

PC13: การศึกษาปริมาณธาตุในถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์

โดยเทคนิคเชิงก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอน

*วรพจน์ เพิ่มน้ำทิพย์ อารมณ์ นุชมงคล และสิรินาฏ เลาหะโรจนพันธ์

กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

โทรศัพท์ 0 2562 0121 โทรสาร 0 2562 0121 E-Mail: jamesvorapot@yahoo.com

บทคัดย่อ

ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ โดยใช้เทคนิค Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA), Pseudo-Cyclic Instrumental Neutron Activation Analysis (PCINAA) และ Epithermal Instrumental Neutron Activation Analysis (EINAA) ธาตุที่วิเคราะห์พบได้แก่ อะลูมิเนียม โบรมีน แคลเซียม คลอรีน ทองแดง เหล็ก ไอโอดีน โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส โซเดียม ซีลีเนียมและสังกะสี จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบปริมาณสารอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการแปรรูปซึ่งมีผลต่อคุณค่าอาหาร ผลการทดลอง (จำนวน = 2) พบปริมาณธาตุคลอรีนและโซเดียมเพิ่มขึ้นจาก 0.0045 และ 0.0011% เป็น 0.91 และ 0.39 % ในตัวอย่างเต้าหู้ขาวชนิดแข็งหลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป ในขณะที่ธาตุอื่นๆ มีปริมาณธาตุใกล้เคียงกับปริมาณธาตุในถั่วเหลือง จากการทดลองพบว่าได้ขีดจำกัดการตรวจวัดของ อะลูมิเนียม โบรมีน แคลเซียม คลอรีน ทองแดง เหล็ก ไอโอดีน โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส โซเดียม ซีลีเนียมและสังกะสีคือ 0.05, 0.2, 50, 6, 10, 15, 0.05, 30, 40, 5, 5, 0.05 และ 1 มิลลิกรัม.กิโลกรัม⁻¹ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ เทคนิคเชิงก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอน

Elemental Study in Soybean and Products

by Neutron Activation Analysis

*Vorapot Permmamtip, Arporn Busamongkol and Sirinart Laoharajanaphand

Nuclear Research and Development Division,

Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization)

Phone: 0 2562 0121, Fax: 0 2562 0121, E-Mail: jamesvorapot@yahoo.com

Abstract

Elements were analyzed in soybean and products by Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA), Pseudo-Cyclic Instrumental Neutron Activation Analysis (PCINAA) and Epithermal Instrumental Neutron Activation Analysis (EINAA). Elements detected in sample were include Al, Br, Ca, Cl, Cu, Fe, I, K, Mg, Mn, Na, Se and Zn. The result showed that the nutritional contents changed after food processing. From experiments (n = 2), it was found that after food processing, the concentration of Cl and Na in soy bean curd

increased from 0.0045 and 0.0011% to found 0.91 and 0.39 %, respectively. Other elements did not differ from soybean. Limits of detection for Al, Br, Ca, Cl, Cu, Fe, I, K, Mg, Mn Na, Se and Zn were 0.05, 0.2, 50, 6, 10, 15, 0.05, 30, 40, 5, 5, 0.05 and 1 mg.kg⁻¹, respectively.

Keywords: Soybean and Products, Neutron Activation Analysis

1.บทนำ

ถั่วเหลืองเป็นเมล็ดพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการเป็นแหล่งที่ดีของไขมัน โปรตีนรวมทั้งแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ นอกจากนี้การแปรรูปถั่วเหลืองได้ให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลายขึ้นและเป็นที่นิยมของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ ในปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงคุณค่าอาหารและการปนเปื้อนสารพิษ เริ่มเป็นที่ตระหนักถึงผู้บริโภคและหน่วยงานราชการที่เฝ้าระวัง การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในถั่วเหลืองจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องศึกษา

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในอาหารซึ่งมีปริมาณน้อย จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ที่มีความไวสูงและมีขีดจำกัดของการตรวจวัดต่ำ เช่น Atomic Absorption Spectrometry (AAS) ¹, Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) ² และ Neutron Activation Analysis (NAA) ³ ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอน (Neutron Activation Analysis ,NAA) มาทำการศึกษานี้เนื่องจากเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่มีความไวและมีขีดจำกัดของการตรวจวัดต่ำ เนื่องจากเทคนิคเชิงกัมมันตรังสีด้วยนิวตรอนมีหลายแบบ ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้เทคนิคที่มีความเหมาะสมกับกับแต่ละธาตุด้วย

ธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้นได้ใช้ Pseudo-Cyclic Instrumental Neutron Activation Analysis ⁴ (PCINAA) เนื่องจากธาตุในกลุ่มนี้มีค่าครึ่งชีวิตสั้น การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดังกล่าวจะทำให้ได้ปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นสามารถวิเคราะห์ได้ง่าย สำหรับธาตุครึ่งชีวิตปานกลางได้ใช้ Epithermal Instrumental Neutron Activation Analysis (EINAA) ⁵ ในการวิเคราะห์ เนื่องจากธาตุที่ทำการวิเคราะห์กลุ่มนี้มีภาคตัดขวาง (cross section) ที่เหมาะสมกับนิวตรอนแบบเอพิเทอร์มอล ในขณะที่ธาตุครึ่งชีวิตยาวได้ใช้ Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) ³ เนื่องจากธาตุในกลุ่มนี้ไม่เหมาะที่จะใช้เทคนิคที่กล่าวมาข้างต้น และการวิเคราะห์แบบ INAA ก็มีสภาพไวพอสำหรับการวิเคราะห์ครั้งนี้

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาปริมาณธาตุในถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ (เต้าหู้ขาวชนิดอ่อน เต้าหู้ขาวชนิดแข็ง เต้าหู้ขาวชนิดหลอด เต้าหู้ไข่ไก่ชนิดหลอด ฟองเต้าหู้ และโปรตีนเกษตร) ที่ได้หลังผ่านกระบวนการแปรรูป

2. วัสดุอุปกรณ์

ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ทั้งหมด 7 ตัวอย่างคือ ถั่วเหลือง เต้าหู้ขาวชนิดอ่อน เต้าหู้ขาวชนิดแข็ง เต้าหู้ขาวชนิดหลอด เต้าหู้ไข่ไก่ชนิดหลอด ฟองเต้าหู้ และโปรตีนเกษตร ซึ่งได้จากร้านค้าทั่วไป

สารมาตรฐานเปรียบเทียบที่ใช้ประกอบด้วย NIST 1566b (Oyster Tissue), NIST 1547 (Peach Leaves) และ NIST 1573a (Tomato Leaf) ได้ทำการวิเคราะห์โดยวิธีเปรียบเทียบ (comparative method)

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย SLOWPOKE-2 Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, CANADA เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1 (ปปว-1/1) ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และเครื่องตรวจจับรังสีแกมมาพร้อมด้วยหัววัดรังสีชนิด GMX Series HPGe (High-Purity Germanium) Coaxial Detector System, Resolution (FWHM) ที่ 1.33 MeV (^{60}Co) เป็น 2.3 keV, Relative Efficiency ที่ 1.33 MeV (^{60}Co) เป็น 67% ของบริษัท ORTEC รุ่น GMX60P4-83

3. วิธีการ

ตัวอย่างถั่วเหลือง นำตัวอย่างมาบดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า ที่ทำจากอาร์เกตเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือตัวอย่างอย่างละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นอบตัวอย่างที่ได้ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างในตู้ดูดความชื้น

สำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ นำไปอบให้แห้ง จากนั้นบดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า ที่ทำจากอาร์เกตเป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือตัวอย่างอย่างละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บตัวอย่างในตู้ดูดความชื้น

3.1 มาตรฐานชีวิตสั้น ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งประมาณ 0.1-0.3 กรัม บรรจุในถ้วยพอลิเอทิลีนที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยกรดไนตริก 4 โมลาร์ หลังจากปิดผนึกด้วยความร้อน นำไปบรรจุในวัสดุสำหรับอบรังสีที่ทำด้วยพอลิเอทิลีน ตัวอย่างที่ได้นำไปอบรังสีด้วยระบบ PCINAA ณ SLOWPOKE-2 มีความหนาแน่นนิวตรอน $2.5 \times 10^{11} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ใช้เวลาในการอบรังสี 20 วินาที เวลาในการสลายตัว 10 วินาทีและเวลาในการนับรังสี 20 วินาที แล้วนำไปอบซ้ำ ทำทั้งหมด 5 รอบ โดยแต่ละรอบใช้เวลารอบละ 1 นาที สำหรับธาตุที่วิเคราะห์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วย อะลูมิเนียม ทองแดงและซีลีเนียม

3.2 วัสดุครึ่งชีวิตปานกลาง เตรียมตัวอย่างในลักษณะเดียวกับหัวข้อ 3.1 นำตัวอย่างไปอบรังสีด้วย Epithermal neutron ณ SLOWPOKE-2 มีความหนาแน่นนิวตรอน $2.5 \times 10^9 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ใช้เวลาในการอบรังสี 30 นาที เวลาในการสลายตัว 5 นาทีและเวลาในการนับรังสี 25 นาที สำหรับธาตุที่วิเคราะห์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วย โบรมีน แคลเซียม คลอรีน ไอโอดีน โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส และโซเดียม

3.3 วัสดุครึ่งชีวิตยาว ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งประมาณ 0.05-0.07 กรัม ใส่ในพลาสติกพอลิเอทิลีน หลังจากปิดผนึกด้วยความร้อน นำไปบรรจุในวัสดุสำหรับอบรังสี ตัวอย่างที่ได้นำไปอบรังสี ณ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1 (ปปว-1/1) มีความหนาแน่นนิวตรอน $1 \times 10^{11} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ใช้เวลาในการอบรังสี 46 ชั่วโมง เวลาในการสลายตัว 2 สัปดาห์และเวลาในการนับรังสี 3600 วินาที สำหรับธาตุที่วิเคราะห์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วย เหล็กและสังกะสี

สำหรับสารมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบวิเคราะห์ดำเนินการเตรียมในลักษณะเดียวกับการเตรียมตัวอย่าง

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลทางนิวเคลียร์ของธาตุที่วิเคราะห์

ธาตุ	ไอโซโทป	ค่าครึ่งชีวิต	พลังงาน (keV)
Al	^{28}Al	2.24 นาที	1778.99

Br	⁸² Br	2.47 วัน	619.10
Ca	⁴⁹ Ca	8.72 นาที	3084.54
Cl	³⁸ Cl	37.24 นาที	2167.68
Cu	⁶⁶ Cu	5.1 นาที	1039.35
Fe	⁵⁹ Fe	44.49 วัน	1099.25
I	¹²⁸ I	24.99 นาที	442.92
K	⁴² K	12.36 ชั่วโมง	1524.58
Mg	²⁷ Mg	9.46 นาที	1014.43
Mn	⁵⁶ Mn	2.57 ชั่วโมง	1810.77
Na	²⁴ Na	14.9 ชั่วโมง	1368.60
Se	^{77m} Se	17.45 วินาที	161.92
Zn	⁶⁵ Zn	244.1 วัน	1115.52

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

ตัวอย่างอาหารทั้ง 7 ชนิด คือ ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วย เต้าหู้ขาวชนิดอ่อน เต้าหู้ขาวชนิดแข็ง เต้าหู้ขาวชนิดหลอด เต้าหู้ไข่ไก่ชนิดหลอด ฟองเต้าหู้ และโปรตีนเกษตร ได้ทำการวิเคราะห์โดยเทคนิคก๊อกรมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอน พบธาตุ อะลูมิเนียม โบรมีน คลอรีน ทองแดง เหล็ก ไอโอดีน แมกนีเซียม แมงกานีส โซเดียม ซีลีเนียม สังกะสี แคลเซียม และโพแทสเซียม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณธาตุในถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ (มิลลิกรัม.กิโลกรัม⁻¹)

	ถั่วเหลือง	เต้าหู้ขาว ชนิดอ่อน	เต้าหู้ขาว ชนิดแข็ง	เต้าหู้ขาว ชนิดหลอด	เต้าหู้ไข่ไก่ ชนิดหลอด	ฟองเต้าหู้	โปรตีน เกษตร	ค่าต่ำสุดของ การตรวจวัด
--	------------	------------------------	------------------------	------------------------	---------------------------	------------	-----------------	----------------------------

ธาตุ								
Al	7.76	14.84	17.06	18.23	16.71	6.59	12.82	0.05
Br	1.74	1.26	103.97	1.02	15.80	LD	0.57	0.2
Cl	45.52	1962.42	9122.97	193.58	31110.8	10.21	292.45	6
Cu	14.73	16.00	17.77	16.60	LD	LD	LD	10
Fe	75.20	86.23	81.68	103.88	67.47	100.31	86.60	15
I	0.92	0.84	0.75	0.36	3.94	1.47	0.16	0.05
Mn	31.75	41.56	44.85	38.14	LD	42.22	46.98	5
Na	11.46	107.86	3940.68	846.49	30569.01	251.64	29.38	5
Se	0.13	0.24	LD	0.16	1.02	0.09	0.094	0.05
Zn	34.89	63.13	56.78	61.78	40.07	63.94	55.09	1
Ca(%)	0.27	1.04	0.29	0.34	LD	0.21	0.29	0.005
Mg(%)	0.23	0.22	0.54	0.27	LD	0.18	0.23	0.004
K(%)	1.72	0.84	0.58	1.46	2.71	0.37	1.54	0.003

LD ต่ำกว่าค่าต่ำสุดของการตรวจวัด

จากตารางที่ 2 ธาตุตรวจพบธาตุ คือ ธาตุที่มีปริมาณน้อย ประกอบด้วย อะลูมิเนียม โบรมีน ทองแดง เหล็ก ไอโอดีน แมงกานีส โซเดียม ซีลีเนียมและ สังกะสี และธาตุที่มีปริมาณสูงกว่า ประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียมและคลอรีน (ในบางตัวอย่าง) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางพบว่าเมื่อทำการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปริมาณธาตุในถั่วเหลืองส่วนมากมีปริมาณเปลี่ยนแปลงจากเริ่มต้นไม่มาก ดังเช่น อะลูมิเนียม โบรมีน ทองแดง ไอโอดีน แมงกานีส ซีลีเนียม สังกะสี แคลเซียมและโพแทสเซียม ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบธาตุพิษในตัวอย่างอาหารที่นำมาวิเคราะห์ เช่น สารหนูหรือแคดเมียม

สำหรับธาตุบางธาตุที่มีปริมาณธาตุแตกต่างจากถั่วเหลืองมากๆ อาทิ คลอรีนในถั่วเหลืองพบที่ปริมาณ 45.52 มิลลิกรัม.กิโลกรัม⁻¹ แต่เมื่อผ่านขบวนการผลิตพบปริมาณสูงในระดับ 1,000-9,000 มิลลิกรัม.กิโลกรัม⁻¹ ส่วนมากเกิดจากการใช้น้ำประปาซึ่งมีองค์ประกอบของคลอรีน ทำให้ระดับปริมาณคลอรีนสูงขึ้นมาก ในขณะที่โซเดียมพบปริมาณน้อยในตัวอย่างถั่วเหลือง แต่พบปริมาณสูงในตัวอย่างบางชนิดน่าจะเกิดจากในขบวนการผลิตมีการเติมเกลือในปริมาณสูง

สำหรับในบางตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุสูงกว่าในถั่วเหลือง เช่น โบรมีนในเต้าหู้ขาวชนิดแข็ง อาจเกิดจากกระบวนการบรรจุหีบห่อ มีการปนเปื้อนจากวัสดุที่ใช้มีการสัมผัสกับโบรมีน ซึ่งโบรมีนส่วนมากมักถูกใช้ในยาฆ่าแมลง หรือ แมกนีเซียมในเต้าหู้ขาวชนิดแข็งมีปริมาณสูงกว่าในถั่วเหลือง

มากทั้งนี้เกิดจากในขั้นตอนกระบวนการแปรรูปต้องมีการเติมแมกนีเซียมซัลเฟตหรือดีเกลือเป็นองค์ประกอบในกระบวนการผลิตทำให้พบปริมาณแมกนีเซียมสูง

5. สรุป

การวิเคราะห์เชิงนิวเคลียร์โดยอาศัยเทคนิคเชิงก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอนเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์สามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุได้หลายธาตุพร้อมๆกัน ส่วนระยะเวลาที่วิเคราะห์ขึ้นอยู่กับค่าครึ่งชีวิตของแต่ละธาตุ

จากการศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์พบว่าในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง พบการปนเปื้อนของธาตุบางชนิดซึ่งอาจเกิดจากวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการหรือน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการผลิต นอกจากนี้การบรรจุหีบห่อผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากกระบวนการแปรรูปอาจมีการปนเปื้อนสู่ผลิตภัณฑ์ได้

6. เอกสารอ้างอิง

1. Laiyan, S., Fengying, L., Rongwei, S. Houxi, Z., Determination and Evaluation of Some Trace Elements in Chinese Foodstuffs. 1991. J. Radioanal. Nucl. Ch. 151, 277-285
2. Coelho, N. M. M., Coelho, L. M., de Lima, E. S., Pastor, A., de la Graudia, M., 2005. Determination of Arsenic Compounds in Beverages by High-Performance Liquid Chromatography-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Talanta. 66, 818-822.
3. Nyarko, B. J. B., Akaho, E. H. K., Fletcher, J. J., Zwicker, B., Chatt, A., 2006. Simultaneous Determination of Short-to Medium Lived Nuclides in Ghanaian Food Items using INAA and Compton Suppression Counting. J. Radioanal. Nucl. Ch. 270, 243-248.
4. Xiallin, H., 2000. Encyclopedia of Analytical Chemistry : Cyclic Activation Analysis. John Wiley & Sons, Chichester, p.12447.
5. Zikovsky, L., Soliman, K., 1999. Epithermal Neutron Activation Analysis of Food. J. Radioanal. Nucl. Ch. 240, 681-682.