บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การเก็บตัวอย่างสาหร่าย

การพิจารณาเลือกสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่ใช้ในการวิจัยนี้อาศัยหลักเกณฑ์ต่อไปนี้คือ เป็นสาหร่ายที่พบได้ทั่วไปตามชายฝั่งทะเลหลาย ๆ จังหวัด เพื่อที่จะได้มีแหล่งที่เก็บสาหร่ายหมุนเวียนไม่ทำให้สาหร่ายสูญพันธุ์ เนื่องจากเก็บเกี่ยวมากเกินไปในแหล่งใดแหล่งหนึ่งเมื่อจะใช้สาหร่ายเหล่านี้เป็นวัตถุดิบในการสกัดแอลจิเนตในระดับอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ควรเป็นสาหร่ายที่พบเป็นจำนวนมากและขึ้นกันอยู่อย่างหนาแน่น สามารถที่จะเก็บเกี่ยวได้สะดวกครั้งละมาก ๆ คือ อาจเจริญอยู่ตามโขดหินบริเวณชายฝั่งที่น้ำไม่ลึก และคลื่นลมสงบ และเป็นสาหร่ายที่สามารถพบได้ตลอดทั้งปีหรือเกือบตลอดทั้งปี จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวนำมาพิจารณาเลือกสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่เหมาะสมจากรายงานของผู้ที่เคยสำรวจแหล่งสาหร่ายจากจังหวัดต่าง ๆ (35,36,37,38,39,40,41,42) ทำให้ได้สาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่เหมาะสม 5 สกุลคือ Chnoospora, Hydroclathrus, Padina, Sargassum และ Turbinaria

การเก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลในงานวิจัยนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะเก็บในแหล่งที่มีรายงานว่าพบสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุลที่ต้องการอยู่ โดยจะเก็บจากชายฝั่งทะเลทั้งด้านอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าในแหล่งต่าง ๆ ที่สำรวจ แต่ละแหล่งจะพบสาหร่ายหลายชนิด แต่ที่ในงานวิจัยนี้จะรายงานเฉพาะสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล 5 สกุลที่ศึกษา ส่วนสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุลอื่น สาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีเขียว หรือสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวจะไม่มีรายงานไว้ ในแต่ละแหล่งจะมีปริมาณรวมทั้งชนิดแตกต่างกันไป โดยส่วนใหญ่แล้วจะพบสาหร่ายเพียงชนิดเดียว หรือไม่กี่ชนิดที่จะพบในปริมาณมากกว่าสาหร่ายอื่น ซึ่งสาหร่ายชนิดที่พบมากนี้จะเจริญอยู่อย่างหนาแน่นและกินบริเวณกว้าง ภายในบริเวณนี้เราจะไม่พบสาหร่ายชนิดอื่นหรือพบก็ในปริมาณน้อย แสดงว่าสภาวะแวดล้อมบริเวณนั้นเหมาะสำหรับการเจริญของสาหร่ายชนิดนั้นมากกว่าสาหร่ายอื่นในช่วงนั้น ถ้าไปในช่วงอื่นหรือฤดูกาลอื่นก็อาจจะไม่พบสาหร่ายชนิดนี้ โดยอาจจะพบสาหร่ายชนิดอื่นหรือไม่พบสาหร่ายชนิดใดเลยก็ได้ เช่น หาดหินงาม อำเภอสิชล จังหวัด

นครศรีธรรมราช จะพบสาหร่าย Chnoospora minima มากที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ถ้าไปในช่วงเดือนอื่นก็จะไม่พบสาหร่ายชนิดนี้ และบริเวณหาดหน้าสถานีวิจัยประมง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี จะพบสกุล Padina มากที่สุด ส่วนในแหล่งที่มีสาหร่ายหลายชนิดที่เจริญอยู่ในปริมาณมากเช่นที่ หาดไนยาง อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต พบสาหร่ายสกุล Sargassum Padina และ Turbinaria สาหร่ายแต่ละสกุลจะมีบริเวณที่เจริญอยู่อย่างหนาแน่นซึ่งแยกจากกัน แสดงว่าแม้ในแหล่งเดียวกันก็มีสภาวะที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเหมาะกับสาหร่ายแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน

สาหร่ายทะเลสีน้ำตาล 5 สกุลที่ต้องการนั้น จากการสำรวจในงานวิจัยนี้ จะพบสาหร่ายสกุล Sargassum มากที่สุด โดยจะพบเกือบทุกจังหวัดที่ไปสำรวจและจากรายงานของขวัญชัย (12) กล่าวว่าสามารถพบได้เกือบตลอดทั้งปี บริเวณสำนักสงฆ์ราชธรรมาราม (วัดศิลางู) อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่ง Sargassum ที่พบในบางแหล่งมีปริมาณมาก เช่น หาดไนยาง อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต และที่เขาหลัก อ.ตะกั่วป่า จ.พังงา พบว่า มีขนาดต้นยาวมากบางต้นยาวกว่า 1 เมตร และขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น โดยถ้าดูจากชายฝั่งจะเห็นเป็นแนวสีน้ำตาลแดงกว้างและยาวหลายกิโลเมตร Padina เป็นสาหร่ายอีกสกุลที่พบมากเกือบทุกจังหวัดที่ไปสำรวจ แต่ปริมาณไม่มากเท่า Sargassum อีกทั้งต้นมีขนาดเล็กและสั้นมาก และในบางแหล่งก็มีแคลเซียมสะสมอยู่ในสาหร่ายชนิดนี้มาก ซึ่งทำให้เป็นอุปสรรคในการสกัดแอลจิเนต สาหร่ายสกุล Chnoospora จากการสำรวจแม้จะพบเฉพาะที่หาดหินงาม อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช แต่พบขึ้นกันอย่างหนาแน่นตามโขดหินริมชายหาดเกือบทุกก้อนตลอดแนวชายหาด ซึ่งมีระยะทางหลายกิโลเมตรสาหร่ายชนิดนี้มีอัตราการเจริญเร็วมาก คือ จะใช้เวลาเพียง 1 เดือน ก็สามารถเจริญได้เต็มวัยสาหร่ายชนิดนี้จะพบมากในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน นอกจากนี้ยังมีรายงานของ สมชาย (35) และสมปอง (36) ว่าพบสาหร่ายสกุล Chnoospora ที่หาดสุรินทร์ จังหวัดภูเก็ต และที่ศรีราชา แต่เป็นสาหร่ายที่หลุดลอยมาตามกระแสคลื่น สาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่เหลืออีก 2 ชนิด คือ Hydroclathrus และ Turbinaria พบในไม่กี่แหล่งที่สำรวจและมีปริมาณไม่มากนัก อีกทั้งต้นมีขนาดเล็ก Hydroclathrus จะพบได้ที่บริเวณหน้าสถานีวิจัยประมง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี และที่อ่าวช่อ อำเภอเมือง จังหวัดตราด ส่วน Turbinaria จะพบที่ หาดไนยาง อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต

การสำรวจแหล่งสาหร่ายนี้เป็นการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น เนื่องจากระยะเวลาและงบประมาณมีจำกัด จึงไม่สามารถทำการสำรวจแหล่งสาหร่ายอย่างละเอียดและทั่วทุกจังหวัดที่มีชายฝั่งทะเลได้ ในแต่ละจังหวัดที่ไปสำรวจก็ไปเพียงบางจุดที่มีรายงานไว้ว่าพบสาหร่ายชนิดที่จะ

ศึกษา แต่ก็อาจไม่พบสาหร่ายนั้น เนื่องจากสถานที่บอกนั้นกินบริเวณกว้างมาก การสำรวจอาจจะสำรวจไม่ทั่วถึงหรือไปผิดช่วงฤดูกาล บางครั้งสภาวะแวดล้อมอาจไม่เอื้ออำนวยต่อการสำรวจ เช่น คลื่นลมจัด น้ำขึ้นมาก เป็นเวลาเย็นหรือค่ำแล้ว เช่น Chnoospora มีรายงานของสมชาย (35) ว่าพบบริเวณหาดสุรินทร์ จังหวัดภูเก็ต แต่เมื่อไปสำรวจแล้วก็ไม่พบ เพราะหาดสุรินทร์นั้นมีความยาวมากและช่วงนั้นคลื่นลมแรงมาก เป็นต้น ดังนั้นข้อมูลการสำรวจแหล่งสาหร่ายจึงยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นสาหร่ายที่พบน้อย เช่น Hydroclathrus หรือ Turbinaria อาจจะมีมากก็เป็นไปได้ในแหล่งอื่นหรือฤดูกาลอื่นที่ยังไม่ได้สำรวจ ดังนั้นถ้าหากจะทำการสกัดแอลจิเนตในระดับอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการสำรวจแหล่งสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลอย่างละเอียด ซึ่งต้องใช้งบประมาณและค่าใช้จ่ายอย่างมากเพื่อความสมบูรณ์ในการสำรวจ

5.2 การทดลองสกัดแอลจิเนต

5.2.1 วิธีที่ใช้สกัดแอลจิเนตใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ McHugh (1) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 หลังจากที่ศึกษาวิธีการสกัดแบบต่าง ๆ จากเอกสาร ได้นำวิธีการที่สามารถทำได้มาทดลองทำปรากฏว่าวิธีของ McHugh เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เพราะสามารถใช้กับสาหร่ายแห้ง และอุณหภูมิในการสกัดอยู่ในช่วง 50 - 95 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัดไม่นานเพียง 1 - 2 ชั่วโมง โดยนำมาดัดแปลงบางส่วนคือ ลดขั้นตอน Flotation ที่ใช้ในการแยกเพื่อเป็นการประหยัดเวลาเนื่องจากมีเครื่องกรองอัดความดันที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าสามารถแยกกากของสาหร่ายที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตออกจากสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ต้องการได้เป็นอย่างดีการเลือกอุณหภูมิที่ใช้ทดลองในการสกัดก็อยู่ในช่วงที่ McHugh (1) แนะนำว่าเหมาะสมแก่การสกัดคือใช้อุณหภูมิ 50, 70, 90 องศาเซลเซียส และจะเพิ่มการสกัดที่อุณภูมิห้องอีกอุณหภูมิหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะเก็บไว้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้ที่อุณหภูมิห้องกับอุณหภูมิอื่นที่สูงกว่าซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ยังลดความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการตกตะกอนแคลเซียมแอลจิเนตจากความเข้มข้นร้อยละ 10 ลดเหลือร้อยละ 5.0 เนื่องจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าให้ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกไม่แตกต่างกัน จะต่างกันตรงที่การใช้แคลเซียมแอลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 10 จะทำให้เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนจากสารละลายโซเดียมแอลจิเนตไปอยู่ในรูปของเกลือแคลเซียมแอลจิเนต

จนหมดนั้นน้อยกว่า แต่เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแช่ประมาณ 30 นาทีก็เพียงพอที่จะทำให้โซเดียม-แอลจิเนตที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5.0 เปลี่ยนเป็นแคลเซียมแอลจิเนตจนหมดซึ่งจะเป็นการประหยัดแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ไปได้ครึ่งหนึ่ง นอกจากนี้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกแต่จะทำให้แคลเซียมแอลจิเนตที่ได้มีสีคล้ำลง และระยะเวลาในการแช่ก็นานขึ้น เพื่อที่จะเปลี่ยนโซเดียมแอลจิเนตให้กลายเป็นแคลเซียมแอลจิเนตจนหมด

5.2.2. การสกัดแอลจิเนตจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลทั้ง 5 สกุล ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 - 4.6 พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่มีข้อยกเว้นสำหรับสาหร่ายสกุล Chnoospora และ Padina คือ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จะน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการสกัด 120 และ 150 นาทีตามลำดับ แสดงว่าที่อุณหภูมิสูง แม้จะสกัดกรดแอลจินิกออกมาได้มาก แต่ถ้าใช้ระยะเวลายิ่งนานขึ้นกรดแอลจินิกที่สกัดออกมาได้ก็จะเสื่อมสลายไปมากตามไปด้วย เนื่องจากความร้อน ผลของระยะเวลาในการสกัดด้วยด่างโซเดียมคาร์บอเนต เมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัดขึ้น ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ก็จะมากตามไปด้วย ยกเว้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสของสาหร่ายสกุล Padina และ Chnoospora เหตุผลก็เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วคือที่อุณหภูมิสูง กรดแอลจินิกก็จะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนมากขึ้น ยิ่งถูกความร้อนเป็นเวลานานมากปริมาณกรดแอลจินิกที่ถูกทำลายก็จะเพิ่มมากขึ้น จากการทดสอบทางสถิติพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ของสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลทั้ง 5 ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 99 ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ส่วนเวลาในการสกัดนั้น มีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Hydroclathrus, Sargassum และ Turbinaria แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 99 แต่เวลาที่ใช้ในการสกัดนั้นไม่มีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Chnoospora และ Padina แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 สำหรับอิทธิพลร่วม (interaction) ของทั้ง 2 ตัวแปร ถ้าพิจารณารวมทั้งหมด จะพบว่า จะไม่มีผลต่อปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Chnoospora และ Sargassum แต่จะมีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลอีก 3 สกุล ที่เหลือโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ้าพิจารณาทีละอุณหภูมิ พบว่าการสกัดกรดแอลจินิกจากสาหร่ายทั้ง 5 สกุลที่อุณหภูมิห้อง ที่เวลาการสกัดต่าง ๆ ก็ไม่มีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การสกัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสของสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Chnoospora, Sargassum และ Padina ที่เวลาต่างกันก็ไม่มีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับอุณหภูมิในการสกัดที่ 70 และ 90 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้ง 5 สกุล แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อระยะเวลาในการสกัดแตกต่างกันอย่างน้อย 60 นาที

จากการทดลองสกัดกรดแอลจินิกจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลทั้ง 5 สกุล พบว่า สาหร่ายสกุล Chnoospora ให้ปริมาณกรดแอลจินิกมากที่สุด คือ ร้อยละ 41.22 จากสาหร่ายแห้ง รองลงมาคือ Turbinaria ร้อยละ 18.20 รองลงมาอีกคือสกุล Sargassum ร้อยละ 13.80 สกุล Hydroclathrus ร้อยละ 13.53 และ Padina ให้กรดแอลจินิกน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 8.14 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลทั้ง 5 สกุล ในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่มีผู้ทำไว้แล้ว ดังแสดงในตารางที่ 2.5 พบว่า ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Turbinaria, Sargassum และ Hydroclathrus อยู่ในช่วงเดียวกับที่ Anglo (13) ได้ทำวิจัยไว้ แต่จะน้อยกว่างานวิจัยของ Sulit (14) ส่วนปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายสกุล Padina จะน้อยกว่าที่ Anglo (13) รายงานไว้เล็กน้อย แต่ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดจากสาหร่ายสกุล Chnoospora จะได้มากกว่างานวิจัยของ Anglo (13) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของขวัญชัย (12) พบว่า ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายสกุล Turbinaria และ Padina ของงานวิจัยนี้มากกว่าของขวัญชัย (12) แต่ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากสาหร่ายสกุล Sargassum มีค่าใกล้เคียงกัน สาเหตุที่ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้แตกต่างกันนั้นมีหลายสาเหตุคือ อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบคือ สาหร่ายที่ใช้สกัดนั้น อาจเป็นคนละชนิด (species) ฤดูกาลเก็บ ตลอดจนสภาวะแวดล้อมการเจริญของสาหร่ายก็แตกต่างกัน ทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกในสาหร่ายนั้นแตกต่างกันไป อีกสาเหตุคือ วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน โดยวิธีของ Anglo และ Sulit มีการแช่สาหร่ายแห้งในกรดกำมะถันเข้มข้น 0.2 นอร์แมล และกรดเกลือเข้มข้น ร้อยละ 0.33 ก่อนทำการสกัดทำให้กรดแอลจินิกที่สกัดได้มีปริมาณมากกว่าของขวัญชัย ซึ่งนำสาหร่ายแห้งมาแช่สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตแล้วสกัดเลย โดยไม่ผ่านการแช่สารเคมีก่อนทำการสกัด และวิธีการสกัดของ Anglo และ Sulit ใช้อุณหภูมิต่ำในการสกัดคือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง แล้วทำการสกัดทิ้งค้างคืนเอาไว้ ทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้มีมากและไม่สูญเสียไปแม้ว่าจะใช้เวลาการสกัดนาน เพราะใช้อุณหภูมิต่ำในการสกัด แต่วิธีการทั้งสองวิธีนี้เป็นวิธีการสำหรับงานวิจัยในห้องปฏิบัติการไม่เหมาะสำหรับ

การทำการสกัดทีละมาก ๆ เพราะต้องใช้เวลาในการสกัดนานมาก อีกทั้งอาจมีปัญหาการเสีย เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการทิ้งค้างคืน เพราะอุณหภูมิต่ำเชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ (1) แต่สำหรับวิธีการสกัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้พยายามใช้วิธีการที่ง่ายและใช้ระยะเวลาการสกัดน้อย ดังนั้นปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จึงอาจจะน้อยกว่า 2 วิธีดังกล่าว แต่จะเน้นว่า วิธีการสกัดในงานวิจัยนี้ต้องเป็นวิธีที่ง่ายไม่ยุ่งยาก และสามารถขยายปริมาณการสกัดได้ไม่ยากนัก และจากผลการทดลองนี้จะพบว่าสาหร่ายที่มีผนังเซลล์หนาซึ่งสามารถสังเกตได้จากความยากในการตัดหรือบดตัวอย่าง สาหร่ายชนิดนั้น ได้แก่ Sargassum และ Turbinaria ต้องใช้เวลาในการสกัดนานกว่าสาหร่ายชนิดที่เหลือซึ่งจะมีผนังเซลล์บางกว่า เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิในการสกัดพบว่าสาหร่ายที่สามารถเป็นวัตถุดิบในการสกัดที่อุณหภูมิห้องได้คือ Chnoospora minima ถ้าใช้อุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ก็จะเพิ่มตามไปด้วยยกเว้นถ้าอุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จะลดลง ดังนั้นจึงทดลองสกัดแอลจิเนตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่ระหว่างกลางของอุณหภูมิ 70-90 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าปริมาณกรดแอลจินิกที่อุณหภูมินี้มีมากกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่อทดสอบทางสถิติแล้วพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อวิเคราะห์คุณภาพของแอลจิเนตที่สกัดด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสพบว่ามีคุณภาพด้านความหนืดและความเป็นกรดด้อยกว่าแอลจิเนตที่สกัดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามที่ขวัญชัยแนะนำว่าไม่ควรสกัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียสเพราะถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้แอลจิเนตสลายตัวได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในการสกัดแอลจิเนตจากสาหร่าย Chnoospora minima สำหรับมาทำการวิจัยในขั้นต่อไป

5.2.3 ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าความเข้มข้นของด่างที่จะใช้ในการสกัดกรดจากสาหร่าย Chnoospora minima จะให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้จากมากไปหาน้อยเป็นดังนี้ คือ ร้อยละ 1.5, 3.0, 6.0 และ 0.75 ให้ปริมาณร้อยละของกรดแอลจินิกที่สกัดได้ต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งตามลำดับดังนี้คือ 22.66, 21.30, 21.21 และ 5.31 เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ที่ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 3.0 และ 1.5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมในการสกัด คือ ร้อยละ 1.5 ซึ่งนอกจากเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายแล้ว สีของกรดแอลจินิกที่ได้ยังอ่อนกว่าอีกด้วยดังแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.8 จะเห็นว่า สีของสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่ำ

จะมีสีอ่อนกว่าสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่สกัดด้วยโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นสูง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการสกัด 60 นาที และใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 1.5 ของการทดลองตอนนี้กับการทดลองที่ 3.2.2 พบว่าปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้ของการทดลองนี้น้อยกว่าการทดลองที่ 3.2.2 ประมาณเท่าตัวที่เป็นเช่นนี้เพราะสาหร่าย Chnoospora minima เป็นตัวอย่างที่เก็บมาคนละปี โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองที่ 3.2.2 เป็นตัวอย่างของปีที่แล้วซึ่งมีการเก็บตัวอย่างที่ดีสาหร่ายมีความสะอาดและแห้งสนิทดี แต่ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นสาหร่ายที่เก็บในปีนี้และเนื่องจากตัวอย่างสาหร่ายที่ส่งมาใหม่นี้ยังตากไม่แห้งสนิทดีทำให้เวลาขนส่งมาเกิดเชื้อราขึ้นซึ่งอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณกรดแอลจินิกที่สกัดได้แตกต่างกันมาก

5.2.4 การใช้สารเคมีในการแช่สาหร่ายแห้งก่อนการสกัดด้วยโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 1.5 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการสกัด 60 นาที พบว่าการแช่สาหร่ายแห้งในสารเคมีก่อนทำการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต จะช่วยทำให้คุณภาพของโซเดียมแอลจิเนตที่สกัดได้ดีขึ้น โดยสารฟอร์มาดีไฮด์ กรดเกลือ และกรดกำมะถัน จะช่วยกำจัดสารประกอบพวกฟีนอลออกจากสาหร่ายแห้งก่อนทำการสกัด การแช่สาหร่ายแห้งด้วยกรดเกลือหรือกรดกำมะถัน 0.1 โมลาร์ นอกจากจะช่วยกำจัดสารประกอบฟีนอลที่ละลายในกรดออกไปแล้ว ยังช่วยทำให้การสกัดโซเดียมแอลจิเนตออกจากสาหร่ายง่ายขึ้น เนื่องจากปกติแล้วแอลจิเนตที่อยู่ในสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลมักอยู่ในรูปเกลือแอลจิเนตที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เกลือแคลเซียมหรือแมกเนเซียม เป็นต้น ถ้าเราสกัดสาหร่ายด้วยโซเดียมคาร์บอเนตเลย โดยไม่ผ่านการแช่กรดก่อน ปฏิกิริยาการแทนที่แคลเซียมหรือแมกนีเซียมด้วยโซเดียมเพื่อให้กลายเป็นโซเดียมแอลจิเนตซึ่งเป็นเกลือที่ละลายน้ำจะเกิดโดยปฏิกิริยาที่แสดงในสมการที่ 1

$$Ca(Alg)_2 + 2Na^+ \text{ ---- } 2NaAlg + Ca^{++} \quad .....(1)$$

แต่ถ้าเราแช่สาหร่ายแห้งด้วยกรดก่อนจะทำให้การสกัดเร็วและง่ายขึ้นดังสมการที่ 2 และ 3

$$Ca(Alg)_2 + 2H^+ \text{ ---- } 2HAlg + Ca^{++} \quad .....(2)$$

$$HAlg + Na^+ \text{ ---- } NaAlg + H^+ \quad .....(3)$$

การแช่สารละลายฟอร์มาดีไฮด์จะช่วยกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยจะรวมกับสารประกอบฟีนอลกลายเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งสามารถแยกออกได้ง่ายทำให้โซเดียมแอลจิเนตที่ได้มีคุณภาพและสีดีกว่าการสกัดสาหร่ายที่ไม่ผ่านการแช่สารเคมีดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่

4.9 สาหร่ายแห้งที่แช่กรดกำมะถันอย่างเดียวจะให้สีที่คล้ายกับแอลจิเนตที่สกัดจากสาหร่ายแห้งที่ไม่ผ่านการแช่สารเคมีก่อนสกัด การแช่สารละลายฟอร์มาดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 0.4 จะช่วยให้สีของแอลจิเนตที่สกัดได้อ่อนที่สุดทำให้ปริมาณความหนืดและค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12 การแช่กรดเกลือหรือกรดกำมะถัน 0.1 โมลาร์ จะช่วยให้ปริมาณคุณภาพด้านความหนืดและค่าความเป็นกรดของแอลจิเนตที่สกัดได้เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12 การแช่กรดเกลือหรือกรดกำมะถันร่วมกับการแช่สารละลายฟอร์มาดีไฮด์ทำให้สีของแอลจิเนตที่สกัดได้อ่อนกว่า แอลจิเนตที่สกัดจากสาหร่ายแห้งที่ผ่านการแช่กรดเกลือหรือกรดกำมะถันเพียงอย่างเดียว ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.9 นอกจากนี้ยังทำให้คุณภาพด้านความหนืดและค่าความเป็นกรดของแอลจิเนตที่สกัดได้เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12 การใช้ฟอร์มาดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 0.4 ในการแช่สาหร่ายแห้งก่อนการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บบอเนตเข้มข้นร้อยละ 1.5 ควรจะล้างฟอร์มาดีไฮด์ออกให้หมดก่อนทำการสกัดโดยนอกจากตรวจด้วยการดมกลิ่นแล้วเพื่อให้แน่ใจก็ควรวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาดีไฮด์ที่อาจตกค้างอยู่ในโซเดียมแอลจิเนตที่สกัดได้ก่อนนำไปใช้ เนื่องจากสารฟอร์มาดีไฮด์นี้ถูกกำหนดเป็นวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหารของมนุษย์ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 93 (43) ดังนั้น โซเดียมแอลจิเนตที่จะใช้กับอาหารมนุษย์จึงต้องไม่มีสารฟอร์มาดีไฮด์ตกค้างอยู่ ส่วนในอาหารสัตว์นั้นยังไม่มีการกำหนดห้ามใช้สารฟอร์มาดีไฮด์นี้ (44) ดังนั้นโซเดียมแอลจิเนตที่ใช้ในอาหารสัตว์อาจมีฟอร์มาดีไฮด์ตกค้างอยู่บ้างแต่ไม่ควรมากกว่าปริมาณที่กำหนดเอาไว้ และเนื่องจากฟอร์มาดีไฮด์บริสุทธิ์มีจุดเดือดต่ำเพียง -21.2 องศาเซลเซียส (45) ดังนั้นฟอร์มาดีไฮด์ที่ตกค้างอยู่ก็จะสลายตัวไปได้เอง เมื่อผ่านกระบวนการสกัดแอลจิเนตที่ใช้อุณหภูมิสูง การสลายตัวของฟอร์มาดีไฮด์ก็มีมากขึ้นดังนั้นจึงไม่ควรมีฟอร์มาดีไฮด์เหลืออยู่ในแอลจิเนตที่สกัดได้

5.2.5 การวิเคราะห์คุณภาพของแอลจิเนตที่สกัดจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Chnoospora ที่ผ่านการแช่สารเคมีก่อนสกัด พบว่าน้ำหนักที่สูญเสียขณะอบแห้งของกรดแอลจินิกของทุกตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารเคมีก่อนสกัดจะมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของ Food Chemicals Codex คือ ไม่เกินร้อยละ 15 ส่วนค่าความเป็นกรดนั้นสาหร่ายที่ผ่านการแช่กรดกำมะถันเข้มข้น 0.1 โมลาร์ 30 นาที ร่วมกับการแช่สารละลายฟอร์มาดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 0.4 เท่านั้นที่มีค่าความเป็นกรดเข้ามาตรฐาน คือมีค่ามากกว่า 230 สำหรับปริมาณเถ้านั้นทุกตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ร้อยละ 4 ซึ่งแสดงว่าอาจมีเกลือแคลเซียมหรือเกลือของกรดที่ใช้ในการตกตะกอนเป็นกรดแอลจินิกแล้วล้างออกไม่หมด โดยจะสังเกตจากคราบเกลือที่เกาะอยู่ที่ภาชนะที่ใส่กรดนี้ หลังจากนำกรดแอลจินิกนี้ไปอบแห้งดังนั้นจึงทำให้ปริมาณเถ้าของกรดแอลจินิกที่สกัดได้มากกว่ามาตรฐาน สำหรับค่าความหนืดที่วัดจาก

สารละลายโซเดียมแอลจิเนตเข้มข้นร้อยละ 1.0 ปรากฏว่าทุกตัวอย่างจัดเป็นแอลจิเนตประเภทความหนืดต่ำ และตัวอย่างสาหร่ายที่ผ่านการแช่กรดกำมะถันร่วมกับสารละลายฟอร์มาดีไฮด์จะมีความหนืดมากที่สุด การทดสอบยืนยันสามารถทำโดยวิธีทดสอบเอกลักษณ์ตามวิธีในภาคผนวก ก.3 และอีกวิธีคือการใช้การตรวจสอบด้วยอินฟราเรดสเปกตรัม เนื่องจากแอลจิเนตเป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งจะมีหมู่ฟังก์ชันที่เด่นคือ หมู่ไฮดรอกซิล (OH) และหมู่คาร์บอนิล(CO) ซึ่งเมื่อตรวจด้วยอินฟราเรดสเปกตรัมจะพบหมู่ไฮดรอกซิลที่ 3,500 cm^{-1} และหมู่คาร์บอนิลที่ 1,650 cm^{-1} (46) เมื่อนำตัวอย่างโซเดียมแอลจิเนตที่สกัดได้ไปวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมเทียบกับโซเดียมแอลจิเนตของ Klaus Evers ประเทศเยอรมัน ที่บริษัทแลปเซนเตอร์ จำกัด เป็นตัวแทนจำหน่ายอยู่ ก็ตรวจพบหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวในตัวอย่างทั้ง 2 และลักษณะของเส้นสเปกตรัมที่ออกมาก็มีลักษณะคล้ายกันดังแสดงในรูปที่ จ.1 และ จ.2 ดังนั้นแสดงว่าสารที่สกัดได้เป็นโซเดียมแอลจิเนตจริง สาเหตุที่ตัวอย่างเหล่านี้มีความหนืดต่ำ เนื่องจากมีเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมลงไปเพื่อเปลี่ยนกรดแอลจินิกเป็นโซเดียม-แอลจิเนตเหลืออยู่มาก โดยสังเกตจากโซเดียมแอลจิเนตที่อบแห้งแล้วมีลักษณะแห้งแข็งป่นเป็นผงละเอียดง่ายและเมื่อนำไปทดสอบว่ามีเกลือคาร์บอเนตเหลืออยู่หรือไม่ ก็พบว่ามีเหลืออยู่จริง ดังนั้นเมื่อเอาโซเดียมแอลจิเนตนี้ไปเตรียมสารละลายเข้มข้นร้อยละ 1.0 เพื่อวัดความหนืดก็จะมีเนื้อโซเดียมแอลจิเนตน้อยกว่าที่ต้องการ เพราะมีเกลือโซเดียมคาร์บอเนตปนอยู่ทำให้ความหนืดที่วัดได้น้อย และหลังจากทดลองนำโซเดียมแอลจิเนตที่กรองได้แล้วตกตะกอนในเอทธิลแอลกอฮอล์เลยโดยไม่ผ่านกระบวนการอื่นไปวัดความหนืดจะมีค่าความหนืดมากกว่าโซเดียมแอลจิเนตที่จำหน่ายในท้องตลาด แต่วิธีนี้จะสิ้นเปลืองเอทธิลแอลกอฮอล์มาก

5.3 การนำแอลจิเนตที่สกัดได้ไปใช้เป็นสารเหนียว ในการทำอาหารกุ้งกุลาดำโดยสูตรอาหารที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 3.1 สูตรอาหารนี้ได้จากการคำนวณอัตราส่วนขององค์ประกอบเพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 42 ซึ่งจะทำให้ได้ใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในอาหารกุ้งตามท้องตลาด แต่จากการวิเคราะห์พบว่าอาหารกุ้งที่เตรียมจากสูตรอาหารดังกล่าวมีโปรตีนร้อยละ 43.30 ซึ่งมากกว่าอาหารกุ้งในท้องตลาดเล็กน้อย การเติมโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตลงในอาหารกุ้งที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตเป็นสารเหนียว เพื่อเป็น sequestrant ของโซเดียม-แอลจิเนต ซึ่งจะทำหน้าที่คอยจับอิออนของโลหะที่มีประจุบวกไม่ให้มารวมตัวกับโซเดียมแอลจิเนตเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำในช่วงการเตรียมสารละลายโซเดียมแอลจิเนตทำให้โซเดียม-แอลจิเนตละลายได้หมด นอกจากนี้ยังช่วยทำให้อาหารกุ้งที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตเป็นสารเหนียว

และผสมโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตด้วยมีความคงตัวในน้ำมากกว่าอาหารกุ้งที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตอย่างเดียว เนื่องจากโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตจะช่วยจับอิออนที่มีประจุบวก เช่น Ca^{2+} ซึ่งจะมาจับที่หมู่คาร์บอกซี (COO^-) ของแอลจิเนตที่มีประจุลบ ทำให้หมู่คาร์บอกซีอิสระนั้นลดลง ทำให้ลดจำนวนพันธะอิออนนิกที่จะเกิดระหว่างหมู่คาร์บอกซีอิสระที่มีประจุลบจับกับประจุบวกขององค์ประกอบในอาหารกุ้ง เช่น ประจุบวกของ E-amino groups ของไลซีน เป็นต้น ทำให้เหลือโซเดียมแอลจิเนตที่จะจับองค์ประกอบของอาหารได้น้อยลง อาหารจึงแตกตัวง่ายกว่า กล่าวคือมีความคงตัวในน้ำน้อยลงด้วย เมื่อได้สูตรอาหารกุ้งแล้ว จึงวิจัยหาปริมาณโซเดียมแอลจิเนตที่เหมาะสมในการเป็นสารเหนียว ผลออกมาดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อปริมาณโซเดียม-แอลจิเนตที่เป็นส่วนผสมในอาหารกุ้งกุลาดำเพิ่มขึ้นร้อยละของอาหารกุ้งที่สูญเสียในการแช่น้ำทะเลที่ระยะเวลาเท่ากันจะลดลง และเมื่อเวลาการแช่น้ำทะเลเพิ่มขึ้นร้อยละของอาหารกุ้งที่สูญเสียก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าอาหารกุ้งที่มีปริมาณโซเดียมแอลจิเนตที่ใช้ร้อยละ 1.0 และ 1.5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่จะแตกต่างกับอาหารกุ้งที่มีปริมาณโซเดียมแอลจิเนตร้อยละ 0.5 และ 2.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การเพิ่มปริมาณโซเดียมแอลจิเนตที่ใช้เป็นสารเหนียวในอาหารกุ้งกุลาดำมากกว่าร้อยละ 2.0 ทำให้อาหารกุ้งมีความคงตัวในน้ำทะเลมากขึ้นแต่ต้นทุนการผลิตอาหารกุ้งนี้ก็แพงขึ้นด้วย นอกจากนี้คุณค่าอาหารก็จะลดลงด้วยเนื่องจากปริมาณโซเดียมแอลจิเนตที่เพิ่มขึ้นจะไปแทนที่องค์ประกอบอาหารกุ้งชนิดอื่นที่มีคุณค่าทางอาหารมากกว่า ดังนั้นจึงใช้ปริมาณโซเดียม-แอลจิเนตร้อยละ 2.0 ก็เพียงพอที่จะทำให้อาหารกุ้งอยู่ในน้ำทะเลได้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง ขนาดขององค์ประกอบของอาหารกุ้งกุลาดำมีผลต่อความคงตัวของอาหารกุ้งในน้ำทะเล ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่าอาหารกุ้งที่ทำจากองค์ประกอบที่มีขนาดเล็กกว่า 425 μm มีความคงตัวในน้ำทะเลมากกว่าอาหารกุ้งที่ทำจากองค์ประกอบที่มีขนาดใหญ่กว่า 425 μm คือมีร้อยละของอาหารที่สูญเสียในการแช่น้ำทะเลที่ระยะเวลาเดียวกันน้อยกว่าองค์ประกอบอาหารกุ้งที่มีขนาดใหญ่ เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าอาหารกุ้งที่มีขนาดของส่วนประกอบเล็กกว่า 425 μm มีร้อยละของอาหารกุ้งที่สูญเสียในน้ำทะเลน้อยกว่าอาหารกุ้งที่มีขนาดของส่วนประกอบใหญ่กว่า 425 μm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการเปรียบเทียบความคงตัวของอาหารกุ้งกุลาดำ 3 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่าอาหารกุ้งกุลาดำของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีความคงตัวมากที่สุด หรือมีร้อยละของอาหารกุ้งที่สูญเสียในการแช่น้ำทะเลที่ระยะเวลาเดียวกันต่ำที่สุดรองลงมาคืออาหารกุ้งที่โซเดียมแอลจิเนตร้อยละ 1.5 เป็นสารเหนียว และอาหารกุ้งที่ใช้กัวกัมเป็นสารเหนียวตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะอาหารของบริษัท ซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร

จำกัด ใช้เครื่องอัดเม็ดอาหารกุ้งที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและฉีดไอน้ำระหว่างอัดเม็ดอาหารได้ ทำให้อาหารกุ้งกุลาดำที่ได้มีความแน่นมากผิดกับอาหารที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตหรือก้วกัมเป็นสารเหนียวที่เตรียมขึ้นในการทดลองจะอัดเม็ดโดยใช้เครื่องผสมและอัดเม็ดอาหารกุ้งทำให้อาหารกุ้งที่ได้ไม่แน่นเท่าอาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด

การทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยอาหารสูตรที่ 1 ใช้โซเดียมแอลจิเนตเป็นสารเหนียว (AF) สูตรที่ 2 ใช้ก้วกัมเป็นสารเหนียว (GG) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบกับอาหารของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ผลการบันทึกน้ำหนักและความยาวของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงทุก 2 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.16 และ 4.17 พบว่ากุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีน้ำหนักและความยาวมากที่สุด รองลงมาคือกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1 และสูตร 2 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติแล้วพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อกุ้งเฉลี่ยของอาหารกุ้งสูตร 1 สูตร 2 และอาหารกุ้งกุลาดำของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีค่าเท่ากับ 4.99 , 5.99 และ 2.84 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.18 พบว่า อาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีอัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยต่ำที่สุด รองลงมาคืออาหารสูตร 1 และสูตร 2 ตามลำดับ เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าอาหารกุ้งกุลาดำของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด เป็นอาหารกุ้งที่มีคุณค่าทางอาหารสูงมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อกุ้งต่ำ แต่จะนำมาเปรียบเทียบกับอาหารกุ้งสูตร 1 และสูตร 2 ไม่ได้โดยตรง เพราะเราไม่ทราบองค์ประกอบที่แท้จริงของอาหารกุ้งบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารกุ้งบริษัท ซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด และอาหารกุ้งสูตร 1 ดังแสดงในตารางที่ ข.1 พบว่าอาหารกุ้งสูตร 1 มีโปรตีนและไขมันมากกว่าอาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ส่วนความชื้นมีปริมาณใกล้เคียงกัน แสดงว่าโปรตีนและไขมันไม่ใช่องค์ประกอบที่ทำให้กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีการเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าอาหารกุ้งสูตร 1 แต่อาจจะเป็นเกลือแร่ที่เติมลงไปดังจะเห็นได้จากปริมาณเถ้าของอาหารกุ้งบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีมากกว่าอาหารกุ้งสูตรหนึ่งถึงร้อยละ 4.17 เมื่อพิจารณาถึงปริมาณเยื่อใยของอาหารกุ้งบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ก็น้อยกว่าอาหารกุ้งสูตร 1 และอีกสาเหตุที่สำคัญคือ อาหารกุ้งสูตร 1 มีความคงตัวในน้ำน้อยกว่าอาหารกุ้งบริษัทซีพีผลิภัณฑ์อาหาร จำกัด ทำให้อาหารกุ้งสูตร 1 มีการสูญเสียสารอาหารไปในน้ำก่อนที่กุ้งจะกินเข้าไปมากกว่าอาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด และปริมาณอาหารกุ้งสูตร 1 ที่ใช้เลี้ยงจึงมากกว่าอาหารกุ้งของ

บริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหารจำกัด เนื่องจากมีการสูญเสียไปในน้ำมากกว่าดังแสดงในตารางที่ 4.18 อัตราการตายของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด และอาหารสูตรที่ 1 มีอัตราการตายร้อยละ 10.5, 22.0 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะอาหารกุ้งของบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด มีความคงตัวในน้ำดีและกุ้งชอบกินมากทำให้ระยะเวลาของอาหารที่อยู่ในน้ำสั้น ปริมาณอาหารที่สูญเสียในน้ำก็น้อยกว่าและยังช่วยให้คุณภาพของน้ำไม่เสียเร็ว อาหารสูตร 1 มีความคงตัวในน้ำน้อยกว่าและกุ้งส่วนใหญ่ชอบกิน แต่มีกุ้งบางตัวที่ไม่ชอบอาหารสูตร 1 คอยจับกุ้งตัวอื่นที่กำลังลอกคราบกินเป็นอาหารแทน ทำให้อัตราการตายของกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1 มากกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารบริษัทซีพีผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ส่วนอาหารสูตร 2 มีอัตราการตายสูงสุดคือ ร้อยละ 44.67 เนื่องจากกุ้งไม่ชอบกินอาหารสูตรนี้กุ้งจะกินเมื่อ หิวเท่านั้น ทำให้อาหารมีเวลาอยู่ในน้ำนานอีกทั้งความคงตัวของอาหารสูตร 2 นี้น้อยที่สุด ทำให้คุณภาพน้ำในบ่อที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2 นี้มีคุณภาพต่ำ โดยสังเกตจากน้ำในบ่อนี้มีความขุ่นและตะกอนมาก ทำให้กุ้งมีความอ่อนแอ เมื่อลอกคราบจะถูกกุ้งตัวอื่นจับกินได้ง่าย และมีโอกาสที่จะเกิดโรคแทรกซ้อนซึ่งจะพบอยู่ช่วงหนึ่ง หลังจากเลี้ยงไปได้ 6 สัปดาห์ พบว่ากุ้งลอกคราบแล้วตายเป็นจำนวนมาก จึงทำให้อัตราการตายของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2 มากที่สุด และจากผลการทดลองนี้แสดงว่าโซเดียมแอลจิเนตที่สกัดจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล Chnoospora สามารถใช้เป็นสารเหนียวในอาหารกุ้งกุลาดำได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อกุ้งและอาหารกุ้งที่ผลิตได้มีความคงตัวในน้ำได้นานกว่า 4 ชั่วโมงซึ่งจะช่วยรักษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงไม่ให้เสียง่าย

หลังจากการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำครบ 12 สัปดาห์แล้ว พบว่ากุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 3 ชนิด ทุกตัวจะมีลำตัวเป็นสีฟ้าอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอาหารทั้ง 3 ชนิด ขาดรงควัตถุประเภทแอสตาแซนทิน (astaxanthin) ในส่วนประกอบของอาหารซึ่งสารตัวนี้จะทำให้กุ้งมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ซึ่งเมื่อนำไปต้มหรือทำให้สุกจะได้เนื้อกุ้งสีแดงสดเป็นที่นิยมของผู้บริโภคมาก ทำให้ขายได้ราคาดี ผิดกับกุ้งสีฟ้าซึ่งจะถูกกดราคาได้มาก สาเหตุอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้กุ้งเป็นสีฟ้าก็คือในอาหารกุ้งอาจมีรงควัตถุประเภท แคโรทีน (carotene) เมื่อกุ้งกินอาหารที่มีแคโรทีนเข้าไป แคโรทีนอาจจะไปรวมกับโปรตีนเกิดเป็น carotenoprotein ซึ่งมีสีฟ้า เมื่อนำกุ้งที่มีสารนี้ไปต้มจะได้เนื้อกุ้งเป็นสีส้มซึ่งไม่เป็นที่นิยมในต่างประเทศ (47)