

การปรับปรุงประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในกากเมล็ดสนุ่นดำ

ด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมา

*วันวิสา สูดประเสริฐ¹ พรรณี พักคง¹ จำริญ เทียงธรรม² และพิพัฒน์พงษ์ จันทร์แดง¹

¹ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทรศัพท์ 0 2562 5444 โทรสาร 0 2579 5530 E-mail: fsciwasu@ku.ac.th

²ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทรศัพท์ 0 2579 1120 โทรสาร 0 2579 1120 E-mail: agrjat@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาผลของรังสีแกมมาต่อความสามารถในการย่อยโปรตีนจากกากเมล็ดสนุ่นดำด้วยเทคนิคการย่อยในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* digestibility) โดยนำเมล็ดสนุ่นดำจำนวน 6 สายพันธุ์ มาฉายรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 ปริมาณรังสีดูดกลืนตั้งแต่ 10 ถึง 100 กิโลเกรย์ ทำการหีบน้ำมัน แล้วนำกากที่ได้มาหาค่าความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนโดยวิธี trinitrobenzene sulphonic acid (TNBS) ซึ่งเป็นการหาปริมาณแอลฟา-อะมิโนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ โดยใช้ แอล-อะลานีน เป็นสารมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่ารังสีแกมมาปริมาณ 60 กิโลเกรย์ มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการย่อยโปรตีนในกากเมล็ดสนุ่นดำ ได้ตั้งแต่ร้อยละ 15 - 92 โดยการฉายรังสีไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางโภชนาได้แก่ ความชื้น ไขมัน เถ้า และโปรตีนของเมล็ดสนุ่นดำ ยกเว้นเชื้อยที่มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้น การฉายรังสีแกมมาจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในกากเมล็ดสนุ่นดำ ก่อนนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนสำหรับผสมในอาหารสัตว์ต่อไป

คำสำคัญ : เมล็ดสนุ่นดำ การฉายรังสีแกมมา การย่อยโปรตีน

Improvement of Protein Digestibility in *Jatropha curcas* Seed Cakes

by Gamma Irradiation

*Wanwisa Sudprasert¹, Pannee Pakkong¹, Jamroen Thiengtham² and Pipatpong Chandang¹

¹Department of Applied Radiation and Isotopes, Faculty of Science, Kasetsart University

Phone: 0 2562 5444, Fax: 0 2579 5530, E-mail: fsciwasu@ku.ac.th

²Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

Phone: 0 2579 1120 Fax: 0 2579 1120, E-mail: agrjat@ku.ac.th

Abstract

The effect of gamma radiation on protein digestibility of *Jatropha curcas* press cake was investigated using *in vitro* digestibility technique. Six varieties of *Jatropha curcas* seeds were subjected to cobalt-60 gamma

radiation at doses of 10-100 kGy. All treated seeds were defatted by screw press. *In vitro* protein digestibilities in defatted seeds were assayed using trinitrobenzene sulphonic acid (TNBS) method, by which the contents of alpha-amino induced from the function of enzymes were determined using *L*-alanine as a reference standard. It was found that irradiation treatment at 60 kGy significantly increased the protein digestibility by 15-92%. Also, the results showed that moisture, crude protein, fat and ash contents were unchanged by irradiation, whereas fiber was significantly decreased ($p < 0.05$). Therefore, irradiation could serve as a possible processing method for protein utilization improvement in defatted *Jatropha curcas* seeds before using as a protein supplement in animal feed.

Keywords: *Jatropha curcas*, gamma irradiation, *in vitro* protein digestibility

1. บทนำ

กากของเมล็ดสบู่ดำ (*Jatropha curcas*) ที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 27-32¹ จึงนับเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี สามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์ได้ อย่างไรก็ตามเมล็ดสบู่ดำยังประกอบด้วยสารพิษและสารต้านโภชนาหลายชนิด ได้แก่ phorbol ester, curcin, saponin, phytate และ protease inhibitor² ซึ่งนอกจากจะเป็นอันตรายต่อร่างกายของสัตว์แล้วยังมีผลกระทบต่อทำให้ผลผลิตและการเจริญเติบโตของสัตว์ โดยจะไปขัดขวางการย่อยได้ของโปรตีนทำให้สัตว์ไม่สามารถนำโภชนาไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นกากเมล็ดสบู่ดำที่จะนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์จะต้องผ่านกระบวนการกำจัดหรือลดสารพิษเหล่านั้นลงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย การลดปริมาณสารพิษหรือสารต้านโภชนาดังกล่าวสามารถกระทำได้หลายวิธี การฉายรังสีแกมมาก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดสารพิษและสารต้านโภชนาของเมล็ดสบู่ดำลงได้³ เนื่องจากการฉายรังสีแกมมาสามารถทำได้สะดวก ใช้เวลาสั้น และสามารถรักษาคูณค่าทางโภชนาไว้ได้ ในขณะที่การใช้ความร้อนมีผลต่อปริมาณของกรดอะมิโน⁴ นอกจากนี้การใช้สารเคมีที่เป็นตัวทำลายที่รุนแรง เช่น กรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ก็มีผลต่อสารโภชนาที่สำคัญในอาหาร⁵ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของรังสีแกมมาในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน หรือเพิ่มคุณภาพของโปรตีนในกากเมล็ดสบู่ดำ ด้วยเทคนิคการย่อยในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* protein digestibility)

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การฉายรังสีเมล็ดสบู่ดำและเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างเมล็ดสบู่ดำ 6 สายพันธุ์ ได้แก่ NT, KUBP-16, KUBP-20, KUBP-27, KUBP 78-9 และ KUBP 80-3 ไปฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลันที่ปริมาณ 0, 10, 20, 30, 60 และ 100 กิโลเกรย์ ด้วยเครื่องฉายรังสีแกมมาโคบอลต์-60 ของบริษัทไอโซตรอน (ประเทศไทย) จำกัด จากนั้นนำเมล็ด

สับดูที่ผ่านการฉายรังสีเกมมาไปผ่านกระบวนการหีบน้ำมันด้วยเครื่องหีบน้ำมันแบบเกลียวอัด และนำกากเมล็ดสับดูมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2.2 การศึกษาองค์ประกอบทางโภชนาของเมล็ดสับดู

วิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาในเมล็ดสับดูทุกสายพันธุ์ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณ 60 และ 100 กิโลเกรย์ ประกอบด้วย โปรตีน เยื่อใย ไขมัน ความชื้น และเถ้า โดยวิธีวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) ตามวิธีของ AOAC⁶ เปรียบเทียบผลกับตัวอย่างเมล็ดสับดูที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี

2.3 ศึกษาความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนจากกากเมล็ดสับดู

2.3.1 การเตรียม multienzyme⁷

ละลายเอนไซม์ย่อยโปรตีนแต่ละชนิดใน 50 mM phosphate buffer pH 8 โดยให้ความเข้มข้นของเอนไซม์ trypsin, chymotrypsin และ peptidase เท่ากับ 1.6, 3.1 และ 1.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ หลังจากนั้นนำมาหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ทริปซินโดยใช้ N- α -benzoyl-DL-arginine-*p*-nitroanilide (BAPNA) เป็น substrate ตามวิธีการของ Rungruangsak⁸ และสร้างกราฟมาตรฐานของ *p*-nitroaniline ความเข้มข้น 0.03-0.21 ไมโครโมลต่อมิลลิลิตร

2.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างกากเมล็ดสับดูฉายรังสีที่บดแล้ว 20 มิลลิกรัม เติม 50 mM phosphate buffer pH 8 40 มิลลิลิตรและ 0.5% chloramphenicol 200 ไมโครลิตร นำไปปั่นใน shaking incubator อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาทีและแช่ที่ -80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และเติม multienzyme 500 ไมโครลิตร นำไปปั่นใน shaking incubator อีกครั้งนาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาทีเพื่อทำลายเอนไซม์ทั้งหมด

2.3.3 การวิเคราะห์การย่อยโปรตีน⁸

วิเคราะห์การย่อยโปรตีนในตัวอย่างโดยวิธี trinitrobenzene sulphonc acid (TNBS) โดยนำตัวอย่างในข้อ 2.3.2 200 ไมโครลิตร มาเติม 50 mM phosphate buffer pH 8 2 มิลลิลิตร และ 0.1 % TNBS 1 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปปั่นในที่มืดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เติม 1 M HCl วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ L-alanine ความเข้มข้น 0.3-3.0 ไมโครโมลต่อมิลลิลิตร และคำนวณค่าความสามารถในการย่อยโปรตีนในหน่วยของ $\mu\text{mol L-alanine equivalent per g feed per trypsin activity}$

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ ในแต่ละการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบพื้นฐานทางโภชนาของเมล็ดสนูปดำ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาในเมล็ดสนูปดำทั้ง 6 สายพันธุ์ ที่ผ่านการฉายรังสี ปริมาณ 60 และ 100 กิโลเกรย์ พบว่าร้อยละของปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น และเถ้า ส่วนใหญ่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกสายพันธุ์เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Table 1) ในขณะที่พบว่า ร้อยละของปริมาณเยื่อใยในเมล็ดสนูปดำที่ผ่านการฉายรังสี 60 และ 100 กิโลเกรย์ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งระดับของเยื่อใยที่ลดลงเป็นผลมาจากรังสีทำให้เกิดการสลายตัวของโครงสร้าง (depolymerization) และการสลายตัวของลิกนิน (delignification)⁹ และยังทำให้เส้นใยของพืช (cellulosic fiber) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในผนังเซลล์พืชนั้นเกิดการแตกหักง่าย¹⁰ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าการฉายรังสีเมล็ดสนูปดำสูงถึง 100 กิโลเกรย์ ไม่มีผลต่อโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางโภชนาที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งในการศึกษาครั้งนี้

3.2 ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนในกากเมล็ดสนูปดำ

ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนจากกากเมล็ดสนูปดำแต่ละสายพันธุ์ที่ผ่านการฉายรังสี แสดงใน Table 2 พบว่าความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นจาก 10 ถึง 60 กิโลเกรย์ แต่ในกากเมล็ดสนูปดำที่ผ่านการฉายรังสีต่ำกว่า 60 กิโลเกรย์ ได้แก่ ปริมาณรังสี 10, 20 และ 30 กิโลเกรย์ ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของการย่อยได้ของโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฉายรังสี ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองในตัวอย่างข้าวฟ่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 0, 10 และ 50 กิโลเกรย์ พบว่าความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนจากข้าวฟ่างมีค่าร้อยละ 70.5, 71.0 และ 70.3 ตามลำดับ¹¹ และการฉายรังสีกากเมล็ดสนูปดำ จำนวน 4 สายพันธุ์จากประเทศเม็กซิโก ที่ปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ พบว่าค่าร้อยละการย่อยได้ของโปรตีนในห้องปฏิบัติการ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติจากตัวอย่างกากเมล็ดสนูปดำที่ไม่ผ่านการฉายรังสี² ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าระดับกิจกรรมของสารยับยั้งทริปซินในเมล็ดสนูปดำยังคงมีระดับที่สูงอยู่ เป็นผลให้ค่าอัตราการย่อยได้ของโปรตีนในตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณ 60 กิโลเกรย์ช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยโปรตีนเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและที่ฉายรังสีปริมาณ 10, 20 และ 30 กิโลเกรย์ ซึ่งสันนิษฐานว่าปริมาณรังสี 60 กิโลเกรย์ อาจมีผลต่อพันธะของโปรตีนโดยทำให้โปรตีนที่มีโครงสร้างแบบทุติยภูมิและตติยภูมิเกิดการเสียสภาพ (denaturation)¹² หรือ อาจส่งผลให้ระดับของสารยับยั้งทริปซินลดลง ทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณ 100 กิโลเกรย์ ไม่มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการย่อยโปรตีนเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปริมาณ 60 กิโล

เกรย์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณรังสีที่สูงเกินไปส่งผลให้เกิดการเชื่อมกัน (cross linking) และรวมตัวกัน (aggregation) ของโครงสร้างภายในโมเลกุลของโปรตีน¹³

4. สรุป

รังสีแกมมาปริมาณ 60 และ 100 กิโลเกรย์ ช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยโปรตีนในกากเมล็ดสับดูดำให้สูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามปริมาณรังสี 100 กิโลเกรย์ ไม่สามารถเพิ่มการย่อยโปรตีนให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณรังสี 60 กิโลเกรย์ ดังนั้นปริมาณรังสี 60 กิโลเกรย์ จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการเพิ่มความสามารถในการย่อยโปรตีนในกากเมล็ดสับดูดำโดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางโภชนาในเมล็ดสับดูดำ เนื่องจากวิธีการฉายรังสี สามารถทำได้คราวละมาก ๆ และไม่จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการเตรียมตัวอย่างเหมือนวิธีอื่น ดังนั้นวิธีการฉายรังสีแกมมาเมล็ดสับดูดำ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ปรับแต่งคุณภาพของกากเมล็ดสับดูดำ เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนสำหรับอาหารสัตว์ได้ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โครงการเคยู-ไบโอดีเซล คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณแอนนา สายมณีรัตน์ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ สถาบันอินทรีจันทร์สถิตย์เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาพืชศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดสับดูดำสายพันธุ์ KU BP-16, KU BP-20, KU BP-27, KU BP 78-9 และ KU BP 80-3 และอาจารย์สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดสับดูดำสายพันธุ์ NT (non-toxic) บริษัทไอโซตรอน (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ฉายรังสีตัวอย่าง และ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ที่เอื้อเฟื้อเครื่องบีบน้ำมันเมล็ดสับดูดำ

Table 1 Chemical composition of 6 varieties of *Jatropha curcus* seeds irradiated at 60 and 100 kGy compared to unirradiated seeds (control)*.

Chemical composition	Variety	Control (0 kGy)	60 kGy	100 kGy
% Protein	NT	17.47±0.12 ^a	17.39±0.09 ^a	17.51±0.18 ^a
	KU BP-16	20.16±0.61 ^a	20.12±0.19 ^a	18.91±0.15 ^a
	KU BP-20	17.89±0.11 ^a	17.99±0.33 ^a	17.68±0.26 ^a
	KU BP-27	19.45±0.29 ^a	18.99±0.28 ^a	20.04±0.14 ^a
	KU BP 78-9	19.60±0.18 ^a	20.16±0.30 ^a	20.31±0.05 ^a
	KU BP 80-3	15.72±0.52 ^a	14.99±0.09 ^a	14.81±0.13 ^a
% Crude fiber	NT	33.99±0.45 ^a	30.44±0.54 ^b	27.29±0.26 ^c
	KU BP-16	33.83±0.19 ^a	30.95±0.58 ^b	28.06±1.17 ^c
	KU BP-20	34.58±0.27 ^a	30.40±0.28 ^b	30.05±0.03 ^b
	KU BP-27	34.18±0.52 ^a	31.37±0.39 ^b	30.53±0.67 ^b
	KU BP 78-9	34.80±0.24 ^a	30.77±0.58 ^b	30.54±0.15 ^b
	KU BP 80-3	37.65±0.64 ^a	33.75±1.50 ^b	32.97±0.18 ^b
% Fat	NT	35.67±0.85 ^{a,b}	33.27±1.16 ^b	36.76±0.64 ^a
	KU BP-16	30.34±0.24 ^b	30.56±0.20 ^b	33.08±0.66 ^a
	KU BP-20	30.77±1.12 ^b	36.20±0.45 ^a	35.95±0.15 ^a
	KU BP-27	32.63±0.82 ^a	32.19±1.20 ^a	33.23±0.27 ^a
	KU BP 78-9	36.44±0.15 ^a	34.75±0.27 ^a	35.99±0.42 ^a
	KU BP 80-3	37.10±0.51 ^a	35.90±0.36 ^a	37.07±0.97 ^a
% Moisture	NT	4.45±0.07 ^a	3.70±0.04 ^b	4.62±0.02 ^a
	KU BP-16	5.85±0.17 ^a	4.64±0.25 ^b	5.16±0.10 ^b
	KU BP-20	5.48±0.01 ^a	4.31±0.04 ^c	4.80±0.02 ^b
	KU BP-27	5.30±0.05 ^a	3.69±0.10 ^b	5.13±0.04 ^a
	KU BP 78-9	4.67±0.06 ^a	4.03±0.06 ^b	4.68±0.03 ^a
	KU BP 80-3	4.97±0.02 ^a	4.41±0.09 ^b	4.62±0.04 ^a
% Ash	NT	4.76±0.37 ^a	4.16±0.02 ^a	4.45±0.18 ^a
	KU BP-16	4.89±0.02 ^a	4.83±0.04 ^a	4.82±0.02 ^a
	KU BP-20	4.49±0.03 ^a	4.48±0.02 ^a	4.57±0.01 ^a
	KU BP-27	4.58±0.34 ^a	4.19±0.02 ^a	4.46±0.03 ^a
	KU BP 78-9	3.37±0.03 ^a	3.80±0.02 ^a	3.97±0.02 ^a
	KU BP 80-3	4.29±0.02 ^b	4.36±0.01 ^{a,b}	4.46±0.05 ^a

*Mean ± SE in the same row with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$).

Table 2. Effect of gamma radiation on *in vitro* protein digestibility of 6 varieties of *Jatropha curcas* seeds.

Variety	<i>In vitro</i> protein digestibility* ($\mu\text{mol L}$ -alanine equivalent per g feed per trypsin activity)					
	Absorbed dose (kGy)					
	Control (0)	10	20	30	60	100
NT	54.94 $\pm$ 0.11 ^b	55.15 $\pm$ 1.56 ^b	58.11 $\pm$ 1.36 ^b	58.33 $\pm$ 3.04 ^b	67.79 $\pm$ 1.76 ^a	58.53 $\pm$ 0.43 ^b
KU BP-16	56.35 $\pm$ 1.57 ^c	57.59 $\pm$ 1.56 ^{b,c}	60.40 $\pm$ 3.19 ^{b,c}	63.29 $\pm$ 0.88 ^b	74.30 $\pm$ 2.07 ^a	71.63 $\pm$ 0.71 ^a
KU BP-20	44.03 $\pm$ 1.80 ^b	45.38 $\pm$ 1.46 ^b	46.78 $\pm$ 1.74 ^b	49.20 $\pm$ 2.84 ^b	57.38 $\pm$ 2.22 ^a	62.91 $\pm$ 1.28 ^a
KU BP-27	65.82 $\pm$ 0.62 ^b	68.90 $\pm$ 2.21 ^b	69.33 $\pm$ 1.73 ^b	69.59 $\pm$ 0.46 ^b	76.03 $\pm$ 0.54 ^a	78.11 $\pm$ 0.78 ^a
KU BP 78-9	65.20 $\pm$ 2.40 ^c	70.32 $\pm$ 1.05 ^{b,c}	70.81 $\pm$ 2.04 ^{b,c}	71.72 $\pm$ 0.90 ^b	87.96 $\pm$ 0.46 ^a	84.74 $\pm$ 0.97 ^a
KU BP 80-3	45.85 $\pm$ 2.35 ^c	45.42 $\pm$ 3.11 ^c	48.38 $\pm$ 1.27 ^{b,c}	53.98 $\pm$ 3.25 ^b	88.46 $\pm$ 2.95 ^a	87.63 $\pm$ 1.85 ^a

*Mean $\pm$ SE in the same row with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$).

6. เอกสารอ้างอิง

1. Makkar, H.P.S., Becker, K., 1997. Potential of *J. curcas* seed meal as a protein supplement to livestock feed, constraints to its utilisation and possible strategies to overcome constraints. In: Guñbitz, G.M., Mittelbach, M., Trabi, M. (Eds.) Biofuels and Industrial Products from *Jatropha curcas*. Dbv, Graz, pp. 190–205.
2. Martinez-Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G., Davila-Ortiz, Becker, K., 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effect of different treatments on their levels in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. J. Food Chem. 96, 80-86.
3. ศราวุทธ ชัดคำ, 2551. ผลของรังสีแกมมาต่อกิจกรรมของสารยับยั้งทริปซินในเมล็ดสนุ่นดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

4. Hayakawa, S., Suzuki H., Hayashi T., Kawashima K., 1985. Effect of gamma irradiation on the nutritive value of domestic animal feeds. Reports of the natural food research institute. 46, 109-113.
5. Saddhuraju, P., Makkar H.P.S., Becker K., 2002. The effect of ionizing radiation on antinutritional factor and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. Food Chem. 78, 187-205.
6. AOAC. 2000. Official Method of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC., USA.
7. Hsu, H.W., Vavak, D.L., Satterlee, L.D., Miller, G.A., 1977. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. J. Food Sci. 42, 1269-1272.
8. Rungruangsak-Torrissen, K., Rustad, A., Sunde, J., Eiane, S.A., Jensen, H.B., Opstvedt, J., Nygard, E., Samuelsen, T.A., Mundheim, H., Luzzana, U., Venturini, G., 2002. *In vitro* digestibility based on fish crude enzyme extract for prediction of feed quality in growth trials. J. Sci. Food Agric. 82, 644-654.
9. Sandev, S., Karaivanov, I., 1977. The composition and digestibility of irradiated roughage: treatment with gamma irradiation. Tierenahr. Fuetter. 10, 238-242.
10. Gilfillan, E.S., Linden, L., 1995. Effect of nuclear radiation on the strength of yarns. Text. Res. J. 25, 773-777.
11. Fombang, E.N., Taylor, J.R.N., Mbofung, C.M.F., Minnaar, A. 2005. Use of gamma irradiation to alleviate the poor protein digestibility of sorghum porridge. Food Chemistry 91: 695-703.
12. Ciesla, K., Roos, Y., Gluszewski, W., 2000. Denaturation processes in gamma irradiated proteins studied by differential scanning calorimetry. Radiat Phys and Chem. 58, 233–243.
13. Kempner, E. S., 1993. Damage to proteins due to the direct action of ionising radiation. Quart. Rev. Biophys. 26, 27–49.