บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

เนื่องจากในการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ในสัตว์น้ำต่างๆนั้นผู้ศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบหน่วยกิจกรรมของเอนไซม์ (Unit; U) ไว้หลากหลายรูปแบบ และการแปลงหน่วยเหล่านั้นอยู่บนพื้นฐานเดียวกันโดยอาศัยเพียงข้อมูลที่ได้จากวารสารทางวิชาการที่เผยแพร่ข้อเขียนนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากมีรายละเอียดของข้อมูลไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงขอใช้หน่วยตามที่ได้แสดงไว้ในบทความทางวิชาการนั้น โดยจะทำการแปลงหน่วยให้เป็นระบบเดียวกันกับที่ได้ทำการศึกษาครั้งนี้ในกรณีที่มีข้อมูลเพียงพอเท่านั้น

ประสิทธิภาพของเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินในหอยหวาน (*Babylonia areolata*)

(ตารางที่ 8) ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินนั้นตรวจวัดได้จากค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์กับสับสเตรทที่จำเพาะของเอนไซม์นั้น ได้แก่ N-α-benzoylarginine -p-Nitroanilide (BAPNA) และ N-succynyl-L-Ala-L-Ala-L-Pro-L-Phe-p-Nitroanilide (SAPNA) สำหรับทริปซินและไคโมทริปซินตามลำดับ โดยทำการศึกษาใน 3 อุณหภูมิ คือ 20, 40 และ 60 องศาเซลเซียส กับตัวอย่างจากต่อมย่อยอาหาร (DG) และทางเดินอาหาร (DT) พบว่า

1. กิจกรรมของเอนไซม์ทริปซิน

กิจกรรมของทริปซินในหอยหวานมีค่าใกล้เคียงกับในสัตว์กินเนื้ออื่น โดยมีค่ากิจกรรมในต่อมย่อยอาหารที่อุณหภูมิ 20, 40 และ 60 องศาเซลเซียส เป็น 20.12, 43.27 และ 63.21 U mg.prot^{-1} และในทางเดินอาหารที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่า 42.06, 65.12 และ 94.87 U mg. prot^{-1} ตามลำดับ สอดคล้องกับกิจกรรมของทริปซินจากต่อมย่อยอาหารของปูกินเนื้อ *Plagusia chabus* ที่มีค่า 43.8 U mg. prot.$^{-1}$ กับสับสเตรทชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Danielle & Joel, 2005) ในทากเปลือย *Hermissenda crassicornis* และ *Aeolidia papillosa* (Cockburn & Reid, 1980) พบกิจกรรมของทริปซินจากน้ำย่อยกับ TAME ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็น 773.5 และ 1,063.8 U mg. prot.$^{-1}$ ตามลำดับ (เมื่อ U คือปริมาณเอนไซม์ที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่ม 0.001/ นาที) Villanueva et al. (2002) ได้รายงานการศึกษาในหมึก *Octopus vulgaris* เมื่อทดสอบกับ L-ZAPA พบกิจกรรมของทริปซินสูงสุดในระยะพาราลาวาวันที่ 15 มีค่า 14.89 U mg. prot^{-1} ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (เมื่อ U คือปริมาณเอนไซม์; ไมโครโมล) สัตว์ที่กิน

ทั้งพืชและสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียนต่าง ๆ เช่น กุ้ง *Pleoticus muelleri* (Fernandez et al., 2001) มีกิจกรรมของทริปซินกับ BAPNA สูงสุดในระยะหลังการลอกคราบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยมีค่า 2.4 U mg. prot^{-1} (เมื่อ U คือค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไป/ นาที) และกุ้ง *Peneaus japonicus* (Galgani et al., 1985) มีกิจกกรมของทริปซินจากตับกับ TAME ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็น 9.1 U mg. prot^{-1} (เมื่อ U คือ ปริมาณสับเสตรทที่ถูกเข้าทำปฏิกิริยา; ไมโครโมล/ นาที) ในปลากินเนื้อกลุ่มที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น ปลาคอด *Gadus morhua* จากรายงานการศึกษาของ Arnt and Bernt (1989) พบว่ากิจกรรมของทริป ซินจาก Pyloric Caeca กับ BAEEที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส มีค่า 1.04 U mg. prot^{-1} (เมื่อ U คือปริมาณเอนไซม์ที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์ 1 ไมโครโมล/ นาที) และในทางเดินอาหารของปลา *Mallutus villosus* (Hjelmeland & Raa, 1982) พบกิจกรรมของทริป ซินกับ BAPNA ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า 1.98 U mg. prot.$^{-1}$ (เมื่อ U คือปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น; ไมโครโมล/ ชั่วโมง)

2. กิจกรรมของเอนไซม์ไคโมทริปซิน

เนื่องจากมีรายงานเกี่ยวกับกิจกรรมของไคโมทริปซินไว้หลากหลายหน่วยและไม่สอดคล้องกับในการศึกษานี้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากหอยหวานเป็นสัตว์กินเนื้อและซากกิจกรรมส่วนใหญ่ในระบบย่อยอาหารจึงเกิดจากเอมไซม์จำพวกโปรติเอสโดยกิจกรรมของไคโมทริปซินในต่อมย่อยอาหารที่อุณหภูมิ 20, 40 และ 60 องศาเซลเซียส เป็น13.29, 22.60 และ 35.92 U mg. prot^{-1} และในทางเดินอาหารที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่า 10.76, 14.14 และ 32.82 U mg. prot^{-1} ตามลำดับ (เมื่อ U คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น; ไมโครโมลต่อชั่วโมง) และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของไคโมทริปซินจากการศึกษานี้คือ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Chevalier et al. (1995) เกี่ยวกับไคโมทริปซินจากต่อมย่อยอาหารของหอย *Pecten maximus* ว่ามีอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานที่ 45-55 องศาเซลเซียส นอกจากหอยหวานแล้วสัตว์กินเนื้อจำพวกมอลัสก์ เช่น รายงานการศึกษาของ Cockburn and Reid (1980) เกี่ยวกับทากเปลือย *Hermissenda crassicornis* มีเอนไซม์ไคโมทริปซิน 2 ไอโซไซม์ในต่อมย่อยอาหารและมีค่ากิจกรรมจำเพาะกับ BTEE ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็น 3,273.8 และ 1,590 U^{A}mg. prot.$^{-1}$ ขณะที่ไคโมทริปซินจากบริเวณเดียวกันของทากเปลือย *Aeolidia papillosa* มีค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ในสภาวะเดียวกันเป็น 2,352.9 U mg. prot^{-1} ที่อุณหภูมิเดียวกัน (เมื่อ U คือ ปริมาณเอนไซม์ที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น 0.001/ นาที) ในหมึก *Octopus vulgaris* พบกิจกรรมของไคโมทริปซินสูงสุดในระยะพาราลาวาวันที่ 5 คือ 39.57 U mg. prot^{-1} (Villanueva et al., 2002) เมื่อทดสอบกับ SAAPPNA ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (เมื่อ U คือ ปริมาณเอนไซม์; ไมครโมล) แม้จะไม่มีรายงานถึงความสำคัญของไคโมทริปซินต่อระบบย่อยอาหารของปลาต่างๆมากนัก แต่ใน

ปลาสำคัญทางเศรษฐกิจบางชนิดที่ดำรงชีวิตเป็นผู้ล่า เช่น ปลาคอด *Gadus morhua* มีผลการศึกษาของ Arnt and Bernt (1989) ว่าพบไคโมทริปซินจาก Pyloric Caeca ซึ่งมีค่ากิจกรรมจำเพาะกับ BTEE ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เป็น 2.76 U mg. $prot^{-1}$ (เมื่อ U คือ ปริมาณสับสเตรทที่ถูกไฮโดรไลส์)

ในสัตว์กลุ่มที่กินเนื้อและพืช เช่น เดคาปอดต่าง ๆ พบว่าเอนไซม์โปรติเอสเป็นเอนไซม์กลุ่มที่มีความสำคัญมากในระบบย่อยอาหาร และถ้ากิจกรรมของเอนไซม์สามารถบ่งชี้ถึงความสามารถในการใช้ประโยชน์จากสารอาหารของสัตว์ชนิดนั้น ๆ ได้ (Chuang et al., 1985 Cited in Fernandez et al., 2001) เนื่องจากความสำคัญในเชิงพาณิชย์ทำให้สัตว์กลุ่มนี้ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวาง เช่น การศึกษาของ Gracia-Carreno และ Haard ในปี 1994 กับปู *Pleuroncodes planipes* พบว่ามีกิจกรรมของไคโมทริป ซินกับ SAPNA ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็น 15.9 U mg. $prot^{-1}$ ขณะที่กุ้ง *Pacificus astacus* ที่ทดสอบในสภาวะเดียวกัน พบว่ามีค่าเป็น 0.37 U mg. $prot^{-1}$ (เมื่อ U คือปริมาณเอนไซม์ที่สามารถไฮโดรไลซ์สับเสตรท 1 ไมโครโมล/ นาที) ในกุ้ง *Pleoticus muelleri* (Fernandez et al., 2001) พบว่าไคโมทริปซินจากตับมีค่าสูงสุดในระยะหลังลอกคราบ โดยมีค่ากิจกรรมจำเพาะกับ SAPNA ของ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็น 3.7 U mg. $prot^{-1}$ (เมื่อ U คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไป/ นาที)

น้ำหนักโมเลกุลของเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินในหอยหวาน (*Babylonia areolata*)

(ตารางที่ 8) จากการศึกษาน้ำหนักโมเลกุลของเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินในหอยหวานแต่ละเพศ ด้วยวิธีอิเล็คโตรโฟริซิสในครั้งนี้ ทำให้ทราบว่าทริปซินของหอยหวานจะมีค่าอยู่ในช่วง 20-33 kDa และไคโมทริปซินจะมีค่าอยู่ในช่วง 14-42 kDa เมื่อพิจารณาในแต่ละอวัยวะของแต่ละเพศ พบว่า ต่อมย่อยอาหารของเพศผู้มีเอนไซม์ทริปซิน 2 ชนิด และไคโมทริปซิน 1 ชนิด โดยมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 33.08, 28.01 และ 42.15 kDa ตามลำดับ แต่เอนไซม์ทริปซินในเพศเมียจะมีเฉพาะไอโซไซม์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 28.01 เท่านั้น ส่วนทางเดินอาหาร ของทั้งสองเพศมีเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินอยู่อย่างละ 2 ชนิด โดยมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 26.15, 20.06, 19.37 และ 14.22 kDa ตามลำดับ ซึ่งค่าน้ำหนักโมเลกุลนี้ใกล้เคียงกับในสัตว์น้ำอื่น ๆ เช่น ในหอยโข่งทะเล *Haliotis rufescens* (Jay & Daniel, 1993) มีเอนไซม์ประเภทไคโมทริปซินในบริเวณท่อของลำไส้เล็กขนาดมวลโมเลกุล 28 kDa ขณะที่ตับของหอยโข่งทะเล *Haliotis fulgens* พบกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส 4 ชนิด แบ่งเป็น ไคโมทริปซิน 1 ชนิด ทริปซิน 2 ชนิด และคาร์บอกซิเพปทิเดส 1 ชนิด โดยมีมวลโมเลกุล 28.1, 29.5, 32 และ 30 kDa ตามลำดับ (Alejandra et al., 1998) ส่วนในหอยสองฝาซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกที่กรองกินอาหารนั้น พบว่า

ต่อมย่อยอาหาร ของหอยพัด *Pecten maximus* (Chevalier et al., 1995) พบว่า มีเอนไซม์ประเภทไคโมทริปซินอยู่ 3 ไอโซไซม์ และมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 32 kDa กุ้ง *Pleoticus muelleri* มีเอนไซม์และทริปซินในระยะต่าง ๆ แตกต่างกัน คือ ระยะ Intermolt พบโปรติเอส 12 ชนิดในช่วง 16.6-53.1 kDa ซึ่งบางชนิดจะไม่พบในระยะหลังการลอกคราบและก่อนการลอกคราบ ส่วนในระยะ Molting Stage พบเอนไซม์โปรติเอส 10 ชนิดซึ่งอยู่ในช่วง 17.4-66 kDa โดยเป็นทริปซิน 3 ไอโซไซม์ และไคโมทริปซิน 1 ชนิด คือ 17.4, 19.1, 20 และ 21.9 kDa ตามลำดับ (Fernandez et al., 2001) ในกุ้งกลุ่มเพเนอิดอื่น ๆ Lemos et al. (2000) ได้รายงานว่าเอนไซม์โปรติเอสในระบบย่อยอาหาร ของ *Farfentepeneaus paulensis* มีมวลโมเลกุลของทริปซิน 4 ไอโซไซม์ คือ 14.6, 16.4, 17.5 และ 19.5 kDa ซึ่งเป็นค่าที่เหมือนกับทริปซินของ *P. monodon* (Jiang et al., 1991) และมีไคโมทริปซิน 3 ไอโซไซม์ คือ 28.9, 32 และ 37.7 kDa ซึ่งเหมือนกับไคโมทริปซินของ *P. vannamei* (Hernandez, 1997) นอกจากเอนไซม์ดังกล่าวแล้ว *F. californiensis* ยังมีเอนไซม์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าค่าดังกล่าวมากกว่ากุ้งเพเนอิด ชนิดอื่นนอกจากนั้นเอนไซม์โปรติเอสของกุ้งในกลุ่ม เพเนอิด นั้นมีความแตกต่างกัน โดย *P. californiensis, P. vanamei, F. pluensis* และ *L. Schmitti* ต่างมีเอนไซม์ที่มีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 20 kDa หรือต่ำกว่า และยังพบว่า *P. vanamei* มีเอนไซม์โปรติเอสที่อยู่ในช่วง 20-29 kDa ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาโดย Van et al. (1992) ว่ามวลโมเลกุลในตับมีค่า ประมาณ 25 kDa ใน *P. monodon* พบว่าเอนไซม์โปรติเอสโดยรวมจะเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ระยะไมซีสและสูงสุดเมื่อเข้าสู่ระยะโตเต็มวัย สอดคล้องกับปริมาณทริปซินและไคโมทริปซินที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในระยะไมซีส หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง โดยทริปซินจะมีค่าไม่แตกต่างจากระยะโซเอียและนอเพลียสมากนัก ขณะที่ไคโมทริปซินจะเพิ่มสูงขึ้นในระยะก่อนเจริญพันธุ์และเมื่อโตเต็มวัย โดยพบ 2 ไอโซไซม์ในตับมีมวลโมเลกุลเป็น 26 และ 27 kDa (Lee & Bon, 1992) ส่วน *P. japonicus* พบมวลโมเลกุลของทริปซิน 6 ไอโซไซม์มีค่าอยู่ช่วง 25 kDa (Galgani et al., 1985) ในครัสเตเชียนอื่น ๆ นั้น Guizani et al. (1992) ได้รายงานถึงทริปซินในตับของกุ้ง *Procambarus clarkii* ว่ามีมวลโมเลกุลประมาณ 33.6 kDa แต่ไม่พบกิจกรรมของไคโมทริปซิน ส่วนกุ้งมังกร *Homarus gammarus* ในตับจะพบเอนไซม์ทริปซิน แต่ไม่พบไคโมทริปซิน ซึ่งมีมวลโมเลกุล 53.7 และ 18.2 kDa (Glass & Stark, 1994) นอกจากนั้นปลาต่าง ๆ ก็เป็นสัตว์น้ำที่มีรายงานการศึกษาถึงเอนไซม์โปรติเอสในระบบย่อยอาหารอย่างกว้างขวางซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเน้นในกลุ่มปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น แซลมอน, เทราท์, คอด, กระตัก ฯลฯ โดย (Dimes et al., 1994) พบว่า มวลโมเลกุลของทริปซินในเทราท์นั้นจะอยู่ในช่วง 18-79 kDa ขณะที่ปลาแซลมอน 2 ชนิด คือ *Oncorhynchus tschawytscha* และ *O. kitsutch* จะมีค่าใกล้เคียงกันมากโดยจะอยู่ในช่วง 18-72 kDa อย่างไรก็ตามปลาทั้ง 3 ชนิดนี้ต่างก็มีเอนไซม์ทริปซินที่มีมวลโมเลกุล 22 kDa ซึ่งอาจเป็นเพราะปลาทั้ง 3 ชนิดนี้มีพัฒนาการทางสายพันธุ์ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็

ตามแม้แต่ในปลาชนิดเดียวกันก็ยังอาจมีความแตกต่างในด้านสายพันธุ์ที่ทำให้การเจริญเติบโตนั้นแตกต่างกันได้โดย Torriissen et al. (1994) ได้รายงานถึงความแตกต่างในการย่อยและการดูดซึมโปรตีนของ *Salmon salar* ที่มีไอโซไซม์ทริปซินต่างกัน โดยเปรียบเทียบระหว่างปลาแซลมอนที่มีและไม่มีไอโซไซม์ทริปซิน *TRP-2 มิลลิลิตร92* พบว่าปลาที่มีเอนไซม์ *TRP-2 มิลลิลิตร92* จะสามารถดูดซึมโปรตีนในอาหารได้ดีกว่า โดยพบกรดอะมิโนอิสระ ในกล้ามเนื้อขาวและพลาสมามากกว่า นอกจากนั้นยังสามารถย่อยสารอาหารได้เร็วกว่าอีกด้วย โดยกิจกรรมของทริปซินในลำไส้เล็กจะมีการตอบสนองต่อการกินอาหารมากกว่า และทริปซินใน Pyloric Caea จะมีกิจกรรมสูงในปลาที่อยู่ในวัยเจริญเจริญเติบโต นอกจากปัจจัยทางด้านสายพันธุ์แล้ว ส่วนประกอบและกรรมวิธีในการผลิตอาหารที่เหมาะสมก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ เช่น เมื่อให้อาหารที่มีถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อนแล้วเป็นส่วนประกอบในอาหาร จะทำให้ปลาแซลมอน *Oncorhynchus kisutch* สามารถย่อยสารอาหารได้ดีกว่า (Haard et al., 1996) นอกจากปลาในกลุ่มปลาแซลมอนแล้ว ปลาคอด *Gadus morhua* ก็เป็นปลาอีกชนิดหนึ่งที่มีการประมงกันอย่างแพร่หลาย ซึ่ง Raae and Walther (1989) พบว่าเอนไซม์ไคโมทริปซินมีมวลโมเลกุลประมาณ 27 kDa ขณะที่ทริปซินมี 3 ไอโซไซม์ คือ 27, 45 และ 70 kDa อย่างไรก็ตามไอโซไซม์ที่มีปริมาณมากที่สุดคือชนิดแรก (27 kDa) ในปลากะตัก *Engraulis japonica* พบว่า ทริปซิน มีมวลโมเลกุล 25.6 kDa ขณะที่ไคโมทริปซินมี 26.1 kDa (Heu et al., 1995) ใน Pyloric Caeca ของปลากระบอก *Mugil cephalus* มีทริปซินในสารสกัดโปรตีนหยาบขนาดมวลโมเลกุลประมาณ 24 kDa (Guizani et al., 1992) ในปลาขั้วโลกใต้ *Paranotothenia magellanica* และเทราท์ *Salmo gairdner* ตรวจพบทริปซินใน Pyloric Caeca มีมวลโมเลกุล 24.6 และ 25.1 kDa ส่วนปลาคาเพลิน *Mallotus villosus* พบทริปซิน 2 ไอโซไซม์ในทางเดินอาหารซึ่งมีมวลโมเลกุลประมาณ 28 kDa เนื่องจากไอโซไซม์ทั้งสองชนิดนี้มีโครงสร้างคล้ายกันมากและมีค่ากิจกรรมจำเพาะใกล้เคียงกันจึงคาดว่าไอโซไซม์ทั้ง 2 นี้เป็นทริปซินที่สร้างมาจากสารตั้งต้นชนิดเดียวกัน (Knut & Jan, 1982)

ตารางที่ 8 กิจกรรมของเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซิน และค่ามวลโมเลกุลของเอนไซม์ที่พบในสัตว์น้ำต่าง ๆ

ชนิดสัตว์/ ผู้ทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์						หน่วย/ mg. Protein	มวลโมเลกุล (Molecula Weight: kDa)
	อวัยวะที่ศึกษา	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เอนไซม์	สับสเตรท	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ เพศผู้	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ เพศเมีย		
1. มอลัสก์								
1.1 หอยหวาน	- ต่อมย่อยอาหาร	20	Trypsin	BAPNA	35.45	4.78	U_J	33.08 , 28.01
Babylonia areolata		40			69.43	13.84	U_J	
(จากการศึกษานี้)		60			99.45	26.96	U_J	
		20	Chymotrypsin	SAPNA	10.76	18.29	U_J	42.15
		40			23.87	21.32	U_J	
		60			31.73	40.12	U_J	
	- ทางเดินอาหาร	20	Trypsin	BAPNA	52.11	32.01	U_J	26.15 , 20.06
		40			75.84	50.18	U_J	
		60			111.64	78.09	U_J	
		20	Chymotrypsin	SAPNA	14.00	7.52	U_J	19.37 , 14.22
		40			22.27	6.01	U_J	
		60			32.26	33.39	U_J	

หมายเหตุ เมื่อ U_A คือ ปริมาณเอนไซม์ที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่ม 0.001/ นาที U_B คือ ปริมาณเอนไซม์ที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่ม 1 หน่วย/ 10 นาที

U_C คือ ปริมาณเอนไซม์ที่ hydrolyze สับสเตรท 1 ไมโครโมล/ นาที U_D คือ ปริมาณเอนไซม์ (ไมโครโมล)

U_E คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไป/ นาที U_F คือ ปริมาณสับสเตรทที่ถูก Hydrolyze

U_I คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น (ไมโครโมล)/ นาที U_J คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น (ไมโครโมล)/ ชั่วโมง

N คือ ไม่มีหรือไม่ได้แสดงผลการทดลอง (* คำย่อของสับสเตรทต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์โปรดดูในภาคผนวก 5)

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดสัตว์/ ผู้ทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์					หน่วย/ mg. Protein	มวลโมเลกุล (Molecula Weight: kDa)
	อวัยวะที่ศึกษา	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เอนไซม์	สับสเตรท	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์		
1.2 Red Abalone	- Lumen of Intestine	25	Chymotrypsin	SAPNA	5	U_C	28
Haliotis rufescens							
(Groppe & Morse,1993)							
1.3 Blue Abalone	- ตับ	37	Trypsin	TAME	5.81, 4.15	U_B	32, 29.5
Haliotis fulgens				BAPNA	3.08, 2.8	U_B	
(Hernandez -Santoyo, 1998)			Chymotrypsin	ATEE	7.23	U_B	28.1
1.4 หอย	- ต่อมย่อยอาหาร	25	Chymotrypsin	BTEE	8	U_A	N
Chlamys hericus							
(Reid & Rauchert, 1970)	- น้ำย่อย	25	Trypsin	TAME	104	U_A	N
				BTEE	232	U_A	N
1.5 หอยพัด	- ต่อมย่อยอาหาร	อุณหภูมิที่เหมาะสม	Chymotrypsin				32
Pecten maximus		คือ 45-55		-	-	-	
(Chevalier et al., 1995							
1.6 ทากเปลือย	- ต่อมย่อยอาหาร	25	Chymotrypsin	BTEE	3,273.8 และ1,590	U_A	N
Hermissenda crassicornis							
(Cockburn & Reid, 1979							

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดสัตว์/ ผู้ทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์					หน่วย/ mg. Protein	มวลโมเลกุล (Molecula Weight: kDa)
	อวัยวะที่ศึกษา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เอนไซม์	สับสเตรท	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์		
1.7 ทากเปลือย	- ต่อมย่อยอาหาร	25	Chymotrypsin	BTEE	2,352.9	U_A	N
Aeolidia papillosa							
(Cockburn & Reid, 1979)	- Gastric Juice	25	Trypsin	TAME	1,063.8	U_A	N
1.8 หมึก	- Whole body	25	Trypsin	L-ZAPA	14.89	U_D	N
Octopus vulgaris			Chymotrypsin	SAAPPNA	39.57	U_D	N
(Villanueva et al., 2001)							
2. Crustacean	- ตับ						
2.1 red shrimp		25	Trypsin	BAPNA	2.4	U_E	17.4, 19.1, 20
Pleoticus muelleri		25	Chymotrypsin	SAPNA	3.7	U_E	21.9
(Gimenes et al., 2001)							
2.2 กุ้ง	- ตับ	25	Trypsin	TAME	9.1	U_F	25
Peneaus japonicus							
(Galgani et al., 1984)							
2.3 กุ้ง	- ตับ	N	Chymotrypsin	SAPPA	36 และ 7	U_I	25
Peneaus vanamei							
(Wormhoudt et al., 1992)							

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดสัตว์/ ผู้ทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์					หน่วย/ mg. Protein	มวลโมเลกุล (Molecula Weight: kDa)
	อวัยวะที่ศึกษา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เอนไซม์	สับสเตรท	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์		
2.4 กุ้ง	-ตับ	25	Try				28.9, 32 และ 37.7
Peneaus vanamei		25	Chy	-	-	-	
(Lemos et al., 2000)							
2.5 กุ้ง	- ทางเดินอาหาร	N	Trypsin	N	N	N	14.6, 16.4, 17.5 และ 19.5
P. monodon							
(Jiang et al., 1991)							
2.6 กุ้ง	- ต่อมย่อยอาหาร	25	Trypsin	TAME	N	N	14.6, 16.4, 17.5 และ 19.5
Farfentepeneaus paulensis	(Adult)			BAPNA	N	N	28.9, 32 และ 37.7
(Lemos et al., 2000)			Chymotrypsin	SAPFNA	N	N	
2.7 Crayfish	- ตับ	25	Trypsin	BAPA	157.1	U_G	33.6
Procambarus clarkii							
(Guizani *et al.*,, 1992)							
2.8 European lobster	- ตับ	N	Chymotrypsin	N	N	N	53.7 และ 18.2
Homarus gammarus							
(Glass & Stark, 1994)							

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดสัตว์/ ผู้ทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์					หน่วย/ mg. Protein	มวลโมเลกุล (Molecula Weight: kDa)
	อวัยวะที่ศึกษา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เอนไซม์	สับสเตรท	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์		
2.9 ปู *Plagusia chabrus* (Johnson D. & Freeman J., 2005)	- ต่อมย่อยอาหาร	30	Trypsin	BAPNA	0.73	U_I	N
3. Fish							
3.1 เทราท์สายพันธุ์ Mt.Lassen (Dimes et al., 1994)	-Pyloric Caeca	25	Trypsin	-	-	-	18-79
3.2 Chinook Salmon (Dimes et al., 1994)	-Pyloric Caeca	25	Trypsin	-	-	-	18-72
3.3 Coho Salmon (Dimes et al., 1994)	-Pyloric Caeca	25	Trypsin	-	-	-	18-72
3.4 Cod *Gadus morhua* (Arnt & Bernt, 1989)	-Pyloric Caeca	23	Trypsin	BAEE	1.04	U_F	27
			Chymotrypsin	BTEE	2.76	U_F	27, 45 และ 70

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดสัตว์/ ผู้ทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์					หน่วย/ mg. Protein	มวลโมเลกุล (Molecula Weight: kDa)
	อวัยวะที่ศึกษา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เอนไซม์	สับสเตรท	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์		
3.5 Anchovy	N	n	trypsin	BAPNA	0.05	N	25.6
Engraulis japonica		n	chymotrypsin	BTEE	0.82	N	20.1
(Heu et al., 1995)							
3.6 Mullet	- Pyloric Caeca	25	Trypsin				24
Mugil cephalus				-	-	-	
(Guizani et al., 1991)							
3.7 Antarctic Fish	- Pyloric Caeca	20	Trypsin				25
Paranotothenia							
magellanica				-	-	-	
(Genicot et al., 1988)							
3.8 เทราท์	- Pyloric Caeca	20	Trypsin				24.6
Salmo gairdner				-	-	-	
(Genicot et al., 1988)							
3.9 Arctic Fish Capelin	- Gut	30	Trypsin	BAPNA	0.19	U_j	28
Mallotus villosus							
(Hjelmeland & Raa, 1982)							

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิดสัตว์/ ผู้ทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์					หน่วย/ mg. Protein	มวลโมเลกุล (Molecula Weight: kDa)
	อวัยวะที่ศึกษา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เอนไซม์	สับสเตรท	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์		
3.10 Coho Salmon *Oncorhynchus kisutch* (Haard et al., 1996)	- Pyloric Caeca	25	Trypsin	-	-	-	N

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สรุปผลการวิจัย

1. อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของทริปซินในหลอดทดลองในหอยหวานจากการศึกษานี้ คือ 60 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิดังกล่าวประสิทธิภาพของเอนไซม์ทริปซินในต่อมย่อยอาหาร ของเพศผู้มีค่าสูงกว่าเพศเมีย (99.45 และ 26.96 $U_j mg.\ prot^{-1}$ สำหรับเพศผู้และเพศเมีย ตามลำดับ) และมีทริปซินสองไอโซไซม์ คือ 33.08 และ 28.01 kDa ซึ่งการที่ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ในเพศผู้ มีค่าสูงกว่านั้น อาจเป็นเพราะมีไอโซไซม์ขนาด 33.08 อยู่ด้วย ส่วนกิจกรรมของทริปซินใน ทางเดินอาหาร ที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่า 111.67 และ 78.09 $U_j mg.\ prot^{-1}$ สำหรับเพศผู้และเพศเมียตามลำดับ ซึ่งมีสองไอโซไซม์ คือ 26.15 และ 20.06 kDa อย่างไรก็ตามช่วงของกิจกรรมเอนไซม์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของทั้งสองเพศนั้นยังอยู่ในช่วงเดียวกัน

2. อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของไคโมทริปซินในหอยหวานจากการศึกษานี้ คือ 60 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิดังกล่าว ประสิทธิภาพของเอนไซม์ไคโมทริปซินใน ต่อมย่อยอาหาร มีค่า 31.73 และ 40.12 $U_j mg.\ prot^{-1}$ สำหรับเพศผู้และเพศเมีย ตามลำดับ โดยมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่างทั้งสองเพศเท่ากัน คือ 42.15 kDa ส่วนกิจกรรมของไคโมทริปซินในทางเดินอาหาร ที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่า 32.26 และ 33.39 $U_j mg.\ prot^{-1}$ สำหรับเพศผู้และเพศเมียตามลำดับ โดยประสิทธิภาพของเอนไซม์ไคโมทริปซินจากทั้งสองส่วนนั้นไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาโดยดัดแปลงสูตรอาหารสำหรับสัตว์กินเนื้อ เช่น ปู หรือ กุ้ง มาใช้เลี้ยงหอยหวานแล้ววัดประสิทธิภาพของเอนไซม์ และประสิทธิภาพในการย่อยอาหารสำเร็จรูปของสารสกัดเอนไซม์ในหลอดทดลอง

2. ควรทำการศึกษาประสิทธิภาพของเอนไซม์ในแต่ละช่วงอายุของหอยหวาน เช่น ช่วงก่อนเจริญพันธุ์และช่วงเจริญพันธุ์แล้ว

3. ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในหัวข้อที่เกี่ยวกับเอนไซม์ชนิดอื่นๆในระบบย่อยอาหาร เช่น อะไมเลส และไลเปส เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University