บทที่ 5
อภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาชนิดและปริมาณสาหร่าย

จากการสำรวจชนิดและปริมาณสาหร่ายดังตาราง 1 และภาพ 9 พบว่ากลุ่มสาหร่ายที่พบมากที่สุดในทุกแหล่งน้ำพุร้อนคือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินใน Division Cyanophyta (ตาราง 1) เนื่องจากสาหร่ายกลุ่มนี้มีโครงสร้างของเซลล์ที่ทนทานต่ออุณหภูมิสูงเยื่อหุ้มเซลล์หนาและยังมีเมือกหุ้มอยู่รวมทั้งมีไขมันจำนวนมาก และเอนไซม์ของสาหร่ายในกลุ่มนี้สามารถทำงานได้และไม่เสียสภาพในช่วงอุณหภูมิสูง ๆ (Stevenson *et al.* 1996 และ Dell 'Uomo, 1986) รองลงมาคือไดอะตอม ใน Division Bacillariophyta พบทั้งหมด 19 genera 29 species Round (1975) กล่าวว่า ไดอะตอมสามารถอาศัยอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง (thermotolerant organisms) ซึ่งในน้ำพุร้อนสามารถพบไดอะตอมที่อาศัยอยู่ในอุณหภูมิสูง ๆ ได้หลายชนิด เช่น *Diatomella balfouriana, Rhopalodia gibberrula* และ *Diploneis elliptica* อาศัยอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-59°C คาดว่าไดอะตอมจำพวกนี้อาจมีลักษณะของเซลล์ เช่น เอนไซม์ที่ทนต่ออุณหภูมิสูงเหมือนในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ส่วนสาหร่ายสีเขียวในDivision Chlorophyta และ Euglenophyta จะมีช่วงความทนต่ออุณหภูมิที่สูงน้อยกว่าในDivision Cyanophyta และ Bacillariophyta ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าจำนวนชนิดสาหร่ายน้อยกว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และไดอะตอม การกระจายของชนิดสาหร่ายสอดคล้องกับ Fogg *et al.*(1973) ซึ่งทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแทนที่ของสาหร่ายในน้ำที่อุณหภูมิปกติ พบว่าสาหร่ายจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 30°C โดยจะพบสาหร่ายในกลุ่มไดอะตอมและสาหร่ายสีเขียว แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 30°C จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและพบว่าความหลากหลายของชนิดสาหร่ายจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 30°C ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Stevenson *et al.* (1996) ซึ่งกล่าวว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 30°C ความหลากหลายของสาหร่ายจะลดลง โดยพบชนิดสาหร่ายสีเขียวเพียงเล็กน้อยและสาหร่ายในกลุ่มไดอะตอมและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเจริญขึ้นมาแทนที่ แต่จากการวิจัยของ Sakamoto *et al.*(1995) สำรวจพบสาหร่ายสีเขียว *Chlorella* ที่อุณหภูมิ 42°C ต่อมาเขานำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อลดปริมาณ CO_2 ในโรงงานไฟฟ้า เขาพบว่า *Chlorella* สามารถดูดซับ CO_2 จากโรงงานนี้ซึ่งใช้ความร้อนสูง ซึ่งทำให้เกิดแนวความคิดว่าการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายชนิดใหม่ๆ โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม

การแพทย์ การเกษตร ตลอดจนลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งที่นักวิจัยรุ่นใหม่ ๆ ควรจะกระทำ

เมื่อนำข้อมูลจำนวนชนิดของสาหร่ายในแต่ละช่วงอุณหภูมิในทุกๆ ฤดูกาลมาวิเคราะห์ตามวิธีทางสถิติ พบว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนชนิดสาหร่าย โดยพบว่าที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจำนวนชนิดของสาหร่ายจะลดลง เป็นการยืนยันผลการทดลองให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสาหร่าย นอกจากระดับอุณหภูมิจะเป็นตัวกำหนดการกระจายของชนิดของสาหร่ายแล้วลักษณะของ substrate เช่น ดิน ก้อนหิน กรวด เป็นต้น ก็เป็นตัวกำหนดชนิดของสาหร่ายดังจะเห็นว่าสาหร่ายบางชนิดเช่น *Calothrix* มีความจำเพาะต่อ substrate เช่นท่อนไม้ ก้อนหิน ซึ่งสาหร่ายแต่ละชนิดมีความจำเพาะต่อ substrate แตกต่างกันไป นอกจากนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ซัลไฟด์ ปริมาณสารอาหารได้แก่ SRP, NO_3^- และ NH_3 ก็ส่งผลถึงจำนวนชนิดสาหร่ายโดยพบว่าหากปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง จำนวนชนิดของสาหร่ายก็ลดลงตามไปด้วย ส่วนในเรื่องปริมาณของซัลไฟด์นั้น จากงานวิจัยในเรื่องนี้พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนชนิดของสาหร่าย กล่าวคือถ้าปริมาณซัลไฟด์มาก จำนวนชนิดของสาหร่ายจะลดลง และในทางกลับกัน ถ้าปริมาณซัลไฟด์ลดลง จำนวนชนิดของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dell'Uomo (1986) ซึ่งทำการศึกษาไดอะตอมและสาหร่ายจากน้ำพุร้อน Triponzo เมืองเปรูเจีย ในตอนกลางของประเทศอิตาลี น้ำพุร้อนแห่งนี้มีไฮโดรเจนซัลไฟด์และซัลเฟอร์ในรูปคอลลอยด์มาก พบว่าไดอะตอมจะไวต่อปริมาณซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าซัลไฟด์ที่ละลายน้ำในปริมาณมากเป็นปัจจัยจำกัดของสาหร่ายบางชนิด ทำให้บริเวณที่ปริมาณซัลไฟด์ที่ละลายน้ำมาก ความหลากหลายของสาหร่ายจะน้อยตามไปด้วย นอกจากนี้ Castenholz (1976) ศึกษาผลกระทบของซัลไฟด์ที่มีต่อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำพุร้อนประเทศนิวซีแลนด์ และไอซ์แลนด์ พบว่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่ละลายน้ำจะเป็นตัวกำหนดชนิดของสาหร่าย โดยศึกษาในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Mastigocladus laminosus* ในประเทศนิวซีแลนด์พบว่าสาหร่าย species นี้จะไวต่อปริมาณซัลไฟด์เกิน 0.15 mg/l ส่วนการศึกษาในประเทศไอซ์แลนด์จะไวต่อปริมาณซัลไฟด์เกิน 0.25 mg/l และพบว่าไม่สามารถพบสาหร่ายชนิดนี้ในน้ำที่มีซัลไฟด์สูงมากๆ แสดงว่าซัลไฟด์มีผลต่อชนิดของสาหร่ายในน้ำพุร้อนค่อนข้างสูง

ส่วนการศึกษาปริมาณสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งได้แก่ SRP, NO_3^- และ NH_3 พบว่าเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้น มีผลให้จำนวนชนิดของสาหร่ายลดลง ซึ่งโดยสภาพแหล่งน้ำทั่วไปแล้ว ชนิด และปริมาณของสาหร่ายจะแปรผันตามปริมาณสารอาหารดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นในแหล่งน้ำนิ่ง หรือแหล่งน้ำไหล แต่ในระบบนิเวศแบบน้ำพุร้อนนี้มีความพิเศษกว่าแหล่งน้ำที่กล่าวมาแล้ว โดยพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายของสาหร่าย

จนทำให้ปริมาณสารอาหารไม่ค่อยมีผลต่อจำนวนชนิด และการเจริญของสาหร่ายมากเท่าใดนัก โดยพบว่าปริมาณสารอาหารที่มากหรือน้อยไม่ค่อยมีผลต่อจำนวนชนิดของสาหร่าย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Dell'Uomo ในปี 1986 ที่ทำการศึกษาไดอะตอม และสาหร่ายในน้ำพุร้อน Triponzo ในประเทศอิตาลี พบว่า ในน้ำพุร้อนแห่งนี้มีปริมาณ NO_3^- และ PO_4^{3-} น้อยมากหรือแทบไม่มีเลย แต่ก็ยังสามารถพบสาหร่ายได้หลายชนิด โดยเฉพาะพวกไดอะตอม และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และจากการศึกษาของ Jha ในปี 1992 โดยศึกษาคุณภาพน้ำ และสาหร่ายในน้ำพุร้อน Suraj Kund และ Chandrama Kund ในประเทศอินเดีย ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ปี 1986 ถึงเดือนเมษายน ปี 1987 พบว่าถึงแม้น้ำพุร้อนจะมีปริมาณ NO_3^- และ PO_4^{3-} น้อยมาก แต่ก็ยังพบสาหร่ายได้หลายชนิดโดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่า ในระบบนิเวศแบบน้ำพุร้อนนี้ ถึงแม้จะมีปริมาณสารอาหารมากก็ไม่จำเป็นที่ชนิดของสาหร่ายจะมากตามไปด้วย เนื่องจากปัจจัยทางด้านอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญของสาหร่าย จนสามารถควบคุมปัจจัยจำกัดอื่นๆ ไว้ได้

ปัจจัยอื่นๆ เช่น กระแสน้ำ กระแสลม รวมทั้งปริมาณแสงก็มีผลต่อการกระจายของสาหร่าย ซึ่ง Brock (1978); Stevenson *et al.* (1996) และ Sperling (1975) กล่าวว่ากระแสน้ำและกระแสลมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของน้ำ หากกระแสน้ำแรงและมีความเร็วสูงระดับอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ซึ่งอัตราการเย็นตัวของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น อุณหภูมิอากาศ ความกว้างของลำธารและปริมาณของน้ำ ซึ่งจุดที่ทำให้อุณหภูมิลดลงเกิดตรงบริเวณจุดที่น้ำสัมผัสกับอากาศ ซึ่งถ้าหากมีกระแสลมเข้ามาช่วยพัดก็สามารถทำให้น้ำเย็นตัวลงได้ง่าย ซึ่ง Brock (1978) สรุปว่าความเร็วของลมมีความสำคัญต่ออัตราการเย็นตัวของน้ำได้ดีกว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้โดยอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาลไม่ค่อยมีผลต่อความหลากหลายของสาหร่าย เนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ จะเป็นตัวกำหนดมากกว่าอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมานั้นจะเป็นตัวกำหนดความหลากหลาย รวมทั้งปริมาณของสาหร่าย โดยจะส่งผลให้แต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายแตกต่างกัน

2. ลักษณะของน้ำพุร้อน

จากการศึกษาสภาพแหล่งน้ำพุร้อน ตลอดจนการศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของแหล่งน้ำ พบว่าแหล่งน้ำทั้ง 9 แหล่งที่ทำการศึกษาเป็นแบบ alkaline hot springs ตามการจัดจำแนกของ Fogg *et al.*(1973) โดยแบ่งตามสภาพความเป็นกรดด่าง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของกรมทรัพยากรธรณี(2529) และเกียรติศักดิ์และคณะ 2534 ซึ่งได้รายงานว่า น้ำพุร้อนในภาค

เหนือมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกันมีค่า pH ค่อนข้างสูง (7-9) ค่า total dissolved solids ต่ำ ค่า salinity ต่ำ องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโซเดียม 80-160 $mg.l^{-1}$ และไบคาร์บอเนต 200-500 $mg.l^{-1}$ ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษาเป็น alkaline sodium-bicarbonate water ซึ่งเกิดจากการละลายชั้นหินพวก calcareous sediments เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็น bicarbonate หรืออีกกรณีหนึ่งอาจเกิดจากการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำร้อน ทำให้เปลี่ยนสภาพน้ำเป็น bicarbonate ได้เช่นกัน (Davis and De Wiest,1966) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำกระแสไฟฟ้า พบว่ามีความสัมพันธ์กันโดย เกียรติ ศักดิ์และคณะ (2534) ได้รายงานว่าน้ำพุร้อนในเขตภาคเหนือมีปริมาณของแร่ธาตุบางตัวสูงเช่น โซเดียม โพแตสเซียม แคลเซียม ลิเธียม ฟลูออรีน และซิลิกา ซึ่งสารเหล่านี้หากละลายอยู่ในน้ำมากก็จะทำให้มีค่าการนำไฟฟ้ามากตามไปด้วย และเมื่อศึกษาปริมาณซัลไฟด์ และปริมาณสารอาหาร SRP, NO_3^- และ NH_4^+ ในน้ำพบว่าที่อุณหภูมิสูงๆ ค่าที่วิเคราะห์ได้จะสูงตามไปด้วย เนื่องจากการละลายของแร่ธาตุในชั้นหินและการออกซิไดซ์ของ จุลินทรีย์พวกไม่ใช้อากาศ (anaerobe) ทำให้ที่อุณหภูมิสูงปริมาณซัลไฟด์ และปริมาณสารอาหารจะสูงตามไปด้วย เมื่ออุณหภูมิลดลงตามระยะทางของน้ำร้อน ปริมาณของซัลไฟด์ลดลง เนื่องจากซัลไฟด์เมื่อถูกอากาศจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลเฟตแทน ส่วนค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำ (DO) จากผลการสำรวจพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณ DO จะลดลง (ตาราง 23) ซึ่งสอดคล้องกับ Brock (1978) ได้รายงานว่าปริมาณ DO จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จากผลการศึกษาน้ำพุร้อนบางแหล่ง เช่นน้ำพุร้อนโป่งเดือดพบว่าค่า DO ที่ช่วงอุณหภูมิ 40-49°C มีค่าสูง (DO เท่ากับ 4.8-5.4 $mg.l^{-1}$) เนื่องจากสภาพจุดเก็บตัวอย่างเป็นน้ำตก น้ำได้สัมผัสกับอากาศทำให้ค่า DO สูงขึ้น และในฤดูฝนค่า DO เพิ่มขึ้นจากฤดูแล้งเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากน้ำเย็นที่ไหลมาผสม

3. การจัดจำแนกชนิดของสาหร่ายน้ำพุร้อน

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการจำแนกชนิดของสาหร่ายน้ำพุร้อนโดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในแนวทางเดิม (classical approaches) โดยทำการพิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา วงจรชีวิต การแบ่งเซลล์ ลักษณะที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (macroscopical aspects) ซึ่งในบางครั้งยังไม่สามารถจำแนกชนิดของสาหร่ายบางชนิดได้ซึ่งก็มีวิธีการศึกษาแนวทางใหม่ (modern approaches) ที่ยังคงทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา มีการศึกษาถึงโครงสร้างละเอียด (fine structure) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (transmission electron microscope:TEM) ศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของของเซลล์จากการเพาะเลี้ยง รวมทั้งการศึกษาอณูชีวโมเลกุล

(Molecular biology) โดยใช้ลำดับยีน 16S rRNA รวมทั้งศึกษาสายพันธุกรรม (phylogeny) ศึกษาถึงแผนการการวิวัฒนาต่าง ๆ (Anagnostidis and Komárek,1985) ซึ่ง Ward *et al.* (1998) ได้ตั้งสมมติฐานโดยใช้เทคนิค culture-independent 16S rRNA เพื่อศึกษาความสัมพันธ์และรูปแบบของกลุ่มสาหร่ายและความหลากหลายของกลุ่มสาหร่ายโดยศึกษาการกระจายของลำดับยีน 16S rRNA ที่ตรวจพบซึ่งจะเป็นแนวทางที่ดีในการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายในน้ำพุร้อนต่อไปในอนาคต

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University