

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีปริมาณสารกาบา (GABA) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของถั่วเหลือง และถั่วเขียว

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีปริมาณสารกาบา (GABA) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของถั่วเหลือง และถั่วเขียว

องค์ประกอบทางเคมี	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว
ความชื้น (ร้อยละ)	6.619±0.10	10.718±0.13
โปรตีน (ร้อยละ)	35.369±0.15	23.915±0.06
ไขมัน (ร้อยละ)	20.714±0.13	1.575± 0.01
เยื่อใย (ร้อยละ)	1.854± 0.01	0.603 ±0.00
เถ้า (ร้อยละ)	4.462±0.01	4.203± 0.12
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	30.982±0.13	58.986±0.67
สารกาบา (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	6.779±0.15	3.082±0.27
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง)	1051.340±8.89	782.836±3.68
คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ		
DPPH (ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง)	420.185±7.73	389.243±8.59
FRAP (ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง)	681.320±7.37	404.853±7.27

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง พบว่ามีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 6.619, 35.369, 20.714, 1.854, 4.462 และ 30.982 ตามลำดับ ปริมาณสารกาบาเท่ากับ 6.779 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้งสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 1051.340 ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้งคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดด้วยวิธี DPPH และ FRAPมีปริมาณเท่ากับ 420.185และ 681.320ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

สำหรับถั่วเขียวพบว่ามีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 10.718, 23.915, 1.575, 0.603, 4.203 และ 58.986 ตามลำดับ ปริมาณสารกาบาเท่ากับ 3.082 มิลลิกรัม/100 กรัมสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 782.836ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้งคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดด้วยวิธี DPPH และ FRAPมีปริมาณเท่ากับ 389.243 และ

404.853 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเทียบองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง และถั่วเขียวแล้วถั่วเหลืองจะมีองค์ประกอบทางเคมีเกือบทุกชนิดมากกว่าถั่วเขียวยกเว้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตซึ่งก็คือปริมาณแป้งเป็นหลักในถั่วเขียวจะมีมากกว่าถั่วเหลือง รวมถึงปริมาณสารกาบา สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระถั่วเหลืองจะมีมากกว่าถั่วเขียวเช่นกัน (ตารางที่ 4.1)

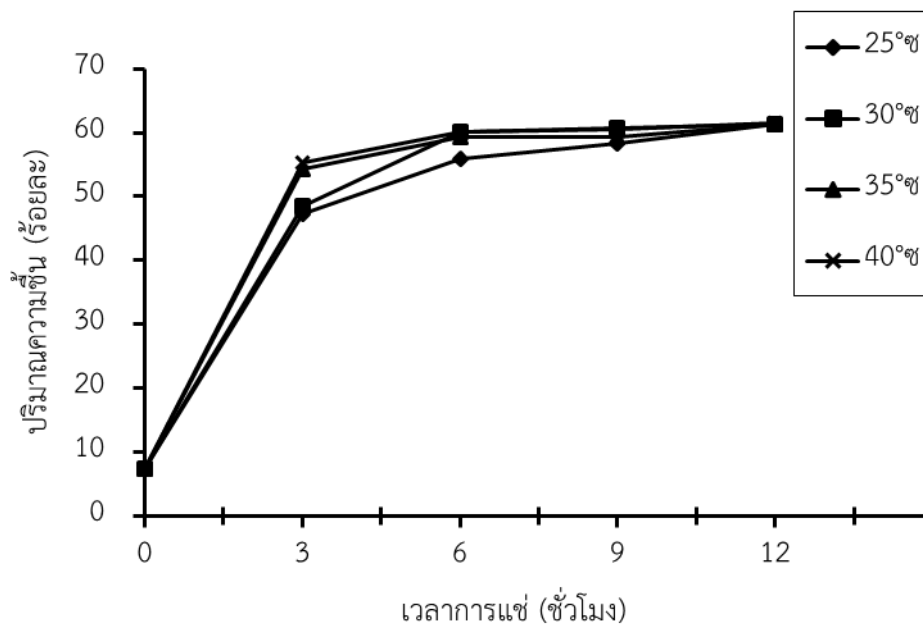
4.2 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ถั่วเหลือง และถั่วเขียวต่อปริมาณสารกาบา (GABA), สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

4.2.1 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ถั่วเหลืองและถั่วเขียวต่อปริมาณความชื้น

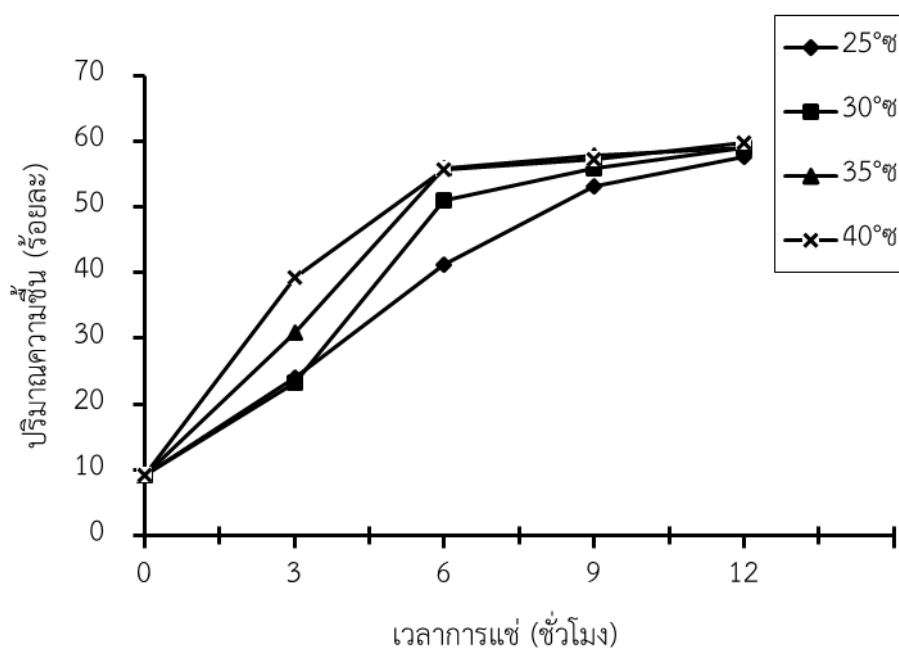
ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ถั่วเหลืองและถั่วเขียวต่อปริมาณความชื้น

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิแช่ (°C)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	
		ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว
ถั่วเมล็ดแห้ง	ถั่วเมล็ดแห้ง	7.416±0.27 ^g	9.225±0.15 ^g
3	25	47.325±0.68 ^f	23.954±4.35 ^f
	30	48.382±0.32 ^f	23.260±4.61 ^f
	35	54.283±0.68 ^e	30.892±6.31 ^e
	40	55.197±0.65 ^e	39.333±5.46 ^d
6	25	55.903±0.38 ^e	41.158±1.02 ^d
	30	60.024±1.86 ^{abcd}	51.036±0.87 ^c
	35	59.387±0.15 ^{bcd}	55.886±0.02 ^{abc}
	40	60.016±0.14 ^{abcd}	55.748±1.06 ^{abc}
9	25	58.327±0.04 ^d	53.082±1.18 ^{bc}
	30	60.677±0.72 ^{abc}	55.799±0.02 ^{abc}
	35	59.235±0.25 ^{cd}	57.810±0.45 ^{ab}
	40	60.455±0.42 ^{abc}	57.269±0.86 ^{ab}
12	25	61.306±1.14 ^{ab}	57.533±0.48 ^{ab}
	30	61.250±1.74 ^{ab}	58.894±0.38 ^{ab}
	35	61.287±0.77 ^{ab}	58.931±0.07 ^{ab}
	40	61.476±0.83 ^a	59.658±0.19 ^a

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ก



ข

ภาพที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของถั่วเหลือง (ก) และถั่วเขียว (ข) ในระหว่างการแช่ที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ

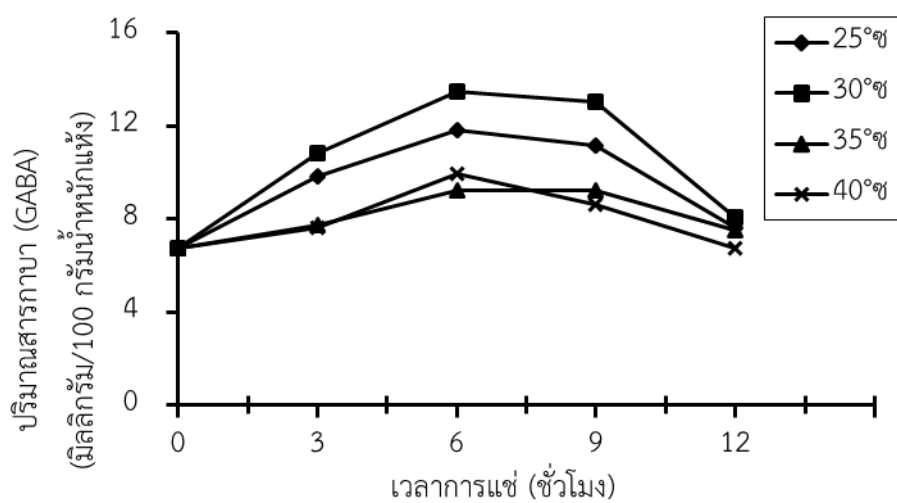
ความชื้นเป็นปัจจัยแรกที่ไม่ลดต้องการเพื่อใช้สำหรับการออกเพื่อเพิ่มความชื้นของโปรโตพลาสซึม และทำให้อาหารที่เก็บสะสมไว้ที่อยู่ในรูปโมเลกุลใหญ่ๆ ถูกสลายย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆ เพื่อขนย้ายไปยังจุดเจริญจากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 (ก) และ (ข) แสดงปริมาณความชื้นของถั่วเหลืองและถั่วเขียวเมล็ดแห้งและเมล็ดที่ผ่านการแช่น้ำอุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 40 °ซ เวลา 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการแช่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณความชื้นของถั่วทั้ง 2 ชนิด โดยปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถั่วเหลืองและถั่วเขียวมีปริมาณความชื้นก่อนแช่ร้อยละ 7.41 และ 9.22 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณความชื้นสูงสุดจะอยู่ที่การแช่ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40 °ซ จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าในช่วงแรกของการแช่เมล็ดถั่วเหลือง และถั่วเขียวจะดูดน้ำอย่างรวดเร็วโดยความชื้นจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.41 เป็น 47.325 และร้อยละ 9.225 เป็น 23.954 ตามลำดับเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 9 ชั่วโมงความชื้นจะเริ่มคงที่ซึ่งหมายถึงเมล็ดดูดน้ำเข้าภายในจนอิ่มตัวแล้ว Bewley and Black (1984) กล่าวว่า การแช่เมล็ดจะดูดซึมน้ำจนอิ่มตัวจะช่วยให้เนื้อเยื่อหุ้มเมล็ดอ่อนตัวลงทำให้รากสามารถแทงทะลุเยื่อหุ้มออกมาได้ นอกจากนี้การแช่น้ำจะทำให้กิจกรรมทางชีวเคมีในเมล็ดเกิดขึ้น และเมล็ดพืชต่างชนิดกันจะมีอัตราการดูดน้ำแตกต่างกัน และในพืชตระกูลถั่วจะมีอัตราการดูดน้ำได้เร็วกว่าเมล็ดพืชที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบ สาเหตุเนื่องจากเนื้อเยื่อในส่วนของคัพภะ (embryo) ของเมล็ดพืชตระกูลถั่วมีเนื้อเยื่อในส่วนการดูดน้ำสูง และเมื่อพิจารณาจากถั่วเหลืองและถั่วเขียว พบว่าถั่วเหลืองจะสามารถดูดซึมน้ำได้เร็วและมีความชื้นมากกว่าถั่วเขียว ซึ่งจากการสังเกตจะพบว่าถั่วเหลืองเมื่อเมล็ดได้รับความชื้นหลังการแช่ประมาณ 1 ชั่วโมงเยื่อหุ้มเริ่มอ่อนตัวลงน้ำจะซึมเข้าเมล็ดได้เร็วเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเขียวซึ่งน่าจะมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดด้วยเมล็ดถั่วเหลืองมีโปรตีนและไขมันเป็นองค์ประกอบหลักในขณะที่ถั่วเขียวมีแป้งในปริมาณสูง

4.2.2 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ถั่วเหลืองและถั่วเขียวต่อปริมาณสารกาบา

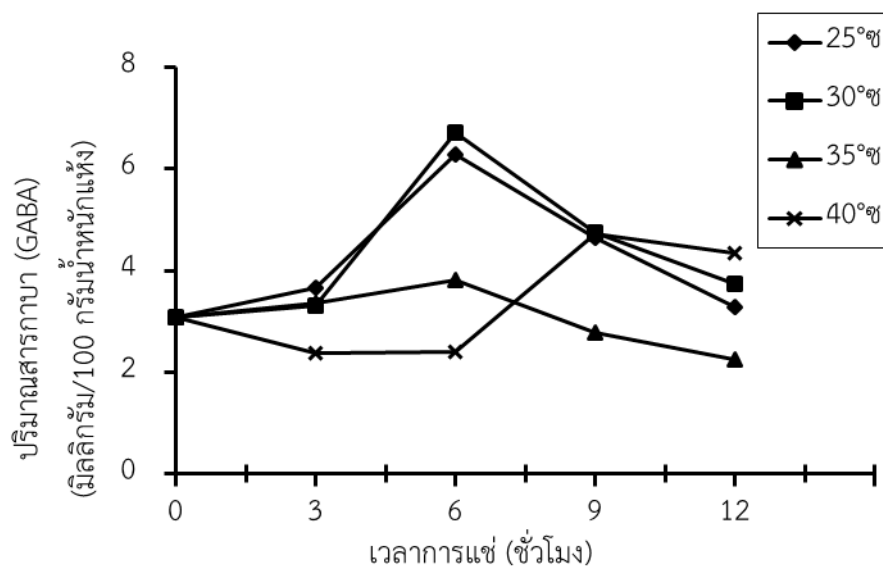
ตารางที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ถั่วเหลืองและถั่วเขียวต่อปริมาณสารกาบา

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิแช่ (°ซ)	สารกาบา (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	
		ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว
ถั่วเมล็ดแห้ง	ถั่วเมล็ดแห้ง	6.779±0.15 ^h	3.082±0.27 ^{ef}
3	25	9.843±0.27 ^{cd}	3.673±0.53 ^{cd}
	30	10.845±0.35 ^{bc}	3.297±0.14 ^{cde}
	35	7.760±1.00 ^{fgh}	3.368±0.16 ^{cde}
	40	7.631±0.42 ^{fgh}	2.386±0.16 ^{gh}
6	25	11.807±0.00 ^b	6.286±0.19 ^a
	30	13.467±0.31 ^a	6.700±0.57 ^a
	35	9.233±0.99 ^{de}	3.816±0.30 ^c
	40	9.926±0.17 ^{cd}	2.400±0.13 ^{gh}
9	25	11.179±0.36 ^b	4.655±0.45 ^b
	30	13.070±0.46 ^a	4.747±0.12 ^b
	35	9.244±0.56 ^{de}	2.769±0.29 ^{fg}
	40	8.617±0.31 ^{ef}	4.719±0.14 ^b
12	25	7.636±0.85 ^{fgh}	3.288±0.32 ^{de}
	30	8.072±1.27 ^{fg}	3.733±0.00 ^{cd}
	35	7.504±0.61 ^{fgh}	2.237±0.17 ^h
	40	6.779±0.15 ^h	4.332±0.03 ^b

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.2 ปริมาณสารกาบา (GABA) ของถั่วเหลือง (ก) และถั่วเขียว (ข) ในระหว่างการแช่ที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ

การแช่ถั่วเป็นขั้นตอนพื้นฐานก่อนการแปรรูปถั่วเหลืองและถั่วเขียว จากการทดลองแช่ถั่วเหลือง ที่อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 40 °ซ เป็นเวลา 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลา และอุณหภูมิ ในการแช่ถั่วเหลืองมีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณสารกาบาจากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.2 ก พบว่า

สภาวะการแช่ที่มีปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นสูงสุดคือการแช่ที่อุณหภูมิ 30 °ซ ระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบาเท่ากับ 13.467 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง แต่เมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มเป็น 9 และ 12 ชั่วโมง ปริมาณสารกาบาก็กลับมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับ อุณหภูมิที่สูงขึ้นคือที่ 35 และ 40 °ซ ในกรณีที่อุณหภูมิต่ำ 25 °ซ ก็มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน คือจะมีปริมาณกาบาสูงสุดเมื่อแช่นาน 6 ชั่วโมง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองเมล็ดแห้ง (7.065 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) พบว่าถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่จะมีปริมาณสารกาบาเพิ่มสูงขึ้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทุกสภาวะการแช่

ในกรณีของถั่วเขียวพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับถั่วเหลืองดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.2 (ข) โดยพบว่าสภาวะการแช่ที่มีปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นสูงสุดคือการแช่ที่อุณหภูมิ 30 °ซ ระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบาเท่ากับ 6.700 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง แต่เมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มเป็น 9 และ 12 ชั่วโมง ปริมาณสารกาบาก็กลับมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ พบว่าถั่วเขียวที่ผ่านการแช่จะมีปริมาณสารกาบาเพิ่มสูงขึ้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทุกสภาวะการแช่

การที่ระยะเวลา และอุณหภูมิในการแช่ส่งผลให้ปริมาณกาบาเพิ่มขึ้นนี้อาจเกิดมาจากการทำงานของ เอนไซม์ภายในเมล็ดเริ่มทำงานซึ่งปกติเมล็ดจะมีความชื้นต่ำมากการแช่น้ำจึงทำให้เมล็ดอยู่ในสภาวะที่เป็น water stress ซึ่งในสภาวะนี้ H^+ ไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลต (glutamate decarboxylase) หรือเอนไซม์กลูตาเมตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดกลูตามิก (glutamic acid) ไปเป็นกาบา จึงทำให้สารกาบามีปริมาณเพิ่มขึ้น (Shelp *et al.*, 1999) แต่เมื่อระยะเวลาในการแช่นานขึ้นกลับทำให้ปริมาณสารกาบาลดลง ซึ่งมีสาเหตุจากการทำงานของเอนไซม์ GABA-pyruvate transaminase มากขึ้นซึ่งเอนไซม์นี้จะเปลี่ยน GABA ไปเป็นซักซิเนต (succinate) เพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครป (Kreb's cycle) เกิดเป็นพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตทำให้การสะสมของกาบาลดลงและเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาแช่ เช่น จาก 3 เป็น 6 และ 9 ชั่วโมง อาจส่งผลให้กรดกลูตาเมตหรือกรดกลูตามิกในถั่วลดน้อยลงด้วยจึงส่งผลถึงการผลิตสารกาบาได้น้อยลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น (12 ชั่วโมง) และในกรณีของอุณหภูมิที่พบว่าอุณหภูมิ 30 °ซ ให้ปริมาณกาบาสูงสุด ซึ่งอาจเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลตด้วยเช่นกัน (Saikusa *et al.*, 1994 และ Shelp *et al.*, 1999) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ito และ Ishikawa (2004) พบว่าอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณกาบาและสารอื่นๆ การแช่ข้าวในน้ำอุณหภูมิ 30-40 °ซ ระยะเวลา 20 นาที ปริมาณสารกาบาจะเพิ่มมากขึ้น และการแช่ในน้ำเย็นจะต้องใช้เวลาในการแช่นานกว่า สอดคล้องกับ Watanabe *et al.* (2004) ที่พบว่าการแช่ข้าวกล้องในน้ำอุณหภูมิ 30 °ซ จะทำให้สารกาบามีปริมาณเพิ่มขึ้นได้เร็วที่สุด นอกจากนี้วัฒนา (2550) ยังพบว่าข้าวกล้องดอกมะลิ 105 ที่ผ่านแช่น้ำนาน 24 ชั่วโมง ที่ pH 6 อุณหภูมิ 35 °ซ มีปริมาณสารกาบาสูงสุด (16.50 มิลลิกรัม/100 กรัม) แต่เมื่อ

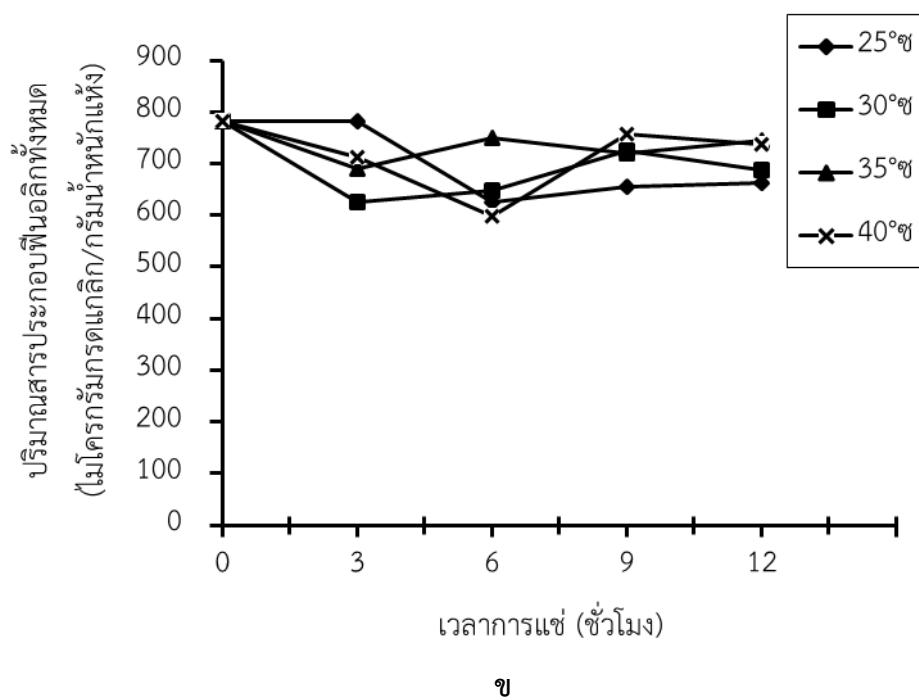
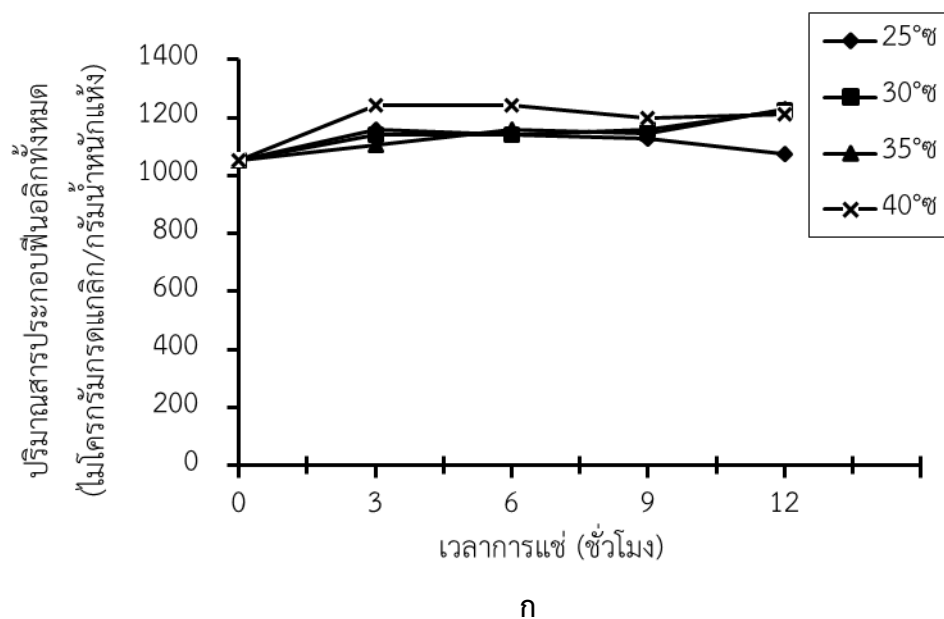
อุณหภูมิเพิ่มเป็น 45 °ซ พบว่าสารกาบามีปริมาณลดลง และอิงฟ้าและคณะ (2552) ยังพบอีกกว่าว่าเมล็ด
ธัญพืชได้แก่ ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วแดง เมื่อผ่านกระบวนการงอกโดยการแช่น้ำนาน 6
ชั่วโมงจะมีปริมาณสารกาบาเพิ่มสูงขึ้น จาก 6.32, 3.34, 6.24 และ 3.62 มิลลิกรัม/100 กรัมไปเป็น
14.50, 13.80, 9.06 และ 15.72 มิลลิกรัม/100 กรัมตามลำดับ

4.2.3 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ของถั่วเหลือง และถั่วเขียวต่อสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC)

ตารางที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ของถั่วเหลือง และถั่วเขียวต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC)

เวลาการแช่ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิการแช่ (°C)	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) (ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง)	
		ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว
ถั่วเมล็ดแห้ง	ถั่วเมล็ดแห้ง	1051.340±8.89 ^h	782.836±3.68 ^a
3	25	1156.677±15.35 ^c	587.341±6.05 ^j
	30	1142.637±5.64 ^{cd}	624.294±8.88 ⁱ
	35	1106.300±7.62 ^f	689.654±7.47 ^f
	40	1240.943±13.33 ^a	711.955±10.16 ^e
6	25	1139.288±12.38 ^{cd}	626.259±6.86 ⁱ
	30	1112.573±1.37 ^{ef}	646.936±2.45 ^h
	35	1156.977±8.42 ^c	748.764±3.74 ^{bc}
	40	1240.410±11.21 ^a	598.336±7.93 ^j
9	25	1128.190±4.09 ^{de}	654.259±13.03 ^{gh}
	30	1156.284±8.29 ^c	724.820±6.18 ^d
	35	1143.911±11.01 ^{cd}	720.042±1.42 ^{de}
	40	1197.495±7.89 ^b	757.053±1.87 ^b
12	25	1073.456±8.65 ^g	663.449±10.45 ^g
	30	1226.444±7.24 ^a	688.637±8.58 ^f
	35	1227.603±9.78 ^a	744.999±4.63 ^{bc}
	40	1209.191±10.70 ^b	736.910±3.92 ^c

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบพินอลิกทั้งหมดของถั่วเหลือง (ก) และถั่วเขียว (ข) ในระหว่างการแช่ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

จากการทดลองแช่ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 40 °ซเป็นเวลา 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลา และอุณหภูมิในการแช่ถั่วเหลืองมีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.3 (ก) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแช่เพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการแช่ของแต่ละอุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยพบว่าการแช่ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 40 °ซ นาน 3 และ 6 ชั่วโมง อุณหภูมิ 30 และ 35 °ซ นาน 12 ชั่วโมง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) มีปริมาณเท่ากับ 1240.410, 1240.913, 1226.444 และ 1227.630 ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการแช่ (1051.340 ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง) พบว่าถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

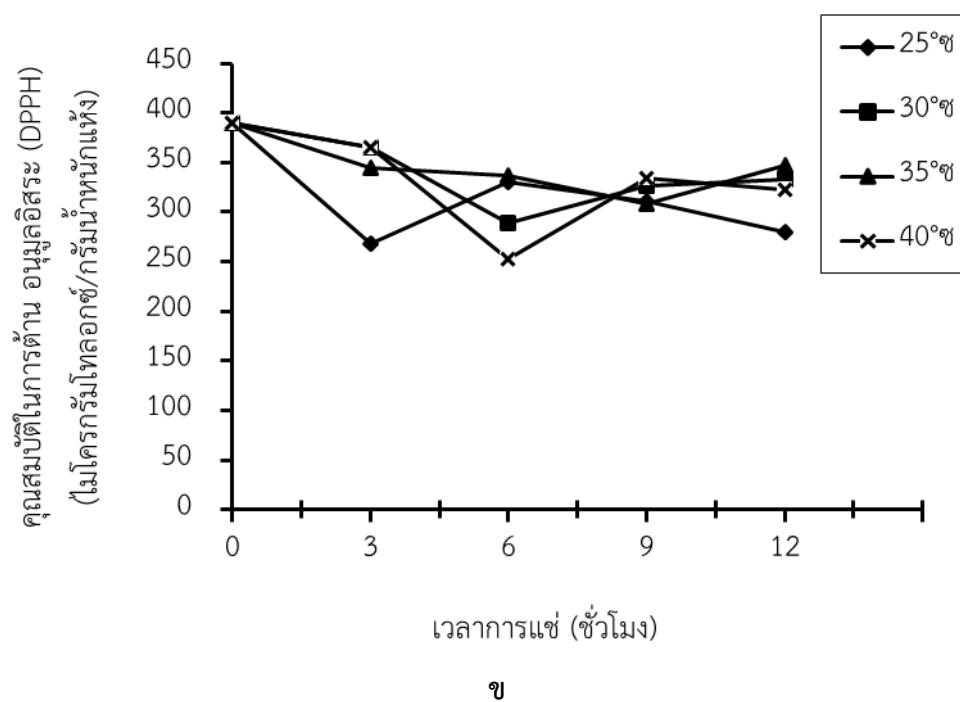
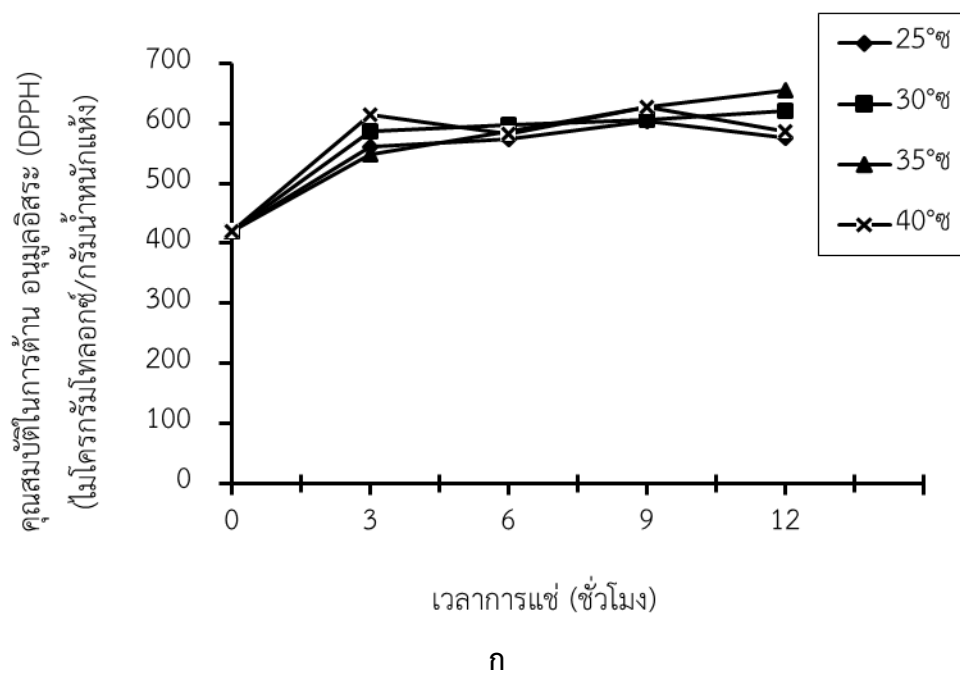
ในกรณีของถั่วเขียวหลังการแช่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเมล็ดถั่วเขียวแห้งซึ่งอาจเกิดจากการละลายของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่อยู่บริเวณเปลือกนอก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Boatenget *al.* (2008) ที่ศึกษาการแช่ถั่ว 4 ชนิดได้แก่ ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วพินโต และถั่วเหลือง ที่อุณหภูมิห้อง 25 °ซ นาน 24 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณลดลงเฉลี่ยเหลือ 5.355 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง จากถั่วเมล็ดแห้งที่มีปริมาณเฉลี่ย 6.121 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง จากการทดลองเมื่อแช่ถั่วเขียวที่อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 40 °ซ เป็นเวลา 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลา และอุณหภูมิในการแช่ถั่วเขียวมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.3 (ข) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแช่เพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการแช่ของแต่ละอุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันการแช่ถั่วเขียวที่อุณหภูมิ 35 °ซ นาน 6 ชั่วโมง อุณหภูมิ 35 และ 40 °ซ นาน 12 ชั่วโมง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) มีปริมาณเท่ากับ 748.764, 744.999 และ 736.019 ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu และ Chang (2008) ที่พบว่าการแช่ถั่ว green pea และถั่ว chick pea เมื่อแช่ในน้ำในช่วงแรกปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะลดลงและเมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะเพิ่มมากขึ้น โดยมีเหตุผลสนับสนุนว่าเมื่อแช่ถั่วทั้ง 2 ชนิด นานขึ้นทำให้ส่วนของ cotyledon อ่อนนุ่มลงและดูดซับน้ำที่มีสารประกอบฟีนอลิกละลายอยู่เข้าสู่เมล็ดได้มากขึ้นจึงส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น และเหตุผลอีกประการหนึ่งที่ทำให้สารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิสูงขึ้นอาจเกิดจากในระหว่างการแช่เมล็ดมีการหายใจเพิ่มขึ้นทำให้เอนไซม์ phenyl -ammonia lyase (PAL) เข้าทำปฏิกิริยากับ phenylalanine เกิดสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นขั้นตอนของสารประกอบฟีนอลิก (Analia *et al.*, 2004)

4.2.4 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ของถั่วเหลืองและถั่วเขียวต่อคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)

ตารางที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ของถั่วเหลืองและถั่วเขียวต่อคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิแช่ (°ซ)	DPPH (ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง)	
		ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว
ถั่วเมล็ดแห้ง	ถั่วเมล็ดแห้ง		
3	25	420.185±7.73 ^k	389.243±8.59 ^a
	30	561.109±12.92 ^{jk}	268.024±8.07 ^j
	35	585.797±11.41 ^{fgh}	364.735±8.33 ^b
	40	548.351±8.69 ^j	344.242±6.04 ^c
6	25	614.623±11.11 ^{bcd}	365.354±8.80 ^b
	30	574.690±10.93 ^{ij}	330.675±6.48 ^{def}
	35	597.630±10.67 ^{defg}	288.641±5.64 ⁱ
	40	587.306±8.53 ^{efgh}	337.034±6.78 ^{cde}
9	25	582.555±5.24 ^{gh}	252.061±7.56 ^k
	30	604.624±3.03 ^{cdef}	310.509±3.23 ^{gh}
	35	606.061±5.64 ^{cde}	326.680±5.39 ^{ef}
	40	627.620±9.03 ^b	308.385±5.56 ^h
12	25	647.200±12.68 ^a	334.442±6.54 ^{cdef}
	30	575.250±10.11 ^{ij}	279.871±8.05 ^{ij}
	35	620.113±12.40 ^{bc}	332.541±11.12 ^{def}
	40	655.286±14.24 ^a	346.512±10.86 ^c
		587.545±13.47 ^{efgh}	322.203±7.61 ^{fg}

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.4 คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของถั่วเหลือง (ก) และถั่วเขียว (ข) ในระหว่างการแช่ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

จากการทดลองแช่หัวเหียงที่อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 40 °ซ เป็นเวลา 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลา และอุณหภูมิในการแช่หัวเหียงมีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดด้วยวิธีDPPHโดยวิธีDPPHเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ มีหลักการคือ สารละลายของอนุมูลอิสระ2,2-Diphenyl-1-picryl-hydrazylจะมีสีม่วง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ในกรณีตัวอย่างสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของ2,2-Diphenyl-1-picryl-hydrazylเจางลงได้มากกว่าสารสกัดที่มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระได้น้อยและจากการทดลองคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแช่เพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการแช่ของแต่ละอุณหภูมิเพิ่มขึ้นคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.4 (ก) โดยพบว่าการแช่หัวเหียงที่อุณหภูมิ 40 °ซ นาน 9 และ 12 ชั่วโมง จะมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เพิ่มขึ้นสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่าเท่ากับ 647.200 และ 587.545 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบกับหัวเหียงที่ไม่ผ่านการแช่มีค่าอยู่ที่ 420.185 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง พบว่าหัวเหียงที่ผ่านการแช่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ในกรณีของหัวเหียงหลังการแช่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระลดลงเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ลดลงตั้งแต่เมื่อแช่หัวเหียงที่อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นพบว่าระยะเวลา และอุณหภูมิในการแช่หัวเหียงมีผลต่อคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.4 (ข) โดยคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแช่เพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการแช่ของแต่ละอุณหภูมิเพิ่มขึ้นคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยพบว่าการแช่หัวเหียงที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °ซ นาน 3 ชั่วโมง คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่าอยู่ที่ 364.753 และ 365.354 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัม น้ำหนักแห้งตามลำดับ การที่ระยะเวลา และอุณหภูมิในการแช่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) เพิ่มขึ้นนี้สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือเมื่อสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณมากคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระก็มากด้วยเช่นกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของLopez-Amoros *et al.*(2006) ศึกษากิจกรรมต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเมล็ดถั่วที่กำลังงอก 3 ชนิด คือ ถั่วแขกพันธุ์ *La Granja* ถั่วเลนทิลพันธุ์ *Castellana* และถั่วลันเตาพันธุ์ *Elsa* โดยแช่เมล็ดในน้ำนาน 6 ชั่วโมงก่อนการเพาะให้เป็นต้นกล้าซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 6 วัน นำต้นกล้าของถั่วแต่ละชนิดมาวิเคราะห์กิจกรรมต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยเครื่อง HPLC พบว่ากิจกรรมการต้านออกซิเดชันจะมีค่าสูงสุดในวันที่ 6 ของการงอก สอดคล้องกับการมี

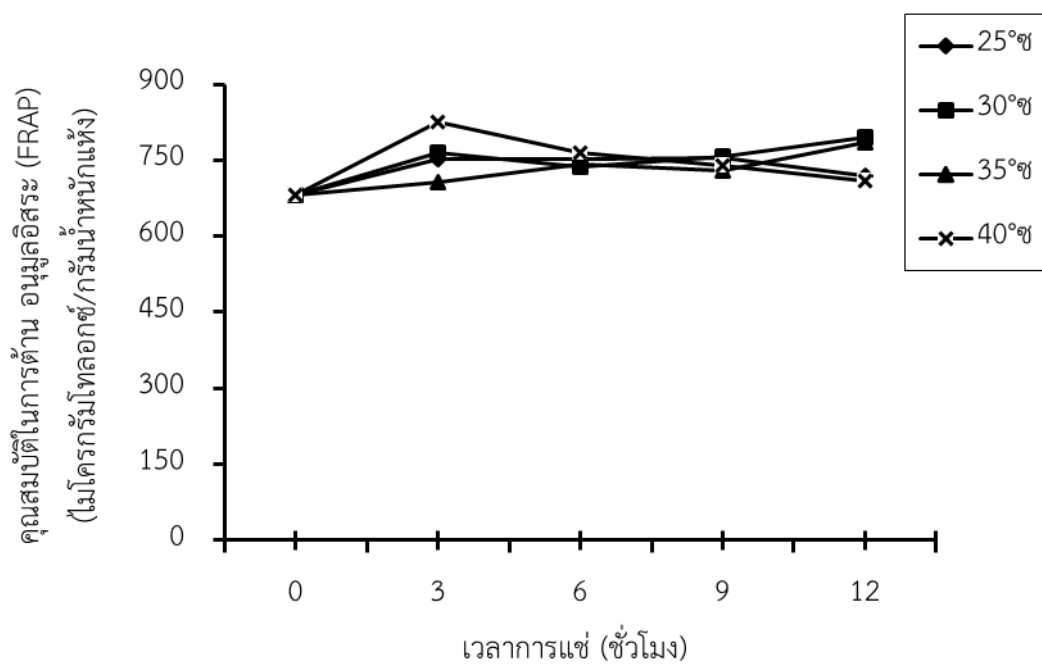
ปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นและ Horii *et al.*(2007) ได้ศึกษากิจกรรมต้านออกซิเดชัน และปริมาณสารต้านออกซิเดชันในเมล็ดพืชที่กำลังงอก 3 ชนิด คือ ข้าวโพด มะเขือเทศ และถั่วเหลือง โดยแช่เมล็ดในน้ำนาน 24 ชั่วโมง ก่อนการเพาะให้เป็นต้นกล้าซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 12 วันนำต้นกล้าของพืช แต่ละชนิดมาวิเคราะห์ กิจกรรมต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity รวมทั้ง วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าต้นกล้าข้าวโพดมีกิจกรรมต้านออกซิเดชันสูงสุด รองลงมา คือ มะเขือเทศ และถั่วเหลือง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงสุดในวันที่ 6 ของการงอก สอดคล้องกับการมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงสุดในพืชทั้ง 3 ชนิด คาดว่าการมีกิจกรรมต้าน ออกซิเดชันที่สูงเป็นผลจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญ Randhira *et al.*(2008) ศึกษากิจกรรมต้านออกซิเดชันและปริมาณสารต้านออกซิเดชันในเมล็ดพืชที่กำลังงอก 4 ชนิด คือ บัควีท ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าวโอ๊ต โดยแช่เมล็ดในน้ำนาน 24 ชั่วโมงก่อนการเพาะให้เป็น ต้นกล้าซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 10 วัน นำต้นกล้าของพืชแต่ละชนิดมาวิเคราะห์กิจกรรมต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าต้นกล้าข้าวสาลีมีกิจกรรมต้านออกซิเดชันสูงสุดรองลงมา คือ บัควีท ข้าวโอ๊ต และข้าวโพด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงสุดในวันที่ 2 ของการงอกสอดคล้องกับการมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น สูงสุดนอกจากนี้ ออร์ดา และคณะ (2550) ยังพบว่ากิจกรรมต้านออกซิเดชันและปริมาณสารต้าน ออกซิเดชันในเมล็ดข้าวที่กำลังงอก 6 พันธุ์ ที่ทำการแช่เมล็ดในน้ำนาน 24 ชั่วโมงก่อนการเพาะเป็น ต้นกล้า 7 วัน จากนั้นนำต้นกล้าแต่ละอายุมาวิเคราะห์กิจกรรมต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่ากิจกรรมต้าน ออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และเพิ่มสูงสุดวันที่ 7 ของการงอก สอดคล้องกับการมีปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และเพิ่มสูงสุดวันที่ 7 เช่นเดียวกัน เชื่อว่ากิจกรรมต้าน ออกซิเดชันของต้นกล้าข้าวเป็นผลจากสารประกอบฟีนอลิก

4.2.5 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ของถั่วเหลืองและถั่วเขียวต่อคุณสมบัติในการ
ต้านอนุมูลอิสระ (FRAP)

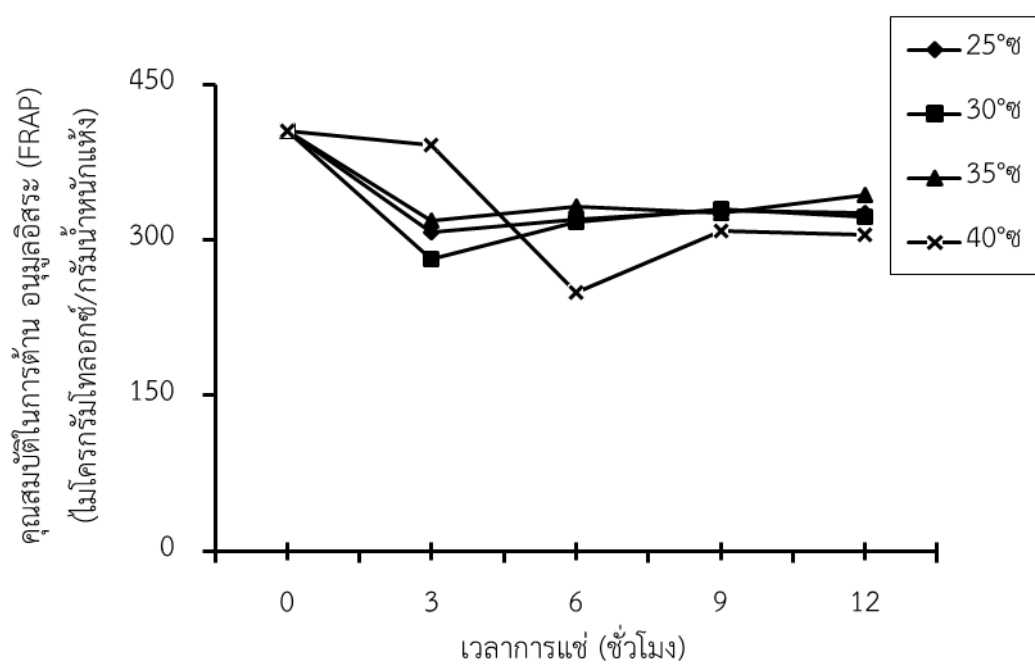
ตารางที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ของถั่วเหลืองและถั่วเขียวต่อคุณสมบัติ
ในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP)

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิแช่ (°ซ)	FRAP (ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง)	
		ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว
ถั่วเมล็ดแห้ง	ถั่วเมล็ดแห้ง	681.320±7.37 ⁱ	404.853±7.27 ^a
3	25	752.163±11.04 ^{cde}	307.493±6.29 ^{fg}
	30	764.176±11.28 ^c	280.891±1.40 ^h
	35	706.425±8.17 ^h	318.859±3.88 ^{def}
	40	824.220±7.94 ^a	390.940±4.79 ^b
6	25	751.070±10.92 ^{cde}	319.750±6.13 ^{def}
	30	737.419±10.63 ^{ef}	317.415±5.98 ^{ef}
	35	742.707±5.67 ^{def}	331.634±10.06 ^d
	40	765.849±12.03 ^c	249.495±3.39 ⁱ
9	25	755.770±9.79 ^{cde}	328.765±6.32 ^{de}
	30	757.141±9.51 ^{cd}	329.873±1.04 ^{de}
	35	728.494±8.23 ^{fg}	325.683±7.79 ^{de}
	40	738.407±8.32 ^{ef}	308.509±9.57 ^{fg}
12	25	718.295±13.59 ^{gh}	325.516±5.45 ^{de}
	30	796.040±6.85 ^b	322.532±10.65 ^{de}
	35	785.574±11.78 ^b	343.489±7.69 ^c
	40	709.381±11.71 ^h	304.547±7.37 ^g

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ก



ข

ภาพที่ 4.5 คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) ของถั่วเหลือง (ก) และถั่วเขียว (ข) ในระหว่างการแช่ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

จากการทดลองแช่หัวเหลืองที่อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 40 °ซ เป็นเวลา 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลา และอุณหภูมิในการแช่หัวเหลืองมีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดด้วยวิธี FRAP โดย FRAP หรือ Ferric reducing antioxidant potential เป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก มีหลักการคือ ดูความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เป็น (Fe^{2+}) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย TPTZ (tripyridyltriazine) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 593 นาโนเมตร และจากการทดลองคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแช่หัวเหลืองเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.5 (ก) แต่ที่ระยะเวลาในการแช่ 9 และ 12 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิไม่มีผล ($p > 0.05$) ต่อคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) แต่ที่ระยะเวลาในการแช่ 3 และ 6 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกลับพบว่าคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิ 30 และ 35 °ซ คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 °ซ กลับพบว่าคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) มีแนวโน้มลดลงโดยพบว่าการแช่หัวเหลืองที่อุณหภูมิ 40 °ซ นาน 3 ชั่วโมง จะมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) เพิ่มขึ้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 824.220 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัม น้ำหนักแห้ง และเมื่อเทียบกับหัวเหลืองที่ไม่ผ่านการแช่มีอยู่ที่ 681.320 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัม น้ำหนักแห้ง พบว่าหัวเหลืองที่ผ่านการแช่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในการฉีกของหัวเขียวหลังการแช่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อเทียบกับเมล็ดหัวเขียวแห้งแต่เมื่อแช่หัวเขียวที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่นานขึ้นพบว่าระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่หัวเขียวมีผลต่อคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.5 (ข) โดยคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) จะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการแช่เพิ่มขึ้น (40°ซ) แต่ในกรณีที่ระยะเวลาในการแช่ 3 ชั่วโมงอุณหภูมิสูง 40°ซ คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมีค่าเท่ากับ 390.940 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัม น้ำหนักแห้ง และเมื่อเทียบกับหัวเขียวที่ไม่ผ่านการแช่มีค่าอยู่ที่ 404.853 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัม น้ำหนักแห้ง พบว่าหัวเขียวที่ผ่านการแช่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fernandez-Orozco และคณะ (2006) ได้ศึกษาผลกระทบด้านออกซิเดชันและปริมาณสารต้านออกซิเดชันในต้นกล้าหัว *Lupin* พันธุ์ *Zapaton* โดยนำเมล็ดแช่น้ำนาน 6 ชั่วโมง แล้วนำไปเพาะให้งอกเป็นต้นกล้าซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 9 วัน นำต้นกล้าแต่ละอายุมาวิเคราะห์กิจกรรมต้านออกซิเดชัน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่ามีกิจกรรมต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุของต้นกล้าที่เพิ่มขึ้น และเพิ่มสูงสุดวันที่ 9 ของการงอก นอกจากนี้ Pasko *et al.* (2009) ยังพบว่ากิจกรรมต้านออกซิเดชันและปริมาณสารต้านออกซิเดชันในเมล็ดพืชที่กำลังงอก 2 ชนิด

คือ *Amaranthuscruentus* และ *Chenopodium quinoa* โดยแช่เมล็ดในน้ำ นาน 3 ชั่วโมงก่อนการเพาะให้เป็นต้นกล้าซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 7 วัน นำต้นกล้าของเมล็ดแต่ละชนิดมาวิเคราะห์กิจกรรมต้านออกซิเดชันรวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและแอนโทไซยานิน พบว่าต้นกล้า *Amaranthuscruentus* มีกิจกรรมต้านออกซิเดชันสูงกว่า *Chenopodium quinoa* โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 4 ของการงอก สอดคล้องกับการมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นสูงสุดในเมล็ดทั้ง 2 ชนิด คาดว่าการมีกิจกรรมต้านออกซิเดชันที่สูงเป็นผลจากสารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญ

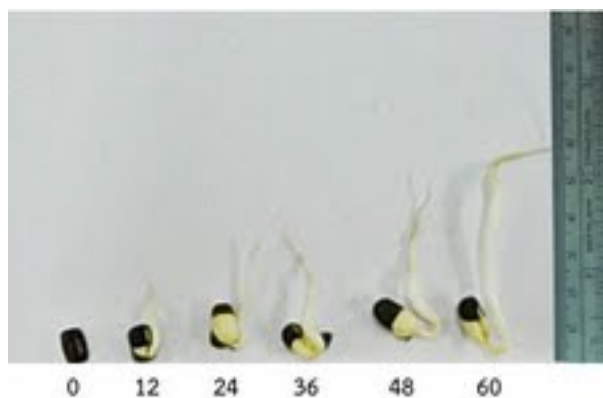
จากผลการทดลองที่ได้รายงานในข้างต้นพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ถั่วเหลืองและถั่วเขียวที่ใช้ปริมาณสารกาบาเป็นดัชนีคัดเลือกคือ การแช่ที่อุณหภูมิ 30°C นาน 6 ชั่วโมง ทั้งถั่วเหลืองและเขียว มีปริมาณสารกาบา 13.467 และ 6.700 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้งตามลำดับ ดังนั้นจึงนำถั่วที่ได้นี้ไปศึกษาระยะเวลาในการงอกที่เหมาะสมต่อไป

4.3 ผลของระยะเวลาในการงอกถั่วเหลือง และถั่วเขียวต่อปริมาณสารกาบา (GABA), องค์ประกอบทางเคมี, สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

นำถั่วเหลือง และถั่วเขียวผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ นาน 6 ชั่วโมงมางอกที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพดังแสดงในภาพที่ 4.6 โดยถั่วที่งอก 12 ชั่วโมง จะเกิดรากอ่อนมีความยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร และจะมีความยาวรากเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการงอก



ก



ข

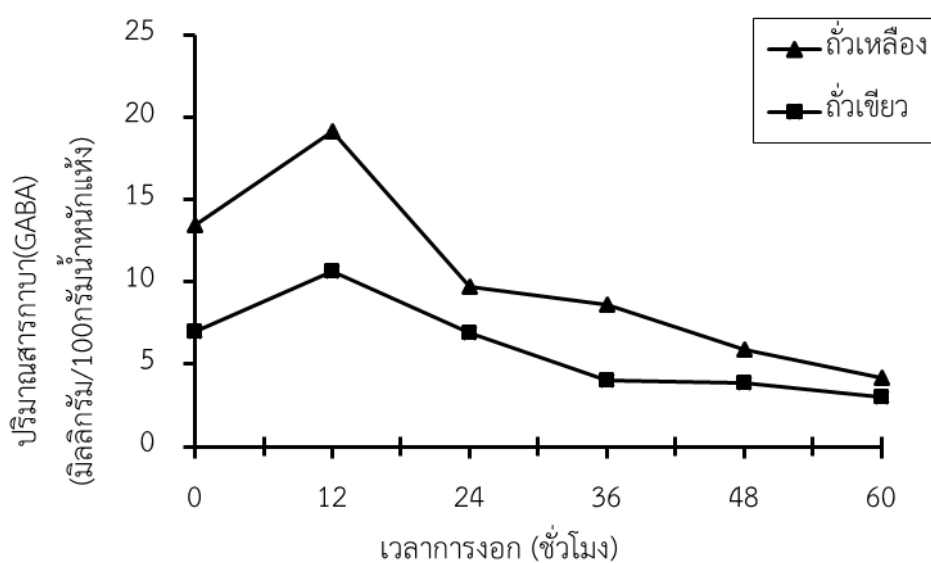
ภาพที่ 4.6 ลักษณะของถั่วเหลืองงอก (ก) และถั่วเขียวงอก (ข) ที่ระยะเวลาการงอกต่างๆ

4.3.1 ผลของระยะเวลาในการงอกต่อปริมาณสารกาบาในถั่วเหลืองและถั่วเขียว

ตารางที่ 4.7 ผลของระยะเวลาในการงอกต่อปริมาณสารกาบาในถั่วเหลืองและถั่วเขียว

เวลาการงอก (ชั่วโมง)	สารกาบา (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	
	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว
0	13.467±3.08 ^b	6.700±5.69 ^b
12	19.118±3.28 ^a	10.663±0.67 ^a
24	8.696±2.25 ^c	6.490±2.15 ^b
36	7.649±2.35 ^d	4.201±1.88 ^c
48	4.890±0.98 ^e	2.983±0.00 ^d
60	4.174±1.33 ^f	2.803±5.20 ^d

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.7 ปริมาณสารกาบาของถั่วเหลืองและถั่วเขียวในระหว่างการงอกที่ระยะเวลาต่างๆ

เมื่อนำถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่นาน 6 ชั่วโมง อุณหภูมิ 30 °ซ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 87-92 มางอกที่อุณหภูมิ 30°ซ เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาในการงอกมีปริมาณสารกาบาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 โดยที่ระยะเวลาการงอก 12 ชั่วโมง มีปริมาณกาบาเพิ่มสูงสุด 19.118 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองเมล็ดแห้งที่มีปริมาณกาบาอยู่ 13.468 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มเป็น 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสารกาบามีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

ในกรณีของถั่วเขียวงอกพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับถั่วเหลืองงอก ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 โดยที่ระยะเวลาการงอก 12 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบาเพิ่มสูงสุด 11.630 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อเทียบกับถั่วเขียวเมล็ดแห้งที่มีปริมาณสารกาบา 7.002 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มเป็น 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสารกาบามีแนวโน้มลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ

การที่ระยะเวลาในการงอก 12 ชั่วโมงส่งผลให้ปริมาณกาบาเพิ่มสูงขึ้นนี้อาจเกิดมาจากความเครียด ซึ่งความเครียดเกิดจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น การสัมผัสกับความเย็นอย่างรุนแรงสภาวะที่มีออกซิเจนในเนื้อเยื่อต่ำกว่าปกติซึ่งในสภาวะที่เนื้อเยื่อขาดออกซิเจนนี้ H^+ จะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกรดกลูตามิก (glutamic- acid) ไปเป็นกาบา จึงทำให้สารกาบามีปริมาณเพิ่มขึ้น (Shelp และ Brown, 1997) แต่เมื่อระยะเวลาในการงอกนานขึ้นกลับทำให้ปริมาณสารกาบาลดลง ซึ่งมีสาเหตุจากการทำงานของเอนไซม์ GABA-pyruvate transaminase มากขึ้นซึ่งเอนไซม์นี้จะเปลี่ยนกาบาไปเป็นซักซิเนต (succinate) เพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครป (Kreb's cycle) เกิดเป็นพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตทำให้การสะสมของกาบาลดลง (Saikusaet *al.*, 1994 and Shelp Brown, 1997) นอกจากนี้ปริมาณของกรดกลูตามิกซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ผลิตกาบาลดลงเพราะถูกใช้ไปมากขึ้น เมื่อระยะเวลานานขึ้น (Oh, 2003) กาบาจึงมีปริมาณลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยของอรทัย (2552) ที่พบว่าข้าวกล้องที่สภาวะการงอกที่อุณหภูมิ 35 °ซ ระยะเวลาในการแช่นาน 6 ชั่วโมง งอกจนมีความยาวราก 0.5-1 มิลลิเมตร มีปริมาณสารกาบาสูงที่สุดเท่ากับ 20.967 มิลลิกรัม/100 กรัม และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 45 °ซ พบว่าสารกาบาจะมีปริมาณลดลงเหลือ 16.867 มิลลิกรัม/100 กรัม

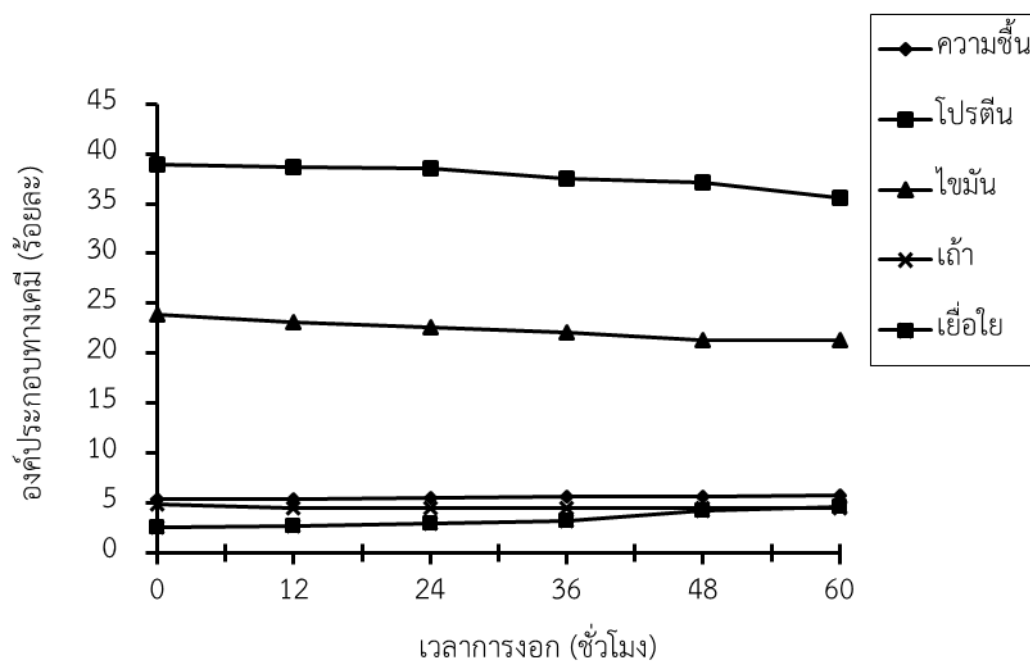
4.3.2 ผลของระยะเวลาในการออกต่อองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง และถั่วเขียว

ตารางที่ 4.8 ผลของระยะเวลาในการออกต่อองค์ประกอบทางเคมี ของถั่วเหลือง

เวลาการออก (ชั่วโมง)	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
	ความชื้น ^{ns}	โปรตีน	ไขมัน ^{ns}	เถ้า	เยื่อใย
0	5.34±0.26	38.90±0.17 ^a	23.88±1.04	4.84±0.33 ^a	2.53±0.44 ^f
12	5.36±0.08	38.66±0.06 ^a	23.07±0.54	4.51±0.05 ^b	2.64±0.01 ^e
24	5.47±0.24	38.61±0.23 ^a	22.58±0.49	4.51±0.49 ^b	2.88±0.01 ^d
36	5.58±0.12	37.52±0.17 ^b	22.04±0.53	4.49±0.16 ^b	3.11±0.06 ^c
48	5.65±0.24	37.12±0.22 ^b	21.28±1.41	4.43±0.42 ^b	4.21±0.05 ^b
60	5.71±0.18	35.56±0.01 ^c	21.27±1.15	4.41±0.07 ^b	4.6±0.00 ^a

หมายเหตุ: 1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2) ความชื้นของถั่วได้จากการนำถั่วหลังออกไปอบที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.8 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองในระหว่างการออกที่ระยะเวลาต่างๆ

จากการทดลองงอกถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาในการงอกไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของถั่วเหลืองงอกโดยปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.8 อยู่ในช่วงร้อยละ 5.341-5.650

ปริมาณโปรตีนพบว่าระยะเวลาในการงอกมีผลต่อปริมาณโปรตีน โดยปริมาณโปรตีนของถั่วเหลืองงอกจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.8 ที่ระยะเวลาในการงอก 0, 12 และ 24 ชั่วโมง ปริมาณโปรตีนลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และที่ระยะเวลางอก 36 กับ 48 ชั่วโมง มีปริมาณลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ที่ระยะเวลางอก 60 ชั่วโมง พบว่าถั่วเหลืองงอกมีปริมาณโปรตีนลดลงน้อยที่สุดมีปริมาณร้อยละ 35.558 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ซึ่งการลดลงของโปรตีนในระหว่างการงอกนั้นอาจเนื่องมาจากการสูญเสียสารประกอบไนโตรเจนในระหว่างการแช่น้ำ (Chavan and Kadam, 1989) และการเจริญของเมล็ดก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ปริมาณโปรตีนลดลงเนื่องจากการสร้างเอนไซม์โปรตีโอไลติกในระหว่างกระบวนการงอกทำหน้าที่ไปย่อยสลายโปรตีนบางส่วนในเมล็ดทำให้โปรตีนและกรดอะมิโนลดลงเล็กน้อย (Nielsen *et al.*, 1978) สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรทัย (2552) ที่พบว่าการนำข้าวโพดไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 และ 45 °ซ นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปงอกที่อุณหภูมิห้องจนมีความยาวราก 0.5-1 มิลลิเมตร จะส่งผลให้โปรตีนของข้าวโพดงอกมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดเมล็ดแห้งนอกจากนี้ Rusydi *et al.* (2011) ยังพบว่าพืชตระกูลถั่ว 4 ชนิด ได้แก่ ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง และถั่วลิสง เมื่อผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 28 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปงอกนาน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิเดียวกัน หลังการงอกจะมีปริมาณโปรตีนลดลงจากเดิมที่มีอยู่ร้อยละ 37.78, 46.09, 30.88 และ 22.74 ตามลำดับเหลือร้อยละ 15.40, 15.79, 17.85 และ 15.09 ตามลำดับ

ปริมาณไขมันพบว่าระยะเวลาในการงอกมีผลต่อปริมาณไขมันเพียงเล็กน้อย โดยปริมาณไขมันของถั่วเหลืองงอกมีแนวโน้มลดลงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.8 อยู่ในช่วงร้อยละ 21.271-23.881 โดยพบว่าที่ระยะเวลาในการงอก 60 ชั่วโมง ปริมาณไขมันลดลงต่ำสุด (ร้อยละ 21.271) เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองเมล็ดแห้ง และถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลาในการงอก 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรทัย (2552) ที่พบว่าการนำข้าวฟ่างไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 และ 45 °ซ นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปงอกที่อุณหภูมิห้องจนมีความยาวราก 0.5-1 มิลลิเมตร พบว่าปริมาณไขมันของข้าวฟ่างงอกมีปริมาณลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งสาเหตุที่ปริมาณไขมันลดลงเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น นั้นน่าจะเกิดจากไขมันในเมล็ดซึ่งเก็บสะสม fat body ในรูปของ triglycerides ของกรดไขมัน และเอนไซม์ไลพอกซิเดส จะไฮโดรไลต์ไขมันให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน จากนั้นกลีเซอรอลจะเข้าสู่กระบวนการ

phosphorylation ใน cytoplasm ซึ่งอยู่ในเซลล์ แล้วเข้าสู่กระบวนการ glycolysis และ ขบวนการ Krebs' cycle แล้วถูกเปลี่ยนไปเป็นองค์ประกอบของเซลล์พืช ส่วนกรดไขมันทำปฏิกิริยาภายใน glyoxysome และถูกออกซิไดส์ผ่านกระบวนการ β -oxidation รวมกับ Coenzyme A ได้ acetyl Co A เข้าสู่วัฏจักร glyoxylate ผลที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำตาลซูโครส ดังนั้นในระหว่างการออกปริมาณไขมันที่ลดลงเนื่องจากถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครส (Ching, 1972)

ปริมาณเถาพบบว่าระยะเวลาในการงอกมีผลต่อปริมาณเถาโดยปริมาณเถาของถั่วเหลืองงอกมีแนวโน้มลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.8 โดยถั่วเหลืองเมล็ดแห้งมีปริมาณเถามากที่สุด การที่ปริมาณเถาลดลงหลังการงอกนี้ เนื่องจากการสูญเสียแร่ธาตุในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นอ่อน และขั้นตอนการแช่ถั่วสอคล้องกับงานวิจัยของ Rusydiet *et al.* (2011) ที่พบว่าพืชตระกูลถั่ว 4 ชนิด ได้แก่ ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง และถั่วลิสง เมื่อผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 28 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปงอกนาน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิเดียวกัน หลังการงอกจะมีปริมาณเถาลดลงจากร้อยละ 6.27, 9.36, 3.68 และ 2.02 ตามลำดับ เถา ร้อยละ 3.34, 4.31, 1.71 และ 1.20 ตามลำดับ

ปริมาณเยื่อใยพบบว่าระยะเวลาในการงอกมีผลปริมาณเยื่อใยโดยปริมาณเยื่อใยของถั่วเหลืองงอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.8 ถั่วเหลืองที่ระยะเวลางอก 60 ชั่วโมง มีปริมาณเยื่อใยสูงสุดร้อยละ 4.625 ปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นนี้อาจจะเกิดจากในระหว่างการงอกมีการเจริญของรากอ่อน ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เมื่อรากอ่อนเจริญยาวขึ้นจึงส่งผลให้มีปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เพิ่มมากขึ้น เป็นสาเหตุให้ปริมาณเยื่อใยในถั่วเหลืองงอกมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาในการงอกที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอรทัย (2552) ที่พบว่าการนำข้าวฟ่างไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 และ 45 °C นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปงอกที่อุณหภูมิห้องจนมีความยาวราก 0.5-1 มิลลิเมตร พบว่าเยื่อใยของข้าวฟ่างงอกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวฟ่างแห้งนอกจากนี้ Rusydi *et al.* (2011) ยังพบว่า ข้าว 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวสีข้าว ข้าวสีดำ ข้าวสีแดง ข้าวสีน้ำตาล และข้าว barrio เมื่อผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 28 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (เปลี่ยนน้ำทุก 24 ชั่วโมง) หลังการงอกจะมีปริมาณเยื่อใยเพิ่มขึ้นจากเดิมมีอยู่ร้อยละ 7.18, 8.63, 7.22, 8.24 และ 7.28 ตามลำดับ เป็นร้อยละ 8.31, 9.36, 12.00, 9.61 และ 8.58 ตามลำดับ

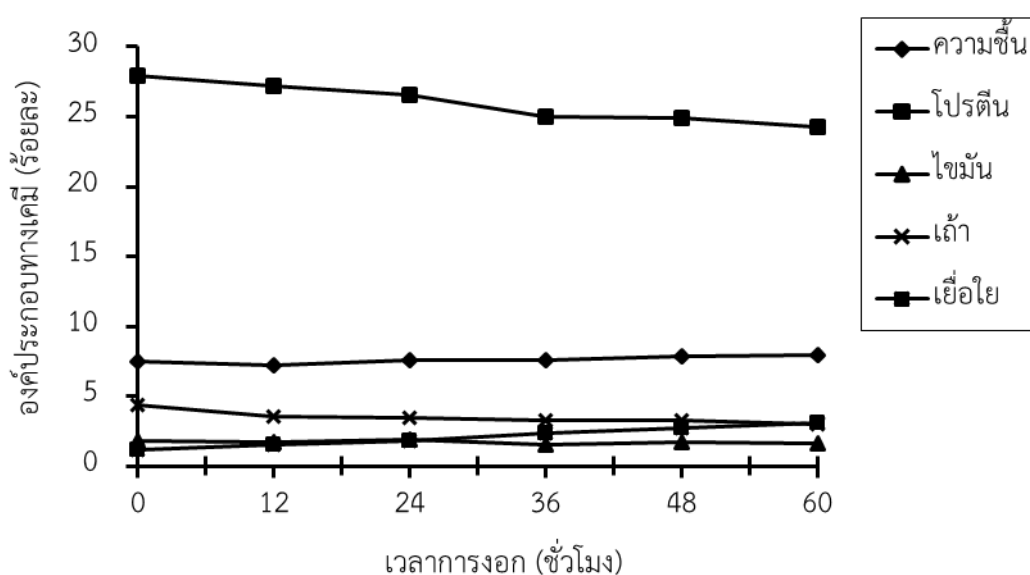
ตารางที่ 4.9 ผลของระยะเวลาในการออกต่อองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียว

เวลาการงอก (ชั่วโมง)	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
	ความชื้น ^{ns}	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย
0	7.48±0.29	27.92±0.03 ^a	1.87±0.35 ^a	4.35±0.18 ^a	1.16±0.05 ^f
12	7.16±0.16	27.16±0.19 ^b	1.82±0.48 ^{ab}	3.54±0.08 ^b	1.56±0.02 ^e
24	7.58±0.12	26.55±0.13 ^c	1.75±0.04 ^{bc}	3.47±0.54 ^b	1.78±0.02 ^d
36	7.59±0.19	24.99±0.07 ^d	1.63±0.72 ^{cd}	3.30±0.09 ^b	2.31±0.09 ^c
48	7.82±0.10	24.89±0.14 ^d	1.67±0.42 ^c	3.27±0.12 ^b	2.75±0.15 ^b
60	7.90±0.02	24.24±0.07 ^e	1.53±0.02 ^d	2.96±0.00 ^b	3.06±0.04 ^a

หมายเหตุ: 1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2) ความชื้นของถั่วได้จากการนำถั่วหลังงอกไปอบที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.9 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวในระหว่างการงอกที่ระยะเวลาต่างๆ

จากการทดลองงอกถั่วเขียวที่อุณหภูมิ 30 °ซเป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง พบว่า ระยะเวลาในการงอกไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของถั่วเขียวงอก โดยปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.9 อยู่ในช่วง ร้อยละ 7.485-7.902

ปริมาณโปรตีนพบว่าระยะเวลาในการงอกมีผลต่อปริมาณโปรตีน โดยปริมาณโปรตีนของถั่วเขียวงอกจะมีแนวโน้มลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.9 ถั่วเขียวเมล็ดแห้งมีปริมาณโปรตีนสูงสุดร้อยละ 27.164 และปริมาณโปรตีนจะมีปริมาณลดลงน้อยสุดเมื่อผ่านการงอกนาน 60 ชั่วโมง มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 24.241 ซึ่งการลดลงของโปรตีนในระหว่างการงอกนั้นอาจเนื่องมาจากการสูญเสียสารประกอบไนโตรเจนในระหว่างการแช่น้ำ (Chavan and Kadam, 1989) และการเจริญของเมล็ดก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ปริมาณโปรตีนลดลงเนื่องจากการสร้างเอนไซม์โปรติโอไลติกในระหว่างกระบวนการงอกทำหน้าที่ไปย่อยสลายโปรตีนบางส่วนในเมล็ดทำให้โปรตีน และกรดอะมิโนลดลงเล็กน้อย (Nielsen *et al.*, 1978) สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรทัย (2552) ที่พบว่าการนำข้าวโพดไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 และ 45 °C นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปงอกที่อุณหภูมิห้องจนมีความยาวราก 0.5-1 มิลลิเมตร จะส่งผลให้โปรตีนของข้าวโพดงอกมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดเมล็ดแห้งนอกจากนี้ Rusydi *et al.*, (2011) ยังพบว่าพืชตระกูลถั่ว 4 ชนิด ได้แก่ ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลืองและถั่วลิสง เมื่อผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 28 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปงอกนาน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิเดียวกัน หลังการงอกจะมีปริมาณโปรตีนลดลงจากเดิมที่มีอยู่ร้อยละ 37.78, 46.09, 30.88 และ 22.74 ตามลำดับ เหลือร้อยละ 15.40, 15.79, 17.85 และ 15.09 ตามลำดับ

ปริมาณไขมันพบว่าระยะเวลาในการงอกมีผลต่อปริมาณไขมัน โดยปริมาณไขมันของถั่วเขียวงอกจะมีแนวโน้มลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.9 โดยถั่วเขียวเมล็ดแห้งมีปริมาณไขมันสูงสุดร้อยละ 1.870 และปริมาณไขมันจะลดลงต่ำสุดเมื่อผ่านการงอกนาน 60 ชั่วโมง มีปริมาณไขมันร้อยละ 1.530 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rusydi *et al.*, (2011) ที่พบว่าพืชตระกูลถั่ว 4 ชนิด ได้แก่ ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง และถั่วลิสง เมื่อผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 28 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปงอกนาน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิเดียวกัน หลังการงอกจะมีปริมาณไขมันลดลงจากร้อยละ 7.58, 5.69, 20.07 และ 46.59 ตามลำดับ เหลือร้อยละ 1.76, 0.89, 4.61 และ 33.58 ตามลำดับการที่ปริมาณไขมันลดลงเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น นี้เกิดจากไขมันในเมล็ดซึ่งเก็บสะสม fat body ในรูปของ triglycerides ของกรดไขมันและเอนไซม์ไลพอกซิ-เดส จะไฮโดรไลต์ไขมันให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน จากนั้นกลีเซอรอลจะเข้าสู่ขบวนการ phosphorylation ใน cytoplasm ซึ่งอยู่ในเซลล์ แล้วเข้าสู่ขบวนการ glycolysis และ ขบวนการ kreb's cycle แล้วถูกเปลี่ยนไปเป็นองค์ประกอบของเซลล์พืช ส่วนกรดไขมันทำปฏิกิริยาภายใน glyoxysome และถูกออกซิโดส์ผ่านขบวนการ β -oxidation ร่วมกับ Coenzyme A ได้ acetyl Co A เข้าสู่วัฏจักร glyoxylate ผลที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำตาลซูโครส ดังนั้นในระหว่างการงอกปริมาณไขมันที่ลดลงเนื่องจากถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครส (Ching, 1972)

ปริมาณเถ้าพบว่าระยะเวลาในการรอกมีผลต่อปริมาณเถ้าโดยปริมาณเถ้าของถั่วเขียวงอก มีแนวโน้มลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.9 โดยถั่วเขียวเมล็ดแห้งมีปริมาณเถ้ามากที่สุดร้อยละ 4.352 และปริมาณเถ้าจะมีปริมาณลดลงต่ำสุดเมื่อผ่านการรอกนาน 60 ชั่วโมง มีปริมาณเถ้าร้อยละ 2.960 การที่ปริมาณเถ้าลดลงหลังการรอกนี้เนื่องจากการสูญเสียแร่ธาตุในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นอ่อน และขั้นตอนการแช่ถั่วสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rusydi *et al.*, (2011) ที่พบว่าพืชตระกูลถั่ว 4 ชนิด ได้แก่ ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง และถั่วลิสง เมื่อผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 28 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปรอกนาน 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเดียวกัน หลังการรอกจะมีปริมาณเถ้าลดลงจากร้อยละ 6.27, 9.36, 3.68 และ 2.02 ตามลำดับ เหลือร้อยละ 3.34, 4.31, 1.71 และ 1.20 ตามลำดับ

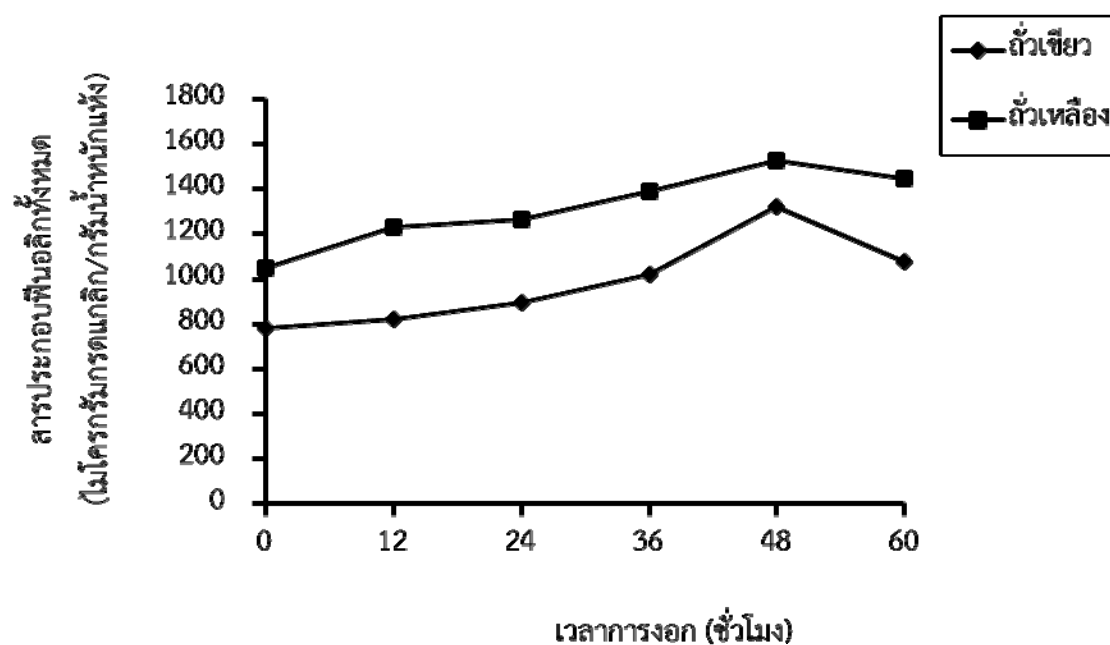
ปริมาณเยื่อพบว่าระยะเวลาในการรอกมีผลปริมาณเยื่อโดยปริมาณเยื่อของถั่วเขียวงอก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.9 ถั่วเขียวงอกที่ระยะเวลาการรอก 60 ชั่วโมง มีปริมาณเยื่อสูงสุดร้อยละ 3.059 ปริมาณเยื่อที่เพิ่มขึ้นนี้อาจจะเกิดจากในระหว่างการรอกมีการเจริญของรากอ่อน ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เมื่อรากอ่อนเจริญยาวขึ้นจึงส่งผลให้มีปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เพิ่มมากขึ้น เป็นสาเหตุให้ปริมาณเยื่อในถั่วเหลืองงอกมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาในการรอกที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอรทัย (2552) พบว่าการนำข้าวฟ่างไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 และ 45 °C นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปรอกที่อุณหภูมิห้องจนมีความยาวราก 0.5-1 มิลลิเมตร พบว่าเยื่อของข้าวฟ่างงอกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวฟ่างแห้งนอกจากนี้ Rusydi *et al.* (2011) ยังพบว่าข้าว 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวสีข้าว ข้าวสีดำ ข้าวสีแดง ข้าวสีน้ำตาล และข้าว barrio เมื่อผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 28 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (เปลี่ยนน้ำทุก 24 ชั่วโมง) หลังการรอกจะมีปริมาณเยื่อเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.18, 8.63, 7.22, 8.24 และ 7.28 ตามลำดับ เป็นร้อยละ 8.31, 9.36, 12.00, 9.61 และ 8.58 ตามลำดับ

4.3.3 ผลของระยะเวลาในการออกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 4.10 ผลของระยะเวลาในการออกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ของถั่วเหลืองและถั่วเขียว

เวลาการออก(ชั่วโมง)	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง)	
	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว
0	1051.341±8.894 ^f	782.836±3.681 ^f
12	1213.339±9.401 ^e	824.026±10.052 ^e
24	1265.410±4.248 ^d	894.247±5.435 ^d
36	1392.562±1.798 ^c	1021.103±10.907 ^c
48	1528.516±10.603 ^a	1319.925±9.137 ^a
60	1447.129±5.341 ^b	1077.655±10.559 ^b

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของถั่วเหลืองและถั่วเขียวในระหว่างการออกที่ระยะเวลาต่างๆ

จากการทดลองงอกถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 30 °ซ เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของถั่วเหลืองงอกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับระยะเวลาในการงอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มสูงสุดในถั่วเหลืองที่ผ่านการงอก 48 ชั่วโมง ปริมาณ 1528.516 ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้งและเมื่องอกจนถึง 60 ชั่วโมง สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะมีปริมาณลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เหลือเพียง 1447.129 ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง

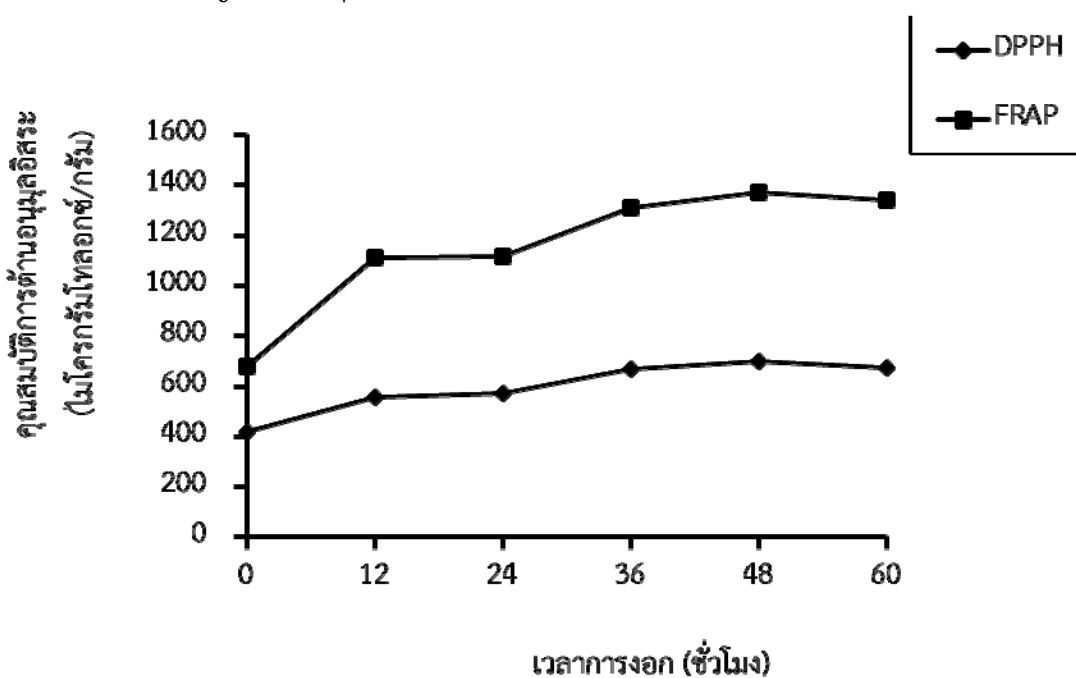
ในกรณีของถั่วเขียวพบว่าการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับถั่วเหลืองโดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของถั่วเขียวงอกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับระยะเวลาในการงอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มสูงสุดในถั่วเขียวที่ผ่านการงอก 48 ชั่วโมง มีปริมาณ 1319.925 ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัม และเมื่องอกจนถึง 60 ชั่วโมง สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะมีปริมาณลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เหลือเพียง 1077.655 ไมโครกรัมกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง

การที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผ่านการงอกนี้เกิดเนื่องจากในกระบวนการงอกเมล็ดพืชจะมีการสร้างสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเพื่อยับยั้งการงอก (Cevallos-Casals, 2010) จึงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแต่เมื่อระยะเวลาการงอกนานขึ้นสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะเริ่มมีปริมาณลดต่ำลงนั้นอาจเกิดเนื่องจากสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตสารประกอบฟีนอลิกนั้นเริ่มลดลงจึงเกิดการสร้างสารประกอบฟีนอลิกได้น้อยลงและส่วนหนึ่งอาจถูกดึงไปใช้ในการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่มีอายุมากขึ้น (Senaratna *et al.*, 1985) สอดคล้องกับงานวิจัยของ กัมปนาท และคณะ (2551) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านออกซิเดชันระหว่างการงอกของเมล็ดถั่วเหลือง พบว่าเมื่อนำเมล็ดถั่วเหลืองแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และผ่านการงอกอุณหภูมิ 28 °ซ เป็นเวลา 4 วัน พบว่าการงอกที่ 24 ชั่วโมง ถั่วเหลืองทั้ง 3 สายพันธุ์จะมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงที่สุดในส่วนของไฮโปคลอทิลแต่หลังจากชั่วโมงที่ 24 พบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของถั่วเหลืองทุกสายพันธุ์มีปริมาณลดลงตามลำดับ นอกจากนี้ อิงฟ้า และคณะ (2552) ยังพบว่าพบว่ามีฤทธิ์พืชได้แก่ ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วแดง เมื่อผ่านกระบวนการงอกจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.58, 0.63, 0.46 และ 0.48 มิลลิกรัม/100 กรัมตามลำดับ เป็น 0.60, 0.74, 0.58 และ 0.63 มิลลิกรัม/100 กรัมตามลำดับ

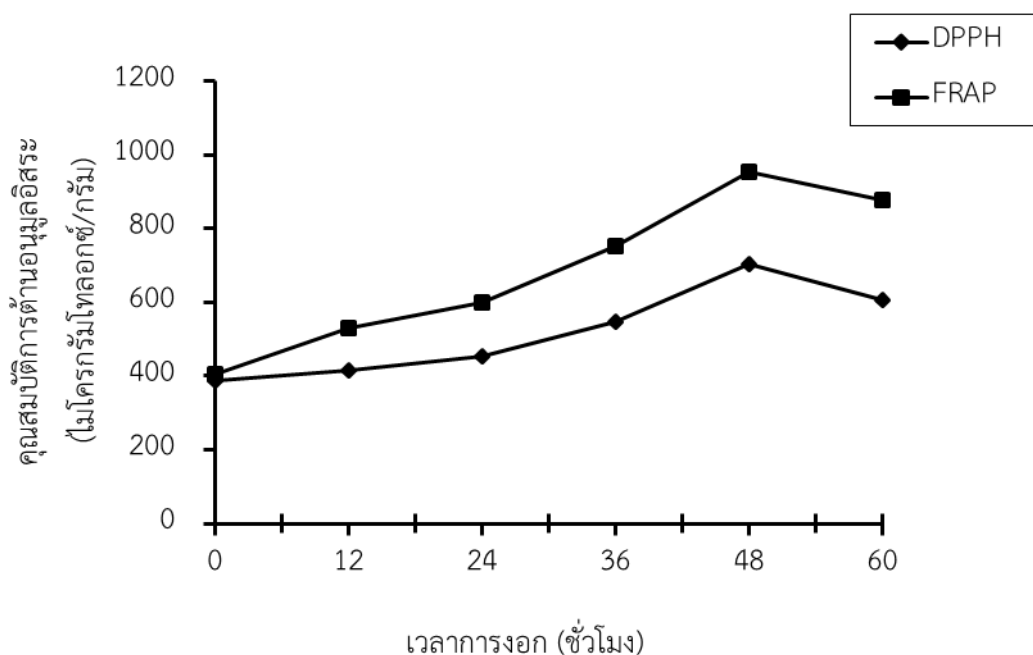
ตารางที่ 4.11 ผลของระยะเวลาในการงอกต่อคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DPPH และ FRAP ของถั่วเหลืองและถั่วเขียว

เวลาการงอก (ชั่วโมง)	คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง)			
	ถั่วเหลือง		ถั่วเขียว	
	DPPH	FRAP	DPPH	FRAP
0	420.18±7.73 ^d	681.320±7.37 ^e	389.243±8.59 ^f	404.854±7.27 ^f
12	557.35±10.15 ^c	1109.694±8.83 ^d	414.676±10.19 ^e	528.958±10.34 ^e
24	569.70±6.98 ^c	1116.168±9.52 ^d	455.320±10.67 ^d	600.182±11.86 ^d
36	670.048±7.44 ^b	1312.148±8.89 ^c	547.906±2.79 ^c	753.254±11.53 ^c
48	701.970±2.64 ^a	1370.959±10.21 ^a	705.376±7.35 ^a	954.652±12.89 ^a
60	671.50±8.017 ^b	1338.667±8.513 ^b	606.91±2.242 ^b	878.21±10.78 ^b

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.11 คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DPPH และ FRAP ของถั่วเหลือง ในระหว่างการงอกที่ระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.12 คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP ของกล้วยในระหว่างการงอก ที่ระยะเวลาต่างๆ

จากการทดลองงอกกล้วยเหลืองที่อุณหภูมิ 30 °ซ เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง พบว่าคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี (DPPH) และ (FRAP) ของกล้วยงอกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับระยะเวลาในการงอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.1 คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี (DPPH) และ (FRAP) เพิ่มสูงสุดในกล้วยที่ผ่านการงอก 48 ชั่วโมง มีปริมาณ 701.970 และ 1370.959 ไมโครกรัม โทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่องอกจนถึง 60 ชั่วโมง คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี (DPPH) และ (FRAP) จะมีปริมาณลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เหลือเพียง 671.497 และ 1338.667 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลงเช่นเดียวกัน

ในกรณีของกล้วยพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับกล้วยเหลือง โดยคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี (DPPH) และ (FRAP) ของกล้วยงอกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับระยะเวลาในการงอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.12 คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี (DPPH) และ (FRAP) เพิ่มสูงสุดในกล้วยที่ผ่านการงอก 48 ชั่วโมง มีปริมาณ 705.376 และ 954.652 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ และเมื่องอกจนถึง 60 ชั่วโมง คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี (DPPH)

และ (FRAP) จะมีปริมาณลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เหลือเพียง 606.908 และ 878.210 ไมโครกรัมโทลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลงเช่นเดียวกัน

ซึ่งการที่คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี (DPPH) และ (FRAP) มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผ่านการออกนี้เกิดเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นดังได้กล่าวไว้ข้างต้น เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดทำหน้าที่ในการเป็นการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารดังกล่าวจึงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรดา และคณะ (2550) ที่พบว่าข้าวที่ผ่านการออกจะมีกิจกรรมต้านออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ สอดคล้องกับการมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกัน โดยเชื่อว่ากิจกรรมต้านออกซิเดชันเป็นผลจากสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของกัมปนาท และคณะ (2551) ที่พบว่ากิจกรรมต้านออกซิเดชันในถั่วเหลืองอกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อออกนาน 24 ชั่วโมงจากนั้นจะค่อยๆลดต่ำลงเมื่อเวลาการออกเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Senaratna *et al.* (1985) ที่พบว่ากิจกรรมต้านออกซิเดชันในต้นกล้าถั่วเหลืองที่ออก 6 ชั่วโมงมีกิจกรรมต้านออกซิเดชันสูงสุดหลังจากนั้นกิจกรรมต้านออกซิเดชันมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญอาจถูกดึงนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่มีอายุมากขึ้น

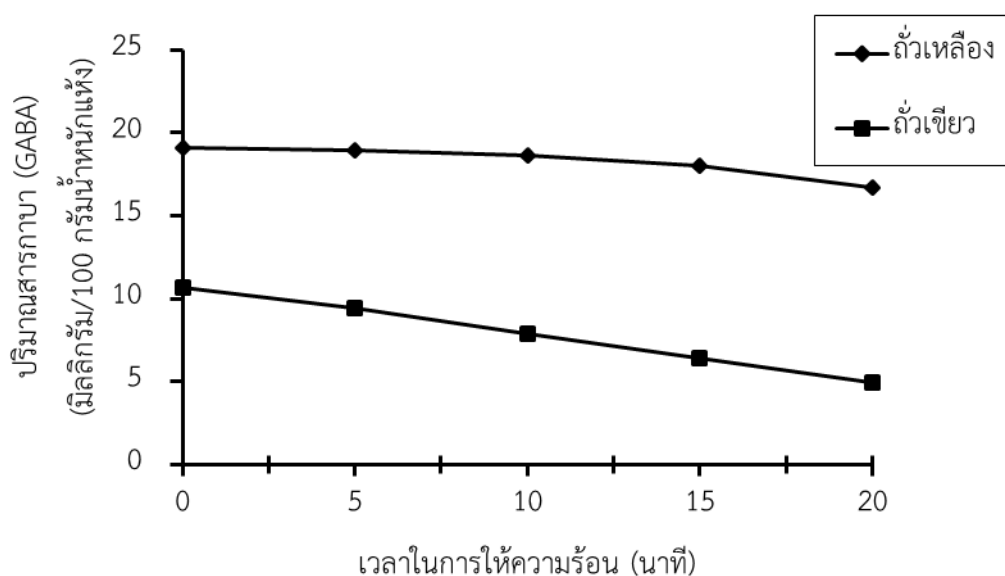
4.4 ผลของกระบวนการแปรรูปได้แก่ การต้มด้วยความร้อนแบบดั้งเดิม กับการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ ต่อปริมาณสารกาบา(GABA), องค์ประกอบทางเคมี, สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

4.4.1 การหุงต้มด้วยความร้อนด้วยวิธีแบบปกติกับการต้มโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟต่อปริมาณสารกาบา(GABA) ของถั่วเหลือง และถั่วเขียว

ตารางที่ 4.12 ผลของการต้มด้วยความร้อนด้วยวิธีต้มแบบปกติของถั่วเหลือง และถั่วเขียว อุณหภูมิ 85°C ที่เวลาต่าง ๆ กันต่อปริมาณสารกาบา(GABA)

ระยะเวลาในการให้ความร้อน (นาที)	สารกาบา (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	
	ถั่วเหลือง*	ถั่วเขียว*
0	19.118±3.28 ^a	10.663±0.67 ^a
5	18.975±2.20 ^b	9.431±1.14 ^b
10	18.631±5.26 ^c	7.850±1.66 ^c
15	17.997±3.59 ^d	6.406±1.40 ^d
20	16.706±3.29 ^e	4.923±3.22 ^e

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



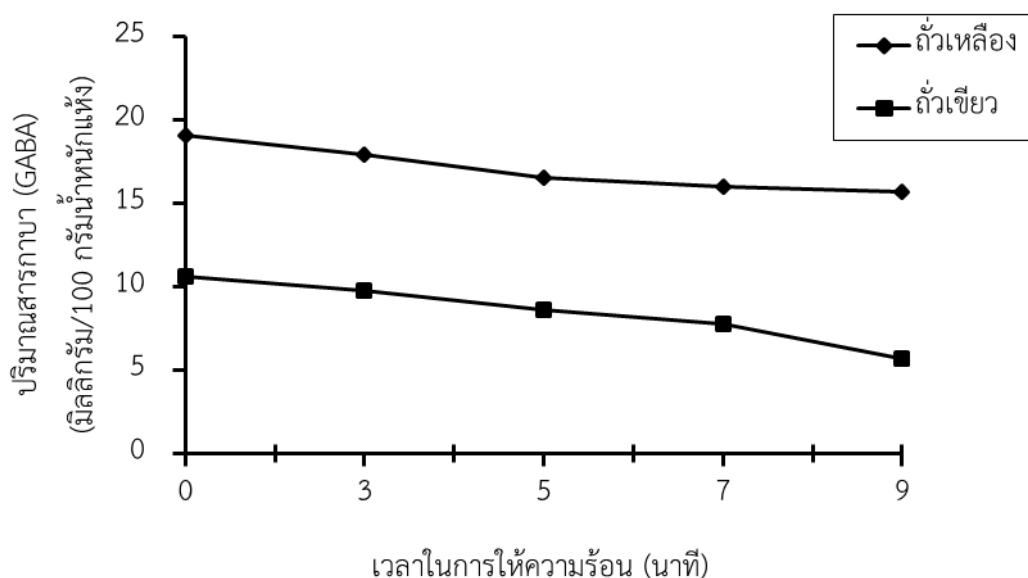
ภาพที่ 4.13 ปริมาณสารกาบาในถั่วเหลือง และถั่วเขียวที่ต้มด้วยความร้อนด้วยวิธีแบบปกติ อุณหภูมิ 85°C ที่เวลาต่างๆ

จากการทดลองความคงตัวต่อความร้อนของสารกาบาและการทดสอบเวลาในการต้มกั่วให้สุกพร้อมบริโภคโดยการต้มกั่วเหลืองอก และกั่วเขียวอกที่ 12 ชั่วโมง ด้วยการต้มแบบปกติในน้ำอุณหภูมิ 85 °ซ เป็นเวลา 0, 5, 10, 15 และ 20 นาที พบว่าความร้อนมีผลต่อปริมาณสารกาบาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาในการหุงต้มด้วยความร้อนแบบปกติ (อุณหภูมิ 85 °ซ) เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารกาบามีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.13 เมื่อเทียบกับกั่วอกที่ไม่ได้ผ่านการหุงต้มกั่วเหลืองอกมีปริมาณสารกาบา เท่ากับ 19.118, 18.975, 18.631, 17.997 และ 16.706 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และกั่วเขียวอกมีปริมาณสารกาบา เท่ากับ 10.663, 9.431, 7.850, 6.406 และ 4.923 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ สารกาบาเป็นสารที่ไม่คงทนต่อความร้อนดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง และเป็นเวลานานขึ้น จึงทำให้สารกาบาสลายไปได้และจะสลายตัวได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลามากขึ้น (วรินทร์ และสุนัน, 2552)

ตารางที่ 4.13 ผลของการต้มด้วยความร้อนจากไมโครเวฟของกั่วเหลือง และกั่วเขียว ที่กำลังไฟ 800 วัตต์ระยะเวลาต่างๆ กันต่อปริมาณสารกาบา (GABA)

ระยะเวลาในการให้ความร้อน (นาที)	สารกาบา (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	
	กั่วเหลือง*	กั่วเขียว*
0	19.118±3.28 ^a	10.663±0.67 ^a
3	17.962±4.00 ^b	9.778±1.34 ^b
5	16.533±2.98 ^c	8.664±2.82 ^c
7	16.001±1.92 ^c	7.809±2.36 ^d
9	15.705±2.36 ^d	5.727±3.47 ^e

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.14 ปริมาณสารกาบาในกล้วยเปลือก และกล้วยเครือ ที่ต้มด้วยความร้อนจากไมโครเวฟ ที่กำลังไฟ 800 วัตต์ที่เวลาต่างๆ

จากการทดลองต้มโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ กำลังไฟ 800 วัตต์ในการต้มกล้วยเปลือกนอก และกล้วยเครือเป็นเวลา 0, 3, 5, 7 และ 9 นาที พบว่าความร้อนมีผลต่อปริมาณสารกาบาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการต้มโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารกาบาลดลงตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับกล้วยนอกที่ไม่ได้ผ่านการต้ม ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.14 โดยพบว่ากล้วยเปลือกนอกมีปริมาณสารกาบา เท่ากับ 19.118, 17.962, 16.533, 16.001 และ 15.705 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และกล้วยเครือก็มีปริมาณสารกาบา เท่ากับ 11.505, 10.663, 9.778, 7.809 และ 5.727 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ผลการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกับ Suchada และ Woattichai (2011) ที่พบว่า สารกาบาจะสลายไปเมื่อใช้ไมโครเวฟกำลังไป 800 วัตต์ (ความร้อนประมาณ 195-210 °ซ) ในการพองข้าวออกด้วยระยะเวลา 110 วินาที โดยก่อนพองข้าวเปลือกมีสารกาบา 276.31 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม คัพพะ และหลังพองคงเหลือสารกาบาเท่ากับ 186.07 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม คัพพะ

จากการทดลองหาความคงตัวของสารกาบาต่อความร้อน และทดสอบเวลาในการหุงต้มให้กล้วยสุกพร้อมบริโภคได้ พบว่ากล้วยที่ต้มด้วยวิธีแบบปกติ น้ำอุณหภูมิ 85 °ซ นาน 20 นาที และการต้มด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ นาน 7 นาที กล้วยจะสุกพร้อมบริโภคได้ ซึ่งพบว่าการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี ทำให้สารกาบาสลายตัวไปบ้างแต่ กล้วยเปลือก และกล้วยเครือที่ ต้มด้วยน้ำอุณหภูมิ 85 °ซ ยังคงมีสารกาบาเท่ากับ 16.706 และ 4.923

มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และการต้มด้วยไมโครเวฟ ถั่วเหลือง และถั่วเขียวมีสารกาบาเท่ากับ 16.00 และ 7.809 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ความร้อนทำให้สารกาบาลดลง ในปริมาณใกล้เคียงกันในถั่วเหลือง แต่ในถั่วเขียวการต้มด้วยไมโครเวฟ สารกาบาจะสลายตัวน้อยกว่าดังนั้นจึงนำถั่วที่หุงต้มแบบปกติใช้อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 20 นาที และต้มด้วยไมโครเวฟกำลังไฟ 800 วัตต์ ใช้เวลา 7 นาที มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี, สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อนำถั่วเหลืองและถั่วเขียวหลังการต้มทั้ง 2 วิธี มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าก่อนต้มและหลังต้มไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) และในกรณีของสารประกอบฟีนอลิก พบว่าถั่วเหลืองเมื่อผ่านการต้มแบบปกติและไมโครเวฟมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง แต่ถั่วเขียวเมื่อผ่านการต้มแบบปกติและไมโครเวฟมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกนี้ สอดคล้องกับ Randhir และ Shetty (2004) ที่พบว่าความร้อนมีผลต่อการสลายพันธะของสารประกอบฟีนอลิกที่จับเกาะบริเวณ membrane ให้หลุดออกมาและนำไปสังเคราะห์เป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดใหม่ เช่น L-DOPA เพื่อช่วยในการต้านออกซิเดชัน ส่วนคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดทั้ง 2 วิธีคือ DPPH และ FRAP พบว่าคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ของทั้งถั่วเหลืองอกและถั่วเขียวอกลดลง อาจเนื่องมาจากความร้อนอาจทำให้คุณสมบัติของสารบางกลุ่มมีโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ที่อยู่ในถั่วเหลืองและมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้เป็นอย่างดี