

การวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในธัญพืชของไทย

วรพจน์ เพิ่มนำทิพย์^{*1} อารมณ์ บุญมงคล² สิรินาถ เลหาะโรจนพันธ์² และ สุวรรณ ไชยสิทธิ์¹

¹ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

² กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ

บทคัดย่อ

ได้ทำการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในธัญพืชข้าวและถั่ว โดยใช้เทคนิคเชิงก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอน เนื่องจากธัญพืชดังกล่าวเป็นอาหารหลักของประชากรไทย ข้อมูลที่ได้จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการและความปลอดภัยของอาหารที่ใช้บริโภค โดยได้ทำการวิเคราะห์ธาตุอะลูมิเนียม สารหนู โบรมีน แคลเซียม แคดเมียม คลอรีน โครเมียม ทองแดง เหล็ก ไอโอดีน โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส โมลิบดีนัม ซีลีเนียม ดิบุก วาเนเดียมและสังกะสี ธาตุที่วิเคราะห์พบได้แก่ อะลูมิเนียม สารหนู โบรมีน คลอรีน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี แคลเซียม โพแทสเซียม และ แมกนีเซียม ได้ปริมาณคือ 2.2 – 35.7, 0.15 – 0.21, 0.44 – 13.5, 55.6 – 640.3, 16.3 – 16.5, 158.9 – 161.1, 12.2 – 55.7, 8.2 – 58.1 ไมโครกรัม/กรัม, 0.02 – 0.28, 0.09 – 1.99 และ 0.03 – 0.26 % ตามลำดับ สำหรับแคดเมียม โครเมียม ไอโอดีน โมลิบดีนัม ซีลีเนียม ดิบุกและวาเนเดียมวิเคราะห์ไม่พบในตัวอย่างเพราะว่าธาตุเหล่านี้มีปริมาณต่ำกว่าค่าต่ำสุดของการตรวจวัด นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์โดยทดสอบกับสารมาตรฐานคือ NIST 1568a, NIST 8704, ACSP DORM-1, NIES No.9 และ NMJ 7302 – a

คำสำคัญ: เทคนิคเชิงก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอน ธาตุปริมาณน้อย ธัญพืชของไทย

Determination of Trace Elements in Thai Cereal

Vorapot Permmamtip^{*1} Arporn Busamongkol² Sirinart Laoharajanaphand² and Suwan Chaiyasith¹

¹ Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

² Nuclear Research and Development Division, Thailand Institute of Nuclear Technology

Abstract

Trace elements were analyzed in Thai cereal, e.g. rice and bean, by using neutron activation analysis (NAA). The selected cereals are major food items for Thai population. The data obtained from this work will be useful for nutrition and safety consumption of Thai cereal.

Trace elements verified include Al, As, Br, Ca, Cd, Cl, Cr, Cu, Fe, I, K, Mg, Mn, Mo, Se, Sn, V and Zn. It was found that Al, As, Br, Cl, Cu, Fe, Mn, Zn, Ca, K and Mg are presented in the range of 2.2 – 35.7, 0.15 – 0.21, 0.44 – 13.5, 55.6 – 640.3, 16.3 – 16.5, 158.9 – 161.1, 12.2 – 55.7, 8.2 – 58.1 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (ppm), 0.02 – 0.28, 0.09 – 1.99 and 0.03 – 0.26 %, respectively. For Cd, Cr, I, Mo, Se, Sn and V were not found in sample because the concentrations were lower than detection limit. Precision and accuracy were determined by analyzing standard reference materials: NIST 1568a, NIST 8704, ACSP DORM-1, NIES No.9 and NMII 7302 – a

Keywords: NAA, trace elements, Thai cereal

บทนำ

ระดับของปริมาณธาตุชนิดต่างๆ ในอาหารเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษา เนื่องจากในทางโภชนาการนักโภชนาการต้องการทราบถึงปริมาณธาตุที่เพียงพอในอาหารที่จำเป็นต่อผู้บริโภค ในขณะที่ทางด้านพิษวิทยานักพิษวิทยาเป็นกังวลเกี่ยวกับระดับปริมาณที่แน่นอนของโลหะในอาหารซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นความรู้เกี่ยวกับปริมาณธาตุต่างๆ ในอาหารจึงยังคงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาต่อไปทราบเท่าที่เรายังไม่สามารถผลิตอาหารที่ทราบปริมาณธาตุที่แน่นอนได้หรือเพาะปลูกผลิตผลทางการเกษตรได้โดยปราศจากการปนเปื้อนของธาตุชนิดต่างๆ ปัจจุบันพบว่าประเทศไทยยังขาดข้อมูลด้านนี้อยู่มาก

ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในอาหารมีเทคนิคการวิเคราะห์หลายเทคนิค แต่ละเทคนิคมีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดแตกต่างกัน บางเทคนิคต้องเตรียมตัวอย่างให้อยู่ในรูปสารละลาย[1] ต้องเตรียมให้สารละลายให้อยู่ในรูปที่สามารถวัดสัญญาณแสงได้[2] ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เทคนิคเชิงก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอนในการศึกษา[3] เพราะเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างในรูปของแข็งได้ มีความไวและความจำเพาะสูง สามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อยได้ดีและสามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายธาตุพร้อมกัน [4]

วิธีการทดลอง

ตัวอย่างธัญพืชข้าวและถั่วที่ใช้มีทั้งหมด 9 ตัวอย่าง คือ ข้าวกล้อง ข้าวขัดขาว ข้าวหอมมะลิสินธุ์ ข้าวหอมมะลิสีชมพู ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ถั่วแดงหลวงและถั่วเหลือง ซึ่งซื้อจากร้านค้าทั่วไป นำตัวอย่างมาบดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า (grinder) ที่ทำจากอาร์เกตเป็นระยะเวลาประมาณ 3 ชั่วโมงจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำตัวอย่างเก็บในตู้ดูดความชื้น

ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่างแต่ละชนิดประมาณ 0.07 กรัม บรรจุในพลาสติกโพลีเอทิลีนและปิดผนึกด้วยความร้อน เตรียมสารมาตรฐานในลักษณะเดียวกับตัวอย่างเพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีเปรียบเทียบโดยใช้สารมาตรฐานเปรียบเทียบ (Standard reference material; SRM) ดังนี้ NIST 1568a (Rice Flour), NIST 8704 (Buffalo River Sediment), ACSP DORM-1 (Dog Fish Muscle and Liver), NIES No.9 (Sargasso) NMIJ 7302 – a (Marine Sediment) และสารละลายมาตรฐานของธาตุแต่ละชนิดที่หยดลงบนกระดาษกรองโดยใช้สารละลายมาตรฐาน AA grade จากบริษัท SCP SCIENCE และจากการเตรียมสารมาตรฐานของแชนเจอร์การวิเคราะห์จาก SPEX INDUSTRIES นำตัวอย่างและสารมาตรฐานไปอบรังสีพร้อมกัน ณ สภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ

ธาตุที่วิเคราะห์	เวลาที่ใช้อบรังสี	ความหนาแน่นของรังสีนิวตรอน	เวลาที่ใช้สลายตัว	เวลาที่ใช้นับรังสี
Al, Ca, Cl, Cu, I, Mg, Mn, Sn, V	35 วินาที	$1 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$	1 นาที	200 วินาที
As, Br, Cd, K, Mo	12 ชั่วโมง	$2 \times 10^{11} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$	38 ชั่วโมง	1800 วินาที
Cr, Fe, Se, Zn	46 ชั่วโมง	$1 \times 10^{11} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$	2 สัปดาห์	3600 วินาที

การศึกษาหาค่าความถูกต้องของการวิเคราะห์ ได้ใช้สารมาตรฐาน SRMs NIST 1568a, NIST 8704, ACSP DORM-1, NIES No .9 และ NMIJ 7302 – a โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่หยดลงบนกระดาษกรองได้ผลดังตารางที่ 2 ส่วนค่าความเที่ยงตรงได้ทำการวิเคราะห์กับสารมาตรฐาน SRMs ซ้ำ 10 ครั้ง สำหรับค่าต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) คำนวณจากค่าความแรงรังสีพื้นหลัง (background) ในตัวอย่างเทียบกับในสารมาตรฐานตามวิธีของ Gilmore และ Hemingway [5]

ผลการทดลอง

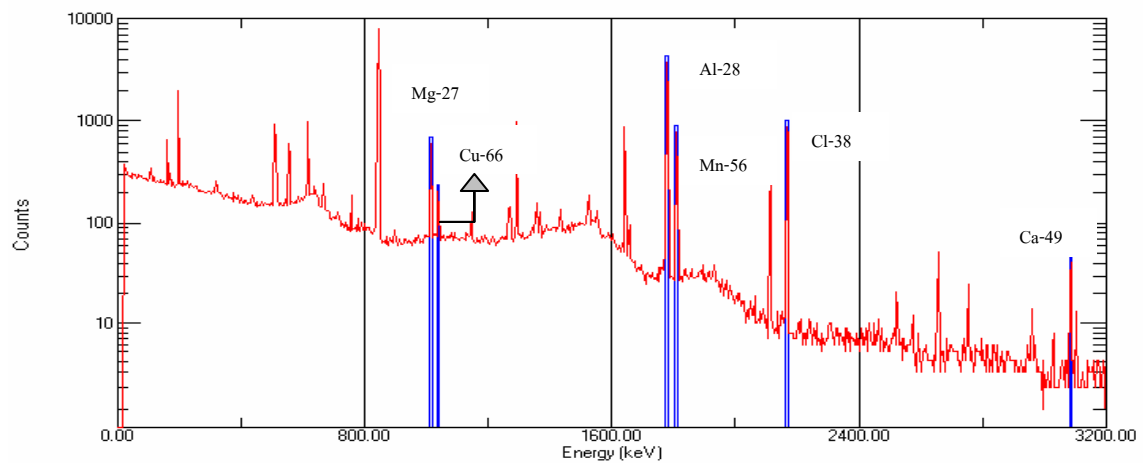
รูปที่ 1 แสดงถึงสเปกตรัมของรังสีแกมมาของสารมาตรฐาน Rice Flour 1568a ที่นำไปอบรังสีด้วยระบบท่อลมที่มีความเข้มข้นของนิวตรอน $1 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ เป็นเวลา 35 วินาที ปล่อยให้สลายตัว 1 นาที ใช้เวลาวัด 200 วินาที

ผลของการศึกษาความถูกต้องและความเที่ยง แสดงดังตารางที่ 2 โดยธาตุ อะลูมิเนียม สารหนู โบรมีน คลอรีน ทองแดง โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส และสังกะสี ใช้ NIST 1568a ธาตุ แคลเซียม ใช้ NIES No.9 ธาตุ โครเมียม ใช้ NIST 8704 ธาตุเหล็ก ใช้ NMIJ 7302-a และ ธาตุ

ซีลีเนียมใช้ ACSP DORM-1 เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบพบว่ามีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 0.6 - 4.2% ส่วนค่าความเที่ยงตรงได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) อยู่ในช่วง 1.3 - 7.6% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ แต่มีบางธาตุที่ไม่สามารถวิเคราะห์ค่าความถูกต้องและเที่ยงตรงได้เนื่องจากสารมาตรฐานที่ใช้มีความเข้มข้นต่ำ ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างข้าวและถั่ว แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงค่าความถูกต้องและความเที่ยงตรง

ธาตุ	ความเข้มข้น						เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
	ค่าจากการทดลอง	NIST 1568a	NIST 8704	ACSP DORM-1	NIES No.9	NMIJ 7302-a		
Al	4.5 ppm	4.4 ppm					2.2	7.3
As	0.28 ppm	0.29 ppm					3.4	4.5
Br	7.9 ppm	8 ppm					1.3	3.0
Ca	1.29 %				1.34 %		3.7	5.5
Cl	298 ppm	300 ppm					0.6	1.3
Cr	118.1 ppm		121.9 ppm				3.1	5.3
Cu	2.5 ppm	2.4 ppm					4.2	7.6
Fe	5.24 %					5.40 %	3.0	4.3
K	0.126 %	0.128 %					1.6	2.3
Mg	0.055 %	0.056 %					1.8	4.8
Mn	19.4 ppm	20.0 ppm					3.0	3.7
Se	1.67 ppm			1.62 ppm			3.1	6.6
Zn	19.7 ppm	19.4 ppm					1.5	4.9



รูปที่ 1 แสดงสเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐาน Rice Flour 1568a

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณธาตุในตัวอย่างข้าวและถั่ว

	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว	ข้าวหอม มะลิสีน้ำตาล	ข้าวหอม มะลิสีชมพู	ถั่วเขียว	ถั่วดำ	ถั่วแดง	ถั่วแดง หลวง	ถั่วเหลือง	LOD (ppm)
ธาตุ										
Al (ppm)	2.7±0.5	2.2±0.2	9.1±0.4	9.1±0.4	10.8±0.2	14.1±0.9	20.2±1.6	35.7±1.2	20.4±0.9	0.06
As (ppm)	0.21±0.01	0.15±0.01	0.19±0.01	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0.01
Br (ppm)	0.62±0.01	0.46±0.01	0.75±0.01	LD	0.92±0.03	0.44±0.03	13.5±0.1	LD	2.2±0.03	0.12
Cd(ppm)	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	1.44
Cl (ppm)	346.6±4.8	312.5±4.9	254.5±1.5	175.6±1.4	640.3±3.7	89.6±3.6	99.5±4.5	168.2±3.3	55.6±4.2	4.63
Cr (ppm)	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0.40
Cu(ppm)	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	16.4±0.01	0.85
Fe (ppm)	LD	LD	LD	LD	LD	160.0±1.1	LD	LD	LD	17.69
I (ppm)	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0.38
Mn(ppm)	33.3±1.6	13.6±0.1	55.7±0.1	26.5±0.2	12.2±0.3	20.3±0.1	15.1±0.1	15.3±0.3	33.6±0.4	0.58
Mo(ppm)	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0.54
Se (ppm)	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0.35
Sn (ppm)	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	3.79
V (ppm)	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0.02
Zn (ppm)	21.7±0.3	20.5±0.6	26.3±0.7	21.4±1.4	8.5±0.3	36.9±1.0	8.2±0.9	34.9±1.1	58.1±6.4	0.27
Ca (%)	LD	LD	0.02±0.001	LD	0.13±0.003	0.07±0.003	0.11±0.004	0.10±0.006	0.28±0.005	14.94
K (%)	0.28±0.006	0.09±0.001	0.24±0.001	0.21±0.003	1.31±0.003	1.51±0.021	1.20±0.087	1.87±0.067	1.99±0.019	15.28
Mg (%)	0.13±0.004	0.03±0.001	0.15±0.001	0.11±0.001	0.16±0.001	0.23±0.003	0.16±0.002	0.16±0.009	0.26±0.001	39.93

LD ต่ำกว่าค่าต่ำสุดของการตรวจวัด

สรุป

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอนเพื่อหาปริมาณของธาตุในธัญพืช คือ ข้าวและถั่ว รวม 9 ตัวอย่าง พบธาตุทั้งหมด 11 ชนิด คือ อะลูมิเนียม สารหนู โบรมีน คลอรีน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี แคลเซียม โพแทสเซียม และ แมกนีเซียม โดยได้ตรวจสอบความเที่ยงตรงและความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์กับสารมาตรฐานซึ่งได้ผลเป็นที่ยอมรับได้ ในการศึกษาพบว่าข้าวของไทยเป็นแหล่งของธาตุอาหารพวกคลอรีน โพแทสเซียมและแมกนีเซียม ในขณะที่ถั่วพบปริมาณของแคลเซียม โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่อุดมสมบูรณ์มากกว่า ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า การวิเคราะห์โดยเทคนิคเชิงก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอนเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างธัญพืช ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปริมาณได้หลายธาตุพร้อม ๆ กัน ส่วนเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับค่าครึ่งชีวิตของแต่ละธาตุ และจะได้นำวิธีนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในตัวอย่างอาหารประเภทอื่นๆ อีก เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใส่ใน Food Composition Table ของอาหารไทย ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] D'Ilio, S., Alessandrelli, M., Cresti, R., Forte, G. and Caroli, S., "Arsenic Content of Various Types of Rice as Determined by Plasma-based Techniques." **Microchem. J.** vol. 73, 2002. pp. 195-201.
- [2] Das, P., Raghuramulu, N. and Rao, K.C., "Determination of in Vitro Availability of Iron from Common Foods." **J. Hum. Ecol.** vol. 18, no. 1, 2005. pp. 13-20.
- [3] Filby, R. H., "Part IX. Neutron Activation Analysis (Technical Report)." **Pure & Appl. Chem.** vol. 67, no. 11. 1995. pp. 1929-1941.
- [4] Soliman, K. and Zikovsky, L., "Determination of Br, Ca, Cl, Co, Cu, I, K, Mg, Mn, Na, Rb, S, Ti and V in Cereals, Oils, Sweeteners and Vegetables Sold in Canada by Neutron Activation Analysis." **J. Food Compos. Anal.** vol. 12, 1999. pp. 85-89.
- [5] Gilmore, G. and Hemingway, D. J. **Practical Gamma-Ray Spectrometry.** John Wiley & Sons, Chichester. 1995. pp. 122-123.