ผลของการฉายรังสีและการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ต่อคุณภาพของพริกไทยดำป่นแห้ง

โดย

นางสาวจรรยา ไชยเจริญ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลของการฉายรังสีและการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ต่อคุณภาพของพริกไทยดำป่นแห้ง

โดย
นางสาวจรรยา ไชยเจริญ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EFFECT OF IRRADIATION AND ETHYLENE OXIDE FUMIGATION ON QUALITY OF DRIED BLACK PEPPER

By

Janya Chaicharoen

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2007

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “ ผลของการฉายรังสีและการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ต่อคุณภาพของพริกไทยดำป่นแห้ง ” เสนอโดย นางสาวจรรยา ไชยเจริญ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

…….....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

...../...../.....

46403302 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คำสำคัญ : การฉายรังสี / การรมกาซ / เอทิลีนออกไซด์ / พริกไทยดำ / สารประกอบระเหยง่าย

จรรยา ไชยเจริญ : ผลของการฉายรังสีและการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ต่อคุณภาพของพริกไทยดำป่นแห้ง. อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : ผศ.ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย 85 หน้า.

ในอุตสาหกรรมเครื่องเทศแห้งในประเทศไทย นิยมใช้กระบวนการฉายรังสีและการรมกาซเอทิลีนออกไซด์เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ก่อนนำไปแปรรูปเพื่อใช้เครื่องปรุงรสแห้ง แต่การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 กระบวนการ ยังไม่มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อเปรียบเทียบผลของการฉายรังสีที่ (10kGy) และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ที่มีต่อคุณภาพของพริกไทยดำป่นแห้งในระยะเวลา 0-6 เดือน แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ด้านสี ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น จุลินทรีย์ และสารประกอบระเหยง่าย ผลการวิจัยพบว่าการฉายรังสีพริกไทยดำป่นแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ($p>0.05$) แต่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง (a*) หลังผ่านการฉายรังสีทันที ($p<0.05$) เมื่อเก็บไว้ 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้องไม่พบความแตกต่างด้านสี (a*, b*) ($p>0.05$) แต่พบว่าค่าความสว่าง (L*) ลดลง ($p<0.05$) ส่วนการรมกาซเอทิลีนออกไซด์พริกไทยดำป่นแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ($p>0.05$) แต่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง (a*) ($p<0.05$) หลังผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ทันที เมื่อเก็บไว้ 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้องไม่พบความแตกต่างด้านค่าสี (L*, a*, b*) ($p>0.05$) การฉายรังสีและการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณความชื้นหลังผ่านการฉายรังสีหรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ทันที แต่สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ประมาณ 4 และ 3 $\log_{10}$ cycle ตามลำดับ สามารถลดปริมาณเชื้อราได้ประมาณ 4 และ 3 $\log_{10}$ cycle ตามลำดับเช่นเดียวกัน และสามารถทำลาย coliforms ได้หมด จากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบสารประกอบระเหยง่ายกลุ่มอัลคีน 90% สารประกอบกลุ่มอัลเคน 5% สารประกอบกลุ่มแอลกอฮอล์ 2% และสารประกอบกลุ่มอื่นๆ 3% โดยมีสารประกอบระเหยง่ายหลักเป็นกลุ่มอัลคีนทั้งหมดได้แก่ caryophyllene, α-cubebene, cyclohexene, 3-carene, ocimene, α-pinene, β-pinene, germacrene D, phellandrene และ limonene การฉายรังสีและการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชนิด แต่มีผลต่อการลดลงของปริมาณสารประกอบระเหยง่ายระหว่างการเก็บรักษายกเว้น limonene ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกชุดการทดลอง

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ .....

46403302 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD : IRRADIATION / PEPPER / ETHYLENE OXIDE / FUMIGATION VOLATILE OIL COMPOUND

JANYA CHAICHAROEN : EFFECT OF IRRADIATION AND ETHYLENE OXIDE FUMIGATION ON QUALITY OF DRIED BLACK PEPPER. AN INDEPENDENT STUDY ADVISOR : ASST. PROF. EAKAPHUN KAEMANEECHAI, Ph.D., AND ASST. PROF. ARUNSRI LEEGEERAJUMNEAN, Ph.D. 83 pp.

Mostly the sterilization process for Thai Foods Industrials are using Irradiation or Ethylene oxide fumigation for spices before using in dry seasoning. But the comparison between 2 sterilizations had not yet studied widely. Therefore, the objective of this research was to study the effect of irradiation and ethylene oxide fumigation on quality of dried black pepper by keeping in room temperature for 6 months period. Then analyzed quality of colour value (L*, a*, b*), water activity (a_w), moisture content, microbial (TPC, mold, coliforms and *clostridium perfringen*s) and volatile oil compound. The results found that the irradiation 10 kGy to Dried black pepper powder had no effect on colour value (L*, b*) ($p>0.05$) but has the effect to the increasing of red colour (a*) ($p<0.05$) immediately. After 6 months in room temperature has no found significant different on colour value (a*, b*) except the reducing of L ($p<0.05$). The ethylene oxide fumigation to Dried black pepper has no significant different found on colour value (L*, b*) ($p>0.05$) but it was effect to red colour (a*) ($p<0.05$) immediately. After 6 months in room temperature has no found significant different of colour value (L*, a*, b*) ($p>0.05$). The irradiation and ethylene oxide fumigation had no effect to the changing of water activity (a_w) and moisture content after treat immediately and after 5-6 months at room temperature ($p>0.05$). The irradiation and ethylene fumigation can reduce total count 4 and 3 log cycle respectively as same as the effect to mold. Coliforms were eliminated by irradiation 10 kGy and ethylene oxide fumigation. However, had no found *Clostridium perfringen*s ($< 2 \log_{10}$ cfu/g) in all samples. Dried black pepper volatile compound were extract by GC-MS, there consisted 90% alkenes, 5% alkanes, 2% alcohols and 3% others. Alkenes group was the main contributing compound such as caryophyllene, α-cubebene, cyclohexene, 3-carene, ocimene, α-pinene, β-pinene, germacrene-D, phellandrene and limonene. The irradiation and ethylene fumigation has no effected to these main contributing compound but can reduced quantity of alkenes compound after both treatment . However during keeping 0-6 months had found that the difference was reduce until had no difference found when compare to control (at 6^{th} months) except limonene which had trend to increase after irradiation and ethylene oxide fumigation when compared to control.

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2007
Student's signature .....
An Independent Study Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร ที่ได้ให้คำปรึกษาในเชิงวิชาการ เสนอแนะแนวทางในการทำการวิจัย และตรวจแก้ไขการค้นคว้าอิสระฉบับนี้ให้ถูกต้อง จนสำเร็จเป็นรูปเล่มสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่กรุณาอบรม และให้ความรู้ต่างๆในระหว่างการศึกษา เพื่อนำมาประกอบความเข้าใจในการจัดทำให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณมิน และ คุณเอมใจ คำแสง ที่ได้เปิดโอกาสด้านการศึกษาแก่ข้าพเจ้าในระหว่างการทำงานกับบริษัทกริฟฟิทท์ ทีเอ็นเอฟ จำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณพนักงานในฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัทกริฟฟิทท์ ทีเอ็นเอฟ จำกัดที่คอยเป็นกำลังใจและได้ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการศึกษาตลอดมา

ขอบคุณเพื่อนๆที่ให้กำลังใจ โดยเฉพาะน้องกนกอร น้องธิดาวรรณ และน้องรุ่งทิพย์ ที่คอยช่วยเหลือในระหว่างการศึกษาและการจัดทำเล่มให้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ที่ให้การอบรมสั่งสอน สนับสนุนการศึกษาให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม ตลอดจนเป็นกำลังใจในการศึกษาจนสำเร็จทุกประการ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

นิยามศัพท์ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

สมมุติฐานของการศึกษา 2

ขอบเขตของการศึกษา 2

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพริกไทย 3

การฉายรังสีอาหาร 5

ผลกระทบจากการฉายรังสีแกมม่าต่อสารให้สีเครื่องเทศ 13

ผลของการฉายรังสีแกมม่าเครื่องเทศต่อจุลินทรีย์ 14

ผลกระทบจากการฉายรังสีแกมม่าต่อสารประกอบระเหยง่ายของเครื่องเทศ 15

การรมด้วยสารเคมี (fumigation) 16

การรมด้วยกาซเอทิลีนออกไซด์ 18

ผลกระทบจากการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ต่อสารให้สีเครื่องเทศ 19

ผลกระทบจากการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ต่อจุลินทรีย์ 19

3 สิ่งที่ใช้ในการวิจัย และวิธีการดำเนินการวิจัย 20

วัตถุดิบ 20

เครื่องมือและอุปกรณ์ 20

อาหารเลี้ยงเชื้อ 21

วิธีการดำเนินงานวิจัย 21

4 ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง 27
ค่าสี 27
ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้น 32
ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อรา Coliforms และ *Clostridium perfringens* 35
ชนิดและปริมาณของสารประกอบระเหยง่าย 42
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 50
บรรณานุกรม 54
ภาคผนวก 57
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ 57
ภาคผนวก ข ข้อมูลภาพการทดลอง 62
ภาคผนวก ค ข้อมูลตารางผลการทดลอง 69
ประวัติผู้วิจัย 85

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของพริกไทยแห้ง.....	3
2	ค่าความสว่าง (L*) ของพริกไทยดำป่นแห้ง ชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน.....	29
3	ค่าสีแดง (a*) ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน.....	30
4	ค่าสีเหลือง (b*) ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน.....	31
5	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสีและชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน.....	33
6	ปริมาณความชื้น ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน.....	34
7	ปริมาณ Coliforms ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ที่เวลา 0 เดือน.....	40
8	ปริมาณ *Clostridium perfringens* ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ที่เวลา 0 เดือน.....	41
9	พื้นที่ใต้พีคสารประกอบระเหยง่ายหลัก ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน.....	45
10	พื้นที่ใต้พีคสารประกอบระเหยง่ายหลัก ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดผ่านการฉายรังสี เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน.....	46
11	พื้นที่ใต้พีคสารประกอบระเหยง่ายหลัก ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน.....	47
12	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน.....	69

13 ปริมาณเชื้อรา ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 70
14 พื้นที่ใต้พีคสารประกอบระเหยง่ายทุกชนิด ของพริกไทยดำป่นแห้ง ชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 71
15 พื้นที่ใต้พีคสารประกอบระเหยง่าย กลุ่มอัลคีน จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสีและชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 72
16 พื้นที่ใต้พีคสารประกอบระเหยง่าย กลุ่มอัลเคน จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสีและชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 73
17 พื้นที่ใต้พีคสารประกอบระเหยง่าย กลุ่มแอลกอฮอล์ จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 74
18 พื้นที่ใต้พีค α-pinene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 75
19 พื้นที่ใต้พีค β-pinene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 76
20 พื้นที่ใต้พีค phellandrene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 77
21 พื้นที่ใต้พีค ocimene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 78
22 พื้นที่ใต้พีค limonene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 79

23 พื้นที่ใต้พีค germacrene D จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 80
24 พื้นที่ใต้พีค caryophyllene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 81
25 พื้นที่ใต้พีค 3-carene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 82
26 พื้นที่ใต้พีค cyclohexene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 83
27 พื้นที่ใต้พีค α-cubebene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน 84

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของเปปเปอร์รีน	4
2	แผนภาพแสดงกลิ่นของพริกไทยที่แตกต่าง 4 สายพันธุ์	5
3	เครื่องฉายรังสีอาหารที่ใช้ Co^{60}	7
4	ตัวอย่างพริกไทยดำป่นแห้ง	24
5	อุปกรณ์การสกัดแบบ HS-SPME	25
6	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-6 เดือน	36
7	ปริมาณเชื้อรา ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-6 เดือน	38
8	ปริมาณรวมของสารประกอบระเหยง่าย (corrected Area) ของชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน	48
9	ปริมาณรวมของสารประกอบระเหยง่ายกลุ่มอัลคีน (alkenes group) ชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำที่ป่นแห้งระยะเวลาการเก็บต่างกัน	49
10	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน	62
11	ปริมาณความชื้น (wet basis) จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน	63
12	ปริมาณรวมของสารประกอบระเหยง่ายกลุ่มอัลเคน (alkanes group) จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน	64
13	ปริมาณรวมของสารประกอบระเหยง่ายกลุ่มแอลกอฮอล์ (alcohols group) จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้งที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน	65

14 ปริมาณสารประกอบระเหยง่ายหลักชุดควบคุม ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน 66
15 ปริมาณสารประกอบระเหยง่ายหลักชุดผ่านการฉายรังสี ของพริกไทยดำป่นแห้งที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน 66
16 ปริมาณสารประกอบระเหยง่ายหลักชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน 66
17 ปริมาณสารประกอบระเหยง่าย caryophyllene ชุดควบคุม ของพริกไทยดำป่นแห้งที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน 67
18 ปริมาณสารประกอบระเหยง่าย caryophyllene ชุดผ่านการฉายรังสี ของพริกไทยดำป่นแห้งที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน 67
19 ปริมาณสารประกอบระเหยง่าย caryophyllene ชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน 67
20 โครมาโตแกรมของสารประกอบระเหยง่ายในพริกไทยดำป่นแห้งจากชุดควบคุมที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน 68
21 โครมาโตแกรมของสารประกอบระเหยง่ายในพริกไทยดำป่นแห้งจากชุดผ่านการฉายรังสีที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน 68
22 โครมาโตแกรมของสารประกอบระเหยง่ายในพริกไทยดำป่นแห้งจากชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน 68

นิยามศัพท์

Matile oil	น้ำมันระเหยง่าย
Matile compound	สารประกอบระเหยง่าย
Essential oil	น้ำมันหอมระเหย
Flavour	กลิ่นรส

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การควบคุมคุณภาพของเครื่องเทศป่นแห้งในระดับอุตสาหกรรมปัจจุบันนั้น นอกจากจะให้ความสำคัญต่อ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โดยรวม เชื้อรา Coliforms และ *Clostridium perfringens* ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแล้ว ยังต้องคำนึงถึง สี ปริมาณความชื้น และ กลิ่นรส ของเครื่องเทศนั้นๆ วิธีการที่นิยมนำมาใช้ควบคุมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ในอุตสาหกรรมเครื่องเทศของประเทศไทย มี 2 กระบวนการคือ การฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ส่วนวิธีการให้ความร้อนแห้งนั้นไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีผลกระทบอย่างมากต่อกลิ่นและรสของเครื่องเทศ

อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบเกี่ยวกับผลของการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ต่อคุณภาพของพริกไทยดำป่นแห้งยังไม่มีการศึกษามาก่อน จึงทำให้ขาดข้อมูลที่อุตสาหกรรมจะเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสม สำหรับการรักษาคุณภาพของพริกไทยดำป่นแห้ง

ผลจากการศึกษาวิจัยนี้ จะทำให้ทราบว่าการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ มีผลกระทบต่อคุณภาพต่างๆของพริกไทยดำป่นแห้ง ในด้านปริมาณเชื้อโดยรวม เชื้อรา Coliforms และ *Clostridium perfringens* สี ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น และสารประกอบระเหยง่ายอย่างไรบ้าง ซึ่งผลจากการวิจัยจะมีประโยชน์ต่อการเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการควบคุมความปลอดภัยและยืดอายุการเก็บของพริกไทยดำป่นแห้งเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้น ของพริกไทยดำป่นแห้งที่ผ่านการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

1.2.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ของพริกไทยดำป่นแห้งที่ผ่านการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

1.2.3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของสารประกอบระเหยง่าย ของพริกไทยดำป่นแห้งที่ผ่านการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

1.2 สมมุติฐานของการศึกษา

1.2.1 การฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้นของพริกไทยดำป่นแห้ง

1.2.2 การฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์มีผลต่อการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อรา Coliforms และ *Clostridium perfringens* ของพริกไทยดำป่นแห้ง

1.2.3 การฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสารประกอบระเหยง่ายของพริกไทยดำป่นแห้ง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของพริกไทยดำป่นแห้ง หลังผ่านการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ในระยะเวลาต่างกันคือ 0, 1, 2, 3, 4, 5, และ 6 เดือน โดยตรวจสอบตุณภาพด้านสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (colorimeter) ความชื้นด้วยวิธี AOAC (1995) ปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โดยรวม ÐA-BAM (2001) เชื้อรา AOAC (2000) Coliforms ISO 4831 (1991) และ *Clostridium perfringens* ISO 7937 (1997) ชนิดและปริมาณสารประกอบระเหยง่าย ด้วยเครื่อง GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) โดยใช้การสกัดแบบ HS-SPME (Headspace Solid Phase Microextraction) คอลัมน์แบบไม่มีขั้ว (HP-5)

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพริกไทย

พริกไทยมีชื่อสามัญในภาษาอังกฤษคือ "Pepper" และมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Piper nigrum* (Onyenekwe และคณะ, 1997) อยู่ในตระกูล piperaceae พริกไทยเป็นไม้เถาเนื้อแข็ง เลื้อยพาดพันหลักหรือต้นไม้อื่น ใบคล้ายใบพลู ลำต้นมีข้อ มีรากออกตามข้อ เพื่อยึดเกาะสิ่งที่พาดพัน ดอกเป็นช่อ ผลกลมติดกันเป็นช่อ ผลดิบมีสีเขียวเมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีแดง พริกไทยมีสองชนิดคือ พริกไทยดำและพริกไทยขาว พริกไทยดำได้จากผลพริกไทยที่แก่จัด แต่ยังไม่สุกและนำมาตากแห้ง ส่วนพริกไทยขาวได้จากผลพริกไทยที่สุกแล้วนำมาแช่น้ำ แล้วเอาเปลือกออกและตากแห้ง (อบเชย และขนิษฐา, 2544) ส่วนองค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปของพริกไทยดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของพริกไทยแห้ง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
Moisture	8.7-14.0
Total nitrogen	1.5-2.6
Volatile ether extract	0.3-4.2
Non volatile ether extract	3.9-11.5
Alcohol extract	4.4-12.0
Starch	28.0-49.0
Crude fibre	8.7-18.0
Piperine	1.7-7.4
Total ash	3.6-5.7
Acid soluble ash	0.03-0.55

ที่มา:Pruthi (1993)

คุณภาพของพริกไทยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 2 ชนิดคือ เปปเปอร์รีน (piperine) ซึ่งให้ความเผ็ด ฉุน และน้ำมันระเหยง่าย (volatile oil) ซึ่งให้กลิ่น (aroma) และกลิ่นรส (flavour) สารสกัดจากพริกไทยดำ (black pepper oleoresin) ซึ่งประกอบด้วย สารให้กลิ่น (aroma) และสารให้ความเผ็ด ฉุน (pungency) ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีของพริกไทยนั้นคือ น้ำมันระเหยง่าย และ เปปเปอร์รีน

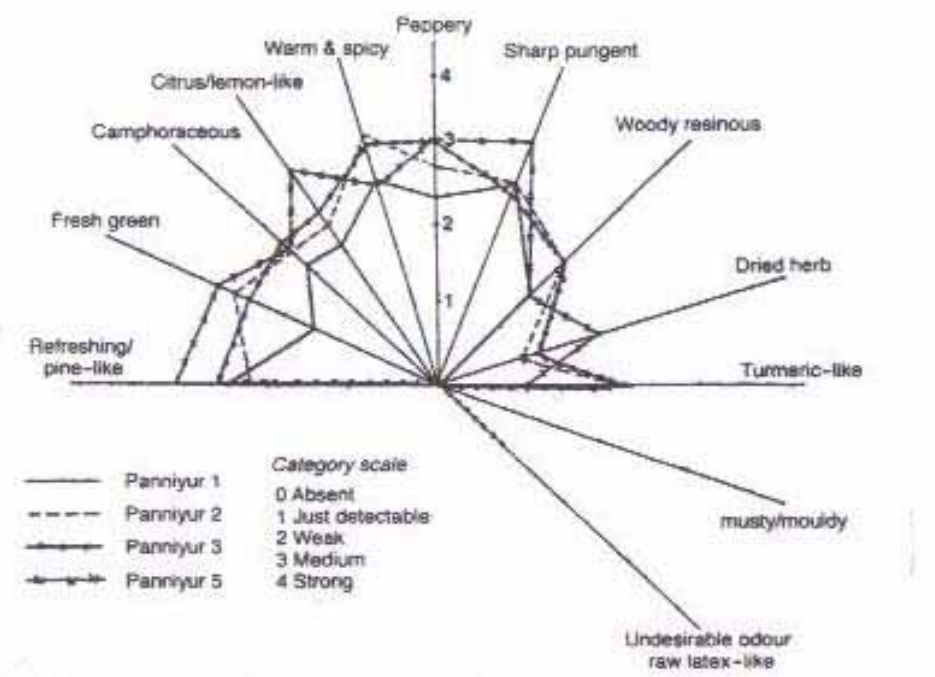
1. เปปเปอร์รีน เป็นผลึกสารสีเหลือง ซึ่งเป็น alkaloid ที่เป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดความเผ็ดและฉุน (pungency) ที่พบในสารสกัดพริกไทย ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีคือ $C_{17}H_{19}O_3N$; m.p 128-130^{O}C โดยมีฤทธิเป็นเบสอ่อน เปปเปอร์เรนิกแอซิค (peperinic acid) มีอยู่ 4 ไอโซเมอริก ได้แก่ 2 trans 4 trans (piperine); 2cis 4 trans (Isopiperine); 2trans 4 cis (isochavicine) และ 2 cis 4 cis (chavicine) โดยได้แสดงรูปต่างๆของเปปเปอร์เรนิกแอซิค (peperinic acid) ในภาพที่ 1 ไอโซเมอร์ทั้ง 3 รูปของเปปเปอร์รีนมีความเผ็ด ฉุนอ่อนมาก ส่วนเปปเปอร์รีน (peperine) มีความไวของการเปลี่ยนแปลงต่อแสงมาก การฉายรังสี สารละลายเปปเปอร์รีน (peperine) กับสารละลายแอลกอฮอล์ จะเกิดไอโซเปปเปอร์รีน (isopiperine) และไอโซคาไวซีน (isochavicine)

ภาพที่ 1 โครงสร้างของเปปเปอร์รีน
ที่มา : Ravindran และ Kallupurackal (2001)

2. น้ำมันพริกไทยระเหยง่าย เป็นส่วนผสมที่มีปริมาณสูงของสารประกอบที่ให้กลิ่น (volatile compound) ซึ่งกลิ่นของพริกไทยได้ประกอบขึ้นจากองค์ประกอบมากกว่า 80 ชนิด และได้ศึกษาความแตกต่างของสารให้กลิ่นพริกไทย 4 สายพันธุ์จากประเทศอินเดีย ซึ่งได้แสดงไว้ในภาพที่ 2 (Gopalakrishnan และคณะ, 1993)

สารประกอบระเหยง่ายในพริกไทยได้แก่ alpha pinene, beta thujene, camphene, beta pinene, sabinene, gamma -3-carene, myrcene, alpha phellandrene, alpha terpinene, limonene, beta-phellandrene, 1,8 cineole, gamma terpinene, trans-sabinene hydrate, citronellal, linalool, terpinen-4-ol, alpha- terpineol,

phellandral, p-cymene, terpinolene, copaene, cis-alpha-bergamotene, caryophyllene, humulene, trans-beta-farnesene (Reineccius, 1994)



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงกลิ่นของพริกไทยที่แตกต่าง 4 สายพันธุ์
ที่มา: Gopalakrishnan และคณะ (1993)

2.1 การฉายรังสีอาหาร

รังสีที่ใช้ถนอมอาหารนี้จัดเป็นรังสีที่ทำให้เกิดไอออน (ionizing radiation) มีช่วงความถี่ของคลื่นสูงที่สุดคือ 10^{19}-10^{22} Hz ซึ่งให้พลังงานสูงสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในอะตอมของสารอื่นๆจนถึงขั้นแตกตัวเป็นไอออนได้ ชนิดของรังสีดังกล่าวได้แก่ รังสีแกมมา (gamma rays) รังสีเอกซ์ (x-rays) และลำแสงอิเล็กตรอน (electron beam) โดยมีแหล่งที่มาจาก ไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioisotope source, radionuclides) จะให้รังสีแกมมาซึ่งเกิดจากการสลายตัวของอะตอมในนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสี (radioactive nuclides) ที่ใช้มากในการถนอมอาหารมี 2 ชนิด (ไพบูลย์, 2532)

1. โคบอล์ 60 (Cobalt-60, ^{60}Co) ให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1.17-1.13 เมกะอิเล็คตรอนโวลต์ (MeV) มีระยะครึ่งชีวิต (half life) 5.27 ปี โดยมีการสลายตัวอยู่ตลอดเวลา เป็นผลให้พลังงานรังสีลดลงในอัตรา 12.5% ต่อปี จำเป็นต้องหามาเพิ่มเติมในแต่ละปี เพื่อให้สามารถใช้พลังงานจากรังสีดังกล่าวได้อย่างเต็มที่ พลังงานรังสีแกมมา 1 กิโลวัตต์ (kW) จะได้จากโคบอลต์ 60 ที่มีพลังงาน 67,480 คูรี (Curie, Ci) การซื้อขายโคบอลต์ 60 จะคิดราคาตามพลังงานซึ่งบรรจุไว้ในแคปซูลที่ทำด้วยแท่งเหล็กรูปทรงกระบอก การแผ่พลังงานจะอยู่ในอัตรา 15 กิโลวัตต์/เมกะคูรี แต่พลังงานนั้นกระจายไปทุกทิศทุกทาง และดูดซับเข้าไปในวัตถุที่นำมาฉายรังสีได้เพียง 10 -30% เท่านั้นและพบว่าโคบอลต์ 60 นี้จะให้กัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity) ระหว่าง 60 คูรี/กรัม ถึง 100 คูรี/กรัม

2. ซีเซียม 137 (Cesium 137, ^{137}Cs) ให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 0.66 เมกะอิเล็คตรอนโวลต์ (Mev) มีระยะครึ่งชีวิต 30.2 ปี สลายตัวตลอดเวลาจึงทำให้พลังงานของรังสีลดลงในอัตรา 2.3% ต่อปี หรือ 11% ต่อ 5 ปี พลังงานรังสีแกมมา 1 กิโลวัตต์ จะได้จากซีเซียม 137 ที่มีพลังงานถึง 312,000 คูรี และทำการซื้อขายตามระดับพลังงาน สำหรับหน่วยวัดพลังงานของสารกัมมันตรังสี ปัจจุบันนิยมใช้หน่วยเป็นเบกเคอเรล (Becquerels Bq) ซึ่งหมายถึงพลังงานที่แพร่กระจายออกมาจากสารนั้นใน 1 วินาที เมื่อเทียบค่าแล้ว 1 Ci เท่ากับ 3.7×10^{10} เบกเคอเรล

2.2.1 เครื่องมือในการอาบรังสีอาหาร อุปกรณ์อาบรังสีของอาหารนั้นจะต้องควบคุมปริมาณรังสีที่อาบ ซึ่งสามารถทำได้โดยจะต้องทราบอัตราการให้พลังงานของสารกัมมันตรังสี การควบคุมความสัมพันธ์ทางกายภาพ เช่นระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับอาหารที่จะอาบรังสี และประการสุดท้ายจะต้องควบคุมเวลาการให้รังสี อาหารจะดูดซับรังสีไว้ปริมาณหนึ่งซึ่งมีหน่วยวัดปริมาณรังสีคือ แรด ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงาน 100 เอิร์ก ที่ถูกดูดซับไว้ด้วยสสารหนัก 1 กรัม และในระบบหน่วยระหว่างชาติ จะแทนหน่วยแรดด้วยหน่วยเกรย์ (Gray, Gy) ซึ่งหน่วยเกร์ยจะมีค่าเท่ากับ 100 แรด

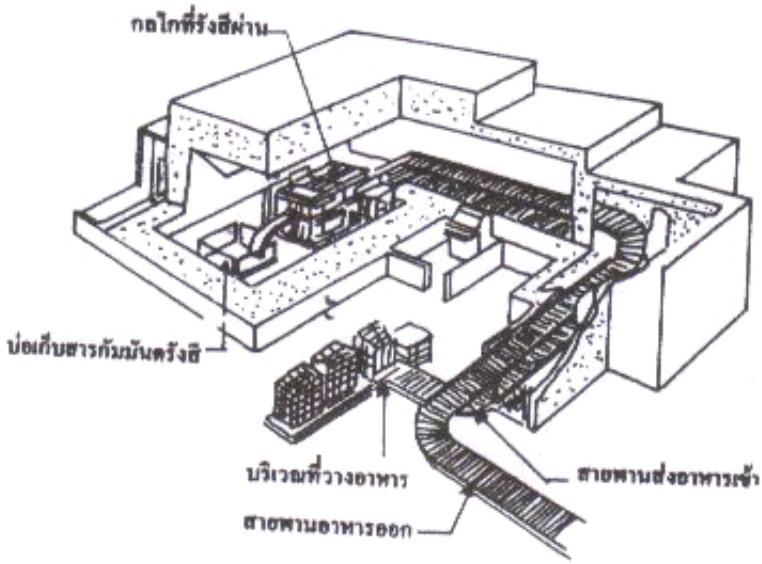
อุปกรณ์การอาบรังสีอาหารโดยทั่วไป ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

1. แหล่งกำเนิดรังสี

2. อุโมงค์สำหรับบังคับรังสีไม่ให้แผ่กระจาย

3. เครื่องมือที่ใช้สำหรับนำตัวอย่างอาหารเข้าไปฉายรังสี

เครื่องมือที่ใช้นำตัวอย่างอาหารเข้าไปอาบรังสีนั้น มักจะทำเป็นสายพานที่สามารถวางอาหารนอกอุโมงค์ได้แล้วสายพานจะเคลื่อนนำอาหารเข้าไปในอุโมงค์เพื่ออาบรังสี ดังภาพที่ 3



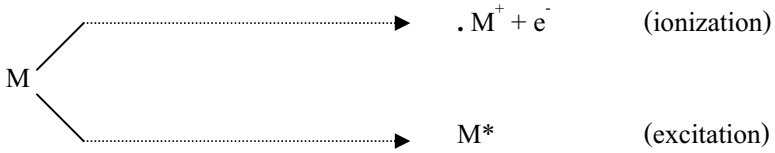
ภาพที่ 3 เครื่องฉายรังสีอาหารที่ใช้ Co^{60}
ที่มา : ไพบูลย์ (2532)

2.2.2 ปฏิกิริยาของการแผ่รังสี เมื่อฉายรังสีไปยังสสารหรืออาหาร จะทำให้เกิดพลังงานอันเนื่องจากรังสีกระทบกับอนุภาคของสสารในอาหาร ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอะตอมจำนวนมากตามเส้นทางของรังสีที่ผ่าน ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นในเวลาเพียง 0.001 วินาทีเท่านั้น ในขณะเดียวกันอิเล็กตรอนที่แตกตัวจากอะตอมอาจจะไปทำให้อะตอมตัวอื่นแตกตัวต่อไป จึงทำให้มีผลต่อสารชีวภาพ ปฏิกิริยารังสีสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ

1. ผลทางตรง สันนิษฐานว่า รังสีไปกระทบโดยตรงกับสารในวัตถุชีวภาพ ซึ่งจะไปมีผลกระทบกระเทือนต่อระบบสารละลายในสารชีวภาพ และอาจจะไปเปลี่ยนหรือทำลายหน้าที่ทางชีวภาพของสารเชิงซ้อน เช่นการแบ่งเซลล์ การเกิดลักษณะผิดปกติ ทฤษฎีนี้เชื่อว่าเกิดขึ้นกับจุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิตชนิดเซลล์เดียว (ไพบูลย์, 2532)

ในโมเลกุลของสารประกอบที่มีอยู่ในอาหารนั้น โดยพลังงานจากแหล่งกัมมันตรังสีจะถ่ายเทมายังโมเลกุลของสารทำให้เกิดการสลายตัวของพันธะทางเคมีขึ้น จากการศึกษาพบว่าพันธะโควาเลนต์จะสลายตัวได้เมื่อกระทบกับรังสีที่มีพลังงานประมาณ 4 eV ซึ่งอาจจะอยู่ในขั้นของโมเลกุลสภาวะกระตุ้น

(excited molecule) หรืออาจจะถึงระดับแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ก็ได้ โดยเขียนอธิบายได้อย่างง่าย ดังนี้ (สายสนม, 2543)

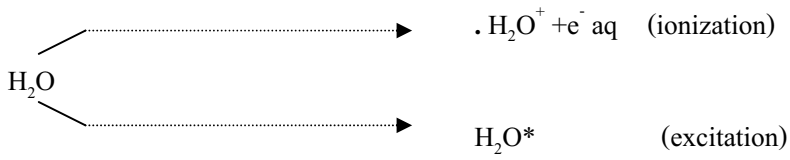


2. ผลทางอ้อม เนื่องจากอาหารหรือผลผลิตทางการเกษตรประกอบด้วยน้ำจำนวนหนึ่ง เมื่อรังสีนี้ไปกระทบกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการแตกตัว เป็นอนุภาคของไฮโดรเจน และอนุภาคของไฮดรอกซิล อนุภาคทั้ง 2 นี้มีผลต่อสารชีวภาพ และนอกจากนี้อนุภาคทั้ง 2 ยังจัดเป็นตัวออกซิไดซ์ และตัวรีดิวซ์ เมื่อเป็นเช่นนี้สามารถไปรวมตัวกับออกซิเจนที่มีอยู่ในธรรมชาติ แล้วทำให้เกิดเป็นสารใหม่ ซึ่งสารที่ได้นี้จะมีผลต่อสารชีวภาพอีกต่อหนึ่ง สมการปฏิกิริยามีดังนี้

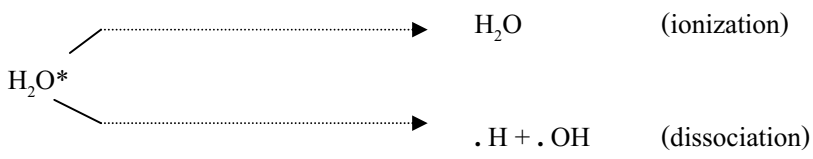
ปริมาณของการแผ่รังสีที่ต้องการให้เกิดผลการทำลายสิ่งมีชีวิต จะแปรเปลี่ยนกับความซับซ้อนของสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตที่ซับซ้อนมากจะมีแนวโน้มไวต่อการแผ่รังสี จะเห็นว่าปริมาณที่แผ่รังสีที่จะมีผลต่อมนุษย์มีค่าต่ำกว่าปริมาณที่ต้องการใช้ทำลายจุลินทรีย์บางชนิด (ไพบูลย์, 2532)

การเปลี่ยนแปลงทางอ้อมเกิดจากสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวโดยรังสี (radiolytic products) เกิดจากการแตกตัวของโมเลกุลของน้ำที่ เป็นนองค์ประกอบหลักของเซลล์สิ่งมีชีวิตทั้งหลายอัน เนื่องจาก ionizing radiation แล้วไปทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับสารอื่นๆที่มีอยู่ตามธรรมชาติภายในเซลล์นั้นๆ การอธิบายรายละเอียดดังกล่าวต้องอาศัยเทคนิคที่เรียกว่า pulse radiolysis

เมื่อทำการฉายรังสีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ให้ผลปฏิกิริยาขั้นปฐมภูมิ (primary products) ดังแสดงในสมการ



e^-_{aq} เรียกว่า hydrated electron หรือ aqeous electron หรือ solvated electron แล้วจึงเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ดังนี้



$\cdot H_2O^+$ (water cation radical) จะเกิดปฏิกิริยาปลดปล่อยโปรตอนให้กับโมเลกุลของน้ำได้ดังแสดงในสมการ

$$\cdot H_2O^+ + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + \cdot OH$$

H_3O^+ เรียกว่า solvated proton หรือ hydrated proton หรือ hydronium ion นอกจากนี้จะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันขึ้นระหว่าง radiolytic products ชนิดต่างๆดังแสดง

$$\cdot H + \cdot OH \longrightarrow H_2O$$
$$e^-_{aq} + \cdot OH \longrightarrow OH^-$$
$$e^-_{aq} + H_3O^+ \longrightarrow H_2O + \cdot H$$
$$\cdot OH + \cdot OH \longrightarrow H_2O_2$$
$$\cdot H + \cdot H \longrightarrow H_2$$

จะเห็นได้ว่าผลของปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดสารที่เสถียรใน 2 รูปคือ H_2O_2 และ H_2 แต่ก็เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้อีก ดังแสดง

$$H_2O_2 + e^-_{aq} \longrightarrow OH + OH^-$$
$$H_2 + \cdot OH \longrightarrow H_2O + \cdot H$$

จึงทำให้มีปริมาณของ H_2O_2 และ H_2 เกิดขึ้นต่ำแม้จะมีการฉายรังสีที่ระดับปริมาณ (dose) สูงก็ตาม ทำให้สามารถใช้บ่อน้ำเป็นเกราะกำบังรังสีแกมมาได้ นอกจากนี้ผลผลิตจากการเกิดจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของชีวสารต่างๆที่เป็นส่วนประกอบของอาหารได้ในรูปแบบต่างๆได้อีก

การเกิดปฏิกิริยาทั้งทางตรงและทางอ้อมที่กล่าวแล้วนั้นมักจะเกิดขึ้นได้พร้อมๆกันซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย ปฏิกิริยาทางตรงจะเกิดได้สูงเมื่อปริมาณน้ำในสิ่งที่นำมาฉายรังสีนั้นต่ำ ด้วยเหตุที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นดังกล่าวจึงมีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารถูกทำลาย กระบวนการเมตตาโบลิซึม อันมีผลไปถึงการแบ่งเซลล์ซึ่งเป็นผลให้เซลล์จุลินทรีย์ถูกทำลายไปได้ แต่ในขณะเดียวกันสารต่างๆที่เกิดขึ้นจาก radiolysis ภายในอาหารที่นำไปฉายรังสีก็อาจมีผลด้านความไม่ปลอดภัยกับผู้บริโภคซึ่งเป็นข้อวิตกกังวลของการจะเลือกบริโภคอาหารฉายรังสี ด้วยเหตุนี้จึงควรที่จะได้มีการตรวจสอบถึงความปลอดภัยในแง่ต่างๆควบคู่ไปด้วยเมื่อทำการฉายรังสีอาหารแต่ละชนิด

ปฏิกิริยาของผลปฏิกิริยาขั้นปฐมภูมิจากการสลายตัวของน้ำเนื่องจากรังสีกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ละลายได้ (R=กลุ่มอินทรีย์สาร)แสดงดังต่อไปนี้

HYDROGEN ABSTRACTION

$$RH + {}^{\bullet}H \longrightarrow {}^{\bullet}R + H_2{}^{\bullet}$$

$$RH + {}^{\bullet}OH \longrightarrow R^{\bullet} + H_2O$$

DIMERIZATION

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow R\text{-}R$$

DISPROPORTIONATION (original compound reformed plus new products)

$$CH_3{}^{\bullet}CH_2 + CH_3{}^{\bullet}CH_2 \longrightarrow CH_3\text{-}CH_3 + CH_2 = CH_2$$

HYDROGEN PEROXIDE FORMATION

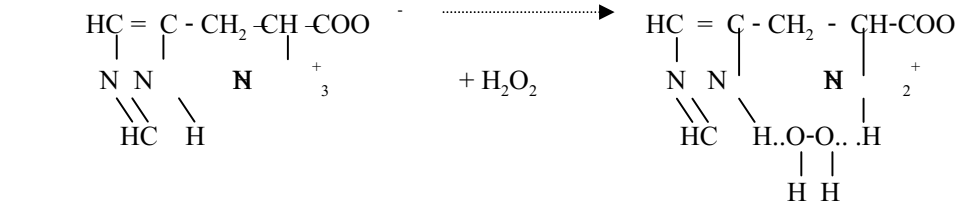
$$R\text{-}OH + O_2 \longrightarrow R{=}O + HO_2$$

$$2HO_2 \longrightarrow H_2O_2 + O_2$$

HYDROPEROXIDE FORMATION

$$R^{\cdot} + O_2 \longrightarrow ROO^{\cdot} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\cdot}$$

HYRDOGEN PEROXIDE ADDUCT



HISTIDIN HISTIDIN-PEROXIDE ADDUCT

ที่มา :ไพบูลย์ (2532)

จากผลการศึกษาในเรื่องพิษภัยอันเกิดจากการฉายรังสีอาหารในแง่มุมต่างๆยังไม่ปรากฏว่ามีสารแปลกปลอมที่ก่อให้เกิดพิษดังกล่าวเมื่อทำการฉายรังสีภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและใช้ปริมาณรังสีที่เหมาะสม ซึ่งในเรื่องนี้ได้มีการศึกษาและมีข้อกำหนดเพื่อความปลอดภัยไว้แล้วโดยมุ่งในแง่พลังงานสูงสุดของแหล่งให้รังสีที่ใช้กับอาหาร ต้องไม่สูงจนถึงระดับที่ทำให้ธาตุต่างๆในสารอาหารมีการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสจนเป็นผลให้ธาตุต่างๆนั้นกลายเป็นสารกัมมันตรังสีขึ้นได้ โดยพลังงานสูงสุดที่กำหนดไว้ได้กล่าวไปแล้ว ส่วนระดับของพลังงานที่สารอาหารได้ดูดซับไว้ที่เรียกว่า radiation dose นั้น ถ้าไม่เกินกว่า 10 กิโลเกรย์ (kGy) แล้ว ถือว่าปลอดภัยโดยไม่ต้องมีการตรวจสอบเลย

2.2.3 ประโยชน์ของรังสีในเชิงที่นำมาใช้เพื่อการถนอมอาหาร

ควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย สามารถทำได้หลายระดับขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่จะใช้ ถ้าใช้ในระดับสูงช่วง 10 -50 กิโลเกรย์ จะควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในสภาพที่เรียกว่า สภาพปลอดเชื้อทาง

การค้า (commercial sterilization) ได้เช่นเดียวกับวิธีการใช้ความร้อน การฉายรังสีอาหารจนอยู่ในสภาพดังกล่าวนั้นนิยมเรียกวิธีการดังกล่าวว่า "Rad appertization" แต่การใช้รังสีปริมาณสูงดังกล่าวนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเพราะจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารได้ซึ่งเป็นข้อด้อยของวิธีการใช้รังสีในระดับสูง ถ้าจะควบคุมในแง่การลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์พวกที่ก่อให้เกิดโรค (pathogenic microorganism) ที่ปนเปื้อนมากับอาหาร โดยมุ่งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารนั้นออกไป นิยมที่จะใช้ปริมาณรังสีระดับกลาง คืออยู่ในช่วง 1 –10 กิโลเกรย์ และวิธีการนี้นิยมเรียกว่า "Radurisation" การฉายรังสีเพื่อจุดประสงค์ดังกล่าวนี้เป็นที่นิยมใช้กับหลายผลิตภัณฑ์และมักใช้ร่วมกับวิธีการถนอมอาหารในรูปแบบอื่นด้วยแต่ให้ผลดีกับผลิตภัณฑ์บางอย่างเท่านั้นเช่น

การลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนจากแหล่งผลิต ในพวกเครื่องเทศประเภท whole spices ซึ่งแต่เดิมนิยมใช้การอบด้วยไอสารเคมีอันได้แก่ ethylene oxide วิธีการดังกล่าวนี้พบว่ามีผลของตกค้างที่เป็นพิษกับผู้บริโภคได้และยังพบว่ามีผลต่อปริมาณของน้ำมันระเหยง่ายในเครื่องเทศบางชนิดด้วย นักวิชาการ จึงต้องแสวงหาวิธีอื่นมาใช้แทน พบว่าการใช้รังสีเพื่อจุดประสงค์นี้ได้ผลดีและเป็นที่นิยมมาก ในปัจจุบันระดับของปริมาณรังสีที่นิยมใช้อยู่คือ 5 –10 กิโลเกรย์

การลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดโรคได้ ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่เยือกแข็งในพวกเนื้อสัตว์ประเภทต่างๆ เพื่อยืดอายุในสภาพการแช่เย็นและบรรจุเพื่อการจำหน่าย โดยจะใช้รังสีในระดับปานกลาง คือประมาณ 2-5 กิโลเกรย์ ในประเทศไทยได้ทำการศึกษายืดอายุการเก็บปลาทูนึ่งด้วยรังสี ซึ่งสามารถทำได้ในเชิงการค้า

ควบคุมการทำลายแมลงในผลิตภัณฑ์ต่างๆ (insect dis-infestation) การใช้รังสีเพื่อวัตถุประสงค์นี้ให้ผลดีและช่วยแก้ปัญหาสารพิษตกค้างของสารเคมีได้อีกด้วย และนำมาใช้ได้กับผลิตภัณฑ์หลายประเภทและใช้รังสีในระดับต่ำด้วย คือไม่เกิน 1.0 กิโลเกรย์ ดังตัวอย่างเช่น การควบคุมการทำลายแมลงในปลาแห้งในช่วงของการเก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่ายแนะนำให้ใช้รังสีเพียง 0.5 กิโลเกรย์ ถ้าใช้กับเมล็ดธัญพืชและเมล็ดพืชอื่นๆในสภาพแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาแนะนำให้ใช้ระดับ 0.5 –1.0 กิโลเกรย์ นอกจากนี้ยังใช้ได้กับผลไม้สดด้วยเช่น มะม่วงสด เพื่อควบคุมเชื้อบางอย่างที่เกิดในช่วงหลังการเก็บเกี่ยวเช่น โรค anthracnose

การช่วยยืดอายุการสุกงอมของผลไม้ (delay of senescence) พบว่าใช้ได้ผลดีกับผลไม้หลายชนิด เช่น กล้วยหอม มะม่วง มะละกอ ฝรั่ง มะเขือเทศ อโวกาโดและแพร์ ซึ่งวิธีการนี้ช่วยในการขนส่งผลไม้ดังกล่าวไปจำหน่ายได้ในระยะไกล การใช้รังสีเพื่อจุดประสงค์นี้ใช้ในระดับต่ำไม่เกิน 1.0 กิโลเกรย์

การควบคุมการงอกของพืชบางชนิด (inhibition of sprouting) ที่นิยมใช้อยู่ได้แก่ มันฝรั่ง หอมและกระเทียม เพราะพืชดังกล่าวเมื่อเก็บไว้จะเสื่อมเสียได้เนื่องจากการงอก ระดับของรังสีที่ใช้เพื่อควบคุมการงอกอยู่ในระดับต่ำกว่า 1.0 กิโลเกรย์ วิธีนี้นับว่าให้ผลดีมากและเป็นที่นิยมยอมรับกันในหลายประเทศที่ทำในระดับการค้า

การใช้รังสีเพื่อช่วยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และปรับปรุงวิธีการผลิต เช่นในกรณีการใช้เกลือไนเทรตและเกลือไนไทรต์กับผลิตภัณฑ์ประเภท cured meat นั้นสามารถลดลงได้ ให้อยู่ในปริมาณที่ทำให้เกิดสีและกลิ่นใน cured meat เท่านั้น ส่วนการป้องกันเชื้อ *Clostridium botulinum* นั้นใช้รังสีแทนได้ (ไพบูลย์, 2532)

2.3 ผลกระทบจากการฉายรังสีแกมม่าต่อสารให้สีเครื่องเทศ

สีเหลืองในขมิ้นแห้งผงประกอบด้วย 3 รงควัตถุหลัก 3 ชนิดคือ curcumin 50-60 %, demethoxy curcumin 20-30% และ bis-demethoxy curcumin 7-20% (Govindarajan และ Sathyanarayana, 1986) และสีแดงในพริกแดงผงประกอบด้วยรงควัตถุ carotenoid เช่น capsanthin 35%, β-carotene 15%, violaxanthin 10%, capsorubin 8% และอื่นๆ (Baranyai และคณะ, 1982) เมื่อนำผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีของตัวอย่างขมิ้นผงที่ผ่านการฉายรังสีแกมม่า 1, 5 และ 10 kGy ใหม่ๆ และที่เก็บไว้เป็นเวลา 12 เดือนมาเปรียบเทียบกัน พบว่าค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (Chatterjee และคณะ, 1998) ซึ้งสอดคล้องกับรายงานของ Munasiri และคณะ (1987) ที่พบการเพิ่มขึ้นของรงควัตถุของขมิ้นผงที่ผ่านการฉายรังสี 10 kGy เล็กน้อยเมื่อเก็บไว้นาน 8 เดือน ซึ่งทำให้ความสามารถในการสกัดรงควัตถุสูงมากขึ้น

มีรายงานการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ของพริกป่น 3 ชนิด ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีผลทำให้ค่าสีของพริกลดลง ทั้งจากตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี และที่ไม่ผ่านการ ฉายรังสี โดยมีการลดลงของค่าสีประมาณ 17-25% (Chatterjee และคณะ, 1998) และเมื่อนำผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีของตัวอย่างพริกแดงผง ที่ผ่านการฉายรังสีแกมม่า 1, 5 และ 10 kGy แล้วเก็บไว้เป็นเวลา 12 เดือน มาเปรียบเทียบกับค่าสีของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฉายรังสีพบว่าค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (Chatterjee, 1998) ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับรายงานของ Munasiri และคณะ (1987) ที่กล่าวว่าค่าสีของพริกแดงผงที่ผ่านการฉายรังสี 10 kGy มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเก็บไว้นาน 8 เดือน

รังสีแกมม่า 10 kGy เป็นปริมาณที่ได้รับการแนะนำให้ใช้ในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในเครื่องเทศ โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณ หรือความคงตัวของรงควัตถุธรรมชาติ ทั้งในขมิ้นผง และพริกแดงผง (Chatterjee และคณะ, 1998)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีของพริกไทยบดแห้ง และพาสเลย์แห้ง (parsley) หลังผ่านการฉายรังสี พบว่าการฉายรังสีพริกไทยบดแห้งที่ 2.5 -50 kGy ไม่ได้มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณอย่างมีนัยสำคัญ ของปริมาณสารประกอบ formaldehyde, carbonyl และน้ำตาล ยังพบอีกว่าปริมาณของ piperine ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแม้จะให้ปริมาณการฉายรังสีที่สูงขึ้นจนถึง 50 kGy ก็ตาม การฉายรังสีพาสเลย์แห้งที่ปริมาณการฉายรังสี 2.5 -50 kGy ก็ไม่ได้มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของสารประกอบ formaldehyde และมีปริมาณ chlorophyll ลดลง 3% ที่ปริมาณการฉายรังสี 25 kGy –50 kGy การฉายรังสีที่ระดับ 15 kGy –20 kGy ก็เพียงพอสำหรับเครื่องเทศดังกล่าว (Josimovic, 1983)

ผลจากการประเมินทางประสาทสัมผัส ด้าน สี ลักษณะปรากฏ และกลิ่นรสโดยรวม ของตัวอย่างโสมขาวแห้ง ซึ่งมีความชื้น 10% และผ่านการฉายรังสีเมื่อเปรียบเทียบกับการรมกาซฟอสฟีน (phosphine fumigation) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 10 kGy แต่อย่างไรก็ตามพบว่ากลิ่นรสโดยรวมของตัวอย่างที่ผ่านการรมกาซฟอสฟีนนั้นถูกทำลายไป ($p<0.01$) (Kwon และคณะ, 2000)

2.4 ผลจากการฉายรังสีแกมม่าเครื่องเทศต่อจุลินทรีย์

เครื่องเทศที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ประมาณ 10^3-10^8 cfu./g จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้แก่ แบคทีเรีย และเชื้อรา (Hammerton และ Benos, 1996) เครื่องเทศแห้งและสมุนไพรแห้งจะมีการปนเปื้อนจุลินทรีย์แตกต่างกันขึ้นกับแหล่งที่มา สถานที่ปลูก กระบวนการผลิต การขนส่ง และวิธีการจัดเก็บ การฉายรังสีจะทำให้จุลินทรีย์ที่มีชีวิตถูกทำลาย วิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือการฉายรังสี 5.0-10 kGy (Oh และคณะ, 2003) การฉายรังสีเพื่อทำลายแบคที่เรียที่ทำให้เกิดโรคจะอยู่ในช่วง 3.0-7.0 kGy (Wirtanen และคณะ, 1993)

ตัวอย่างเครื่องเทศ เมล็ดพริกไทยดำ พริกไทยดำป่น พริกไทยขาวป่น มาโจแรม (marjoram) และไทม์ (thyme) ที่ผ่านการฉายรังสีแล้ว จะมีเชื้อจุลิทรีย์ประเภทใช้ออกซิเจนลดลงเรื่อยๆ แปรผกผันตามปริมาณรังสีที่ให้เพิ่มขึ้น (3-10 kGy) เครื่องเทศทั้งหมดที่ใช้ศึกษามีปริมาณเชื้อเริ่มต้นประมาณ 10^5-10^6 แต่

หลังจากผ่านการฉายรังสีแกมม่า 3 kGy ขึ้นไป พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ ได้ลดลงเหลือ 10^3 (Oh และคณะ, 2003)

เครื่องเทศ 3 ชนิด ที่นิยมฉายรังสีคือ ขมิ้นผง พริกแดงป่น และ พริกไทยดำป่น การฉายรังสี 10 kGy สามารถลดเชื้อจุลินทรีย์ลงเหลือ 10^2 cfu/g และทำลายสปอร์ของ *Bacillus cereus* ได้ และสามารถเก็บในสภาพปลอดเชื้อได้ 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง (Murano, 1995b)

การฉายรังสีในเครื่องเทศเป็นวิธีทางที่อาจหลีกเลี่ยงการเกิดสารตกค้างจากการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ได้ แต่อาหารและเครื่องดื่มเกือบทุกชนิดที่ผ่านการฉายรังสีไม่เป็นที่ยอมรับของคนทั่วไป แม้การฉายรังสีจะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงมากในการทำให้ปลอดเชื้อ โดยมีความร้อนเกิดขึ้นน้อยมาก รวมทั้งมีการเปลี่ยนสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรส เกิดขึ้นน้อยมาก ทั้งยังได้รับการอนุญาตให้ใช้ในการถนอมเครื่องเทศตั้งแต่ปี 1983 แต่กลับพบว่ามีเครื่องเทศต่ำกว่า 1% เท่านั้นที่ผลิตโดยกลุ่มประเทศสมาชิก ASTA (American Spices Trade Association) (Wilkes, 1992)

2.5 ผลกระทบจากการฉายรังสีแกมม่าต่อสารประกอบระเหยง่ายของเครื่องเทศ

การฉายรังสีแกมม่าเป็นวิธีการช่วยยืดอายุของพืชตระกูลถั่ว ธัญพืช และเครื่องเทศ ซึ่งได้มีการศึกษาแพร่หลายถึงผลกระทบจากรังสี (Kiss และ Farkas, 1988) แต่พบว่ามีผลกระทบต่อน้ำมันหอมระเหย โดยมีปริมาณ p-cymene เพิ่มขึ้น 20% ในลูกจันทน์ (nutmeg) ที่ผ่านการฉายรังสี 10 kGy ส่วนในพริกไทยดำที่ผ่านการฉายรังสีที่ต่ำกว่า 10 kGy ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของสารประกอบระเหยง่าย (volatile oil constituents) (Josimovic, 1983)

อบเชยที่ผ่านการฉายรังสีที่ 10 kGy พบว่ามีปริมาณ cinnamaldehyde ลดลง 33% ปริมาณ cinnanylacetate และ eugenol เพิ่มขึ้น 27% (Farkas 1988) แต่ในทางตรงข้ามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ของสารประกอบระเหยง่ายของชุดควบคุม และชุดผ่านการฉายรังสีในเครื่องเทศจากการเพิ่มความเข้มของรังสีขึ้นไปที่ 50 kGy (Maija และคณะ, 1990)

จากการศึกษาผลกระทบของปริมาณรังสีแกมม่า 10 kGy ต่อองค์ประกอบน้ำมันระเหยง่าย (volatile oil) ของเครื่องเทศอินเดีย ประเภท cardamom, ลูกจันทน์ และกานพลู ไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันระเหยง่ายอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.01$) ของ cardamom และ ลูกจันทน์ แต่พบการเพิ่มขึ้นของน้ำมันระเหยง่าย ของกานพลู โดยเพิ่มจาก 15.25% เป็น 18.88% จากการใช้ GLC วิเคราะห์น้ำมันระเหยง่าย cardamom และลูกจันทน์ ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี และที่ผ่านการฉายรังสี ไม่พบการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณ

ในพีคหลักที่สำคัญ แต่พบการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ของเครื่องเทศทั้ง 3 ชนิด เช่นในลูกจันทน์ พบปริมาณ α-terpeniol และ myristicin เพิ่มขึ้น 6.6 เท่า และปริมาณ 1-terpinene-4-ol เพิ่มขึ้น 1 เท่า และพบการลดลงของปริมาณ eugenol หลังการฉายรังสี เหตุผลของกลไกการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ชัดเจน (Variyar และคณะ, 1998)

จากการศึกษาสารประกอบระเหยง่ายในพริกไทยดำ พบว่ามีสารประกอบ 47 ชนิดที่พบในพริกไทยดำ โดยร้อยละ 80 เป็นน้ำมันหอมระเหย (essential oil) พบได้ทั้งในพริกไทยดำที่ผ่านการฉายรังสีแล้วที่ปริมาณ 2.5, 5.0, 7.5 และ 10 kGy และพริกไทยดำที่ไม่ผ่านการฉายรังสี ไม่พบความแตกต่างของพีคและรูป (form) จากปริมาณการฉายรังสีที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม germacreme-D ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมัน พริกไทย ได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยจากการฉายรังสี (Onyenekwe และคณะ, 1997)

ปริมาณน้ำมันระเหยง่ายของพริกไทยที่ผ่านการฉายรังสีแล้ว จะลดลงอย่างรวดเร็ว และจะค่อยๆเพิ่มปริมาณในระหว่างการเก็บรักษา (Onyenekwe และคณะ, 1997)

ในการฉายรังสีเพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในเครื่องเทศ ได้มีการศึกษาผลกระทบของการฉายรังสีต่อน้ำมันระเหยง่าย ของพริกไทยดำโดยการกลั่นน้ำมันระเหยง่ายเปรียบเทียบระหว่าง พริกไทยดำ ชุดที่ไม่ผ่านการฉายรังสี และพริกไทยดำชุดที่ผ่านการฉายรังสีแกมม่า 10, 20 และ 30 kGy แล้วเก็บไว้ที่ 1, 30 และ 90 วัน ที่ 24 องศาเซลเซียส องค์ประกอบของน้ำมันระเหยง่าย ได้วิเคราะห์โดย capillary gas chromatography พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันระเหยง่าย แปรตามปริมาณรังสีหรือ ระยะเวลาในการเก็บองค์ประกอบหลักจากการวิเคราะห์ด้วย GC แสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างชุดควบคุมและชุดที่ผ่านการฉายรังสีเมื่อวิเคราะห์หลังจากการฉายรังสีทันที แต่ระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้นทำให้ผลความแตกต่างลดลง ผลของตัวอย่างพริกไทยชุดที่เก็บไว้นาน 90 วันแสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (Piggott และ Othman, 1992)

การตรวจวัดเชิงปริมาณของน้ำมันระเหยง่าย เป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการชี้บ่งกลิ่นรสของพริกไทยป่นแห้ง ส่วนการวิเคราะห์เชิงคุณภาพนั้นจะใช้วิธีการตรวจประเมินทางประสาทสัมผัส และใช้ GC การเติมน้ำมันระเหยง่ายลงไปเพื่อชดเชย กลิ่นของพริกไทย จะเติมสารประกอบ ต่างๆดังนี้ deta-3-carene, β-pinene, sabinene และ caryophyllene ได้ถูกใช้โดย Salzer (1975)

2.6 การรมด้วยสารเคมี (fumigation)

วิธีนี้นิยมใช้เนื่องจากสารเคมีสามารถแพร่กระจายและแทรกผ่านเข้าไปในเมล็ดพืชอย่างทั่วถึง

การรมด้วยสารเคมีนี้จะให้ผลดีเฉพาะในช่วงแรกเท่านั้น หลังจากนั้นความสามารถในการป้องกันแมลงจะลดต่ำลงเนื่องจากวิธีนี้จะเกิดสารตกค้างน้อยมาก ความต่อเนื่องในการป้องกันแมลงจึงต่ำ คือไม่มี สารตกค้างในการออกฤทธิป้องกันนั่นเอง เมล็ดพืชที่ผ่านการรมด้วยสารเคมีแล้วถ้าเก็บในสภาพที่ไม่เหมาะสมแมลงก็จะเข้ามาทำลายและแพร่พันธุ์ได้อีก ความเป็นพิษของสารเคมีที่ใช้ในการรมนั้นขึ้นกับปัจจัย 2 ประการคือ ชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้และระยะเวลาที่ใช้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้วิธีนี้คือ การควบคุมความเข้มข้นของสารเคมีในระหว่างการใช้นั้นเป็นไปได้ยาก สารเคมีที่ใช้ในการรมด้วยสารเคมีได้แก่

1. เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide :CH_3Br) เป็นสารเคมีที่ใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงสามารถแทรกซึมได้อย่างทั่วถึง แม้จะบรรจุเมล็ดพืชในภาชนะบรรจุที่แน่นหนา นอกจากนี้ยังมีความเป็นพิษต่อแมลงและหนูสูง ปกติจะใช้ในสภาพเป็นก๊าซ ถ้าใช้ในการควบคุมปริมาณหนูจะใช้ที่ความเข้มข้น 50% หรือสูงกว่า

2. ฟอสฟีน (phosphine, hydrogen phosphide :PH_3) เป็นสารเคมีที่มีมวลโมเลกุลและจุดเดือดต่ำจึงสามารถแทรกซึมและแพร่กระจายเข้าไปได้ลึกถึงจุดกึ่งกลางของกองเมล็ดพืชขนาดใหญ่สามารถ แทรกผ่านช่องว่างระหว่างถุงเก็บเมล็ดพืช มีความเป็นพิษต่อแมลงสูงแม้ที่ความเข้มข้นต่ำๆ นอกจากนี้ยังมี เวลาออกฤทธิ์ยาว ปกติมักจะรมเป็นเวลา 3-5 วัน สารเคมีชนิดนี้ก็ยังมีประสิทธิภาพอยู่ซึ่งมีข้อดีคือทำให้ไข่หรือดักแด้ซึ่งมีความทนต่อสารเคมีสูงมีเวลาในการพัฒนาไปเป็นขั้นที่ไม่ทนต่อสารเคมี (susceptible stage) ณ จุดนี้แมลงจะถูกกำจัดไปจนหมด ถ้าสารเคมีมีเวลาออกฤทธิ์สั้น แมลงที่อยู่ในสภาพไข่หรือดักแด้ซึ่งทนสารเคมีได้ดีก็จะไม่ถูกกำจัด เป็นสาเหตุของการระบาดของแมลงในช่วงเวลาต่อมา สารเคมีชนิดนี้นอกจากใช้ควบคุมแมลงแล้วยังสามารถใช้ควบคุมปริมาณหนูได้อีกด้วย ในทางการค้าสารเคมีชนิดนี้มีการขายอยู่ในรูปของส่วนผสมของอะลูมิเนียมฟอสไฟด์ (aluminium phosphide) อะลูมิเนียมคาร์บาเนต (aluminium carbamate) และพาราฟิน ในรูปอัดเม็ดหรือเป็นผงบรรจุในซองขนาดเล็ก ซึ่งเมื่อสารเคมีนี้ถูกความชื้นจะปลดปล่อยก๊าซฟอสฟีน คาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนียออกมา เหลือไว้เพียงอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (aluminium hydroxide) ที่ไม่เป็นอันตราย สารเคมีชนิดเม็ดมักใช้โดยการปนรวมไปกับเมล็ดพืชหรืออาจใช้วิธีการฉีดเข้าไปในกองเมล็ดพืชเลยก็ได้ สารเคมีชนิดนี้มีข้อดีคือสามารถแพร่กระจายได้ดีมีความเป็นพิษต่อแมลงสูงไม่มีผลเสียต่อเมล็ดพืชและไม่มีสารตกค้าง

3. เอทิลีนออกไซด์ (ethylene Oxide :C_2H_4O) สารเคมีชนิดนี้ใช้กระบวนการฆ่าเชื้อแบบไม่ใช้ความร้อน (cold sterilization) ในอาหารและภาชนะบรรจุ เป็นสารเคมีที่ไวไฟมาก ทางการค้ามักใช้ในรูป

ส่วนผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 9 สารเคมีชนิดนี้มีข้อจำกัดในการใช้คือ มีความสามารถในการแพร่กระจายต่ำ อาจทำให้การกำจัดแมลงไม่ทั่วถึง ควาามเป็นพิษอยู่ในระดับปานกลาง และมีผลในการลดอัตราการงอกของเมล็ดหลายชนิดจึงไม่ควรใช้กับเมล็ดที่นำมาใช้เพาะพันธุ์ นอกจากนี้ยังมีสารที่ไม่ต้องการตกค้างคือ เอทิลีนคลอโรไฮดริน (ethylene chlorohydrin)

4. สารรมควันชนิดน้ำ (liquid fumigant) สารเคมีชนิดนี้ได้แก่ คลอโรพิคริน (chloropicrin) เอทิลีนไดคลอไรด์ (ethylene dichloride) เอทิลีนไดโบรไมด์ (ethylene dibromide) คาร์บอนเททระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) คาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbondisulfide) ข้อดีของสารเคมีชนิดน้ำคือกระจายตัวได้ดี และสามารถควบคุมความเข้มข้นได้ วิธีใช้อาจใช้ท่อฉีดสารเคมีเข้า ไปตามจุดต่างๆรอบจุดความร้อน (ไพบูลย์, 2532)

2.7 การรมด้วยกาซเอทิลีนออกไซด์

ถึงแม้การใช้เครื่องเทศจะใช้ในปริมาณน้อย แต่การทำลายเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคก็เป็นสิ่งจำเป็นในปัจจุบัน เครื่องเทศส่วนมากหลังการผลิตและเก็บรักษาจะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สูง ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสีย และการเจ็บป่วย (Ikuegbu และ Emifoniye, 1984)

ถึงแม้จะมีการไม่อนุญาตให้ใช้การรมกาซเอทิลีนออกไซด์ในเครื่องเทศ ของกลุ่มประเทศยุโรป แต่ก็พบว่ามีการใช้ในประเทศอเมริกาในปัจจุบันเนื่องจากการไม่เข้มงวด ยกเว้นในบางพื้นที่ของมลรัฐเคลิฟอเนีย เพราะเป็นวิธีการที่ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และวิธีการง่ายที่สุด สำหรับการทำให้เครื่องเทศปลอดเชื้อ และมีการใช้อย่างแพร่หลาย เมื่อเปรียบเทียบกับการทำให้เครื่องเทศปลอดเชื้อวิธีอื่นๆ เช่น การฉายรังสี การใช้ไอน้ำนึ่ง และเทคโนโลยีอื่นๆ (Wilkes, 1992)

กาซเอทิลีนออกไซด์เป็นกาซที่เคยใช้ในการทำให้ปลอดเชื้อในเครื่องเทศ ยา วัสดุบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์การแพทย์ เส้นใยโพลิเอสเทอร์ พลาสติก และยางสังเคราะห์ การมีสารตกค้างในเครื่องเทศอันเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ เช่น สารตกค้างของเอทิลีนออกไซด์ และอนุพันธ์ ethylene chlorohydrin (ECH) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากับ chlorine ions ซึ่งมักจะปรากฏอยู่ในรูปเมทตริก (matrix) สามารถพบอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ปฏิกิริยาของกาซเอทิลีนออกไซด์กับคลอไรด์ (chlorides) ในเครื่องเทศจะทำให้เกิดสารบ่งชี้ของการรมกาซเอทิลีนออกไซด์คือ ECH ที่เกิดจากการเปลี่ยนรูป (transformation) ระหว่างการเก็บรักษาและ forcibly ได้มาจากขั้นตอนแรกของการสกัด และสามารถทำการตรวจวิเคราะห์

เครื่องเทศได้ง่ายด้วย GC-MS โดยไม่ต้องทำปฏิกิยาให้เกิดอนุพันธ์ก่อนการวิเคราะห์ (Tateo และ Bononi, 2006)

มีการตรวจสอบและพิสูจน์ว่ากาซเอทิลีนออกไซด์เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง (carcinogen) ต่อมนุษย์และได้ถูกจำแนกไว้อยู่ในกลุ่ม 1 สารก่อมะเร็งโดย International Agency for Research on Cancer (IARC) : สาร ECH และ ethylene glycol (EG) เป็นสารที่ทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม (mutagenic) คณะนักวิทยาศาสตร์อาหารได้สรุปให้มีปริมาณเอทิลีนออกไซด์ตกค้างได้ต่ำกว่า 200 ไมโครกรัม ต่อกิโลกรัม เมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2545 (European Committee, 2003)

จากการเก็บตัวอย่างพริกไทย 25 ตัวอย่าง จากตลาดในประเทศอิตาลีมาวิเคราะห์ พบว่า 56% ของตัวอย่างทั้งหมดไม่พบ ECH (ต่ำกว่าที่เครื่องจะตรวจวัดได้ คือต่ำกว่า 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) 24% ของตัวอย่างพริกไทยพบ ECH ในระดับต่ำกว่า 100 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม พบพริกไทย 3 ตัวอย่างมีปริมาณ ECH อยู่ในช่วง 0.2 และ 3.3 มิลลิกรัมกรัมต่อกิโลกรัม และ พบพริกไทย 2 ตัวอย่างมีปริมาณ ECH มากกว่า 5 มิลลิกรัมกรัมต่อกิโลกรัม (Tateo และ Bononi, 2006)

2.8 ผลกระทบจากการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ต่อสารให้สีเครื่องเทศ

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ carotenoids ที่มีในพริก paprika ที่ผ่านกระบวนการทำให้ปลอดเชื้อโดยการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ หรือรังสีแกมม่า 5 kGy พบว่าระยะเวลาการเก็บมีผลกระทบต่อสารประกอบแคโรทีนอยด์ (carotenoids) มากกว่าการทำให้ปลอดเชื้อทั้ง 2 วิธี (Zachariev และคณะ, 1991)

2.9 ผลกระทบจากการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ต่อจุลินทรีย์

การฉายรังสีเครื่องเทศปริมาณ 5 kGy เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตไส้กรอกทั้งชนิดที่ผ่านความร้อน และชนิดที่ไม่ผ่านความร้อนนั้น พบว่าจุลินทรีย์โดยรวมในเครื่องเทศที่ผ่านการฉายรังสี มีปริมาณต่ำกว่าเครื่องเทศที่ผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ และต่ำกว่าชุดควบคุม (Kiss และคณะ, 2002)

เมื่อเปรียบเทียบการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ กับการฉายรังสี 6.5 kGy ใน Spanish paprika พบว่าการผ่านการฉายรังสีให้ประสิทธิภาพในการลดเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่า (Murano และคณะ, 1995a)

บทที่ 3
สิ่งที่ใช้ในการวิจัย และวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

พริกไทยดำป่นแห้งจากบริษัทสวนไทยปี พ.ศ. 2547

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือ

1. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Thermoconstanter Novasina, รุ่น Axair AG8808, Switzerland)
2. เครื่องวัดค่าสี (HunterLab, รุ่น Color Flex, Virginia, USA)
3. เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี่ (Hewlett-Packard, รุ่น 6890, USA)
4. เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Hewlett-Packard, รุ่น 5973, USA)
5. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Stuart Scientific, รุ่น SBS 30, England)
6. ตู้อบลมร้อน (hot-air oven) วิเคราะห์ความชื้น
7. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (SARTORIUS, รุ่น BP 3100S, Germany)
8. เครื่องนับโคโลนี
9. เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน
10. จักรเย็บ
11. เครื่องฆ่าเชื้ออัดความดัน (autoclave)
12. ตู้บ่มเชื้อ

อุปกรณ์

1. ด้ายเย็บ
2. ช้อนตักสาร
3. ขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร (Duran bottle)

1. เตาให้ความร้อน (hot plate)
2. หลอดทดลองขนาด 16x160 มิลลิลิตร
3. นาฬิกาจับเวลา
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. ถุงพลาสติก Linear low density polyethylene (LLDPE) ขนาด 12 นิ้ว x 12 นิ้ว
6. คอลัมน์ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี่ ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความหนาของฟิลม์ 0.25 ไมโครเมตร (Hewlett-Packard, รุ่น HP-5, USA)
7. ไฟเบอร์ polydimethylsiloxane (PDMS) ขนาดอนุภาค 100 ไมโครเมตร (Supelco, USA)
8. โถดูดความชื้น (desiccators)

3.3 อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Plate Count Agar (PCA) (Merck, Darmstadt, Germany)
2. อาหารเลี้ยงเชื้อเปปโตน (peptone salt solution) (Merck, Darmstadt, Germany)
3. น้ำกลั่น

3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 เตรียมตัวอย่างพริกไทยดำป่นแห้งที่มาจากวัตถุดิบต่างล็อตกัน (2 ล็อต) โดยที่แต่ละล๊อตนำมาดำเนินการดังต่อไปนี้

3.4.1.1 สุ่มตัวอย่างต่างๆพริกไทยดำป่นแห้ง 3 กิโลกรัม

3.4.1.2 ผสมตัวอย่างให้เข้ากันทั้งถุงโดยการเขย่า

3.4.1.3 แบ่งตัวอย่างพริกไทยดำป่นแห้งใส่ถุงพลาสติก ชนิด LLDPE ถุงละ 30 กรัม จำนวน 100 ถุง

3.4.1.4 ปิดผนึกด้วยความร้อน 70 ถุง และปิดผนึกด้วยการใช้จักรเย็บ 30 ถุง (ภาพที่ 4)

3.4.1.5 การนำไปผ่านสภาวะทดสอบ (การฉายรังสีแกมม่า 10 กิโลเกรย์ และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์) โดย

3.4.1.5.1 ชุดควบคุม (CTL) 40 ถุง (ปิดผนึกด้วยความร้อน) ไม่ผ่านการฉายรังสีแกมม่า และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

3.4.1.5.2 ชุดทดลองการฉายรังสี (IRR) 30 ถุง (ปิดผนึกด้วยความร้อน) ผ่านการฉายรังสีแกมม่า 10 กิโลเกรย์

3.4.1.5.3 ชุดทดลองการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ (ETO) 30 ถุง (ปิดผนึกด้วยการใช้จักรเย็บเพื่อให้มีรูเล็กๆที่กาซสามารถเข้าไปในถุงได้) ผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

3.4.1.6 นำตัวอย่างทุกชุดการทดลอง สวมถุงพลาสติกอีก 1 ชั้นแล้วปิดผนึกด้วยความร้อน

3.4.1.7 นำตัวอย่างทุกชุดการทดลอง เรียงบรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูก 3 ชั้นและปิดผนึกกล่องด้วยเทปกาว

3.4.2 การนำชุดตัวอย่างเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ เป็นระยะเวลา 6 เดือน (พฤษภาคม-ตุลาคม ในปี พ.ศ. 2547)

3.4.2.1 ชุดควบคุม CTL 30 ถุง เก็บที่อุณหภูมิห้อง

3.4.2.2 ชุดทดลอง IRR 30 ถุง ซึ่งผ่านการฉายรังสีแกมม่า 10 กิโลเกรย์ เก็บที่อุณหภูมิห้อง

3.4.2.3 ชุดทดลอง ETO 30 ถุง ซึ่งผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เก็บที่อุณหภูมิห้อง

3.4.3 การชักตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์โดยจะชักตัวอย่าง 1 ถุง/ชุดการทดลอง/ล็อต นำไปวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ค่าสี (colour) โดยใช้ Colorimeter (HunterLab, รุ่น Color Flex, Virginia, USA)
- ความชื้น (% moisture content, wet basis) โดยวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณน้ำอิสระ (a_w, water activity) โดยใช้เครื่องมือวัดปริมาณน้ำอิสระ (Thermoconstanter Novasina, รุ่น Axair AG8808, Switzerland)
- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) โดยวิธี FDA-BAM (2001)
- ปริมาณเชื้อรา (mold) โดยวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณ Coliforms โดยวิธี ISO 4831 (1991)
- ปริมาณ *Clostridium perfringen* โดยวิธี ISO 7937 (1997)

- ชนิดและปริมาณสารประกอบระเหยโดยใช้เครื่อง GC-MS (Gas Chromatography – Mass Spectrometry) (Hewlett-Packard, รุ่น 6890, USA) โดยใช้คอลัมน์แบบไม่มีขั้ว (HP-5)

3.4.4 การศึกษาชนิดและปริมาณสารประกอบระเหยในพริกไทยดำป่น ด้วยเครื่อง GC-MS

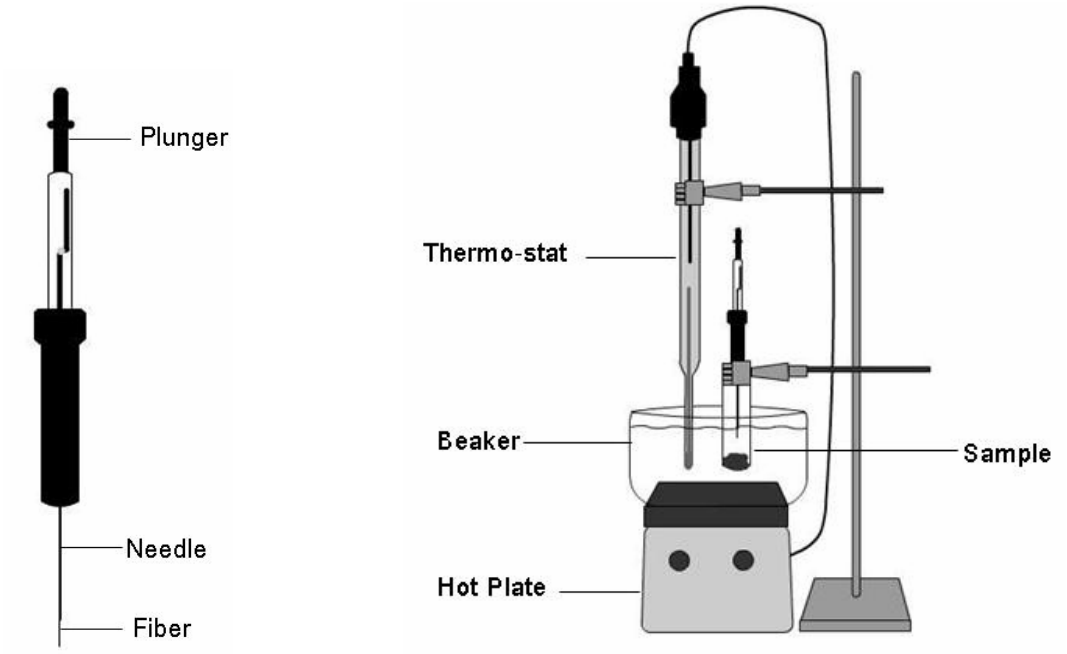
3.4.4.1 การสกัดสารประกอบระเหยด้วยวิธี headspace solid phase microextraction (HS-SPME) โดยใช้ไฟเบอร์ polydimethylsiloxane (PDMS) ขนาดอนุภาค 100 ไมโครเมตร (Supelco, USA) ใช้ตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในขวดกลมที่มีแผ่นยางปิด (septum) ให้อุณหภูมิตัวอย่าง 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที (ภาพที่ 5) จากนั้นนำเข็มฉีดเข้าเครื่อง GC-MS ที่ตั้งอุณหภูมิของ splitless mode ไว้ 250 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที ซึ่งวิธีนี้ได้ใช้สกัดน้ำมันสกัดของ Ashanti pepper (*Piper guineense*) ที่ขายใน ประเทศไนจีเรีย (ดัดแปลงจาก Onyenekwe และคณะ, 1997)

3.4.4.2 การเตรียมสภาวะเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี่ โดยใช้เครื่อง GC-MS (Hewlett-Packard, รุ่น 6890, USA) โดยใช้คอลัมน์แบบไม่มีขั้ว (HP-5)

3.4.4.3 เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.32 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร ความหนาของฟิลม์ 0.25 ไมโครเมตร ใช้ไฟเบอร์แบบ SPME 100 ไมโครเมตร โดยเคลือบด้วยโพลิไดเมทิลซิโลเซน (polydimethylsiloxane) ใช้ก๊าซฮีเลียมความบริสุทธิ์ 99.999 % ผ่านด้วยอัตราเร็ว 1.0 มิลลิเมตรต่อนาที เตาอบของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี่ ตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเพิ่มอุณภูมิด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 240 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก Onyenekwe และคณะ, 1997) detector ตั้งอุณหภูมิ ion source ที่ 230 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ quadapole ที่ 150 องศาเซลเซียส และ MS interface ที่ 280 องศาเซลเซียส โดยตรวจวิเคราะห์มวล (m/z) ด้วยเครื่อง Mass Spectrometer Detector (รุ่น 5973, USA) ใช้แหล่งกำเนิดไอออนแบบอิเล็คตรอนอิมแพคท์ (electron impact ionization, EI) ค่าพลังงานไอออไนเซชัน 70 อิเล็คตรอนโวลท์ มีช่วงสแกนมวล (Mass Scan) ที่ 40-400 amu. โดยใช้ความเร็วในการสแกน 3.99 สแกนต่อวินาที เปรียบเทียบสารประกอบระเหยจากมวลที่สแกนได้กับ NIST98 Library (NIST98, USA)

ชุดควบคุม	ชุดการฉายรังสี	ชุดการรมกาซเอทิลีน
(CTL)	(IRR)	ออกไซด์

ภาพที่ 4 ตัวอย่างพริกไทยดำป่นแห้ง



ภาพที่ 5 อุปกรณ์การสกัดแบบ HS-SPME

3.4.5 การวางแผนการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวางแผนการทดลองแบบ complete randomized design (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ The Least Significant Difference (LSD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS Version 8.1

3.4.6 สถานที่ทำวิจัย

- ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสนามจันทร์ นครปฐม และบริษัทกริฟฟิทท์ ทีเอ็นเอฟ จำกัด

- สถานที่ฉายรังสี :บริษัทไอโซตรอน จำกัด เลขที่ 700/465 นิคมอุตสาหกรรมบางปะกง ม.7 ต.ดอนหัวฬ่อ อ.เมือง จ.ชลบุรี

- สถานที่รมกาซเอทิลีนออกไซด์ :บริษัท เอ็ม พี จี จำกัด เลขที่ 69/56 ซอยพระมาการุณย์ ถ.ติวานนท์ อ.ปากเกร็ด นนทบุรี

3.4.7 ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มการทดลองในเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2547 สิ้นสุดเดือน เมษายน พ.ศ. 2548

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ค่าสี

ผลการเปลี่ยนแปลงสีของพริกไทยดำป่นแห้งซึ่งผ่านการฉายรังสี หรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน แสดงไว้ในตารางที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับโดยที่ค่าความสว่าง (L*) มีค่าอยู่ในช่วง 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว +a* แสดงค่าสีแดง และ a* แสดงค่าสีเขียว ส่วน +b* แสดงค่าสีเหลือง และ b* แสดงค่าสีน้ำเงิน

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่าพริกไทยดำป่นแห้งมีค่าความสว่าง (L*) ของชุดควบคุม (CTL) ชุดผ่านการฉายรังสี (IRR) และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ (ETO) ในเดือนที่ 0 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือนพบว่าค่าความสว่างของชุดผ่านการฉายรังสีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ชุดควบคุมและชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์มีค่าความสว่างเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ก็เป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่น่าจะแยกความแตกต่างด้วยการประเมินทางสายตา

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าพริกไทยดำป่นแห้งมีค่าสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังผ่านฉายรังสี หรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ในเดือนที่ 0 ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือนพบว่าค่าสีแดงของชุดผ่านการฉายรังสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนชุดควบคุม และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ก็เป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่น่าจะแยกความแตกต่างด้วยการประเมินทางสายตา ค่าสีแดงในเดือนที่ 6 ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ผลที่กล่าวมามีความสอดคล้องกับการรายงานของ Munasiri และคณะ (1987) ที่ว่าการฉายรังสีที่ 1, 5 และ 10 kGy ไม่มีผลต่อค่าสีของพริกแดงในระหว่างการเก็บนาน 8 เดือน อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Zachariev และคณะ (1991) เรื่องการเปรียบเทียบปริมาณ carotenoids ของ paprika ที่ถูกทำให้ปลอดเชื้อโดยการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ หรือการฉายรังสีแกมม่า 5 kGy ซึ่งพบว่าการเก็บรักษามีผลกระทบต่อสารประกอบ carotenoid มากกว่าการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ หรือการฉายรังสีแกมม่า อย่างเห็นได้ชัด

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 พบว่าค่าสีเหลือง (b*) ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ในเดือนที่ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 5 เดือนพบว่าค่าสีเหลืองของทุกชุดการทดลองไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อเก็บไว้นาน 6 เดือน ค่าสีเหลืองของทุกชุดการทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าสีเหลืองของชุดผ่านการฉายรังสีและชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเทียบกับค่าสีเหลืองของชุดควบคุมหลังการเก็บรักษาครบ 6 เดือนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) การลดลงของค่าสีเหลืองนี้จึงเป็นผลจากการเก็บไว้รักษามากกว่าเกิดจากการนำพริกไทยดำป่นแห้งไปผ่านการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zachariev และคณะ (1991) ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น และสอดคล้องกับการผลการทดลองของ Chatterjee และคณะ (1998) ที่กล่าวว่าการฉายรังสีที่ 1, 5 และ 10 kGy ไม่มีผลต่อค่าสีของขมิ้นผงทันทีหลังการฉายรังสี และหลังจากการเก็บ 12 เดือน อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยระยะเวลาการเก็บจะแปรผกผันกับค่าสี เหมือนในชุดการทดลองที่ไม่ฉายรังสี และสอดคล้องกับการศึกษาของ Munasiri และคณะ (1987) ที่กล่าวว่าไม่มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญของสีขมิ้นผงที่ได้จากการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ จากตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี (10 kGy) และตัวอย่างชุดควบคุม ที่ได้เก็บไว้นาน 8 เดือนที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 2 ค่าความสว่าง (L*) ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ค่าความสว่าง (L*)		
	CTL	IRR	ETO
0	$51.17\pm0.20^{d\ A}$	51.95 ± 0.21^{aA}	$50.83\pm0.55^{d\ A}$
1	$51.83\pm0.15^{cd\ A}$	$51.77\pm0.01^{a\ A}$	$51.83\pm0.01^{bc\ A}$
2	$51.92\pm0.26^{bc\ A}$	$51.15\pm0.09^{a\ A}$	$51.05\pm0.16^{d\ A}$
3	$52.64\pm0.25^{a\ AB}$	$52.02\pm0.27^{a\ B}$	$53.16\pm0.20^{a\ A}$
4	$52.31\pm0.29^{abc\ A}$	$51.81\pm0.18^{a\ A}$	$51.82\pm0.03^{bc\ A}$
5	$52.57\pm0.01^{ab\ A}$	$51.36\pm0.01^{a\ B}$	$51.10\pm0.02^{cd\ B}$
6	$51.97\pm0.05^{bc\ A}$	$51.46\pm0.01^{a\ B}$	$51.92\pm0.02^{b\ A}$

หมายเหตุ ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่เวลาต่างกัน

^{ABC} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ treatment ต่างกัน

CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 3 ค่าสีแดง (a*) ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

ระยะเวลาการเก็บ	ค่าสีแดง (a*)		
(เดือน)	CTL	IRR	ETO
0	$3.14\pm0.20^{d\ B}$	$3.54\pm0.07^{a\ A}$	$3.54\pm0.02^{b\ A}$
1	$3.40\pm0.03^{b\ A}$	$3.49\pm0.09^{a\ A}$	$3.48\pm0.09^{bc\ A}$
2	$3.34\pm0.08^{bc\ A}$	$3.18\pm0.02^{a\ A}$	$3.16\pm0.11^{d\ A}$
3	$3.41\pm0.05^{b\ B}$	$3.88\pm0.03^{a\ A}$	$3.54\pm0.00^{b\ B}$
4	$3.22\pm0.07^{cd\ B}$	$3.49\pm0.02^{a\ A}$	$3.31\pm0.04^{cd\ AB}$
5	$3.41\pm0.02^{b\ A}$	$3.41\pm0.04^{a\ A}$	$3.53\pm0.05^{b\ A}$
6	$3.86\pm0.03^{a\ A}$	$3.86\pm0.03^{a\ A}$	$3.86\pm0.03^{a\ A}$

หมายเหตุ ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่เวลาต่างกัน

^{ABC} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ treatment ต่างกัน

CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 4 ค่าสีเหลือง (b*) ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ค่าสีเหลือง (b*)		
	CTL	IRR	ETO
0	$19.80\pm0.21^{a\,A}$	$19.76\pm0.08^{a\,A}$	$19.76\pm0.03^{a\,A}$
1	$20.09\pm0.02^{a\,A}$	$19.86\pm0.31^{a\,A}$	$20.04\pm0.29^{a\,A}$
2	$20.01\pm0.04^{a\,A}$	$20.17\pm0.14^{a\,A}$	$19.94\pm0.05^{a\,A}$
3	$19.95\pm0.05^{a\,A}$	$19.82\pm0.03^{a\,A}$	$19.97\pm0.03^{a\,A}$
4	$19.98\pm0.09^{a\,A}$	$20.14\pm0.23^{a\,A}$	$19.90\pm0.21^{a\,A}$
5	$20.17\pm0.04^{a\,A}$	$19.73\pm0.03^{a\,B}$	$20.00\pm0.05^{a\,A}$
6	$18.35\pm0.10^{b\,A}$	$18.65\pm0.13^{b\,A}$	$18.48\pm0.14^{b\,A}$

หมายเหตุ ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่เวลาต่างกัน

^{ABC} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ treatment ต่างกัน

CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

4.2 ปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้น

ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณความชื้น ของพริกไทยดำป่นแห้ง ซึ่งผ่านการฉายรังสี หรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน แสดงไว้ในตารางที่ 5 และ 6 (ภาพที่ 10 และ 11 ในภาคผนวก ข)

จากผลการทดลองตารางที่ 5 พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้นของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม (CTL) ชุดผ่านการฉายรังสี (IRR) และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ (ETO) ในเดือนที่ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือนพบว่าปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 1-4 และลดลงในเดือนที่ 5-6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการเก็บรักษาในเดือนที่ 1-4 อยู่ระหว่างช่วงฤดูฝนคือระหว่างเดือนมิถุนายน-กันยายน จึงทำให้ปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้สูงขึ้น ต่อมาหลังฤดูฝนในเดือนที่ 5-6 ระหว่างเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายนปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นจึงได้ลดลงมาโดยพบว่าปริมาณน้ำอิสระและปริมาณร้อยละความชื้นในเดือนที่ 5-6 ของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)		
	CTL	IRR	ETO
0	$0.44\pm0.01^{d\,A}$	$0.45\pm0.01^{d\,A}$	$0.45\pm0.01^{g\,A}$
1	$0.48\pm0.00^{c\,B}$	$0.46\pm0.00^{c\,C}$	$0.51\pm0.00^{c\,A}$
2	$0.49\pm0.00^{b\,B}$	$0.47\pm0.00^{c\,C}$	$0.50\pm0.00^{d\,A}$
3	$0.51\pm0.00^{a\,B}$	$0.54\pm0.01^{a\,B}$	$0.56\pm0.00^{a\,A}$
4	$0.52\pm0.00^{a\,B}$	$0.55\pm0.01^{a\,A}$	$0.54\pm0.00^{b\,AB}$
5	$0.49\pm0.00^{b\,A}$	$0.49\pm0.00^{b\,A}$	$0.49\pm0.00^{e\,A}$
6	$0.48\pm0.00^{c\,A}$	$0.49\pm0.00^{b\,A}$	$0.48\pm0.00^{f\,A}$

หมายเหตุ ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่เวลาต่างกัน

^{ABC} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ treatment ต่างกัน

CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 6 ปริมาณความชื้นของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ปริมาณความชื้น (% wet basis)		
	CTL	IRR	ETO
0	$8.44\pm0.09^{c\,A}$	$8.45\pm0.09^{d\,A}$	$8.88\pm0.13^{c\,A}$
1	$8.99\pm0.00^{ba\,A}$	$9.09\pm0.00^{b\,A}$	$9.21\pm0.18^{ab\,A}$
2	$9.19\pm0.04^{a\,B}$	$9.38\pm0.04^{a\,A}$	$9.40\pm0.03^{a\,A}$
3	$9.03\pm0.01^{ab\,B}$	$9.27\pm0.07^{a\,A}$	$9.29\pm0.04^{ab\,A}$
4	$9.05\pm0.15^{ab\,B}$	$9.10\pm0.00^{b\,A}$	$9.25\pm0.05^{ab\,A}$
5	$8.93\pm0.02^{b\,A}$	$9.04\pm0.04^{bc\,A}$	$9.02\pm0.01^{bc\,A}$
6	$8.95\pm0.02^{b\,A}$	$8.90\pm0.04^{c\,A}$	$8.90\pm0.04^{c\,A}$

หมายเหตุ ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่เวลาต่างกัน

^{ABC} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ treatment ต่างกัน

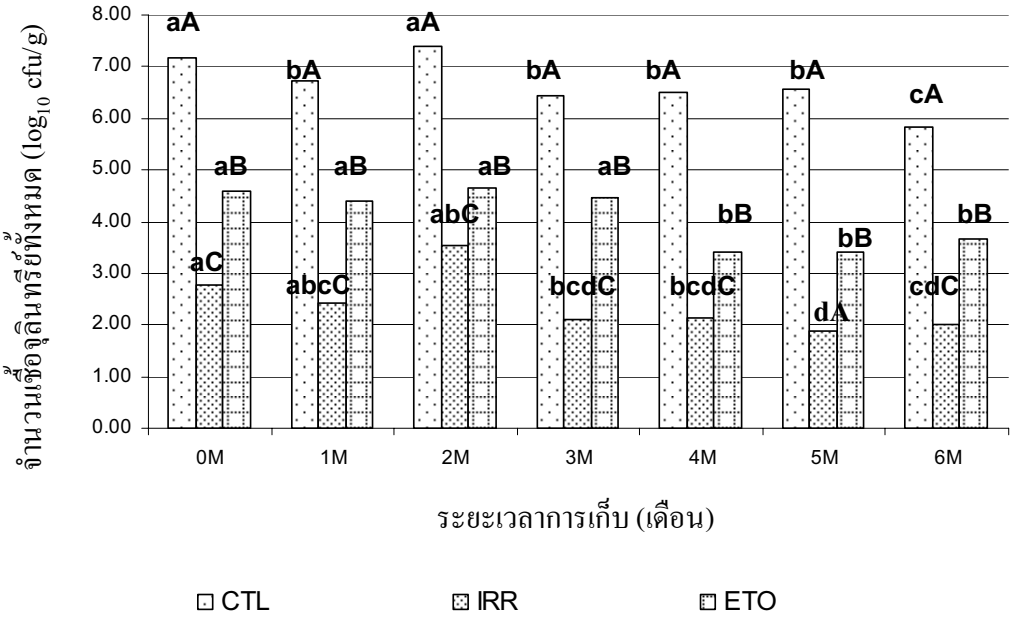
CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

4.3 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อรา Coliforms และ *Clostridium perfringens*

4.3.1 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของพริกไทยดำป่นแห้ง ซึ่งผ่านการฉายรังสีหรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน แสดงไว้ในภาพที่ 6 และตารางที่ 12 (ภาคผนวก ค)

จากภาพที่ 6 พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ 0 เดือน ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากชุดควบคุม ($p<0.05$) โดยการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลงเหลือประมาณ 10^3 cfu/g และ 10^4 cfu/g ตามลำดับ โดยที่เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในชุดควบคุมมีประมาณ 10^7 cfu/g ซึ่งจะเห็นว่าการฉายรังสีมีความสามารถในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ประมาณ 1-2 $\log_{10}$ cycle ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Oh และคณะ (2003) ที่รายงานว่า เครื่องเทศ (พริกไทยดำเม็ด พริกไทยดำป่น พริกไทยขาวป่น marjoram และ thyme) ซึ่งมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้น 10^5-10^6 cfu/g เมื่อผ่านการฉายรังสีแกมม่า (1-10 kGy) แล้วปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ลดลงเหลือ 10^3 cfu/g เนื่องจากรังสีแกมม่าทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์ได้รับบาดเจ็บและบางส่วนได้ตายไปในที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kiss และคณะ (2002) เช่นกันที่กล่าวว่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของเครื่องเทศที่ผ่านการฉายรังสีพบปริมาณต่ำกว่าเครื่องเทศที่ผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ และชุดควบคุม

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้เพิ่มขึ้นในเดือนที่ 2 ในชุดการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ อาจเนื่องมาจากการพยายามรักษาตัวเองของจุลินทรีย์ที่ได้รับการบาดเจ็บ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงในเดือนที่ 3-6 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Onyenekwe และคณะ (1997) ที่กล่าวว่า ปริมาณรังสี 7.5 kGy สามารถทำลายแบคทีเรียและสปอร์ ของแบคทีเรีย ให้มีปริมาณลดลงมากกว่า 4 $\log_{10}$ cycle และเซลของแบคทีเรียที่ได้รับบาดเจ็บ จะมีแนวโน้มตายในที่สุดซึ่งเกิดจากการไม่สามารถรักษาตัวเองได้



ภาพที่ 6 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน (n = 4)

หมายเหตุ [abc] ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบ treatment เดียวกันที่เวลาต่างกัน

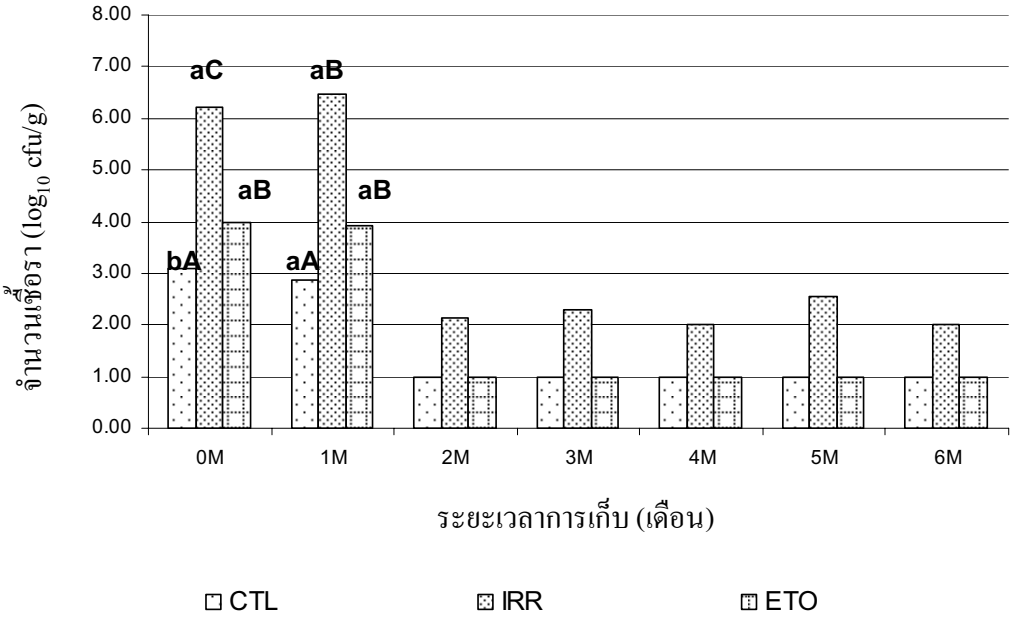
[ABC] ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบ treatment ต่างกันที่เวลาเดียวกัน

4.3.2 ปริมาณเชื้อรา การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อราของพริกไทยดำป่นแห้ง ซึ่งผ่านการฉายรังสีหรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน แสดงไว้ในภาพที่ 7 และตารางที่ 13 (ภาคผนวก ค)

จากภาพที่ 7 พบว่าปริมาณเชื้อราที่ 0 เดือน ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดผ่านการฉายรังสีและชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากชุดควบคุม ($p<0.05$) โดยการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ สามารถลดปริมาณเชื้อราลงเหลือประมาณ 10^3 cfu/g และ 10^4 cfu/g ตามลำดับ โดยที่เชื้อราเริ่มต้นในชุดควบคุมมีประมาณ 10^6 cfu/g ซึ่งจะเห็นว่าการฉายรังสีมีความสามารถในการลดปริมาณเชื้อรามากกว่าการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ประมาณ 1 $\log_{10}$ cycle

ปริมาณราในเดือนที่ 0-1 ค่อนข้างคงที่ แล้วลดลงจนไม่พบในเดือนที่ 2-6 ในชุดการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Will (1983) ที่กล่าวไว้ว่า เชื้อราไวต่อการฉายรังสีที่ปริมาณ 7 kGy โดยจะตายไปทั้งหมด และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Onyenekwe และคณะ (1997) พบว่าพริกไทยดำเม็ดและพริกไทยดำป่นซึ่งผ่านการฉายรังสีที่ 5 kGy มีการลดลงของเชื้อรา ลงเรื่อยๆ จนตายหมด

การลดลงของปริมาณเชื้อราระหว่างการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลองของพริกไทยดำป่นแห้ง อาจเนื่องมาจากการตายของจุลินทรีย์เองและการขาดออกซิเจนในการดำรงชีวิต จากการบรรจุด้วยถุง LLDPE ที่มีการรีดอากาศออกก่อนปิดผนึกสนิทด้วยความร้อน 2 ชั้น



ภาพที่ 7 ปริมาณเชื้อรา ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน (n = 4)

<u>หมายเหตุ</u> ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบ treatment เดียวกันที่เวลาต่างกัน

^{ABC} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบ treatment ต่างกันที่เวลาเดียวกัน

4.3.3 ปริมาณ Coliforms และ *Clostridium perfringens* ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Coliforms และ *Clostridium perfringens* ของพริกไทยดำป่นแห้ง ซึ่งผ่านการฉายรังสีหรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน แสดงไว้ในตารางที่ 7 และ 8

จากตารางที่ 7 พบว่าปริมาณ Coliforms ในชุดควบคุมที่ 0 เดือนคือ 12.15 cfu/g (1.07 $\log_{10}$ cfu/g) แต่ไม่พบ Coliforms ในชุดที่ผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ แสดงว่าการฉายรังสีและชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์สามารถทำลาย Coliforms ได้หมด ซึ่งจะเห็นว่าการฉายรังสีและรมกาซเอทิลีนออกไซด์มีความสามารถในการลด Coliforms ประมาณ 1-2 $\log_{10}$ cycle เท่ากัน

จากตารางที่ 8 ไม่พบ *Clostridium perfringens* ในทุกชุดการทดลอง (< 2 $\log_{10}$ cfu/g) อาจเนื่องมาจากพริกไทยที่ดำป่นที่นำมาไม่มีการปนเปื้อน *Clostridium perfringens* ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกไทย ของกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่มอก.๒๔๗-๒๕๒๒ อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาของ Hanis และคณะ (1988) กล่าวว่า การฉายรังสีที่ปริมาณต่ำกว่า 10 kGy จะไม่มีผลกระทบต่อเชื้อ *Clostridium perfringens* ส่วนการฉายรังสีที่ 10 kGy ก็ยังสามารถพบเชื้อนี้ในปริมาณ 1 cfu/g เนื่องมาจาก *Clostridium perfringens* เป็นแบคทีเรียประเภททนต่อการฉายรังสีและสามารถมีชีวิตอยู่ได้หลังการฉายรังสีปริมาณดังกล่าว

ตารางที่ 7 ปริมาณ Coliforms ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ที่เวลา 0 เดือน

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	CTL (log_{10} cfu/g)	IRR (log_{10} cfu/g)	ETO (log_{10} cfu/g)
0	1.07 ± 0.11	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ปริมาณเชื้อรา มีค่าต่ำกว่า 1 (log_{10} cfu/g) หมายถึงไม่พบ

ตารางที่ 8 ปริมาณ *Clostridium perfringens* ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ที่เวลา 0 เดือน

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	CTL (log_{10} cfu/g)	IRR (log_{10} cfu/g)	ETO (log_{10} cfu/g)
0	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ปริมาณ *Clostridium perfringens* มีค่าต่ำกว่า 2 (log_{10} cfu/g) หมายถึงไม่พบ

4.4 ชนิดและปริมาณของสารประกอบระเหยง่าย

ผลการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายหลักในพริกไทยดำป่นแห้งซึ่งผ่านการฉายรังสี หรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

จากการวิเคราะห์สารประกอบระเหยง่ายทั้งหมดในพริกไทยดำป่นแห้ง พบว่าสารประกอบระเหยง่ายประกอบด้วย สารประกอบกลุ่มอัลคีน (90%) กลุ่มอัลเคน (5%) กลุ่มแอลกอฮอล์ (2%) และอื่นๆ (3%) ซึ่งได้แสดงข้อมูลพื้นที่ใต้พีครวมของสารประกอบทุกชนิด กลุ่มอัลคีน กลุ่มอัลเคน และกลุ่มแอลกอฮอล์ ในตารางที่ 14, 15, 16, 17 (ภาคผนวก ค)

จากการวิเคราะห์ชนิดสารประกอบระเหยง่ายหลักในพริกไทยดำป่นแห้ง ของชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ได้พบสารประกอบระเหยง่ายหลัก ในทุกชุดการทดลอง ได้แก่ caryophyllene, α-cubebene, cyclohexene, 3-carene, ocimene, α -pinene, β -pinene, germacrene D, phellandrene และ limonene ดังแสดงในตารางที่ 9, 10 และ 11 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jirovetz และคณะ (2002) กล่าวว่าจากการวิเคราะห์ สารประกอบระเหยง่ายหลักของพริกไทยดำ *Piper nigrum* โดยการใช้ GC-MS (SPME) ได้แก่ germacrene D (11.01%), limonene (10.26%), β -pinene (10.02%), α-phellandrene (8.56%), β -caryophyllene (7.29%), α -pinene (6.40%) และ cis- β -ocimene (3.19%)

นอกจากนี้ยังได้พบสารประกอบระเหยง่ายหลักชนิดอื่นๆนอกเหนือดังกล่าวข้างต้นอีกในทุกชุดการทดลอง ได้แก่ 3-carene, cyclohexene และ α -cubebene แต่เนื่องจากการทดลองนี้ไม่ได้ทำ GC-O (Gass chromatography-olfactometry) จึงไม่สามารถระบุชนิดสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นหลัก แต่อย่างไรก็ตาม Onyenekwe และคณะ (1997) กล่าวว่าสารประกอบหลักของพริกไทยดำ *Piper guineense* คือ germacrene D และ Ravindran และ Kallupurackal (2001) กล่าวว่ากลิ่นหลักของพริกไทยดำได้แก่ linalool, α -phellandrene, myrcene, methyl propanol, α -pinene ซึ่งให้กลิ่นคล้ายพริกไทย (pepper-like), limonene ให้กลิ่นคล้ายพืชกลุ่มมะนาว (citrus-like) และ 3-methylbutanol ให้กลิ่นคล้ายทอร์ปีน (terpene-like) และให้กลิ่นเมทิล (methyl note)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบระเหยง่ายทุกชนิดของพริกไทยดำป่นแห้ง ของชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ จากพื้นที่ใต้พีครวมของสารประกอบระเหยง่ายทุกชนิด (corrected area) ดังแสดงในภาพที่ 8 และตารางที่ 14 (ภาคผนวก ค) พบว่าปริมาณสารประกอบระเหยง่ายทุกชนิดลดลงหลังการผ่านการฉายรังสีและการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ โดยมีความแตกต่างด้านปริมาณสารประกอบระเหยง่ายเพียงเล็กน้อยในเดือนที่ 2 และยังมีแนวโน้มของความแตกต่างลดลงภายหลังการเก็บไว้ที่ 4 และ 6 เดือนจากชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ

Onyenekwe และคณะ (1997) ซึ่งได้เก็บพริกไทยดำป่นแห้ง และพริกไทยเม็ดแห้งผ่านการฉายรังสีที่ 2.5 kGy ถึง 10 kGy แล้วเก็บไว้เป็นระยะเวลา 9 เดือน พบว่าหลังการฉายรังสีได้มีการลดลงของปริมาณน้ำมันระเหยง่าย แต่จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณกลับคืนมาภายหลังการเก็บไว้เป็นระยะเวลา 9 เดือน โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเหตุผลของการเพิ่มปริมาณขึ้นนี้ไม่เป็นที่ชัดเจน แต่อาจจะเนื่องจากการรวมตัวใหม่ของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวโดยรังสี (radiolytic products) ระหว่างการเก็บ

ถ้าพิจารณาสารประกอบระเหยง่ายหลักของพริกไทยดำป่นแห้งพบว่า หลังผ่านการฉายรังสีและชุดการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ในเดือนที่ 2 ปริมาณของสารประกอบระเหยกลุ่มอัลคีนลดลง และมีแนวโน้มของความแตกต่างจากชุดควบคุมลดลงภายหลังการเก็บไว้ที่ 4 และ 6 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 9 และ ตารางที่ 15 (ภาคผนวก ค) โดยพบว่าสารประกอบระเหยง่ายทั้งหมดของกลุ่มอัลคีนได้แก่ caryophyllene, α -cubebene, cyclohexene, 3-carene, ocimene, α -pinene, β-pinene, germacrene D, phellandrene limonene, 3-carene, cyclohexene และ α -cubebene โดย caryophyllene มีปริมาณสูงสุด คือ 42% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 18-27 (ภาคผนวก ค)

จากการพิจารณาสารประกอบระเหยง่ายหลักทุกชนิดในทุกชุดการทดลอง พบว่าปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายทุกชนิดมีแนวโน้มลดลงภายหลังการเก็บไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือน ยกเว้น limonene ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 14-16 (ภาคผนวก ข)

โดยภาพรวมพบว่าสารประกอบระเหยง่ายหลักของพริกไทยดำป่นแห้งคือ สารประกอบกลุ่มอัลคีน (90%) ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบระเหยง่ายหลัก จากตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีและการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ แต่พบว่ามีการลดลงของปริมาณสารประกอบระเหยง่ายหลักหลังการเก็บไว้ซึ่งต่างจากชุดควบคุมค่อนข้างมาก แต่ความแตกต่างนี้มีแนวโน้มลดลงหลังการเก็บไว้จนไม่มีความแตกต่างในเดือนที่ 6 ในทุกชุดการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Piggott และ Othman (1992) ซึ่งได้มีการศึกษาผลกระทบของการฉายรังสีต่อน้ำมันระเหยง่ายของพริกไทยดำ โดยการกลั่นน้ำมันหอมระเหยง่าย เปรียบเทียบระหว่างพริกไทยดำ ชุดที่ไม่ผ่านการฉายรังสี และพริกไทยดำชุดที่ผ่านการฉายรังสีแกมม่า 10, 20 และ 30 kGy แล้วเก็บไว้ที่ 1, 30 และ 90 วัน ที่ 24 องศาเซลเซียส องค์ประกอบของน้ำมันระเหยง่าย จากการวิเคราะห์โดย capillary gas chromatography พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันระเหยง่ายจากการให้ปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นหรือจากระยะเวลาในการเก็บที่นานขึ้น จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักด้วย GC-MS พบความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างชุดควบคุมและชุดที่ผ่านการฉายรังสีทันที แต่ระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้นทำให้ความแตกต่างลดลง

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของสารประกอบระเหยง่ายทุกชนิดมีแนวโน้มลดลงภายหลังการเก็บไว้ภายในระยะเวลา 6 เดือน ยกเว้น limonene ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง

ตารางที่ 9 พื้นที่ใต้พีคสารประกอบระเหยง่ายหลักของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

ชนิดสารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total area)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
caryophyllene	42.514±0.67	40.401±5.71	40.652±0.62	39.137±4.91
α-cubebene	6.896±2.03	5.851±0.20	4.475±0.32	2.674±0.16
cyclohexene	5.153±0.13	3.574±0.03	2.310±2.31	2.022±0.01
3-carene	2.636±0.25	1.953±0.11	2.081±0.46	0.578±0.46
ocimene	1.511±0.21	1.348±0.06	0.785±0.79	0.283±0.01
α-pinene	0.975±0.69	0.305±0.00	0.312+0.05	0.202±0.00
β-pinene	0.963±0.04	0.656±0.02	0.690±0.15	0.117±0.12
germacrene D	0.478±0.14	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
phellandrene	0.150±0.04	0.172±0.00	0.183±0.02	ไม่พบ
limonene	0.057±0.01	0.377±0.01	0.500±0.02	3.327±0.23

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตารางที่ 10 พื้นที่ใต้พีคสารประกอบระเหยง่ายหลักของพริกไทยดำป่นแห้งชุดผ่านการฉายรังสี เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

ชนิดสารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total area)			
	0 เดือน (CTL)	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
caryophyllene	42.514±0.67	47.410±2.53	41.919±4.42	34.212±5.29
α-cubebene	6.896±2.03	5.268±0.15	5.856±0.21	3.114±0.78
cyclohexene	5.153±0.13	3.0215±0.38	1.805±0.19	0.688±0.69
3-carene	2.636±0.25	3.273±1.36	0.836±0.12	0.265±0.27
ocimene	1.511±0.21	1.235±0.13	1.085±0.28	0.305±0.30
α-pinene	0.975±0.69	0.168±0.20	0.125±0.01	0.057+0.00
β-pinene	0.963±0.04	0.531±0.08	0.309±0.06	0.150±0.02
germacrene D	0.478±0.14	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
phellandrene	0.150±0.04	0.200±0.02	0.155±0.01	ไม่พบ
limonene	0.057±0.01	0.789±0.11	0.315±0.10	1.553±0.14

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

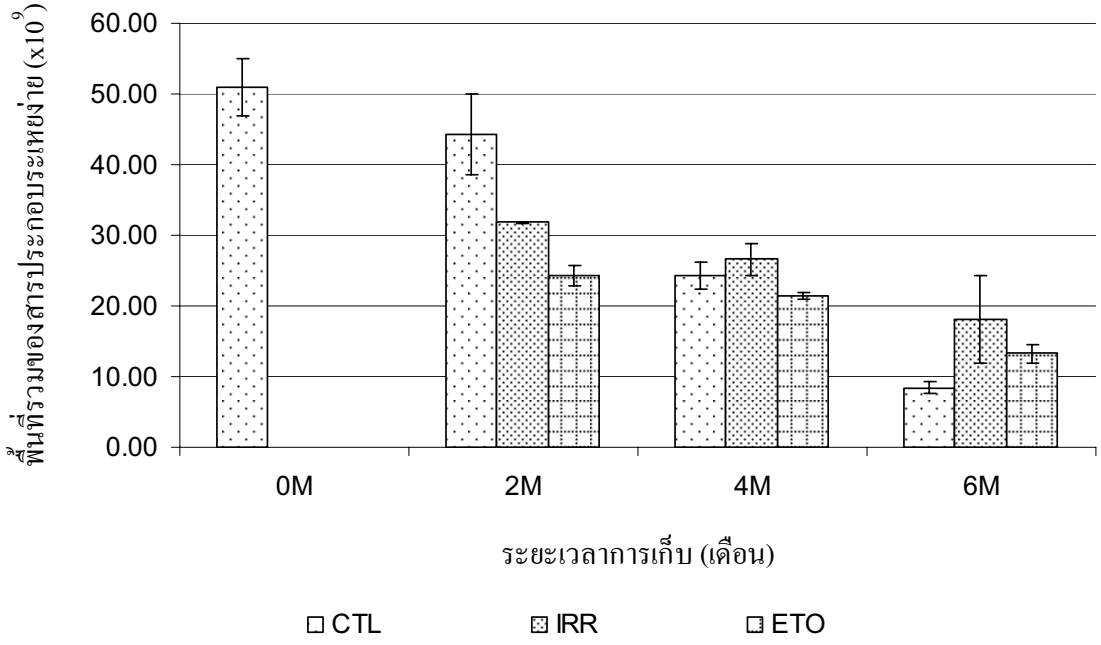
ข้อมูลที่ 0 เดือน (CTL) คือข้อมูลจากชุดควบคุม

ตารางที่ 11 พื้นที่ใต้พีคสารประกอบระเหยง่ายหลักของพริกไทยดำป่นแห้งชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

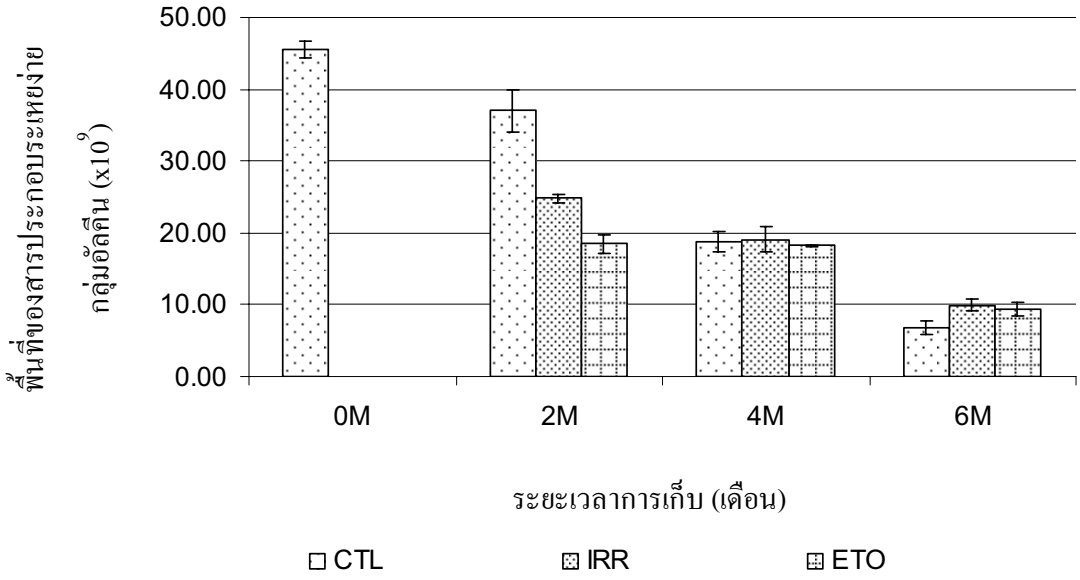
ชนิดสารประกอบ	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total area)			
	0 เดือน (CTL)	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
caryophyllene	42.514±0.67	45.512±1.97	44.921±0.36	43.243±0.60
α-cubebene	6.896±2.03	5.522±0.01	4.217±0.09	1.385±1.23
cyclohexene	5.153±0.13	4.880±0.15	1.508±0.10	1.598±0.06
3-carene	2.636±0.25	3.122±0.08	0.754±0.09	0.769±0.01
ocimene	1.511±0.21	0.376±0.38	0.750±0.11	0.018±0.00
α-pinene	0.975±0.69	0.363±0.02	1.01±0.01	0.146+0.00
β-pinene	0.963±0.04	0.917±0.04	0.242±0.03	0.343±0.01
germacrene D	0.478±0.14	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
phellandrene	0.150±0.04	0.135±0.03	0.136±0.02	ไม่พบ
limonene	0.057±0.01	0.630±0.06	0.470±0.04	2.754±0.03

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ข้อมูลที่ 0 เดือน (CTL) คือข้อมูลจากชุดควบคุม



ภาพที่ 8 ปริมาณรวมของสารประกอบระเหยง่าย (corrected area) ของชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน



ภาพที่ 9 ปริมาณรวมของสารประกอบระเหยง่ายกลุ่มอัลคีน (alkenes group) จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาการฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ มีผลกระทบต่อคุณภาพต่างๆของพริกไทยดำป่นแห้ง เช่นปริมาณเชื้อโดยรวม เชื้อรา Coliforms และ *Clostridium perfringens* สี ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น และสารประกอบระเหยง่ายดังนี้

5.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านสี

การฉายรังสีปริมาณ 10 kGy พริกไทยดำป่นแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ($p>0.05$) แต่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง (a*) ของพริกไทยดำป่นแห้งหลังผ่านการฉายรังสีทันที ($p<0.05$) การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บไว้ที่ 0-6 เดือนที่อุณหภูมิห้องพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L*) และค่าสีแดง (a*) ($p>0.05$) แต่พบว่าค่าสีเหลือง (b*) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บไว้ที่ 0-5 เดือน ($p>0.05$) เช่นกัน แต่มีการลดลงของสีเหลืองเล็กน้อยในเดือนที่ 6 ($p<0.05$) และยังพบว่าค่าความสว่าง (L*) ลดลง ($p<0.05$) แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ($p>0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุมในเดือนที่ 6 ส่วนการเปลี่ยนแปลงในเดือนที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเหลือง (b*) และสีแดง (a*) ($p>0.05$) แต่มีการลดลงของค่าความสว่าง (L*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การรมกาซเอทิลีนออกไซด์พริกไทยดำป่นแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L*) และและค่าสีเหลือง (b*) ($p>0.05$) แต่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง (a*) ($p<0.05$) ของพริกไทยดำป่นแห้งหลังผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ทันที การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บไว้ 0-6 เดือนที่อุณหภูมิห้องพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L*) และค่าสีแดง (a*) ($p<0.05$) แต่พบว่าค่าสีเหลือง (b*) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บไว้ที่ 0-5 เดือน ($p>0.05$) เช่นกัน แต่มีการลดลงของสีเหลือง (b*) เล็กน้อยในเดือนที่ 6 ($p<0.05$) ส่วนการเปลี่ยนแปลงในเดือนที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเหลือง (b*) สีแดง (a*) และค่าความสว่าง (L*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

5.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้น

การฉายรังสีปริมาณ 10 kGy และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์พริกไทยดำป่นแห้ง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณความชื้น ($p>0.05$) ของพริกไทยดำป่นแห้งหลังผ่านการฉายรังสี หรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ทันที ($P>0.05$) การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บไว้ที่ 1-4 เดือนที่อุณหภูมิห้องพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงในเดือนที่ 5-6 ($p<0.05$) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

5.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

การฉายรังสีปริมาณ 10 kGy และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์พริกไทยดำป่นแห้งสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ประมาณ 4 และ 3 $\log_{10}$ cycle ตามลำดับ จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าการฉายรังสีมีความสามารถในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

การฉายรังสีปริมาณ 10 kGy และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์สามารถลดปริมาณเชื้อราลงได้ประมาณ 4 และ 3 $\log_{10}$ cycle ตามลำดับ จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าการฉายรังสีมีความสามารถในการลดปริมาณเชื้อรามากกว่าการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

การฉายรังสีปริมาณ 10 kGy และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์สามารถทำลาย Coliforms ได้หมด

ไม่พบ *Clostridium perfringen* ในทุกชุดการทดลอง (< 2 $\log_{10}$ cfu/g) อาจเนื่องมาจากพริกไทยดำป่นแห้งที่นำมาไม่มีการปนเปื้อน *Clostridium perfringen* ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกไทย ของกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ มอก. ๒๙๗-๒๕๒

5.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของสารประกอบระเหยง่าย

จากการสกัดสารประกอบระเหยง่ายของพริกไทยดำป่นแห้งด้วย GC-MS พบว่าประกอบด้วยสารประกอบกลุ่มอัลคีน 90% สารประกอบกลุ่มอัลเคน 5% สารประกอบกลุ่มอัลกอฮอล์ 2% และสารประกอบกลุ่มอื่นๆ 3% โดยมีสารประกอบระเหยง่ายหลักเป็นกลุ่มอัลคีนทั้งหมดได้แก่ caryophyllene, α-cubebene, cyclohexene, 3-carene, ocimene, α-pinene, β-pinene, germacrene D, phellandrene และ limonene

การฉายรังสีปริมาณ 10 kGy และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์พริกไทยดำป่นแห้ง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดสารประกอบระเหยง่ายหลักของพริกไทยดำ

สารประกอบระเหยง่ายหลักทุกชนิดในทุกชุดการทดลอง ระหว่างการเก็บที่ 0-6 เดือนพบว่ามีแนวโน้มลดลงและภายหลังการเก็บไว้ 6 เดือนปริมาณของสารระเหยง่ายหลักไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมยกเว้น limonene ซึ่งระหว่างการเก็บที่ 0-6 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในชุดควบคุมและชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ แต่จากการฉายรังสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บไว้ 6 เดือนพบว่าปริมาณ limonene ที่เหลือไม่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการฉายรังสี หรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ชัดเจน

การฉายรังสีปริมาณ 10 kGy พริกไทยดำป่นแห้ง ไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณสารประกอบระเหยง่ายทุกชนิด (corrected area) หลังการฉายรังสี 2 เดือน แต่การรมกาซเอทิลีนออกไซด์มีผลต่อการลดลงของปริมาณสารประกอบระเหยง่ายทุกชนิด แต่หลังจากเก็บไว้ที่ 4 และ 6 เดือน พบว่าไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมชัดเจน

การฉายรังสีปริมาณ 10 kGy และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์พริกไทยดำป่นแห้ง มีผลต่อการลดลงของปริมาณสารประกอบระเหยง่ายกลุ่มอัลคีน แต่หลังจากเก็บไว้ที่ 4 และ 6 เดือน พบว่าไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมชัดเจน

5.5 การเลือกใช้วิธีการทำให้ปลอดเชื้อ การฉายรังสี และการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ในเครื่องเทศ

นอกจากคุณภาพด้านต่างๆแล้วปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงอื่นๆอีกในการเลือกใช้วิธีการฉายรังสีหรือการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ในเครื่องเทศคือ ความปลอดภัยต่อสุขภาพ เช่นการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ทำให้มีสารตกค้าง chlorohydrin ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง และกฎหมายอาหารของประเทศคู่ค้า เช่นในกลุ่มประเทศยุโรปไม่อนุญาตการใช้วิธีการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศญี่ปุ่นไม่ต้องการใช้สินค้าที่ผ่านการฉายรังสีเป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

1. แนะนำให้มีการศึกษาด้าน GC-Olfactometry ในลำดับต่อไป เพื่อจะสามารถบอกชนิดของสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นหลักที่เปลี่ยนแปลงได้
2. เพื่อความชัดเจนในการศึกษาวิจัยผลกระทบของการฉายรังสีต่อด้านสี แนะนำให้มีการศึกษาค่าสีเหลืองในขมิ้น สีแดงในพริก และสีเขียวในใบกะเพราหรือโหระพา เป็นต้น
3. ตามกฎหมายของการฉายรังสีในเครื่องเทศอนุญาตให้ฉายในขนาด 10 kGy จึงแนะนำให้ศึกษาผลกระทบของการฉายรังสีต่อเครื่องเทศในขนาดต่างๆ เช่น 5 kGy
4. การเลือกใช้วิธีการทำให้ปลอดเชื้อในเครื่องเทศ ให้ศึกษาต้นทุน และกฎหมายที่อนุญาตในประเทศลูกค้าปลายทาง
5. เนื่องจากมีการตรวจสอบและพิสูจน์ว่ากาซเอทิลีนออกไซด์เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง (carcinogen) ต่อมนุษย์และได้ถูกจำแนกไว้อยู่ในกลุ่ม 1 สารก่อมะเร็งโดย International Agency for Research on Cancer (IARC) : สาร ECH และ ethylene glycol (EG) เป็นสารที่ทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม (mutagenic) คณะนักวิทยาศาสตร์อาหารได้สรุปให้มีปริมาณเอทิลีนออกไซด์ตกค้างได้ต่ำกว่า 200 ไมโครกรัม ต่อกิโลกรัม เมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2545 (European Committee, 2003) แต่ในประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายรองรับแม้จะจัดสารตกค้างเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งก็ตาม ดังนั้นจึงน่าศึกษาปริมาณสารตกค้างดังกล่าวของเครื่องเทศที่ขายในประเทศไทยเพื่อเป็นข้อมูลด้านความปลอดภัย

บรรณานุกรม

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วสิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่, พิมพ์ครั้งที่ 1. 302 น.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2543 การให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและการฉายรังสี. *ใน* วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ. 505 น.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2522. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกไทย, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

อบเชย วงศ์ทอง และขนิษฐา พูนผลกุล. 2544. หลักการประกอบอาหาร, ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 163 น.

Baranyai, M., Matus, Z. and Szaboles, J. 1982. Qualitative studies on pigments of capsicum/pepper varieties. Acta Alimentaria 11: 309-323.

Chatterjee, S., Padwal-Desai, S.R., and Thomas P. 1998. Effect of γ-irradiation on the colour powder of turmeric (*Curcuma longa*) and red chollies (*Capsicum annum*) during storage. Food Research International 31(9): 625-628.

European Committee. 2003. Comission directive of 27 October 2003 amending directive 96/77/EC laying down specific purity criteria on food additives other than colours and sweeteners. Official Journal of the European Union L. 283p.

Gopalakrishnan, M., Menon, N., Padmakumari , K.P., Jayalekshmi, A. and Narayanan, C.S. 1993. GC analysis and odour profiles of four new Indian genotypes of *Piper nigrum* L. J. Essential Oil. Res., 5: 247-253.

Govindarajan, V.S. and Sathyanarayana, M. 1986. Capsicum- production, technology and quality. III. Chemistry of colour, aroma and pungency stimuli. Crit. Rev. Food Science Nutr 24: 245-355.

Hammerton, K. M. and Benos, C. 1996. Detection of irradiated spices with microbilological method-DEFT/APC method. P. 392-396. *In*: C.H. McMurray, E.M. Stewart, R. Gray and J. Pearce

(Eds.) Detection methods for irradiated foods: current status. Cambridge., The royal society of chemistry.

Hanis, T., Mnukova, J., Jelen, P., Klir, P., Perez, B. and Pesek, M. 1988. Effect of gamma irradiation on survival of natural microflora and some nutrients in cereal meals. Cereal Chem. 65: 381-383.

Jirovetz, L., Buchbauer, G., Ngassoum M. B. and Geissler M. 2002. Aroma compound analysis of *Piper nigrum* and *Piper guineense* essential oils from Cameroon using solid-phase microextraction-gas chromatography, solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry and olfactometry. Chromatography A. 979: 265-275.

Josimovic, l. 1983. Study on some chemical changes in irradiated pepper and parsley. The International Journal of Applied Radiation and Isotopes. 34(5): 787-791.

Kiss, I. and Farkas, J. 1988. Irradiation as a method for decontamination of spices. Food Rev. International 4(1): 77-92.

Kiss, I.F., Beczner, J., Zachariev, G. and Kovacs, S. 2002. Irradiation of meat products, chicken and use of irradiated spices for sausages. International Journal of Radiation Application and Instrumentation 36(3): 295-299.

Kwon, J., Byun M., Kim K. and Kang I. 2000. Comparative effects of gamma irradiation and phosphine fumigation on the quality of white ginseng. Radiation Physics and Chemistry 57:309-313.

Maija, S.A., Merja, M., Pia, M. and Sinikka, P. 1990. Methods for detection of irradiated spices. Z Lebens-Unters Forsch 190: 99-103.

Munasiri, M.A., Parte, M.N., Ghanekar, A.S., Sharma, A., Padwal-desai, S.R. and Nadkarni, G.B. 1987. Sterilization of ground perpacked Indain spices by gamma irradiation. Journal of Food Science 52(3): 823-826.

Murano, E. A. 1995a. Food Irradiation: a sourcebook, 1st ed. United State of America., Iowa 136 p.

Murano, E. A. 1995b. Microbiology of rradiated foods. P.29-61. *In*: Food Iradiation A Sourcebook. Murano. E.A.(Ed). Iowa State University Press., America.

Oh, K.N., Lee, S.Y., Lee, H. J., Kim, K.E. and Yang, J.S. 2003. Screening of gamma irradiated spices in Korea by using a microbiological method (DEFT/APC). Food control 14: 489-494.

Onyenekwe, P.C., Ogbadu G.H. and Hashimoto S. 1997. The effect of gramma radiation on the microflora and essential oil of Ashati pepper (*Piper guineense*) berries. Journal of Postharvest Biology and Technology 10: 161-167.

Piggott, J. R. and Othman, Z. 1992. Effect of irradiation on volatile oils of black pepper. Food Chemistry 46(2): 115-119.

Pruthi, J.S. 1993. Black pepper. P.62-94. *In*: Handbook of Herb and Spices. TJ International. Padstow, Cornwall, England.

Ravindran, P. N. and Kallupurackal J. A. 2001. Black pepper. P. 62-110. *In*: K.V. Peter (1st ed.) Handbook of Herb and Spices. TJ International. Padstow, Cornwall, England.

Reineccius, G. 1994. Source Book of Flavors, 2nd ed. New York: Chapman&Hall. 928 p.

Salzer, U-J. 1975. Analytical evaluation of seasoning extracts (oleoresins) and essential oil from seasoning. International Flavour Food Additive 6: 151-157.

Tateo F. and Bononi M. 2006. Determination of ethylene chlorohydrin as marker of spices fumigation with ethylene oxide. Journal of Food Composition and Analysis 19: 83-87.

Uzuegbu, J.o. and Emifoniye, A.T. 1984. Posthavest fungal spoilage of some Nigeruan fruit and vegetable. Nigeria food journal 2: 153-155.

Variyar, P. S., Bandyopadhyay C. and Thomas P. 1998. Effect of τ-irradiation on the volatile oil constituents of some Indian spices. Food Research International 31(2): 105-109.

Wilkes, A. P. 1992. http://www.foodproductdesign.com/archive/1992/0892DE.html

Wirtanen, G. and Sjoberg, A.M. 1993. A microbial method (DEFT/APC) for the identification of irradiation of spices and seafood. P 25-34. *In*: Processing of the workshop on recent advances on detection of irradiated food. Luxembourg, Commission of the European Communities.

Zachariev, G.Y., Kiss, J., Szabolcs, G.Y. Toth and Molnar, P. 1991. HPLC analysis of carotenoids in irradiated and ethylene oxide treated red pepper. Acta Alimentaria 20(2): 115-122.

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์

1. วิธีการหาค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องหาค่าปริมาณน้ำอิสระ รุ่น Thermoconstanter

1.1 หมุนปุ่มสีเหลืองของเครื่อง Thermostanter ในตำแหน่งที่ (1)

1.2 นำตลับพลาสติก (Sample Cup) มาใส่สารตัวอย่างให้ได้ปริมาตรประมาณ 80-90 %

1.3 นำตลับตัวอย่างมาใส่ไว้ใน Measuring Chamber

1.4 ปิดฝาให้เรียบร้อย

1.5 Set อุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ เช่นถ้าตต้องการควบคุมตัวอย่างให้ได้ 25 องศาเซลเซียส ก็ให้ตั้งปุ่มสีดำตรงขวามือให้ได้หมายเลข 190 เป็นต้น

1.6 จากนั้นรอจนกระทั่งอ่านอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้ และ Relative Humidity ของอากาศที่วัดได้อยู่ในสภาวะที่สมดุลย์ (Equilibrium) กับสารตัวอย่าง สภาวะนี้เรียกว่า Equilibrium Relative Humidity (ERH) เมื่อหารด้วย 100 ก็จะได้ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ตามที่ต้องการ

<u>หมายเหตุ</u>

1. สารตัวอย่างแต่ละอย่างที่นำมาทดลองเพื่อทำการวัดหาค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) จะมีค่าแตกต่างกันออกไปอีกด้วย หมายความว่าสารตัวอย่างเดียวกันถ้ามีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ก็จะมีค่า<u>ที่</u>แตกต่างกัน

2. ระยะเวลาที่รอคอยให้ถึงจุด Equilibrium นั้นจะสั้นหรือยาวก็ขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนประกอบของสารนั้นๆ ตัวอย่างเช่นถ้าเป็นสารตัวอย่างที่มีส่วนผสมของน้ำมัน ก็จะต้องใช้เวลานานเป็นชั่วโมงกว่าจะถึงจุด Equilibrium ถ้าเป็นสารตัวอย่างทั่วๆไป เช่นแยม ไส้กรอก หรือขนมปังแห้ง จะใช้เวลาประมาณ 15-25 นาที

2. วิธีวิเคราะห์ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven)

2.1 ชั่งน้ำหนัก Moisture can ที่ปิดฝา โดยใช้เครื่องชั่งที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_1)

2.2 ชั่งตัวอย่างจำนวน 2-3 กรัมลงใน Moisture can แล้วเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่ว โดยใช้เครื่องชั่งที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_2)

2.3 นำ Moisture can และฝาอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยวางฝาไว้ข้าง Moisture can (ไม่ต้องใช้ปิดฝา) และวางให้ห่างจากผนังตู้ประมาณ 5 เซนติเมตร

2.4 เมื่อครบ 4 ชั่วโมงให้เปิดฝาตู้แล้วปิดฝา Moisture can ก่อนนำออกจากตู้อบลมร้อน เพื่อนำไปไว้ในโถดูดความชื้น (descicator) ปล่อยไว้อย่างน้อย 45 นาที

2.5 นำ Moisture can ที่ปิดฝาออกจากโถดูดความชื้น (descicator) แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_3)

<u>หมายเหตุ</u> 1. สวมถุงมือสะอาดทุกครั้งก่อนจับ Moisture can และฝา

2. ห้ามเปิดฝาตู้อบลมร้อน หรือนำตัวอย่างที่อบออกก่อนถึงเวลาที่กำหนดโดยเด็ดขาด

การคำนวณปริมาณความชื้น

$$\% \text{ Moisture} = \frac{[W_3 - W_1 \times 100\ ] - 100}{W_2}$$

W_1 = น้ำหนัก Moisture can รวมฝา ที่ยังไม่ได้ใส่ตัวอย่าง (หน่วยเป็นกรัม)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (หน่วยเป็นกรัม)

W_3 = น้ำหนัก Moisture can รวมฝา + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (หน่วยเป็นกรัม)

3. **การวัดค่าสีโดยใช้ Colorimeter (Hunter Lab รุ่น Color Flex)**

3.1 ต่อสาย Power Supply, Ac adapter เข้าที่ตัวเครื่องวัดสี แล้วทำการเสียบปลั๊ก

3.2 หน้าจอจะแสดงคำว่า “Ready to read black tile” ให้วางแผ่นมาตรฐานสีดำลงไปที่ Port แล้วกด Enter

3.3 หน้าจอจะแสดงคำว่า “Ready to read white tile” ให้วางแผ่นมาตรฐานสีขาวลงไปที่ Port แล้วกด Enter

3.4 หน้าจอจะแสดงค่า L*, a*และ b* แล้วกด Enter อีกครั้งเพื่อให้อ่านค่า Standard สีขาว และดูเทียบกับค่ามาตรฐาน ถ้าแต่ละค่าของ L*, a*และ b* หากเบี่ยงเบนจากค่ามาตรฐาน ±1.0 % ต้อง Calibrate เครื่องก่อน

3.5 นำตัวอย่างที่จะวัดใส่ลงในถ้วยวัด (Glass Sample Cup) ใส่ตัวอย่างสูงประมาณ 1.0 เซนติเมตร แล้วใช้ Disk วางทับแล้วหมุน 1 รอบบนตัวอย่างที่จะวัดเพื่อให้ผิวหน้าตัวอย่างเรียบ

3.6 นำถ้วยวัดวางบนที่ใส่ตัวอย่างของเครื่องแล้วปิดฝา

3.7 กด Enter เพื่ออ่านค่าสี L*, a* และ b*

4. **วิธีวิเคราะห์เชื้อจุลลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count)**

4.1 ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ลงในขวดสารละลายเกลือเปปโตน 90 มิลลิกรัม (คิดเป็น dilution 10^{-1}) ผสมให้เข้ากัน

4.2 ทำการเจือจางตัวอย่างตามสัดส่วนที่เหมาะสม (dilution)

4.3 ปิเปตสารละลายเจือจางตัวอย่างปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ใน Sterile petri dish ขนาด 90 มิลลิเมตร

4.4 เทผสมอาหารเลี้ยงเชื้อแล้ววน plate ไปทางซ้ายและขวาข้างละ 5 รอบ เคลื่อน plate ในแนวขึ้นและลง 5 รอบ หรือทำได้หลายรอบ จนมั่นใจว่าตัวอย่างกับอาหารเลี้ยงเชื่อผสมเข้ากันดี

<u>หมายเหตุ</u> ทำให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 15 นาทีหลังจากเตรียมตัวอย่างเสร็จ แล้วตั้งทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัวจากนั้น พลิก plate คว่ำลง และไม่วาง plate ซ้อนกันเกิน 6 plate

4.5 บ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 เซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง หรือ 37 ± 10 เซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง

4.6 เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด ให้นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น แล้วทำการคำนวณหาค่า Count / g หรือ count / ml

การคำนวณปริมาณเชื้อจุลลินทรีย์ทั้งหมด

$$N = \frac{\Sigma}{(n_1 + 0.1\, n_2)\, d}$$

N = ค่าจำนวน microorganism ต่อหนึ่งกรัมหรือมิลลิลิตร

= ผลรวมจำนวนโคโลนีของทุก plate ที่มีค่าอยู่ในช่วง 15 – 300 โคโลนี

n_1 = จำนวน plate ที่ใช้ใน dilution แรกและมีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 15 – 300 โคโลนี

n_2 = จำนวน plate ที่ใช้ใน dilution ที่สองและมีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 15 – 300 โคโลนี

d = ค่า dilution factor ของ dilution แรกที่นำมาใช้ในการคำนวณ

5. **วิธีวิเคราะห์เชื้อรา (mold)**

5.1 ชั่งตัวอย่าง 10 กรัมใส่ลงใน ขวดสารละลายเกลือเปปโตน 90 มิลลิกรัม (คิดเป็น dilution 10^{-1}) ผสมให้เข้ากัน

5.2 ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Stomacher

5.3 ทำการเจือจางตัวอย่างตามสัดส่วนที่เหมาะสม (dilution)

5.4 วาง Petrifilm บนพื้นราบ โดยให้แผ่นฟิล์มอยู่ด้านบน แล้วค่อยๆ ดึงแผ่นฟิล์มขึ้น จากนั้น ดูดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ 1 มิลลิลิตร โดยค่อยๆปล่อยสารละลายในแนวตั้ง โดยให้สารละลายตัวอย่างอยู่ในตำแหน่งสูงกว่ากว่ากึ่งกลางเล็กน้อย

5.5 ค่อยๆ ปล่อยฟิล์มด้านบนลงมาช้าๆ เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ

5.6 วาง Spreader ด้านเรียบลงบน Petrifilm และใช้นิ้วกดลงตรงกลางของ Spreader เพื่อให้สารละลายกระจายตัวเต็มแผ่นวงกลม (อย่าใช้แรงบิดหรือบิดเลื่อน Spreader ไปมา)

5.7 ยก Spreader ออก แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที เพื่อรอให้วุ้นแข็งตัว

5.8 เรียง Petrifilm ซ้อนกันได้สูงสุดไม่เกิน 20 แผ่น แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้อง

5.9 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 -25 เซลเซียสเป็นเวลา 3-5 วัน

การคำนวณปริมาณเชื้อรา

$$N = \frac{Ec}{(n_1 + (0.1)\, n_2)\, d}$$

N = ค่าจำนวน Microorganism ต่อหนึ่งกรัมหรือหนึ่งมิลลิลิตร (Count / g , Count / ml)

Ec = ผลรวมจำนวนโคโลนีของทุก plate ที่มีค่าอยู่ในช่วง 15 – 150 โคโลนี

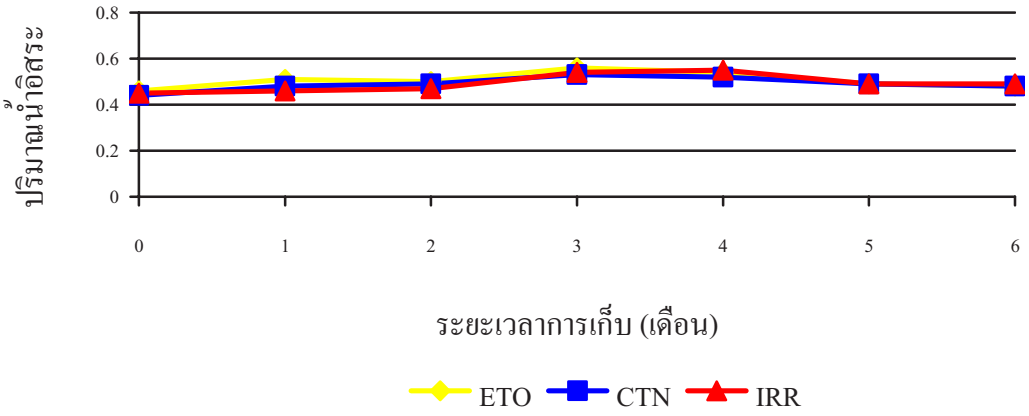
n_1 = จำนวน plate ที่ใช้ใน dilution แรกที่มีจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่วง 15 – 150 โคโลนี

n_2 = จำนวน plate ที่ใช้ใน dilution สองที่มีจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่วง 15 – 150 โคโลนี

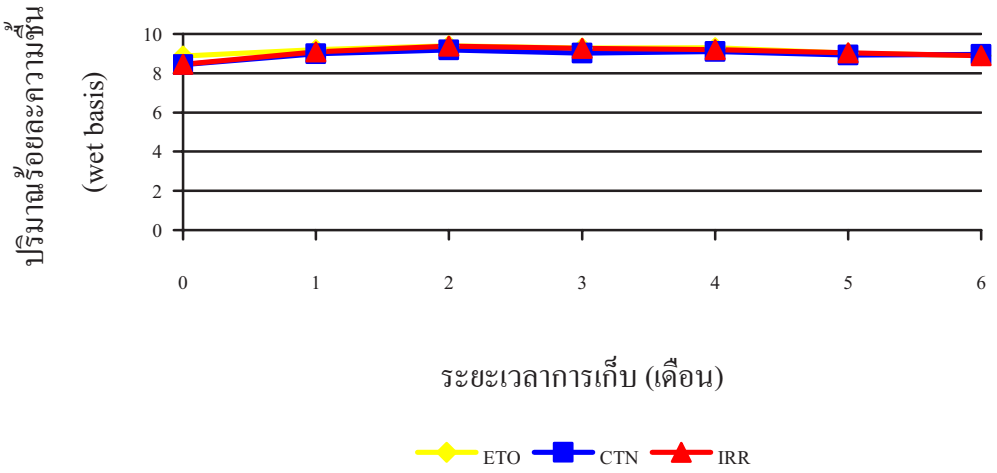
d = ค่า dilution factor ของ dilution แรก ที่นำมาใช้ในการคำนวณ

ภาคผนวก ข

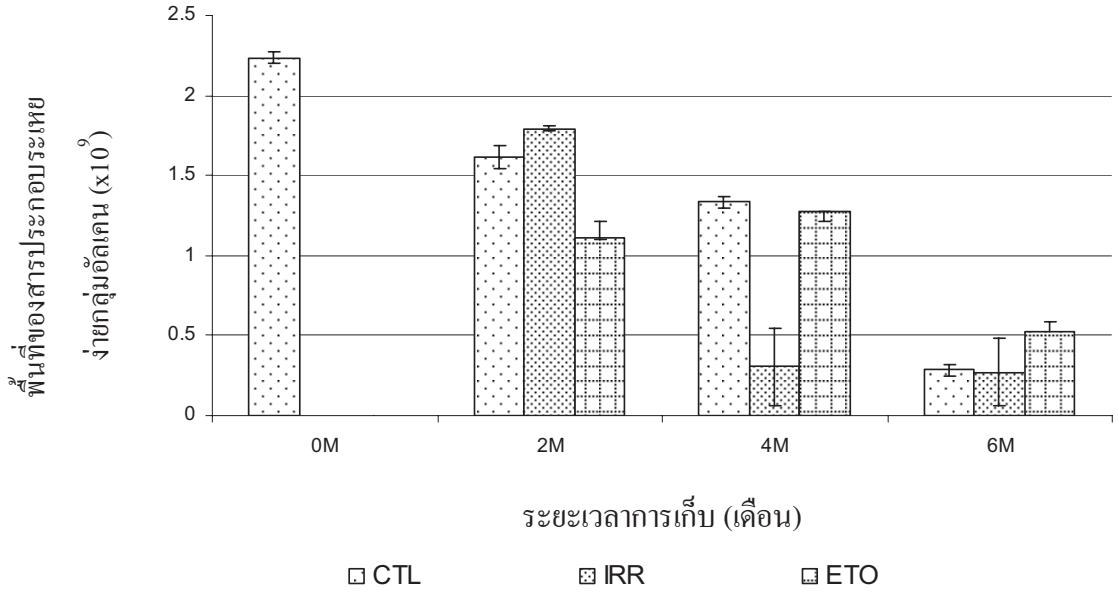
ข้อมูลภาพผลการทดลอง



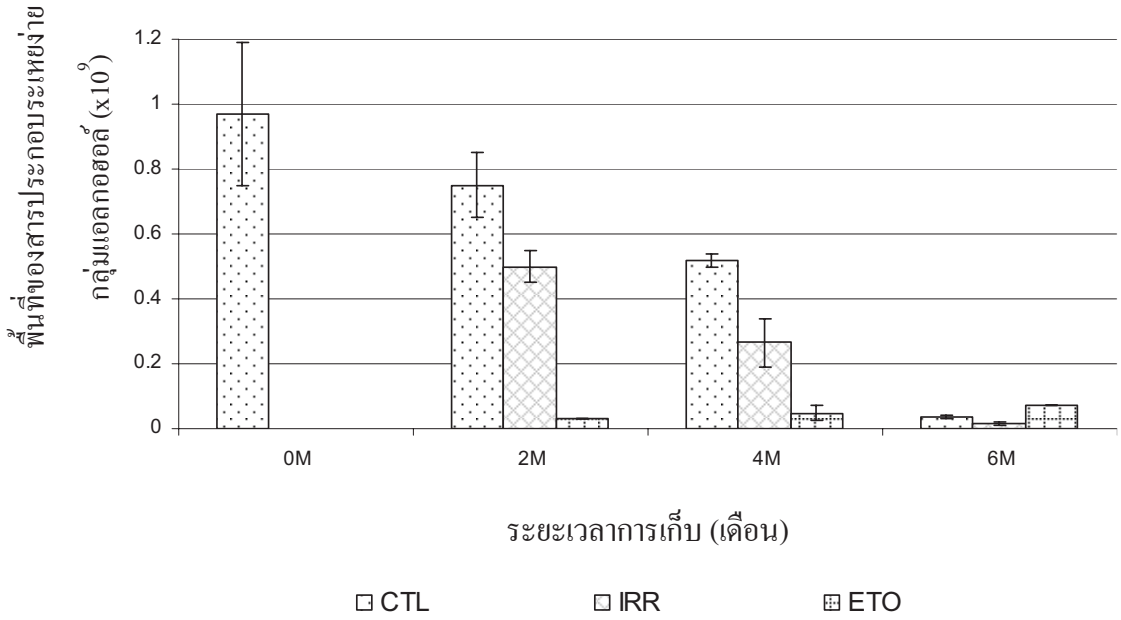
ภาพที่ 10 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน (n=4)



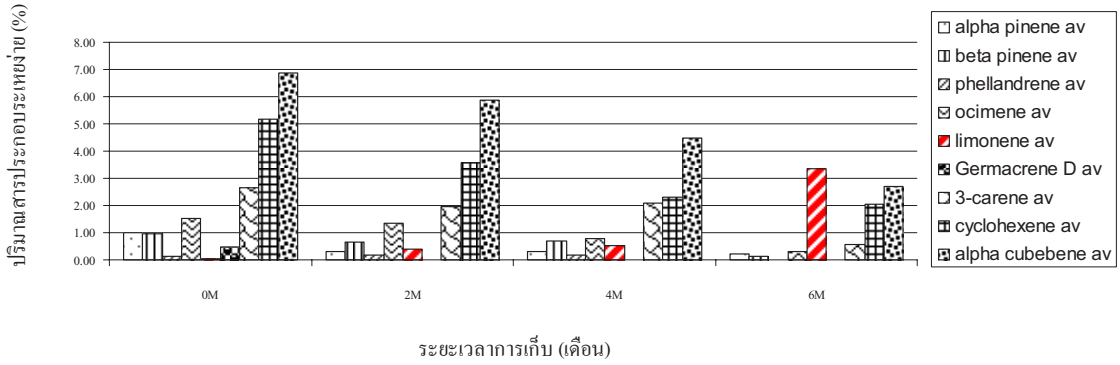
ภาพที่ 11 ปริมาณความชื้น (wet basis) จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน (n=4)



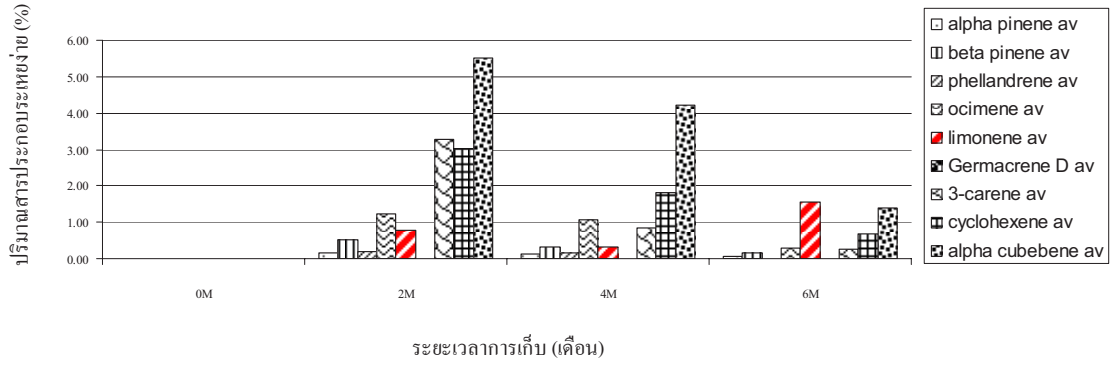
ภาพที่ 12 ปริมาณรวมของสารประกอบระเหยง่ายกลุ่มอัลเคน (alkanes group) จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน



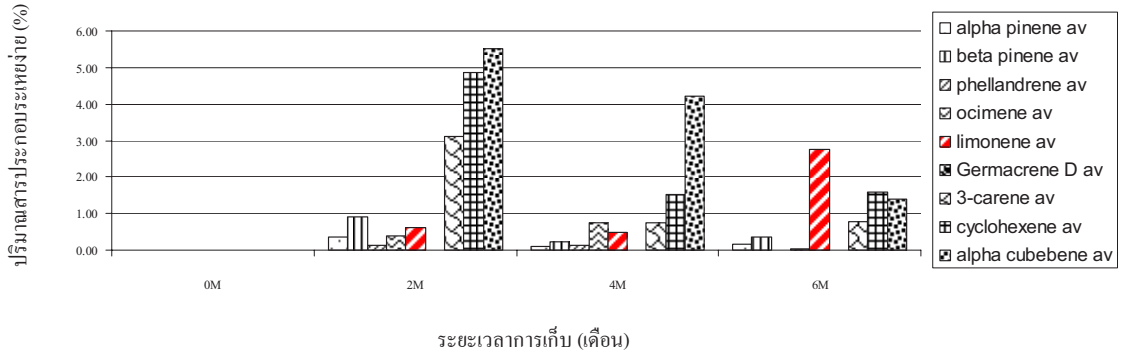
ภาพที่ 13 ปริมาณรวมของสารประกอบระเหยง่ายกลุ่มแอลกอฮอล์ (alcohols group) จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน



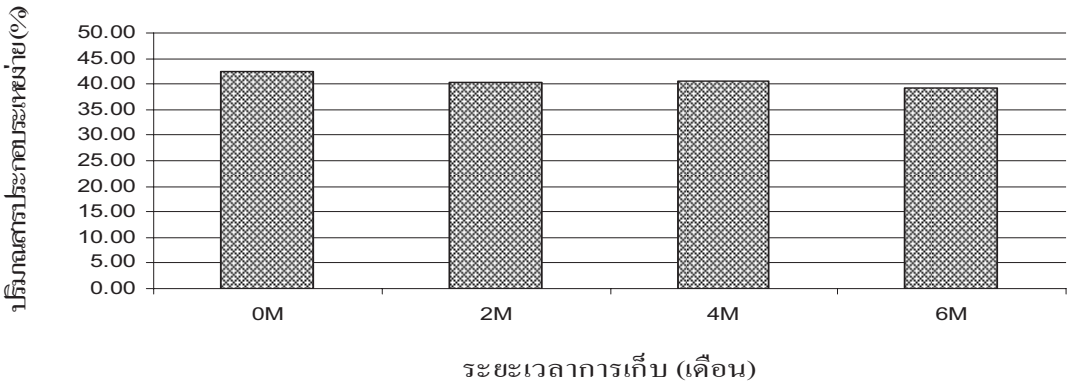
ภาพที่ 14 ปริมาณสารประกอบระเหยง่ายหลักชุดควบคุม ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน



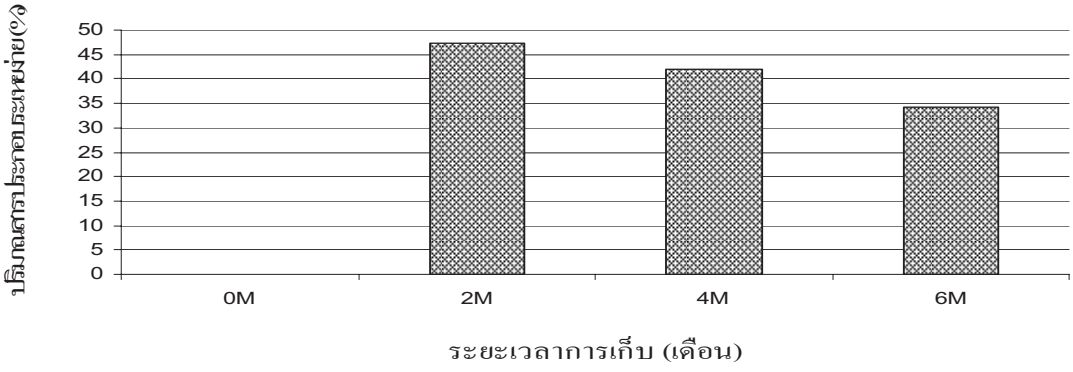
ภาพที่ 15 ปริมาณสารประกอบระเหยง่ายหลักชุดผ่านการฉายรังสี ของพริกไทยป่นแห้งดำที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน



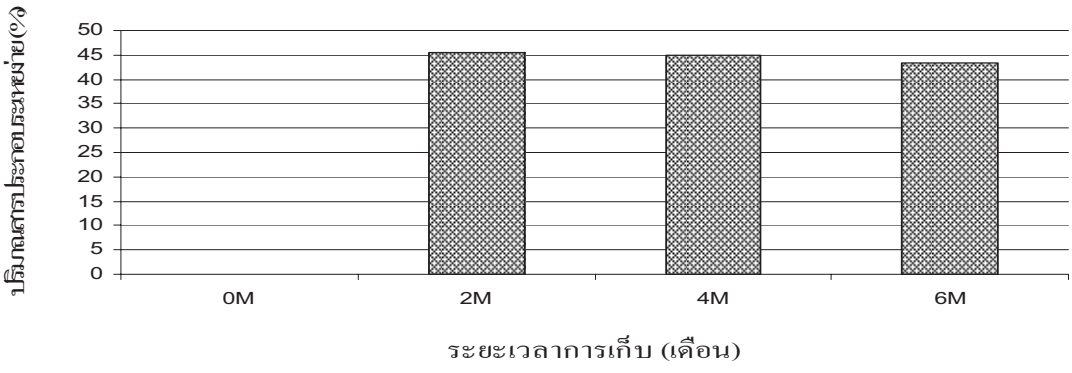
ภาพที่ 16 ปริมาณสารประกอบระเหยง่ายหลักชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน



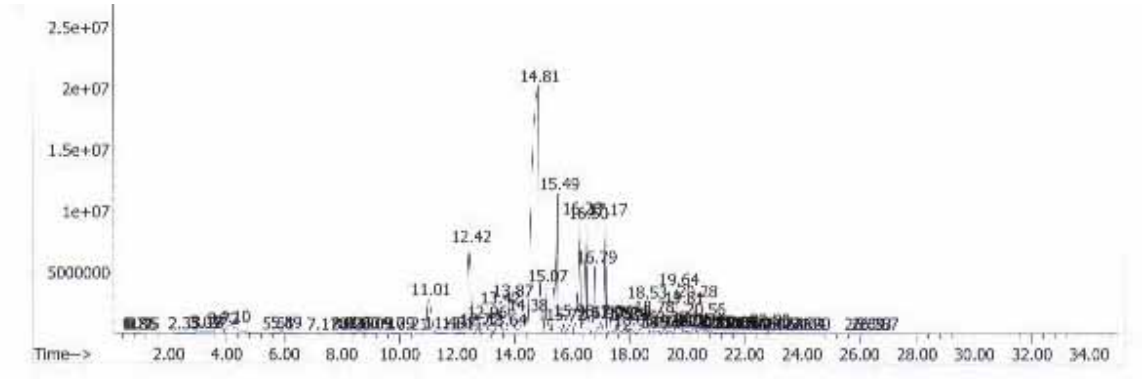
ภาพที่ 17 ปริมาณสารประกอบระเหยง่าย caryophyllene ชุดควบคุม ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน



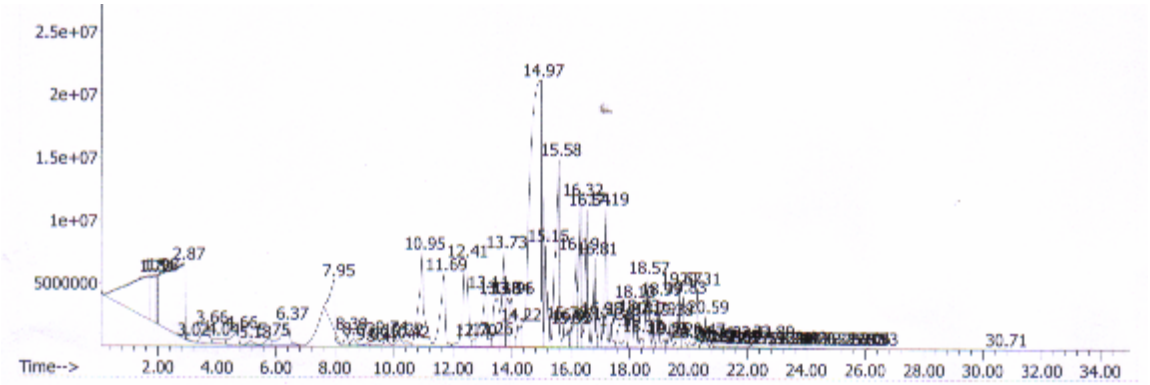
ภาพที่ 18 ปริมาณสารประกอบระเหยง่าย caryophyllene ชุดผ่านการฉายรังสีของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน



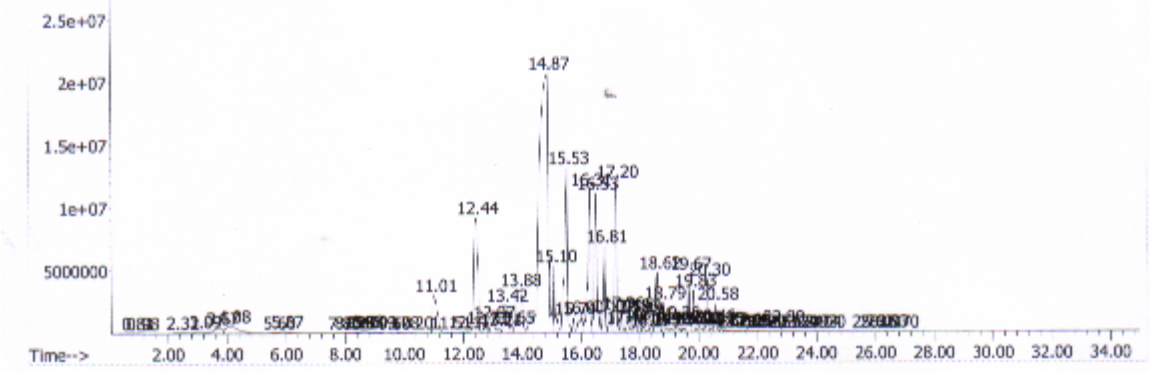
ภาพที่ 19 ปริมาณสารประกอบระเหยง่าย caryophyllene ชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้ง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน



ภาพที่ 20 โครมาโตแกรมของสารประกอบระเหยง่ายในพริกไทยดำป่นแห้งจากชุดควบคุม ที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน



ภาพที่ 21 โครมาโตแกรมของสารประกอบระเหยง่ายในพริกไทยดำป่นแห้งจากชุดผ่านการฉายรังสี ที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน



ภาพที่ 22 โครมาโตแกรมของสารประกอบระเหยง่ายในพริกไทยดำป่นแห้งจากชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน

ภาคผนวก ค
ข้อมูลตารางผลการทดลอง

ตารางที่ 12 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ($\log_{10}$ cfu/g)		
	CTL	IRR	ETO
0	7.18^{aA}	2.78^{aC}	4.59^{aB}
1	6.71^{bA}	2.42^{abcC}	4.40^{aB}
2	7.39^{aA}	3.54^{abC}	4.64^{aB}
3	6.44^{bA}	2.09^{bcdC}	4.47^{aB}
4	6.49^{bA}	2.14^{bcdC}	3.42^{bB}
5	6.57^{bA}	1.87^{dC}	3.40^{bB}
6	5.82^{cA}	2.00^{cdC}	3.67^{bB}

หมายเหตุ ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่เวลาต่างกัน

^{ABC} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวนอน ที่ treatment ต่างกัน

CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่13 ปริมาณเชื้อรา ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ปริมาณเชื้อรา ($\log_{10}$ cfu/g)		
	CTL	IRR	ETO
0	$3.09^{a\,C}$	$6.22^{b\,A}$	$3.98^{a\,B}$
1	$2.86^{a\,B}$	$6.48^{a\,A}$	$3.93^{a\,B}$
2	$1^{b\,B}$	$2.15^{de\,A}$	$1^{b\,B}$
3	$1^{b\,B}$	$2.30^{d\,A}$	$1^{b\,B}$
4	$1^{b\,B}$	$2.00^{e\,A}$	$1^{b\,B}$
5	$1^{b\,B}$	$2.54^{c\,A}$	$1^{b\,B}$
6	$1^{b\,B}$	$2.00^{e\,A}$	$1^{b\,B}$

หมายเหตุ ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวตั้ง ที่เวลาต่างกัน

^{ABC} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของข้อมูลเปรียบเทียบในแนวนอนที่ treatment ต่างกัน

CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ ปริมาณเชื้อรามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1 (log10 cfu/g) หมายถึงไม่พบ

ตารางที่ 14 พื้นที่ใต้พีครวมของสารประกอบระเหยง่ายทุกชนิด ของพริกไทยดำป่นแห้งชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่รวมของสารประกอบระเหยง่าย (corrected area) $x10^9$			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	50.95±4.05	44.3±5.6	24.3±2.0	8.4±0.9
IRR	-	31.8±0.1	26.6±2.2	18.1±6.3
ETO	-	24.2±0.5	21.4±1.4	13.2±1.3

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 15 พื้นที่ใต้พีคสารประกอบกลุ่มอัลคีน จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรม กาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (x 10^9)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	45.47±1.20	37.06±2.95	18.74±1.37	9.78±0.87
IRR	-	24.78±0.61	19.06±1.72	9.92±0.79
ETO	-	18.47±1.24	18.25±0.14	9.94±0.93

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 16 พื้นที่ใต้พีคสารประกอบกลุ่มอัลเคน จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (x 10^9)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	2.24±0.03	1.64±0.08	1.34±0.04	0.29±0.03
IRR	-	1.80±0.20	0.31±0.25	0.27±0.21
ETO	-	1.28±0.01	1.11±0.01b	0.53±0.06

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 17 พื้นที่ใต้พีคสารประกอบกลุ่มแอลกอฮอล์ จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (x 10^9)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	0.97±0.22	0.75±0.10	0.27±0.23	0.04±0.01
IRR	-	0.50±0.05	0.27±0.08	0.01±0.01
ETO	-	0.03±0.00	0.05±0.02	0.07±0.00

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 18 พื้นที่ใต้พีค α-pinene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	0.975±0.69	0.305±0.00	0.312+0.05	0.202±0.00
IRR	-	0.168±0.20	0.125±0.01	0.057+0.00
ETO	-	0.363±0.02	1.010±0.01	0.146+0.00

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 19 พื้นที่ใต้พีค β-pinene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	0.963±0.04	0.656±0.02	0.690±0.15	0.117±0.12
IRR	-	0.531±0.08	0.309±0.06	0.150±0.02
ETO	-	0.917±0.04	0.242±0.03	0.343±0.01

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 20 พื้นที่ใต้พีค phellandrene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	0.150±0.04	0.172±0.00	0.183±0.02	ไม่พบ
IRR	-	0.200±0.02	0.155±0.01	ไม่พบ
ETO	-	0.135±0.03	0.136±0.02	ไม่พบ

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 21 พื้นที่ใต้พีค ocimene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	1.511±0.21	1.348±0.06	0.785±0.79	0.283±0.01
IRR	-	1.235±0.13	1.085±0.28	0.305±0.30
ETO	-	0.376±0.38	0.750±0.11	0.018±0.00

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 22 พื้นที่ใต้พีค limonene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	0.057±0.01	0.377±0.01	0.500±0.02	3.327±0.23
IRR		0.789±0.11	0.315±0.10	1.553±0.14
ETO		0.630±0.06	0.470±0.04	2.754±0.03

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 23 พื้นที่ใต้พีค germacrene D จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	0.478±0.14	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
IRR	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ETO	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 24 พื้นที่ใต้พีค caryophyllene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	42.514±0.67[a]	40.401±5.71	40.652±0.62	39.137±4.91
IRR	-	47.410±2.53	41.919±4.42	34.212±5.29
ETO	-	45.512±1.97	44.921±0.36	43.243±0.60

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 25 พื้นที่ใต้พีค 3-carene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	2.636±0.25 [a]	1.953±0.11	2.081±0.46	0.578±0.46
IRR	-	3.273±1.36	0.836±0.12	0.265±0.27
ETO	-	3.122±0.08	0.754±0.09	0.769±0.01

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 26 พื้นที่ใต้พีค cyclohexene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	5.153±0.13	3.574±0.03	2.310±2.31	2.022±0.01
IRR	-	3.0215±0.38	1.805±0.19	0.688±0.69
ETO	-	4.880±0.15	1.508±0.10	1.598±0.06

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ตารางที่ 27 พื้นที่ใต้พีค α-cubebene จากชุดควบคุม ชุดผ่านการฉายรังสี และชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์ของพริกไทยดำป่นแห้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0-6 เดือน

Treatment	% พื้นที่ของสารประกอบระเหยง่าย (% of total)			
	0 เดือน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
CTL	6.896±2.03	5.851±0.20	4.475±0.32	2.674±0.16
IRR	-	5.268±0.15	5.856±0.21	3.114±0.78
ETO	-	5.522±0.01	4.217±0.09	1.385±1.23

หมายเหตุ CTL คือชุดควบคุม IRR คือชุดผ่านการฉายรังสี และ ETO คือชุดผ่านการรมกาซเอทิลีนออกไซด์

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล	:	นางสาว จรรยา ไชยเจริญ
ที่อยู่	:	25 / 124 หมู่บ้านชวนชื่นบางนา ถ. บางนา – ตราด กม 29.5
		ซ. เกียรติธานี อ. บางบ่อ จ. สมุทรปราการ 10560
		Tel / Fax . 027072045
ประวัติการศึกษา	:	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร
		คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น
พ.ศ. 2551	:	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี
		อาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
		มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน		
พ.ศ. 2537 - 2540	:	เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์
		บริษัท ไทยเพรซิเดนท์ จำกัด (มหาชน)
พ.ศ. 2540 - 2544	:	ผู้ช่วยผู้จัดการกลุ่มแป้ง ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์
		บริษัท โกลโบฟู้ดส์ จำกัด
พ.ศ. 2544 - 2550	:	ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์
		บริษัทกริฟฟิทท์ เลบอราทอรี่ส์ จำกัด
พ.ศ. 2550 - ปัจจุบัน	:	ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์
		บริษัท ไทยฟู้ดส์โค้ทติ้งส์ จำกัด