บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย แบ่งออกเป็น

(1) ปริมาณความชื้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าวของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม

(2) ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องงอก ต่อปริมาณความชื้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าว

(3) ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศของข้าวกล้องงอกต่อปริมาณความชื้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าว

(4) ผลการเปรียบเทียบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าวของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด แบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศที่ผ่านการคัดเลือกกับข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม

(5) ผลการศึกษาคุณภาพหุงสุกของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด แบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศที่ผ่านการคัดเลือกกับข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม

1. ปริมาณความชื้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าวของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม

จากการทดลองได้มีการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 3 เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการเปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งสภาวะต่างๆ ในการทดลองถัดไป ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุมมีปริมาณความชื้น, GABA, δ-tocopherol, γ-tocopherol กิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่นที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS และร้อยละต้นข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข1)

จากตารางที่ 3 พบว่า ข้าวกล้องควบคุมมีปริมาณ GABA คือ 11.40 มิลลิกรัม/100 สูงกว่าข้าวกล้อง คือ 0.53 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ($p\leq0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Moongngarm and Saetung (2010) ได้เปรียบเทียบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวเปลือกงอกและข้าวกล้องงอก โดยใช้ตัวอย่างข้าว 4 ชนิด คือ ข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก ข้าวเปลือกงอกและผงข้าวกล้องงอกสกัดจากการงอกทั้งเปลือก พบว่า ข้าวที่ผ่านการงอกมีปริมาณ GABA, γ-tocopherol และ γ-oryzanol เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรนุช ศรีเจษฎารักษ์ (2551) รายงานว่า ข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณ GABA คือ 9.74 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง มากกว่าข้าวกล้องซึ่งมีปริมาณ GABA คือ 0.33 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งจากตารางที่ 3 ยังพบว่าข้าวกล้องงอกควบคุมมีปริมาณกิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่นที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS คือ 457.10 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูงกว่าข้าวกล้องแต่มีร้อยละต้นข้าวต่ำกว่า (ร้อยละ 55.56) ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 3 ปริมาณความชื้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าวของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและร้อยละต้นข้าว	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอกควบคุม
ความชื้น (ร้อยละ)	9.17±0.12[a]	6.37±0.15[b]
GABA (mg/100g)	0.53±0.09[b]	11.40±0.71[a]
δ-tocopherol (μg/100g)	5.42±1.03[a]	5.16±0.47[b]
γ-tocopherol (μg/100g)	104.28±0.08[b]	106.15±0.05[a]
α-tocopherol[ns] (μg/100g)	443.05±0.56	407.78±0.17
γ-oryzanol[ns] (mg/100g)	19.08±1.03	21.44±2.42
DPPH[ns] (TEAC (μg/g))	317.47±0.02	348.88±0.22
ABTS (TEAC (μg/g))	397.69±0.06[b]	457.10±0.47[a]
ร้อยละต้นข้าว	85.53±0.07[a]	55.56±0.00[b]
ค่าความขาว[ns]	57.59±0.10	59.75±0.03

หมายเหตุ a, b, ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns แสดง ความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องงอก ต่อปริมาณความชื้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าว

2.1 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องงอกต่อปริมาณความชื้น

ผลการอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องงอก ที่อุณหภูมิ 40, 50และ 60°ซ นาน 10, 12 และ 14 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อุณหภูมิและเวลาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณความชื้นของข้าวกล้องงอก (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข2) แต่ปัจจัยหลักทั้งอุณหภูมิและเวลามีผลต่อปริมาณความชื้น ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ความชื้นของข้าวกล้องงอก ที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดอุณหภูมิ 40, 50 และ 60°ซ

อุณหภูมิอบแห้ง	ความชื้น (ร้อยละ)
40°ซ	8.52±0.49[a]
50°ซ	6.52±0.23[b]
60°ซ	4.65±0.25[c]

หมายเหตุ a, b, c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากตารางที่ 4 พบว่า ข้าวกล้องงอกอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ มีความชื้นร้อยละ 4.65 ซึ่งต่ำกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 50°ซ คือ ร้อยละ 8.52 และ 6.52 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข3) และจากตารางที่ 5 พบว่า ข้าวกล้องงอกอบแห้งนาน 14 ชั่วโมงมีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.32 ซึ่งต่ำว่าการอบแห้งนาน 10 ชั่วโมง คือ ร้อย

ละ 6.94 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับการอบแห้งนาน 12 ชั่วโมง คือ ร้อยละ 6.43 ($p > 0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข4) แต่ทุกสภาวะการอบแห้งแบบถาดทำให้ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องงอกสามารถเก็บรักษาได้ คือ มีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ14 และพบว่าที่อุณหภูมิ 40°ซ ที่ใช้เวลาอบแห้งต่างๆ มีปริมาณความชื้นสูงแสดงว่าได้รับความร้อนน้อยกว่าซึ่งจะมีผลทำให้เหลือปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สูงกว่า

ตารางที่ 5 ความชื้นของข้าวกล้องงอก ที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดเป็นระยะเวลา 10, 12 และ 14 ชั่วโมง

เวลาอบแห้ง	ความชื้น (ร้อยละ)
10 ชั่วโมง	6.94 ± 1.89^{a}
12 ชั่วโมง	6.43 ± 1.65^{b}
14 ชั่วโมง	6.32 ± 1.66^{b}

หมายเหตุ a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่เวลาต่างๆ

2.2 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องงอกต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

ผลของการอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องงอก ที่มีต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อุณหภูมิและเวลาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องงอก (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข5) แต่อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณ GABA และ γ-tocopherol ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณ GABA และ γ-tocopherol ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดอุณหภูมิ 40, 50 และ 60°ซ

อุณหภูมิ	ปริมาณ GABA (mg/100g)	ปริมาณ γ-tocopherol (µg/100g)
40°ซ	14.50 ± 0.26^{a}	116.67 ± 0.09^{a}
50°ซ	11.42 ± 0.15^{b}	98.89 ± 0.11^{b}
60°ซ	8.40 ± 1.36^{c}	104.20 ± 0.07^{b}

หมายเหตุ a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากตารางที่ 6 พบว่า การอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 40°ซ มีปริมาณ GABA และ γ-tocopherol 14.50 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง และ 116.67 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงสุด ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข6-ข7) จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่า ปัจจัยร่วมและปัจจัยหลักของอุณหภูมิและเวลาไม่มีผลต่อปริมาณ α-tocopherol, δ-tocopherol, γ-oryzanol และกิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่น ดังแสดงในตารางที่ 7ซึ่งปริมาณ α-tocopherol อยู่ในช่วง 371.24 ถึง 461.64 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณ δ-tocopherol อยู่ในช่วง 4.73 ถึง 7.03 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณ γ-oryzanol อยู่ในช่วง 16.95 ถึง 20.64 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง และกิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่นวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ ABTS อยู่ในช่วง 294.07 ถึง 357.14 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 428.42 ถึง 539.04 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิ	เวลา	α-tocopherol^{ns} (μg/100g)	δ-tocopherol^{ns} (μg/100g)	γ-oryzanol^{ns} (mg/100g)	วิธี DPPH^{ns} (TEAC(μg/g))	วิธี ABTS^{ns} (TEAC(μg/g))
40°ซ	10 ชั่วโมง	389.74±0.13	5.82±0.01	16.95±5.67	357.14±0.02	457.03±0.14
	12 ชั่วโมง	371.24±2.33	4.73±0.77	20.42±0.96	351.45±0.03	453.52±0.12
	14 ชั่วโมง	402.63±0.07	6.22±2.13	19.81±0.89	338.04±0.08	453.95±0.24
50°ซ	10 ชั่วโมง	428.52±1.64	5.30±0.36	19.96±0.67	349.65±0.05	453.95±0.16
	12 ชั่วโมง	410.73±1.34	5.61±0.83	18.90±1.11	356.32±0.05	459.05±0.10
	14 ชั่วโมง	372.10±0.78	5.47±0.59	20.08±1.14	330.58±0.07	463.35±0.08
60°ซ	10 ชั่วโมง	382.19±1.30	5.20±1.06	20.64±2.50	339.16±0.04	465.63±0.08
	12 ชั่วโมง	417.31±0.17	5.79±0.50	19.15±1.77	294.07±0.55	539.04±1.76
	14 ชั่วโมง	461.64±0.52	7.08±0.20	18.37±0.85	348.33±0.02	428.42±0.33

หมายเหตุ ns แสดง ความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

TEAC แสดง trolox equivalent antioxidant capacity

2.3 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องงอกต่อคุณภาพข้าว

ผลของการอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องงอกที่มีต่อคุณภาพของข้าว (ร้อยละต้นข้าวและค่าความขาว) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อุณหภูมิและเวลาไม่มีอิทธิพลร่วมต่อคุณภาพข้าว (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข8) แต่ปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิมีผลต่อร้อยละต้นข้าวและค่าความขาวดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°ซ ข้าวกล้องงอกมีร้อยละต้นข้าวสูงที่สุด คือ ร้อยละ 71.50 ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิ 50 และ 60°ซ คือ ร้อยละ 53.71 และ 67.50 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข9) ค่าความขาวของข้าวกล้องงอก พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ มีค่าความขาวสูงที่สุด คือ 59.77 ซึ่งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°ซ คือ 58.90 แต่ไม่แตกต่างกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°ซ คือ 59.70 ($p>0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข10) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaiboon and others (2009) รายงานว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ค่าความขาวของข้าวเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้น้ำภายใน

โครงสร้างระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งเมล็ดข้าวมีลักษณะเป็นรูพรุนเมื่อน้ำระเหยออกจากโครงสร้างทำให้อากาศเข้ามาแทรกในโครงสร้างดังนั้นข้าวจึงมีความขาวเพิ่มขึ้นเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น

ตารางที่ 8 ร้อยละต้นข้าวและค่าความขาวของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดอุณหภูมิ 40, 50 และ 60°ซ

อุณหภูมิ	ร้อยละต้นข้าว	ค่าความขาว
40°ซ	71.50 ± 0.26^{a}	58.90 ± 0.04^{b}
50°ซ	53.71 ± 0.20^{c}	59.70 ± 0.06^{a}
60°ซ	67.50 ± 0.13^{b}	59.77 ± 0.07^{a}

หมายเหตุ a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ที่อุณหภูมิต่างๆ

นอกจากนี้ปัจจัยหลัก คือ เวลาในการอบแห้งมีผลต่อค่าความขาวของข้าวกล้องงอก ดังแสดงในตารางที่ 9 โดยการอบแห้งนาน 12 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกมีค่าความขาวสูงที่สุด คือ 59.87 ซึ่งสูงกว่าการอบแห้งนาน 10 ชั่วโมง คือ 59.11 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับเวลาอบนาน 14 ชั่วโมง คือ 59.40 ($p>0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข11)

ตารางที่ 9 ค่าความขาวของข้าวกล้องงอก ที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดเป็นระยะเวลา 10, 12 และ 14 ชั่วโมง

เวลาอบแห้ง	ค่าความขาว
10 ชั่วโมง	59.11 ± 0.08^{b}
12 ชั่วโมง	59.87 ± 0.05^{a}
14 ชั่วโมง	59.40 ± 0.07^{ab}

หมายเหตุ a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการอบแห้งแบบถาดได้คัดเลือกข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°ซ นาน 10 ชั่วโมง เนื่องจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°ซ มีปริมาณ GABA, γ-tocopherol และร้อยละต้นข้าวสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิอื่น และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°ซ ระยะเวลาในการอบแห้งไม่มีผลต่อปริมาณ GABA ดังนั้นจึงคัดเลือกระยะเวลาในการอบแห้งอบนาน 10 ชั่วโมง เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิต

3. ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศของข้าวกล้องงอกต่อปริมาณความชื้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าว

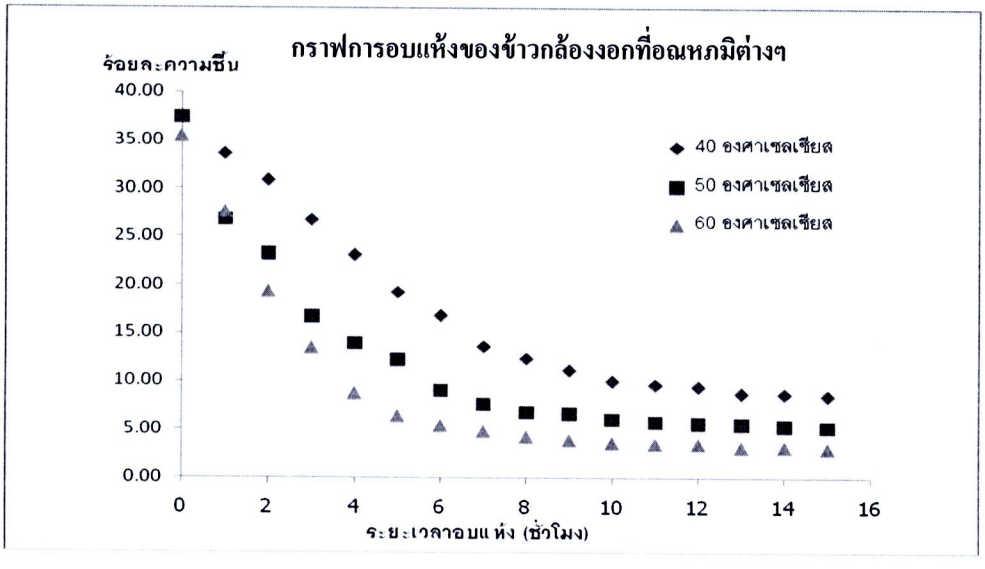
3.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอก เพื่อหาความชื้นของข้าวกล้องงอกให้ได้ร้อยละ 14, 16 และ 18 ก่อนนำมาเก็บในที่อับอากาศ

เพื่อหาระยะเวลาอบแห้งที่ทำให้ข้าวกล้องงอกมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14, 16 และ 18 จึงได้ศึกษาการลดลงของความชื้นที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°ซ ที่ระยะเวลา 0-15 ชั่วโมง กราฟการอบแห้งของข้าวกล้องงอกดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่า ที่เวลาอบแห้งเท่ากัน การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงความชื้นของข้าวกล้องงอกลดลงเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำกว่า เป็นผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้นมีค่ามากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงทำให้น้ำภายในโครงสร้างระเหยออกมาเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า (อนุชา ใจกล้า 2549)

จากการทดลองการอบแห้งแบบถาดจากข้อ 2.1 ได้คัดเลือกอุณหภูมิอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องงอก คือ อุณหภูมิ 40°ซ เพื่อนำมาร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ โดยพบว่า สมการการอบแห้งที่ 40°ซ ในช่วงเวลา 0-7 ชั่วโมง (ภาพที่ 7) คือ $y = -3.446x + 37.269$ มีค่า $R^2 = 0.997$ จากสมการทำให้ทราบระยะเวลาในการอบแห้งที่ทำให้ได้ร้อยละความชื้น ดังนี้

ความชื้นร้อยละ 14 ต้องใช้เวลาอบแห้งนาน 6 ชั่วโมง 45 นาที
ความชื้นร้อยละ 16 ต้องใช้เวลาอบแห้งนาน 6 ชั่วโมง 10 นาที
ความชื้นร้อยละ 18 ต้องใช้เวลาอบแห้งนาน 5 ชั่วโมง 36 นาที

เมื่อได้ความชื้นของข้าวกล้องงอกร้อยละ 14, 16 และ 18 แล้วนำข้าวกล้องงอกมาเก็บในที่อับอากาศ ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ เพื่อนำตัวอย่างไปศึกษาต่อไป



ภาพที่ 7 กราฟการอบแห้งของข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิต่างๆ

3.2 ผลการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศของข้าวกล้องงอกต่อปริมาณความชื้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าว

การทดลองส่วนนี้ได้ศึกษาการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บที่อับอากาศของข้าวกล้องงอกที่มีต่อปริมาณความชื้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าว โดยสนใจศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย ได้แก่

1) ความชื้นเริ่มต้นของข้าวกล้องงอก ได้แก่ ร้อยละ 14, 16 และ 18

2) อุณหภูมิเก็บในที่อับอากาศ ได้แก่ 40 และ 50°ซ

3) ระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศ ได้แก่ 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที

จากการทดลองพบว่าอิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณกิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่นที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS ความชื้นสุดท้ายและร้อยละต้นข้าว ดังแสดงในตารางที่ 10 (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข12)

กิจกรรมสารต้านออกซิเดชันวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS จากการทดลองพบว่าอิทธิพลร่วมทั้ง3 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้นของข้าวกล้องงอก อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณ Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) ของข้าวกล้องงอกที่วัดด้วยวิธี ABTS (ตารางที่ 10) พบว่า ข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ18 มีปริมาณ TEAC มากกว่าข้าวที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ14 และ 16 โดยการเก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 50°ซ ข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ18 มีปริมาณ TEAC สูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 40°ซ ซึ่งเวลาเก็บนาน 60 นาทีมีปริมาณ TEAC สูงที่สุด (412.50 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง) แต่ไม่แตกต่างกับการเก็บนาน 0, 30 และ 90 นาที ที่อุณหภูมิเก็บที่ 50°ซ ($p>0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข13)

ร้อยละต้นข้าว (Head rice yield) จากการทดลองพบว่า อิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้นของข้าวกล้องงอก อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศมีอิทธิพลร่วมต่อร้อยละต้นข้าว (ตารางที่ 10) พบว่าระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศนานขึ้นมีแนวโน้มให้ร้อยละต้นข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากความเข้มข้นของของเหลวภายในเมล็ดเกิดการแพร่จนเท่ากันทั้งเมล็ด เป็นผลทำให้ของเหลวภายในเมล็ดค่อยๆแพร่กระจายจนทั่วทั้งเมล็ด เมล็ดจึงเกิดความเครียดน้อยส่งผลให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดปริมาณสูง (Steffe and Singh 1980 อ้างถึงใน อนุชา ใจกล้า 2549) นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิสูงเป็นผลทำให้ร้อยละต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้นเพราะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเมล็ดกับอุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดต่ำ และพบว่าข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ18 ร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40°ซ นาน 30 นาทีมีร้อยละต้นข้าวสูงที่สุด(ร้อยละ 86.53) แต่ไม่แตกต่างกับการเก็บที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ นาน 90 นาที ที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน คือร้อยละ 18 ($p>0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข14) (ตารางที่ 10)

ความชื้นสุดท้าย จากการทดลองพบว่า อิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิเก็บในที่อับอากาศและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศ มีอิทธิพลร่วมต่อความชื้นสุดท้ายของข้าวกล้องงอก ดังแสดงในตารางที่ 10 (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข15) โดยความชื้นสุดท้ายของข้าวกล้องงอกทุกสภาวะสามารถเก็บรักษาได้เนื่องจากทุกสภาวะมีความชื้นไม่เกินร้อยละ14

ตารางที่ 10 ปริมาณกิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่นวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS ความชื้นสุดท้ายและร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและเวลาในการเก็บในที่อับอากาศสภาวะต่างๆ

ความชื้นเริ่มต้น	อุณหภูมิอับอากาศ(°ซ)	เวลาเก็บอับอากาศ(นาที)	วิธี ABTS TEAC (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)	ร้อยละต้นข้าว	ความชื้นสุดท้าย
14%	40	0	325.06±0.05^{g}	69.02±1.57^{jkl}	5.14±0.09^{o}
		30	387.40±0.00^{abcdef}	75.59±3.43^{efghi}	6.15±0.21^{lmn}
		60	367.10±0.09^{ef}	77.06±1.05^{defgh}	5.69±0.12^{no}
		90	363.93±0.03^{f}	81.49±0.54^{abcde}	5.85±0.03^{mn}
		120	364.99±0.05^{f}	77.20±2.34^{defgh}	5.03±0.09o
	50	0	381.99±0.28^{bcdef}	76.33±1.80^{efgh}	7.19±0.08^{fghij}
		30	375.12±0.08de^{f}	82.90±0.54^{abcd}	7.55±0.22^{defg}
		60	411.73±0.04^{a}	81.59±0.72^{abcde}	8.70±0.45^{b}
		90	396.87±0.19^{abcd}	83.64±0.12^{abc}	8.41±0.38b^{c}
		120	387.12±0.07^{abcdef}	83.06±0.38^{abcd}	7.30±0.13^{fghi}
16%	40	0	366.82±0.18^{ef}	67.04±5.57^{kl}	6.38±0.02^{klm}
		30	366.22±0.01^{f}	72.07±1.46^{hijkl}	6.88±0.12^{ghijk}
		60	368.87±0.17^{ef}	74.51±2.31^{fghij}	7.16±0.57^{fghij}
		90	367.84±0.21^{ef}	69.95±5.41^{ijkl}	6.92±0.33^{ghijk}
		120	374.94±0.09^{def}	68.44±4.87^{jkl}	6.66±0.61^{ijkl}
	50	0	381.51±0.02^{bcdef}	66.49±0.39^{l}	7.41±0.49^{efgh}
		30	380.30±0.02^{cdef}	72.89±7.15^{ghijk}	5.94±0.59^{mn}
		60	382.02±0.03^{bcdef}	75.41±0.64^{efghi}	6.82±0.28^{hijkl}
		90	373.81±0.03^{def}	77.74±0.35^{cdefgh}	7.06±0.43^{fghijk}
		120	387.05±0.00^{abcdef}	85.08±2.68^{ab}	5.66±0.19^{no}
18%	40	0	383.10±0.04^{bcdef}	85.12±2.46^{ab}	7.56±0.04^{defg}
		30	387.69±0.09^{abcdef}	86.53±0.84^{a}	8.01±0.21^{cde}
		60	408.02±0.24^{ab}	84.26±0.18^{ab}	7.71±0.02^{def}
		90	393.93±0.01^{abcde}	84.39±0.58^{ab}	8.39±0.14^{bc}
		120	383.14±0.12^{bcdef}	82.78±0.82^{abcd}	9.42±0.09^{a}
	50	0	405.61±0.06^{abc}	78.76±0.59^{bcdefg}	8.55±0.46^{bc}
		30	408.07±0.16^{ab}	77.12±1.11^{defgh}	8.23±0.15^{bcd}
		60	412.50±0.01^{a}	79.57±3.11^{bcdef}	7.40±0.42^{efgh}
		90	390.99±0.06^{abcdef}	86.15±1.42^{a}	7.42±0.02^{efgh}
		120	380.52±0.00^{cdef}	84.61±3.61^{ab}	6.51±0.16^{jklm}

หมายเหตุ a, b,.. ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

พิจารณาอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยและปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพของข้าวดังต่อไปนี้

GABA จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข16) พบว่า อิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศไม่มีผลต่อปริมาณ GABA แต่อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิเก็บในที่อับอากาศ มีผลต่อปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอก (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข17) ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14, 16 และ 18 เก็บในที่อับอากาศ อุณหภูมิ 40 และ 50°ซ

อุณหภูมิอับอากาศ	ความชื้นเริ่มต้น	GABA(มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)
40°ซ	14%	7.35 ± 0.79^{d}
	16%	10.67 ± 0.10^{a}
	18%	8.36 ± 1.34^{c}
50°ซ	14%	5.88 ± 0.73^{e}
	16%	10.02 ± 0.13^{ab}
	18%	9.64 ± 1.05^{b}

หมายเหตุ a, b, c, d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ปริมาณ GABA ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 11 ซึ่งแสดงปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14, 16 และ18 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40 และ 50°ซ พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 16 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40°ซ มีปริมาณ GABA สูงสุด คือ 10.67 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14 ทั้งที่เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40 และ 50°ซ คือ 7.35 และ 5.88 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ($p\leq0.05$) ตามลำดับ (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข18) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14 ผ่านการอบแห้งเป็นเวลานานจึงทำให้สูญเสีย GABA มากกว่าข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 16 และ 18 ซึ่งใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่า

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมและอิทธิพลหลักของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศ พบว่า ไม่มีผลต่อปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอก (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข19) ดังแสดงในตารางที่ 12 ซึ่งพบว่า ข้าวกล้องงอกเก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40 และ 50°ซ ที่ระยะเวลาต่างๆมีปริมาณ GABA อยู่ในช่วง 7.01 ถึง 11.82 และ 4.85 ถึง 11.61 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกที่เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40 และ 50°ซ นาน 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที ที่มีความชื้นเริ่มต้นต่างๆ

อุณหภูมิอับอากาศ	เวลาเก็บอับอากาศ	GABA (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)		
		ความชื้นเริ่มต้น		
		14%^{ns}	16%^{ns}	18%^{ns}
40°ซ	0 นาที	7.57±1.04	10.98±0.25	9.19±0.76
	30 นาที	7.63±0.04	11.82±1.08	9.58±0.08
	60 นาที	7.31±0.75	10.01±0.15	7.87±2.71
	90 นาที	7.21±0.42	10.29±0.33	7.14±0.01
	120 นาที	7.01±1.82	10.28±1.57	8.02±0.20
50°ซ	0 นาที	6.12±0.59	11.61±0.66	8.82±0.18
	30 นาที	4.85±1.09	9.56±0.30	9.22±0.74
	60 นาที	5.98±0.70	9.47±1.75	9.94±0.78
	90 นาที	6.22±0.04	10.46±1.43	11.06±0.45
	120 นาที	6.25±0.14	8.98±0.45	9.18±1.48

หมายเหตุ ns แสดง ความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

อนุพันธ์ต่างๆ ของวิตามินอี (tocopherol)

δ-tocopherol จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศไม่มีผลต่อปริมาณ δ-tocopherol เมื่อพิจารณาปัจจัยความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิเก็บในที่อับอากาศ พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณ δ-tocopherol (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข 20) ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 16 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40°ซ มีปริมาณ δ-tocopherol สูงสุด คือ 3.94 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง แต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 16 และ 18 ที่เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ คือ 3.80 และ 3.58 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ($p\leq0.05$) ตามลำดับ (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข21)

γ-tocopherol จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศไม่มีผลต่อปริมาณ γ-tocopherol เมื่อพิจารณาปัจจัยความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิเก็บในที่อับอากาศ พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณ γ-tocopherol (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข 22) (ตารางที่ 13) โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 16 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ มีปริมาณ δ-tocopherol สูงสุด คือ 105.99 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าสภาวะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข23)

ตารางที่ 13 ปริมาณ δ-tocopherol, γ-tocopherol และ α-tocopherol ของข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14, 16 และ 18 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40 และ 50°ซ

อุณหภูมิอับอากาศ	ความชื้นเริ่มต้น	δ-tocopherol (ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	γ-tocopherol (ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	α-tocopherol (ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)
40°ซ	14%	3.24 ± 0.28^{cd}	98.13 ± 0.44^{b}	444.28 ± 0.24^{a}
	16%	3.94 ± 0.58^{a}	89.02 ± 0.45^{c}	286.42 ± 0.47^{c}
	18%	3.01 ± 0.34^{d}	80.53 ± 0.41^{d}	385.63 ± 0.52^{b}
50°ซ	14%	3.53 ± 0.26^{bc}	$93.39\pm0.11b^{c}$	454.96 ± 0.44^{a}
	16%	3.80 ± 0.43^{ab}	105.99 ± 0.09^{a}	398.39 ± 0.55^{b}
	18%	3.58 ± 0.41^{abc}	98.06 ± 0.97^{b}	459.76 ± 0.45^{a}

หมายเหตุ a, b, c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

α-tocopherol จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศไม่มีผลต่อปริมาณ α-tocopherol เมื่อพิจารณาปัจจัยความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิเก็บในที่อับอากาศ พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณ α-tocopherol (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข 24) (ตารางที่ 13) โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 18 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ มีปริมาณ α-tocopherol สูงสุด คือ 459.76 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง แต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40 และ 50°ซ คือ 444.28 และ454.96 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ($p\leq0.05$) ตามลำดับ (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข25)

γ-oryzanol จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศไม่มีผลต่อปริมาณ γ-oryzanol และอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ไม่มีผลต่อปริมาณ γ-oryzanol เช่นกัน แต่อิทธิพลหลัก คือ อุณหภูมิเก็บในที่อับอากาศมีผลต่อปริมาณ γ-oryzanol (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข26) ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด การเก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ มีปริมาณ γ-oryzanol 21.44 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง สูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 40 °ซ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 14 ปริมาณ γ-oryzanol ของข้าวกล้องงอกที่เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40 และ 50°ซ

อุณหภูมิอับอากาศ	γ-oryzanol (มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)
40°ซ	20.54 ± 0.14^{b}
50°ซ	21.44 ± 0.20^{a}

หมายเหตุ a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

กิจกรรมสารต้านออกซิเดชันวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศไม่มีผลต่อปริมาณ TEAC ของข้าวกล้องงอกที่วัดด้วยวิธี DPPH เมื่อพิจารณาปัจจัยความชื้นเริ่มต้นและอุณหภูมิเก็บในที่อับอากาศ พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณ TEAC (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข27) ดังแสดงในตารางที่ 15 โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ มีปริมาณ TEAC สูงสุด คือ 370.78 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง แต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิเดียวกัน คือ 362.33 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข28)

ตารางที่ 15 ปริมาณ Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ของข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14, 16 และ 18 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40 และ 50°ซ

อุณหภูมิอับอากาศ	ความชื้นเริ่มต้น	TEAC (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)
40°ซ	14%	339.54 ± 0.13^{d}
	16%	346.19 ± 0.12^{cd}
	18%	353.38 ± 0.12^{bc}
50°ซ	14%	370.78 ± 0.15^{a}
	16%	336.59 ± 0.12^{d}
	18%	362.33 ± 0.08^{ab}

หมายเหตุ a, b, c, d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความขาว (whiteness, WI) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศไม่มีผลต่อค่าความขาว แต่อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย คือ ความชื้นเริ่มต้นกับอุณหภูมิอับอากาศ ความชื้นเริ่มต้นกับเวลาอับอากาศ และอุณหภูมิกับเวลาอับอากาศ มีผลต่อค่าความขาว (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข29)

พิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นเริ่มต้นกับอุณหภูมิอับอากาศ พบว่า มีผลต่อค่าความขาว (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข30) ดังแสดงในตารางที่ 16 โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40°ซ มีค่าความขาว สูงสุด คือ 58.43 แต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14 และ 18 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ คือ 58.29 และ 57.88 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข31)

ตารางที่ 16 ค่าความขาวของข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14, 16 และ 18 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40 และ 50°ซ

อุณหภูมิอับอากาศ	ความชื้นเริ่มต้น	ค่าความขาว
40°ซ	14%	58.43 ± 0.06^{a}
	16%	57.75 ± 0.06^{bc}
	18%	55.59 ± 0.07^{d}
50°ซ	14%	58.29 ± 0.05^{ab}
	16%	57.52 ± 0.09^{c}
	18%	57.88 ± 0.05^{abc}

หมายเหตุ a, b, c, d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

พิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นเริ่มต้นกับเวลาอับอากาศ พบว่า ไม่มีผลต่อค่าความขาว แต่อิทธิพลหลัก คือ ความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อค่าความขาว (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข32) ดังแสดงในตารางที่ 17 พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14 มีค่าความขาวสูงสุด คือ 58.36 ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 16 และ 18 คือ 57.68 และ 56.73 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข33) โดยค่าความขาวของข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นเริ่มต้นลดลงทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นต่ำใช้เวลาในการอบแห้งนาน ดังนั้นจึงทำให้น้ำที่อยู่ภายในโครงสร้างของเมล็ดข้าวระเหยออกไปมากกว่าการใช้เวลาอบแห้งน้อย โดยระเหยออกจากโครงสร้างทำให้อากาศเข้ามาแทรกในโครงสร้างข้าวจึงมีความขาวเพิ่มขึ้น (Jaiboon and others 2009)

ตารางที่ 17 ค่าความขาวของข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14, 16 และ 18

ความชื้นเริ่มต้น(ร้อยละ)	ค่าความขาว
14	58.36 ± 0.05^{a}
16	57.68 ± 0.08^{b}
18	56.73 ± 0.13^{c}

หมายเหตุ a, b, c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

พิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศพบว่า ไม่มีมีผลต่อค่าความขาว แต่อิทธิพลหลัก คือ อุณหภูมิอับอากาศมีผลต่อค่าความขาว (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข34) ดังแสดงในตารางที่ 18 พบว่า ข้าวกล้องงอกที่เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ มีค่าความขาว 57.90 สูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 40°ซ คือ 57.26 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 18 ค่าความขาวของข้าวกล้องงอกที่เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 40 และ 50°ซ

อุณหภูมิอับอากาศ	ค่าความขาว
40°ซ	57.26 ± 0.14^{b}
50°ซ	57.90 ± 0.07^{a}

หมายเหตุ a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองจะทราบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ ได้คัดเลือกข้าวกล้องงอก 5 สภาวะ โดยพิจารณาปริมาณ GABA สูงเป็นเกณฑ์หลัก นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องงอกทั้ง 5 สภาวะมีปริมาณ δ-tocopherol สูง ดังแสดงในตารางที่ 19 พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศทั้ง 5 สภาวะมีปริมาณ α-tocopherol และร้อยละต้นข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข35) โดยข้าวกล้องงอกความชื้นเริ่มต้นร้อยละ18 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ นาน 90 นาทีมีปริมาณ α-tocopherol (447.36 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง) และร้อยละต้นข้าว (86.15) สูงที่สุด (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข36-ข37) ส่วนปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ และค่าความขาวนั้นไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ดังนั้นได้คัดเลือกข้าวสภาวะดังกล่าวแล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาด ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุมต่อไป

ตารางที่ 19 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพของข้าวของกล้องงอกที่ผ่านการคัดเลือกทั้ง 5 สภาวะ

สภาวะ	GABA^{ns} (mg/100g)	δ-tocopherol^{ns} (µg/100g)	γ-tocopherol^{ns} (µg/100g)	α-tocopherol (µg/100g)	γ-oryzanol^{ns} (mg/100g)	DPPH^{ns} (µg/g)	ABTS^{ns} (µg/g)	ร้อยละต้นข้าว	ค่าความขาว^{ns}
ความชื้นเริ่มต้น 16% อุณหภูมิ 40°ซ 0 นาที	10.98±0.25	3.93±0.31	85.65±4.21	267.96±0.57^{b}	18.58±1.22	349.92±0.12	366.82±0.18	67.04±5.57^{c}	58.27±0.04
ความชื้นเริ่มต้น 16% อุณหภูมิ 40°ซ 30 นาที	11.82±1.08	4.79±0.56	89.43±0.70	232.37±0.16^{b}	22.24±0.93	333.10±0.06	366.22±0.01	72.07±1.46^{bc}	57.28±0.87
ความชื้นเริ่มต้น 16% อุณหภูมิ 50°ซ 0 นาที	11.61±0.66	4.37±0.11	108.53±6.89	407.16±0.07^{a}	22.45±0.98	343.31±0.16	381.51±0.02	66.49±0.39^{c}	57.61±0.14
ความชื้นเริ่มต้น 16% อุณหภูมิ 40°ซ 90 นาที	10.46±1.43	3.62±0.43	108.27±0.13	415.64±0.79^{a}	20.36±3.80	347.90±0.06	373.81±0.03	77.74±0.35^{b}	57.15±1.25
ความชื้นเริ่มต้น 18% อุณหภูมิ 50°ซ 90 นาที	11.06±0.45	4.01±0.44	102.51±0.16	447.36±0.45^{a}	21.34±2.45	370.22±0.13	390.99±0.06	86.15±1.42^{a}	57.76±0.68

หมายเหตุ a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดงถึง ความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

4. ผลการเปรียบเทียบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าวของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด แบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศที่ผ่านการคัดเลือก กับข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม

เมื่อนำข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด (ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 40°ซ นาน 10 ชั่วโมง) แบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ (ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ18 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ นาน 90 นาที) ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม (ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 15 ชั่วโมง) มาเปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและร้อยละต้นข้าว ดังแสดงในตารางที่ 20 พบว่า ข้าวทั้ง 4 ตัวอย่างมีปริมาณ GABA และร้อยละต้นข้าวแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข38) โดยข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศมีร้อยละต้นข้าวสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้อง ($p>0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข39) และมีปริมาณ GABA สูงแต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่อบแบบถาดและข้าวกล้องงอกควบคุม ($p>0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข40)

ตารางที่ 20 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพของข้าวกล้องงอกที่อบแห้งแบบถาด แบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและร้อยละต้นข้าว	ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาด	ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดร่วมกับอับอากาศ	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอกควบคุม
GABA (mg/100g)	12.15±2.37[a]	11.06±0.45[a]	0.53±0.09[b]	11.40±0.71[a]
δ-tocopherol[ns] (μg/100g)	5.82±0.01	4.01±0.44	5.42±1.03	5.16±0.47
γ-tocopherol[ns] (μg/100g)	116.71±0.05	102.51±0.16	104.28±0.08	106.15±0.05
α-tocopherol[ns] (μg/100g)	389.74±0.13	447.36±0.45	443.05±0.56	407.78±0.17
γ-oryzanol[ns] (mg/100g)	16.95±5.67	21.34±2.45	19.08±1.03	21.44±2.42
DPPH TEAC[ns] (μg/g)	357.14±0.02	370.22±0.13	317.47±0.02	348.88±0.22
ABTS TEAC[ns] (μg/g)	457.03±0.14	390.99±0.06	397.69±0.06	457.10±0.47
ร้อยละต้นข้าว	72.65±0.15[b]	86.15±1.42[a]	85.53±0.07[a]	55.56±0.00[c]

หมายเหตุ a, b, c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns แสดง ความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

กระบวนการงอกข้าวทำให้เกิดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงขึ้น ภายหลังจากการงอกข้าวมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงมีกระบวนการอบแห้งเพื่อลดความชื้นของข้าวลง เพื่อทำให้เก็บรักษาข้าวได้นานยิ่งขึ้น จากงานวิจัยได้ศึกษาผลของการอบแห้งที่มีต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าว พบว่า ข้าวกล้องงอกอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°ซ นาน 10 ชั่วโมง มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าวมากกว่าสภาวะอื่นๆ แต่มีร้อยละต้นข้าวไม่สูง จึงมีการนำข้าวกล้องงอกภายหลังจากการอบแห้งมาเก็บในที่อับอากาศ พบว่า ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 40°ซ จนเหลือความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 18 เก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 90 นาที ทำให้ข้าวกล้องงอกมีร้อยละต้นข้าวสูงขึ้นและยังคงมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพไม่แตกต่างจากข้าวกล้องงอกที่อบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 40°ซ นาน 10 ชั่วโมง และข้าวกล้องงอกควบคุม

5. ผลการศึกษาคุณภาพหุงสุกของข้าวกล้องงอกที่คัดเลือกทั้ง 2 สภาวะ (แบบถาดและแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ) ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้คัดเลือกข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด (อุณหภูมิ 40°ซ นาน 10 ชั่วโมง) และแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ (อบแห้งแบบถาดอุณหภูมิ 40°ซ จนเหลือความชื้นเริ่มต้นร้อยละ18 เก็บในที่อับอากาศอุณหภูมิ 50°ซ นาน 90 นาที) ที่คงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณภาพข้าวในปริมาณสูง โดยนำมาเปรียบเทียบกับข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม (อุณหภูมิ 50°ซ นาน 15 ชั่วโมง) นอกจากนี้นำมาศึกษาคุณภาพหุงสุกของข้าวกล้องงอกที่คัดเลือกโดยแบ่งเป็นการประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งเปรียบเทียบกับข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม

5.1 การประเมินคุณภาพทางกายภาพ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข41) พบว่า

5.1.1 ระยะเวลาในการหุงสุก

ข้าวที่มีระยะเวลาในการหุงสุกมากที่สุดคือ ข้าวกล้อง (46 นาที) รองลงมาคือ ข้าวกล้องงอกที่อบแห้งแบบถาด (43 นาที) ข้าวกล้องงอกควบคุม (42 นาที) และข้าวกล้องงอกที่อบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ (39.75 นาที) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 21 (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข42) ผลการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศส่งผลให้ความชื้นภายในเมล็ดระเหยออกทั่วทั้งเมล็ด ทำให้เม็ดสตาร์ชกระจายออกอย่างสม่ำเสมอจึงดูดน้ำเข้าไปได้เร็วขึ้นจึงส่งผลให้ระยะเวลาในการหุงสุกเร็วขึ้น และมีการเกิดเจลาทิไนส์ของเม็ดสตาร์ชบางส่วนในระหว่างการเก็บในที่อับอากาศ (อนุชา ใจกล้า 2549)

5.1.2 อัตราส่วนการอุ้มน้ำของข้าวสุก

อัตราส่วนการอุ้มน้ำของข้าวสุก พบว่า ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ มีอัตราส่วนการอุ้มน้ำสูงที่สุด (1.68) ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาด ข้าวกล้องงอกควบคุม และข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดมีอัตราส่วนการอุ้มน้ำไม่แตกต่างจากข้าวกล้องงอกควบคุม ($p>0.05$) ส่วนข้าวกล้องมีอัตราส่วนการอุ้มน้ำต่ำที่สุด (1.41) ดังแสดงในตารางที่ 21 (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข43) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อนุชา ใจกล้า(2549) ได้ทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศของข้าว 2 สายพันธุ์ (สุพรรณบุรี 1 และขาวดอก

มะลิ 105) พบว่า การเก็บในที่อับอากาศของข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากันและใช้อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน มีแนวโน้มว่าการเก็บในที่อับอากาศเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้การอุ้มน้ำของข้าวสุกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลานานทำให้เม็ดสตาร์ชกระจายออกอย่างสม่ำเสมอ เมื่อนำไปหุงสุกเมล็ดข้าวจะอุ้มน้ำได้มากขึ้น

5.1.3 อัตราการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าว

อัตราการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าว พบว่า ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศมีอัตราส่วนการการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าวสูงที่สุด (2.04) ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาด ข้าวกล้องงอกควบคุมและข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดมีอัตราส่วนการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าว คือ 1.89 ไม่แตกต่างจากข้าวกล้องงอกควบคุม คือ 1.88 ($p>0.05$) ส่วนข้าวกล้องมีอัตราส่วนการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าวต่ำที่สุด คือ 1.72 ดังแสดงในตารางที่ 21 (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข44)

ตารางที่ 21 คุณสมบัติด้านการหุงสุกของข้าวกล้องงอกที่อบแห้งแบบถาด แบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม

คุณสมบัติด้านการหุงสุก	ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาด	ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดร่วมกับอับอากาศ	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอกควบคุม
ระยะเวลาหุงสุก (นาที)	43.00 ± 1.41^{ab}	39.75 ± 1.06^{c}	46.00 ± 1.41^{a}	42.00 ± 0.00^{bc}
อัตราส่วนการอุ้มน้ำของข้าวสุก	1.59 ± 0.03^{b}	1.68 ± 0.02^{a}	1.41 ± 0.04^{c}	1.52 ± 0.03^{b}
อัตราการขยายปริมาตร	1.89 ± 0.01^{b}	2.04 ± 0.01^{a}	1.72 ± 0.01^{c}	1.88 ± 0.00^{b}
ปริมาณของแข็งที่สูญเสีย	0.5960 ± 0.0085^{b}	0.5810 ± 0.0042^{c}	0.6470 ± 0.0042^{a}	0.5995 ± 0.0021^{b}
อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว	1.0913 ± 0.0000^{d}	1.1083 ± 0.0007^{a}	1.0954 ± 0.0004^{c}	1.0978 ± 0.0001^{b}
ความแข็ง (นิวตัน)	6353.53 ± 0.76^{ab}	5776.03 ± 0.37^{b}	6617.72 ± 0.82^{a}	6098.94 ± 0.62^{ab}
ความเหนียว^{ns} (นิวตัน)	561.80 ± 0.63	601.20 ± 0.75	553.89 ± 0.46	545.23 ± 0.52

หมายเหตุ a, b, c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5.1.4 ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการหุงสุก

ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการหุงสุกของข้าวทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่า ข้าวกล้องมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการหุงสุกสูงที่สุด คือ ร้อยละ 0.6470 ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องงอกควบคุม ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดและแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องงอกควบคุมมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการหุงสุก คือ ร้อยละ 0.5995 ไม่แตกต่างจากข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาด คือ ร้อยละ 0.5960 ส่วนข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการหุงสุกน้อยที่สุด คือ ร้อยละ0.5810 ดังแสดงในตารางที่ 21 (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข 45) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อนุชา ใจกล้า (2549) ที่พบว่า การเก็บในที่อับอากาศส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำข้าวสุกลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่มีการเก็บในที่อับอากาศ

5.1.5 การยืดตัวของเมล็ดข้าว

ข้าวที่มีการยืดตัวมากที่สุด คือ ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ คือ 1.1083 ซึ่งมากกว่าข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาด ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุมที่มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว 1.0912, 1.0953 และ 1.0978 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 21 (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข 46) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอนุชา ใจกล้า(2549) ที่เปรียบเทียบระหว่างข้าวที่มีการเก็บและไม่เก็บในที่อับอากาศ พบว่า ข้าวสุกมีการยืดตัวแตกต่างกันเมื่อเก็บในที่อับอากาศนาน 90 นาทีไปแล้ว ซึ่งเหตุผลของการเพิ่มขึ้นของค่าการยืดตัวของข้าวสุก เป็นผลมาข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งและนำมาเก็บในที่อับอากาศนั้นมีการเกิดเจลาทิไนส์บางส่วนภายในเมล็ดข้าว ซึ่งก็จะเป็นผลต่อเนื่องมาจากการอุ้มน้ำของข้าวสุก คือเมื่อเมล็ดข้าวดูดซับน้ำได้มากทำให้ภายในเมล็ดข้าวโปร่งและมีการยืดตัวได้มากขึ้นตามไปด้วย

5.1.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก

การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวหุงสุกโดยการใช้เครื่อง Texture Analyzer ดังแสดงในตารางที่ 21 (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข47) พบว่า ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศมีความแข็งน้อยที่สุด คือ 5776.03 นิวตัน ซึ่งน้อยกว่าข้าวกล้อง (6617.72 นิวตัน)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกควบคุมและข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดที่มีความแข็ง 6098.94 และ 6353.53 นิวตัน ตามลำดับ ($p > 0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข48) ซึ่งค่าความแข็งที่ได้จะสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับความเหนียว โดยพบว่า ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศมีความเหนียวมากที่สุด คือ 601.20 นิวตัน รองลงมาคือ ข้าวกล้องงอกควบคุม (545.23 นิวตัน) ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาด (561.80 นิวตัน) และข้าวกล้อง (553.89 นิวตัน) ตามลำดับ ซึ่งข้าวทั้ง 4 ตัวอย่างนี้มีความเหนียวไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$) (ตารางที่ 21)

5.2 การประเมินคุณภาพทางเคมี

นำข้าวทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด แบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุมมาหุงสุก แล้วนำตัวอย่างข้าวมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 15 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข49) พบว่า

5.2.1 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นของข้าวภายหลังจากการหุงสุกทั้ง 4 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 22 พบว่า ข้าวกล้องมีความชื้นสูงสุด คือ ร้อยละ 3.81 ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องงอกควบคุม ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดและแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศที่มีความชื้นร้อยละ 2.51, 3.38 และ 3.46 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศมีความชื้นร้อยละ 3.46 ซึ่งไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด (ร้อยละ 3.38 ; $p>0.05$) และข้าวกล้องงอกควบคุมมีความชื้นภายหลังจากการหุงสุกน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 2.51 (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข50)

5.2.2 ปริมาณ GABA

ปริมาณ GABA ข้าวภายหลังจากการหุงสุกทั้ง 4 ตัวอย่าง (ตารางที่ 22) พบว่า ข้าวกล้องงอกควบคุมมีปริมาณ GABA สูงสุดคือ 9.38 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้อง (2.86 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง) และข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด (5.68 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ(6.59 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ; $p>0.05$) และข้าวกล้องมีปริมาณ GABA น้อยที่สุดคือ 2.86 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด ($p>0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข51)

5.2.3 ปริมาณอนุพันธ์ของวิตามินอี

δ-tocopherol ข้าวทั้ง 4 ตัวอย่างภายหลังจากการหุงสุก (ตารางที่ 22) พบว่า ข้าวกล้องงอกควบคุมมีปริมาณ δ-tocopherol สูงสุดคือ 6.88 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดและแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศที่มีปริมาณ δ-tocopherol 4.96, 4.12 และ5.10 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ (5.10 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)ซึ่งไม่แตกต่างกับข้าวกล้อง (4.96 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง; $p>0.05$) และข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดมีปริมาณ δ-tocopherol น้อยที่สุดคือ 4.12 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข52)

γ-tocopherol ข้าวทั้ง 4 ตัวอย่างภายหลังจากการหุงสุก (ตารางที่ 22) พบว่า ข้าวกล้องมีปริมาณ γ-tocopherol สูงสุดคือ 135.96 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องงอกควบคุม ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดและแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศซึ่งมีปริมาณ γ-tocopherol 115.82, 111.32 และ 112.35 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ข้าวกล้องงอกควบคุม(115.82 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง) และข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดมีปริมาณ γ-tocopherol น้อยที่สุดคือ 111.32 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ (112.35 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ; $p>0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข53)

α-tocopherol ข้าวทั้ง 4 ตัวอย่างภายหลังจากการหุงสุก (ตารางที่ 22) พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดมีปริมาณ α-tocopherol สูงสุดคือ 411.10 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุมที่มีปริมาณ α-tocopherol 376.89 และ 373.43 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนัก

แห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ (406.50 ไมโครกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ; $p > 0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข54)

ตารางที่ 22 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องงอกที่อบแห้งแบบถาด แบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุมภายหลังหุงสุก

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ	ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาด	ข้าวกล้องงอกอบแห้งแบบถาดร่วมกับอับอากาศ	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอกควบคุม
ความชื้น (%)	3.38 ± 0.07^{b}	3.46 ± 0.14^{b}	3.81 ± 0.11^{a}	2.51 ± 0.12^{c}
GABA (mg/100g)	5.68 ± 1.73^{bc}	6.59 ± 0.02^{ab}	2.86 ± 0.83^{c}	9.38 ± 0.77^{a}
δ-tocopherol (µg/100g)	4.12 ± 0.00^{c}	5.10 ± 0.07^{b}	4.96 ± 0.06^{b}	6.88 ± 0.05^{a}
γ-tocopherol (µg/100g)	111.32 ± 0.00^{c}	112.35 ± 0.00^{c}	135.96 ± 0.02^{a}	115.82 ± 0.00^{b}
α-tocopherol (µg/100g)	411.10 ± 0.02^{a}	406.50 ± 0.00^{a}	376.89 ± 0.06^{b}	373.43 ± 0.00^{b}
γ-oryzanol (mg/100g)	20.42 ± 0.00^{a}	19.95 ± 0.02^{b}	19.16 ± 0.02^{c}	18.24 ± 0.00^{d}
DPPH TEAC (µg/g)	246.71 ± 0.04^{a}	235.89 ± 0.07^{a}	220.02 ± 0.02^{b}	241.03 ± 0.00^{a}
ABTS TEAC (µg/g)	312.45 ± 0.16^{ab}	290.21 ± 0.09^{bc}	280.42 ± 0.01^{c}	326.83 ± 0.09^{a}

หมายเหตุ a, b, c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน แสดง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5.2.4 ปริมาณ γ-oryzanol

ปริมาณ γ-oryzanol ข้าวทั้ง 4 ตัวอย่างภายหลังจากการหุงสุก (ตารางที่ 22) พบว่า ข้าวทั้ง 4 สภาวะมีปริมาณ γ-oryzanol แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดมีปริมาณ γ-oryzanol สูงสุดคือ 20.42 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ (19.95 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง) ข้าวกล้อง (19.16 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง) และข้าวกล้องงอกควบคุม (18.24 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข55)

5.2.5 ปริมาณกิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่น

วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ข้าวทั้ง 4 ตัวอย่างภายหลังจากการหุงสุก (ตารางที่ 22) พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดมีปริมาณกิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่นที่วัดด้วยวิธี DPPH สูงสุดคือ 246.71 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้อง (220.02 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกควบคุม (241.03 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)และข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ (235.89 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ; $p>0.05$) (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข56)

วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS ข้าวทั้ง 4 ตัวอย่างภายหลังจากการหุงสุก (ตารางที่ 22) พบว่า ข้าวกล้องงอกควบคุมมีปริมาณกิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่นที่วัดด้วยวิธี ABTS สูงสุดคือ 326.83 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้อง (280.42 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)และข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ (290.21 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด (312.45 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ; $p>0.05$) และข้าวกล้องปริมาณกิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่นที่วัดด้วยวิธี ABTS น้อยที่สุดคือ 280.42 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง (ภาคผนวก ข ตารางที่ ข57)

จากการศึกษาคุณภาพหุงสุกของข้าวทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศมีคุณสมบัติด้านการหุงสุก คือ ระยะเวลาในการหุงสุก อัตราส่วนการอุ้มน้ำ อัตราการขยายปริมาตรของเมล็ดข้าว ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการหุงสุก อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวและลักษณะเนื้อสัมผัสดีกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาด ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกควบคุม อีกทั้งยังมีปริมาณ GABA, α-tocopherol, γ-oryzanol และกิจกรรมสารต้านออกซิเดชั่นสูง

งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาการอบแห้งข้าวกล้องงอก โดยใช้วิธีการอบแห้ง 2 วิธี คือ อบแห้งแบบถาดและแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน (ข้าวกล้องงอกควบคุมซึ่งผ่านอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 15 ชั่วโมง)ได้ร้อยละต้นข้าวปริมาณต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาการอบแห้งข้าวกล้องงอกเพื่อเพิ่มร้อยละต้นข้าวและคงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณสูง จากผลการวิจัย พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดภายหลังจากการหุงสุกมีปริมาณ α-tocopherol, γ-oryzanol และกิจกรรมสารต้านออกซิชั่นสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ แต่มีร้อยละต้นข้าวไม่สูง ส่วนการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศจะช่วยเพิ่มร้อยละต้นข้าวข้าวกล้องงอกให้สูงขึ้นซึ่งมากกว่าข้าวกล้องงอกที่อบแห้งแบบถาด ตัวอย่างข้าวกล้องงอกควบคุมและข้าวกล้อง เมื่อพิจารณาคุณภาพการหุงสุกทางเคมี พบว่า มีปริมาณ GABA สูงซึ่งไม่แตกต่างจากข้าวกล้องงอกควบคุม ($p>0.05$) แต่มีปริมาณ α-tocopherol และ γ-oryzanol สูง นอกจากนี้ลักษณะสัมผัสยังมีความเหนียวนุ่มมากกว่าตัวอย่างข้าวอื่นๆ จากผลงานวิจัยครั้งนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องงอกที่ผ่านอบแห้งทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกันมากนัก และหากผู้บริโภคต้องการบริโภคข้าวที่มีลักษณะเต็มเมล็ดและมีปริมาณ GABA สูงควรเลือกข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแบบถาดร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ