การตรวจวัดอนุมูลอิสระในธัญพืช เครื่องเทศและสมุนไพรบางชนิดที่ฉายรังสี

นาย ธนาวิทย์ กุลรัตนรักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0328-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19704525

DETECTION OF FREE RADICALS IN SOME IRRADIATED CROPS, SPICES AND HERBS

Mr. Thanawit Kulrattanarak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0328-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**การตรวจวัดอนุมูลอิสระในธัญพืช เครื่องเทศและสมุนไพรบางชนิดที่ฉายรังสี**
โดย	**นาย ธนาวิทย์ กุลรัตนรักษ์**
สาขาวิชา	**นิวเคลียร์เทคโนโลยี**
อาจารย์ที่ปรึกษา	**รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล**

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... **คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์**

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... **ประธานกรรมการ**

(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

..... **อาจารย์ที่ปรึกษา**

(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

.....**กรรมการ**

(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....**กรรมการ**

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทรโยธา)

ธนาวิทย์ กุลรัตนรักษ์ : การตรวจวัดอนุมูลอิสระในธัญพืช เครื่องเทศและสมุนไพรบางชนิดที่ฉายรังสี. (DETECTION OF FREE RADICALS IN SOME IRRADIATED CROPS, SPICES AND HERBS) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล, 74 หน้า. ISBN 974-13-0328-9.

การตรวจวัดอนุมูลอิสระในตัวอย่าง (ข้าวจ้าว ถั่วเขียว พริกไทยขาวเม็ด พริกไทยขาวป่น และยาเขียว) บรรจุถุงแบบธรรมดาและแบบสุญญากาศ ที่ฉายรังสีและไม่ฉายรังสีด้วยเครื่องอิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์ พบว่าตัวอย่างที่ฉายรังสีมีปริมาณอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสีตลอดช่วงเวลา 58 วัน ตัวอย่างที่ฉายรังสีจะมีปริมาณอนุมูลอิสระสูงมากในวันแรกหลังจากนั้นจะลดลงอย่างเอ็กซโพเนนเชียล หลัง 15 วันไปแล้วปริมาณอนุมูลอิสระเริ่มคงที่ ตัวอย่างที่บรรจุถุงแบบสุญญากาศเมื่อฉายรังสีจะมีปริมาณอนุมูลอิสระต่ำกว่าแบบบรรจุถุงธรรมดา

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4170336621 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: ELECTRON SPIN RESONANCE / FREE RADICALS / IRRADIATED / CROPS / SPICES / HERBS

THANAWIT KULRATTANARAK : DETECTION OF FREE RADICALS IN SOME IRRADIATED CROPS, SPICES AND HERBS. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR SIRIWATTANA BANCHORNDHEVAKUL, 74 pp. ISBN 974-13-0328-9.

Effect of irradiation on free radicals of rice, green gram, peppercorn, pepper and febrifuge compounded of powdered herbs at various conditions were studied by ESR techniques. It was found that irradiated samples had higher amount of than control samples for all 58 days period after irradiation. Free radicals content decreased exponentially in the first 15 days after irradiation then became stable. Induced free radicals of vacuum packaging samples were lower than those of normal packaging samples.

Department Nuclear Technology

Field of study Nuclear Technology

Academic year 2000

Student's signature .....

Advisor's signature .....

Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้แนะนำหัวข้อและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ อาจารย์ประจำภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเครื่องฉายรังสีแกมมา คุณ ศิริรัตน์ พีรมนตรี เจ้าหน้าที่กองการวัดกัมมันตภาพรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ที่ให้การสนับสนุน Dosimeter ในการวัดปริมาณรังสี และ คุณ มานพ ติระรัตนสมโภช นักวิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์หาปริมาณอนุมูลอิสระด้วยเครื่องอิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์ตลอดระยะเวลาทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ในการอุดหนุนทุนทำวิทยานิพนธ์บางส่วน และสุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่สนับสนุนให้กำลังใจ และให้มรดกทางการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญภาพ.....ฎ

1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้.....3

1.6 สถานที่ทำการวิจัย.....3

1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2 ทฤษฎี.....5

2.1 อิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์.....5

2.2 การเกิดเรโซแนนซ์ กรณีอิเล็กตรอน 1 ตัว.....6

2.3 การเกิดเรโซแนนซ์ กรณีอิเล็กตรอนหลายตัว.....9

2.4 ลักษณะของ ESR สเปกตรัม.....12

2.5 อาหารฉายรังสี.....13

2.5.1 อนุมูลอิสระ.....13

2.5.2 ผลของรังสีต่อโมเลกุลน้ำ.....14

2.5.3 ผลของรังสีในระบบเคมี.....15

2.6 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอาหารฉายรังสี.....17

2.6.1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในโปรตีน.....17

2.6.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในคาร์โบไฮเดรต.....19

2.6.3 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการในอาหารฉายรังสี.....19

3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีวิจัย.....23

หน้า

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์วิจัย.....23
3.2 การเตรียมตัวอย่างสาร.....24
4 ผลการวิจัย.....26
4.1 ปริมาณรังสีที่ตัวอย่างได้รับ.....26
4.2 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของตัวอย่างชนิดต่าง ๆ เทียบกับเวลา.....27
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....47
รายการอ้างอิง.....52
ภาคผนวก.....53
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....74

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1 ปริมาณรังสีที่ใช้ฉายรังสี 2

2.1 ผลกระทบของการฉายรังสีต่อกรดอะมิโนพื้นฐานที่มี Lysozyme.....18

2.2 ข้อมูลคุณค่าทางอาหารของเนื้อไก่.....20

2.3 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของมะละกอฉายรังสี 20

2.4 ปริมาณของวิตามิน อี ในไก่และไก่งวง.....20

2.5 การสูญเสียวิตามิน ซี ในมะม่วงฉายรังสี.....21

2.6 ผลกระทบต่อวิตามินของการฉายรังสีสำหรับสัตว์ปีก.....21

2.7 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของแป้งข้าวโพดโดยการฉายรังสี.....22

3.1 แสดงชนิดของตัวอย่าง ปริมาณรังสี และ Dosimeter ที่ใช้ตรวจสอบ.....25

4.1 แสดงปริมาณรังสีที่ตัวอย่างได้รับ (หน่วย : kGy).....26

4.2.1.1 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในข้าวข้าวชุดที่ 1 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....27

4.2.1.2 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในข้าวข้าวชุดที่ 2 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....27

4.2.1.3 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในข้าวข้าวชุดที่ 3 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....27

4.2.1.4 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในข้าวข้าวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....28

4.2.2.1 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในข้าวข้าวชุดที่ 1 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....29

4.2.2.2 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในข้าวข้าวชุดที่ 2 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....29

4.2.2.3 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในข้าวข้าวชุดที่ 3 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....29

4.2.2.4 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในข้าวข้าวเฉลี่ยเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....30

4.2.3.1 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในถั่วเขียวชุดที่ 1 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....32

หน้า

4.2.3.2 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในถั่วเขียวชุดที่ 2 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....32
4.2.3.3 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในถั่วเขียวชุดที่ 3 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....32
4.2.3.4 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในถั่วเขียวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....33
4.2.4.1 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในถั่วเขียวชุดที่ 1 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....34
4.2.4.2 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในถั่วเขียวชุดที่ 2 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....34
4.2.4.3 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในถั่วเขียวชุดที่ 3 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....34
4.2.4.4 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในถั่วเขียวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....35
4.2.5.1 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในขาเขียวชุดที่ 1 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....37
4.2.5.2 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในขาเขียวชุดที่ 2 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....37
4.2.5.3 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในขาเขียวชุดที่ 3 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....37
4.2.5.4 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในขาเขียวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....38
4.2.6.1 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในขาเขียวชุดที่ 1 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....39
4.2.6.2 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในขาเขียวชุดที่ 2 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....39
4.2.6.3 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในขาเขียวชุดที่ 3 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....39

หน้า

4.2.6.4 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในขาเขียวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....40
4.2.7.1 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในพริกไทยขาวเม็ดชุดที่ 1 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....42
4.2.7.2 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในพริกไทยขาวเม็ดชุดที่ 2 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....42
4.2.7.3 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในพริกไทยขาวเม็ดชุดที่ 3 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....42
4.2.7.4 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในพริกไทยขาวเม็ดเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....43
4.2.8.1 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในพริกไทยขาวป่นชุดที่ 1 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....44
4.2.8.2 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในพริกไทยขาวป่นชุดที่ 2 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....44
4.2.8.3 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟในพริกไทยขาวป่นชุดที่ 3 เทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....44
4.2.8.4 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในพริกไทยขาวป่นเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม.....45
5.1 ร้อยละของปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นในข้าวข้าวฉายรังสีเทียบกับชุดควบคุม.....48
5.2 ร้อยละของปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นในถั่วเขียวฉายรังสีเทียบกับชุดควบคุม.....48
5.3 ร้อยละของปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นในขาเขียวฉายรังสีเทียบกับชุดควบคุม.....49
5.4 ร้อยละของปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นในพริกไทยขาวเม็ดฉายรังสีเทียบกับชุดควบคุม.....50
5.5 ร้อยละของปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นในพริกไทยขาวป่นฉายรังสีเทียบกับชุดควบคุม.....51

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 การเกิดสปินในอิเล็กตรอน ซึ่งเกิดจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน.....5

2.2 Magnetic moment ของอิเล็กตรอนที่กำลังหมุนรอบตัวเอง.....6

2.3 ก) การแยกระดับพลังงานของอิเล็กตรอนอันเนื่องมาจากการมีสนามแม่เหล็กมากระทำ.....11

2.3 ข) สเปกตรัม ESR.....11

2.3 ค) การแผ่กว้างของสเปกตรัมของ ESR อันเนื่องมาจากกฎ uncertainty.....11

2.3 ง) จำนวนของอิเล็กตรอนที่ระดับบน (n_-) และจำนวนของอิเล็กตรอนที่ระดับล่าง (n_+).....11

2.4 ก) สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเป็นรูปภูเขา.....12

2.4 ข) ผลการ differential จากข้อ ก. ซึ่งนิยมใช้เป็นสเปกตรัมของ ESR.....12

4.1 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในข้าวจ้าวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบธรรมดา.....28

4.2 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในข้าวจ้าวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....30

4.3 เปรียบเทียบปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในข้าวจ้าวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบธรรมดา และบรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....31

4.4 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในถั่วเขียวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบธรรมดา.....33

4.5 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในถั่วเขียวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....35

4.6 เปรียบเทียบปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในถั่วเขียวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบธรรมดา และบรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....36

4.7 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในขาเขียวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบธรรมดา.....38

4.8 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในขาเขียวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....40

4.9 เปรียบเทียบปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในขาเขียวเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบธรรมดา และบรรจุถุงแบบสุญญากาศ.....41

4.10 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในพริกไทยขาวเม็ดเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบธรรมดา.....42

หน้า

4.11 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยในพริกไทยขาวป่นเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบธรรมดา.....44
4.12 ปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเฉลี่ยระหว่างในพริกไทยขาวเม็ดและในพริกไทยขาวป่นเทียบกับเวลาหลังฉายรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 มิลลิกรัม บรรจุถุงแบบธรรมดา.....45