บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพของกากมะเขือเทศ

1.1 ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของกากมะเขือเทศ 3 ชนิด ได้แก่ กากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ พบว่า กากมะเขือเทศสดจากโรงงานมีร้อยละความชื้น 79.05 และกากมะเขือเทศที่ทำเป็นผงแห้งมีร้อยละความชื้น 6.89-7.42 และพบว่าในกากมะเขือเทศทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณไขมัน โปรตีน และเถ้า แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และยังแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างกากมะเขือเทศที่มาจากแหล่งที่แตกต่างกัน คือ กากมะเขือเทศที่มาจากโรงงานและห้องปฏิบัติการไม่มีผลต่อปริมาณไขมัน โปรตีน และเถ้า ดังตารางที่ 7 ซึ่งมีปริมาณไขมัน โปรตีน และเถ้า เฉลี่ยเป็นร้อยละของวัตถุแห้ง (% dw) 2.81, 15.51 และ 4.76 ซึ่งค่าปริมาณไขมันที่ได้ใกล้เคียงกับปริมาณไขมันในกากมะเขือเทศเหลือทิ้งในงานวิจัยของ Claye and others (1996) (3.27 % dw) และ Alvarado and others (2001) รายงานปริมาณไขมัน โปรตีน และเถ้า ในกากมะเขือเทศเหลือทิ้งมีปริมาณร้อยละ 10.75, 19.65 และ 4.05 ตามลำดับ จากผลการทดลอง (ตารางที่ 7) จะเห็นว่าปริมาณเถ้ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณไขมันและโปรตีนในกากมะเขือเทศจากการทดลองนี้ต่ำกว่าค่าการอ้างอิงจากกากมะเขือเทศเหลือทิ้งของ Alvarado and others (2001) ทั้งนี้อาจเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น สายพันธุ์ พื้นที่เพาะปลูก และฤดูกาล เป็นต้น (Shi & Maguer 2001) นอกจากนี้ Knoblich and others (2005) รายงานว่าเมล็ดของมะเขือเทศซึ่งเป็นส่วนประกอบในกากมะเขือเทศมีปริมาณไขมันสูงกว่าเปลือกมะเขือเทศ (6.37 และ 3.22 % dw ตามลำดับ) และเมล็ดมะเขือเทศยังมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าอีกด้วย (20.23 และ 10.08 % dw ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่ากากมะเขือเทศที่นำมาวิเคราะห์ในการทดลองนี้มีทั้งส่วนของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ ซึ่งสัดส่วนของปริมาณเมล็ดและเปลือกมะเขือเทศอาจเป็นสาเหตุให้ปริมาณไขมันและโปรตีนในกากมะเขือเทศมีปริมาณแตกต่างกันได้

ตารางที่ 7 ปริมาณร้อยละความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า ในกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ

ชนิดกากมะเขือเทศ	% ความชื้น	ไขมัน (% dw)^{ns}	โปรตีน (% dw)^{ns}	เถ้า (% dw)^{ns}
กากมะเขือเทศสดจากโรงงาน	79.05 ± 1.83^{a}	2.83 ± 0.27	16.52 ± 0.93	4.63 ± 0.26
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกาก โรงงาน	6.89 ± 0.24^{b}	2.87 ± 0.21	15.20 ± 1.13	4.77 ± 0.09
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียม ในห้องปฏิบัติการ	7.42 ± 0.48^{b}	2.72 ± 0.25	14.82 ± 0.98	4.87 ± 0.06

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, % dw (dry weight) หมายถึง ปริมาณร้อยละของน้ำหนักแห้ง

1.2 ปริมาณใยอาหาร

ผลการศึกษาปริมาณใยอาหารในกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 8 พบว่า ปริมาณใยอาหารชนิดละลายน้ำ (soluble dietary fiber) และใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในกากมะเขือเทศ 3 ชนิด โดยมีค่าร้อยละใยอาหารชนิดละลายน้ำเท่ากับ 8.87, 11.04 และ 9.75 (% dw) ตามลำดับ และร้อยละใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำเท่ากับ 55.10, 52.61 และ 53.53(% dw) ตามลำดับ ส่วนปริมาณใยอาหารรวม (Total dietary fiber) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าร้อยละใยอาหารรวมในกากมะเขือเทศทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ 63.28-63.97 (% dw) มีรายงานว่าการให้ความร้อนสามารถเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างใยอาหารชนิดละลายน้ำและใยอาหารไม่ละลายน้ำได้ (Elleuch and others 2010) ซึ่งกระบวนการทำแห้งและการบดที่ใช้ในการผลิตผงมะเขือเทศอาจจะมีผลต่อใยอาหารชนิดละลายน้ำและใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ โดยอาจทำลายการรวมตัวกันของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณใยอาหารรวมไม่แตกต่างกัน และค่าที่ได้จากงานวิจัยนี้ใกล้เคียงกับงานวิจัย Claye and others (1995) มีปริมาณใยอาหารละลายน้ำ ใยอาหารไม่ละลายน้ำ และใยอาหารรวมในกากมะเขือเทศเหลือทิ้งเท่ากับ 8.3, 57.6 และ 65.9 (% dw) ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ปริมาณใยอาหารชนิดละลายน้ำ (Soluble fiber) ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ (Insoluble fiber) และใยอาหารรวม (Total dietary fiber) ในกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ

ชนิดกากมะเขือเทศ	ใยอาหารละลายน้ำ (% dw)	ใยอาหารไม่ละลายน้ำ (% dw)	ใยอาหารรวม (% dw)
กากมะเขือเทศสดจากโรงงาน	8.87 ± 0.44^{b}	55.10 ± 0.91^{a}	63.97 ± 1.29
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน	11.04 ± 1.51^{a}	52.61 ± 0.91^{b}	63.64 ± 0.78
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	9.75 ± 0.68^{ab}	53.53 ± 0.80^{b}	63.28 ± 1.17

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, % dw (dry weight) หมายถึง ปริมาณร้อยละของน้ำหนักแห้ง

1.3 ค่าสี

ค่าสีในกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ ได้แก่ กากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ แสดงในตารางที่ 9 มีค่าความสว่าง (L*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (39.07, 47.49 และ 50.35 ตามลำดับ) และพบว่าผงมะเขือเทศจากโรงงานที่ผ่านการอบแห้งมีค่าความสว่างสูงกว่ากากมะเขือเทศสด อาจเนื่องมาจากกระบวนการทำแห้งและการบดส่งผลก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีอุณหภูมิและแสงเป็นปัจจัยที่ช่วยก่อให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว อาจเป็นสาเหตุให้สารให้สีลดลงทำให้ค่าความสว่างซึ่งเป็นค่ากำหนดสีขาวของวัตถุเพิ่มขึ้น (L*=100 แสดงว่าวัตถุมีสีขาวสมบูรณ์; perfect white) และกระบวนการบดผงมะเขือเทศอบแห้งทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลงทำให้เกิดการสะท้อนของแสงได้มากขึ้นก็อาจส่งผลต่อค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ผาณิต รุจิรพิสิฐ (2551) ซึ่งศึกษาแป้งฟลาวร์จากแห้วจีนที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน 3 ขนาด คือ 60 80 และ 100 เมช โดยพบว่าแป้งฟลาวร์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ มีค่าความสว่างต่ำกว่าอนุภาคขนาดเล็ก ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการมีค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงที่สุด (13.18) ($p \leq 0.05$) ส่วนกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน มีค่าความเป็นสีแดง 8.42 และ 9.20 ตามลำดับ ($p > 0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่า กากมะเขือเทศชนิดต่างๆ มีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (12.10, 19.82 และ 21.11 ตามลำดับ) ซึ่งความ

แตกต่างของค่าสีแดงอาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณไลโคปีนซึ่งเป็นรงควัตถุให้สีแดงในมะเขือเทศ (Stahl และ Sies 1996) ได้อธิบายไว้ในส่วนการทดลองค่าปริมาณไลโคปีน (1.4) ส่วนค่าความเป็นสีเหลืองแสดงถึงปริมาณสารแคโรทีนซึ่งเป็นรงควัตถุสีเหลืองในมะเขือเทศ (Johjima and Ogura 1983) และจากผลการวิเคราะห์โดยใช้ค่ามุมเฉดสี (hue angle หรือ h*) พบว่าผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการและกากมะเขือเทศสดจากโรงงานมีค่ามุมเฉดสีต่ำกว่าผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน หมายถึง วัตถุมีสีออกเป็นเฉดสีส้มแดงมากกว่า (h* = 0-45 องศา แสดงว่าวัตถุมีสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง, h* = 45-90 องศา แสดงว่าวัตถุมีส้มแดงถึงสีเหลือง) ซึ่งค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าสีแดง (*a) โดยเฉพาะในผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการซึ่งมีค่ามุมเฉดสีต่ำที่สุด (58.01) โดยมีค่าความเป็นสีแดงสูงสุด (*a) ส่วนกากมะเขือเทศจากโรงงานที่ผ่านการอบแห้งมีค่ามุมเฉดสีสูงที่สุดและใกล้เคียง 90 องศา มากที่สุด แสดงถึงค่าความเป็นเฉดสีเหลืองสูงซึ่งมีแนวโน้มจะเป็นไปได้เมื่อเทียบกับค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ที่วัดได้

ตารางที่ 9 ค่าสีในกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ

ชนิดกากมะเขือเทศ	ความสว่าง (L*)	ความเป็นสีแดง (a*)	ความเป็นสีเหลือง (b*)	ค่ามุมเฉดสี (h*)
กากมะเขือเทศสดจากโรงงาน	39.07 ± 0.90^{c}	8.42 ± 1.43^{b}	12.10 ± 1.23^{c}	55.28 ± 3.18^{b}
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน	47.49 ± 0.39^{b}	9.20 ± 0.49^{b}	19.82 ± 0.82^{b}	65.12 ± 0.54^{a}
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	50.35 ± 0.75^{a}	13.18 ± 0.29^{a}	21.11 ± 0.48^{a}	58.01 ± 0.55^{b}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.4 ปริมาณไลโคปีน

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณไลโคปีนในกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสกัดด้วยสารทำละลายอินทรีย์เอทานอลต่อเฮกเซน ในอัตราส่วน 4:3 โดยปริมาตร และวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (ดัดแปลงตามวิธีของ Taungbodhitham and others 1998) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการมีปริมาณสูงที่สุด (32.12 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือ ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน (20.77 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง) และกากมะเขือเทศสดจากโรงงานมีปริมาณไลโคปีนน้อยที่สุด (18.23 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง) โดยปริมาณไลโคปีนในผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และกากมะเขือเทศสดจากโรงงานไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 10) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับคุณสมบัติค่าความเป็นสีแดง (a*) นั่นคือผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ มีค่าความเป็นสีแดงสูงที่สุด (13.18) ส่วนกากมะเขือเทศอีก 2 ชนิดให้ค่าความเป็นสีแดงไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (9.20 และ 8.42 ตามลำดับ) สีแดงในมะเขือเทศนั้นมาจากสารไลโคปีน ซึ่งเป็นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีสีส้มแดง (Stahl และ Sies 1996) ดังนั้นถ้าไลโคปีนสูง กากมะเขือเทศจะมีสีแดงเข้มขึ้น (ค่า a* สูง) ซึ่งสารไลโคปีนมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยสามารถยับยั้ง singlet oxygen และอนุมูลอิสระ (free radicals) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Stahl และ Sies 1996)

ตารางที่ 10 ปริมาณไลโคปีนในกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศจากกากโรงงานและผงมะเขือเทศจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ

ชนิดกากมะเขือเทศ	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง)
กากมะเขือเทศสดจากโรงงาน	18.23 ± 3.53^{b}
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน	20.77 ± 3.77^{b}
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	32.12 ± 1.36^{a}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. การศึกษาสภาวะการสกัดโดยใช้สารทำละลายอินทรีย์ร่วมกับเอนไซม์ต่อปริมาณไลโคปีน

2.1 การคัดเลือกเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยของเอนไซม์

การศึกษาการสกัดไลโคปีนจากผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน โดยใช้เอนไซม์ทางการค้า 2 ชนิด (Enz A และ Enz B) และศึกษาระยะเวลาในการย่อยด้วยเอนไซม์ 5 ระดับ (30, 40, 50, 60 และ 90 นาที) พบว่าชนิดเอนไซม์และเวลาในการย่อยมีผลต่อปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้ ($p \leq 0.05$) โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้นจะได้ปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากเอนไซม์ย่อยสลายเซลล์พืชที่ประกอบด้วยกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์เพคติเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส ย่อยสลายเนื้อเยื่อมะเขือเทศซึ่งส่วนใหญ่มีสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน เป็นต้น เป็นองค์ประกอบ (Lavecchia and Zuorro 2008) ทำให้ไลโคปีนที่แทรกอยู่ในเนื้อเยื่อพืชละลายออกมาได้มากขึ้น จนถึงระยะเวลาจุดหนึ่งปริมาณไลโคปีนจะเริ่มลดลง เนื่องจากเวลาที่เพิ่มขึ้นไลโคปีนมีโอกาสสัมผัสแสงและออกซิเจนมากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ไลโคปีนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sheetal and Laxmi (2007) ผลการทดลองนี้พบว่า Enz A ที่ระยะเวลาการย่อย 50 นาที และ Enz B ที่ระยะเวลาการย่อย 60 นาที ได้ไลโคปีนปริมาณสูงที่สุด 30.14 และ 29.95 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นหากพิจารณาจากระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยของเอนไซม์ให้ใช้เวลาน้อยและได้ปริมาณไลโคปีนสูงสุด พบว่า Enz A ที่ระยะเวลาการย่อย 50 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาสั้นที่สุดและได้ไลโคปีนสูงสุด (30.14 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง) และสูงกว่า Enz B ที่ระยะเวลาการย่อย 50 นาที (28.68 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง) ดังนั้นจึงได้คัดเลือก Enz A ที่ระยะเวลาการย่อย 50 นาที สำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

ตารางที่ 11 ผลของชนิดเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยด้วยเอนไซม์ต่อปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้จากผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน

ชนิดเอนไซม์	เวลาย่อย (นาที)	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง)
Enz A	30	26.35 ± 0.57^{cd}
	40	27.19 ± 0.57^{bc}
	50	30.14 ± 0.04^{a}
	60	25.40 ± 0.60^{d}
	90	22.42 ± 0.50^{e}
Enz B	30	26.99 ± 0.20^{bcd}
	40	27.39 ± 0.49^{bc}
	50	28.68 ± 1.26^{b}
	60	29.95 ± 1.04^{a}
	90	27.25 ± 1.15^{bc}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2.2 การคัดเลือกชนิดของสารทำละลายอินทรีย์ในการสกัดไลโคปีนจากกากมะเขือเทศ

ในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจการสกัดไลโคปีนเพื่อสามารถนำไปใช้บริโภคได้ จึงได้เลือกสารทำละลายอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษน้อยมาใช้ จึงได้ทำการศึกษาการสกัดไลโคปีนโดยเอนไซม์ร่วมกับสารทำละลายอินทรีย์ที่สนใจโดยทำการเปรียบเทียบสารทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิด คือ เอทานอล ไดเอทิลอีเทอร์ และเอทิลอะซีเตต ซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษน้อย (FDA 2009) และพบว่าความแตกต่างของชนิดของสารทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้สารทำละลายอินทรีย์เอทิลอะซีเตต สามารถสกัดสารไลโคปีนได้ปริมาณสูงที่สุด 52.89 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 12) ซึ่งอาศัยหลักการละลายที่เหมือนกัน (like dissolve like) โดยถ้าสารที่ต้องการสกัดมีความเป็นขั้วจะเลือกสารทำละลายที่มีความเป็นขั้วหรือสารที่ต้องการสกัดเป็นสารที่ไม่มีขั้วจะเลือกสารทำละลายที่ไม่มีขั้ว เนื่องจากไลโคปีนเป็นสารที่ละลายได้ดีในน้ำมันหรือสารทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นสารทำละลายอินทรีย์เอทิลอะซีเตตมีความเป็นขั้วต่ำ จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้สามารถสกัดไลโคปีนได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Calvo and others (2007) ใช้สารทำละลายอินทรีย์เอทานอล

และเอทิลอะซีเตต สกัดไลโคปีน เบต้าแคโรทีน ไฟโทอีน และไฟโทฟลูอีน ในเปลือกมะเขือเทศ พบว่า เอทิลอะซีเตตซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นขั้วต่ำกว่าสามารถสกัดสารไลโคปีนได้ดีกว่าเอทานอล

ตารางที่ 12 ปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้จากผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน โดยการใช้เอนไซม์ enz A และสารทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ

ชนิดสารทำละลายอินทรีย์	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง)
เอทานอล	29.14 ± 1.08^{c}
ไดเอทิลอีเทอร์	34.35 ± 0.79^{b}
เอทิลอะซีเตต	52.89 ± 0.60^{a}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2.3 ศึกษาการสกัดไลโคปีนโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับสารทำละลายอินทรีย์ในกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ

จากการทดลองพบว่า ปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้จากกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสกัดโดยใช้เอนไซม์ Enz A ร่วมกับสารทำละลายอินทรีย์เอทิลอะซีเตต มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13 การสกัดในผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการมีปริมาณไลโคปีนมากที่สุด รองลงมาคือผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ซึ่งปริมาณที่วัดจากเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ เท่ากับ 80.21, 50.32 และ 35.63 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง อีกทั้งยังได้ใช้วิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสูง วิเคราะห์ปริมาณสารไลโคปีนได้เท่ากับ 116.40, 70.50 และ 53.93 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งค่าการวัดทั้ง 2 วิธีให้ค่าแตกต่างกัน การใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) สามารถวัดได้ปริมาณมากกว่าซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rao and others (1998) ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบการวิเคราะห์ไลโคปีนโดยใช้เทคนิคสเปคโตรสโคปี (spectroscopy) และโครมาโทกราฟี-

ของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ในมะเขือเทศและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC มีระบบการแยกสารโดยใช้คอลัมน์ โดยอาศัยหลักการการกระจายตัวที่แตกต่างกันของสารในเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) และเฟสคงที่ (stationary phase) ทำให้สารแยกออกจากกันได้ ดังนั้นสารที่ต้องการวัดจึงเกิดการรบกวนจากสารอื่นน้อยกว่า และมีความว่องไว (sensitivity) ในการตรวจวัดที่ดีกว่า อีกทั้งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันในการวัดทั้ง 2 วิธีนี้ ปริมาณไลโคปีนที่วัดได้จึงแตกต่างกัน

ตารางที่ 13 ปริมาณไลโคปีนที่สกัดได้จากกากมะเขือเทศชนิดต่างๆโดยใช้ Enz A ร่วมกับเอทิลอะซีเตต

ชนิดกากมะเขือเทศ	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง)	
	สเปคโตรโฟโตมิเตอร์	HPLC
กากมะเขือเทศสดจากโรงงาน	35.63 ± 4.38^{c}	53.93 ± 4.86^{c}
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน	50.32 ± 4.41^{b}	70.50 ± 6.39^{b}
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	80.21 ± 2.90^{a}	116.40 ± 3.77^{a}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อเปรียบเทียบผลของการสกัดกับวิธีดั้งเดิมของ Taungbodhitham and others (1998) กับวิธีการใช้ Enz A ร่วมกับเอทิลอะซีเตต ดังตารางที่ 14 พบว่าวิธีการใช้ Enz A ร่วมกับสารทำละลายเอทิลอะซีเตตให้ปริมาณไลโคปีนสูงขึ้นกว่าวิธีดั้งเดิม โดยผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการให้ไลโคปีนสูงสุด คือ 80.21 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 149.72 ดังตารางที่ 14 ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lavecchia and Zuorro (2008) สกัดไลโคปีนจากเปลือกมะเขือเทศโดยใช้เอนไซม์ทางการค้าที่ประกอบด้วยกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์เพคติเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลสร่วมกับการสกัดด้วยสารทำละลายอินทรีย์เฮกเซนต่ออะซิโตนต่อเอทานอล (2:1:1 โดยปริมาตร) ได้ปริมาณ 440 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง (เพิ่มขึ้นร้อยละ 236) และ Sheetal and Laxmi (2007) ใช้เอนไซม์เซลลูเลสร่วมกับการสกัดด้วยสารทำละลายอินทรีย์ปิโตรเลียมอีเทอร์และอะซีโตน (1:1 โดยปริมาตร) สกัดไลโคปีน

จากมะเขือเทศเหลือทิ้งได้ 50-53 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง (เพิ่มขึ้นร้อยละ 45-61) ซึ่งพบว่าการสกัดร่วมกับเอนไซม์เป็นการเพิ่มผลผลิตการสกัดไลโคปีนในส่วนต่างๆ ของมะเขือเทศ การที่ผลผลิตการสกัดเพิ่มขึ้นเนื่องจากเนื้อเยื่อมะเขือเทศเป็นโครงสร้างพืชที่มีโพลีแซคคาไรด์ที่หลากหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน โดยจะพบไลโคปีนอยู่ในโครโมพลาสต์ในเนื้อเยื่อพืช (Sheetal and Laxmi 2007) ดังนั้นในการย่อยสลายโครงสร้างพืชเหล่านี้โดยใช้เอนไซม์ที่ประกอบด้วยกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์เพคติเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส ซึ่งเป็นการย่อยในสภาวะที่ไม่รุนแรง มีความจำเพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยาสูง จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด ทำให้สารทำละลายอินทรีย์สามารถแทรกซึมเข้าไปละลายเอาสารสกัดออกมาได้มากขึ้น

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้วัดปริมาณไลโคปีน 2 วิธี ได้แก่ วิธีสเปคโตรสโคปี ที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร และโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร โดยได้ทำการตรวจสอบความแตกต่างแล้วว่าการวัดการดูดกลืนของแสงที่ 475 หรือ 503 นาโนเมตร ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และการคำนวณหาปริมาณไลโคปีนโดยใช้สูตรของ Fish and others (2002) ซึ่งใช้ค่าคงที่ของการดูดกลืนแสง (ε) หรือการใช้กราฟจากสารมาตรฐานที่ทำขึ้นเองอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ค่าใกล้เคียงกัน (ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 14 ผลผลิตการสกัดไลโคปีนจากกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเอนไซม์ (Enz A)

ชนิดกากมะเขือเทศ	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง)		
	Enz A + เอทิลอะซีเตต	การสกัดด้วยวิธีดั้งเดิม (เอทานอลและเฮกเซน)	ผลผลิตเพิ่มขึ้น (%)
กากมะเขือเทศสดจากโรงงาน	35.63 ± 4.38^{c}	18.23 ± 3.53^{b}	95.45
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน	50.32 ± 4.41^{b}	20.77 ± 3.77^{b}	142.27
ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ	80.21 ± 2.90^{a}	32.12 ± 1.36^{a}	149.72

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. การศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดไลโคปีน

กากมะเขือเทศที่มีแหล่งที่มาแตกต่างกันทั้งสามชนิดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (วัดโดยวิธี ABTS และ Reducing power) และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวัดโดยวิธี ABTS และ Reducing power สูงที่สุด (17.35 และ 83.86 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ผงกากมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน (9.18 และ 69.00 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) และกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน (4.57 และ 65.92 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) (ตารางที่ 15) และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดเช่นกัน โดยมีค่า Gallic acid equivalent (GAE) 0.825 มก. กรดแกลลิก/กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผงกากมะเขือเทศอบแห้งจากโรงงานและกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน (0.640 และ 0.544 มก. กรดแกลลิก/กรัมตัวอย่าง) จากงานวิจัยของ Chang and others (2006) ซึ่งรายงานว่ามะเขือเทศอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (0.43-0.44 กรดแกลลิก/กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง) สูงกว่ามะเขือเทศสด (0.36-0.38 มก. กรดแกลลิก/กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการอบแห้งเป็นการเพิ่มการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกที่เกาะตัวกับเนื้อเยื่อมะเขือเทศ และยังรายงานว่ามะเขือเทศอบแห้งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สูงกว่ามะเขือเทศสดอีกด้วย Capanoglu and others (2008) ได้รายงานกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจากส่วนกากที่มีทั้งเมล็ดและผิวมะเขือเทศซึ่งวัดโดยวิธี ABTS แล้วได้ค่า 1.04 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าที่รายงานนั้นต่ำกว่าผลการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.57-17.35 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง โดยที่ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุด ซึ่งแนวโน้มของการต้านอนุมูลอิสระเป็นไปตามทฤษฎีว่าสารฟีนอลิกทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ (Ferreres and others 2010) และเมื่อสารฟีนอลิกสูงผลการต้านอนุมูลอิสระก็ควรจะสูงด้วย และการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากที่เตรียมในห้องปฏิบัติการสูงกว่าสารสกัดจากผงของกากจากโรงงาน นั่นอาจมีผลจากการที่มีปริมาณไลโคปีนสูงด้วย (ตารางที่ 13) เพราะไลโคปีนมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Stahl and Sies 1996) ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับปริมาณสารไลโคปีนที่มีค่ามากที่สุดในกากชนิดนี้เช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมกากมะเขือเทศในห้องปฏิบัติการใช้ระยะเวลาค่อนข้างน้อยและเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศอย่างรวดเร็วกว่า จึงทำให้มีการสัมผัสกับแสงและออกซิเจน

น้อยกว่า เป็นการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และกากที่เตรียมในห้องปฏิบัติการมีการคัดเลือกวัตถุดิบอย่างดี โดยเลือกเฉพาะมะเขือเทศที่มีผลสีแดงจัดเท่านั้น เมื่อเทียบกับกากจากการผลิตจากโรงงานที่ต้องใช้ระยะเวลาในการขนส่ง สีแดงในมะเขือเทศนั้นมาจากสารไลโคปีน (Stahl และ Sies 1996) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี

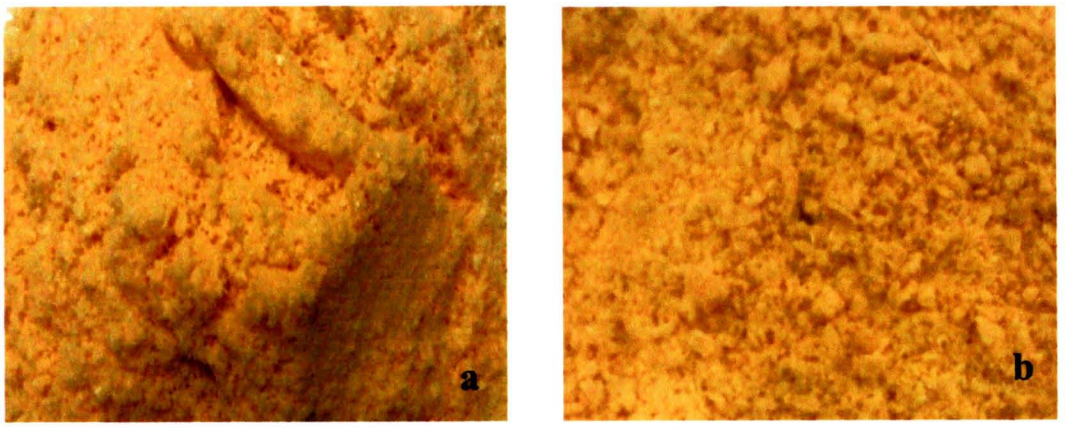
ตารางที่ 15 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากกากมะเขือเทศชนิดต่างๆ สกัดโดยใช้ Enz A ร่วมกับเอทิลอะซีเตต

ชนิดกากมะเขือเทศ	ABTS assay (ไมโครโมลโทรล็อก /กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง)	Reducing power (ไมโครโมลโทรล็อก /กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง)	Total phenolic (มก. กรดแกลลิก /กรัมตัวอย่าง โดยน้ำหนักแห้ง)
กากมะเขือเทศสด จากโรงงาน	4.57 ± 0.70^{c}	65.92 ± 4.16^{b}	0.544 ± 0.064^{c}
ผงมะเขือเทศอบแห้ง จากกากโรงงาน	9.18 ± 3.54^{b}	69.00 ± 3.57^{b}	0.640 ± 0.049^{b}
ผงมะเขือเทศอบแห้ง จากกากในห้องปฏิบัติการ	17.35 ± 2.39^{a}	83.86 ± 5.43^{a}	0.825 ± 0.022^{a}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4. การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อปริมาณไลโคปีน



ภาพที่ 12 ไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง (a) และวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (b)

ในส่วนการทดลองนี้ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งของสารสกัดไลโคปีนที่เป็นของเหลวให้อยู่ในรูปของผง โดยศึกษาการทำแห้งแบบวิธีแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งและวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า ไลโคปีนสกัดชนิดผงที่เตรียมได้มีค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) จากทั้งสองวิธีแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่า A_w 0.334 และ 0.394 (ตารางที่ 11) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าขั้นต่ำที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ (แบคทีเรียต้องการ $A_w > 0.8$ และรา > 0.7) (นิธิยา รัตนาปนนท์ 2549) ส่วนผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณไลโคปีนนั้น พบว่า วิธีการทำแห้งมีผลต่อปริมาณไลโคปีน ($p\leq0.05$) ไลโคปีนสกัดชนิดผงที่เตรียมโดยวิธีแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งมีปริมาณไลโคปีน (50.84 ไมโครกรัม/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง) สูงกว่าวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (29.65 ไมโครกรัม/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง) ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 16) ผลของความแตกต่างนั้นมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง โดยที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งนั้นใช้อุณหภูมิ -30 °ซ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้อุณหภูมิ 150 °ซ ซึ่งจากการรายงานของ Chen and others (2009) ว่าไลโคปีนมีการสูญเสียเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °ซ ขึ้นไป และจากการใช้อุณหภูมิต่ำเป็นการลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการสูญเสียเนื่องจากความร้อน (Schoug and others 2006)

จากการใช้ความร้อนในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยอาจทำให้สารสูญสลายไปได้ นอกจากการทำแห้งมีผลต่อปริมาณไลโคปีนในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ได้ ดังตารางที่ 16 แล้ว วิธีการทำแห้งยังมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ($p\leq0.05$) ดังตารางที่ 17 โดยพบว่าวิธีการทำแห้งโดยแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งให้ไลโคปีนสกัด

ชนิดผงที่มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (0.134 มก. กรดแกลลิก/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง) สูงกว่า และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวัดโดยวิธี Reducing power (4.46 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง) สูงกว่าการทำแห้งโดยวิธีพ่นฝอย (0.082 มก. กรดแกลลิก/กรัมผงไลโคปีน และ 2.33 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามผลการต้านอนุมูลอิสระวัดโดยวิธี ABTS ให้ผลที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 17 ซึ่งค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ได้นั้นสอดคล้องกับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและไลโคปีน เมื่อสารสองตัวนี้มีปริมาณสูง ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจึงมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งสรุปได้ว่าวิธีการทำแห้งทั้งสองวิธีนี้มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ได้ การทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งได้ไลโคปีนสกัดชนิดผงที่มีคุณภาพด้านการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย แต่อย่างไรก็ตามในการนำไปใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมนั้นก็ควรคำนึงถึงราคาหรือต้นทุนในการผลิตด้วย

ตารางที่ 16 ค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) และปริมาณไลโคปีนของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

ชนิดผงไลโคปีน	A_w^{ns}	ปริมาณไลโคปีน (ไมโครกรัม/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง)
ไลโคปีนสกัดชนิดผงจากการแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง	0.394 ± 0.005	50.84 ± 3.21[a]
ไลโคปีนสกัดชนิดผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย	0.334 ± 0.003	29.65 ± 2.27[b]

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ได้จากการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

ชนิดผงไลโคปีน	ABTS assay (ไมโครโมลโทรล็อก /กรัมผงไลโคปีนโดยน้ำหนักแห้ง)^{ns}	Reducing power (ไมโครโมลโทรล็อก /กรัมผงไลโคปีนโดยน้ำหนักแห้ง)	Total phenolic (มก.กรดแกลลิก /กรัมผงไลโคปีนโดยน้ำหนักแห้ง)
ไลโคปีนสกัดชนิดผงจากการแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง	0.166 ± 0.014	4.46 ± 0.32^{a}	0.134 ± 0.007^{a}
ไลโคปีนสกัดชนิดผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย	0.160 ± 0.011	2.33 ± 0.08^{b}	0.082 ± 0.015^{b}

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5. การเปลี่ยนแปลงของไลโคปีนสกัดชนิดผงและไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวขณะเก็บรักษา

5.1 การเก็บรักษาไลโคปีนสกัดชนิดผง

เมื่อนำไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งมาบรรจุในถุงพลาสติกเคลือบด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 °ซ และอุณหภูมิห้อง (30±2°ซ) เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) ($p>0.05$) แต่ปัจจัยหลัก คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษาเท่านั้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากิจกรรมของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งในการเก็บที่อุณหภูมิ 5 °ซ และ อุณหภูมิห้อง (30±2°ซ) ค่ากิจกรรมของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่อายุการเก็บรักษาที่ 3 เดือน มีผลให้ค่า A_w สูงขึ้นและแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับไลโคปีนสกัดชนิดผงที่เก็บรักษาที่ 0, 1 และ 2 เดือน ($p\leq0.05$) ดังตารางที่ 18 แต่ไลโคปีนสกัดชนิดผงที่เก็บรักษานาน 3 เดือน ยังคงมีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่าค่าที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ (แบคทีเรียต้องการ $A_w > 0.8$ และรา > 0.7) (นิธิยา รัตนาปนนท์ 2549)

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยของค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 และ 30 °ซ

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	A_w
0	0.394 ± 0.005^b
1	0.396 ± 0.005^b
2	0.397 ± 0.003^b
3	0.403 ± 0.004^a

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของไลโคปีนสกัดชนิดผงขณะการเก็บรักษาที่การเก็บ 0, 1, 2 และ 3 เดือน พบว่า ผลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไลโคปีนสกัดชนิดผงที่การเก็บรักษาที่เดือนเริ่มต้นมีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 19) ส่วนค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ไม่มีอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p > 0.05$) จึงพิจารณาผลของปัจจัยหลักแต่ละปัจจัย พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาเท่านั้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 20 แต่อุณหภูมินั้นมีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 21 และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งในการเก็บที่อุณหภูมิ 5 °ซ และอุณหภูมิห้อง (30±2°ซ) ค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้น

ตารางที่ 19 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a*) ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง

อุณหภูมิ (°ซ)	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ความเป็นสีแดง (a*)
5	0	4.70 ± 0.07^{a}
	1	4.63 ± 0.13^{a}
	2	4.41 ± 0.15^{b}
	3	4.40 ± 0.08^{b}
30	0	4.70 ± 0.07^{a}
	1	3.66 ± 0.83^{c}
	2	3.51 ± 0.12^{cd}
	3	3.49 ± 0.10^{d}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 20 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ความสว่าง (L*)
0	66.04 ± 1.56^{b}
1	67.86 ± 1.27^{a}
2	68.96 ± 0.56^{a}
3	68.74 ± 0.33^{a}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 21 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และปริมาณไลโคปีนของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง

อุณหภูมิ (°ซ)	ความเป็นสีเหลือง (b*)	ปริมาณไลโคปีน (ไมโครกรัม/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง)
5	28.39 ± 0.59^{a}	43.34 ± 4.96^{a}
30	27.85 ± 0.41^{b}	38.63 ± 7.89^{b}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 22 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคปีนในไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ปริมาณไลโคปีน (ไมโครกรัม/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง)
0	50.84 ± 2.62^{a}
1	39.39 ± 2.21^{b}
2	37.45 ± 4.34^{b}
3	36.26 ± 4.76^{b}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ส่วนผลของปริมาณไลโคปีนในการเก็บรักษาไลโคปีนสกัดชนิดผง พบว่า ผลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคปีน ($p>0.05$) แต่ปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิหรือระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคปีน ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 21 และ 22) และพบว่าเมื่ออุณหภูมิหรือระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณไลโคปีนมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากไลโคปีนสกัดชนิดผงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งปัจจัยที่กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจน แสง มีผลต่อการ

สูญเสียไลโคปีน (Sharma and Maguer 1996) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiu and others (2007) ทดลองเก็บรักษาผงไลโคปีนในขวดสีชา พบว่าปริมาณไลโคปีนมีแนวโน้มลดลง เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และ Chen and Tang (1998) ทดลองเก็บรักษาผงแคโรทีนอยด์ พบว่ามีการสูญเสีย all-*tran*-∞-carotene และ all-*tran*-ß-carotene เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยในการทดลองนี้ พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ ยังคงให้ปริมาณไลโคปีน (43.34 มิลลิกรัมต่อกรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง) ที่สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30±2 °ซ) (38.63 มิลลิกรัมต่อกรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณไลโคปีนขณะเริ่มต้นของการเก็บรักษามีปริมาณสูงสุด (50.84 มิลลิกรัมต่อกรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 22) โดยสูงกว่าผงที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 เดือน (39.39, 37.45 และ 36.26 มิลลิกรัมต่อกรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 1, 2 และ 3 เดือน มีปริมาณไลโคปีนที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า มีอิทธิพลร่วมของระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Reducing Power ของไลโคปีนสกัดชนิดผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 23) โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาทำให้ค่า Reducing Power ของผงกากมะเขือเทศลดลงด้วย โดยพบว่าเมื่อเก็บไลโคปีนสกัดชนิดผงเป็นระยะเวลา 1 เดือน ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่วัดโดยวิธี Reducing Power ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (3.93 และ 3.29 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง ที่อุณหภูมิการเก็บ 5 °ซ และ 30 °ซ ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ระยะเวลาตั้งต้น (0 เดือน, 4.46 ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมผงไลโคปีน โดยน้ำหนักแห้ง) อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ คือ 5 °ซ เป็นเวลา 1 เดือน ยังมีผลของค่านี้สูงกว่าการเก็บที่ 30 °ซ และเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นเป็น 2 และ 3 เดือน นั้นค่านี้ลดลงจาก 1 เดือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการลดลงนั้นมีอัตราสูงถึงร้อยละ 19.51-21.08 เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาที่ 1 เดือน ซึ่งมีอัตราการลดลงร้อยละ 11.88 ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าไลโคปีนสกัดชนิดผงมีความคงตัวของการต้านอนุมูลอิสระที่วัดโดยวิธี Reducing power ต่ำเมื่อเก็บรักษาเกิน 2 เดือน

ส่วนกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่มีอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p>0.05$) (ตารางที่ 24) ปัจจัยหลัก คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษาเท่านั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไลโคปีนสกัดชนิดผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทำให้การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และ

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไลโคปีนสกัดชนิดผงลดลงด้วย โดยการเก็บไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ระยะเวลาการเก็บ 2-3 เดือน ทำให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไลโคปีนสกัดชนิดผงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีค่าน้อยกว่าการเก็บรักษาที่ 1 เดือน โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีอัตราการลดลงร้อยละ 29.32 เมื่อเทียบกับอัตราการลดลงที่ระยะเวลาการเก็บ 1 เดือน ซึ่งมีการลดลงร้อยละ 4.51 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเก็บรักษาไลโคปีนสกัดชนิดผงทำให้ปริมาณสารไลโคปีน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่วัดโดยวิธี Reducing power และ ABTS ลดลงตามอายุการเก็บรักษา โดยที่ความคงตัวซึ่งวัดเป็นอัตราการลดลงของค่าเหล่านี้แตกต่างกันตามระยะเวลาของการเก็บ โดยที่ความคงตัวของไลโคปีนสกัดชนิดผงต่ำมากหรือลดลงในอัตราสูงเมื่อการเก็บรักษานานกว่า 2 เดือน

ตารางที่ 23 ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Reducing power ของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ได้จากการแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	อุณหภูมิ (°ซ)	Reducing power (ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมผงไลโคปีนโดยน้ำหนักแห้ง)
0	5	4.46 ± 0.32^{a}
	30	4.46 ± 0.32^{a}
1	5	3.93 ± 0.28^{b}
	30	3.29 ± 0.14^{cd}
2	5	3.59 ± 0.26^{c}
	30	2.99 ± 0.13^{de}
3	5	3.52 ± 0.10^{c}
	30	2.92 ± 0.14^{e}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 24 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไลโคปีนสกัดชนิดผงที่ได้จากการแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง

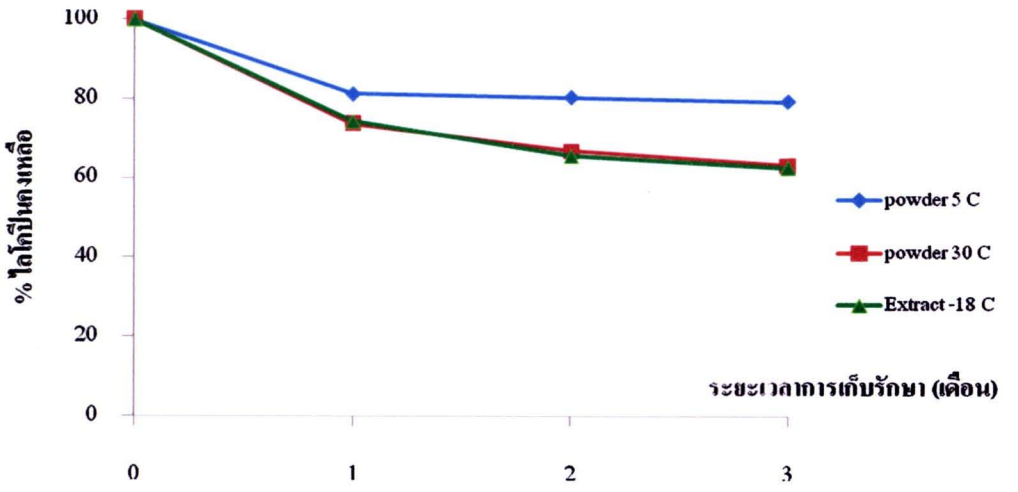
ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ABTS assay (ไมโครโมลโทรล็อก/กรัมผงไลโคปีนโดยน้ำหนักแห้ง)	Total phenolic (มก.กรดแกลลิก/กรัมผงไลโคปีนโดยน้ำหนักแห้ง)
0	0.829 ± 0.065^{a}	0.133 ± 0.007^{a}
1	0.754 ± 0.061^{b}	0.127 ± 0.008^{b}
2	0.727 ± 0.033^{b}	0.094 ± 0.005^{c}
3	0.718 ± 0.016^{b}	0.094 ± 0.005^{c}

a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

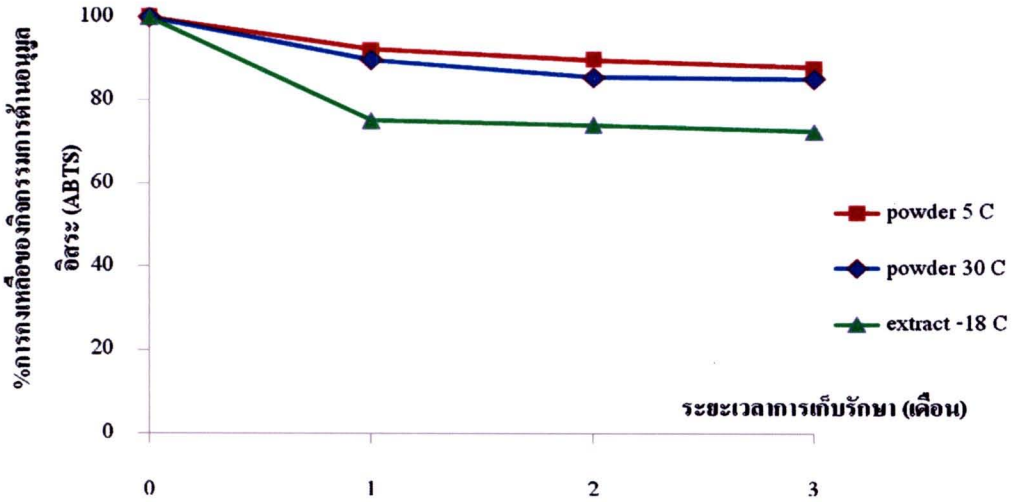
5.2 การเก็บรักษาไลโคปีนสกัดชนิดของเหลว

จากการเก็บรักษาไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวที่อุณหภูมิ -18 °ซ เป็นเวลา 3 เดือน แล้วคำนวณร้อยละคงเหลือของไลโคปีน คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นทั้งปริมาณไลโคปีน (ภาพที่ 13) คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS (ภาพที่ 14) วิธี Reducing power (ภาพที่ 15) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ภาพที่ 16) มีแนวโน้มลดลง และลดลงอย่างรวดเร็วที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน โดยมีร้อยละการคงเหลือในเดือนสุดท้ายของระยะเวลาการศึกษา คือ เดือนที่ 3 เท่ากับ ร้อยละ 62.59 72.59 59.26 และ 61.55 ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในรูปไลโคปีนสกัดชนิดผงที่สภาวะการเก็บรักษาที่ 5 °ซ และอุณหภูมิห้อง (30±2 °ซ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคปีนและการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวที่เก็บรักษาที่ -18 °ซ โดยเฉพาะไลโคปีนสกัดชนิดผงที่เก็บรักษาที่ 5 °ซ มีการเปลี่ยนแปลงหรือการลดลงของสารไลโคปีนและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดหลัง 1 เดือน ส่วนปริมาณสารฟีนอลิกในไลโคปีนสกัดชนิดผงนั้นลดลงอย่างรวดเร็วที่การเก็บรักษานาน 2 เดือน ทั้งการเก็บที่อุณหภูมิ 5 °ซ และ 30 °ซ แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บเดือนที่ 2 และ 3 แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารฟีนอลิกในไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวเก็บที่ -18 °ซ ลดลง

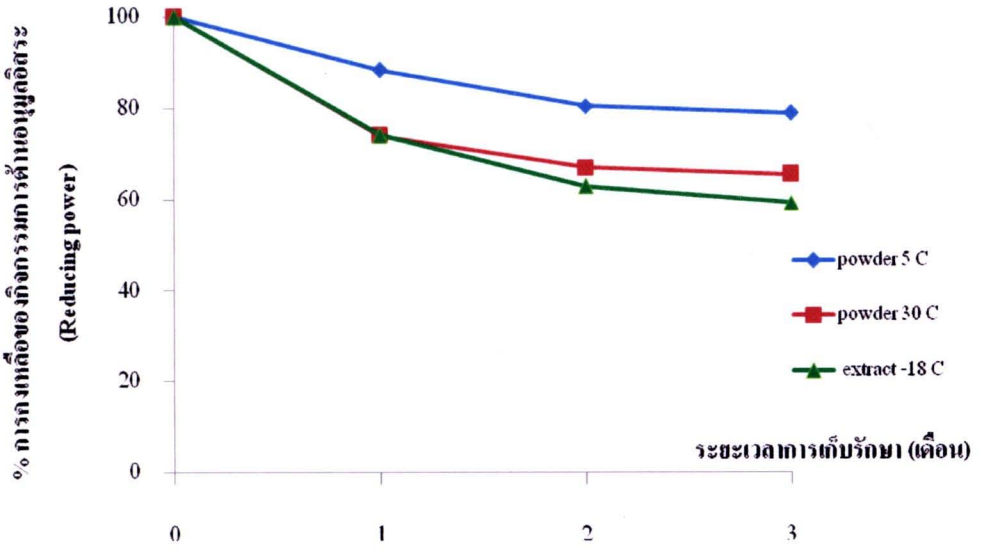
อย่างรวดเร็วตั้งแต่การเก็บรักษาในเดือนที่ 0 จนถึงเดือนที่ 3 และในเดือนที่ 3 ลดลงเหลือร้อยละ 61.55 เมื่อเทียบกับไลโคปีนสกัดชนิดผงที่เก็บรักษาที่ 5 °ซ และ 30 °ซ ซึ่งเหลือร้อยละ 72.44 และร้อยละ 68.55 ตามลำดับ



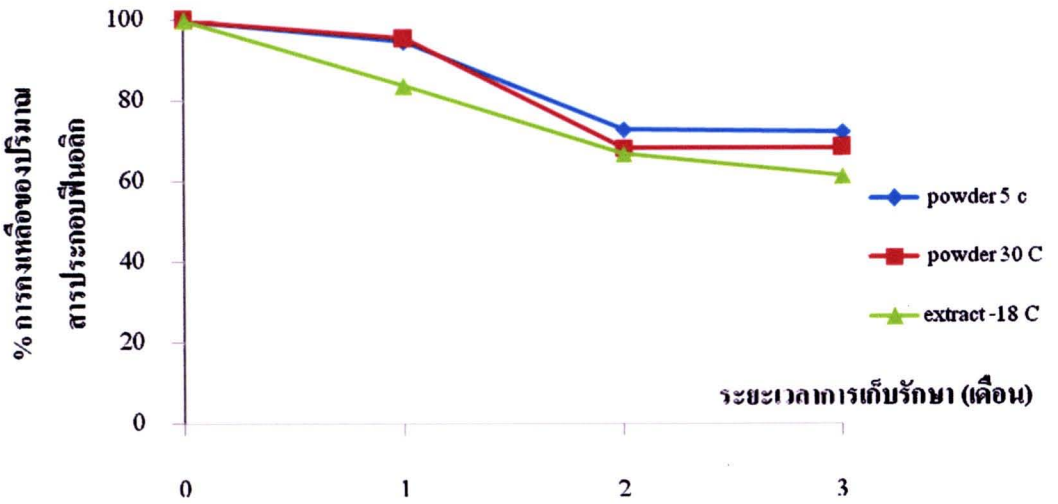
ภาพที่ 13 ปริมาณไลโคปีนที่มีอยู่ในไลโคปีนสกัดชนิดผงและไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน



ภาพที่ 14 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวัดโดยวิธี ABTS ของไลโคปีนสกัดชนิดผงและไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน



ภาพที่ 15 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวัดโดยวิธี Reducing power ของไลโคปีนสกัดชนิดผง และไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน



ภาพที่ 16 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของไลโคปีนสกัดชนิดผงและไลโคปีนสกัดชนิดของเหลวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน

6. การศึกษาการสกัดใยอาหารชนิดละลายน้ำ

จากการศึกษาการเตรียมใยอาหารชนิดละลายน้ำจากกากมะเขือเทศภายหลังจากการย่อยด้วยเอนไซม์ทางการค้า คือ Enz A ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์เพคติเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส พบว่า ชนิดของกากมะเขือเทศมีผลต่อปริมาณผลผลิต (yield) ของผงใยอาหารละลายน้ำที่เตรียมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 25) โดยผงใยอาหารละลายน้ำจากผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการและผงมะเขือเทศจากกากโรงงานให้ปริมาณผลผลิต (yield) ผงใยอาหารละลายน้ำสูงสุด (ร้อยละ 5.86 และ 5.21 ตามลำดับ) โดยให้ปริมาณผลผลิต (yield) สูงกว่ากากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ซึ่งมีปริมาณผลผลิต (yield) ร้อยละ 3.33 ผงกากมะเขือเทศอบแห้งมีปริมาณผลผลิต (yield) ของผงใยอาหารละลายน้ำมากกว่ากากมะเขือเทศสดอาจเนื่องมาจากกระบวนการทำแห้งและการบดที่ใช้ในการผลิตผงมะเขือเทศ ซึ่งการให้ความร้อนสามารถเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างใยอาหารชนิดละลายน้ำและใยอาหารไม่ละลายน้ำ (Elleuch and others 2010) โดยอาจทำลายการรวมตัวกันระหว่างคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนในกากมะเขือเทศ ทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลงและมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของใยอาหารละลายน้ำในผงที่สกัดได้ พบว่าชนิดของกากมะเขือเทศไม่มีผลต่อปริมาณใยอาหารละลายน้ำ ซึ่งผงที่เตรียมได้มีปริมาณใยอาหารชนิดละลายน้ำ (soluble dietary fiber) ร้อยละ 41.48 - 42.20 (ตารางที่ 25)

ตารางที่ 25 ผลผลิต (yield) ของผงใยอาหารละลายน้ำและปริมาณร้อยละใยอาหารละลายน้ำที่สกัดจากกากมะเขือเทศสดจากโรงงาน ผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากโรงงาน และผงมะเขือเทศอบแห้งจากกากเตรียมในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เอนไซม์ Enz A

ชนิดผงใยอาหาร	ผลผลิต ผงใยอาหารละลายน้ำ (% yield)	ปริมาณ ใยอาหารละลายน้ำ (%dw)^{ns}	ร้อยละปริมาณ ใยอาหารละลายน้ำที่สกัดได้จากกากมะเขือเทศ
กากมะเขือเทศสด จากโรงงาน	3.33 ± 0.43^{b}	41.48 ± 0.93	1.38
ผงมะเขือเทศอบแห้ง จากกากโรงงาน	5.21 ± 0.04^{a}	41.61 ± 2.59	2.17
ผงมะเขือเทศอบแห้ง จากกากเตรียมใน ห้องปฏิบัติการ	5.86 ± 0.29^{a}	42.20 ± 0.43	2.47

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, a,b...อักษรแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, % dw (dry weight) หมายถึง ปริมาณร้อยละของน้ำหนักแห้ง