาคอยด์ ซึ่งเป็นไฟโคบิลิโปรตีน(phycobiliproteins) และมีไกลโคเจนแกรนูล (glycogen granules) บริเวณกลางเซลล์ยังมีไรโบโซมขนาด 70_s อยู่อย่างหนาแน่นไม่มีนิวคลีโอลัส ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสและไม่มีกระบวนการไมโทซีส(Bold and et al.1980) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549)

2.2.3 แก๊สแวคิวโอล

แก๊สแวคิวโอล ประกอบด้วยถุงแก๊สและเป็นหลอดกลวงที่มีปลายปิด เมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆกระจายอยู่ทั่วไป มีสีเหลืองแกมเขียว ถ้ากำลังขยายต่ำจะมีสีดำแต่ถ้ากำลังขยายสูงจะมีสีแดง เนื่องจากการสะท้อนแสง (Smith,1950) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549) เยื่อที่ห่อหุ้มถุงแก๊สประกอบด้วยโปรตีนเป็นเยื่อที่แข็งแรงภายในมีแก๊สบรรจุอยู่ มีแรงดันประมาณ 1บรรยากาศเป็นเยื่อที่ยอมให้แก๊สผ่านเข้าออกแต่ไม่ยอมให้น้ำผ่านเข้า ภายในมีแก๊สออกซิเจนเพื่อใช้ในการหายใจและช่วยให้เซลล์ลอยตัว ลดความเข้มของแสง (Lee ,1995) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549) โดย *Anabaena* จะใช้แก๊สแวคิวโอลเป็นทุ่นลอย โดยครั้งแรก *Anabaena* จะจมน้ำเมื่อมีการสร้างแก๊สแวคิวโอลขึ้นจึงจะลอยขึ้นอยู่ใกล้ผิวน้ำเป็นจำนวนมากมีผลทำให้เกิดการบลูม (bloom) ซึ่งภายในแวคิวโอลจะมีออกซิเจนเป็นส่วนน้อยส่วนใหญ่จะเป็นพวกไนโตรเจนหรือสารประกอบไนโตรเจน (Mauseth ,1991) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549)

2.2.4 เฮเทอโรซีสต์ (Heterocyst)

เป็นส่วนของเซลล์ที่มีเอนไซม์ไนโตรจีเนส ซึ่งจะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน dinitrogen (N_2) ไปเป็น ammonia (NH_3) ในสภาวะไร้ออกซิเจน ลักษณะของ heterocyst จะมีความแตกต่างจากเซลล์ปกติ โดยมีผนังเซลล์หนาและมีชั้นของ ไกลโคลิปิด (glycolipid) อยู่ด้านใน ซึ่งเชื่อว่าจะช่วยลดอัตราการแพร่ของออกซิเจน เข้าสู่ภายในทำให้ heterocyst เป็นเซลล์ที่สามารถเกิดกระบวนการตรึงไนโตรเจนได้ การเปลี่ยนไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยพลังงานจาก ATP โดยโมเลกุลของเอนไซม์ไนโตรจีเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์คอมเพล็กซ์ที่ประกอบด้วย iron-sulfarprotins สองหน่วย (แต่ละหน่วยไม่สามารถทำงานได้โดยอิสระ) เมื่อโปรตีนทั้งสองส่วนทำงานด้วยกันก็จะสามารถเกิดการเร่งปฏิกิริยาได้ อย่างไรก็ตามเอนไซม์ดังกล่าวจะทำงานได้เฉพาะในสภาวะไม่มีออกซิเจนภายในเซลล์ heterocyst จึงไม่พบระบบการสังเคราะห์แสงส่วน photocystem II มีการแยกโมเลกุลของน้ำออกเป็นโปรตรอนและออกซิเจน (Bold and et al.1980) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549) จึงช่วยป้องกันแสงโดยการหักเหของแสงและสะท้อนแสงให้แสงกระจัดกระจายออกไปเป็นการป้องกันโครงสร้างที่ไวต่อแสงไม่ให้เป็นอันตราย คุณภาพในการป้องกันแสงขึ้นอยู่กับแก๊สที่บรรจุอยู่ภายในถุงแก๊สว่ามีดรรชนีการหักเหต่ำกว่าส่วนของไซโทพลาสซึมที่อยู่โดยรอบ (Lee ,1995) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2.5 อาหารที่เก็บสะสม

อาหารที่เก็บสะสมเป็นพวกคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ แป้งไซยาโนไฟซิน (cyanophycin starch) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตในรูปไซยาโนไฟซินแกรนูล กระจายอยู่ในชั้นโครโมพลาสนอกจากนี้ยังมีไกลโครเจนแกรนูล และหยดน้ำมัน (ยุวดี ,2548)

2.2.6 การสืบพันธุ์

เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการแตกหักเป็นท่อน (firamentation) *Anabaena* อาจจะเจริญเติบโตเป็นสายยาวต่อๆไปโดยไม่จำกัด ความยาว แต่ส่วนมากมักจะขาดเป็นท่อนก่อนที่จะยาวเกินไป ซึ่งการแตกหักเป็นท่อนอาจเนื่องมาจากมีสัตว์น้ำมากระแทกโดยแรงกระแสน้ำพัด เกิดจากเซลล์ใดเซลล์หนึ่งภายในสายเซลล์นั้นเกิดตายลงจึงทำให้เซลล์นั้นว่างเปล่า มีแต่ผนังเซลล์อย่างเดียว เป็นจุดอ่อนทำให้สายเซลล์นั้นขาดได้ง่ายเมื่อมีอะไรมากระทบเข้า ไม่ว่าสายเซลล์จะขาดออกจากกันโดยวิธีใดก็ตาม เมื่อมันขาดออกจากกันแล้ว แต่ละท่อนเรียกว่า ฮอร์โมโกเนียม(hormogonium) สามารถเติบโตออกเซลล์ใหม่ออกไปได้อีก (ยุวดี ,2548)

2.2.7 อะคินีท(Akinetes)

อะคินีท(Akinetes) เจริญมาจากเซลล์ปกติ เริ่มจากการขยายตัวของเซลล์ทำให้เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น รูปร่างของอะคินีทเป็นทรงกลมหรือเซลล์ยาวมีสีน้ำตาลหรือเหลือง (จงจิตต์, 2524) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549) สำหรับแอนาบินาจะสร้างตรงกลางเซลล์ติดกับเฮเทอโรซีส อะคินีทมีระยะพักตัวที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ เช่น อะคินีทของ *Anabaena* ที่มีอายุมากถึง 64 ปีซึ่งจมอยู่ก้นแหล่งน้ำยังสามารถงอกได้เป็นการแสดงให้เห็นว่าอะคินีทมีความสามารถในการอยู่รอดได้ มีการพักตัวในระยะที่ยาวนาน โดยเฉพาะในฤดูหนาวที่มีสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม แล้วกลับมางอกได้ใหม่เป็นเซลล์ปกติในฤดูใบไม้ผลิ (Lee ,1995) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการตรึงไนโตรเจนของ *Anabaena*

2.3.1 ปัจจัยทางกายภาพ

2.3.1.1 แสงโดยทั่วไป *Anabaena* สามารถอยู่ได้ในความเข้มแสง 400-700 นาโนเมตร โดยทั่วไปจะเคลื่อนที่แบบลื่นไถล และจะเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งเพื่อปรับระดับความ

ลึกของบริเวณที่อยู่อาศัยให้สามารถรับแสงได้พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตและการดำเนินกิจกรรมต่างๆ

2.3.1.2 อุณหภูมิ *Anabaena* สามารถเจริญเติบโตและตรึงไนโตรเจนได้ดีโดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิจึงมิได้เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของ *Anabaena* แต่อย่างใด (Lee,1995) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549)

2.3.2 ปัจจัยทางเคมี

2.3.2.1 ความเป็นกรด-เบสเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบของ *Anabaena* ความสามารถในการเจริญเติบโต และการตรึงไนโตรเจน *Anabaena* เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็น กลาง-เบส แต่เจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ 8-10

2.3.2.2การให้และรับอิเล็กตรอน(ออกซิเจน) (oxidation-reduction potential,redox potential) เนื่องจากการตรึงไนโตรเจนของ *Anabaena* เกิดขึ้นในสภาพไร้ออกซิเจน การให้-รับอิเล็กตรอนภายในระบบนิเวศจึงมีความสำคัญภายใต้สภาพการให้อิเล็กตรอน *Anabaena* จะใช้พลังงานน้อยกว่าในการรักษาสภาพที่เหมาะสมต่อการตรึงไนโตรเจนในการสร้างเฮเทอโรซีสต์

2.3.2.3 ธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการดำเนินกิจกรรมของ *Anabaena* ธาตุฟอสฟอรัสและไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตในขณะที่ธาตุเหล็กและโมลิบดินัมเป็นปัจจัยจำกัดต่อกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนเนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์

2.3.2.4 สารเคมีทางการเกษตร สารกำจัดวัชพืชและสารเคมีทางการเกษตรอื่นๆมีผลต่อการเจริญเติบโตและการตรึงไนโตรเจนอย่างแตกต่างหลากหลาย แต่ก็จัดได้ว่า *Anabaena* มีความทนทานต่อสารกำจัดวัชพืชกลุ่มที่ออกฤทธิ์รบกวนการสังเคราะห์แสงมากกว่าพืชที่มีระบบท่อลำเลียง นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อสารกำจัดวัชพืชที่ออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมน เช่น ทู โฟร์-ดี (2 4-D) หรือกลุ่มฟีนอกซี่ส์ (phynoxys) (Lee,1995) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549)

2.3.3 ปัจจัยทางชีวภาพ

ปรสิต คู่แข่ง และผู้บริโภค (Parasite,competitor and grazer) เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการตั้งตัว การเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของ *Anabaena* ปรสิตของสาหร่าย *Anabaena* มีทั้งแบคทีเรีย และรา รวมถึงไวรัส (cyanophage) แบคทีเรีย *Cytophaga* sp.ที่มีความหนาแน่น 10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และแบคทีเรีย *Alcaligenes* sp. ความเข้มข้น10^8เซลล์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ต่อมิลลิลิตร ทำให้ *Anabaena* ลดจำนวนลงและตายหมดภายใน 3 วัน (Lee, 1995) อ้างโดย วันเพ็ญ (2549)

2.4 ประโยชน์ของสาหร่าย *Anabaena*

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (Blue green algae) รู้จักกันแพร่หลายในแง่ของการใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ จากการวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในนาข้าวบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศให้เป็นสารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียม ทำให้ข้าวเจริญเติบโต ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ *Anabaena* sp. และ *Nostoc* sp. พันธุ์ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยพบในประเทศและให้ผลผลิตดี มีชื่อว่า *Anabaena siamensis* โดยทั่วไป *Anabaena* มีประโยชน์ดังนี้ (บัญญัติ ,2525) อ้างโดย ประเสริฐ (2536)

2.4.1 *Anabaena* ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน การสังเคราะห์แสงทำให้ *Anabaena* สามารถสร้างอินทรียวัตถุจากอนินทรียสาร โดยเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศให้เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต เป็นผลให้ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มมากขึ้น

2.4.2 มีการปลดปล่อยออกซิเจนให้แก่รากพืชซึ่งมีประโยชน์ในแง่การป้องกันโรคที่เกิดกับรากพืชเมื่ออยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน

2.4.3 มีการปลดปล่อยสารคล้ายฮอร์โมน (hormone-like) กระตุ้นการเจริญเติบโตให้กับพืช ช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดี แข็งแรง และทนต่อโรคมากขึ้น

2.4.4 ชีวะมวลของสาหร่าย *Anabaena* เป็นอินทรีวัตถุที่ช่วยให้อนุภาคดินเกาะกันได้ดี ส่งผลให้ดินมีโครงสร้างที่เหมาะต่อการปลูกพืชและส่งเสริมจุลินทรีย์ในดิน

2.4.5 อิทธิพลต่อการจับตัวกันเป็นก้อนของเม็ดดินซึ่งเมื่อเม็ดดินจับตัวกันเป็นก้อนจะมีผลต่ออัตราการซึมของน้ำ การถ่ายเทอากาศและอุณหภูมิดินที่ดีขึ้น

2.4.6 การ bloom ของสาหร่าย *Anabaena* ซึ่งเกิดขึ้นในน้ำใช้ประโยชน์เป็นเหมือนปุ๋ยพืชสดเพราะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูงมาก เมื่อเอาสาหร่ายที่ bloom ซึ่งแห้งแล้วใส่ลงในดินที่ปลูกอ้อยจะเพิ่มผลผลิตอ้อยให้มากขึ้นจนเห็นได้ชัด

2.4.7 เป็นอาหารของปลาและสิ่งมีชีวิตอื่นๆในน้ำ ซึ่งสิ่งเหล่านั้นก็จะกลับกลายเป็นอาหารของคนต่อไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.5 ถั่วเหลือง

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ Glycline max (L.) Merrill สามารถจำแนกหมวดหมู่ตามหลักอนุกรมวิธานดังนี้ (Bold and Wynne. 1985) อ้างโดย จีระพรรณ (2536)

Kingdom Plantae

Division Anthophyta

Class Dicotyledonae

Order Rosales

Genus Glycine

Species *Glycine max*

ถั่วเหลืองมีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออก ในแถบตะวันออกของประเทศจีน จำนวนโครโมโซม (2n) ของ *Glycine max* เท่ากับ 40 ซึ่งเท่ากับ *Glycine ussuriensis* ซึ่งเป็นบรรพบุรุษ

2.5.2 องค์ประกอบของสารอาหารในถั่วเหลือง

จากผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองของ (วลัย และคณะ,2527) อ้างโดย อิศราภรณ์ (2540) ปรากฏผลดังนี้

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง เนื้อถั่วเหลืองและนมถั่วเหลืองในส่วนที่กินได้100 กรัม

ชนิดอาหาร	พลังงาน (กรัม)	ความชื้น (กรัม)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	กาก (กรัม)	เถ้า (กรัม)
ถั่วเหลืองแห้ง	375	7.7	45.8	10.5	24.4	6.0	5.6
ถั่วเหลืองต้ม	143	62.4	16.1	4.8	8.9	6.0	1.9
เนื้อหรือ กากถั่วเหลืองนึ่ง	73	80.6	6.6	1.5	8.2	2.2	1.0
นมถั่วเหลือง	55	85.2	2.8	1.4	7.1	-	0.4

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.5.3 ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง

ปัจจุบันมีการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากถั่วเหลืองทดแทนอาหารโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ซึ่งมีราคาแพงกว่ามาก และยังเป็นการส่งเสริมอาชีพการทำผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองอีกด้วย ซึ่งผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการหมัก ได้แก่ นมถั่วเหลือง เต้าหู้ เต้าฮวย ถั่วงอก แป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม เป็นต้น

2. ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการหมัก ได้แก่ ซีอิ๊ว เต้าเจี้ยว เต้าหู้ยี้ ซอสปรุงรส เป็นต้น (สมชาย , 2532) อ้างโดย จีระพรรณ (2536)

การทำผลิตภัณฑ์เหล่านี้ สามารถทำได้ตั้งแต่อุตสาหกรรมในครัวเรือนจนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อุตสาหกรรมที่มีการส่งเสริมกันอย่างแพร่หลายทำได้ง่าย ราคาถูก และมีโปรตีนสูง ได้แก่ การทำนมถั่วเหลือง ซึ่งสามารถใช้เป็นอาหารเสริมแทนนมวัวได้ (วันชัย , 2527) อ้างโดย จีระพรรณ (2536)

ในประเทศญี่ปุ่นและประเทศอินโดนีเซีย มีการใช้นมถั่วเหลืองแทนนมวัวสำหรับทารกและเด็กบริโภคมานานแล้ว โดยมีการปรับคุณค่าอาหารให้ใกล้เคียงกับนมวัวและนมมารดา ส่วนในประเทศอเมริกาก็มีการใช้นมถั่วเหลืองเลี้ยงเด็กทารกแทนนมวัวเช่นเดียวกัน ซึ่งจากการศึกษาวิจัยพบว่ามีเด็กประมาณร้อยละ7.5 ของเด็กทั้งหมดในอเมริกาที่มีอาการแพ้นมวัว(ฝ่ายวิชาการธนาคารกสิกรไทย, 2533) อ้างโดย จีระพรรณ (2536) สำหรับประเทศไทย ซึ่งคนไทยยังขาดน้ำย่อยแลคเตส (lactese) ที่จะย่อยน้ำตาลแลคโตส (lactose) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในนมวัว จึงสามารถใช้นมถั่วเหลืองมาบริโภคแทนนมวัวได้เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะนักเรียนประถมศึกษาในเขตชนบท ซึ่งได้รับอาหารไม่เพียงพอและยังขาดสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกายและสมอง ด้วยเหตุนี้สำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ (สปช.) จึงกำหนดโครงการอาหารกลางวันเป็นนโยบายให้ทุกโรงเรียนนำไปปฏิบัติ โดยให้มีการจัดโครงการนมถั่วเหลืองเป็นอาหารเสริมให้กับนักเรียน มีการสนับสนุนด้านงบประมาณ และด้านวิชาการเป็นทุนดำเนินงานเนื่องจากรับประทานอาหารที่มีคุณภาพจะช่วยส่งเสริมพัฒนาการของนักเรียนให้มีสุขภาพดีทั้งในด้านร่างกาย อารมณ์ และด้านสติปัญญา (วิวัฒน์ , 2533) อ้างโดย จีระพรรณ (2536)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.5.4 ประโยชน์ของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองมีประโยชน์อย่างมากต่อมนุษย์ ได้แก่ (อภิพรรณ , 2533) อ้างโดย อิศราภรณ์ (2540)

1. อาหารชาวโลก (soybean:food of the world) ในปัจจุบันบทบาทของถั่วเหลืองในฐานของอาหารที่มีคุณค่า เป็นพืชให้โปรตีนและน้ำมันสูง โดยมีน้ำมันร้อยละ 19 และโปรตีนร้อยละ 45 ในเมล็ด

2. ถั่วเหลืองเป็นอาหารในครอบครัว ในแถบเอเชีย อาหารต่างๆ ที่ประกอบจากถั่วเหลือง ได้แก่ น้ำเต้าหู้ เต้าหู้ชนิดต่างๆ เต้าเจี้ยว มิโซ ซีอิ้วชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถหาได้ทั่วไปในประเทศจีน ญี่ปุ่น เกาหลีหรือในประเทศไทย อาหารต่างๆ เหล่านี้ทำจากเมล็ดถั่วเหลืองโดยตรง โดยการต้ม นึ่ง หรือหมักเสียก่อน

3. ถั่วเหลืองอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ (soybean : meal in animal feeding) กสิกรนิยมใช้เมล็ดถั่วเหลืองดิบหรือเมล็ดถั่วเหลืองดิบบดแก่ปศุสัตว์โดยทั่วไป สำหรับในสัตว์ที่ไม่เคี้ยวเอื้อง(non – ruminant animal) เช่น สุกร เอนไซม์ทริปซินนี้จะทำให้สุกรไม่สามารถย่อยอาหารถั่วเหลืองได้ดี ทำให้ร่างกายไม่ได้รับโปรตีนเต็มที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.5.5 กระบวนการทำนมถั่วเหลือง

กรรมวิธีการผลิตนมถั่วเหลืองมีอยู่หลายวิธีด้วยกันโดยเริ่มจากแบบง่ายๆ ที่ทำเป็นอุตสาหกรรมครอบครัวหรือในโรงเรียน จนถึงการผลิตเป็นอุตสาหกรรมในโรงงานที่มีการใช้เครื่องจักรมากขึ้นมีการเติมแต่งสารที่ให้คุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น และมีการผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ทำให้เก็บได้ยาวนานขึ้น เช่น การทำนมถั่วเหลือง เข้มข้น บรรจุกระป๋อง จากถั่วเหลืองทั้งเมล็ด ดังภาพประกอบ (ดัดแปลงจาก สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2527) อ้างโดย อิศราภรณ์ (2540)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 2.5 กระบวนการผลิตนมถั่วเหลือง (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2527) อ้างโดย อิศราภรณ์ (2540)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ (2514) ศึกษาขนาด รูปร่าง การสร้างจำนวน heterocyst การเจริญของสายเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ในสกุล *Anabaena* เมื่อนำมาเลี้ยงในอาหารผสมที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปไนเตรท, แอมโมเนีย และอาหารผสมที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ จากผลการทดลองปรากฏว่า *Anabaena* จะเจริญได้ดีที่สุดในอาหารผสมที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปแอมโมเนียจะทำให้จำนวน heterocyst ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนองค์ประกอบในรูปของไนเตรทพบว่าจะเจริญได้ดีที่สุดในอาหารผสมที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปไนเตรท และจะเจริญเติบโตน้อยที่สุด คือไม่ค่อยพบการแบ่งเซลล์ในอาหารผสมที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ในเรื่องขนาดของ heterocyst พบว่าขนาดใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการทดลองไม่ว่าจะเลี้ยงในอาหารผสมที่มีหรือไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ สำหรับอาหารผสมที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเมื่อเริ่มการทดลอง heterocyst มีขนาด 6.59 μ ยาว 7.2 μ และในวันสุดท้ายที่ทำการทดลอง (วันที่ 21 ของการทดลอง) heterocyst มีขนาดกว้าง 8.42 μ ยาว 9.07 μ ส่วน *Anabaena* ที่เลี้ยงในอาหารผสมที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบขนาดของ heterocyst เมื่อเริ่มการทดลองกว้าง 7.20 μ 7.98 μ และในวันสุดท้ายของการทดลอง กว้าง 8.09 μ ยาว 9.41 μ ส่วนรูปร่างของ heterocyst นั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง การสร้าง heterocyst ของ *Anabaena* จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในอาหารผสม

- จันทนา สุขปรีดี และบพิธ จารุพันธุ์ (2514) ได้ศึกษาขนาด การสร้าง heterocyst ของ *Anabaena* sp. เมื่อเลี้ยงในอาหารผสมที่มี Nitrogen และไม่มี Nitrogen เป็นองค์ประกอบ ผลการทดลองปรากฏว่า *Anabaena* ที่เลี้ยงในอาหารผสมที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ heterocyst จะเพิ่มขึ้นจากเซลล์ธรรมดาจำนวนมากและเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 4 การสร้าง heterocyst จะขึ้นอยู่กับรูปต่างๆของไนโตรเจนในอาหารผสมคือ อาหารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปแอมโมเนียทำให้heterocyst ลดลงอย่างรวดเร็ว ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปไนเตรท heterocyst ลดลงแต่ไม่รวดเร็ว ไนโตรเจนจากบรรยากาศ heterocyst จะไม่เปลี่ยนแปลง การเจริญเติบโตของ *Anabaena* จะเจริญได้ดีที่สุดในอาหารผสมที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปแอมโมเนีย รองลงมาคือไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในรูปไนเตรท และไม่ค่อยพบการแบ่งเซลล์ในอาหารที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ในเรื่องขนาดของ heterocyst พบว่าขนาดใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการ

ทดลอง การสร้าง heterocyst ของ *Anabaena* จะเกิดขึ้นในอาหารที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

จีระพรรณ สุขศรีงาม (2536) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในของเสียอุตสาหกรรมพื้นบ้าน 3 ประเภท คือ น้ำทิ้งอุตสาหกรรมการผลิตเส้นหมี่ก๋วยเตี๋ยว น้ำทิ้งอุตสาหกรรมการผลิตแป้งขนมจีนและน้ำสกัดจากถั่วเหลืองในน้ำนมอุตสาหกรรมถั่วเหลืองมาใช้เป็นแหล่งอาหารราคาถูกในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา โดยศึกษาด้านการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีน ในระดับความเข้มข้นและช่วงเวลาต่างๆกัน จากการศึกษาพบว่าสาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตได้ดีที่สุด เมื่อเพาะเลี้ยงในอุตสาหกรรมการผลิตเส้นหมี่ก๋วยเตี๋ยวที่ระดับความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน ส่วนน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิแป้งขนมจีนนั้น สาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ในน้ำทิ้งที่ได้จากการนอนน้ำแป้งที่ระดับเปอร์เซ็นต์ 20 เป็นเวลา 10 วัน สาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในน้ำสกัดจากกากถั่วเหลืองในอุตสาหกรรมนมถั่วเหลือง โดยพบว่าเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในน้ำสกัดกากถั่วเหลืองที่เติมอาหารสูตร Zarrouk ลงไปในอัตราส่วน 1:3 เวลา 12 วัน ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายสไปรูลินา เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภท เป็นเวลา 8-10 พบว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งขนมจีนมีปริมาณมากกว่า สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตเส้นหมี่ก๋วยเตี๋ยวและสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในน้ำสกัดจากกากถั่วเหลืองจากอุตสาหกรรมนมถั่วเหลือง

จบเจน ทาสีลา (2537) ได้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา(*Spirulina platensis*) ในน้ำกากถั่วเหลืองซึ่งในการศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและโปรตีนของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำกากถั่วเหลืองผสมสูตรอาหาร Zarrouk ในระดับความเข้มข้นต่างๆกัน ผลการทดลองปรากฏว่า

1. สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารต่างชนิดกันมีการเจริญเติบโตต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ในทุกช่วงระยะการวัด โดยสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดที่ 3 และอาหารชนิดที่ 4 มีการเจริญเติบโตมากกว่าอาหารชนิดอื่นๆ และทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 12 โดยมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1564.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1572.61 มิลลิกรัมต่อลิตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2. สาหร่ายสไปรูลินาที่มีการเจริญเติบโตมากที่สุดในอาหารเพาะเลี้ยงต่างกันในช่วงระยะเวลาต่างกันมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยอาหารชนิดที่ 3 เพาะเลี้ยงนาน 2 วัน ทำให้สาหร่ายมีปริมาณโปรตีน มากที่สุด (ร้อยละ 31.11) รองลงมาเป็นอาหารชนิดที่ 4 เพาะเลี้ยงนาน 14 วัน (ร้อยละ 20.23) และ 12 วัน (ร้อยละ 17.94) ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY