

การตรวจยืนยันแหล่งผลิตอาหารตามลักษณะทางภูมิศาสตร์ โดยการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบและไอโซโทป

The Verification of Geographical origin of Foodstuffs By Multi-element and Multi-isotope analysis

สมหมาย ช่างเขียน^{1*}

Sommai Changkian^{1*}

บทคัดย่อ

ในสภาพเศรษฐกิจแบบโลกาภิวัตน์ในปัจจุบัน อาหารและผลิตภัณฑ์อาหารมีการส่งไปจำหน่ายได้ไกลๆ การทราบถึงองค์ประกอบปริมาณน้อยในอาหารที่ใช้บ่งบอกถึงแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์มีความต้องการในหลายเหตุผล เช่นความปลอดภัยทางอาหาร การสร้างตราสินค้าและการตลาด และการยอมรับและตระหนักของผู้บริโภค ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในอาหารสามารถบ่งบอกถึงแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ของอาหารนั้น การศึกษาไอโซโทปเสถียรและไอโซโทปกัมมันตรังสีแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้แยกแหล่งผลิตอาหารได้ บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เทคนิคต่างๆ และการประยุกต์ใช้งานของเทคนิคดังกล่าว

คำสำคัญ : ไอโซโทปเสถียร ไอโซโทปกัมมันตรังสี แหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ การวิเคราะห์ธาตุโดยการอาบนิวตรอน

Abstract

In the current global economy, food materials and products are also transported over long distances. The traceability of food materials to their geographical origin is desirable for various reasons, including food safety, branding and marketing, and consumers' perceptions and desires. The elemental composition of food can be used to identify its geographical origin. Our investigation of stable isotopes and radioisotopes demonstrates that they help determine the location of that origin. This article reviews the scientific methods and techniques with their applications.

Keywords : Stable isotope, Radioisotope, Geographical origin, Neutron Activation Analysis

¹ อาจารย์ หน่ววิจัยรังสีประยุกต์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 94000

* Corresponding author: E-mail: csommai@bunga.pn.psu.ac.th โทรศัพท์/โทรสาร: 0-7331-3928 ext 1833

บทนำ

อาหารซึ่งเป็นปัจจัยสี่ของมนุษย์มีการเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดและแหล่งผลิตตามการเปลี่ยนแปลงทางสังคมและเศรษฐกิจของแต่ละประเทศ ประกอบกับพื้นที่ผลิตอาหารของโลกลดลง การค้าแบบไร้พรมแดนจึงได้เข้ามามีบทบาทเพื่อให้ประชากรโลกเข้าถึงอาหาร แต่เนื่องจากการค้าที่ต้องการกำไรสูงสุดจึงทำให้เกิดการปลอมปนผลผลิตคุณภาพต่ำกับผลผลิตคุณภาพสูง ที่เป็นที่ต้องการของตลาดเพื่อให้มีปริมาณมากขึ้นอันเป็นการเอาเปรียบผู้บริโภค หรือการขายผลผลิตที่ปนเปื้อนสารพิษหรือโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ จากปัญหาต่างๆเหล่านี้จึงจำเป็นที่ประเทศไทยจะต้องมีมาตรการตรวจสอบสินค้าทั้งในส่วนสินค้านำเข้าและส่งออก เพื่อไม่ให้สูญเสียตลาดการค้าจากสินค้าปลอมปนหรือนำเข้าสินค้าคุณภาพต่ำและปนเปื้อนสารพิษมาบริโภค บทความวิชาการนี้จึงเขียนขึ้นเพื่ออธิบายวิธีการตรวจสอบธาตุองค์ประกอบในอาหารและใช้เป็นตัวแปรเพื่อจำแนกแหล่งผลิตทางภูมิศาสตร์ที่ต่างกันเพื่อใช้เป็นมาตรการคุ้มครองผู้บริโภคต่อไป ผู้เขียนได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ใน 2 วิธีคือ 1. การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบซึ่งมีเทคนิคต่างๆ เช่น ICP-MS, ICP-AES, AAS, PIXE, XRF, NAA และ Gamma spectrometry และ 2. การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร ซึ่งมีเทคนิคต่างๆ เช่น IRMS, quadrupole-based ICP-MS

วิธีการ

แม้ว่าการตรวจวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบจะมีเทคนิคให้เลือกใช้ได้มากมาย แต่จากประสบการณ์ในการทำงานวิจัยด้านการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบโดยวิธีตรวจวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแกมมาและทำการตรวจวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยมีเครื่องมือหลักคือหัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ของผู้เขียน ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอการตรวจวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบที่เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีในหัวข้อแรก และนำเสนอการตรวจวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรในหัวข้อที่สอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ (Elemental composition analysis)

การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบแม้จะมีเทคนิคให้เลือกใช้ได้มากมายแต่ในบทความนี้จะโฟกัสที่การวิเคราะห์ไอโซโทปกัมมันตรังสี (Radioisotope) ทั้งที่เกิดในธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นผ่านเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหารนั้นๆ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบ HPGe บันทึกผลด้วยเครื่อง Multichannel Analyzer ที่ 8192 channels ทำการวัดตัวอย่างนาน 15 ชั่วโมง (เวลาในการวัดขึ้นอยู่กับค่ากัมมัตภาพรังสีที่สนใจ) ลักษณะสเปกตรัมที่ได้แสดงดังภาพที่ 1 เพื่อวิเคราะห์ ^{238}U ที่พลังงานแกมมา 63.3 keV (branching 4.8%) ของไอโซโทปลูก ^{234}Th โดยตัดแกมมาที่พลังงาน 63.8 keV ซึ่งเกิดจาก ^{232}Th (branching 0.27%) ในการวิเคราะห์ ^{235}U ใช้รังสีแกมมาที่พลังงาน 143.8 keV การตรวจวัด ^{226}Ra พิจารณาจากแกมมาพลังงาน 295.2 และ 351.9 keV ของ ^{214}Pb และที่พลังงาน 609.3 1120.3 และ 1764.5 keV ของ ^{214}Bi ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณรังสีของ ^{232}Th วิเคราะห์จากรังสีแกมมาที่พลังงาน 911.1 และ 969.1 keV ของ ^{228}Ac และ 2614 keV ของ ^{208}Tl ส่วน ^{137}Cs ^{134}Cs ^{40}K และ ^7Be ตรวจวัดโดยตรงจากรังสีแกมมาพลังงาน 661.7, 795.8, 1460.8 และ 477.6 keV ตามลำดับ [1] ส่วนตัวอย่างที่ไม่มีกัมมัตภาพรังสีการตรวจวิเคราะห์จะใช้เทคนิคเชิงก่อกัมมัตภาพรังสีด้วยนิวตรอน (Neutron Activation Analysis: NAA) เพื่อให้ตัวอย่างสามารถตรวจวัดได้ด้วยหัววัดรังสีแกมมาเช่นเดียวกัน โดยมีกระบวนการวิเคราะห์ดังภาพที่ 2 [2]

และอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในธาตุตัวอย่างแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งในการวิเคราะห์ NAA นั้นตัวอย่างที่เตรียมได้เพื่อตรวจสอบปริมาณธาตุองค์ประกอบจะถูกบดจนละเอียดและชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการกระตุ้นด้วยนิวตรอนตัวอย่างละ 5 มิลลิกรัมโดยนำไปอบนิวตรอนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์วิจัยซึ่งมีนิวตรอนฟลักซ์ประมาณ 5×10^{10} n/cm²-s ผลการวัดที่ได้นำมาหาพื้นที่พีคที่พีคที่พลังงานรังสีแกมมาของธาตุแต่ละชนิด (ภาพที่ 3) หักลบด้วยค่ารังสีภูมิหลังจากตัวอย่าง สารมาตรฐานและปริมาณธาตุในสารมาตรฐาน เมื่อนำมาแทนค่าในสมการที่ 1 ก็จะทราบปริมาณของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ดังนี้

$$N_{sample} = \frac{N_{std} \times Peak_{sample}}{Peak_{std}} \quad (1)$$

ตารางที่ 1 อันตรกิริยาทางนิวเคลียร์ของไอโซโทปที่ตรวจพบในตัวอย่างจากเทคนิค NAA [3]

Nuclide	Half-life	Nuclear reaction	Energy, keV
⁵¹ Cr	27.7d	⁵⁰ Cr(n,γ) ⁵¹ Cr	320.8
⁸² Br	1.47d	⁸¹ Br(n,γ) ⁸² Br	554.35
⁴⁶ Sc	83.8d	⁴⁵ Sc(n,γ) ⁴⁶ Sc	889.25
⁵⁹ Fe	44.4d	⁵⁸ Fe(n,γ) ⁵⁹ Fe	889.25
⁶⁵ Zn	244d	⁶⁴ Zn(n,γ) ⁶⁵ Zn	1115.52
⁶⁰ Co	5.27y	⁵⁹ Co(n,γ) ⁶⁰ Co	1173.24
¹²⁴ Sb	60.2d	¹²³ Sb(n,γ) ¹²⁴ Sb	1690.98

2. การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร (Stable-isotope analysis)

ไอโซโทปเสถียรที่ใช้ตรวจวิเคราะห์เพื่อยืนยันแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ส่วนใหญ่เป็นธาตุเบาได้แก่ คาร์บอน (¹³C/¹²C), ไนโตรเจน (¹⁵N/¹⁴N), ซัลเฟอร์ (³⁴S/³²S), ไฮโดรเจน (²H/¹H), และ ออกซิเจน (¹⁸O/¹⁶O) โดยใช้เครื่องวัดชนิดไอโซโทปเรโซแมสสเปกโตรเมตรี (Isotope ratio mass spectrometry: IRMS) และแสดงผลเป็นสัดส่วนสัมพัทธ์เทียบกับค่ามาตรฐานสากล ด้วยการเขียนอยู่ในรูปเดลต้า (δ) และแสดงผลในหน่วยหนึ่งส่วนในพันส่วนของค่ามาตรฐานและเนื่องจากกระบวนการทางชีวเคมีในธรรมชาติให้ผลของสัดส่วนไอโซโทปเสถียรที่ต่างกันซึ่งปรากฏการณ์นี้มีชื่อเสียงที่รู้จักแพร่หลายว่า [4] “you are what you eat, plus a few parts per thousand” และแสดงความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ (2)

$$\delta X_t = \delta X_d + \Delta \delta_{dt} \quad (2)$$

เมื่อ X คือไอโซโทปที่สนใจ, t คือเนื้อเยื่อที่สนใจ, d คือ อาหาร (diet) และ $\Delta \delta_{dt}$ คือ ค่าแฟกเตอร์ของสัดส่วนไอโซโทประหว่าง diet และ เนื้อเยื่อ หรือเขียนในรูปความแตกต่างของสัดส่วนไอโซโทปในตัวอย่างกับสารมาตรฐานได้ดังสมการที่ 3

$$\delta_{ref} = \left(\frac{R_{samp}}{R_{ref}} - 1 \right) 1000 \quad (3)$$

เมื่อ δ_{ref} คือ สัดส่วนไอโซโทปของตัวอย่างในหน่วยเคลต้า (%o, per mil) R_{samp} และ R_{ref} คือค่าสัดส่วนไอโซโทปของตัวอย่างและสารมาตรฐาน และคูณหนึ่งพันเพื่อให้ค่าที่ได้เป็นสัดส่วนต่อหนึ่งพัน [5] ค่ามาตรฐานสากลที่ใช้บ่อยแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานสากลของไอโซโทปเบาที่ใช้บ่อย [6]

Element	R_{ref} sample	Molar ratio of the heavy to light isotope (e.g., $R = {}^{13}\text{O}/{}^{12}\text{O}$)
H	Standard Mean Ocean Water (SMOW)	$R = 0.0001558$
C	Pee Dee Belemnite (PDB)	$R = 0.0112372$
N	Atmospheric air (AIR)	$R = 0.0036765$
O	Standard Mean Ocean Water (SMOW)	$R = 0.0020052$
S	Canyon Diablo Triolite (CDT)	$R = 0.0450045$

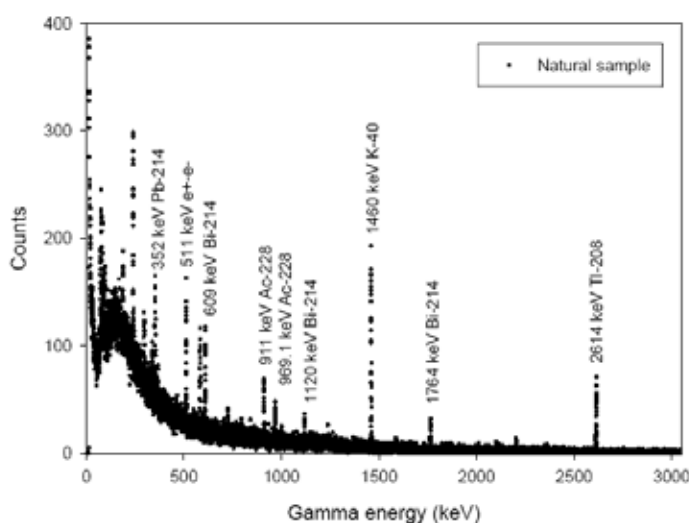
ตัวอย่างการประยุกต์

วัตถุดิบจากพืชและสัตว์และผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตได้จากวัตถุดิบนั้นได้มีการศึกษาเพื่อจำแนกแหล่งผลิตทางภูมิศาสตร์โดยอาศัยการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบและการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรมีตัวอย่างดังนี้

1. การตรวจวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบจากไอโซโทปกัมมันตรังสี

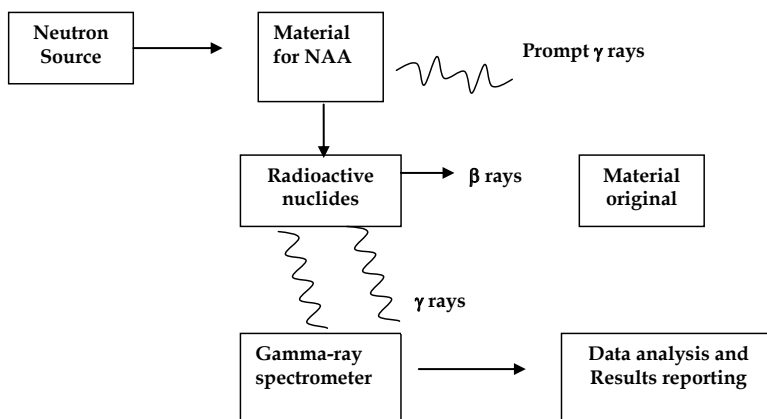
Park และคณะนักวิจัยจากเกาหลีใต้วิเคราะห์น้ำมันรำข้าวจากผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นเทียบกับสินค้านำเข้าด้วยวิธี NAA โดยศึกษาจากธาตุ Mn และ Cu ด้วยกระบวนการดังนี้ ${}^{55}\text{Mn}(n,\gamma){}^{56}\text{Mn}$ และ ${}^{63}\text{Cu}(n,\gamma){}^{64}\text{Cu}$ ทราบว่าปริมาณ Mn ในผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นมีมากกว่า แต่ Cu มีใกล้เคียงกัน [7] นักวิจัยในประเทศ 7 ประเทศของเอเชียใต้แก่ จีน อินเดียเซีย ญี่ปุ่น เกาหลี มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ และไทยได้มีการศึกษาธาตุองค์ประกอบจากข้าวโดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวขาวด้วยวิธี NAA เมื่อศึกษาปริมาณธาตุ Al, As, Br, Ca, Cl, Co, Cr, Cs, Fe, K, Mg, Mn, Na, Rb และ Zn พบค่าปริมาณธาตุที่มีอยู่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ [8] ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลบ่งชี้แหล่งเพาะปลูกได้ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบข้าวที่ผ่านการขัดสีของญี่ปุ่นและฟิลิปปินส์ [9] เพื่อบ่งบอกเอกลักษณ์ของข้าวในแต่ละประเทศ ประเทศอาร์เจนตินาได้ใช้เทคนิค Instrumental neutron activation analysis (INAA) คัดแยกน้ำส้มที่ใช้ผลส้มจากแหล่งผลิตที่ต่างกันโดยตรวจสอบจากธาตุ Br, As, Na, Rb, La, Cr, Sc, Fe, Co, Zn และ Sb ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงตัวบ่งชี้ของแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ซึ่งสามารถคัดแยกน้ำส้มตามแหล่งผลิตส้มได้ [10] ในประเทศญี่ปุ่นที่มิวจิโนโดย Kobayashi [11] ได้ใช้เทคนิค INAA วิเคราะห์ธาตุ Al, Ca, Cl, Mg, Mn, Br, Co, Cr, Cs, Fe, K, Na, Rb, Sc และ Zn ร่วมกับวิธี ion chromatography เพื่อคัดแยกมันฝรั่งที่ผลิตในญี่ปุ่นออกจากผลผลิตจากจีน ส่วนในประเทศไทยได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มทำการศึกษารายละเอียดปริมาณน้อยหรือ โลหะหนัก ในตัวอย่างข้าวและธัญพืช เช่น อรุณี และคณะได้พัฒนา

วิธีวิเคราะห์ Cd ในข้าวด้วยเทคนิค NAA ร่วมกับขบวนการแยกทางเคมี [12] วรพจน์ และคณะ [13] ได้ทำการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในธัญพืชข้าวและถั่วของไทยโดยวิธี NAA ธาตุต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้มี Al, As, Br, Cl, Cu, Fe, Mn, Zn, Ca, K และ Mg ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเทียบกับธัญพืชจากแหล่งอื่นๆได้ต่อไป มณฑิรา [14] ได้ทำการศึกษาปริมาณแร่ธาตุที่มีคุณค่าทางโภชนาการและเป็นพิษในข้าว 4 ชนิดได้แก่ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวเหนียวขาวและข้าวเหนียวดำและพืชตระกูลถั่ว 6 ชนิดคือถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ถั่วแดงหลวง ถั่วเหลือง และถั่วลิสง ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ประกอบด้วย Al, As, Br, Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Mg, Mn, Mo, Se, Sn, V และ Zn ทำการวิเคราะห์ด้วย

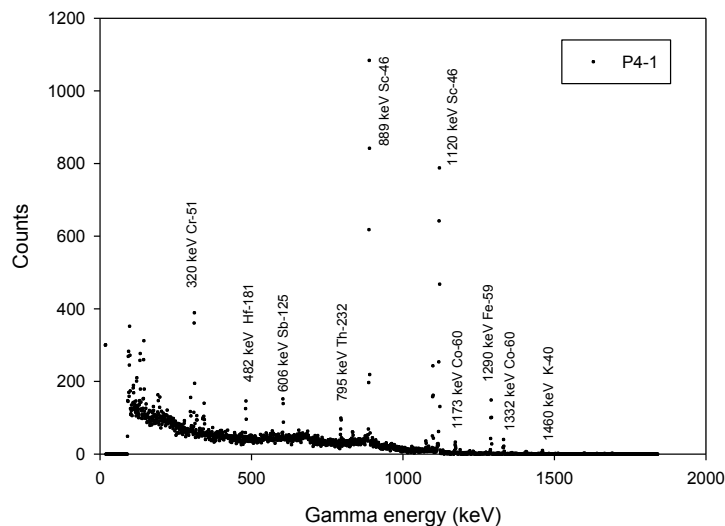


ภาพที่ 1 สเปกตรัมรังสีแกมมาของธาตุกัมมันตรังสีที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง

The NAA Method



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมของการวิเคราะห์ NAA



ภาพที่ 3 สเปกตรัมของรังสีแกมมาที่เกิดจากเทคนิคเชิงก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอน

INAA ส่วน Pb และ Cd วิเคราะห์ด้วย Atomic absorption spectrometry (AAS) ซึ่งข้อมูลธาตุที่วิเคราะห์ได้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลของแหล่งเพาะปลูกหรือสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ได้ต่อไป

2. การตรวจวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร

การตรวจวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรเพื่อยืนยันแหล่งผลิตอาหารที่รวบรวมได้เช่นการตรวจสอบน้ำผึ้งจากแหล่งผลิตในทวีปยุโรปโดยคัดแยกจาก $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ และ $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ [15] การตรวจสอบเมล็ดกาแฟเพื่อป้องกันการปลอมปนกาแฟคุณภาพต่ำกับกาแฟคุณภาพดีซึ่งทำให้ตลาดการค้ากาแฟเสียหายโดยคัดแยกจาก $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ และ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ และใช้ตัวอย่างกาแฟจากทวีปแอฟริกา เอเชีย และอเมริกา [16] Critenden และคณะ[17] ได้คัดแยกนมจากแหล่งผลิตทางภูมิศาสตร์ที่ต่างกันด้วย $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ และ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ นอกจากนี้ได้ทำการแก้ค่าแฟกเตอร์ที่มีผลจากสิ่งแวดล้อมโดยการวัดค่าสัดส่วนของ C_3 และ C_4 ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยใช้ CO_2 และมีผลกระทบต่ออัตราส่วนของคาร์บอนไอโซโทป ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการตรวจคัดแยกแหล่งผลิตนมด้วยไอโซโทปเสถียรให้ผลที่ดีการคัดแยกปลาเซลมอนที่เลี้ยงจากฟาร์มกับปลาที่จับมาจากธรรมชาติโดยการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ และ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ พบว่าเนื้อปลาเซลมอนที่จับจากแหล่งธรรมชาติมีค่า $\delta^{15}\text{N}$ สูงกว่า ปลาเลี้ยงจากฟาร์ม [6] ส่วนในเนื้อสัตว์ได้มีการคัดแยกตามแหล่งผลิตทางภูมิศาสตร์ด้วยไอโซโทปเสถียรและธาตุหายาก [18, 19] ด้วยสัดส่วนไอโซโทปของ $^2\text{H}/^1\text{H}$ และ $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ จากน้ำ ไอโซโทปของ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ และ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ จากดินและอาหาร ส่วนธาตุหายากอย่างเช่น Se, Ce, Cd, Rb, Ni, La [18] หรือโลหะพวก Fe, Mn, Cr, Cu และ Zn [19] ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วย ICP-AES แต่ธาตุหายากหรือโลหะหนักจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามส่วนผสมของอาหารที่ผลิตแต่ละโรงงาน จึงใช้เป็นข้อมูลในการคัดแยกแหล่งผลิตทางภูมิศาสตร์อันดับรองจากไอโซโทปเสถียร

บทสรุป

การตรวจวิเคราะห์อาหารด้วยไอโซโทปเสถียรให้ค่าอัตราส่วนต่อหนึ่งพันของไอโซโทปหนักต่อไอโซโทปเบาแปรเปลี่ยนตามพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแปรเพื่อคัดแยกตัวอย่างที่มีแหล่งผลิตต่างพื้นที่ออกจากกันได้ชัดเจนแต่วิธีวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรจะมีข้อจำกัดในด้านเครื่องมือซึ่งมีไม่กี่แห่งในประเทศไทยและมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ซับซ้อน จึงต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการฝึกฝนจนมีความรู้ความเข้าใจเพียงพอ หรือต้องจัดตั้งศูนย์วิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรขึ้นเป็นการเฉพาะก็จะช่วยให้ประเทศมีข้อมูลพื้นฐานด้านสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ที่ชัดเจนเชื่อถือได้ ส่วนภาคองค์ประกอบที่มีกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้นตลอดจนเทคนิคเชิงกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอนมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าวิธีไอโซโทปเสถียรเนื่องจากปัจจัยการใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตซึ่งองค์ประกอบของธาตุในปุ๋ยจากแต่ละแหล่งจะต่างกันไป แต่ก็มีธาตุหลักที่เป็นตัวแปรที่แสดงความแตกต่างเชิงพื้นที่ให้ใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน หรืออาจจะใช้การยืนยันผลจากทั้งสองวิธีร่วมกันในกรณีต้องการยืนยันผลให้ชัดเจนขึ้น แม้ว่าในปัจจุบันนี้เทคนิคการตรวจยืนยันแหล่งผลิตอาหารจะมีหลากหลายเช่นในงานเขียนของ Luykx [20] ซึ่งได้เสนอหลักการตรวจวิเคราะห์ออกเป็น 4 กลุ่มคือ 1. Mass spectrometry technique 2. Spectroscopic technique 3. Separation technique และ 4. Other techniques และได้สรุปลักษณะเด่น/ด้อยและสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ในแต่ละวิธีดังแสดงในตารางที่ 3 แต่สำหรับประเทศไทยซึ่งมีกลุ่มวิจัยด้านการตรวจวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีอยู่ในหลายมหาวิทยาลัยจึงน่าจะเริ่มต้นใช้ศักยภาพนี้สร้างฐานข้อมูลในแหล่งผลิตอาหารแต่ละชนิดไว้ได้โดยไม่ต้องเพิ่มภาระในการลงทุนสร้างห้องปฏิบัติการขึ้นใหม่ทั้งหมดซึ่งช่วยลดงบประมาณลงได้ส่วนหนึ่ง

ตารางที่ 3 ลักษณะเฉพาะของแต่ละเทคนิคที่ใช้ในการตรวจยืนยันแหล่งผลิตอาหาร [20]

Techniques	Sensitivity	Simplicity	Time analysis	Costs
<i>MS</i>				
IRMS	+	+/-	+/-	-
ICP-MS	+	+/-	+	-
PTR-MS	+	+	+/-	-
<i>Spectroscopy</i>				
NMR	-	+/-	+/-	-
IR	+/-	+	+	+
Fluorescence	+	+	+	+
Atomic	+/-	+/-	+/-	+/-
NAA*	+	+	+/-	+
Gamma spectro*.	+	+	+	+
<i>Separation</i>				
HPLC	+/-	+	+/-	+
GC	+	+	+/-	+
CE	-	+	+/-	+
<i>Other</i>				
Sensor technique	-	+	+	+/-
PCR	+	+/-	+/-	+
Sensory analys.	+/-	+/-	-	-

*NAA และ Gamma spectro. เป็นข้อมูลเพิ่มเติมโดยผู้เขียน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dragovic, S. and Onjia, A. (2006) Classification of soil samples according to their geographic origin using gamma-ray spectrometry and principal component analysis. **Journal of Environmental Radioactivity**. 89, 150-158.
- [2] สมหมาย ช่างเขียน และ พวงทิพย์ แก้วทับทิม. (2555) การตรวจวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค นิวตรอนแอคทีฟชันและการวัดธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่างดินรูปภูเขาจากจังหวัดปัตตานีและสงขลา. รายงานวิจัยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [3] Capote, G., Ribeiro, S., Arribere, A. and Hernandez, A. (2001) Determination of elemental levels in radiopharmaceuticals by instrumental neutron activation analysis, **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**. 249(3), 657-661.
- [4] Hobson, K.A. **Flying Fingerprints: Making connections with stable isotopes and elements**. Retrieved 31 August 2012 from <http://xa.yimg.com/kq/groups/17701674/921595691/name/Hobson.pdf>.
- [5] Kelly, S. Heaton, K. and Hoogewerff, J. (2005) Tracing the geographical origin of food : The application of multi-element and multi-isotope analysis. **Trends in Food Science and Technology**. 16, 555-567.
- [6] Ghidini, S., Ianieri, A., Zanardi, E., Conter, M., Boschetti, T., Iacumin, P. and Bracchi, P.G. (2006) Stable isotopes determination in food authentication: a review. **Annali della Facoltà di Medicina Veterinaria di Parma**. XXVI, 193-204.
- [7] Park, T. W. and Kim, T. (1971) Neutron Activation Analysis of Trace Metals in Rice Bran Oil. **Journal of Korean Institute of Chemical Engineers**. 9(4), 191-192.
- [8] Moon, J.H. Ebihara, M. Ni, B.F., Arporn, B., Setyo, P., Theresia, R.M., Wee, B.S., Salim, N.A.Abd., and Pabroa, P.C.B. (2012) A NAA collaborative study in white rice performed in seven Asian countries. **Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry**. 291, 217-221.
- [9] Pabroa, P.C.B., Ebihara, M., Sugang, R.J. and Mendoza, N. dS. (2012) **Elemental and isotropic characterization of Japannese and Philippine polished rice samples using instrumental neutron activation analysis and isotope ratio mass spectrometry**. The 10th International Conference on Nuclear Analytical Methods in the Life Science. Bangkok, Thailand.
- [10] Pellerano, R. G., Mazza, S. S., Marigliano, R. A. and Marchevsky, E. J. (2008) Multielement Analysis of Argentinean lemon juices by instrumental neutronic activation analysis and their classification according to geographical origin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 56, 5222-5225.
- [11] Kobayashi, N. I., Tanoi, K., Hirose, A., Saito, T., Noda, A., Iwata, N., Nakano, A., Nakamura, S. and Nakanishi, T.M. (2011) Analysis of the mineral composition of Taro for determination of geographic origin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 59, 4412-4417.

- [12] อรุณี พรหมสวัสดิ์ รัตติส เกรีภาส สิรินาฏ เลหาะโรจนพันธ์ และ อรุณี คงศักดิ์ไพศาล. (2550) การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในข้าวโดยเทคนิคเชิงก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยนิวตรอนร่วมกับขบวนการแยกทางเคมี. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ครั้งที่ 10,16-17 สิงหาคม 2550. กรุงเทพฯ.
- [13] วรพจน์ เพิ่มน้ำทิพย์ อารณณ์ บุญมงคล สิรินาฏเลหาะโรจนพันธ์ และ สุวรรณ ไชยสิทธิ์. (2550) การวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในธัญพืชของไทย. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ครั้งที่ 10, 16-17 สิงหาคม 2550.
- [14] มณฑิรา แพรงงาม. (2008) การศึกษาแร่ธาตุที่มีคุณค่าทางโภชนาการและเป็นพิษในข้าวและพืชตระกูลถั่วด้วยวิธี **Instrumental neutron activation analysis (INAA)** และ **atomic absorption spectrophotometry (AAS)**. Master Thesis. Mahidol university.
- [15] Schellenberg, A., Chmielus, S., Schlicht, C., Camin, F., Perini, M., Bontempo, L., Heinrich, K., Kelly, S. D., Rossmann, A., Thomas, F., Jamin, E. and Horacek, M. (2010) Multielementstable isotope ratios (H, C, N, S) of honey from difference European regions. **Food Chemistry**. 121(3), 770-777.
- [16] Serra, F., Guillou. C.G., Reniero, F. Ballarin,L., Cantagallo, M.I., Wieser, M., Iyer, S.S., Heberger, K. and Vanhaecke, F. (2005) Determination of the geographical origin of green coffee by principal component analysis of carbon, nitrogen and boron stable isotoperatios. **Rapid Communications in MassSpectrometry**. 19, 2111-2115.
- [17] Critenden, R.G., Andrew, A.s., LeFournour, M., Young, M.D., Middleton, H. and Stockmann, R. (2007) Determining the geographic origin of milk in Australasia using multi-element stable isotope ratio analysis. **International Dairy Journal**. 17, 421-428.
- [18] Franke, B.M., Gremaud, G., Hadron, R. and Kreuzer, M. (2005) Geographic origin of meat—elements of an analytical approachto its authentication. **European Food Researchand Technology**. 221, 493-503.
- [19] Sacco, D., Brescia, M.A., Buccolieri, A. andJambrenghi, A. (2005) Geographical origin and breed discrimination of Apulian lamb meat samples by means of analytical and spectroscopic determinations. **Meat Science**. 71, 542-548.
- [20] Luykx, D. and Ruth, S. (2008) An overviewof analytical methods for determining the geographical origin of food products. **FoodChemistry** 107, 897-911.