

ปริมาณสารอาหารและสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการของถั่วงอก

Nutrient Contents and Antinutritional Factors of Mungbean Sprouts

อรอนงค์ นัยวิกุล¹ และ พัชรีย์ โสธนาสมบุญ²

Onanong Naivikul and Patcharee Sotanasomboon

ABSTRACT

Three days old germinated seedlings and dry seeds of four mungbean seed samples : U-thong-1, Kampangsae-1, Native variety, and U-thong-2 were used in this study. Results of nutritional contents and antinutritional factors between dry seeds and sprouts revealed that while seeds germinated, the amount of water in sprout increased nearly 10 times, while other nutrients generally decreased. It was found that the antinutritional factors decreased or totally disappeared in germinated seeds as compared to the dry beans. Furthermore, it was found that the sprouts contained more vitamin B₁, B₂ and C. Bean sprouts from mungbean variety Kampangsae-1 contained more nutrients and higher level of vitamin C than the other sprouts from three other bean samples.

บทคัดย่อ

เมื่อนำถั่วงอก 4 ตัวอย่างคือ ถั่วงอกผิวมันพันธุ์อุทง-1 ถั่วงอกผิวมันพันธุ์กำแพงแสน-1 ถั่วงอกผิวมันพันธุ์พื้นเมืองและถั่วงอกผิวดำพันธุ์อุทง-2 มาเพาะ 3 วันเป็นถั่วงอกขนาดที่บริโภคทั่วไป ทำการวิเคราะห์สารอาหารและสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดเปรียบเทียบกับถั่วงอกเพื่อแสดงผลของกระบวนการงอก ปรากฏว่าถั่วงอกมีน้ำเพิ่มขึ้นเกือบ 10 เท่า แต่สารอาหารอื่นส่วนใหญ่ลดลง รวมทั้งสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการลดลงมากหรือไม่มีเลย เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ด นอกจากนี้ถั่วงอกยังมีวิตามินบี 1, บี 2 และซี เพิ่มขึ้น และถั่วงอกจากถั่วงอกพันธุ์กำแพงแสน-1 ให้สารอาหารดีกว่าเป็นส่วนใหญ่

และให้วิตามินซีสูงกว่าถั่วงอกจากถั่วงอกอีก 3 ตัวอย่าง

คำนำ

ประชาชนไทยนิยมที่จะนำถั่วงอกมาทำให้งอกแล้วบริโภคถั่วงอกทั้งในรูปสดแทนผัก รวมทั้งการนำไปประกอบอาหารคาวและอาหารว่างกันทั่วไป เช่น ใส่ในก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน ทำแกงจืด ผักถั่วงอก เป็นต้น ในการทำถั่วงอกนี้มีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีซึ่งเป็นสารอาหารในเมล็ดถั่วงอกแห้งเปลี่ยนแปลงไปเริ่มจากการเพิ่มความชื้นเข้าสู่เมล็ดจนมีความชื้นเพียงพอมีออกซิเจนและอุณหภูมิที่เหมาะสม ทำให้เกิดการกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เกิดกระบวนการ

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

² สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Institute of Food Research and Development, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

การเมแทบอลิซึม มีการเคลื่อนย้ายสารอาหารจากเนื้อเมล็ดไปยังจุดเจริญเพื่อสร้างและสังเคราะห์อาหารขึ้นใหม่เป็นเซลล์ต้นอ่อน (จงจันทร์, 2521) ชาวจีนดั้งเดิมเชื่อว่า ถ้าวางของหนักเช่นก้อนหินบนเมล็ดที่กำลังเพาะจะทำให้ได้ถั่วอกที่ต้นอ้วนอวบและรากสั้น ซึ่งต่อมาพบสาเหตุของการใช้ของหนักทับว่ามีผลทำให้เกิดการผลิตเอทิลีนภายในเมล็ด กระตุ้นให้ต้นอ้วนและรากสั้นเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Chang, 1977) นอกจากนี้ยังพบว่า 2, 4-ดี เอธิฟอน (2, 4-D Ethephon) เป็นสารเคมีที่เร่งการผลิตเอทิลีนได้โดยใส่ลงในถั่วเขียวหลังจากแช่เมล็ดในน้ำแล้ว 36 - 48 ชั่วโมง จะทำให้ถั่วอกไม่มีราก ต้นอ้วนกรอบเพราะมีผนังเซลล์หนาและมีลิกนินมากขึ้น (Chang, 1983)

การเปลี่ยนแปลงสภาพจากเมล็ดเป็นต้นอ่อนมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดต่างจากต้นอ่อนดังกล่าวแล้ว ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียว เปรียบเทียบกับถั่วอก เพื่อจะได้เข้าใจถึงผลของการงอกที่เกิดขึ้น ในด้านปริมาณสารอาหารที่มีประโยชน์ และสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการที่เปลี่ยนแปลงไปจากเมล็ดเป็นถั่วอก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดถั่วเขียว 4 ตัวอย่างเป็นถั่วเขียวผิวมัน (*Vigna radiata*) 3 ตัวอย่าง คือ พันธุ์อุทอง-1, พันธุ์กำแพงแสน-1 และถั่วเขียวผิวมันพันธุ์พื้นเมืองที่ซื้อจากตลาด รวมทั้งถั่วเขียวผิวดำพันธุ์อุทอง-2 (*Vigna mungo* (L.) Hepper) ที่ซื้อจากตลาดอีก 1 ตัวอย่าง
2. เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate Analysis)
3. เครื่องอะตอมิก แอ็บซอร์ปชัน ของบริษัท Shimadzu รุ่น AA-646

4. เครื่องโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวโดยใช้ความดันสูง (High Pressure Liquid Chromatography) ของบริษัท Waters Associates พร้อมคอลัมน์ μ - Bondapak Carbohydrate (Waters)

5. เครื่องวิเคราะห์กรดอะมิโน (Amino Acid Analyser) ของบริษัท Hitachi พร้อมคอลัมน์ Cation Exchange Resin # 2619 (Hitachi)

6. เครื่องแก้วและสารเคมีต่าง ๆ เช่น อะซิโตไนทริล (acetonitrile), แอมโมเนียมเมตาวานาเดต (ammonium meta vanadate), กรดเมตาฟอสฟอริก (metaphosphoric acid) เป็นต้น

วิธีการ

การเตรียมตัวอย่าง

1. บดถั่วเขียวทั้งเมล็ด นำถั่วเขียวทั้ง 4 ตัวอย่างมาทำความสะอาด แล้วบดด้วยเครื่องบดละเอียด เก็บใส่ขวด ปิดฝาให้มิดชิด เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป
2. การทำถั่วอก นำถั่วเขียวทั้ง 4 ตัวอย่างที่สะอาดมาล้างน้ำอีกครั้ง แล้วแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำเมล็ดที่เริ่มพองขึ้นจากน้ำมาเกลี่ยบนผ้าขาวบางซึ่งปูบนถาดที่เจาะรูให้น้ำไหลออกได้สะดวก เก็บถาดไว้ที่อุณหภูมิห้อง รดน้ำให้ชุ่มวันละ 2 ครั้ง (เช้าและเย็น) เมื่อครบ 3 วัน เก็บตัวอย่างมาทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งด้วยระบบความเย็นเยือกแข็ง (freeze dryer) แล้วจึงนำถั่วอกแห้งมาบดให้ละเอียด ใส่ขวดปิดฝาให้มิดชิดเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างถั่วเขียวบดและถั่วอกบดมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย (AOAC, 1984) แล้วคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยการหักผลรวมขององค์ประกอบทางเคมีข้างต้นออกจาก 100

2. ปริมาณกรดอะมิโน โดยใช้วิธีของ Mason และคณะ (1980)
3. หาชนิดและปริมาณน้ำตาล ตามวิธีของ Palmer และคณะ (1973)
4. วิตามิน บี 1 วิตามิน บี 2 และวิตามิน ซี (AOAC, 1984) โดยวิเคราะห์จากตัวอย่างสดเพื่อป้องกันการสูญเสียวิตามินจากการเตรียมตัวอย่าง
5. หาชนิดและปริมาณแร่ธาตุบางอย่าง (AOAC, 1984)
6. ปริมาณฟอสฟอรัส ตามวิธีการของ Smith- และ Caruso (1964)
7. กรดไฟติก ใช้วิธีของ Tangkongchitr และคณะ (1981)
8. สารยับยั้งทริปซิน โดยวิธีการของ Kakade และคณะ (1974)

ผลและวิจารณ์

เมื่อนำถั่วเขียวแต่ละตัวอย่าง 100 กรัมมาเพาะเป็นเวลา 3 วัน จะได้ถั่วงอกของถั่วเขียวพันธุ์ทอง-1 หนัก 338 กรัม พันธุ์กำแพงแสน-1 หนัก 401 กรัม พันธุ์พื้นเมืองหนัก 350 กรัม และพันธุ์ทอง-2 หนัก 375 กรัม โดยเห็นได้ว่าในตัวอย่างถั่วเขียวทั้ง 4 ตัวอย่างนี้ ถั่วเขียวกำแพงแสน-1 จะให้น้ำหนักถั่วงอกมากที่สุด และถั่วเขียวพันธุ์ทอง-1 ให้น้ำหนักถั่วงอกน้อยที่สุด

1. องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณซึ่งได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และค่าคาร์โบไฮเดรต เป็นผลต่างจาก 100 ขององค์ประกอบอื่นรวมกัน ปรากฏผลว่าถั่วเขียวทั้ง 4 ตัวอย่างมีความชื้นเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 9-13 เท่า โดยถั่วเขียวพันธุ์พื้นเมืองมีความชื้นเพิ่มมากที่สุดจาก

ความชื้นเมล็ดแห้ง 8.10% เป็นถั่วงอกที่มีความชื้น 83.84% ส่วนถั่วเขียวพันธุ์ทอง-2 มีความชื้นเพิ่มขึ้นน้อย (ความชื้นเมล็ดแห้ง 10.52% และถั่วงอก 82.66%) อาจเป็นเพราะถั่วงอกมีความชื้นสูงและเปลือกหนา กว่าถั่วเขียวตัวอย่างอื่น จึงดูดซึมน้ำเข้าเมล็ดได้น้อยกว่า ทำให้มีน้ำในถั่วงอกน้อยด้วย

ถ้าเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของถั่วงอกแต่ละตัวอย่างต่อน้ำหนักถั่วเขียวนั้น 100 กรัม ได้ผลว่าถั่วงอกจากถั่วเขียวพันธุ์ทอง-1 หนัก 52.56 พันธุ์กำแพงแสน-1 หนัก 67.05 พันธุ์พื้นเมืองหนัก 56.56 และถั่วเขียวพันธุ์ทอง-2 หนัก 65.02 กรัม เมื่อนำถั่วเขียวและถั่วงอกไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอื่นคือ โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย โดยเปรียบเทียบผลขององค์ประกอบแต่ละชนิด ต่อน้ำหนักถั่วเขียว 100 กรัม และคิดเป็นน้ำหนักแห้งที่แท้จริงของถั่วเขียวและถั่วงอกแต่ละตัวอย่างนั้น ผลของการวิเคราะห์แสดงว่า ถั่วงอกมีโปรตีนลดลงเล็กน้อย ยกเว้น ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 ที่มีโปรตีนเพิ่มเล็กน้อย (โปรตีนถั่วเขียวเท่ากับ 20.01% ในขณะที่ถั่วงอกมีโปรตีน 20.23%) ปริมาณไขมันลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่งโดยไขมันในเมล็ดอยู่ระหว่าง 1.59-1.71% แต่ในถั่วงอกมีเพียง 0.63-0.72% โดยถั่วเขียวพันธุ์ทอง-2 มีไขมันในถั่วงอกมากที่สุด สำหรับปริมาณเถ้าในเมล็ดถั่วเขียวมี 3.44-3.60% และในถั่วงอกลดลงเหลือ 2.42-3.08% โดยถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 มีเถ้าลดลงน้อยที่สุด ส่วนเส้นใยในเมล็ดถั่วเขียวมี 3.53-4.30% เมื่อเป็นถั่วงอกมีเส้นใยลดลงเป็น 1.93-2.60% ซึ่งถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 และถั่วเขียวพันธุ์ทอง-2 จะมีเส้นใยในถั่วงอกลดลงน้อยกว่าอีก 2 ตัวอย่าง ถ้าคำนวณเป็นปริมาณคาร์โบไฮเดรตก็พบว่า ถั่วงอกมีการโบไฮเดรตน้อยกว่าเมล็ดประมาณ 12 - 26% โดยถั่วงอกจากถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 มีการโบไฮเดรตลดลงจากเมล็ดน้อยที่สุด (Table 1)

Table 1 Proximate analysis of mungbean seed in comparison with the sprout.

Mungbean Sample	Moisture (%)	% Composition (as dry basis) ¹				
		Protein ²	Fat	Ash	Fiber	Carbohydrate
U-Thong-1						
Seed	9.98	19.65	1.71	3.53	3.53	52.62
Sprout	84.45	15.51	0.63	2.42	1.93	32.07
Kumpangsang-1						
Seed	9.64	20.01	1.71	3.59	3.75	52.59
Sprout	83.28	20.23	0.69	3.08	2.55	40.49
Native variety						
Seed	6.10	19.70	1.71	3.44	4.30	59.02
Sprout	83.84	17.20	0.68	2.68	2.26	33.73
U-Thong-2						
Seed	10.52	19.45	1.59	3.60	3.87	51.55
Sprout	82.66	19.01	0.72	2.89	2.60	39.80

¹ Results are the average of 3 determinations² Protein = N × 6.25

2. ปริมาณกรดอะมิโน

เนื่องจากโปรตีนเป็นสารอาหารที่สำคัญและให้คุณค่าในการเสริมสร้างร่างกาย ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนจำนวน 17 ชนิดในโปรตีนจากเมล็ดถั่วเขียวเปรียบเทียบกับถั่วงอก ผลปรากฏใน Table 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในโปรตีนของเมล็ดถั่วเขียวมีกรดกลูตามิกมากที่สุด (18.91–21.81%) รองลงมาคือกรดแอสพาร์ติก (13.08–14.31%) ส่วนกรดอะมิโนที่มีปริมาณระหว่าง 5–10% ได้แก่ อะลานีน ไอโซลิวซีน วาลีน เซอรีน เฟนิลอะลานีน ไลซีน อาร์ยีนีน และ ลิวซีน (เรียงลำดับจากน้อยไปมาก) และกรดอะมิโนที่มีน้อยกว่า 5% ได้แก่ เมทิโอนีน ซีสทีน ฮีสทิดีน ไทโรซีน ทรีโอนีน โพรลีน และไกลซีน (เรียงลำดับจากน้อยไปมาก)

เมื่อเป็นถั่วงอก ปรากฏว่า กรดอะมิโนในโปรตีนของถั่วงอกมีน้อยกว่าในเมล็ดถั่วเขียวทั้ง 4 ตัวอย่าง

ยกเว้นกรดแอสพาร์ติก ซึ่งมีในถั่วงอกเพิ่มขึ้น 2–3% (ถั่วงอกจากถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 มีปริมาณกรดแอสพาร์ติกเพิ่มเป็น 16.03% เท่ากับถั่วงอกจากถั่วเขียวพันธุ์อุททอง-1 แต่น้อยกว่าอีก 2 ตัวอย่าง) จากการวิจัยของ Bewley and Black (1978) เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของเมล็ดขณะงอก ก็พบว่ากรดแอสพาร์ติกในถั่วงอกเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากในขณะงอกนั้นเกิดกระบวนการสังเคราะห์กรดแอสพาร์ติกจากออกซาลอโลแอซีเทต (oxaloacetate) ส่วนกรดอะมิโนอื่นที่ลดลง อาจเป็นผลของการนำกรดอะมิโนต่าง ๆ ไปใช้ในการเจริญเป็นต้นอ่อน

3. ปริมาณวิตามินที่ละลายในน้ำบางชนิด

จากการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และวิตามินซี ในถั่วเขียวทั้งเมล็ดเปรียบเทียบกับถั่วงอก ปรากฏว่า ถั่วงอกมีปริมาณวิตามินบี 1 เพิ่มขึ้น 2–4 เท่า โดยเพิ่มจากเดิมที่มีอยู่ในเมล็ดแห้ง 0.01–0.02

Table 2 Change of amino acid content during germination of mungbean (as grams per 16 grams of nitrogen).

Amino Acid	U-Thong-1		Kampangsae - 1		Native variety		U-Thong-2	
	Seed	Sprout	Seed	Sprout	Seed	Sprout	Seed	Sprout
Cystine	2.29	1.89	2.31	1.61	2.35	1.97	2.18	2.39
Methionine	2.17	1.69	2.11	1.55	2.25	1.62	2.28	2.23
Aspartic acid	14.20	16.03	14.01	16.03	13.08	16.45	14.31	16.39
Threonine	4.39	3.50	4.13	3.11	3.85	3.50	4.19	3.94
Serine	6.66	4.87	6.06	4.12	5.43	4.69	6.32	5.92
Glutamic acid	21.61	14.16	21.16	14.52	18.91	12.59	20.23	17.27
Glycine	4.94	3.75	4.71	3.27	4.49	3.61	5.44	4.16
Alanine	5.54	4.53	5.30	4.10	5.01	4.39	5.22	5.24
Valine	6.61	6.11	6.56	5.99	6.16	5.75	6.76	6.89
Isoleucine	5.58	5.01	5.63	4.87	5.18	4.68	5.73	5.71
Leucine	10.35	8.36	10.08	8.20	9.27	7.93	10.40	10.11
Tyrosine	3.96	2.99	3.71	3.08	3.58	2.91	4.20	3.54
Phenylalanine	7.78	6.26	7.80	6.13	7.13	5.60	7.69	7.40
Lysine	8.51	5.14	8.23	5.41	8.02	4.27	8.34	6.62
Histidine	3.59	2.52	3.43	2.20	3.25	2.20	3.57	3.10
Arginine	9.43	7.29	9.28	7.12	8.81	6.71	8.92	7.97
Proline	4.46	4.01	4.34	3.69	5.25	3.40	4.53	4.13

เป็นมีในถั่วงอก 0.03–0.06 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียว และปริมาณวิตามินบี 2 เพิ่มขึ้น 3–4 เท่าเช่นกัน ซึ่งเดิมมีในเมล็ดแห้ง 0.13–0.15 เป็นมีในถั่วงอก 0.36–0.57 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียว สำหรับวิตามินซีนั้นเกือบจะไม่พบเลยในเมล็ดแห้ง แต่เมื่อถั่วงอกจะมีวิตามินซีถึง 30.25–44.43 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียว ถั่วงอกจากถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 มีปริมาณวิตามินบี 1 เพิ่มขึ้นเท่ากับพันธุ์อุทอง-1 และมีปริมาณวิตามินบี 2 เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ในขณะที่มีวิตามินซีเพิ่มมากที่สุด (Table 3)

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับ Kylan and McCready (1975) ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณวิตามินบี 2 ในถั่วเขียวงอกได้ว่ามีมากกว่าเมล็ดแห้ง 2.5 เท่า และวิตามินซี มี 38.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมในถั่วงอกแต่ไม่พบในเมล็ดแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ แสดง

ว่าในขณะงอก มีการสังเคราะห์วิตามินต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินซี ซึ่งเพิ่มมากขึ้นถึง 30–45 เท่า

4. ปริมาณแร่ธาตุบางชนิด

เมล็ดถั่วเขียวก็เช่นเดียวกับถั่วเมล็ดแห้งอื่นซึ่งจัดเป็นแหล่งของแร่ธาตุ แต่เมื่อทำให้งอกแล้วจะมีปริมาณแร่ธาตุในถั่วงอกลดลงเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้น แมงกานีส ซึ่งพบว่า ลดลงเล็กน้อยในถั่วงอกจากถั่วเขียวพันธุ์อุทอง-1 และกำแพงแสน-1 แต่กลับเพิ่มขึ้นในถั่วเขียวพันธุ์พื้นเมืองและเพิ่มมากที่สุดถั่วเขียวพันธุ์อุทอง-2 ที่สำคัญคือปริมาณฟอสฟอรัสในถั่วงอก ทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นจากที่มีในเมล็ด 360–463 เป็นมีในถั่วงอก 458–581 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียว โดยในถั่วเขียวพันธุ์อุทอง-2 เพิ่มมากที่สุด และถั่วเขียวพันธุ์พื้น

เมื่อเพิ่มน้อยที่สุด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเกิดกระบวนการงอกทำให้เอนไซม์-ไฟเตสเกิดขึ้นมากและทำการย่อยสลายกรดไฟติกหรือไฟเตต ได้ฟอสฟอรัสในรูปอิสระเพิ่มมากขึ้น ส่วนปริมาณแร่ธาตุอื่นที่วิเคราะห์คือ สังกะสี เหล็ก แคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม มีปริมาณลดลงเมื่อเป็นถั่วงอก ยกเว้นในถั่วงอกจากถั่วเขียวพันธุ์อุทอง-2 ซึ่งมีโซเดียมเพิ่มขึ้น (ในเมล็ดมี 63 แต่ในถั่วงอกมี 73 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียว) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแร่ธาตุที่วิเคราะห์ พบว่าทั้งในเมล็ดและถั่วงอกมีแมกนีเซียมที่น้อยที่สุดในขณะที่มีโพแทสเซียมมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ เหล่านี้อาจเป็นผลจากการดูดซึมแร่ธาตุจากน้ำ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ดเพื่อส่งถ่ายแร่ธาตุสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน (Table 4)

Table 3 Vitamin contents in mungbean seed and sprout.

Mungbean Sample	Vitamin contents (mg/100 g.)		
	B ₁	B ₂	C
U-Thong-1			
Seed	0.02	0.15	tr ¹
Sprout	0.05	0.42	30.25
Kampangsaen - 1			
Seed	0.02	0.13	tr
Sprout	0.05	0.36	44.43
Native variety			
Seed	0.01	0.13	tr
Sprout	0.03	0.46	37.83
U-Thong-2			
Seed	0.02	0.15	tr
Sprout	0.06	0.57	40.23

¹ tr = trace

Table 4 Mineral contents in mungbean and sprout.

Mungbean Sample	Mineral contents (mg/100 g)							
	Manganese (Mn)	Zinc (Zn)	Iron (Fe)	Calcium (Ca)	Sodium (Na)	Magnesium (Mg)	Phosphorus (P)	Potassium (K)
U-Thong-1								
Seed	0.9	3.3	10.9	39	101	109	424	915
Sprout	0.8	2.6	5.2	11	38	69	502	466
Kampangsaen - 1								
Seed	1.0	3.4	10.7	62	78	135	463	1,066
Sprout	0.9	2.6	3.3	13	43	111	526	638
Native variety								
Seed	0.7	3.9	11.8	49	85	89	410	1,228
Sprout	1.0	2.7	3.6	14	60	70	458	591
U-Thong-2								
Seed	0.4	6.9	11.0	33	63	139	360	882
Sprout	1.2	2.7	4.2	15	73	113	581	592

5. ปริมาณน้ำตาลบางชนิด

โดยปกติเมล็ดจะสะสมคาร์โบไฮเดรตในรูปสสารมากกว่าน้ำตาล แต่อย่างไรก็ตามเมล็ดถั่วมักจะมีน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลตระกูลแรฟฟิโนสอยู่ด้วยในปริมาณที่มากกว่าเมล็ดแห่งชนิดอื่น (เช่น ข้าวสาลี เป็นต้น) (Naivikul and D'Appolonia, 1978) ซึ่งน้ำตาลตระกูลนี้จัดเป็นสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ (antinutritional factor) ชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีผลทำให้เกิดลมในท้อง (flatulence) เพราะร่างกายไม่มีเอนไซม์ที่จะย่อยน้ำตาลตระกูลแรฟฟิโนสนี้จึงเกิดการสะสมที่ลำไส้ใหญ่ จนในที่สุดแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะแปรสภาพเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ขับออกมาเป็นกลิ่นทางทวารหนัก ตามรายงานของ Calloway *et al.* (1971) พบว่าเมื่อบริโภคถั่วน้ำตาลทั้งเมล็ดจะทำให้เกิดลมในท้องได้มากกว่าถั่วชนิดอื่น (*P. vulgaris L.*)

เมื่อนำเมล็ดถั่วน้ำตาลมาเพาะ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารคาร์โบไฮเดรตอย่างมาก เนื่องจากมีการกระตุ้นให้เกิดเอนไซม์หลายชนิด ที่สำคัญคือ

เอนไซม์อะมิเลสเพื่อย่อยสลายให้ได้กลูโคส มอลโทส และเดกซ์ทริน รวมทั้งเอนไซม์กาแล็กโทซิเดสย่อยน้ำตาลตระกูลแรฟฟิโนสได้ซูโครสและกาแล็กโทส แล้วมีเอนไซม์อื่นย่อยสลายซูโครสเป็นน้ำตาลชั้นเดียวเพื่อใช้เป็นพลังงานของดินอ่อนต่อไป (Labeneiah and Luh, 1981)

จากผลการวิเคราะห์น้ำตาลกลูโคส ซูโครส แรฟฟิโนส และ สตาคีโอสในเมล็ดถั่วและถั่วงอก (Table 5) แสดงให้เห็นว่าเมื่ออยู่ในสภาพเมล็ดถั่วจะไม่พบน้ำตาลกลูโคสเลย และมีน้ำตาลซูโครสประมาณ 0.31–0.82% น้ำตาลแรฟฟิโนส 0.74–1.32% และน้ำตาลสตาคีโอส 0.65–1.24% โดยที่เมล็ดถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 มีน้ำตาลแรฟฟิโนสและสตาคีโอสซึ่งเป็นสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าเมล็ดถั่วเขียวอื่น ๆ แต่เมื่อเป็นถั่วงอกแล้ว ปรากฏว่าในถั่วงอกมีกลูโคสเกิดขึ้นจากการย่อยสลายสสารของเอนไซม์อะมิเลส ปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้นจากการย่อยสลายน้ำตาลตระกูลแรฟฟิโนส ส่วนน้ำตาลแรฟฟิโนส

Table 5 Sugar contents in mungbean seed and sprout.

Mungbean Sample	Sugar contents (g/100 g)			
	Glucose	Sucrose	Raffinose	Stachyose
U-Thong-1				
Seed	0.00	0.82	0.76	0.65
Sprout	0.13	1.66	0.26	0.00
Kampangsae - 1				
Seed	0.00	0.68	1.32	1.24
Sprout	0.54	1.05	0.00	0.00
Native variety				
Seed	0.00	0.64	0.80	0.56
Sprout	0.53	0.67	0.32	0.00
U-Thong-2				
Seed	0.00	0.31	0.74	0.76
Sprout	0.47	0.79	0.00	0.00

และสถิติโอสถลดลงมากจนวิเคราะห์ไม่พบในถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 และถั่วเขียวพันธุ์อุทอง-2 แต่พบแรฟฟิโนสเพียงเล็กน้อย (0.26-0.32) ในถั่วเขียวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์อุทอง-1

6. กรดไฟติกและสารยับยั้งทริปซิน

กรดไฟติกหรือไฟเตต เป็นแหล่งฟอสฟอรัสของถั่วเมล็ดแห้ง โดยมีปริมาณ 60-90% ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Lolas and Markakis, 1975) ซึ่งไฟเตตนี้เมื่อทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี โมลิบดีนัม และแมงกานีส เป็นต้น หรือทำปฏิกิริยากับโปรตีนจะเกิดสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ร่างกายจึงไม่สามารถดูดซึมผ่านระบบทางเดินอาหารได้ ทำให้ร่างกายขาดแร่ธาตุและโปรตีนที่ทำปฏิกิริยากับไฟเตตนั้น จึงจัดว่าไฟเตตหรือกรดไฟติกเป็นสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการชนิดหนึ่ง (Tabekhia and Luh 1980)

จากผลการทดลองของ Sathe *et al.* (1983) ในการวิเคราะห์ปริมาณแอนไซม์ไฟเตสในถั่วอก พบว่า

มีแอนไซม์ไฟเตสเพิ่มขึ้น 12 เท่า เพื่อทำการย่อยไฟเตตให้เป็นอินซิทอล และฟอสเฟต จึงทำให้ปริมาณกรดไฟติกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่พบว่ากรดไฟติกในเมล็ดถั่วเขียวมีประมาณ 359-407 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียว เมื่อเป็นถั่วอกจะเหลือเพียง 225-303 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียว (Table 6) โดยถั่วอกจากถั่วเขียวพันธุ์อุทอง-2 มีปริมาณกรดไฟติกลดลงจากที่มีในเมล็ดน้อยที่สุด และถั่วเขียวพันธุ์อุทอง-1 มีปริมาณกรดไฟติกลดลงมากที่สุด

ส่วนสารยับยั้งทริปซิน นับเป็นสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการอีกชนิดหนึ่งที่พบในถั่วเขียว สารนี้จะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนของแอนไซม์ทริปซินลดลง แต่เมื่อทำให้เป็นถั่วอกพบว่ามีสารนี้ลดลงจากเดิมประมาณครึ่งหนึ่ง โดยมีอยู่ในเมล็ดถั่วเขียว 8-9.6 ยูนิตของสารยับยั้งทริปซินต่อมิลลิกรัมของถั่วเขียวน้ำหนักแห้ง เมื่อเป็นถั่วอกจะพบเพียง 4.1 - 4.8 ยูนิตของสารยับยั้งทริปซินต่อมิลลิกรัมของถั่วเขียวน้ำหนักแห้ง (Table 6) ซึ่งถั่วอกจากถั่วเขียว

Table 6 Antinutritional factors in mungbean seed and sprout.

Mungbean Sample	Phytic acid (mg per 100 g. mungbean)	Trypsin Inhibitor (Trypsin inhibited unit/mg. dry basis)
U-Thong-1		
Seed	407	9.1
Sprout	225	4.7
Kampangsaen - 1		
Seed	462	8.7
Sprout	303	4.3
Native variety		
Seed	391	9.6
Sprout	253	4.8
U-Thong-2		
Seed	359	8.0
Sprout	264	4.1

พันธุ์พื้นเมืองจะมีปริมาณสารยับยั้งทริปซินลดลงจากที่มีในเมล็ดมากที่สุด ขณะที่ถั่วเขียวพันธุ์อุทอง-2 ลดลงน้อย และถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 กับพันธุ์อุทอง-1 มีปริมาณสารยับยั้งทริปซินลดลงเท่ากัน

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับ Collins and Sanders (1976) ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณสารยับยั้งทริปซินของถั่วเหลืองและถั่วเหลืองอื่น ๆ ระหว่างการงอก พบว่าปริมาณสารยับยั้งทริปซินในถั่วงอกลดลงจากเมล็ดแห้งเช่นกัน โดยบางส่วนจะละลายออกมากับน้ำที่ใช้รดถั่วนั้นให้งอก

สรุป

จากผลการทดลองดังกล่าว สามารถที่จะสรุปผลได้ดังนี้

1. กระบวนการงอก ทำให้ถั่วงอกมีปริมาณน้ำมากขึ้นเกือบ 10 เท่า แต่สารอาหารอื่นส่วนใหญ่ลดลง รวมทั้งสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ เช่น น้ำตาล สดาคีโอสจะไม่พบเลย ส่วนกรดไฟติกและสารยับยั้งทริปซินจะลดลงมาก ซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง นอกจากนี้ยังมีวิตามินบี 1 บี 2 และซี เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินซีเพิ่มถึง 30-45 เท่า และมีแร่ธาตุฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการทำให้เมล็ดถั่วเขียวกลายเป็นถั่วงอก จะได้อาหารใหม่ที่มีลักษณะเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารดีและมีสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการลดลงหรือไม่มีเลย

2. เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทั้งที่เป็นสารอาหาร และสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วและถั่วงอก 4 ตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าถั่วงอกจากถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 มีปริมาณสารอาหารทั่วไปลดลงน้อยกว่า และมีวิตามินซีเพิ่มมากขึ้นกว่าตัวอย่างอื่น ไม่มีน้ำตาลแรฟฟิโนสและสดาคีโอสเหลือในถั่วงอก ทั้ง ๆ ที่มีมากในเมล็ดแห้ง ผลที่ได้นี้อาจเนื่องมาจากสภาพของเมล็ดถั่วพันธุ์กำแพง

แสน-1 ที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้เป็นเมล็ดใหม่ ยังมีความงอกสูงกว่าถั่วเขียวอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ว่าถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน-1 เหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นถั่วงอกได้ดี

เอกสารอ้างอิง

- จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2521. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. เล่มที่ 1 กลุ่มหนังสือเกษตร. กรุงเทพฯ. 210 น.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1984. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. 1141 p.
- Bewley, J.D. and M. Black. 1978. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Vol. I. Springer-Verlag, Berlin. 306 p.
- Calloway, D.H., C.A. Hickey and E.I. Murphy. 1971. Reduction of intestinal gas-formation properties of legumes by traditional and experimental food processing methods. J. Food Sci. 36:251.
- Chang, D.C.N. 1977. A Study of mungbean sprouts production. First International Symposium of Mungbean. Los Baños, Philippines.
- . 1983. Production of high quality mungbean sprouts. Department of Horticulture, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, China.
- Collins, J.L. and G.G. Sanders. 1976. Changes in trypsin inhibitory activity in some soybean varieties during maturation and germination. J. Food Sci. 41:168-172.
- Kakade, M.L., J.L. Rackis, J.E. McGhee and G. Puski. 1974. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: Collaborative analysis of an improved procedure. Cereal Chem. 51:376-382.

- Kylen, A.M. and R.M. McCready. 1975. Nutrients in seeds and sprouts of alfalfa, lentils, mungbeans and soybeans. *J. Food Sci.* 40:1008-1009.
- Labeneiah, M.E.O. and B.S. Luh. 1981. Changes of starch, crude fiber and oligosaccharides in germinating dry beans. *Cereal Chem.* 58(2) : 135-138.
- Lolas, G.M. and P. Markakis. 1975. Phytic acid and other P. compounds of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agr. Food Chem.* 23(1) : 13-15.
- Mason, V.C., S. Bech-Anderson and M. Rudemo. 1980. Hydrolysate preparation for amino acid determination in feed constituents. *Proc. 3rd EAAP Symp. on Protein Metabolism and Nutrition* (Braunschweig, F.R. Germany). Vol. 1. 310 p.
- Naivikul, O. and B.L. D'Appolonia. 1978. Comparison of legume and wheat flours carbohydrate. I. Sugar analysis. *Cereal Chem.* 55 (6) : 913-918.
- Palmer, R., A. McIntosh and A. Pusztai. 1973. The nutritional evaluation of kidney beans (*Phaseolus vulgaris*) : The effect on nutritional value of seed germination and changes in trypsin inhibitor content. *J. Sci. Food Agr.* 24:937-944.
- Sathe, S.K., S.S. Deshpande, N.R. Reddy, D.E. Goll and D.K. Salunkhe. 1983. Effects of germination on proteins, raffinose oligosaccharides and antinutritional factors in the great northern beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Food Sci.* 48:1796-1800.
- Smith, R.J. and J.L. Caruso. 1964. Determination of phosphorus, pp. 42-46. *In Methods in carbohydrate chemistry.* Whistler (ed.). Vol. IV. Starch. Academic Press, New York.
- Tabekhia, M.M. and B.S. Luh. 1980. Effect of germination, cooking and canning on P and phytate retention in dry beans. *J. Food Sci.* 45:406-408.
- Tangkongchitr, U., P.A. Seib and R.C. Koseney. 1981. Phytic acid. I. Determination of three forms of phosphorus in flour, dough, and bread. *Cereal Chem.* 58(3) : 226-228.