บทที่ 5

การอภิปรายผลการทดลอง

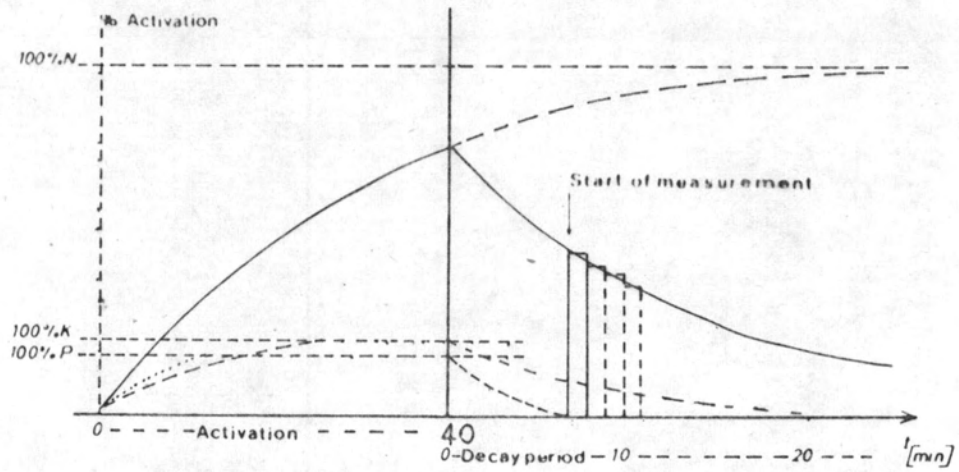
จากผลการทดลองเชิงคุณภาพ กับตัวอย่างข้าวที่นำมาวิเคราะห์ ทำให้ทราบว่านอกจากจะมีไนโตรเจน เป็นส่วนประกอบแล้ว ยังมีธาตุปริมาณน้อย (trace element) ตัวอื่นเป็นส่วนประกอบอีกด้วย ดังนั้นความถูกต้องของการหาปริมาณไนโตรเจน จึงขึ้นอยู่กับอิทธิพล โดยการรบกวนของธาตุปริมาณน้อยต่าง ๆ ที่มีปรากฏอยู่ในตัวอย่างนั้น

ค่าปริมาณเฉลี่ยของธาตุที่มีเจือปนในเมล็ดธัญญพืชชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1[3] ซึ่งในบรรดาธาตุปริมาณน้อยที่เจือปนเหล่านี้ ธาตุหลักที่รบกวนการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนก็คือ โปแตสเซียม (K) และฟอสฟอรัส (P) ดังตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าธาตุทั้งสองจะเกิดปฏิกริยา (n, 2n) และเป็นโพซิตรอนอีมิทเทอร์ (positron emitter) ซึ่งจะให้แกมมาพลังงาน 0.511 MeV ออกมาได้เช่นเดียวกับไนโตรเจน-13

ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณเฉลี่ยของธาตุปริมาณน้อยที่เจือปนในเมล็ดธัญญพืชเทียบกับปริมาณไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกรัม)[3]

ตัวอย่างเมล็ดธัญญพืช	N	Ca	Mg	K	Na	P	S	Cl	Si
Millet	22	0.14	1.74	2.78	0.30	2.70	0.03	0.13	7.39
Barley	17	0.40	1.20	4.90	0.51	3.45	0.27	1.00	1.86
Wheat	21	0.82	1.53	4.45	0.87	3.43	0.46	0.34	0.25
Rye	20	0.37	1.07	4.49	0.29	3.59	0.53	0.41	0.19
Peas	39	0.81	1.26	9.85	0.58	3.90	1.14	0.71	0.1
Beans	40	1.19	1.32	11.41	0.39	4.97	0.61	0.57	0.09

ปฏิกริยาของฟอสฟอรัส กับนิวตรอนพลังงานสูง ก็จะทำให้เกิดโพซิตรอน อีมิทเทอร์ ^{30}P (ดูตาราง 3.1) ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 2.5 นาที และโดยทั่ว ๆ ไป ตัวอย่างของพวกพืชจะมีฟอสฟอรัสอยู่ประมาณ 10-20 % ของปริมาณของไนโตรเจนในตัวอย่างนั้น ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการหาปริมาณของไนโตรเจนไปมากที่สุดประมาณ 20 % ดังนั้นเราจึงต้องแก้ความผิดพลาดนี้ โดยการปล่อยสารตัวอย่างที่อาบรังสีนิวตรอนแล้วทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที ซึ่งก็จะลดการรบกวนของ ^{30}P ให้มีค่ามากที่สุดเพียง 2.5 % ดังนั้นเพื่อขจัดปัญหานี้ในการทดลอง จึงได้ดำเนินการตามผังการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.1 ยิ่งไปกว่านั้นถ้าเราต้องการที่จะตรวจสอบว่ายังมี ^{30}P เหลืออยู่หรือไม่ก็อาจจะพิจารณาได้จากพีคของ ^{28}Al (1.78 MeV) ซึ่งเกิดจากปฏิกริยา $^{31}P(n,\alpha)^{28}Al$ แต่ก็ต้องระวังไว้ว่าพีคของ ^{28}Al (1.78 MeV) ยังอาจจะเกิดจาก ซิลิคอน (Si) ก็ได้โดยปฏิกริยา $^{28}Si(n,p)^{28}Al$



รูปที่ 5.1 แสดงผังการแอคติเวทและการสลายตัวของไนโตรเจนกับธาตุปริมาณน้อย ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมที่รบกวน

ส่วนการรบกวนของโปแตสเซียม ในการทดลองครั้งนี้มีน้อยมาก ทั้งนี้เพราะสังเกตจากพีคของรังสีแกมมาพลังงาน 2.17 MeV ของ ^{38}K (ดูตารางที่ 3.1) โดยการนำเอาโปแตเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) ไปอาบรังสีนิวตรอน จะได้สเปคตรัมดังรูปที่ 5.2 จากการตรวจสอบสเปคตรัมของสารตัวอย่างสังเกตไม่พบ

การรบกวนอีกแบบหนึ่งที่จะเกิดขึ้นในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างข้าวก็คือ การรบกวนที่เกิดจากโปรตอนกระดอนกลับ (recoil protons) ซึ่งจะเกิดได้ดีกับสารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบ เพราะว่าคาร์โบไฮเดรตจะประกอบด้วย ธาตุไฮโดรเจน, คาร์บอน และออกซิเจน (H, C, O) เป็นจำนวนมาก ซึ่งโปรตอนกระดอนกลับเหล่านี้เกิดขึ้นได้จากการชนของนิวตรอนพลังงานสูง กับอะตอมของไฮโดรเจน ซึ่งก็จะทำให้เกิดปฏิกริยานิวเคลียร์ได้ ที่สำคัญ ๆ มี 3 ปฏิกริยาคือ

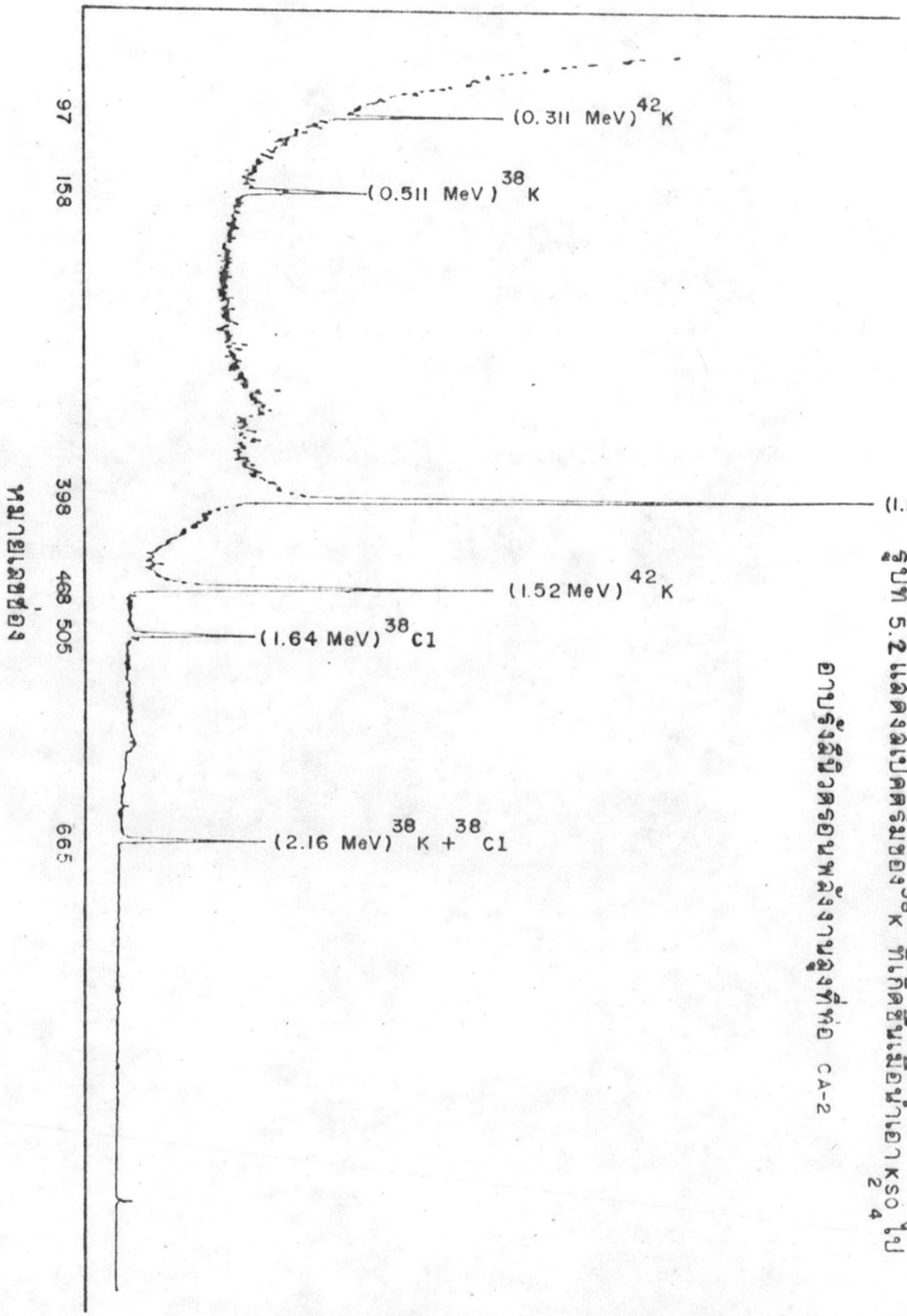
$$^{12}C(p,\gamma)^{13}N$$

$$^{13}C(p, n)^{13}N$$

$$^{16}O(p,\alpha)^{13}N$$

ซึ่งไนโตรเจน-13 ที่เกิดจากปฏิกริยาเหล่านี้ เราไม่สามารถบอกความแตกต่าง ว่าตัวไหนมาจากปฏิกริยา $^{14}N(n, 2n)^{13}N$ ดังนั้นการแก้ข้อผิดพลาดที่จะกระทำได้ ก็โดยการหาแบคกราวน์ (background) ในพีคของพลังงาน 0.511 MeV ซึ่งเกิดจากปฏิกริยาข้างบนที่กล่าวมาแล้ว ด้วยจุดประสงค์นี้เราจึงต้องหาสารตัวอย่างที่เป็นน้ำตาลกลูโคส (glucose) แซคาโลส (saccharose), แป้ง หรือ เซลลูโลส[3] (cellulose) ซึ่งปราศจากไนโตรเจนมาเป็นแบลงค์ (blank) ในการทดลองนี้ได้เลือกเอาเซลลูโลสผง (cellulose powder) ของบริษัท KOCH-LIGHT LABORATORIES INC. มาทำเป็นแบลงค์ ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น $(C_6H_{10}O_5)_x$

ผลจากการทดลองหาครึ่งชีวิตของไนโตรเจน-13 จากพีคพลังงาน 0.511 MeV ที่เกิดขึ้นพบว่า ถ้าเราปล่อยตัวอย่างข้าวที่อาบรังสีให้สลายตัวนานกว่า 30 นาที (3 เท่าของ

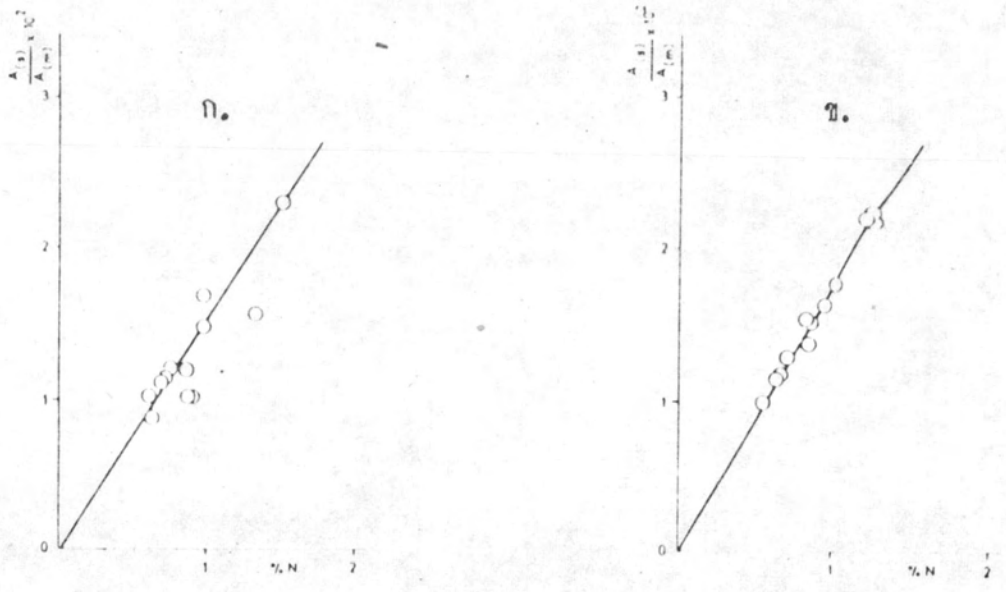


รูปที่ 5.2 แสดงสเปกตรัมของ ^{38}K ที่เกิดขึ้นในหม้อหุ้มเยื่อ KSO$_4$ ใน
อากาศที่ถูกฉายด้วยนิวตรอนเร็วที่ห้อง CA-2

ครึ่งชีวิตของ ^{13}N) แล้วจึงนำมาเข้าเครื่องวัดค่าพื้นที่ใต้พีคที่หามาได้ จะเป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง เพราะว่าจากกราฟรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเป็นการสลายตัวแบบผสมคือมีไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตต่างกันอยู่ปนกัน ในกรณีของการทดลองครั้งนี้ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ก่อให้เกิดสภาวะเช่นนี้ขึ้นมาคือแมงกานีส-56 (^{56}Mn) ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 2.56 ชั่วโมง ซึ่งการแก้ไขเหตุการณ์เช่นนี้ก็โดยดำเนินการเป็นขั้นตอนดังรูปที่ 5.1

นอกจากนี้ข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นได้ ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณก็คือ ถ้าเรานำตัวอย่างข้าวที่บดละเอียดแล้ว หรือที่ยังไม่ได้บด บรรจุลงในหลอดโพลีอีทีลีน (polyethylene) โดยไม่มีการอัดเป็นเม็ดแล้ว เราจะหาปริมาณไนโตรเจนในข้าวตัวอย่างนั้นผิดพลาดไปประมาณ 10 %[3] ทั้งนี้เป็นผลมาจากกาซไนโตรเจนที่ผสมอยู่ในอากาศจะแทรกอยู่ระหว่างตัวอย่างข้าวที่ไม่ได้อัดแน่น ดังนั้นถ้าเราไม่อัดเป็นเม็ด วิธีแก้ไขก็โดยเทตัวอย่างข้าวที่ผ่านการอาบรังสีนิวตรอนแล้วลงในภาชนะใหม่ ซึ่งก็จะช่วยได้บ้างเล็กน้อย ดังนั้นวิธีการแก้ไขที่ดีที่สุดก็โดยการพยายามขจัดกาซไนโตรเจนออกไปก่อนการอาบรังสี

การอัดเม็ดข้าวตัวอย่างที่บดละเอียด ก็เพื่อขจัดกาซไนโตรเจนที่แทรกอยู่ และเพื่อให้มีรูปทรงทางเรขาคณิตคงที่ สะดวกต่อการนำเข้าวัด ทำให้ผลการวัดแม่นยำขึ้น L. KOSTA, V. RAVNIK, J. DUMANOVIC'[12] ได้ทดลองนำข้าวโพดมาอัดเป็นเม็ดคล้ายเม็ดยา โดยใช้แรงดันประมาณ 2000 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว ได้ผลออกมาดังรูปที่ 5.3 ข ส่วนรูปที่ 5.3 ก เป็นกราฟแสดงผลที่เกิดของเมล็ดข้าวโพดที่ยังไม่ได้อัดเป็นเม็ด



รูปที่ 5.3 แสดงการขึ้นอยู่กับรูปทรงทางเรขาคณิตของตัวอย่างที่มีผลต่อการวัดหาปริมาณไนโตรเจน ก) เมล็ดข้าวโพดที่ไม่ได้อัดเม็ด ข) เมล็ดข้าวโพดที่อัดเป็นเม็ด

จะเห็นว่าความแม่นยำของการหาปริมาณไนโตรเจนดีขึ้นมาก ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงได้ใช้วิธีการอัดเม็ดสารตัวอย่างเข้ามาช่วยด้วย

ดังได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่า ไนโตรเจนเป็นธาตุตัวหนึ่งที่สำคัญ เพราะว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในสารตัวอย่างทางชีวะ จะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณโปรตีนของสารตัวอย่างนั้น ดังนั้นถ้าเราหาปริมาณของไนโตรเจนในสารตัวอย่างได้แน่นอนแล้ว เราก็สามารถที่จะโยงไปถึงปริมาณของโปรตีนได้ โดยอาศัยตัวประกอบ (factor) ตัวหนึ่งที่จะแปลง ปริมาณไนโตรเจนให้เป็นปริมาณโปรตีน ซึ่งเราเรียกตัวประกอบนั้นว่า "ตัวประกอบโปรตีน" (protein factor)[19] โปรตีนแฟคเตอร์ (protein factor) คือตัวประกอบที่ได้มาจากความรู้ที่เกี่ยวกับปริมาณของไนโตรเจนคิดเป็นเปอร์เซนต์ ที่มีอยู่ในโปรตีนชนิดต่าง ๆ ตามปกติโปรตีนประกอบด้วย กรดอะมิโน (amino acid) หลาย ๆ ชนิดมารวมกัน ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีโครงสร้าง (building block) ซึ่งเขียนได้โดยทั่วไปดังนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$(R - \underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}} - COOH)_n$$

เมื่อ R = CH_3 หรือตัวอื่น ๆ

โดยทั่วไปแล้วน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ของโปรตีนหน่วยย่อยมีค่าประมาณ 89 และน้ำหนักโมเลกุลของไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 14

ดังนั้น

โปรตีน 89 หน่วยน้ำหนัก มีไนโตรเจนอยู่ = 14 หน่วยน้ำหนัก

โปรตีน 100 หน่วยน้ำหนัก มีไนโตรเจนอยู่ = $\frac{14 \times 100}{89}$ = 15.7

= 16 "

เพราะฉะนั้นโปรตีนโดยทั่วไปจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 16 % ซึ่งเปอร์เซนต์โดยเฉลี่ยของไนโตรเจนในโปรตีนที่มาจากพืช จึงมีค่าเป็น 16 % ด้วย จึงทำให้ตัวประกอบ (factor) สำหรับการที่จะเปลี่ยนปริมาณของไนโตรเจนให้เป็นโปรตีนจึงควรเป็น $100/16$ หรือ 6.25 ซึ่งค่า 6.25 นี้สามารถใช้เป็นค่าแปลงปริมาณไนโตรเจนให้เป็นโปรตีนพืชได้ทุกชนิดยกเว้น แป้งข้าวสาลี ต้องใช้ตัวแปลงเป็น 5.7 สำหรับโปรตีนที่มาจากสัตว์ เช่น โปรตีนในน้ำนม เคซีน (casein) ใช้ตัวแปลงเป็น 6.38 ส่วนข้าวจ้าว ค่าตัวประกอบที่ใช้กันอยู่คือ 5.95[21]

ดังนั้นจากตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงผลการทดลองหาปริมาณของไนโตรเจน ในตัวอย่างข้าวทั้งหมด เมื่อเรานูณด้วยโปรตีนแฟคเตอร์ของข้าวจ้าวคือ 5.95 เราก็จะได้ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างข้าวทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงปริมาณโปรตีนในตัวอย่างข้าวทั้งหมด พร้อมค่าเบี่ยงเบน โดยการคูณปริมาณไนโตรเจนในตารางที่ 4.7 ด้วย ตัวประกอบโปรตีนของข้าวจ้าว 5.95 (N % x 5.95)

พันธุ์ข้าว	ปริมาณร้อยละของโปรตีน ปริมาณร้อยละของไนโตรเจน x 5.95			
	ข้าวที่ไม่ผ่านการนึ่ง		ข้าวที่ผ่านการนึ่ง	
	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง
กข 7 (RD-7)	9.94 ± 0.78	9.99 ± 0.89	13.09 ± 0.48	14.33 ± 0.24
ขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105)	7.68 ± 0.12	8.45 ± 0.36	9.58 ± 0.30	13.03 ± 0.36
พันธุ์ที่ใช้ทำเป็นข้าวนึ่งส่งออก	12.55 ± 0.36	12.99 ± 0.24	12.79 ± 0.30	12.31 ± 0.24

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า ในกรณีของข้าว กข 7 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปริมาณของโปรตีน มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เมื่อเรานำมาทำเป็นข้าวนึ่ง โดยผ่านขบวนการดังที่ปรากฏในหัวข้อที่ 3.1.2 ส่วนในกรณีของพันธุ์ข้าวที่ได้มาจากโรงสี ไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างกันของปริมาณโปรตีนในตัวอย่างข้าวที่ผ่านการนึ่ง กับไม่ผ่านการนึ่ง ซึ่งขบวนการการนึ่งเป็นของโรงสีเอง

ในกรณีแรกทำให้พอยืนยันได้ว่า ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างข้าว กข 7 และขาวดอกมะลิ 105 จะเพิ่มขึ้น เมื่อเรานำข้าวเปลือกไปผ่านขบวนการนึ่ง ส่วนในกรณีของข้าวนึ่งจากโรงสี เนื่องจากขบวนการนึ่งของโรงสี ทำเป็นแบบอุตสาหกรรม คือทำเป็นจำนวนมาก และผู้ทำการทดลองไม่สามารถติดต่อกับโรงสีโดยตรงได้ จึงอาจจะเป็นได้ว่าตัวอย่างข้าวนึ่งกับข้าวไม่นึ่ง อาจจะไม่ใช่พันธุ์ข้าวชนิดเดียวกัน

อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ ก็มีผลสอดคล้องกับการทดลองที่ได้กระทำมาบ้างแล้วทั้งในประเทศและต่างประเทศ[1] คือปริมาณโปรตีนจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำข้าวผ่านขบวนการนึ่ง