

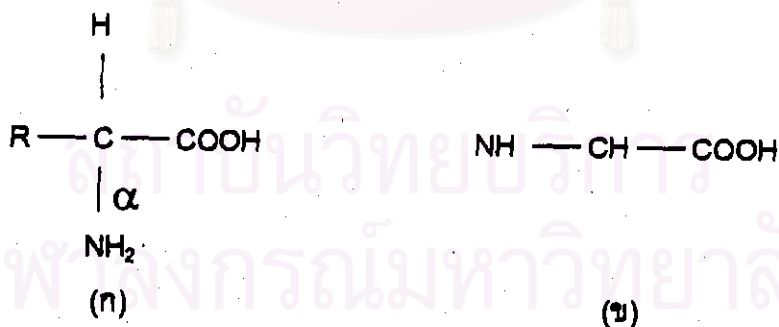
## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### 2.1 โครงสร้างของโปรตีน

โปรตีนเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า "กรดอะมิโน" (Amino acid) เชื่อมต่อกัน พบได้ในพืชและสัตว์ทั่วไป โดยจะเป็นองค์ประกอบหลักในโปรโตพลาสซึมของสิ่งมีชีวิต เมื่อมนุษย์รับประทานพืชและสัตว์ก็จะได้รับกรดอะมิโนจากแหล่งดังกล่าว ไม่ว่าโปรตีนจะมาจากแหล่งใดก็ตามจะประกอบด้วยกรดอะมิโน 18-22 ชนิด เพียงแต่โปรตีนแต่ละชนิดมีกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ไม่เท่ากัน จึงทำให้โปรตีนจากแหล่งต่าง ๆ มีสมบัติและคุณภาพไม่เหมือนกัน

กรดอะมิโนจะประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl,  $-\text{COOH}$ ) ทำให้มีสมบัติเป็นกรดและมีหมู่อะมิโน (Amino,  $-\text{NH}_2$ ) จึงมีสมบัติเป็นต่างอยู่ที่ตำแหน่งแอลฟาคาร์บอน ( $\text{C}_\alpha$ ) ซึ่งได้แก่คาร์บอนตัวที่ติดอยู่กับหมู่คาร์บอกซิล กรดอะมิโนที่มีอยู่ในโปรตีนตามธรรมชาติจึงเรียกรวมกรดอะมิโนเหล่านี้ว่า กรดแอลฟาอะมิโน ( $\alpha$ -amino acids) โดยมีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังรูป 2.1 แต่โปรตีนและไฮดรอกซีโปรตีนเท่านั้นที่อยู่ในรูป  $\alpha$ -imino acids (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)



รูป 2.1 (ก) กรดแอลฟาอะมิโน ( $\alpha$ -amino acids) โดย R คือหมู่อันข้าง (Side chain group)

(ข) กรดแอลฟาอิมิโน ( $\alpha$ -imino acids)

ที่มา : Damodaran, 1996

กรดอะมิโนแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตรงหมู่อันข้าง (Side chain group) ที่เรียกว่า หมู่อันข้าง (R group) ซึ่งเป็นหมู่ที่ติดอยู่กับแอลฟาคาร์บอน ( $\text{C}_\alpha$ ) ของกรดอะมิโน หมู่อันข้างเป็นหมู่

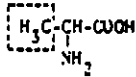
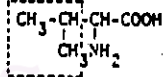
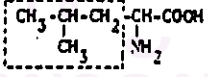
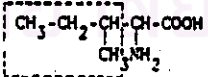
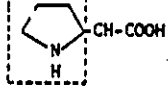
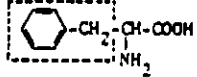
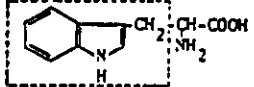
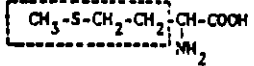
สำคัญในการกำหนดสมบัติจำเพาะของกรดอะมิโนแต่ละชนิด การแบ่งกลุ่มของกรดอะมิโนจะแบ่งตามสมบัติในการละลายน้ำ ซึ่งขึ้นกับหมู่ข้างเคียงแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม (ดังตาราง 2.1) คือ

1. กรดอะมิโนที่หมู่ข้างเคียงเป็นนอน-โพลาร์ (Non-polar side chains) ได้แก่ กรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงเป็นพวกอะโรมาติกและไฮโดรคาร์บอน (Aromatic and hydrocarbon) และเป็นพวกที่ไม่ละลายน้ำ (Hydrophobic) ในสารละลายที่มี pH 6-7

2. กรดอะมิโนที่หมู่ข้างเคียงเป็นโพลาร์ที่ไม่มีประจุ (Uncharged, polar side chains) ได้แก่กรดที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดเล็กและมีขั้ว แต่ไม่แตกตัว กรดพวกนี้จะละลายในน้ำได้ปานกลางที่ pH 6-7

3. กรดอะมิโนที่หมู่ข้างเคียงเป็นโพลาร์ที่มีประจุ (Charge, polar side chains) กรดพวกนี้จะละลายน้ำได้ดีที่สุด (Hydrophilic) หมู่ข้างเคียงจะมีสมบัติเป็นกรดหรือเบส (Acidic and basic) และแตกตัวได้ที่ pH 6-7

ตาราง 2.1 ชื่อกรดอะมิโน สูตรโครงสร้างและหมู่ข้างเคียง (R-group side chain) เมื่ออยู่ในสารละลายที่มี pH เป็นกลาง สัญลักษณ์ย่อ และกรดอะมิโนจำเป็น (E)

ชื่อกรดอะมิโน	สัญลักษณ์ย่อ	สูตรโครงสร้างและหมู่ [R-]
I. หมู่ข้างเคียง เป็นนอน-โพลาร์ (Non-polar side chains)		
อะลานีน (Alanine)	Ala	
แวนิลีน (Valine)	Val (E)	
ลูซีน (Leucine)	Leu (E)	
ไอโซลูซีน (Isoleucine)	Ile (E)	
โพรลีน (Proline)	Pro	
เฟนิลอะลานีน (Phenylalanine)	Phe (E)	
ทริปโตเฟน (Tryptophan)	Trp (E)	
เมทไธโอนีน (Methionine)	Met (E)	

ชื่อกรดอะมิโน

สัญลักษณ์ย่อ

สูตรโครงสร้าง

และหมู่ R-

2. หมู่ด้านข้างเป็นโพลาที่ไม่ประจุ  
(Uncharged, Polar side Chains)

ไกลซีน (Glycine)	Gly	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
เซรีน (Serine)	Ser	$\begin{array}{c} \text{HO-CH}_2 \\   \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
ทรีโอนีน (Threonine)	Thr (E)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \\ \text{---CH-COOH} \end{array}$
ซิสเทอีน (Cysteine)	Cys	$\begin{array}{c} \text{HS-CH}_2 \\   \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
ไทโรซีน (Tyrosine)	Tyr	$\begin{array}{c} \text{HO} \\   \\ \text{---C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2 \\   \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
แอสพาราจีน (Asparagine)	Asn	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N-CO-CH}_2 \\   \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
กลูตามีน (Glutamine)	Gln	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N-CO-CH}_2-\text{CH}_2 \\   \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
ไฮดรอกซีโพรลีน (Hydroxyproline)	Hyp	$\begin{array}{c} \text{HO} \\   \\ \text{---C}_4\text{H}_7\text{N} \\   \\ \text{H} \\ \text{---CH-COOH} \end{array}$

3. หมู่ด้านข้างเป็นโพลาที่มีประจุ  
(charged, polar side chains)

3.1 กรดอะมิโนที่เป็นกรด  
(Acidic amino acid)

กรดแอสพาร์ติก (Aspartic acid)	Asp	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---C-CH}_2 \\   \\ \text{O} \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	Glu	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{---C-CH}_2-\text{CH}_2 \\   \\ \text{O} \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$

3.2 กรดอะมิโนที่เป็นเบส  
(Basic amino acid)

ไลซีน (Lysine)	Lys (B)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2 \\   \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
อาร์จินีน (Arginine)	Arg	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{NH}_2 \quad \text{NH}_2 \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
ออธิตีน (Ornithine)	Orn	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2 \\   \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
ฮิสทีดีน (Histidine)	His	$\begin{array}{c} \text{---CH}_2 \\   \\ \text{---C}_4\text{H}_7\text{N} \\   \\ \text{NH} \\ \text{---CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$

โปรตีนและเปปไทด์จะประกอบด้วยกรดอะมิโนเรียงตัวกัน โดยมีพันธะเปปไทด์ (Peptide bond) ซึ่งเป็นพันธะเอไมด์ (Amide bond,  $-\text{CO}-\text{NH}-$ ) ที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนตัวถัดไป กรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ จะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ตลอดทั้งโมเลกุลโปรตีน ซึ่งเมื่อพิจารณาโปรตีนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติจะพบว่าโปรตีนแต่ละชนิดจะมีลำดับการเชื่อมต่อของกรดอะมิโนที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณกรดอะมิโนแต่ละชนิดก็แตกต่างกันด้วย

## 2.2 การสังเคราะห์โปรตีน

จากการเรียงตัวและชนิดของกรดอะมิโนที่รวมตัวกันทำให้สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้เป็นจำนวนมาก พืชสามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนทุกชนิดที่ต้องการได้จากสารประกอบอินทรีย์โดยนำธาตุไนโตรเจนที่มีในอากาศ แอมโมเนีย ไนเตรต คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ เกลือแร่ กำมะถันและฟอสฟอรัสจากสิ่งแวดล้อมมาใช้ในกระบวนการตรึงไนโตรเจนของพืช แต่มนุษย์และสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนจากสารอนินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหารจะได้รับกรดอะมิโนจากพืชมาสร้างเป็นโปรตีน ส่วนมนุษย์จะได้รับกรดอะมิโนที่อยู่ในอาหารโปรตีนที่มาจากทั้งพืชและสัตว์

เนื่องจากมนุษย์มีขีดจำกัดในการสังเคราะห์กรดอะมิโนได้เพียงบางชนิด โดยการตัดแปลงมาจากกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ ที่ได้รับจากอาหาร การสังเคราะห์กรดอะมิโนส่วนใหญ่เกิดภายในตับ โดยอาศัยปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่อะมิโน (Transamination) โดยเปลี่ยนหมู่  $\alpha\text{-NH}_2$  ของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ให้เป็นหมู่  $\alpha\text{-NH}_2$  ของกรดกลูตามิก (Glutamic acid) กรดแอสพาร์ติก (Aspartic acid) และอะลานีน (Alanine) โดยอาศัยเอนไซม์อะมิโนทรานสเฟอเรส (Aminotransferase) และมีวิตามินบี 6 (Pyridoxal phosphate) เป็นโคเอนไซม์ แต่เนื่องจากเอนไซม์ในตับสามารถเปลี่ยนกรดอะมิโนไปมาระหว่างกันได้เพียงไม่กี่ชนิด มนุษย์จึงต้องรับประทานกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสร้างได้จากอาหารพวกโปรตีนและเรียกกรดอะมิโนเหล่านี้ว่า "กรดอะมิโนจำเป็น" (Essential amino acids, E) (สรรเสริญ ทรัพย์โตษก, 2531; อมรา จันทวราภานนท์, 2512)

### 2.3 กรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acids, E)

กรดอะมิโนจำเป็น (E) เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสร้างได้ โดยผู้ใหญ่อายุต้องการกรดอะมิโนจำเป็น 8 ชนิดคือ ลูซีน (Leucine) ไอโซลูซีน (Isoleucine) เมทไธโอนีน (Methionine) ธีโรนีน (Threonine) เฟนิลอลานีน (Phenylalanine) ทริปโตเฟน (Tryptophan) และ วาลีน (Valine) แต่ในเด็กจะมีกรดอะมิโนจำเป็นเพิ่มอีก 2 ชนิดคือ ฮิสติดีน (Histidine) และ อะลานีน (Alanine) (นิธิยา รัตนปณนธ์, 2537; สรรเสริญ ทรรศนะ, 2531; อมรา จันทวารานนท์, 2512; Damodaran, 1996) ร่างกายของมนุษย์ต้องได้รับกรดอะมิโนจำเป็นครบทุกชนิดและมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ หากได้รับกรดอะมิโนจำเป็นไม่ครบทุกชนิดหรือไม่เพียงพอต่อความต้องการ จะส่งผลให้ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนชนิดที่ต้องมีกรดอะมิโน จำเป็นนั้น ๆ เป็นองค์ประกอบ อีกทั้งการควบคุมระบบการทำงานต่าง ๆ ของร่างกายก็จะไม่ปกติ อาจเป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น ในเด็กทารกที่ขาดโปรตีน ร่างกายจะไม่เจริญเติบโต การย่อยและดูดซึมอาหารจะผิดปกติ มีอาการท้องเดิน บวมตามตัว เป็นโรคโลหิตจาง อีกทั้งยังเกิดความผิดปกติของระบบประสาทและสมอง เป็นต้น (สรรเสริญ ทรรศนะ, 2531)

### 2.4 คุณภาพของโปรตีน (Protein quality)

จากกรดอะมิโนจำเป็นที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลโปรตีน ทำให้สามารถแบ่งคุณภาพของโปรตีน โดยพิจารณาจากชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นที่เป็นองค์ประกอบไม่ได้พิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในอาหาร เพราะอาหารบางชนิดมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูง แต่ปริมาณไนโตรเจนส่วนใหญ่อาจไม่ใช่ส่วนประกอบในโมเลกุลของโปรตีน นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงความสามารถของร่างกายที่จะย่อยและดูดซึมโปรตีนชนิดนั้น ๆ ด้วย สามารถจำแนกคุณภาพของโปรตีนได้ 2 ประเภท (ดังตาราง 2.2) คือ

#### 2.4.1 โปรตีนที่มีคุณภาพสูง (Complete protein หรือ First class protein)

เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจำเป็นครบทุกชนิดและมีปริมาณเพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย เช่น โปรตีนเคซีน (Casein) ในน้ำนม โปรตีนในไข่ขาว โปรตีนในเนื้อสัตว์ต่างๆ เป็นต้น

### 2.4.2 โปรตีนที่ด้อยคุณภาพ (Incomplete protein หรือ Second class protein)

เป็นโปรตีนที่ให้กรดอะมิโนจำเป็นแก่ร่างกายน้อยไม่เพียงพอทั้งชนิดและปริมาณ เช่น เจลาติน โปรตีนจากพืชต่างๆ เป็นต้น แต่หากมีการเสริมกรดอะมิโนที่ขาดจะช่วยเพิ่มคุณภาพของโปรตีนขึ้นได้ (อมรา จันทวรภานนท์, 2512; นิธิยา รัตนปนนท์, 2537)

**ตาราง 2.2** ปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยในอาหารที่มาจากสัตว์ พืช และคุณภาพของโปรตีน

อาหาร	โปรตีน (กรัมต่อ 100 กรัม)	คุณภาพของโปรตีน และกรดอะมิโนจำเป็นที่ขาด
<b>จากสัตว์</b>		(Complete)
น้ำนม (Milk, whole)	3.7	ครบบริบูรณ์
นมผง (Dry milk)	41.0	ครบบริบูรณ์
เนื้อโค (Beef, lean, cooked)	26.0	ครบบริบูรณ์
เนื้อปลา (Fish, cooked)	20.0	ครบบริบูรณ์
เนื้อไก่ (Chicken breast, cooked)	32.0	ครบบริบูรณ์
เนื้อหมู (Pock, lean, cooked)	24.0	ครบบริบูรณ์
ตับวัว (Liver, beef, fried)	25.0	ครบบริบูรณ์
ไข่ (Egg, whole)	12.0	ครบบริบูรณ์
<b>จากพืช</b>		(Incomplete)
ถั่วเหลือง (Soybeans, raw)	34.0	ไม่บริบูรณ์ : Met
ถั่วลิสง (Peanut, roasted)	26.0	ไม่บริบูรณ์ : Met
ถั่วเขียว (Mung beans, cooked)	20.0	ไม่บริบูรณ์ : Met
ข้าวเจ้าสุก (Rice, cooked)	3.0	ไม่บริบูรณ์ : Lys, Thr
ขนมปังปิ้ง (Bread, toast)	12.0	ไม่บริบูรณ์ : Lys
ข้าวโพดต้ม (Corn, cooked)	5.0	ไม่บริบูรณ์ : Lys, Trp
ก๋วยเตี๋ยว (Rice noodle, cooked)	1.3	ไม่บริบูรณ์ : Lys, Thr
มันเทศ (Sweet potato, cooked)	1.0	ไม่บริบูรณ์
ถั่วงอก (Bean sprout)	3.0	ไม่บริบูรณ์
ผักใบเขียว (Green leaves)	1-3	ไม่บริบูรณ์
ผลไม้สด (Fruits, fresh)	1-2	ไม่บริบูรณ์

ที่มา : อมรา จันทวรภานนท์ (2512)

โปรตีนที่มีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นครบสมบูรณ์เป็นสารอาหารที่มีบทบาทต่อมนุษย์อย่างมาก โดยโปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์ทุกชนิดในเนื้อเยื่อต่างๆ ซึ่งจะมีการเสื่อมสลายไปและมีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาทดแทนอยู่ตลอดเวลา ส่วนสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตและไขมันถึงจะเป็นสารอินทรีย์เหมือนโปรตีน แต่จะไม่มีธาตุไนโตรเจนและกำมะถัน ซึ่งธาตุทั้ง 2 ชนิดนี้จำเป็นสำหรับการสร้างโปรตีน ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตและไขมันจึงไม่สามารถนำไปใช้แทนหรือเปลี่ยนเป็นโปรตีนให้กับเซลล์ต่างๆ ตามความต้องการของร่างกายได้ ร่างกายจึงจำเป็นต้องได้รับโปรตีนจากอาหาร (สรรเสริญ ทรัพย์โตษก, 2531)

## 2.5 หน้าที่ของโปรตีน

โปรตีนมีหน้าที่สำคัญต่อร่างกายดังนี้

2.5.1 เป็นส่วนประกอบของร่างกายคือ เป็นโปรตีนที่อยู่ในกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อต่างๆ ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของร่างกาย ได้แก่ ไมโอซิน (Myosin) ในกล้ามเนื้อ อีลาสติน (Elastin) ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน คอลลาเจน (Collagen) และโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) ในเซลล์ เป็นต้น

2.5.2 บำรุงรักษาเซลล์ของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ให้ทำงานได้ตามปกติ

2.5.3 สร้างความเจริญเติบโตของร่างกาย

2.5.4 สังเคราะห์เป็นฮีโมโกลบิน (Haemoglobin) เอนไซม์ต่างๆ ฮอร์โมน รวมถึงเป็นภูมิคุ้มกันสำหรับต้านทานโรคแก่ร่างกาย

2.5.5 ถ้าร่างกายได้รับคาร์โบไฮเดรตและไขมันไม่เพียงพอทำให้ไม่สามารถผลิตเป็นพลังงานที่เพียงพอต่อร่างกาย ร่างกายจะเปลี่ยนโปรตีนให้เป็นพลังงาน โดยโปรตีน 1 กรัมจะให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี (นิธิยา รัตนปนนท์, 2537)

เนื่องจากโปรตีนมีความสำคัญอย่างมากต่อมนุษย์ ดังนั้นมนุษย์จึงมีการปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์ไว้เป็นอาหาร ซึ่งโปรตีนจากแหล่งต่างๆ จะมีคุณภาพไม่เหมือนกันเพราะมีสัดส่วนของกรดอะมิโนในโมเลกุลโปรตีนแตกต่างกัน โดยทั่วไปโปรตีนจากสัตว์จะมีคุณภาพสูงกว่าโปรตีนจากพืช ถึงแม้ว่าโปรตีนที่ได้จากอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ต่างๆ ไข่ รวมถึงนมและผลิตภัณฑ์นมจะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง แต่ในบางครั้งมีรายงานถึงการปนเปื้อนของเชื้อโรค ทำให้ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคเช่น ในปีพ.ศ. 2541 เนื้อไก่มีเชื้อโรคไข้หวัดนก และในปีพ.ศ. 2539 เนื้อโคมีเชื้อโรคแอนแทรกซ์ เป็นต้น ส่งผลให้ผู้บริโภคเจ็บป่วยและมีบางรายเสียชีวิต นอกจากนี้อาหารจำพวกเนื้อสัตว์ ไข่ และนํ้านม มีราคาสูงขึ้นมาอีกทั้งในปัจจุบันประชากรของโลกมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่อัตราการผลิตอาหารโปรตีนที่มีคุณภาพสูงเป็นไปได้ต่ำกว่าเมื่อ

เทียบกับอัตราการเพิ่มของประชากรโลก จึงมีการหาแหล่งอาหารโปรตีนจากพืชเพื่อทดแทนอาหารโปรตีนจากสัตว์เพิ่มมากขึ้น โดยแหล่งอาหารโปรตีนจากพืชมีข้อดีคือ มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ไข่ และนม ประกอบกับพืชมีความสามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่า จึงสามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่า ดังนั้นอาหารโปรตีนพืชจึงมีราคาต่ำกว่าอาหารโปรตีนสัตว์ (สมชาย ประภาวัต, 2523) ทำให้มีการหาแหล่งโปรตีนจากพืชใหม่ๆ เพิ่มมากขึ้น และมีผู้หันมาบริโภคอาหารจำพวกพืชสูงขึ้น จึงมีการศึกษาการสกัดโปรตีนจากพืชมาใช้เป็นอาหารทดแทนโปรตีนจากสัตว์ เนื่องจากโปรตีนจากพืชมีคุณภาพต่ำกว่าโปรตีนจากสัตว์ เพราะมีกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิดต่ำกว่ามาตรฐานขององค์การอาหารเพื่อเกษตรกรและองค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) (1973) แต่หากมีการผสมโปรตีนพืชที่มีการกรดอะมิโนจำเป็นต่างกันจากแหล่งพืชต่างชนิดกัน ก็สามารถเพิ่มคุณภาพของโปรตีนให้สูงขึ้นได้ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538; Damodaran, 1996)

## 2.6 การผลิตโปรตีนสกัด

ในการผลิตโปรตีนสกัดจะมีกระบวนการ 2 ขั้นตอนคือ กระบวนการสกัดโปรตีน และกระบวนการตกตะกอนโปรตีน ซึ่งการสกัดโปรตีนและการตกตะกอนโปรตีนนั้นจะขึ้นกับความสามารถในการละลายของโปรตีนนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของโปรตีนคือ

### 2.6.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

โปรตีนในพืชเป็นโปรตีนประเภทกลอบูลิน (Globulin) ซึ่งตามปกติโมเลกุลรอบนอกของโปรตีนจะเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophile) แต่ที่ Isoelectric pH (IEpH) โมเลกุลรอบนอกของโปรตีนจะมีประจุบวกและประจุลบเท่ากัน ทำให้โปรตีนสูญเสียความมีขั้วจึงทำให้แรง Electrostatic และแรงในการดูดซับน้ำลดลง โปรตีนจะเกิดการจับตัวและตกตะกอน หากมีการเพิ่มหรือลด pH ให้มากหรือน้อยกว่า IEpH โปรตีนจะมีความสามารถในการละลายได้ดีขึ้น เนื่องจากแรง Electrostatic และการเกิดประจุในการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้โปรตีนเกิดการละลาย โดยการละลายของโปรตีนที่ pH ต่างๆ ในอาหารโปรตีนส่วนใหญ่จะเป็นรูปตัวยู (U-shaped curve)

หากมีการให้ความร้อนร่วมด้วย จะทำให้โมเลกุลรอบนอกของโปรตีนมีส่วนที่ไม่ประจุเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโปรตีนเกิดการคลายตัว และเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีน ความสามารถในการละลายจึงลดลง (Damodaran, 1996)



งานวิจัยที่ได้ผลเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไปแล้ว ได้แก่ งานวิจัยของ Nilo Rivas, Dench และ Caygill (1981) และ Taha, Fahmy และ Sedek (1987) โดยศึกษาความสามารถในการละลายของโปรตีนเมล็ดงา; Paredes-Lo'pez และ Ordorica-Falomir (1986) โดยศึกษาความสามารถในการละลายของโปรตีนดอกคำฝอย; de Rham และ Jost (1979) โดยศึกษาความสามารถในการละลายของโปรตีนเมล็ดถั่วเหลือง และ Kabirullah และ Wills (1983) ศึกษาความสามารถในการละลายของโปรตีนเมล็ดดอกทานตะวัน ซึ่งโปรตีนทั้งหมดมีความสามารถในการละลายได้ผลเป็นรูปตัวยูเหมือนกัน

## 2.6.2 กำลังไอออนิก (Ionic strength)

การละลายของโปรตีนกลอบูลินจะมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ โดยโปรตีนและไอออนของเกลือจะแย่งกันจับน้ำทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Salting in ซึ่งความเข้มข้นของเกลือที่ใช้จะอยู่ในช่วง 0.1-1.0 โมลาร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ โปรตีน เกลือ pH และอุณหภูมิ

ไอออนของเกลือจะจับกับประจุตรงข้ามของโปรตีนเกิดเป็นชั้นของหมู่ไอออนิก ซึ่งจะปลดแรง Electrostatic ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน เป็นเหตุให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์ Salting in จะเกิดขึ้นได้ต้องขึ้นกับไอออนตาม Hofmeister series

Hofmeister series ของแอนไอออน (Anion) จะเรียงตามนี้คือ  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HPO}_4^{2-} > \text{CH}_3\text{COO}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{NO}_3^- > \text{ClO}_3^- > \text{I}^- > \text{ClO}_4^- > \text{SCN}^-$  และการเรียงตัวของแคทไอออนเป็นดังนี้คือ  $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Ba}^{2+}$  โดยแคทไอออนที่อยู่ทางขวามือจะเพิ่มความสามารถในการละลายของโปรตีนได้ดีกว่าที่อยู่ทางซ้ายมือ โดยแคทไอออนจะมีผลต่อโครงสร้างของน้ำที่รอบนอกโมเลกุลของโปรตีน ในขณะที่ความเข้มข้นของเกลือสูงกว่า 1.0 โมลาร์ ไอออนทางซ้ายมือจะลดความสามารถในการละลายลงเนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ Salting out เพราะไอออนของเกลือจับกับโมเลกุลของน้ำอย่างแข็งแรง ทำให้โมเลกุลของน้ำรอบๆ โมเลกุลของโปรตีนมีการจัดเรียงตัวใหม่ เป็นผลทำให้โมเลกุลของโปรตีนเกิดการจับตัวกันเองด้วยพันธะของหมู่ไม่ชอบน้ำโปรตีนจึงเกิดการรวมตัวและตกตะกอนในที่สุด (Vojdani, 1996)

ในปีค.ศ. 1981 Nilo Rivas และคณะ พบว่าการสกัดโปรตีนจากเมล็ดงาด้วยการใช้สารละลายเกลือไฮเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ ที่ pH 6 จะสามารถสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดงาได้สูงที่สุด แต่หากเพิ่มความเข้มข้นเป็น 2 โมลาร์ ความสามารถในการสกัดโปรตีนจะลดลงอย่างมากอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเกลือที่มีสมบัติเป็นกลางจะมีผลต่อการละลายของโปรตีนมาก ถ้าค่อยๆ เพิ่มปริมาณเกลือให้มากขึ้นการละลายของโปรตีนจะเพิ่มขึ้น และการเพิ่มการละลายนี้

จะสูงขึ้นอีกถ้าเกลือที่ใช้ให้อนุมูลที่มีประจุบวกมากกว่าหนึ่ง เช่น  $MgCl_2$  หรือ  $MgSO_4$  จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า  $NaCl$   $KCl$  หรือ  $NH_4Cl$  ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Salting in แต่ถ้าปริมาณเกลือที่ใช้สูงถึงจุดหนึ่งโปรตีนจะตกตะกอนทั้งหมดเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Salting out (Kinsella, 1976)

แต่การสกัดโปรตีนด้วยสารละลายเกลือจะมีข้อเสียคือโปรตีนที่ได้จะมีปริมาณเกลือปนอยู่เป็นจำนวนมาก ต้องนำโปรตีนสกัดที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการกรองด้วยวิธี Dialysis หรือ Ultrafiltration ก่อนจะนำโปรตีนมาตกตะกอน (Damodaran, 1996)

### 2.6.3 อุณหภูมิ

ที่ pH และกำลังไอออนิกคงที่ ความสามารถในการละลายของโปรตีนจะเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ  $0-40^{\circ}C$  หากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่า  $40^{\circ}C$  จะเกิดพลังงานเทอร์มอลไคเนติก (Thermal kinetic) เป็นเหตุให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ โดยจะคลายตัวทำให้หมู่ไม่ชอบน้ำออกมาอยู่ภายนอก โปรตีนจะเกิดการจับตัวกันเองและตกตะกอนลงมา ความสามารถในการละลายของโปรตีนจึงลดลง (Damodaran, 1996)

### 2.6.4 องค์ประกอบอื่นๆ (Other components)

องค์ประกอบอื่นๆ ในสารละลายเช่น ไอออน หรือสารทำละลายอินทรีย์ มีผลต่อความสามารถในการละลายของโปรตีน

ไอออนของโลหะหนัก เช่น  $Zn^{2+}$   $Cd^{2+}$  และ  $Ba^{2+}$  หรือ แอนไอออนของสารอินทรีย์ เช่น แทนแทน ทังสแตน โมลิบเดต ไตรคลอโรอะซิเตต เปอร์คลอเรต และซัลโฟซาลิไซเลต จะทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน ขึ้นอยู่กับ pH อุณหภูมิ และกำลังไอออน

หากมีการเติมสารทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) เช่น เอทานอล หรือ อะซิโตน จะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ (Vojdani, 1996) โดยโปรตีนจะมีการเพิ่มแรง Electrostatic ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลของโปรตีน โดยแรง Electrostatic ภายในโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัว ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของโปรตีนของหมู่เปปไทด์ และแรง Electrostatic ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน ซึ่งมีประจุเหมือนกัน จะเป็นตัวชักนำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอนในสารทำละลาย

โพลีเอธิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) จะลดความสามารถในการละลายของโปรตีน มักใช้ในการตกตะกอนโปรตีน เนื่องจาก PEG จะไปแย่งจับน้ำกับโมเลกุลของโปรตีน (Damodaran, 1996)

ไขมันจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนโดยนำส่วนที่ไม่มีขั้วของโซ่อะลิฟาติก (apolar aliphatic chain of the lipid) มาจับกับหมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่รอบนอกโมเลกุลของโปรตีน ทำให้การเกิดพันธะของโมเลกุลของโปรตีนกับน้ำลดลง ส่งผลให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายลดลง (Vojdani, 1996)

โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecylsulfate, SDS) เป็นสารจำพวก Surface-active agents ซึ่งเป็นสารที่ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพอย่างรุนแรง ทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัว และโปรตีนหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำมาจับกัน โปรตีนจึงเกิดการตกตะกอน (Vojdani, 1996)

## 2.7 แหล่งพืชที่ใช้ในการสกัดโปรตีน

พืชที่เหมาะสมจะนำมาสกัดโปรตีนจะต้องมีปริมาณโปรตีนสูง ได้แก่ พืชจำพวกเมล็ดและถั่วแห้ง เช่น ถั่วเขียว รวมถึงเมล็ดพืชน้ำมัน เช่น เมล็ดงา ถั่วลิสง เมล็ดทานตะวัน เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 11.0-33.0% ในขณะที่ธัญพืชมีปริมาณโปรตีนระหว่าง 5.0-15.0% พืชหัวมีปริมาณโปรตีน 1.5-2.2% ส่วนผักมีโปรตีนต่ำประมาณ 0.2-3.0% แต่อย่างไรก็ตามโปรตีนในพืชมีปริมาณต่ำกว่าโปรตีนในสัตว์และในไข่ โดยโปรตีนจากสัตว์มีปริมาณโปรตีนประมาณ 15.0-26.0% ในไข่มีปริมาณโปรตีน 10.7-20.1% (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) การที่เมล็ดพืชน้ำมันมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ จึงมีการศึกษาการสกัดโปรตีนจากเมล็ดพืชน้ำมันกันมาก เมล็ดพืชน้ำมันที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำมันในประเทศไทย ได้แก่ ถั่วเหลือง เมล็ดงา เมล็ดฝ้าย เมล็ดดอกทานตะวัน เมล็ดถั่ว เป็นต้น

เมล็ดฝ้ายเป็นจัดเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช เช่นเดียวกับกับเมล็ดถั่วเหลืองและเมล็ดงา โดยกากเมล็ดฝ้าย กากเมล็ดงา และกากถั่วเหลืองที่ได้หลังการสกัดน้ำมันจะมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น จึงเหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นโปรตีนสกัดจากพืช

### 2.7.1 เมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ

ฝ้าย (*Gossypium spp.*) เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มานานแล้ว เนื่องจากมนุษย์ได้นำเส้นใยฝ้ายมาทำเป็นเครื่องนุ่งห่ม ไม่มีหลักฐานยืนยันว่ามนุษย์รู้จักและนำฝ้ายมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่เมื่อใด แต่มีหลักฐานทางโบราณคดีบ่งว่า พบซากใยฝ้ายที่มีอายุประมาณ 5,000 ปีก่อนคริสตกาล ในที่สุ่มของแม่น้ำอินดัส หรือในปัจจุบันคือประเทศปากีสถานนั่นเอง และในประเทศเปรูได้มีการค้นพบเส้นใยที่มีอายุเก่าแก่ประมาณ 4,500 ปีก่อนคริสตกาล อีกทั้ง

ยังพบเส้นใยฝ้ายในเมืองอริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา และในประเทศอียิปต์ จึงได้สันนิษฐานว่าถิ่นกำเนิดของฝ้ายอาจอยู่ในแถบทวีปอเมริกากลาง และทวีปเอเชียตอนใต้ (Engsminger และคณะ, 1994) สำหรับในประเทศไทยยังไม่พบหลักฐานที่แน่ชัดได้ว่ารู้จักการใช้ประโยชน์จากฝ้ายตั้งแต่เมื่อใด มีเพียงหลักฐานด้านเอกสารเก่าแก่คือ ในพุทธบัญญัติกำหนดให้พระภิกษุใช้ผ้าห่มครองได้ 6 ชนิด ซึ่งผ้าฝ้ายเป็นผ้าที่มีการอนุญาตไว้ นอกจากนี้ในสมัยสุโขทัย ได้มีสุภาษิตว่า "เมื่อเสร็จหน้านา ผู้หญิงทอผ้าผู้ชายตีเหล็ก" ซึ่งแสดงว่าคนไทยรู้จักปลูกฝ้ายและทอฝ้ายมาตั้งแต่สมัยโบราณ

ฝ้ายเป็นพืชไร่ประเภทยืนต้น ดังรูป 2.2 สามารถขึ้นได้ดีในสภาพภูมิอากาศต่างๆ ในซีกโลกเหนือ ฝ้ายสามารถออกผลและเจริญเติบโตได้จนถึงอาณาเขตเส้นละติจูดที่ 37 องศาเหนือในสหรัฐ หรือ 47 องศาเหนือและ 42 องศาเหนือในแมนจูเรีย ส่วนในซีกโลกใต้ ฝ้ายสามารถขึ้นได้ดีตั้งแต่ละติจูดที่ 32 องศาใต้ในเขตอเมริกาใต้และออสเตรเลีย และ 30 องศาใต้ในเขตตอนใต้ของแอฟริกาขึ้นมา อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ประมาณ 22-25 °C อีกทั้งฝ้ายยังสามารถขึ้นได้ในที่ราบสูงจากระดับน้ำทะเล 1,200 เมตร (ซูเกียร์ตี อีกริชต์, 2536) พบว่ามีการปลูกฝ้ายมากในหลายประเทศ เช่น จีน สหรัฐอเมริกา อินเดีย เป็นต้น

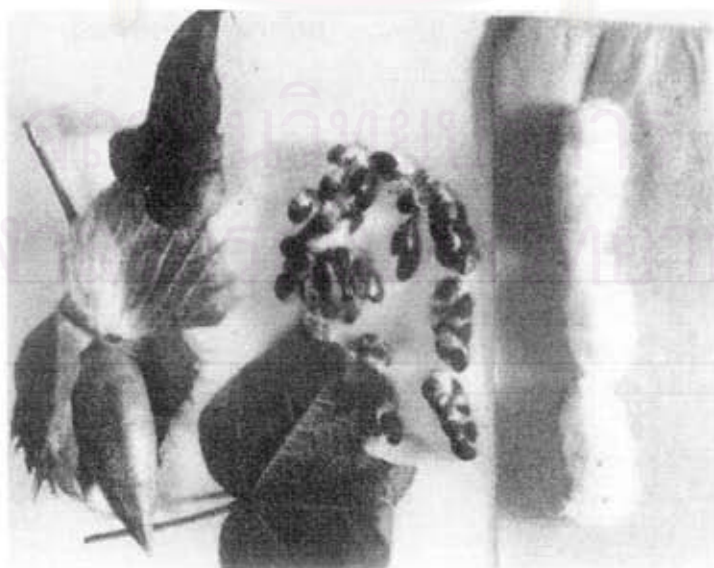
เมื่อฝ้ายมีการเจริญเติบโตจนออกดอกและเกิดการผสมพันธุ์เกิดขึ้น จะได้ส่วนของสมอฝ้ายหรือผลฝ้าย (Seed cotton) มีรูปร่างกลมคล้ายไข่ ดังรูป 2.3(ก) เมื่อแก่จัดสมอฝ้ายจะมีเปลือกสีน้ำตาลเข้มและแตกบานออก ฟูยฝ้าย (lint or fiber) ซึ่งอยู่ภายในจะพองฟูออกมา ดังรูป 2.3(ข) การเก็บจะเก็บฟูยฝ้ายที่โผล่ออกมาจากสมอ นำมาตีบเพื่อแยกส่วนของเมล็ด (seed) (ดังรูป 2.3(ค)) ออกมาจากฟูยฝ้าย เมล็ดฝ้ายจะมีลักษณะกลมคล้ายรูปไข่ เปลือกสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งมีมากถึง 60-70% ของผลฝ้าย โดยเมล็ดฝ้ายจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ

1. ขนฟูยที่ติดมา (Linter) มีประมาณ 4-6%
2. เปลือกเมล็ด (Seed coat or Hull) มีประมาณ 25-30%
3. เนื้อ (Kernel or Meat) มีประมาณ 64-71% ซึ่งมีปริมาณโปรตีนอยู่สูงถึง 30% (Millner, 1966) แต่เนื่องจากเมล็ดฝ้ายมีสารพิษคือกอสลิปอล จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้เมล็ดฝ้ายเป็นอาหารแก่มนุษย์และสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง



รูป 2.2 ลักษณะของต้นฝ้าย  
ที่มา : ชูเกียรติ อัครธัต (2536)

ก ข ค



รูป 2.3 ลักษณะของสมอฝ้าย(ก) เมล็ดฝ้าย(ข) และปุยฝ้าย (ค)  
ที่มา : ชูเกียรติ อัครธัต (2536)

ฝ้ายในโลกนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 พันธุ์หลัก โดยมีความแตกต่างของสีดอก ฝ้ายและลักษณะของเส้นใย คือ

1. American Upland cotton

เป็นพันธุ์ที่นิยมและมีการเพาะปลูกมากที่สุดในโลก ลำต้นสูงประมาณ 30-213 เซนติเมตร ดอกมีสีขาวครีม (Creamy-white) เส้นใยมีสีขาว ยาวประมาณ 22-32 มิลลิเมตร ในประเทศไทยนิยมปลูกฝ้ายพันธุ์นี้

2. Egyptian cotton

เป็นพันธุ์ที่พัฒนาขึ้นในแถบอเมริกาใต้และอเมริกากลาง ดอกฝ้ายมีสีเหลืองมะนาว (Lemon-colored) ให้เส้นใยที่ยาว เป็นมัน มีสีน้ำตาลอ่อน (Light tan)

3. Sea Island cotton

มีต้นกำเนิดที่หมู่เกาะของโคโรลินาคอนติ จอร์เจีย และทางเหนือของฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันปลูกมากในทางตะวันตกของประเทศอินเดีย โดยฝ้ายพันธุ์นี้จะมีสีดอกเป็นสีเหลืองอ่อน (Brilliant yellow) มีขนาดสมอลเล็ก ให้ผลผลิตเส้นใยต่ำ เส้นใยที่ได้ยาว 44 มิลลิเมตร และมีความมันเงา

4. Asiatic cotton

เป็นฝ้ายที่ปลูกมากในประเทศจีน อินเดีย และปากีสถาน จะให้เส้นใยที่สั้น และมีผลผลิตต่ำ

เมล็ดฝ้ายทั้ง 4 พันธุ์นั้นเป็นเมล็ดฝ้ายที่มีต่อมเมดิลี หรือมีสารพิษกอสลิปอล ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเมดิลีอยู่ในส่วนของเนื้อเมล็ดฝ้าย ต่อมาในปีค.ศ. 1954 มีการค้นพบเมล็ดฝ้ายที่ไม่มีเมดิลี (ดังรูป 2.4) ที่เมืองอริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา เมล็ดฝ้ายเหล่านี้จะเป็นเมล็ดฝ้ายที่ปราศจากสารพิษกอสลิปอล จึงมีการพัฒนาเพื่อนำเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษนี้มาใช้เป็นอาหารให้แก่มนุษย์ (Ensminger และคณะ, 1994)



**รูป 2.4** ภาพตัดขวางของเมล็ดฝ้ายมีเมดิสี (ก) และเมล็ดฝ้ายไร้ต่อมพิษ (ข) โดยจุดสีดำในเมล็ดฝ้ายทางด้านซ้ายมือแสดงถึงเมดิสีที่มีสารพิษกอสลิปอลเป็นองค์ประกอบอยู่  
ที่มา : Ensminger และคณะ (1994)

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงองค์ประกอบของเมล็ดฝ้ายที่มีต่อมพิษเพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะโดยทั่วไปของเมล็ดฝ้ายดังนี้

#### 2.7.1.2 องค์ประกอบของเมล็ดฝ้าย

เมล็ดฝ้ายจะสะสมน้ำมันอยู่ในปริมาณสูง เพื่อเป็นแหล่งของพลังงานให้กับต้นอ่อน ในใบเลี้ยง (Cotyledon) ของเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งของเมดิสี ซึ่งมีส่วนของสารพิษกอสลิปอลประกอบอยู่ โดยเมดิสีจะมีขนาดระหว่าง 100-400 ไมครอน ส่วนของไซโตพลาซึมซึ่งเป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดในเมล็ดฝ้ายจะเป็นส่วนที่สะสมของไขมัน โปรตีน และ ฟอสฟอรัส เนื่องจากเมล็ดฝ้ายมีน้ำมันอยู่มากจึงนิยมใช้ในการผลิตน้ำมันพืช เมื่อผ่านการสกัดน้ำมันแล้วกากเมล็ดฝ้ายที่เป็นของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นไปจาก 27-35% โดยเพิ่มเป็น 50-60% (อรพิน ภูมิภมร และคณะ, 2525) ซึ่งถือว่ามีความโปรตีนสูง และเหมาะที่จะนำมาผลิตโปรตีนสกัดจากพืช

### 2.7.1.2.1 โปรตีนเมลิคฝ้าย

เมลิคฝ้ายมีปริมาณโปรตีนประมาณ 27-35% (อรพิน ภูมิภมร และคณะ, 2525) โดย 60% ของโปรตีนเมลิคฝ้ายทั้งหมด จะอยู่ในรูปกลอบูลิน (Globulin) ที่มีรูปร่างกลม (Globular protein) (Martinez และคณะ, 1970) โดยโปรตีนเมลิคฝ้ายสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. โปรตีนที่สะสมในเซลล์ (Storage protein) ประกอบด้วยโปรตีน 2S fraction เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โปรตีนเหล่านี้จะมีไลซีนและเมทไซโอนีนสูง ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในสารละลายต่าง จึงสามารถสกัดโปรตีนชนิดนี้ด้วยสารละลายต่าง และตกตะกอนโปรตีนที่ pH 7.0

2. โปรตีนที่ไม่ได้สะสมในเซลล์ (Non-storage protein) ประกอบด้วยโปรตีน 7S และ 12S เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีปริมาณของไลซีนและกรดอะมิโนที่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์ต่ำ ละลายน้ำได้ดี สามารถสกัดได้ด้วยน้ำและตกตะกอนโปรตีนที่ pH 4.0

ค่า S หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ของการตกตะกอน (Sedimentation coefficients) ซึ่งค่านี้จะบอกถึงขนาดของโมเลกุลโปรตีน โดยหากตัวเลขที่อยู่ข้างหน้า S เป็นเลขจำนวนมากจะมีขนาดใหญ่กว่าตัวเลขจำนวนที่น้อยกว่า เช่น 2S จะมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 8,000-21,500 และ 12S มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 350,000-600,000

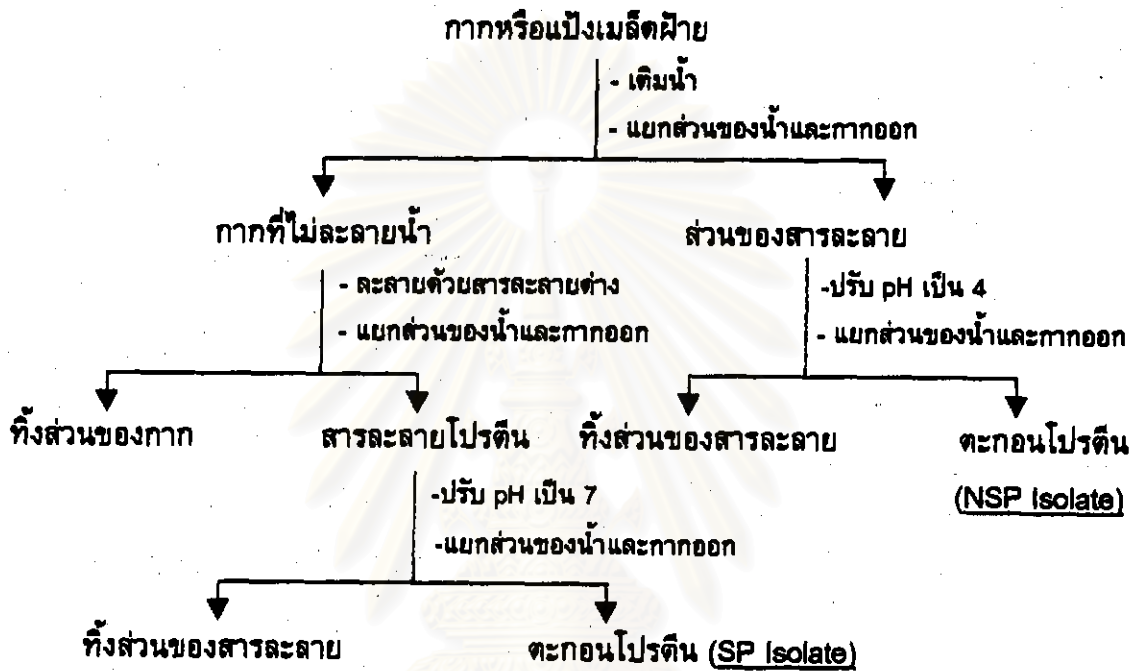
การสกัดโปรตีนเมลิคฝ้ายทั้ง 2 ชนิดนี้ทำได้ 2 วิธีดังนี้ (Berardi และคณะ, 1969)

#### 2.7.1.2.1.1 การสกัดโปรตีนแบบ 2 ขั้นตอน

จะอาศัยสมบัติในการละลายของโปรตีนและการตกตะกอนของโปรตีนทั้ง 2 ชนิด โดยมีวิธีในการสกัดโปรตีนดังนี้ คือขั้นแรกจะสกัดโปรตีนที่ไม่สะสมในเซลล์ ซึ่งสามารถละลายได้ดีในน้ำออกมาก่อน โดยสกัดโปรตีนด้วยน้ำและตกตะกอนโปรตีนที่ได้ที่ pH 4 ส่วนกากที่เหลือจากการสกัดโปรตีนครั้งแรกจะสกัดโปรตีนอีกครั้งด้วยสารละลายต่าง เพื่อสกัดโปรตีนที่สะสมในเซลล์ออกมาแล้วตกตะกอนโปรตีนที่ pH 7 ก็จะได้ส่วนของโปรตีนที่ไม่สะสมและโปรตีนที่สะสมในเซลล์ (ดังรูป 2.5) หรืออาจใช้ pH ในการตกตะกอนเป็นวิธีในการ



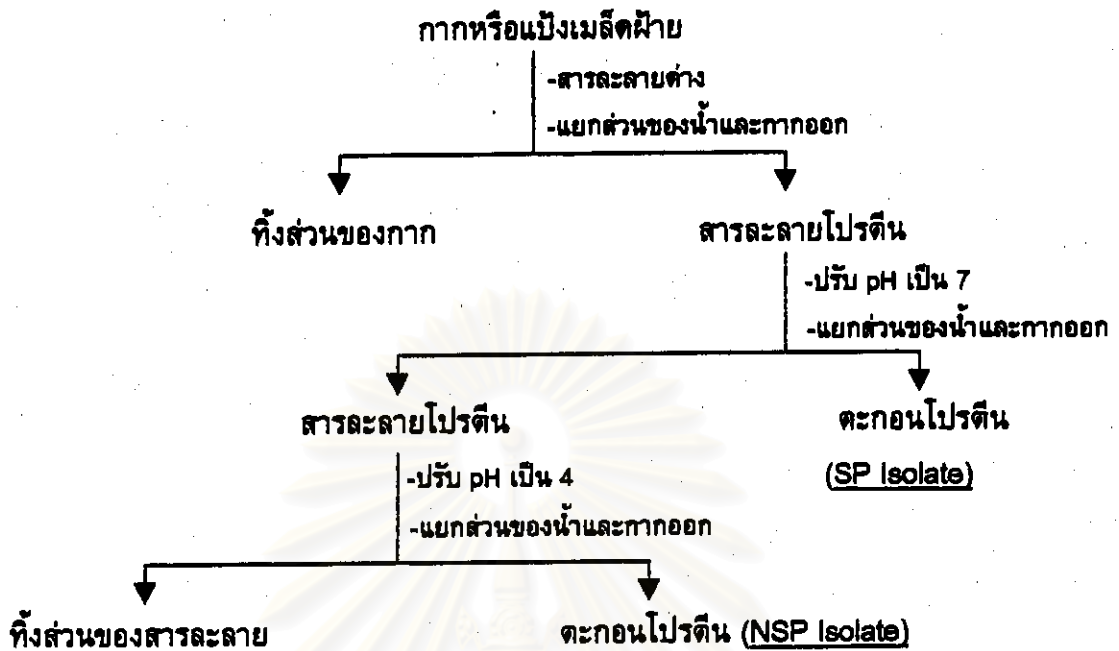
แยกโปรตีนทั้ง 2 ชนิดออกจากกันก็ได้ โดยสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง ซึ่งโปรตีนทั้ง 2 ชนิดสามารถละลายได้ดี แล้วจึงตกตะกอนโปรตีนที่ pH 7 และ 4 เพื่อตกตะกอนโปรตีนที่ละลายและไม่ละลายในเซลล์ ตามลำดับ (ดังรูป 2.6)



**รูป 2.5** การสกัดโปรตีนจากเมล็ดฝ้ายโดยเลือกวิธีในการสกัดเป็นเกณฑ์ (NSP Isolate = Non-storage protein; SP Isolate = Storage protein)

ที่มา : Berardi และคณะ (1969)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

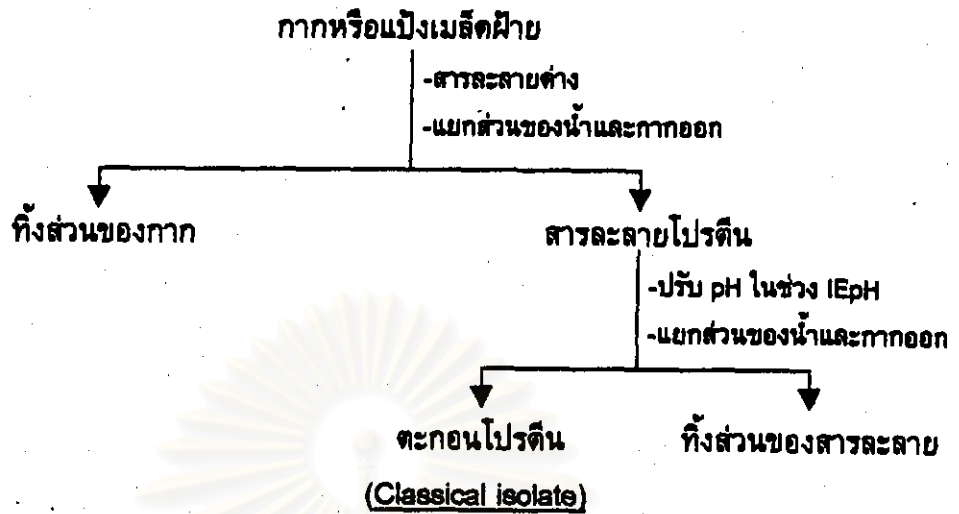


รูป 2.6 การสกัดโปรตีนจากเมล็ดฝ้ายโดยเลือกวิธีในการตกตะกอนเป็นแกมมา (NSP Isolate = Non-storage protein; SP Isolate = Storage protein)  
ที่มา : Berardi และคณะ (1969).

#### 2.7.1.2.1.2 การสกัดโปรตีนแบบขั้นตอนเดียว

จากวิธีการสกัดโปรตีนแบบ 2 ขั้นตอนมีความยุ่งยากในการสกัด เนื่องจากมีการปรับ pH 2 ครั้ง จึงมีการศึกษาวิธีการศึกษาการสกัดโปรตีนแบบขั้นตอนเดียว โดยสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง และตกตะกอนโปรตีนด้วยกรดที่ isoelectric pH ของโปรตีนเมล็ดฝ้ายจะได้โปรตีนสกัดที่เรียกว่า Classical Isolate ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนทั้ง 2 ชนิดคือโปรตีนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ดังรูป 2.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



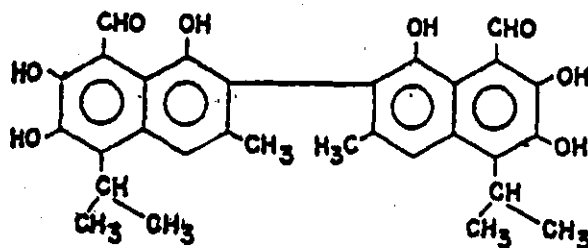
**รูป 2.7** การสกัดโปรตีนจากเมล็ดฝ้ายแบบขั้นตอนเดียว (NSP Isolate = Non-storage protein; SP Isolate = Storage protein; IEpH = Isoelectric pH)

ที่มา : Berardi และคณะ (1969)

Berardi และคณะ (1969) พบว่าการสกัดโปรตีนด้วยวิธีแบบขั้นตอนเดียวจะให้ปริมาณโปรตีนสกัด และปริมาณโปรตีนที่ได้ใกล้เคียงกับการสกัดโปรตีนแบบ 2 ขั้นตอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะสกัดโปรตีนเมล็ดฝ้ายแบบขั้นตอนเดียว

#### 2.7.1.2.2 สารพิษกอสลิปอล

กอสลิปอลเป็นสารประกอบจำพวกโพลีฟีนอล (Polyphenol) มีชื่อทางเคมีว่า 1,1',6,6',7,7'-hexahydroxy-3,3'-dimethyl-5,5'-bis(1methylethyl)[2,2'-binaphthalene]-8,8'-dicarboxyaldehyde มีสูตรเคมีอย่างง่ายคือ  $C_{30}H_{30}O_8$  มีน้ำหนักโมเลกุล 518.54 ประกอบด้วยคาร์บอน 69.48% ไฮโดรเจน 5.83% และออกซิเจน 24.68% (Budarari, 1989) โดยมีสูตรโครงสร้างดังรูป 2.8



**รูป 2.8** สูตรโครงสร้างของกอสลิปอล

ที่มา : Edwards, Jr. (1970)

กอสลิปอลเป็นสารพิษในเมล็ดฝ้าย มีสีเหลือง เป็นส่วนหนึ่งของเมดิซิล โดยในเนื้อเมล็ดฝ้ายจะมีเมดิซิล 1-3%ของน้ำหนักเนื้อเมล็ดฝ้าย และในเมดิซิลจะมีกอสลิปอล 25-30% สารพิษกอสลิปอลในเมล็ดฝ้ายแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

### 1. กอสลิปอลไม่อิสระ (Bound-gossypol)

เนื่องจากกอสลิปอลสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่เอมิโนอิสระของไลซีน และทำให้โปรตีนเมล็ดฝ้ายมีคุณภาพของโปรตีนด้อยลงไป เพราะจะมีปริมาณของไลซีนที่นำไปใช้ได้ลดลง การเกิดพันธะนี้จะช่วยทำให้ความเป็นพิษของกอสลิปอลหมดไปทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

ในปีค.ศ. 1957 Baliga และ Lyman พบว่าการใช้แอนิลีน (Aniline) 450กรัมร่วมกับอะซิโตน 2 ลิตร สามารถกำจัดกอสลิปอลไม่อิสระออกจากโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้าย ซึ่งจะทำให้มีปริมาณโปรตีนสกัดเพิ่มขึ้นและมีปริมาณไลซีนสูงกว่าในโปรตีนสกัดที่ไม่กำจัด

### 2. กอสลิปอลอิสระ (Free-gossypol)

เป็นกอสลิปอลที่อยู่อย่างอิสระซึ่งจะมีพิษต่อสัตว์กระเพาะเดี่ยวหรือไม่เคี้ยวเอื้อง (monogastric animals) เช่น มนุษย์ เป็ด ไก่ สุกร เป็นต้น โดยมีค่าความเป็นพิษ (LD<sub>50</sub>) ในสัตว์ทั่วไปคือ 925-1,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสัตว์ โดยกอสลิปอลจะทำให้ความสามารถในการจับก๊าซออกซิเจนของเม็ดเลือดแดงลดลง เป็นผลให้เกิดอาการชัก อาเจียน และอาจถึงตายได้ ดังนั้นองค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้โปรตีนเมล็ดฝ้ายที่สามารถบริโภคได้ต้องมีปริมาณกอสลิปอลอิสระไม่เกิน 0.045% การศึกษาการกำจัดหรือลดปริมาณกอสลิปอลในเนื้อเมล็ดฝ้ายเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการบริโภคเนื้อเมล็ดฝ้ายอาจทำได้ดังนี้

#### 2.7.1.2.2.1 การกำจัดสารกอสลิปอล

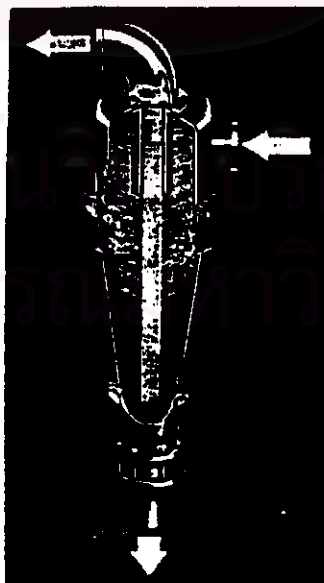
##### 2.7.1.2.2.1.1 การใช้สารทำลาย

กอสลิปอลสามารถละลายในสารทำลายมีขี้ผึ้งมากกว่าสารทำลายไม่มีขี้ผึ้ง สารทำลายที่กอสลิปอลละลายได้ดีคือ ไดออกเซน เมทานอล เอทานอล และ อะซิโตน ส่วนในสารทำลายไซโคเฮกเซน และ ปีโตรเลียมอีเธอร์ที่มีจุดเดือด

สูง (bp. 60-100°C) กอสลีปอลจะละลายได้บางส่วน แต่กอสลีปอลจะไม่ละลายในน้ำ ในปีค.ศ. 1952 Dechary และคณะ พบว่าบิวทานอน (Butanone) 10% สามารถลดปริมาณกอสลีปอลอิสระจาก 1.10% เหลือเพียง 0.225% ภายในเวลา 10 นาที และไดออกเซน (Dioxane) 10% สามารถลดปริมาณกอสลีปอลอิสระเหลือเพียง 0.324% ภายในเวลา 10 นาทีเช่นกัน

#### 2.7.1.2.2.1.2 Liquid Cyclone Process (LPC)

เป็นวิธีที่พัฒนาโดย Gastrock และคณะ และได้มีการพัฒนาต่อโดย Vix, Eaves, Gardner และ Lambou (1971) เพื่อผลิตแป้งเมล็ดฝ้ายที่กำจัดสารพิษกอสลีปอลอิสระให้ได้ปริมาณเพิ่มมากขึ้น กระบวนการ LPC เป็นวิธีที่ใช้ในการกำจัดเมล็ดฝ้ายในเนื้อเมล็ดฝ้าย รวมถึงน้ำมันเมล็ดฝ้ายด้วย โดยวิธีนี้ต้องเตรียมเมล็ดฝ้ายให้มีความชื้นเพียง 1.5-3.0% และชั้นของเนื้อเมล็ดฝ้ายมีขนาดไม่เกิน 0.012 นิ้ว แชนเนื้อเมล็ดฝ้ายในเฮกเซนที่อัตราส่วน 45% ของเนื้อเมล็ดฝ้าย แล้วผ่านเข้าเครื่อง Horizontal stone mill เพื่อแยกส่วนของเนื้อออกจากเมล็ดฝ้าย หลังจากนั้นบีมส่วนของของผสมผ่านเข้าเครื่อง Liquid cyclone (ดังรูป 2.9) ที่ทำด้วยโลหะปลอดสนิม (Stainless steel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว โดยมีการให้ความร้อนที่เหมาะสม เป็นผลให้เกิดการแยกชั้นของสารละลายได้ 2 ชั้น ส่วนบนจะประกอบด้วยส่วนของแป้งเมล็ดฝ้ายที่มีปริมาณโปรตีนสูงและปลอดจากกอสลีปอลอิสระและส่วนด้านล่างจะเป็นส่วนของเมล็ดฝ้ายและเปลือกที่หลงเหลือ นำมากรองและล้างน้ำมันออก แล้วระเหยสารทำละลายจนแห้ง จะได้แป้งเมล็ดฝ้ายโปรตีนสูง



รูปที่ 2.9 เครื่อง Liquid Cyclone

ที่มา: Vix, Gardner, Jr., Lambou และ Rollins (1972)

#### 2.7.1.2.2.1.3 การดูดซับด้วยสารดูดซับ

Kuk และคณะ (1993) พบว่าสารดูดซับชนิด Neutral alumina ขนาด 80-200 เมช สามารถดูดซับกอสลิปอลได้ถึง 99% โดยใช้เอทานอลเป็นสารหล่อลื่น ที่อุณหภูมิ 25°C ภายใต้ความดันของก๊าซไนโตรเจน แต่สารดูดซับนอกจากจะดูดซับกอสลิปอลแล้วยังสามารถดูดซับแคโรทีน คลอโรฟิลล์ รวมทั้งเกลือแร่บางชนิดอีกด้วย จึงไม่ค่อยนิยมใช้ในการลดปริมาณกอสลิปอลอิสระ

#### 2.7.1.2.2.1.4 สารเคมี

Mayorga และคณะ (1975) พบว่าการใช้  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  1% หรือ  $\text{FeSO}_4$  1% สามารถลดปริมาณกอสลิปอลอิสระได้เล็กน้อย แต่หากใช้สารทั้ง 2 ชนิดนี้ร่วมกันจะสามารถลดปริมาณกอสลิปอลอิสระได้ในปริมาณมาก เนื่องจากเกลือเฟอร์รัสจะทำหน้าที่คล้าย reducing agent หรือ chelating agent ในขณะที่  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  จะให้ความเป็นด่างกับสารละลาย การให้ความร้อนร่วมด้วยจะช่วยเพิ่มความสามารถในการลดกอสลิปอลอิสระ การให้ความร้อนที่ 130°C นาน 90 นาทีจะช่วยลดปริมาณสารพิษลงโดยไม่ทำลายไลซีน ดังนั้นการลดปริมาณกอสลิปอลอิสระสามารถทำได้โดยใช้  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  1% ร่วมกับ  $\text{FeSO}_4$  0.1% ที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 90 นาที ซึ่งจะลดปริมาณกอสลิปอลอิสระลงได้ถึง 42%

#### 2.7.1.2.2.1.5 กระบวนการสกัดโปรตีน

El Tinay และคณะ (1980) พบว่าการสกัดโปรตีน เมล็ดฝ้ายที่ pH 10 จะสกัดโปรตีนได้สูงถึง 57% ของปริมาณโปรตีนในกากเมล็ดฝ้ายเริ่มต้น และเมื่อดกตะกอนโปรตีนที่ pH 4.5 จะมีปริมาณโปรตีนที่ตกตะกอน 96% ของปริมาณโปรตีนในสารละลายโปรตีนสกัด โดยมีปริมาณกอสลิปอลอิสระในสารละลายโปรตีนสกัดเพียง 3.8% ซึ่งลดลงจากปริมาณเริ่มต้นถึง 92% และในโปรตีนที่ตกตะกอนที่ pH 4.5 ตรวจไม่พบกอสลิปอลอิสระ ดังนั้นการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างและตกตะกอนที่ pH เป็นกรดสามารถลดปริมาณของกอสลิปอลอิสระได้

#### 2.7.1.2.2.1.6 การพัฒนาสายพันธุ์

เป็นวิธีที่ใช้ลดปริมาณกอสลิปอลในเมล็ดฝ้าย โดยการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีต่อมพิษหรือมีสารพิษกอสลิปอลต่ำ และพัฒนาให้มีปริมาณกอสลิปอล

ลดลงต่ำกว่าที่มาตรฐานขององค์การอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (US.FDA.) กำหนด ทำให้สามารถนำเมล็ดฝ้ายมาบริโภคได้ทันที (Ensminger และคณะ, 1994)

### 2.7.2 เมล็ดงา

งา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum indicum* L. อยู่ในวงศ์ (Family) Pedullaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ประเทศเอธิโอเปีย และถูกนำเข้ามาเผยแพร่ยังประเทศอินเดีย และต่อไปยังประเทศจีน แอฟริกาเหนือ และเอเชียใต้ในราว 2,000 ปี ก่อนคริสตกาล งามถูกนำเข้าไปยังทวีปอเมริกาในราวศตวรรษที่ 17

งาเป็นพืชล้มลุกประเภทไม้พุ่มเนื้ออ่อน มีอายุระหว่าง 70-180 วัน ปลูกได้ตลอดปี ต้นสูงประมาณ 0.5-2 เมตร (ตั้งรูป 2.10) ชอบอากาศอบอุ่น อุณหภูมิประมาณ 25-27°C ทนความแห้งแล้งได้พอสมควร แต่ไม่ทนต่อสภาพน้ำขังแฉะและดินเค็ม ขึ้นได้ทั้งในที่ราบและที่สูงจนถึง 2,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล

เมื่องามีการเจริญเติบโตเต็มที่ จะออกดอก และผสมพันธุ์จนได้ฝักหรือผลเป็นแบบกระเปาะ (Capcule) มีรูปร่างค่อนข้างกลมบิ่อม รูปทรงกระบอกหรือแบน (ตั้งรูป 2.11) ฝักตั้งตรงยาว 2-3 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ฝักแบ่งเป็นกลีบ (Carpel) 2-4 กลีบ แต่ละกลีบมี 2 พู (Locle) เมื่อฝักแก่จะแตกออกทำให้เมล็ดร่วงหลุดออกได้ เมล็ดงาจะมีลักษณะเป็นรูปไข่ มีขนาดเล็กเรียงซ้อนกันอยู่ภายในฝักประมาณ 70-100 เมล็ดต่อฝัก เปลือกหุ้มเมล็ดมีหลายสีขึ้นกับพันธุ์ น้ำหนัก 1,000 เมล็ดอยู่ระหว่าง 2-4 กรัม มีปริมาณน้ำมัน 45-63% และมีโปรตีน 17-25%

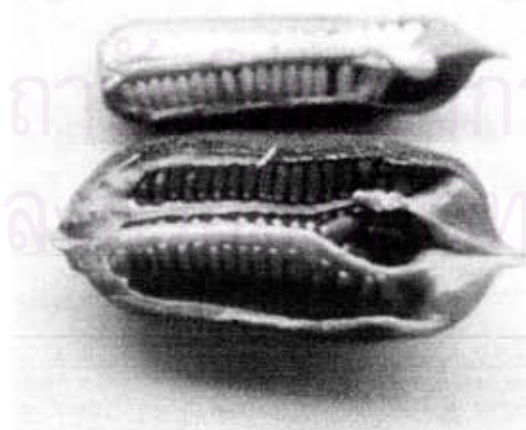
ในประเทศไทยปลูกงามากในทุกภาคของประเทศ โดยเฉพาะทางภาคเหนือ เช่น จังหวัดเพชรบูรณ์ พิษณุโลก นครสวรรค์ เป็นต้น งาที่เพาะปลูกมีด้วยกัน 3 ชนิดแบ่งตามสีของเมล็ดคือ งาดำ งาดำ-แดง ที่เรียกทั่วไปว่า งาเกษตร และ งาขาว (เรื่องเดช สุขสมบูรณ์, 2531)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.10 ลักษณะต้นงา

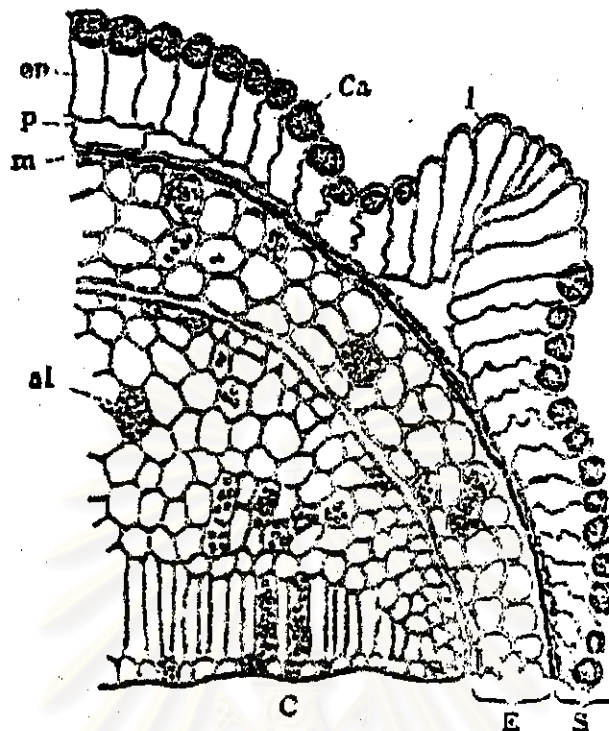
ที่มา : มานีสา ชีระวัฒน์สกุล และคณะ (2539)



รูป 2.11 ลักษณะฝักงาและเมล็ดงา

ที่มา : มานีสา ชีระวัฒน์สกุล และคณะ (2539)





รูป 2.12 เมล็ดงาตัดขวางเพื่อแสดงส่วนต่างๆ (S = spermoderm ; ep = outer epiderm with calcium oxalate crystal ; m = inner cuticle ; E = endosperm ; C = cotyledon)  
ที่มา : Carter และคณะ (1961)

เมล็ดงาจะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังรูป 2.12 คือ

1. สเปอร์มาเดิร์ม (Spermoderm) จัดเป็นเปลือกนอกสุดของเมล็ดงา เป็นส่วนที่ประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัวตามยาวเป็นชั้นเดียว และมีผลึกของแคลเซียมออกซาเลตอยู่ที่ปลายสุดของเซลล์ แต่ละเซลล์มีรงควัตถุเป็นตัวให้สีของเปลือกงา ไม่มีโปรตีนและน้ำมันอยู่ในส่วนนี้

2. เอนโดสเปอร์ม (Endosperm) เป็นเนื้อเยื่อที่ไม่มีชีวิต ยกเว้นส่วนของเซลล์ชั้นนอกสุดที่เรียกว่า อลูโรนเลเยอร์ (Aleurone layer) เท่านั้นที่มีชีวิต โดยเอนโดสเปอร์มมีหน้าที่เป็นส่วนสะสมอาหารให้กับต้นอ่อน

3. ไบเลียง (Cotyledon) เป็นส่วนที่มีชีวิต โดยจะเป็นแหล่งสะสมอาหารเช่นเดียวกับชั้นเอนโดสเปอร์ม

โดยส่วนที่ 2 และ 3 จะประกอบด้วยโปรตีนและน้ำมัน แต่โปรตีนและน้ำมันส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของไบเลียง (เรืองเดช สุสมบุรณ, 2531; Carter และคณะ, 1961; Weiss, 1971)

### 2.7.2.1 องค์ประกอบของเมล็ดงา

เมล็ดงามีน้ำมันสูงถึง 45-63% น้ำมันงานั้นมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ส่วนเปลือกเมล็ดงาจะมีประมาณ 15-20% ซึ่งจะประกอบด้วยกรดออกซาลิก 2-3% และมีส่วนของแคลเซียม รวมถึงเส้นใยอาหารในปริมาณสูง เปลือกงาจะทำให้เกิดรสขมและกรดออกซาลิกในเปลือกงาจะเป็นสารต้านคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดส่วนของเปลือกเมล็ดงาออกก่อนนำมาทำเป็นอาหารให้กับมนุษย์ นอกจากนี้พบว่าในเมล็ดงาขาวจะมีกรดออกซาลิกอยู่น้อยกว่าในเมล็ดงาดำ และมีโปรตีนสูงกว่า ในการผลิตโปรตีนสกัดจะมีส่วนประกอบที่มีส่วนสำคัญในโปรตีนสกัดคือโปรตีนและสารต้านทานคุณค่าทางโภชนาการ

#### 2.7.2.1.1 โปรตีนเมล็ดงา

เมล็ดงามีโปรตีนสูงอยู่ในช่วง 19-31% หรือมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25% โดยโปรตีนเมล็ดงานั้นประกอบด้วยกลอบูลิน (Globulin) 65-80% ของโปรตีนทั้งหมด การสกัดโปรตีนจากเมล็ดงาจะสกัดโปรตีนที่ pH เป็นต่าง และตกตะกอนโปรตีนที่ IEPH ของโปรตีนเมล็ดงาคือที่ pH 4.8 (Johnson และคณะ, 1979) โปรตีนเมล็ดงาจัดว่าเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากมีเมทไอโอนีนอยู่สูงถึง 2.5-4.0% และมีกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์อยู่ในปริมาณสูงถึง 3.8-5.5% แต่มีไลซีนอยู่ต่ำ หากมีการเสริมด้วยไลซีนลงไปจะทำให้มีโปรตีนมีคุณภาพดียิ่งขึ้น การเสริมด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองก็จะทำให้มีคุณภาพดีเช่นกัน (Lyon, 1972) เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองจะมีไลซีนอยู่สูง

ในเมล็ดงามีสารต้านคุณค่าทางโภชนาการซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำโปรตีนเมล็ดงาไปใช้ จึงจำเป็นต้องลดปริมาณสารต้านคุณค่าทางโภชนาการลง สารต้านทานคุณค่าทางโภชนาการในเมล็ดงามีดังนี้

#### 2.7.2.1.2 สารต้านคุณค่าทางโภชนาการ

##### 2.7.2.1.2.1 กรดออกซาลิก (Oxalic acid)

กรดออกซาลิกมีอีกชื่อหนึ่งว่า กรดเอทานิดิโอนิก (Ethanedionic acid) มีสูตรเคมีว่า  $C_2H_2O_4$  มีน้ำหนักโมเลกุล 90.04 สามารถละลายได้ดีในน้ำ อัลกอฮอล์ อีเทอร์ กลีเซอรอล แต่ไม่ละลายในเบนซีน คลอโรฟอร์ม และปิโตรเลียมอีเทอร์

เมล็ดงามีหลายสิขี้นอยู่กับรวงควัดฤดูที่ให้สีในส่วนสเปอร์มาเติร์มหรือส่วนของเปลือกงา ซึ่งไม่ว่าเมล็ดงาจะมีสีใดในส่วนของเปลือกงาก็จะมีกรดออกซาลิกอยู่สูง 2-3% (Carter และคณะ, 1961) กรดออกซาลิกเป็นสารต้านคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากกรดออกซาลิกสามารถจับกับแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม ทำให้ร่างกายไม่สามารถนำแร่ธาตุนั้นไปใช้ได้ อีกทั้งสารประกอบนี้อาจก่อให้เกิดนิ่วได้ และยังสามารถทำให้เกิดอาการท้องเสีย อาเจียน และถึงแก่ชีวิตได้ จึงมีการศึกษาการลดปริมาณกรดออกซาลิกจากเมล็ดงา (Budarari, 1989)

ในปีค.ศ.1969 Shamanthaka Sastry, Subramanian และ Rajagopalan ได้ศึกษาการลดปริมาณกรดออกซาลิกโดยกำจัดเปลือกเมล็ดงา พบว่าการนำเมล็ดงามาแช่ในสารละลายต่างจะช่วยลดเปลือกเมล็ดงาออกได้ ทำให้สามารถลดปริมาณกรดออกซาลิกลง การลดเปลือกงาต้องไม่ใช้สารละลายต่างในความเข้มข้นสูง หรือใช้เวลาในการแช่เมล็ดงานานเกินไป เพราะเมล็ดงาที่ได้หลังการแช่จะมีสีคล้ำขึ้นโดยจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองน้ำตาล

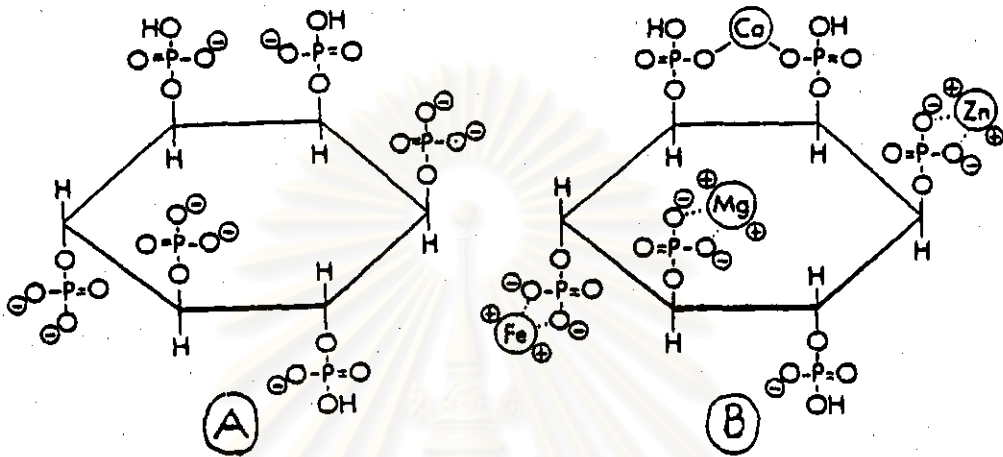
นอกจากนี้ Carter และคณะ (1961) ยังพบว่าการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดงาแล้วนำกากเมล็ดงามาร้อนด้วยตะแกรงจะช่วยแยกเปลือกเมล็ดงาออกได้ ทำให้มีปริมาณกรดออกซาลิกลดลงเช่นเดียวกัน

#### 2.7.2.1.2.2 กรดไฟติก (Phytic acid)

กรดไฟติกเป็นองค์ประกอบสำคัญในเมล็ดพืช พบประมาณ 1-3% ของน้ำหนัก กรดนี้มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบทั้งหมดประมาณ 60-90% ตามปกติจะจับกับเกลือแคลเซียม-แมกนีเซียม-โปแตสเซียม และเรียกสารประกอบนี้ว่าไฟทิน (Phytin) มักพบในส่วนของอเลอโรนเลเยอร์ (Aleurone layer) ของธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าวสาร และเมล็ดข้าวโพด เป็นต้น กรดไฟติกนี้มีความสำคัญในการป้องกันไม่ให้เมล็ดถูกทำลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative damage) ระหว่างการเก็บรักษา (Graf, 1983a,b)

กรดไฟติกหรือกรดอินซิทอลเฮกซาฟอสฟอริก (Inositolhexaphosphoric acid หรือ myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakis(dihydrogen phosphate)) มีสูตรทางเคมีคือ  $C_6H_{18}O_{24}P_6$  มีน้ำหนักโมเลกุล 660.08 มีสูตรโครงสร้างดังรูป 2.13 (Graf, 1983b) สามารถละลายได้ในน้ำที่ผสมด้วยอัลกอฮอล์และอีเธอร์ กรดไฟติกจะตกตะกอนในช่วง pH ที่เป็นกรด แต่ที่ pH เป็นกลางและเป็นด่างจะอยู่ในรูปของสารประกอบกับแคทไอออน (Polyvalent cations) ทำให้ไม่ละลายน้ำ (Graf, 1983b; Grynspan และ Cheryan,

1983) ซึ่งการจับตัวกับเกลือแร่เองทำให้ร่างกายไม่สามารถนำเกลือแร่ไปใช้ได้ (Budarant, 1989)



รูป 2.13 สูตรโครงสร้างของกรดไฟติก (A) และ การจับกับแร่ธาตุของกรดไฟติกที่ pH 7 (B) ที่มา : Graf (1983b) และ Erdman Jr. (1979)

ในปีค.ศ. 1987 Taha, Fahmy และ Sadek (b) ได้ รายงานว่าการสกัดโปรตีนเมล็ดงาที่ pH 8 ขึ้นไปและตกตะกอนโปรตีนที่ pH 5.4 จะได้โปรตีน สกัดที่ปราศจากไฟเตต เนื่องจากไฟเตตมีความสามารถในการละลายได้ดีในช่วง pH 5.4-5.5 แต่มีความสามารถในการละลายต่ำในช่วง pH ที่ต่างกัน ในขณะที่โปรตีนมีความสามารถในการ ละลายสูง จึงทำให้สามารถผลิตโปรตีนเมล็ดงาที่มีปริมาณไฟเตตต่ำได้

### 2.7.3 เมล็ดถั่วเหลือง

ชาวจีนได้บันทึกเรื่องราวของถั่วเหลืองไว้ในตำราเกี่ยวกับยาเมื่อประมาณ 2,834 ปีก่อนคริสตกาล ซึ่งต่อมาได้แพร่กระจายไปยังเกาหลี ญี่ปุ่น เมื่อประมาณ 2,000 ปีที่ผ่านมา ในปีค.ศ. 1790 ได้มีการแพร่ไปสู่ยุโรป และปลูกที่ประเทศอังกฤษเป็นแห่งแรก แต่สภาพดินฟ้าอากาศไม่เหมาะต่อการเพาะปลูก ในปีค.ศ. 1840 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทดลอง ปลูกถั่วเหลืองเป็นครั้งแรกที่รัฐเพนซิลวาเนีย ซึ่งถั่วเหลืองสามารถเจริญได้ดี ในปัจจุบันประเทศ สหรัฐเป็นประเทศที่มีการผลิตถั่วเหลืองสูงเป็นอันดับที่ 1 ส่วนประเทศบราซิลสามารถผลิตได้ เป็นอันดับ 2 ของโลก และประเทศจีนสามารถผลิตได้เป็นอันดับ 3 ของโลก

ในประเทศไทยไม่ทราบแน่ชัดว่า ถั่วเหลืองแพร่มาในสมัยใด ได้มีผู้สันนิษฐานว่าชาวจีนอพยพลงมาถั่วเหลืองเข้ามาในสมัยกรุงเทพฯ แต่ในปีพ.ศ. 2473 ได้เริ่มมีการส่งเสริมให้มีการปลูกถั่วเหลือง

ถั่วเหลือง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* (L) Merrill อยู่ในวงศ์ Leguminosae มีถิ่นกำเนิดกระจายอยู่ตั้งแต่เอเชียตะวันออกเฉียงและหมู่เกาะต่าง ๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิก ไปจนถึงทวีปออสเตรเลีย

ถั่วเหลืองเป็นพืชล้มลุกที่ผสมตัวเองได้ เมื่อมีการผสมเกสรแล้วดอกจะร่วง รังไข่จะขยายตัวเป็นฝัก เปลือกหุ้มรังไข่จะกลายเป็นเปลือกฝัก (Pod) ซึ่งมีฝัก 2 ชั้นประกบกัน เมล็ดจะเกิดจากรังไข่ที่ผสมแล้ว เมื่อเมล็ดเจริญเต็มที่ ฝักจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและเป็นสีน้ำตาลในที่สุด เมื่อฝักแก่จะแตกให้เมล็ดถั่วเหลือง มีรูปร่างกลมตันหนึ่งอีกด้านจะเว้าเข้า (อาวุธ ณ ลำปาง, 2523.)

### 2.7.3.1 องค์ประกอบของเมล็ดถั่วเหลือง

ในเมล็ดถั่วเหลืองจะมีน้ำมัน 16-18% ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูง เพราะมีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายในปริมาณสูง และพบว่าในถั่วเหลืองไม่มีสตาร์ช (Starch) มนุษย์นำคาร์โบไฮเดรตในถั่วเหลืองไปใช้ประโยชน์ได้น้อย จึงเหมาะกับผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน อีกทั้งถั่วเหลืองยังมีเกลือแร่และวิตามินต่าง ๆ สูง โดยเฉพาะแคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และโปแตสเซียม เมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนสูงจึงเหมาะที่จะนำมาสกัดโปรตีน แต่นอกจากโปรตีนแล้วในถั่วเหลืองยังมีสารต้านคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งจะกล่าวต่อไป

#### 2.7.3.1.1 โปรตีนเมล็ดถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลืองจะมีโปรตีนสูงถึง 40% (Wolf, 1972) โดยโปรตีนส่วนใหญ่จะเป็นกลอบูลิน (Globulin) ถึง 90% สามารถแยกออกโปรตีนออกตามขนาดของโมเลกุลของโปรตีนได้เป็น 2S 7S 11S และ 15S fraction เมื่อพิจารณาคุณภาพของโปรตีนถั่วเหลือง พบว่าโปรตีนถั่วเหลืองเป็นแหล่งของไลซีนอย่างดี แต่จะมีปริมาณเมทไอโอนีนและทริฟโตเฟนต่ำ โปรตีนถั่วเหลืองเป็นโปรตีนที่มีการใช้ในอาหารมาก

#### 2.7.3.1.2 สารต้านคุณค่าทางโภชนาการ

ถั่วเหลืองมีสารต้านคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญดังนี้คือ

### 2.7.3.1.2.1 สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน

(Trypsin inhibitor, TI)

เป็นสารที่มีโครงสร้างเป็นโพลีเปปไทด์ของกรดอะมิโนต่อกันเป็นสายยาว มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 52,000 (Budarari, 1989) แม้ว่าสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินจะเป็นสายโพลีเปปไทด์ แต่มนุษย์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ เนื่องจากสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินมีพันธะไดซัลไฟด์เป็นจำนวนมาก ทำให้โครงสร้างจับตัวกันแน่นจนน้ำย่อยไม่สามารถย่อยสลายได้ อีกทั้งเมื่อทดลองกับสัตว์ทดลองพบว่า สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินจะลดการเจริญเติบโตในสัตว์ทดลอง เนื่องจากทำให้เกิดการสูญเสียกรดอะมิโนจำเป็นของเอนไซม์ (Enzyme) ที่ถูกสร้างขึ้นมาจากตับอ่อน เป็นสาเหตุที่ทำให้ตับอ่อนในสัตว์ทดลองโตอีกด้วย

ในปีค.ศ. 1966 Rackis ได้ศึกษาการยับยั้งความสามารถของสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน พบว่าการให้ความร้อนต่อกากเมล็ดถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที สามารถทำลายสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินได้เป็นอย่างดี เพราะความร้อนจะไปทำลายพันธะไดซัลไฟด์ในโครงสร้างของสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน

### 2.7.3.1.2.2 กรดไฟติก

มีลักษณะต่างๆ เช่นเดียวกับกรดไฟติกในเมล็ดงา จึงจำเป็นที่จะต้องกำจัดออกไป

ในปีค.ศ. 1979 de Rham และ Jost พบว่าการสกัดโปรตีนจากกากเมล็ดถั่วเหลืองและตกตะกอนโปรตีนที่ pH 5.5 จะได้โปรตีนที่ปราศจากกรดไฟติก และในปีเดียวกัน Hartman, Jr. ได้ศึกษาการกำจัดกรดไฟติกออกจากโปรตีนถั่วเหลือง พบว่ากรดไฟติกจะถูกกำจัดได้ โดยสกัดโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่ pH 9-12 เนื่องจากเป็น pH ที่กรดไฟติกไม่สามารถละลายน้ำ จึงสามารถแยกส่วนของกรดไฟติกออกได้

### 2.7.3.1.2.3 ฮีแมกกลูตินิน (Hemagglutinin)

ฮีแมกกลูตินินเป็นสารประกอบไกลโคโปรตีน มีน้ำหนักโมเลกุล 110,000 ประกอบด้วย 2 สายเปปไทด์ ฮีแมกกลูตินินสามารถทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของเม็ดเลือดแดงในกระต่ายและหนูทดลอง สาเหตุของการเกิดการจับตัวเป็นก้อน

ของเม็ดเลือดแดงนั้นยังไม่มีที่ยืนยันว่าเกิดจากเหตุใด เนื่องจากสารฮีแมกกลูตินินถูกทำลายได้อย่างรวดเร็วด้วยน้ำย่อยเปปซิน ทำให้สารนี้ไม่ผ่านลงไปในลำไส้ จึงไม่มีการดูดซึมสารฮีแมกกลูตินินเข้าสู่กระแสเลือด อีกทั้งสารฮีแมกกลูตินินมีขนาดโมเลกุลใหญ่ การดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดย่อมเป็นไปได้ยาก พบว่าสารฮีแมกกลูตินินจะถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ  $120^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที หรือการนึ่งด้วยหม้อความดัน (Liener, 1967)

#### 2.7.3.1.2.4 ซาโปนิน (Saponin)

เป็นสารประกอบไกลโคไซด์ของไตรเทอเพนอยด์อัลกอฮอล์ (Complex glycosides of triterpenoid alcohols) สารซาโปนินไม่ละลายในเฮกเซน พบสารนี้ 0.5% ในตัวเหลือง และ 0.6% ในกากเมล็ดถั่วเหลือง จากการศึกษาพบว่าสารซาโปนินในระดับ 0.5-3% ของอาหารจะไม่เกิดอันตรายในไก่และหนูทดลอง และเมื่อตรวจสารซาโปนินในเลือดของสัตว์ทดลองไม่พบสารซาโปนินอยู่เลย จึงสันนิษฐานว่าสารซาโปนินไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก และเมื่ออยู่ในลำไส้ใหญ่จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารซาโปนิน จึงทำให้ไม่พบสารซาโปนินในเลือด (Meyer, 1970)

### 2.8 สมบัติการใช้งานของโปรตีน (Functional properties of protein)

โปรตีนมีหน้าที่สำคัญ 2 ส่วน คือหน้าที่เป็นสารอาหารและหน้าที่เป็นสารปรุงแต่ง ส่วนหน้าที่ประการที่สองเกี่ยวข้องกับการประกอบอาหารโดยตรง เป็นหน้าที่ที่ต้องอาศัยสมบัติของโปรตีนที่เรียกว่า สมบัติการใช้งาน (Functional properties) ดังตาราง 2.3

นอกจากนี้โปรตีนจะมีบทบาททางโภชนาการแล้วยังมีบทบาทในการประกอบอาหารด้วย โดยทำให้อาหารมีสี กลิ่น รส และลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไป

### ตาราง 2.3 สมบัติการใช้งานของโปรตีนในอาหาร

สมบัติการใช้งาน	วิธีการทำงาน	อาหารที่เกี่ยวข้อง
การละลาย	ทำให้อาหารละลายน้ำ ขึ้นกับ pH	เครื่องดื่ม
การดูดซับน้ำและ การจับตัวกับน้ำ	เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ เก็บ กักน้ำ	เนื้อสัตว์ ไส้กรอก ขนมปั่น ขนมเค้ก
การเพิ่มความหนืด	ทำให้อาหารข้นขึ้น จับน้ำไว้	ซूप
การเกิดเจล	ทำให้เกิดโครงสร้างกับผลิตภัณฑ์	เนื้อสัตว์ เต้าหู้อ่อน เนยแข็ง
การเกาะตัว-การเกาะติด	ทำหน้าที่เหมือนกาว	เนื้อสัตว์ ไส้กรอก ขนมอบ
การเพิ่มความยืดหยุ่น	เกิดพันธะไฮโดรเจนในกลูเตนและ พันธะไดซัลไฟด์	เนื้อสัตว์ ขนมอบ
การเกิดอิมัลชัน	ทำให้ไขมันกระจายตัวในอิมัลชัน	ไส้กรอก ซุป เค้ก
การดูดซับไขมัน	เกาะตัวกับน้ำมัน	เนื้อสัตว์ ไส้กรอก โดนัท
การเกาะตัวกับสารให้กลิ่น	เกิดการดูดซับ เก็บกักกลิ่น	ชิ้นเนื้อเทียม ขนมอบ
การเกิดโฟม	ทำให้เกิดฟิล์มรอบๆ ฟองอากาศ	แองเจิลเค้ก

ที่มา : Pomeranz (1991)

#### สมบัติการใช้งานที่สนใจศึกษาในงานวิจัยนี้มีดังนี้

##### 2.8.1 การละลาย (Solubility)

โปรตีนมีขนาดโมเลกุลใหญ่ เมื่อใส่ลงในน้ำจะไม่เกิดสารละลายอย่างแท้จริง แต่จะเป็นคอลลอยด์ (Colloid) แต่นักวิทยาศาสตร์จะใช้คำว่า การละลาย ซึ่งตามความจริงแล้วเป็นเพียงการกระจายตัวในน้ำ การละลายน้ำของโปรตีนขึ้นกับ pH กำลังไอออนิก และอุณหภูมิ ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 2.6 (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

การละลายของโปรตีนเป็นสิ่งที่ชี้ให้ทราบถึงสมบัติการใช้งานอื่น ๆ หากโปรตีนมีการละลายที่ดีจะช่วยให้เกิดอิมัลชัน และเกิดโฟมได้ดี



โปรตีนที่ตกตะกอนแล้วนำมาละลายอีกครั้งก่อนนำไปทำแห้งจะเป็นโปรตีนที่มีความสามารถในการละลายดีกว่าโปรตีนที่ตกตะกอนแล้วทำแห้งทันที เนื่องจากโมเลกุลรอบนอกของโปรตีนหลังตกตะกอนจะเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือไม่มีขั้ว ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายต่ำ การละลายโปรตีนอีกครั้งก่อนทำแห้งจะเป็นการเพิ่มประจุให้กับโมเลกุลทำให้มีความสามารถในการละลายได้ดีขึ้น จึงสามารถนำไปใช้ในอาหารได้ดี โดยเฉพาะอาหารประเภทเครื่องดื่ม (Taha, El-nockrashy, Mohamed และ Wagdy, 1987)

### 2.8.2 การดูดซับน้ำ (Water absorption)

การดูดซับน้ำของโปรตีนเป็นผลให้อาหารเกิดการเกาะตัว กล่าวคือโปรตีนจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้อาหารรวมตัวกัน สามารถป้องกันองค์ประกอบที่ระเหยได้ไม่ให้ระเหยออกไป ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับน้ำของโปรตีนคือ ประจุและขนาดของโมเลกุลโปรตีน (Kinsella, 1976)

โปรตีนสามารถจับตัวกับน้ำได้ เนื่องจากกลุ่มในโคโรเจนของโมเลกุลโปรตีนและออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เป็นอิเล็กตรอนที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ ในโคโรเจนที่พันธะเปปไทด์และในโคโรเจนที่กลุ่มอะมิโนอิสระก็มีสภาพเช่นเดียวกัน คือมีประจุบวกที่สามารถเกิดพันธะกับออกซิเจนของน้ำได้ นอกจากนี้โมเลกุลของน้ำยังสามารถจับตัวกันเองได้ด้วย โปรตีนจึงมีโมเลกุลน้ำเกาะอยู่มีความหนาแน่นมากกว่า 1 ชั้น (Kinsella, 1976)

วิธีในการตกตะกอนโปรตีนจะมีผลต่อการดูดซับน้ำ โปรตีนที่ตกตะกอนที่ IEPH จะสูญเสียความเป็นประจุที่รอบ ๆ โมเลกุล ทำให้ความสามารถในการเกิดพันธะกับโมเลกุลของน้ำลดลง ความสามารถในการดูดซับน้ำจะน้อยกว่าโปรตีนที่ตกตะกอนที่ IEPH แล้วนำมาละลายอีกครั้ง เพราะการละลายอีกครั้งจะทำให้โมเลกุลโปรตีนมีประจุเพิ่มขึ้น ความสามารถในการเกิดพันธะกับน้ำก็จะดีขึ้น Wang และ Kinsella (1976)

### 2.8.3 การดูดซับน้ำมัน (Fat absorption)

การดูดซับน้ำมัน ขึ้นกับโครงสร้างของโปรตีน ได้แก่ ขนาดของโปรตีน ประจุของโมเลกุลโปรตีน ชนิดของน้ำมัน และการกระจายตัวของน้ำมัน โปรตีนที่ไม่มีประจุจะจับตัวกับไขมันได้ดี ซึ่งการดูดซับน้ำมันเกิดจากน้ำมันกระจายตัวเข้าสู่ส่วนของโปรตีน (Vojdani, 1996) การจับตัวของโปรตีนกับไขมันมีความสำคัญมากสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อเทียมหรือโปรตีนสำหรับผสมกับเนื้อสัตว์ โดยจะทำให้ผลิตภัณฑ์พวกนี้มีลักษณะสีนวลใต้ออกในปาก ทำให้มีความรู้สึกที่ดีเมื่อรับประทาน (Kinsella, 1976)

ในปีค.ศ. 1980 Manak Lawhon และ Lusas พบว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองจะดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าโปรตีนจากเมล็ดฝ้ายและโปรตีนจากถั่วลิสง

#### 2.8.4 การเกิดอิมัลชัน (Emulsion properties)

ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดจะมีโปรตีนเป็นส่วนผสมและอยู่ในลักษณะอิมัลชัน เช่น ไข่กรอก มายองเนส หมูยอ เป็นต้น อาหารเหล่านี้จะใช้โปรตีนเป็นอิมัลซิไฟเออร์ โปรตีนจะมีส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ(ไม่มีประจุ) และอีกส่วนเป็นส่วนที่ชอบน้ำ(มีประจุ) หรือเรียกสารประเภทนี้ว่า สารแอมฟิฟิลิก (Amphiphilic) สารเหล่านี้จะแทรกตัวเข้าไปอยู่ที่หน้าสัมผัส โดยจัดตัวให้ส่วนที่ชอบน้ำ เช่นกลุ่ม  $-OH$  และกลุ่ม  $-COOH$  หันไปทางน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำเช่น ไฮโดรคาร์บอน จะหันไปทางน้ำมัน ทำให้น้ำหรือน้ำมันไม่สามารถเข้าใกล้กันได้ นอกจากนี้การจัดตัวของโมเลกุลของสารพวกนี้ยังทำให้น้ำหรือน้ำมันเคลื่อนที่ได้ช้าลง ความอยู่ตัวของอิมัลชันจึงมากขึ้น (Pomeranz, 1991)

ในปีค.ศ. 1976 Kinsella พบว่าโปรตีนแต่ละชนิดมีความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกต่างกันไป โปรตีนที่ละลายน้ำได้ดีจะมีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์มากขึ้น นอกจากนั้นการเติมเกลือก็ทำให้ความสามารถในเชิงสารอิมัลซิไฟเออร์ดีขึ้นด้วย เนื่องจากโปรตีนจะละลายน้ำได้ดีขึ้น (Dench, Rivas และ Caygill, 1981.)

สมบัติการเกิดอิมัลชันนั้นนอกจากจะขึ้นกับความเป็นประจุของโปรตีนแล้ว ยังขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ละลายโปรตีน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ ชนิดของน้ำมัน อุณหภูมิ ความเร็วของการผสม รวมทั้ง pH อีกด้วย (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

#### 2.8.5 การเกิดโฟม (Foaming properties)

อาหารหลายชนิดต้องการลักษณะเนื้อที่ฟูและเบา ทำให้ต้องผสมโฟมลงไปหรือตีให้เกิดโฟม โดยปกติโฟมในอาหารเป็นฟองอากาศที่ถูกห่อหุ้มด้วยของเหลวที่มีสารช่วยให้เกิดฟอง สารนี้จะทำหน้าที่ลดความตึงผิวของของเหลวให้ต่ำลง สารจะเข้าไปอยู่ที่ผิวสัมผัสระหว่างฟองอากาศและของเหลว โดยจะห่อหุ้มฟองอากาศไว้และเกิดเป็นเยื่อบางที่มีความเหนียวมากพอที่จะป้องกันไม่ให้ฟองอากาศแตกและรวมตัวกันได้อีก นอกจากนี้ยังมีสมบัติเป็นสารช่วยกระจายไขมันอีกด้วย โปรตีนหลายชนิดทำหน้าที่เป็นสารช่วยให้เกิดฟองที่ดี ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟมของโปรตีน ได้แก่ แหล่งโปรตีน วิธีการเตรียมโปรตีน องค์ประกอบของโปรตีน การละลาย ความเข้มข้น pH อุณหภูมิ ปริมาณน้ำตาล และปริมาณไขมัน ทำให้การศึกษาการเกิดโฟมของโปรตีนมีปัญหามาก ผลของการศึกษาไม่สอดคล้องกันมากนัก (Kinsella, 1976)

โปรตีนจากพืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการเกิดโฟมที่ต่างกัน ในปีค.ศ. 1980 Manak และคณะ พบว่าโปรตีนจากถั่วลิสงไม่มีสมบัติในการเกิดโฟม ในขณะที่โปรตีนจากถั่วเหลืองจะมีความสามารถในการเกิดโฟมสูงกว่าโปรตีนจากเมล็ดฝ้าย

การเติมน้ำตาล จะช่วยลดความสามารถในการเกิดโฟม แต่จะช่วยรักษาความเสถียรของโฟมที่ได้ เนื่องจากน้ำตาลจะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับสารละลาย เมื่อตีให้ขึ้นฟูจะทำให้เกิดเยื่อบางที่มีความเหนียวสูงขึ้น จึงสามารถป้องกันการรวมตัวของฟองอากาศ จึงช่วยรักษาความเสถียรของโฟมให้สูงขึ้น (Dench และคณะ, 1981.)

pH จะมีผลต่อการเกิดโฟม พบว่าโปรตีนจากถั่วเหลืองที่ pH 3 จะมีความสามารถในการเกิดโฟมสูงกว่าที่ pH 7 และ 9 (Chen และ Morr, 1985) เนื่องจากโปรตีนที่ IEPH จะมีความหยุ่นสูงสุด ทำให้โฟมมีความอยู่ตัวดีที่สุด

## 2.9 การปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนสกัด

จากข้อ 2.4 โปรตีนจากพืชมีการขาดกรดอะมิโนจำเป็นในโปรตีน หรือมีความบกพร่องของกรดอะมิโนจำเป็นเป็นผลให้คุณภาพของโปรตีนต่ำ จึงมีการเพิ่มคุณภาพของโปรตีน โดยการเสริมกรดอะมิโนจำเป็นที่ขาดเพื่อปรับปรุงคุณภาพของโปรตีน ซึ่งความบกพร่องของกรดอะมิโนจำเป็นนี้สามารถแก้ไขได้ ดังนี้คือ

### 2.9.1 การเสริมด้วยกรดอะมิโนสังเคราะห์

เป็นการเสริมกรดอะมิโนจำเป็นที่บกพร่องนั้นด้วยกรดอะมิโนจำเป็นสังเคราะห์ชนิดเดียวกับที่ขาดในโปรตีนนั้นๆ ซึ่งจะช่วยเพิ่มคุณภาพของโปรตีน โดยจะปรับปรุงกรดอะมิโนจำเป็นเท่านั้น (Bressani, 1974)

ในปีค.ศ. 1973 Badenhop และ Hackler เสริมเมทไอโอนีนลงในน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าการเสริมเมทไอโอนีนจะช่วยเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่ได้เสริมเมทไอโอนีน และในปีเดียวกัน Slump และ Schreuder ได้เสริมเมทไอโอนีนลงในโปรตีนเคซีน ซึ่งทำให้คุณภาพของโปรตีนสูงขึ้น

### 2.9.2 การเสริมด้วยโปรตีนจากแหล่งอื่นๆ

เป็นการเสริมโปรตีนจากแหล่งอื่นๆ ที่มีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่ขาดลงในโปรตีนที่มีกรดอะมิโนบกพร่อง ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มคุณภาพของโปรตีนแล้ว ยังช่วยให้มี

ปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบซึ่งมีอยู่ในท้องถิ่นเป็นหลัก อันจะเป็นการช่วยแก้ปัญหาในทางเศรษฐกิจอีกด้วย(Bressani, 1974; สมชาย ประภาวัต, 2523)

การเสริมโปรตีนจากแหล่งอื่นๆ นี้จะเกิดผลได้ 4 ลักษณะซึ่งแสดงในรูป

#### 2.14 ดังนี้

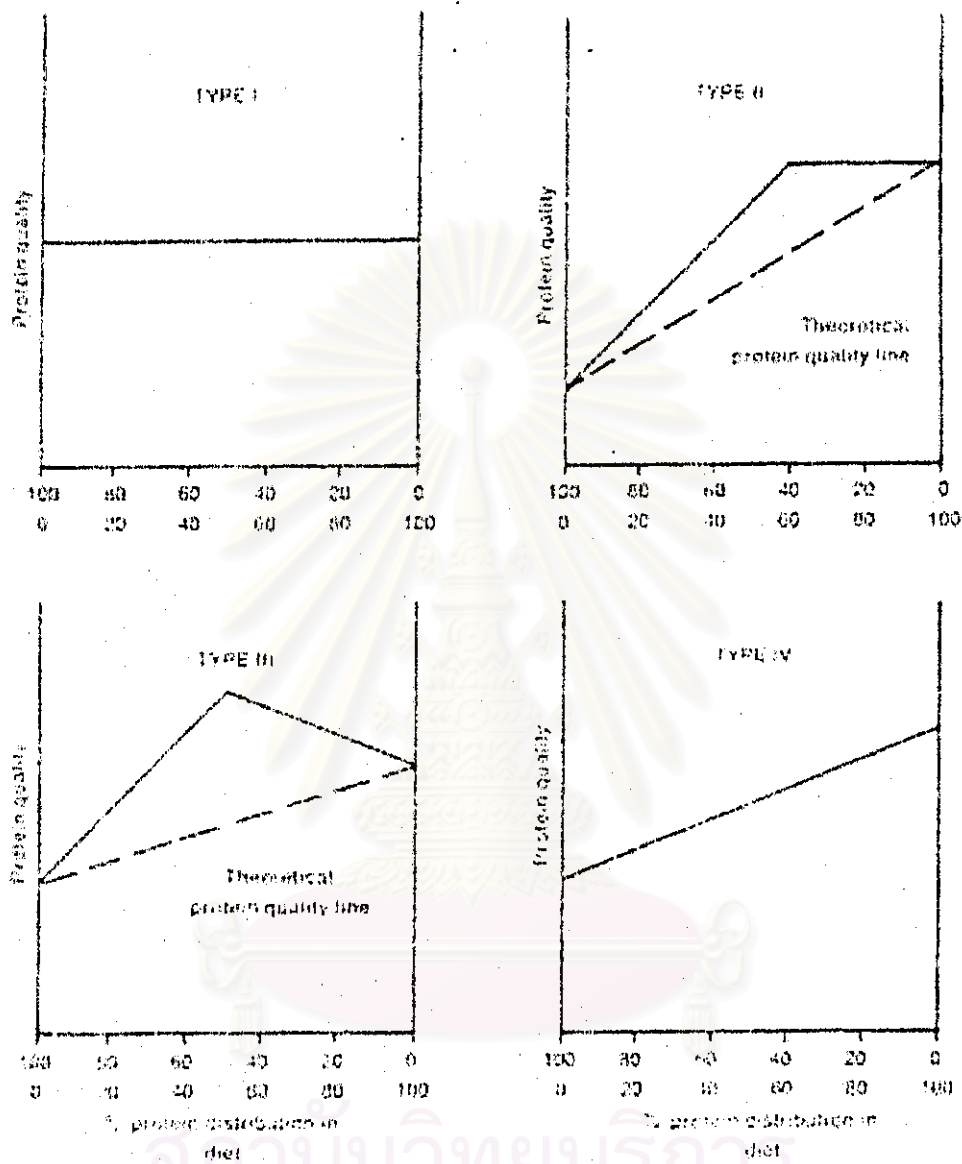
2.9.2.1 ชนิดที่ 1 (Type I) เป็นการนำโปรตีนจาก 2 แหล่งที่มีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นเท่ากันมาผสมกัน โดยคุณภาพของโปรตีนหลังผสมจะไม่แตกต่างกับคุณภาพของโปรตีนที่ไม่ได้ผสม ดังรูป 2.14(A) พบว่าคุณภาพของโปรตีนไม่ต่างกันทั้งในโปรตีนที่ผสมกันทั้ง 2 แหล่งหรือโปรตีนเพียงชนิดเดียว

2.9.2.2 ชนิดที่ 2 (Type II) เมื่อผสมโปรตีนจาก 2 แหล่งแล้ว โปรตีนชนิดที่มีคุณภาพต่ำจะมีคุณภาพสูงขึ้น ในขณะที่โปรตีนที่มีคุณภาพสูงกว่าจะมีคุณภาพคงที่จนถึงจุดหนึ่งคุณภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการเสริมโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำมากเกินไป (ดังรูป 2.14(B))

2.9.2.3 ชนิดที่ 3 (Type III) เป็นการผสมที่ทำให้คุณภาพของโปรตีนหลังผสมทั้ง 2 ชนิดมีคุณภาพดีขึ้น (ดังรูป 2.14(C)) พบได้ในการเสริมโปรตีนจากธัญพืช (Cereal) กับโปรตีนจากถั่ว (Legume)

2.9.2.4 ชนิดที่ 4 (Type VI) เป็นการผสมโปรตีนที่เกิดความสมดุลของกรดอะมิโน กล่าวคือผสมโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่ขาดลงในโปรตีนที่มีกรดอะมิโนชนิดนั้นสูง ทำให้ปริมาณของกรดอะมิโนใกล้เคียงมาตรฐานกำหนด โดยโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำจะมีคุณภาพเพิ่มขึ้น เมื่อผสมโปรตีนที่มีคุณภาพสูงในปริมาณมากขึ้น แต่โปรตีนที่มีคุณภาพสูงจะมีคุณภาพลดต่ำลง หากมีการผสมโปรตีนคุณภาพต่ำมากขึ้น (ดังรูป 2.14(D))

คุณภาพของโปรตีนหลังผสมตามชนิดที่ 2 และ 3 จัดว่าเป็นการทำให้โปรตีนมีคุณภาพสูงขึ้น โดยการผสมโปรตีนแบบชนิดที่ 3 จะให้โปรตีนมีคุณภาพสูงกว่าการผสมโปรตีนแบบชนิดที่ 2 (Bressani, 1974)



**รูป 2.14** คุณภาพของโปรตีนหลังผสมโปรตีนจากโปรตีน 2 แหล่ง  
ที่มา : Bressani (1974)

ในปีค.ศ. 1980 Steinke, Prescher และ Hopkins ได้ศึกษาการผสม  
 โปรตีนถั่วเหลืองกับอาหารโปรตีนชนิดอื่นๆ พบว่าคุณภาพของโปรตีนหลังการผสมแบบชนิดที่  
 1 พบได้เมื่อผสมโปรตีนถั่วเหลืองกับแป้งถั่วลิสงหรือผสมกับแป้งมันฝรั่ง ส่วนคุณภาพของ  
 โปรตีนหลังการผสมแบบชนิดที่ 2 พบได้เมื่อผสมโปรตีนถั่วเหลืองกับแป้งสาลี หรือไข่ขาวหรือ  
 ไข่ทั้งฟอง และพบว่าคุณภาพของโปรตีนหลังการผสมแบบชนิดที่ 3 จะเกิดขึ้นเมื่อผสมโปรตีน  
 ถั่วเหลืองกับกากข้าวโพด หรือ โปรตีนจากข้าวโพด หรือ แป้งเมล็ดฝ้าย หรือ แป้งข้าวโอ๊ต หรือ  
 แป้งข้าวเจ้า หรือ แป้งงา นอกจากนี้ยังพบว่าคุณภาพของโปรตีนหลังการผสมแบบชนิดที่ 4 เมื่อ  
 ผสมโปรตีนถั่วเหลืองกับถั่วอบ (Bean, bake)



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย