

กัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักที่ปลูกในพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา

สิริพร อังกูร์รัตน์¹ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ² ธวัช ชิตตระการ³ และ ดร.ณิ ผ่องสุวรรณ⁴

Abstract

Angkunrat, S., Bhongsuwan, T., Chittrakarn, T. and Bhongsuwan, D.
**Specific activities of radium-226 in vegetables grown in Na Mom District,
Songkhla Province**
Songklanakar J. Sci. Technol., 2007, 29(5) : 1439-1455

Specific activity of radium-226 in 13 types of vegetables grown in Namom district, Songkhla province, were analyzed using a low background gamma-ray spectrometer. The analyzed vegetables included Ivy Gourd, Yellow Cassia, White Popinac, Yard Long Bean, Rice, Peanut, Egg Plant, Spineless Amaranth, Swamp Cabbage, Mustard, Chinese Cabbage, Collards and Cucumbers. The control vegetables were taken from Bangklum district, 40 km south of Namom district. The samples were weighed, dried in an oven and finally burnt to ash in a furnace before being analyzed for a gamma ray of 186.2 keV emitted from Radium-226. The results showed that the geometrical means of specific activity of radium-226 of vegetables grown in Pijit, Namom, Klongrang and Thungkamin sub-district and over the Namom district were 1082, 1220, 1457, 1253 and 1250 mBq/kg, respectively. The highest and lowest values were 7882 and 26 mBq/kg, found in Ivy Gourd and Yard Long Bean, respectively. The high specific activities of radium-226 in vegetables were found to be

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand.

¹นักศึกษาลัทธิสุตร วท.ม. สาขาฟิสิกส์ ²Ph.D. (Geophysics) รองศาสตราจารย์ ³Ph.D. (Nuclear Physics) รองศาสตราจารย์ ภาค
วิชาฟิสิกส์ ⁴วท.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail : tripop.b@psu.ac.th

รับต้นฉบับ 9 มกราคม 2550 รับลงพิมพ์ 23 มีนาคม 2550

distributed uniformly in the area. This probably indicated the source of radium-226 was also distributed uniformly in the shallow granitic bedrock throughout the area. We concluded that the radium-226 contents in vegetables grown in Namom district depended on the absorbability of alkaline earth metals in vegetables themselves, geographic features and radium content in natural water in the area. The estimated annual effective dose averaged over Namom district was 21 μ Sv. Consumption of Ivy Gourd may receive the maximum annual effective dose of 132 μ Sv.

Key words : radium-226, gamma-ray spectrometer, dose, vegetables, Namom District

บทคัดย่อ

สิริพร อังคุรัตน์ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ ธวัช ชิตตระกูล และ ดร.ณิ ผ่องสุวรรณ
กัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักที่ปลูกในพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2550 29(5) : 1439-1455

ได้วิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 จากตัวอย่างผัก 13 ชนิด จำนวน 98 ตัวอย่าง ที่ปลูกใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาชนิดภูมิหลังต่ำ ผักที่วิเคราะห์ ได้แก่ ตำลึง ขี้เหล็ก กระถิน ถั่วฝักยาว ข้าว ถั่วลิสง มะเขือ ผักโขม ผักบุ้ง ผักกวางตุ้ง ผักกาดขาว คะน้า และแตงกวา ผักควบคุมเก็บจาก อ.บางกล่ำซึ่งอยู่ห่างจากอ.นาหม่อมไปทางใต้ประมาณ 40 กม. ตัวอย่างผักถูกชั่งน้ำหนัก อบแห้งแล้วเผาเป็นเถ้า ก่อนนำไปวิเคราะห์รังสีแกมมาพลังงาน 186.2 keV ที่มาจากเรเดียม-226 ผลการวิจัยพบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ใน ต.พิชิตร์ ต.นาหม่อม ต.คลองหรีด ต.ทุ่งขมิ้น และอ.นาหม่อม ทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต เท่ากับ 1082, 1220, 1457, 1253 และ 1250 mBq/kg ตามลำดับ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุด 7882 และ 26 mBq/kg พบในผักตำลึง และถั่วฝักยาว ตามลำดับ พบว่า เรเดียม-226 กัมมันตภาพรังสีสูงมีการกระจายแบบสม่ำเสมอในพื้นที่ศึกษา ซึ่งอาจบ่งชี้ว่ามีแหล่งกำเนิดเรเดียม-226 กระจายทั่วไปในหินแกรนิตที่เป็นหินฐานระดับดินชั้นทั่วไปในพื้นที่ศึกษา ผู้วิจัยได้ข้อสรุปว่าปริมาณเรเดียม-226 ในผักจะสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซึมโลหะหมู่ 2 ของผักเอง ลักษณะทางภูมิศาสตร์ และปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำธรรมชาติ เมื่อประเมินค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลเฉลี่ยที่ประชาชนชาวนาหม่อมได้รับต่อปี โดยคิดจากค่าเฉลี่ยของ อ.นาหม่อม มีค่า 21 μ Sv และปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ประชาชนได้รับการบริโภคผักตำลึงต่อปี มีค่าสูงถึง 132 μ Sv

จากข้อมูลการเป็นมะเร็งของหน่วยมะเร็ง โรงพยาบาล สงขลานครินทร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533-2537 พบว่า ในพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา ซึ่งอยู่ทางภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย (Figure 1) มีผู้ป่วยโรคมะเร็งในช่องปาก และมะเร็งหลอดอาหารจำนวนมากผิดปกติ โดยมีค่าอุบัติการณ์มาตรฐานอายุ ASR (Age - Standardized Incidence Rates) เฉพาะในเพศชายเท่ากับ 24.8 และ 16.8 คน ต่อประชากรแสนคน ตามลำดับ (Thongsuksai et al., 1997) ซึ่งเป็นค่าที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับอำเภอใกล้เคียง ในอดีต อ.นาหม่อมเป็นบริเวณที่มีการทำเหมืองแร่ดีบุก เนื่องจากหินแกรนิตในพื้นที่เป็นหินที่ให้แร่ แต่ปัจจุบันได้แปรสภาพเป็นพื้นที่ทางการเกษตร ยังมีรายงานการค้นพบแร่ทอริเบอริไนต์

ซึ่งเป็นแร่กัมมันตรังสี โดยพบเป็นปริมาณน้อยฝังตัวอยู่ในหินแกรนิต (ธงชัย, 2527) แร่ดังกล่าวมีส่วนประกอบของยูเรเนียมซึ่งเป็นนิวไคลด์ตั้งต้นของอนุกรมการสลายตัวทางนิวเคลียร์ แล้วสลายตัวหลายครั้งจนกลายเป็นเรเดียม-226 และก๊าสกัมมันตรังสีเรดอน-222 ซึ่งธาตุทั้งสองเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (human carcinogen) จเร และคณะ (2547) ศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักและธาตุหลัก ในน้ำบ่อต้น อ.นาหม่อม พบว่าธาตุหลัก Ca และ Mg อยู่ในระดับที่ปลอดภัย ไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำดื่ม จึงไม่น่าจะมีความสัมพันธ์ในแง่ก่อให้เกิดมะเร็งของคนในพื้นที่

ไตรภพ และคณะ (2544) ศึกษาความเข้มข้นก๊าสกัมมันตรังสีเรดอนในอากาศและน้ำบาดาลในพื้นที่บริเวณลุ่ม

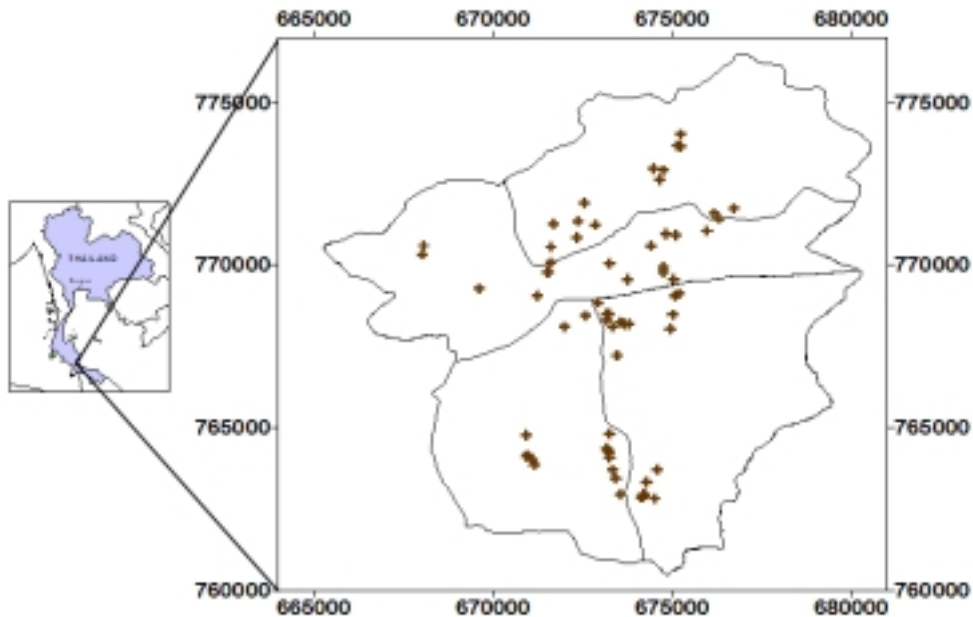


Figure 1. Map of Namom District showing the sampling sites.

น้ำทะเลสาบสงขลา พบว่า พื้นที่นาหม่อม เป็นบริเวณที่มีความเสี่ยงที่จะพบปัญหาการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีธรรมชาติ (naturally occurring radionuclides) จากการศึกษา น้ำบาดาลใน อ.นาหม่อม พบว่า มีปริมาณก๊าศกัมมันตรังสีเรดอน-222 สูงกว่าพื้นที่ข้างเคียงอื่นๆ (อภิรักษ์, 2543) จึงน่าจะถือว่าอาจมีความสัมพันธ์กับการเป็นมะเร็งของคนในพื้นที่ในลักษณะเป็นปัจจัยเสริม จเร และคณะ (2548) ศึกษาการปนเปื้อนเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ อ.นาหม่อม เชื่อว่าน่าจะเกิดมาจากหินแกรนิตในพื้นที่ เป็นไปได้อย่างยิ่งว่าจะมีการชะล้างธาตุเรเดียมในหินแกรนิต โดยกระบวนการทางธรรมชาติให้ไปปนเปื้อนอยู่ในดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งการนำน้ำที่ปนเปื้อนเรเดียมไปใช้อุปโภคบริโภค เช่น ดื่มน้ำหรือใช้ในการเกษตรเช่นนำไปรดผักที่ปลูกเพื่อการบริโภค อาจทำให้ผักมีการปนเปื้อนเรเดียม เมื่อนำไปบริโภคทำให้เกิดภาวะเสี่ยงต่อการได้รับสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายได้ จากการศึกษาผักพื้นบ้าน (ตำลึง ชะพลู กระถิน บวบก) ใน อ.นาหม่อม พบว่า ในผักตำลึงมีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 เท่ากับ 2556 mBq/kg (วิลาสินี, 2547) ซึ่งสูงมาก และประชาชนส่วนใหญ่นิยมบริโภคโดยเฉพาะในเด็กทารก และจากรายงานของประเทศญี่ปุ่นและจีนที่ร่วมกันศึกษาพื้นที่ที่มีค่ากัมมันตรังสีในธรรมชาติสูงในเมือง Yangjiang

ประเทศจีน แสดงให้เห็นว่าการได้รับรังสีในปริมาณน้อยแต่ระยะเวลานาน ทำให้เกิดความผิดปกติทางโครโมโซม และจากการศึกษาพบผู้ป่วยเสียชีวิตจากโรคมะเร็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากเม็ดเลือดขาวอ่อนแอ การฉายรังสีมีผลเช่นเดียวกันเนื่องจากได้รับรังสีในปริมาณที่สูง ในประเทศสหรัฐอเมริกาพบผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดเนื่องจากการหายใจเอาก๊าซเรดอนเข้าไป (Cohen, 1997) นอกจากนี้ประเทศโปแลนด์ (Pietrzak-Flis *et al.*, 2001) ไต้หวัน (Kuo *et al.*, 1997) และแคนาดา (Clulow *et al.*, 1998) ประเมินค่าปริมาณการได้รับรังสีเรเดียม-226 จากการบริโภคน้ำและอาหารตลอดปีมีค่าเท่ากับ 5.95 μ Sv 7.5 μ Sv และ 3 μ Sv ตามลำดับ ในประเทศอิหร่านศึกษาพื้นที่ที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติสูง เมื่อประเมินปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่ได้รับจากการบริโภคผักตลอดทั้งปีมีค่า 72.3 μ Sv (Ghiassi-Nejad *et al.*, 2003) เรเดียม-226 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีในอนุกรมยูเรเนียม-238 มีครึ่งชีวิต 1600 ปี สลายตัวให้รังสีแอลฟา ได้ก๊าศกัมมันตรังสีเรดอน-222 มีครึ่งชีวิต 3.82 วัน และสลายตัวต่อไปจนได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นตะกั่ว-206 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ที่เสถียร เนื่องจากเรเดียมเป็นธาตุในหมู่ 2 (Alkaline Earth) เช่นเดียวกับเบอริลเลียม แมกนีเซียม แคลเซียม สตรอนเชียม และแบเรียม ซึ่งมีความสามารถในการละลาย

น้ำใต้ดิน จึงเป็นสาเหตุที่เรเดียมมีการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่ายผ่านทางระบบน้ำธรรมชาติ เรเดียม-226 สลายตัวให้รังสีแอลฟาและแกมมา เนื่องจากรังสีแอลฟาเป็นอนุภาคที่มีมวลและพลังงานสูง เมื่อเรเดียมเข้าสู่ร่างกายจะมีการดูดซึมและสะสมภายในร่างกาย คล้ายคลึงกับแคลเซียม เรเดียม-226 ที่สะสมอยู่ในร่างกายจะสลายตัวและปล่อยรังสีแอลฟาและแกมมาออกมา ทำให้เกิดการระคายเคืองเซลล์ผิดปกติเรเดียม-226 ที่สะสมในร่างกายจัดเป็นสารก่อมะเร็งกระดูก มะเร็งโพรงจมูก (Mays and Rowland, 1985)

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างผักสำหรับการวัดด้วยเครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์

ได้เก็บตัวอย่างผักใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา โดยพิจารณาจุดเก็บตัวอย่างกระจายทั่วพื้นที่ใกล้เส้นทางคมนาคมเส้นทางน้ำ รวมทั้งพิจารณาจากแผนที่ธรณีวิทยา (Figure 2) โดยได้เลือกเก็บตัวอย่างผักที่นิยมบริโภค 13 ชนิด ได้แก่

ตำลึง ผักบุ้ง ขี้เหล็ก กระถิน มะเขือ ถั่วฝักยาว ผักโสม ผักกาดขาว ผักกวางตุ้ง ข้าว ถั่วลิสง คื่นช่าย และแตงกวา จากพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา กระจายครอบคลุมพื้นที่ ต.พิจิตร ต.นาหม่อม ต.คลองหรีด และ ต.ทุ่งขมิ้น เป็นจำนวน 98 ตัวอย่าง ตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ของตัวอย่างผักที่เก็บแสดงใน Figure 1 และได้เก็บตัวอย่างผักจำนวน 10 ตัวอย่าง จาก อ.บางกล่ำ ซึ่งอยู่ห่างจาก อ.นาหม่อม เป็นระยะทางประมาณ 40 กม. เป็นตัวอย่างควบคุมเพื่อการเปรียบเทียบ โดยเก็บผักแต่ละชนิดตัวอย่างละ 2 กก. นำมาล้างและชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 250 นาที แล้วนำไปเผาเป็นขี้เถ้าที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 180 นาที บรรจุขี้เถ้าใส่กระปุกปิดผนึกนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาที่มาจากเรเดียม-226 ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา

2. การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

สเปกตรัมรังสีแกมมาของแต่ละตัวอย่างจะถูกวัดด้วยเครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ (Gamma Ray Spectro-

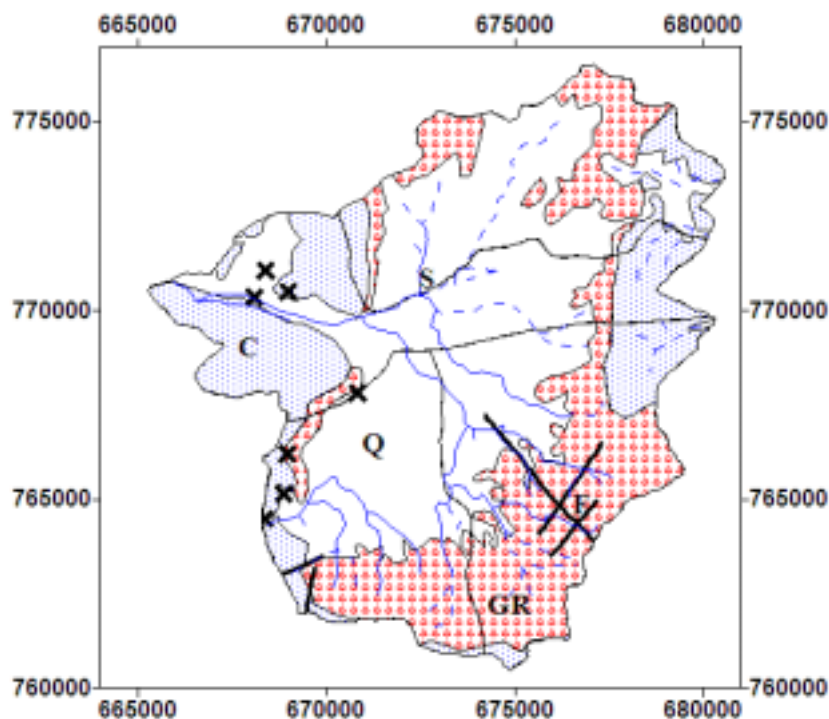


Figure 2. Simplified geologic map of the Namom District, Songkhla Province. (รังชัย, 2527)

meter) โดยมีหัววัด HPGe (High purity Germanium; Canberra Model GC 1319, USA) อยู่ภายในถ้ำตะกั่ว กำบังรังสีกัมมันตภาพรังสี (Canberra Model 747, USA) หัววัดจะเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (8192 ช่อง Canberra Model Inspector 2000, USA) และวิเคราะห์ยอดพลังงานรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Canberra, Genie2k software Version 2.1, USA) หัววัดรังสีแกมมามีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 13.9% และมีกำลังแยก 1.75 keV ที่พลังงานรังสีแกมมา 1332 keV ของโคบอลต์-60 และมีอัตราส่วนระหว่างยอดพลังงานต่อฐานคอมพัตตันเท่ากับ 44.8 : 1

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาที่ใช้ถูกปรับเทียบประสิทธิภาพด้วยการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐานขององค์การพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (The International Atomic Energy Agency, IAEA) สำหรับปรับเทียบค่าความแรงรังสีเรเดียม-226 โดยใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA-RGU-1 ที่มีค่าความแรงรังสีเรเดียม-226 เท่ากับ 2470 mBq ผสมลงในขี้เถ้าผักที่ตรวจวิเคราะห์แล้วว่าไม่มีนิวไคลด์กัมมันตรังสีกัมมันตภาพรังสี (Background) กัมมันตรังสีเรเดียม-226 นำใส่กระปุกปิดผนึก แล้ววัดด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา วิเคราะห์พลังงานรังสีแกมมาที่มาจากเรเดียม-226 โดยตรงที่พลังงาน 186.2 keV เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สารตัวอย่าง ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพของการวิเคราะห์เรเดียม-226 ได้เท่ากับ 0.046858 cps/Bq ในการวิเคราะห์กัมมันตภาพของเรเดียม-226 ในสารตัวอย่าง จำนวนจากยอดพลังงานรังสีแกมมาที่ 186.2 keV เช่นเดียวกัน โดยใช้เวลารังสีนาน 21600 วินาที

3. การประเมินปริมาณรังสีจากเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคผักต่อปี

ในการวิเคราะห์ผลกระทบของรังสีต่อมนุษย์จากการบริโภคผักปนเปื้อนรังสี จะพิจารณาเฉพาะผลกระทบที่มาจากเรเดียม-226 ที่อยู่ในอนุกรมยูเรเนียม-238 เท่านั้น โดยจะไม่พิจารณาส่วนที่เป็นผลกระทบที่มาจากทอเรียม-232 และลูกหลานของมัน

การประเมินการบริโภคผักที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 ของชาว อ.นาหม่อม จ.สงขลา โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ของคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ของสหประชาชาติว่าด้วยผล

กระทบของรังสี (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR, 2000) ซึ่งกำหนดว่าในเวลา 1 ปี ประชาชนจะบริโภคผักโดยเฉลี่ย 60 กก. เมื่อใช้ค่าปัจจัย 0.28 $\mu\text{Sv/Bq}$ ที่ใช้สำหรับการประเมินปริมาณรังสีสมมูลที่ร่างกายผู้ใหญ่ได้รับต่อปี จำนวนปริมาณรังสีสมมูลต่อปีจากสมการ (1)

Equivalent Dose ($\mu\text{Sv/y}$)

$$= 0.28 (\mu\text{Sv/Bq}) \times 60 (\text{kg/y}) \times \text{Spe. Act. Ra-226 (Bq/kg)} \quad (1)$$

4. การประเมินความเสี่ยงทางรังสีจากการบริโภคผักใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา

การประเมินความเสี่ยงทางรังสีจากการบริโภคผักที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 จะประเมินจากค่า Radiation Risk Factor (RRF) เป็นปัจจัยที่นิยมใช้ในการประเมินความเสี่ยงทางรังสีจากการบริโภคผัก โดยมีค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่ได้รับต่อปี กับปริมาณรังสีอ้างอิง (reference dose, RfD) ซึ่งมีค่า 8 $\mu\text{Sv/y}$ (UNSCEAR, 2000)

$$\text{RRF} = \frac{\text{Adult Annual Equivalent Dose}(\mu\text{Sv / y})}{\text{RfD}(\mu\text{Sv / y})} \quad (2)$$

โดยที่ $\text{RRF} \leq 1$ มีค่าความเสี่ยงทางรังสีอยู่ในเกณฑ์ปกติ
 $\text{RRF} > 1$ มีค่าความเสี่ยงทางรังสีมากกว่าเกณฑ์ปกติ

ผลและการวิเคราะห์ผล

1. กัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผัก ในเขต อ.นาหม่อม และการกระจายในพื้นที่

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างผักทั้งหมด 98 ตัวอย่าง จาก อ.นาหม่อม มีค่าอยู่ระหว่าง 26-7882 mBq/kg (Table 2; Figure 4) เมื่อนำมาเขียนกราฟแจกแจงความถี่ พบว่า ข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ไปทางขวา (Figure 3a) คือมีหางยาวไปทางค่าสูง โดยมีค่าทางสถิติที่สำคัญ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (arithmetic mean) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric

Table 1. Average specific activity of Radium-226 in vegetables grown in each sub-district of Namom District, Songkhla Province.

Sub district/Area (No. of Sample)	Average specific activity of Radium-226 (mBq/kg) in different vegetables											
	Ivy Gourd	Yellow Cassia	White Popinac	Yard Long Bean	Egg Plant	Swamp Cabbage	Rice	Peanut	Spineless Amaranth	Chinese Cabbage	Mustard Collards	Cucumbers
Area 1 (5)	-	-	1561	1637	-	1094	1760	-	-	-	-	-
Area 2 (8)	-	2102	-	671	858	298	1958	-	-	1129	-	-
Area 3 (3)	-	1068	-	-	-	-	809	1485	-	-	-	-
Area 4 (1)	-	-	-	167	-	-	-	-	-	-	-	-
Area 5 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1198	2743	-
Area 6 (6)	-	-	-	-	1198	1251	632	2064	-	-	-	-
Mean of Pijit sub-district (25)	-	1498	1561	567	927	866	1223	1750	-	1163	2743	-
Area 7 (1)	3395	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area 8 (7)	1898	2722	1060	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area 9 (3)	-	764	946	-	-	-	-	2774	-	-	-	-
Area 10 (3)	1553	1897	1414	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area 11 (1)	-	1371	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area 12 (4)	-	-	-	176	705	993	-	-	-	-	-	-
Area 13 (2)	3850	-	2467	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area 14 (4)	2139	3252	548	-	-	309	-	-	-	-	-	-
Mean of Namom sub-district (25)	2274	1865	1065	122	705	553	-	2774	-	-	-	-
Area 15 (3)	1212	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	211
Area 16 (9)	3779	1395	1041	-	-	4724	-	7690	-	-	-	-
Area 17 (3)	-	-	-	1301	665	3078	-	-	-	-	-	-
Area 18 (6)	2175	-	1612	-	-	461	-	-	-	-	-	-
Mean of Thungkamin sub-district (21)	1949	1349	1251	184	665	1884	-	7690	-	-	-	211
Area 19 (1)	-	-	-	436	-	-	-	-	-	-	-	-
Area 20 (9)	2274	2034	1994	-	-	-	-	1236	-	2302	-	-
Area 21 (2)	326	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1467	-
Area 22 (5)	2697	1204	1831	-	-	-	-	1988	-	-	-	-
Area 23 (9)	-	2628	-	482	1698	-	2421	2042	-	-	-	-
Area 24 (1)	-	787	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mean of Klongrang sub-district (27)	1715	1428	1911	466	1698	-	2385	1610	1236	-	2302	1467
Minimum	326	764	498	26	589	298	632	620	1236	1130	2302	1467
Maximum	7882	4728	2467	1630	1807	4724	2835	4210	7690	1197	2740	1467
Standard error	93	95	90	78	115	78	204	356	345	172	120	247
Geometric Mean in Namom District (98)	1952	1603	1261	314	927	1000	1480	1655	2975	1163	2511	1467
Median	2040	1571	1414	459	710	954	1760	1736	2770	1164	2521	1467

Table 2. Average specific activity of Radium-226 in different types of vegetables in Namom and Bangklam districts.

Type of vegetables	Specific activity of Ra-226 in Vegetables grown in Namom District (mBq/kg)					
	Namom District	Pijit sub-dist.	Thungkamin sub-dist.	Klongrang sub-dist.	Namom sub-dist.	Bang Klam Dist.
Ivy Gourd	1952 (20)	-	1949 (7)	1715 (7)	2274 (6)	857(2)
Yellow Cassia	1603 (16)	1498 (2)	1349 (2)	1428 (5)	1865 (7)	689(1)
White Popinac	1261 (13)	1560 (1)	1251 (4)	1911 (2)	1065 (6)	-
Yard Long Bean	314 (10)	567 (3)	184 (2)	466 (3)	122 (2)	657(1)
Swamp Cabbage	1000 (10)	866 (5)	1884 (3)	-	553 (2)	409(1)
Egg Plant	927 (7)	927 (4)	664 (1)	1698 (1)	710 (1)	291(1)
Rice	1480 (7)	1223 (5)	-	2385 (2)	-	-
Peanut	1655 (6)	1750 (2)	-	1610 (4)	-	-
Spineless Amaranth	2975 (3)	-	7690 (1)	1236 (1)	2770 (1)	514(1)
Chinese Cabbage	1163 (2)	1163 (2)	-	-	-	263(1)
Mustard	2511 (2)	2740 (1)	-	2302 (1)	-	290(1)
Collards	1467 (1)	-	-	1467 (1)	-	220(1)
Cucumbers	211 (1)	-	211 (1)	-	-	-
Minimum	26	167	26	326	50	220
Maximum	7,882	2,850	7,882	4,212	4,728	907
Arithmetic mean	1,695	1,281	2,102	1,746	1,713	505
Median	1,404	1,130	1,339	1,831	1,414	461
Geometric mean	1,250	1,082	1,253	1,457	1,220	450
Mean annual dose (μSv)	21	18	21	24	20	8
Standard error	33	63	59	69	68	46

Note the number in parenthesis indicates the number of samples

mean) ค่ามัธยฐาน (median) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) เท่ากับ 1695, 1250, 1404 และ 135 mBq/kg ตามลำดับ การแจกแจงข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบ log normal (Figure 3b) ดังนั้นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจึงน่าจะใช้เป็นค่าตัวแทนที่ดีของการแจกแจงค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของเรเดียม-226 ในตัวอย่างผักทั้งหมดแบบไม่แยกชนิดของ อ.นาหม่อม สำหรับตัวอย่างผักจาก อ.บางกล่ำ ที่อยู่ห่างออกไปราว 40 กม. จาก อ.นาหม่อม พบว่า มีปริมาณเรเดียม-226 ต่ำกว่า คือระหว่าง 220 mBq/kg ในผักคะน้า และ 857 mBq/kg ในผักตำลึง (Table 2) โดยพบว่า ผักในอ.นาหม่อม มีปริมาณเรเดียม-226 เฉลี่ยสูงกว่า ผักใน อ.บางกล่ำ ราว 2.8-3.4 เท่า (Figure 5) ยกเว้นใน ถั่วฝักยาว

เนื่องจากค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 มีการกระจายในช่วงกว้างซึ่งอาจมีปัจจัยด้านภูมิประเทศและปัจจัยอื่นๆ เกี่ยวข้องด้วย จึงได้แยกวิเคราะห์การกระจายของเรเดียม-226 ในผัก ตามเขตการปกครองระดับตำบล ดังนี้

ตำบลพิจิตร ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างผัก 25 ตัวอย่าง (Table 2; Figure 4) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 167-2850 mBq/kg ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตทั้งตำบลเท่ากับ 1082 mBq/kg และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดพบในผักกวางตุ้ง 2740 mBq/kg และต่ำสุดใน ถั่วฝักยาว 567 mBq/kg เป็นที่ทราบกันว่าผักกวางตุ้งเป็นผักที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (ควิน, 2522) (Table 3) จึงอาจดูดซึมธาตุเรเดียมซึ่งเป็นธาตุหมู่เดียวกันกับแคลเซียมได้ในปริมาณสูงด้วยหากในพื้นที่เพาะปลูกมีการปนเปื้อนเรเดียม

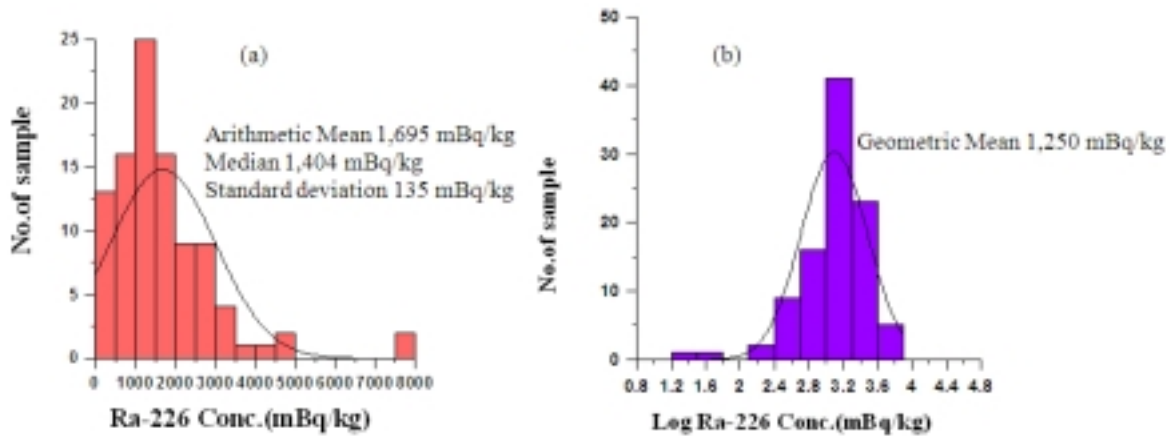


Figure 3. Histograms showing the distribution of Ra-226 in all vegetables samples on (a) a linear scale and (b) a log scale.

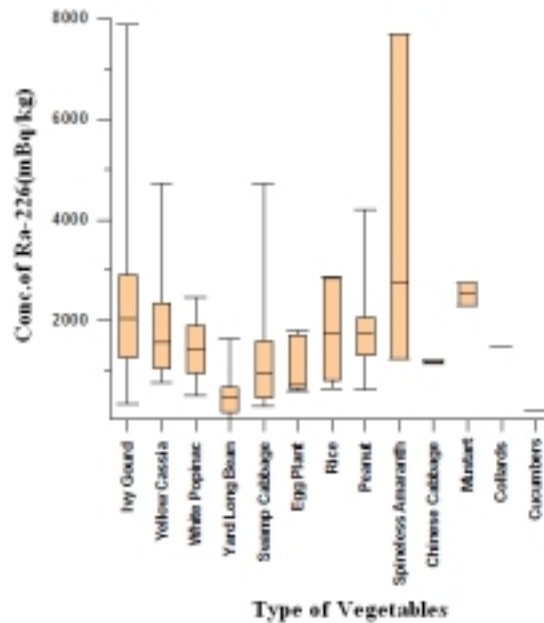


Figure 4. Box Whisker plot showing the specific activities of Ra-226 in different types of vegetable in Namom District, Songkhla Province.

ในน้ำและในดิน ซึ่งจากผลการวิจัยก็พบว่าผักชนิดอื่นที่มีปริมาณแคลเซียมสูงจะมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงด้วย ได้แก่ กระถิน (1560 mBq/kg) ขี้เหล็ก (1498 mBq/kg) และ ผักกาดขาว (1163 mBq/kg)

อย่างไรก็ตาม ยังตรวจพบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 สูงในผักที่โดยทั่วไปทราบกันว่ามีปริมาณแคลเซียมต่ำ (Table 3) ได้แก่ ข้าว (1223 mBq/kg) และ

ถั่วลิสง (1750 mBq/kg) ส่วนผักที่โดยทั่วไปมีปริมาณแคลเซียมน้อยจะพบว่ามีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 น้อยเช่นกัน ได้แก่ ถั่วฝักยาว มีค่าเท่ากับ 567 mBq/kg

เมื่อเปรียบเทียบกับผักตัวอย่างจาก อ.บางกล่ำ พบว่า ผักตัวอย่างจาก ต.พิจิตร อ.นาหม่อม มีปริมาณเรเดียม-226 เฉลี่ยสูงกว่าในผักจาก อ.บางกล่ำ ประมาณ 2.4-2.5 เท่า

Table 3. Weight ratio, calcium content, annual effective dose and radiation risk factor in different types of vegetables.

Type of vegetables	Weight ratio (dry/ fresh)	*Calcium content in vegetables 100 g (mg)	Mean annual Dose (μ Sv)	Radiation Risk Factor (RRF)
Ivy Gourd	0.024	126	33	4.13
Yellow Cassia	0.049	156	27	3.38
White Popinac	0.041	137	21	2.63
Yard Long Bean	0.032	42	5	0.63
Swamp Cabbage	0.240	73	17	2.13
Egg Plant	0.035	38	16	2.00
Rice	0.250	8	25	3.13
Peanut	0.199	59	28	3.50
Spineless Amaranth	0.040	500	50	6.25
Chinese cabbage	0.015	147	20	2.50
Mustard	0.020	220	42	5.25
Collards	0.018	250	25	3.13
Cucumbers	0.014	25	4	0.50

* คำนวณ, 2522. โภชนศาสตร์.

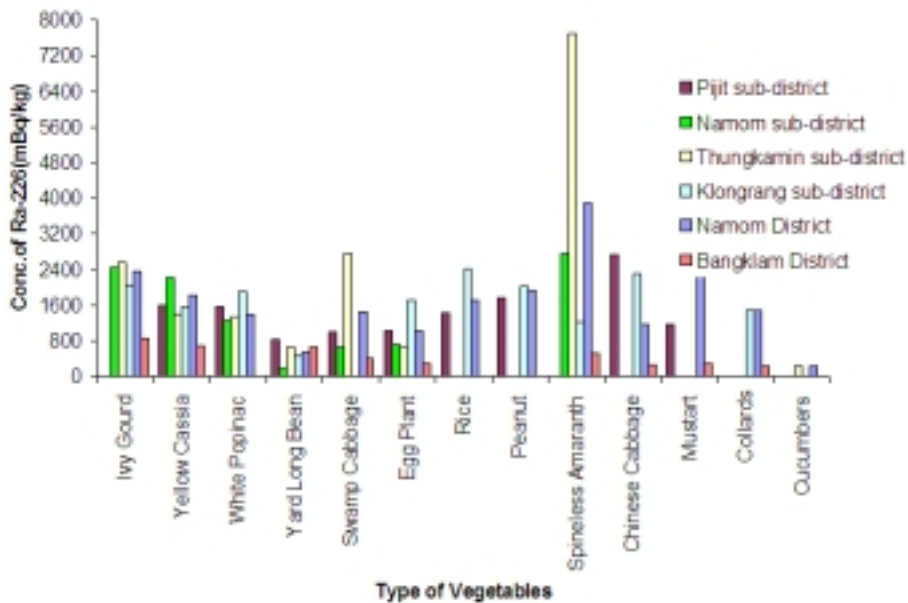


Figure 5. Histograms showing the specific activities of Ra-226 in different types of vegetable in Namom District, comparing with those in Bang Klam District, Songkhla Province.

(Figure 5)

ตำบลนาหม่อม ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างผัก 25 ตัวอย่าง (Table 2; Figure 4) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 50-4728 mBq/kg ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตทั้งตำบลเท่ากับ 1220 mBq/kg ค่าเฉลี่ย

สูงสุดพบในผักโขม 2770 mBq/kg และต่ำสุดพบในถั่วฝักยาว 122 mBq/kg ซึ่งผักโขมก็เป็นผักที่นิยมบริโภค เพราะมีปริมาณแคลเซียมสูง (Table 3) นอกจากนั้นในผักที่มีแคลเซียมสูงประเภทอื่น ก็พบว่ามีปริมาณเรเดียม-226 สูง ได้แก่ ตำลึง จี่เหล็ก และกระถิน มีค่าเท่ากับ 2274,

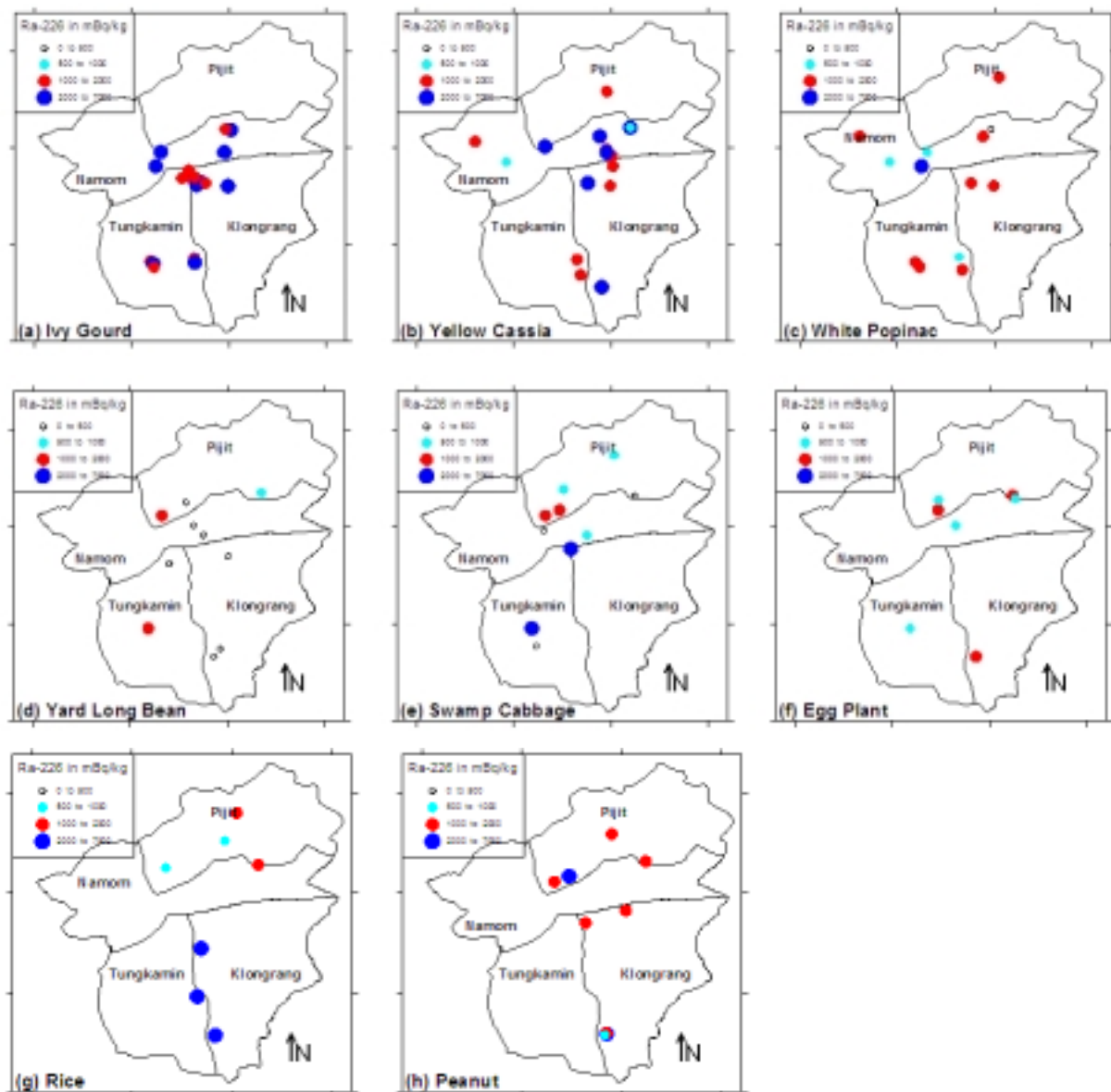


Figure 6. Specific activity of Ra-226 in different type of vegetables at the position of sampling sites. Different symbol colors and sizes indicate the interval of Ra-226 concentration. Different types of vegetable are separately shown; (a) Ivy Gourd, (b) Yellow Cassia, (c) White Popinac, (d) Yard Long Bean, (e) Swamp Cabbage, (f) Egg Plant, (g) Rice and (h) Peanut.

1865 และ 1065 mBq/kg ตามลำดับ ส่วนผักที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำ จะมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 น้อยเช่นกัน ได้แก่ ถั่วฝักยาว มีค่าเท่ากับ 122 mBq/kg เมื่อเปรียบเทียบกับผักตัวอย่างจาก อ.บางกล่ำ พบว่า ผัก

ตัวอย่างจาก ต.นาหม่อม อ.นาหม่อม มีปริมาณเรเดียม-226 เฉลี่ยสูงกว่าในผักจาก อ.บางกล่ำ ประมาณ 2.7-3.4 เท่า (Figure 5)

ตำบลคลองหรีง ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพ

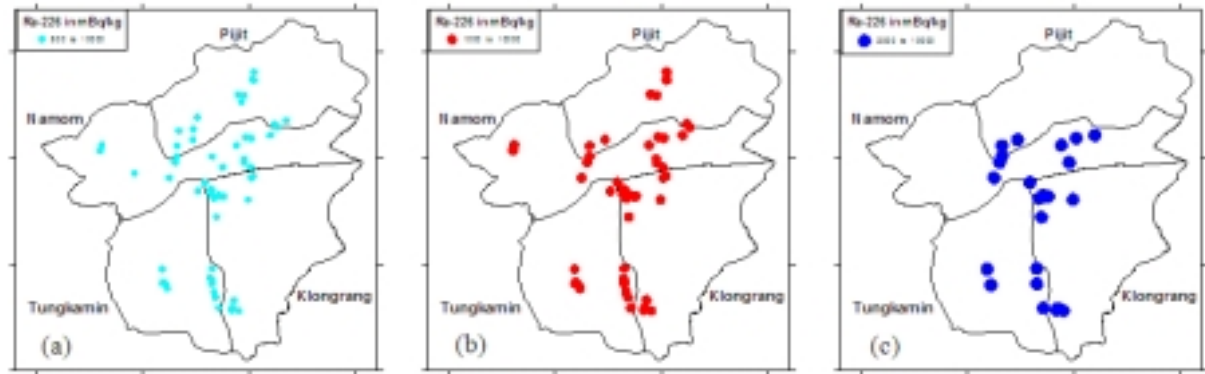


Figure 7. Specific activity of Ra-226 in vegetables at the position of sampling sites. Different symbol colors the interval of specific activities of Ra-226. Different activities are separately shown; (a) specific activities > 500 mBq/kg (b) >1000 mBq/kg and (c) > 2000 mBq/kg.

จำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างผัก 27 ตัวอย่าง (Table 2; Figure 4) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 326-4212 mBq/kg ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตทั้งตำบลเท่ากับ 1457 mBq/kg ค่าเฉลี่ยสูงสุดพบในข้าว และต่ำสุดพบในถั่วฝักยาวมีค่าเท่ากับ 2385 และ 466 mBq/kg ตามลำดับ จะเห็นว่าในข้าวมีปริมาณแคลเซียมน้อยแต่พบปริมาณเรเดียมสูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ มีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำสูง (177.8 mBq/l; จร และคณะ, 2548) และบริเวณที่เพาะปลูกข้าวเป็นที่ลุ่มอยู่ใกล้แนวลำน้ำสายหลักในพื้นที่ไหลมาจากแนวเทือกเขาหินแกรนิตที่อยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนซึ่งอาจมีการผุพังของแร่ธาตุต่างๆ พัดพามาตามกระแสน้ำได้ นอกจากนี้ยังพบว่าถั่วลิสงที่ทำการเก็บตัวอย่างจากจุดเดียวกันก็มีค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 สูง (1610 mBq/kg) เช่นกัน ซึ่งในผักชนิดนี้ก็มีปริมาณแคลเซียมสูง ได้แก่ ตำลึง ขี้เหล็ก กระถิน มะเขือ ผักโขม ผักกวางตุ้ง และคะน้า มีปริมาณเรเดียม-226 สูงเช่นกัน มีค่าเท่ากับ 1715, 1428, 1911, 1698, 1236, 2302 และ 1467 mBq/kg ตามลำดับ ในผักที่มีปริมาณแคลเซียมสูง ได้แก่ ถั่วฝักยาว มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 เท่ากับ 466 mBq/kg จะเห็นว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีการกระจายตัวของค่าความเข้มข้นค่อนข้างสูงอาจพบได้ทั่วบริเวณที่ทำการศึกษา (Figures 6 และ 7)

เมื่อเปรียบเทียบกับผักตัวอย่างจาก อ.บางกล่ำ พบว่า ผักตัวอย่างจาก ต.คลองหรีง อ.นาหม่อม มีปริมาณเรเดียม-226 เฉลี่ยสูงกว่าในผักจาก อ.บางกล่ำ ประมาณ 3.2-4 เท่า (Figure 5)

ตำบลทุ่งขมิ้น ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างผัก 21 ตัวอย่าง (Table 2; Figure 4) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 26-7882 mBq/kg ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตทั้งตำบลเท่ากับ 1253 mBq/kg ค่าเฉลี่ยสูงสุดพบในผักโขม และต่ำสุดพบในถั่วฝักยาว มีค่าเท่ากับ 7690 และ 184 mBq/kg ตามลำดับ ในผักชนิดอื่นก็มีปริมาณเรเดียมสูงเช่นเดียวกัน ได้แก่ ตำลึง (1949 mBq/kg) ผักบุ้ง (1884 mBq/kg) ขี้เหล็ก (1349 mBq/kg) และกระถิน (1251 mBq/kg) ส่วนในถั่วฝักยาวยังคงตรวจพบปริมาณเรเดียมต่ำ 184 mBq/kg ในมะเขือ (884 mBq/kg) และแตงกวา (211 mBq/kg) ก็เช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับผักตัวอย่างจาก อ.บางกล่ำ พบว่า ผักตัวอย่างจาก ต.ทุ่งขมิ้น อ.นาหม่อม มีปริมาณเรเดียม-226 เฉลี่ยสูงกว่าในผักจาก อ.บางกล่ำประมาณ 2.8-4.2 เท่า (Figure 5)

จากการวิเคราะห์ในระดับตำบล พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 จะมีค่าสูงในตัวอย่างผักที่มีปริมาณแคลเซียมสูง ได้แก่ ตำลึง ขี้เหล็ก กระถิน ผักกวางตุ้ง คะน้า ผักโขม ผักกาดขาว และผักบุ้ง ส่วนในผักที่ตรวจพบว่ามีกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ต่ำ ส่วนใหญ่จะมีปริมาณ

Table 4. Specific activities, annual effective dose and radiation risk factor for Radium-226 in vegetables in other studies.

Region/Country	Specific activity Ra-226 (mBq/kg)	Annual Dose (µSv)*	Risk Factor	References
Europe				
Germany	6-1,150	0.10-19.32	0.013-2.415	Globel <i>et al.</i> , 1980
Italy	27-44	0.45-0.74	0.056-0.093	De Bortoli <i>et al.</i> , 1972
Poland	37-43	0.62-0.72	0.078-0.090	Pietrzak-Flis, 1997
U.K.	2.2-170	0.04-2.86	0.005-0.358	Bradley <i>et al.</i> , 1993
North America				
United States	56	0.94	0.113	Fisenne <i>et al.</i> , 1987
Asia				
India				
China	75	1.26	0.16	Zhuo <i>et al.</i> , 2001
Namom District, Songkhla Province Thailand	26-7,882	0.44-132.42	0.055-16.55	
- Pijit sub-district	1,082	18	2.25	This study
- Namom sub-district	1,220	20	2.50	
- Thungkamin sub-district	1,253	21	2.63	
- Klongrang sub-district	1,457	24	3.00	
Bang Klam District, Songkhla Province Thailand	450	8	1.00	This study
Reference value	50	0.84	0.105	UNSCEAR 2000

* Annual doses estimated using the factors in UNSCEAR (2000)

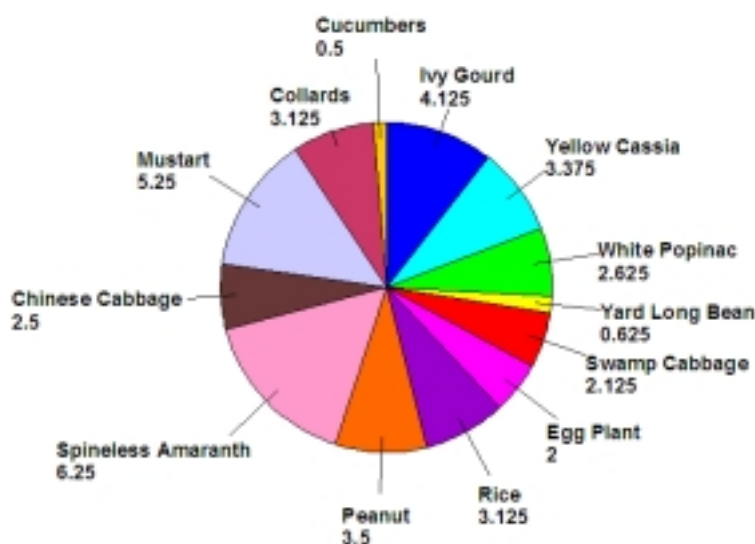


Figure 8. Radiation risk factor for different types of vegetables grown in Namom district.
(Color figure can be viewed in the electronic version)

แคลเซียมต่ำเช่นกัน ได้แก่ ถั่วฝักยาว แดงกวา และมะเขือ ยกเว้น ในข้าว และถั่วลิสง (Tables 2 และ 3) ที่ตรวจพบว่ามีเรเดียม-226 สูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากลักษณะการเพาะปลูกของพืชทั้งสองชนิดที่เมล็ดอยู่ใกล้กับดินและน้ำที่ปนเปื้อนเรเดียมสูง จึงดูดซึมไว้ได้มาก อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนในเรื่องนี้

2. การกระจายของเรเดียม-226 และความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศของ อ.นาหม่อม

หากพิจารณาลักษณะภูมิประเทศของ อ.นาหม่อม จะพบว่าเมื่อเทือกเขาล้อมรอบอยู่ 3 ด้าน มีที่ราบลุ่มอยู่ตอนกลางของอำเภอ เทือกเขาหินแกรนิตวางตัวเป็นขอบเขตทางตะวันออก ทิศใต้ และทางตะวันตกบางส่วน (สัญลักษณ์ GR ใน Figure 2) สวัสดิ์ (2545) ดำรวจธรณีฟิสิกส์ของพื้นที่ อ.นาหม่อม พบหินแกรนิตเป็นหินฐานอยู่ในระดับดิน ลึกคลองธรรมชาติในพื้นที่เริ่มต้นจากเทือกเขาหินแกรนิตทางตะวันออกและทางใต้แล้วไหลผ่านไปกลางพื้นที่แล้วไหลเลี้ยวออกไปทางตะวันตกผ่านคลองหวั่นที่เป็นคลองสายหลัก ลงสู่คลองอู่ตะเภาที่ อ.หาดใหญ่ ตำบลทุ่งขี้หมันในอดีตเคยมีการทำเหมืองแร่ดีบุกที่พบฝังประอยู่ในหินแกรนิต และเคยมีรายงานการพบแร่กัมมันตรังสีสูงทอร์เบอร์ไนท์ใน ต.ทุ่งขี้หมัน มีรอยเลื่อนทางตอนใต้ของพื้นที่ใน ต.คลองหวั่นและทุ่งขี้หมัน (ธงชัย, 2527) จึงอาจทำให้หินแกรนิตของพื้นที่เกิดการแตกสลายตัวเปื่อยยุ่ย (decomposed granite) กลายเป็นดินลึกลงในชั้นหิน ซึ่งอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระจายปนเปื้อนเรเดียม-226 ในพื้นที่ อ.นาหม่อมทั้งหมด

เมื่อพิจารณาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักทุกชนิดจากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 98 ตัวอย่าง พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีการกระจายสม่ำเสมอทั่วไปทั้ง อ.นาหม่อม (Figures 6 และ 7) ทั้งค่าสูงและต่ำ (ขึ้นกับชนิดของผักดังที่ได้วิเคราะห์ไปแล้ว) เมื่อแบ่งระดับกัมมันตภาพออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับค่ากัมมันตภาพจำเพาะสูงกว่า 500 mBq/kg (Figure 7a) พบว่ามีการกระจายครอบคลุมพื้นที่โดยรอบใน อ.นาหม่อมทั้ง ต.พิจิตร นาหม่อม คลองหวั่น และทุ่งขี้หมัน เมื่อวิเคราะห์การกระจายของผักที่มีกัมมันตภาพจำเพาะสูงกว่า 1000 mBq/kg (Figure 7b) และสูงกว่า 2000 mBq/kg (Figure 7c) ก็ยังสังเกตเห็นว่ามีการกระจายครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่

อ.นาหม่อม เช่นเดียวกัน อาจสังเกตเห็นว่าจะเป็กลุ่มก้อนตรงบริเวณใกล้เส้นทางน้ำ เช่น ลำคลอง ซึ่งก็คือบริเวณที่เป็นชุมชน หมู่บ้าน ที่มีเส้นทางสัญจร เนื่องจากเป็นบริเวณที่สนใจศึกษา

จึงมีความเป็นไปได้อย่างน้อย 2 ประการ ที่จะอธิบายการกระจายอย่างสม่ำเสมอของเรเดียม-226 ในพื้นที่ อ.นาหม่อม คือ (1) แหล่งกำเนิดของเรเดียม-226 อยู่ในพื้นที่ต้นน้ำในเทือกเขาหินแกรนิต โดยเฉพาะบริเวณที่หินแกรนิตผุพังเปื่อยยุ่ยจนกลายเป็นดินที่มีความพรุนสูง บริเวณรอยเลื่อนที่อยู่ทางทิศใต้ของ ต.ทุ่งขี้หมัน และ ต.คลองหวั่น ในพื้นที่นี้พบมีการปนเปื้อนเรเดียมสูงในน้ำบ่อ (จเร, 2548) และในผัก โดยเรเดียม-226 กระจายคลุมพื้นที่ทั้งอำเภอผ่านทางระบบน้ำธรรมชาติทั้งน้ำผิวดินและระบบน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผ่านทางคลองสาขาและคลองสายหลักคือ คลองหวั่น และ/หรือ ประการที่ (2) เนื่องจากชั้นหินฐานในพื้นที่ส่วนใหญ่ใน อ.นาหม่อมเป็นหินแกรนิตที่พบอยู่ในระดับดิน 3-15 เมตร (สวัสดิ์, 2545) และเป็นหินแกรนิตชนิดที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีธรรมชาติสูง (สุกิจ, 2550) ดังนั้นในพื้นที่อ.นาหม่อมส่วนใหญ่ได้พื้นดินก็จะมีแหล่งกำเนิดของเรเดียม-226 อยู่ทั่วไป และพร้อมที่จะปลดปล่อยเรเดียม-226 ออกมาเมื่อหินเกิดการผุพังสลายตัว

3. การประเมินปริมาณรังสีจากเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคผักต่อปี

การประเมินการบริโภคผักที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 ของชาว อ.นาหม่อม จ.สงขลา โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ของ UNSCEAR (2000) ในเวลา 1 ปี คน (ผู้ใหญ่) จะบริโภคผัก 60 กก. เมื่อใช้ค่าปัจจัย 0.28 $\mu\text{Sv/Bq}$ ซึ่งใช้สำหรับการประเมินปริมาณรังสีสมมูลที่ร่างกายได้รับต่อปี (adult annual equivalent dose) ผลการคำนวณปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับจากการบริโภคผักใน อ.นาหม่อม แสดงใน Table 3

องค์กร ICRP (International Commission on Radiological Protection) ได้กำหนดเกณฑ์ปริมาณรังสีที่บุคคลทั่วไปได้รับจากรังสีทุกชนิดด้วยค่าปริมาณรังสีขนาดเสี่ยง (committed dose) ของการดื่มน้ำและอาหารที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีไว้ที่ 0.1 mSv และค่าปริมาณรังสีจะต้องไม่เกินระดับปลอดภัยซึ่งกำหนดไว้ที่ 1 mSv ต่อปี (dose

limit; ICRP60, 1991) ซึ่งเป็นปริมาณรังสีที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีที่ได้รับจากการบริโภคผัก อย่างไรก็ตาม UNSCEAR ได้แสดงค่าปริมาณรังสีประสิทธิผล (effective dose rate) ที่จะได้รับจากเรเดียม-226 ต่ออายุ-น้ำหนัก ว่าไม่ควรเกิน 8 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เกณฑ์นี้เพื่อประเมินปริมาณรังสีที่ได้รับเรเดียม-226 จากการบริโภคผักของประชาชนชาว.นาหม่อม โดยแยกพิจารณาในระดับตำบล ดังนี้

ตำบลพิจิตร ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลเฉลี่ยที่ประชาชนจะได้รับจากการบริโภคผักป่นเปื้อนเรเดียม-226 ต่อปี มีค่า 18 μSv โดยผู้ที่บริโภคผักวางตุ้งจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงสุด เท่ากับ 46 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ และต่ำสุดในถั่วฝักยาว เท่ากับ 9.5 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ โดยผู้ที่บริโภคถั่วลันเตา และกระถิน จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลใกล้เคียงกัน มีค่าเท่ากับ 29.4 25 และ 26 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์ปกติ 8 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$

ตำบลนาหม่อม ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลเฉลี่ยที่ประชาชนจะได้รับจากการบริโภคเรเดียม-226 ในผักต่อปี มีค่า 20 μSv โดยผู้ที่บริโภคผักโขมจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงสุด 47 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตำลึง และขี้เหล็กได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผล เท่ากับ 38 และ 31 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ตามลำดับ สูงเกินเกณฑ์ปกติ (8 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$) และสำหรับในถั่วฝักยาวได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลต่ำสุด 2 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ไม่เกินเกณฑ์ปกติ (8 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$)

ตำบลคลองหริ่ง ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลเฉลี่ยที่ประชาชนได้รับต่อปี มีค่า 24 μSv โดยผู้ที่บริโภคข้าวจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงสุด 40 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ใกล้เคียงกับการบริโภคตำลึง ขี้เหล็ก กระถิน มะเขือ ถั่วลันเตา ผักโขม ผักกวางตุ้ง และคะน้า มีค่าเท่ากับ 28, 24, 32, 29, 27, 21, 39 และ 25 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ปกติ และการบริโภคถั่วฝักยาวจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลน้อยที่สุด 8 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ อยู่ในเกณฑ์ปกติ

ตำบลทุ่งขมิ้น ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลเฉลี่ยที่ประชาชนได้รับต่อปี มีค่า 21 μSv โดยผู้ที่บริโภคผักโขมจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลในปริมาณสูงสุด 129 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ และการบริโภคถั่วฝักยาวจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลต่ำสุด 3 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ การบริโภคผักชนิดอื่น ได้แก่ ตำลึง ขี้เหล็ก กระถิน มะเขือ และผักบุ้ง ค่าประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับ

ต่อปีมีค่า 33, 23, 21, 11 และ 32 μSv ซึ่งสูงเกินกว่าเกณฑ์ปกติ และการบริโภคแตงกวาจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปีเท่ากับ 4 μSv ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับถั่วฝักยาว และอยู่ในเกณฑ์ปกติ

จากการศึกษาปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ประชาชนในพื้นที่ อ.นาหม่อมจะได้รับจากการบริโภคผักป่นเปื้อนเรเดียม-226 โดยคิดเฉลี่ยทั้งอำเภอมีค่า 21 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ซึ่งจัดเป็นค่าที่สูงมากเมื่อเทียบกับประชาชนของประเทศในเขตทวีปยุโรป ซึ่งได้รับ 0.04-19.32 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ประชาชนในทวีปเอเชีย 1.26 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ (Table 4) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่ตรวจวัดจากทั่วโลกขององค์การ UNSCEAR (2000) ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยไว้ที่ 0.84 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ (Table 4) จะเห็นได้ว่าชาว.นาหม่อมได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคเรเดียม-226 ในผักสูงกว่าเกณฑ์ปกติที่กำหนดไว้ค่อนข้างมาก

4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่มีอยู่ในผักแต่ละชนิด

จากการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับจากการบริโภคเรเดียม-226 ในผักในอ.นาหม่อม พบว่ามีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 8 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ (UNSCEAR, 2000) เมื่อนำมาจัดอันดับผักแต่ละชนิดที่ประชาชนจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคผักสูงสุด 5 อันดับแรก ประกอบด้วย ผักโขม (50 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$) ผักกวางตุ้ง (42 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$) ตำลึง (39 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$) ถั่วลันเตา (28 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$) และขี้เหล็ก (27 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$) พิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณแคลเซียมที่พบในผักแต่ละชนิด (Table 2) พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเป็นส่วนประกอบสูง ยกเว้นในถั่วลันเตาซึ่งมีแคลเซียมเพียง 59 มก. ต่อน้ำหนักถั่วลันเตา 100 กรัม ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผักชนิดอื่น แต่จากลักษณะการเพาะปลูกของถั่วลันเตาโดยเมล็ดถั่วที่เรานำมาบริโภคจะสัมผัสโดยตรงกับดินและน้ำที่อาจปนเปื้อนเรเดียม-226 ไว้ค่อนข้างสูง เมื่อนำมาตรวจวัดปริมาณรังสีเรเดียมจึงพบในปริมาณสูง และยังพบว่าถั่วลันเตาในต.คลองหริ่งมีกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 สูงที่สุดเท่ากับ 4212 mBq/kg ส่วนผักชนิดอื่นๆ เช่น กระถิน ผักกาดขาว ผักบุ้ง มะเขือ จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเช่นกัน มีค่าเท่ากับ 21, 20, 17 และ 16 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ตามลำดับ ส่วนในถั่วฝักยาวและแตงกวา จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคผักต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ

(8 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$) โดยมีค่า 5 และ 4 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าผักที่มีปริมาณแคลเซียมสูงมักจะตรวจพบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ได้สูงเช่นกัน ส่วนผักที่มีปริมาณแคลเซียมน้อยก็จะตรวจพบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ได้น้อยเช่นกัน

จากผลการวิเคราะห์การได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคเรเดียม-226 ในผัก พบว่า ประชาชนชาวคลองหริ่ง ได้รับสูงที่สุดเท่ากับ 24 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ รองลงมาคือ ประชาชนชาวต.ทุ่งขี้มันได้รับ 21 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ชาวต.นาหม่อมได้รับ 20 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ชาวต.พิจิตรได้รับต่ำสุดเท่ากับ 18 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ซึ่งปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ประชาชนในแต่ละตำบลได้รับมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

5. การประเมินความเสี่ยงทางรังสีจากบริโภคผักที่ปลูกในพื้นที่ อ.นาหม่อม

การประเมินความเสี่ยงทางรังสีจากการบริโภคผักที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 จะประเมินอย่างง่าย โดยใช้ค่า Radiation Risk Factor (RRF) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ประชาชนได้รับจากการบริโภคผักต่อปีกับค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลอ้างอิง (UNSCEAR, 2000) ซึ่งแสดงใน Table 2 และ Figure 8 พบว่า การบริโภคผักโขมจะมีความเสี่ยงทางรังสีมากที่สุด (6.25) และในผักกวางตุ้ง (5.25) ตำลึง (4.13) ขี้เหล็ก (3.38) กระถิน (2.63) ผักบุ้ง (2.13) ข้าว (3.13) ถั่วลิสง (3.50) คะน้า (3.13) ผักกาดขาว (2.50) และ มะเขือ (2.00) จัดว่ามีความเสี่ยงต่อการบริโภค เนื่องจากมีค่า RRF มากกว่า 1 ส่วนการบริโภคถั่วฝักยาว (0.63) และแตงกวา (0.5) มีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ปกติ

สรุป

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักที่ปลูกในเขตพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรมิเตอร์วัดรังสีแกมมาของเรเดียม-226 พบว่ามีการแพร่กระจายของเรเดียม-226 แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผัก ลักษณะทางภูมิประเทศ การวางตัวของหินแกรนิตในพื้นที่ศึกษาซึ่งเชื่อว่าเป็นแหล่งกำเนิดเรเดียม

ผักที่ตรวจพบว่ามีกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 สูง 5 อันดับแรก ได้แก่ ผักโขม ผักกวางตุ้ง ตำลึง ถั่วลิสง และ ขี้เหล็ก ส่วนผักที่มีกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ต่ำสุด ได้แก่ แตงกวา และถั่วฝักยาว ผักที่ตรวจพบกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 สูง ส่วนใหญ่จะเป็นผักที่ทราบกันดีว่ามีปริมาณแคลเซียมสูง ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับการดูดซึมธาตุหมู่ 2 เช่น แคลเซียม เรเดียม ในผักแต่ละชนิด เมื่อประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลเฉลี่ยที่ประชาชนชาวอ.นาหม่อมจะได้รับต่อปี มีค่า 21 μSv และพบว่าประชาชนชาวต.คลองหริ่ง จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงกว่าประชาชนในตำบลอื่นคือ 24 μSv ต่อปี โดยประชาชนที่บริโภคผักโขมจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลเฉลี่ยต่อปีสูงถึง 50 μSv ซึ่งสูงกว่าการบริโภคผักชนิดอื่น และมีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผล ส่วนการบริโภคถั่วฝักยาวและแตงกวา พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยจากความเสี่ยงที่จะได้รับปริมาณรังสีเรเดียม-226 จากการบริโภค

เมื่อพิจารณาค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในผักของ อ.นาหม่อม เปรียบเทียบกับในผักของ อ.บางกล่ำ ที่อยู่ห่างกันราว 40 กม. แม้จะพบว่าปริมาณเรเดียม-226 เฉลี่ยในผักของ อ.บางกล่ำ จะมีค่าต่ำกว่าในผักของ อ.นาหม่อม 2.4-4.2 เท่า แต่ผักของ อ.บางกล่ำ ก็ยังจัดว่ามีปริมาณเรเดียม-226 อยู่ในช่วงค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก อ.บางกล่ำอยู่ใกล้ปากคลองอู่ตะเภาที่ไปออกสู่ทะเลสาบสงขลา ซึ่งเป็นลำน้ำสายหลักที่รวมน้ำจากคลองหริ่งต้นกำเนิดใน อ.นาหม่อม จึงอาจจะล้างเรเดียม-226 จากใน อ.นาหม่อม มาตามลำน้ำลงคลองอู่ตะเภา แล้วไปปนเปื้อนในผักที่ปลูก อ.บางกล่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย และวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ และสาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้อนุญาตให้ใช้เครื่องมือที่จำเป็นในงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณเดชา ปัตระวรรณ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

- คว้น ขาวหนู. 2522. โภชนศาสตร์: ครั้งที่ 2 อักษรบัณฑิต, กรุงเทพมหานคร; 401-417.
- จเร วุฒิสาศน์ ธวัช ชิตตระการ ดรุณี ฟ่องสุวรรณ และไตรภพ ฟ่องสุวรรณ. 2548. กัมมันตภาพจำเพาะความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้น และความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์มะเร็งช่องปาก และมะเร็งหลอดอาหารใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา ว.สงขลานครินทร์ (วทท.) 28(1): 1-15.
- จเร วุฒิสาศน์ ธวัช ชิตตระการ และไตรภพ ฟ่องสุวรรณ. 2547. ความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบ่อต้น และความสัมพัทธ์กับอุบัติการณ์เกิดโรคมะเร็งช่องปากและมะเร็งหลอดอาหารในพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา. ว.สงขลานครินทร์ (วทท.) 26(5): 709-725.
- ไตรภพ ฟ่องสุวรรณ ธวัช ชิตตระการ สมพร จงคำ พรศรี พลพงษ์ สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล และ อภินันท์ จูติภรณ์พันธ์. 2544. การประเมินความเสี่ยงต่อเรดอนภายในและภายนอกอาคารในพื้นที่ชุมชน เขตคู่ม่น้ำทะเลสาบสงขลา รายงานวิจัยเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ: 235 หน้า.
- ไตรภพ ฟ่องสุวรรณ. 2545. การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา เอกสารประกอบการสอนวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธงชัย พึ่งรัมย์. 2527. ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกบริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์-ทุ่งขม้น กิ่ง อ.นาหม่อม จ.สงขลา: ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธวัช ชิตตระการ. 2541. การตรวจและการวัดรังสี : ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร; 57-72.
- พาลาภ สิงห์เสนี. 2540. การประเมินความเสี่ยงจากพิษของวัตถุอันตราย : หลักการและการประยุกต์ใช้. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพ็ญญา ทรัพย์เจริญ. 2542. รวมบทความการประชุมวิชาการ เรื่องผักพื้นบ้านและอาหารพื้นบ้าน 4 ภาค : สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข นนทบุรี; 117-121.
- วิลาลินี ก้าวศิริรัตน์. 2547. การหาปริมาณเรเดียม-226 ในผักพื้นบ้านในอ.นาหม่อม ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา: โครงการทางฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2542. ผักพื้นบ้านภาคใต้ : ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก กรุงเทพฯ; 44-49, 144-149.
- สวัสดิ์ ช่างหล่อ. 2545. การศึกษาสนามโน้มถ่วงของแหล่งแร่ดีบุกบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขม้น อ.นาหม่อม จังหวัดสงขลา, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สำนักงานคณะกรรมการการสาธารณสุขมูลฐานศูนย์ฝึกอบรมและพัฒนาการสาธารณสุขมูลฐานภาคเหนือ. 2540. ผักพื้นบ้าน: ความหมายและภูมิปัญญาของสามัญชนไทย: ครั้งที่ 2, สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข; 104-140.
- สำนักงานสถิติจังหวัดสงขลา. 2543. สำมะโนประชากรและเคหะ พ.ศ. 2543, สำนักงานสถิติแห่งชาติ.
- สุกิจ อติพันธ์. 2550. การสำรวจรังสีแกมมาธรรมชาติในอ.นาหม่อม จังหวัดสงขลา, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฉบับร่าง) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล. 2537. การตรวจวัดปริมาณแก๊สเรดอนในน้ำบาดาลรอบคู่ม่น้ำทะเลสาบสงขลา ด้วยเทคนิคการกัตรอยนิวเคลียร์, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อภินันท์ จูติภรณ์พันธ์. 2543. การตรวจวัดกัมมันตภาพจำเพาะก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือนในพื้นที่จังหวัดสงขลา, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Adam, K.S. and Ake, E. 1995. Radium-226 Uptake by Vegetation Grown in Western Sudan. J. Environ. Radioact., 29(1): 27-38.
- Amarani, D. and Tahtat, M. 2001. Natural radioactivity in Algerian building materials. Appl. Radiat. and isot., 54: 687-689.
- Bradley, E.1993. Natural Radionuclides in environmental media. J. Contract Report. NRPB-M439.
- Clulow, F.V., Dave, N.K., Lim, T.P. and Avadhanula. R. 1998. Radium-226 in water, sediments and fish from lakes near the city of Elliot Lake, Ontario, Canada. Environ. Pollut. 99: 13-28.
- Cohen, B.L.1997.Problems in the radon vs. lung cancer test of the linear no-threshold theory and a

- procedure for resolving them. *Health Physics*, 72(4):623-628.
- De Bortoli, M. and Gaglione, P. 1972. ²²⁶Ra in environmental materials and foods. *Health Physics*, 22:43-48.
- Decaillon, J.-G., Bickel, M., Hill, C. and Altzitzoglou, T. 2004. Validation of Methods for the Determination of Radium in Waters and Soil. *Appl. Rad. and Isotopes*, 61: 409-413. EPA. Radium. Radiation Protection.
- Fisenne, I.M., Perry, P.M., Decker, K.M. and Keller, H.W. 1987. The dietary intake of ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁵U ²³²Th, ²³⁰Th, ²²⁸Th, ²²⁶Ra and ²²⁸Ra by New York City residents. *Health Physics*, 53(4): 357-363.
- Ghiassi N.M., Beitollahi M.M., Asefi M., Reza N.F. 2003. Exposure to ²²⁶Ra from consumption of vegetables in the high level natural radiation area of Ramsar-Iran. *J. of Environmental Radioactivity*, 66: 215-225.
- Globel, B. and Muth, H. 1980. Natural radioactivity in drinking water, foodstuffs and man in Germany. p385-418 **In**: Seminar on the Radiological Burden of Man from Natural Radioactivity in the Countries of the European Communities. CEC No V/2408/80.
- Hakl, J., Hunyadi, I., Varga, K. and Csige, I. 1995. Determination of Radon and Radium Content of Water Samples by SSNTD Technique. *Radiat. Meas.*, 25: 657-658.
- ICRP 60. 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford. Institute of environment of Medicine Karolinska Institute, Stockholm, Sweden. Method of Risk assessment. *Sci. Total Environ.*, 1: s75-s77.
- Kim, Y.-S., Park, H.-S., Kim, J.-Y., Park, S.-K., Cho, B.-W., Sung, I.-H. and Shin, D.-C. Health risk assessment for uranium in Korean groundwater. *J. Environ. Radioact.*, 77: 77-85.
- Kuo, Y.-C., Lai, S.-Y., Huang, C.-C. and Lin, Y.-M. 1997. Activity Concentrations and Population Dose from Radium-226 in Food and Drinking Water in Taiwan. *Applied Radiation Isotopes*, 48: 1245-1249.
- Mays, C.W. and Rowland, R.E. 1985. Cancer risk from the lifetime intake of Ra and U isotope, *Health Physics*, 48: 635-647.
- Pietrzak-Flis, Z., Rosiak, L., Suplinska, M.M., Chrzanoski, E., Dembinska, S. 2001. Daily intake of ²³⁸U, ²³⁴U, ²³²Th, ²³⁰Th, ²²⁸Th and ²²⁶Ra in the adult population of central Poland. *Sci. Total Environ.*, 273: 163-169.
- Pietrzak-Flis, Z., Rosiak, L. and Suplinska, M. 1997. The dietary intake of ²³⁸U, ²³⁴U, ²³²Th, ²³⁰Th, ²²⁸Th and ²²⁶Ra from food and drinking water by inhabitants of the Walbrzych region. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 222:189-193.
- Sohrabi, M. 1998. The state-of-the-art on worldwide studies in some environments with elevated naturally occurring radioactive material (NORM). *Appl. Radiat. and Isot.*, 49: 169-168.
- Sohrabi, M., Mirzaee, H. and Hosseini, T. 1995. Determination of ²²⁶Ra in Food Samples by a New Method Using Polycarbonate Detector. *Radiat. Meas.*, 25: 623-624.
- Szerbin, P. and Popov, D.K. 1988. Transfer of Radium-228, Thorium-228 and Radium-226 from Forage to Cattle and Reindeer. *J. Environ. Radioact.*, 8: 129-141.
- Thongsuksai, P., Sriplung, H., Phunggrassami, T. and Prechavittayakul, P. 1997. Cancer incidence in Songkhla, southern Thailand, 1990-1994, Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health, 28 (Suppl. 3): 1-10.
- UNSCEAR. 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, with Scientific Annexes E. Occupational radiation exposures: 499-509.
- US. Environmental Protection Agency. 1976. Interim primary drinking water regulations. Washington DC, EPA. 570/9-76-003.
- Wang, X., Sato, T., Tao, S. and Xing, B. 2005. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. *Sci. Total Environ.*, 350: 28-37.
- Zhuo, W., Iida, T. and Yang, X. 2001. Occurrence of ²²²Rn, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra and U in groundwater in Fujian Province, China. *J. Environ. Radioact.*, 53: 111-120.