บทที่ 2
ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. เทมเป้ (Tempeh)

เทมเป้ (Tempeh) เป็นอาหารหมักพื้นบ้านที่นิยมรับประทานกันมากของชาวอินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปินส์ ซึ่งได้จากการนำเอาถั่วเหลืองที่แช่น้ำไว้แล้วกะเทาะเปลือกออก และนำมาหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* จนกระทั่งถั่วเหลืองจับกันเป็นก้อนและมีเส้นใยสีขาวปกคลุมหนาแน่น (วราวุฒิ ครูส่ง, 2530) ส่วนในประเทศไทยในทางภาคเหนือนั้นมี “ถั่วเน่า” ที่ใช้ในการประกอบอาหารซึ่งจะมีวิธีทำคล้ายเทมเป้มากโดยการนำถั่วเหลืองไปต้มให้สุกแล้วห่อด้วยใบตองหรือใบสักและเก็บไว้นาน 3-4 วัน ไม่ต้องใส่กล้าเชื้อแต่เป็นการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอากาศตามธรรมชาติถั่วเน่านี้มีอยู่ 2 ชนิดคือ ถั่วเน่าชนิดแห้ง (โดยการตากแดด) เรียกว่าถั่วเน่าเค็มและถั่วเน่าแผ่นและถั่วเน่าชนิดเปียกเรียกถั่วเน่าเบอะ (อมรรัตน์ เจริญชัย, 2527)

เทมเป้จัดเป็นอาหารมังสวิรัติที่ได้รับความนิยมสูง (Shurtleff และ Aoyagi, 1979) เนื่องจากเทมเป้เป็นแหล่งอาหารประเภทโปรตีน วิตามินและเกลือแร่สูง แม้ว่าถั่วเหลืองจะมีแหล่งอาหารที่มีโปรตีนและสารอาหารที่สูงอยู่แล้วก็ตาม แต่เมื่อถั่วเหลืองผ่านการหมักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในถั่วเหลืองทำให้คุณค่าทางโภชนาการในถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นและเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* จะไปทำลายกลิ่น รส และเอนไซม์ที่ไม่ต้องการ นอกจากนั้นเทมเป้ยังถูกย่อยสลายได้ง่าย มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น เพิ่มค่าองค์ประกอบของสารอาหารในเทมเป้มากกว่าถั่วเหลืองทั่วไป (นภา โล่ห์ทอง, 2535)

2.1.1. ชนิดของเทมเป้ (Varietes of tempeh)

ในอินโดนีเซีย มีการทำเทมเป้จากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น เทมเป้ Kedelai ซึ่งทำมาจากถั่วเหลือง เทมเป้ Gembus ทำมาจาก Okara ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมนมถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ที่ใช้เตรียม tofu เทมเป้ Bongkrek ทำมาจากมะพร้าว ส่วนเทมเป้ Bungkil ทำจากถั่วลิสง (Liu, 1997) เทมเป้ bengook ทำจากเมล็ด *Mucuna pruriens* var.*utilis* เทมเป้ koro ทำจากเมล็ดของ *phaseolus lunatis* และ เทมเป้ lamtoro ทำมาจากเมล็ดของ *Leucaenaleucocephala (L.glauca)* เทมเป้ morrie ทำจากส่วนผสมระหว่างถั่วเหลืองกับ partly defatted coconut และเทมเป้ tjenggeregn ทำจาก partly defatted coconut แต่ที่นิยมมากที่สุดคือเทมเป้จากถั่วเหลือง (วราวุฒิ ครูส่ง, 2530) นอกจากนี้ประเทศอื่นๆในโลกก็ยังมีผลิตภัณฑ์เลียนแบบเทมเป้ขึ้นมา โดยการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างไป แต่ยังไม่ได้ผลิตเป็นการค้าเพียงแต่ทำในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งเทมเป้

เหล่านี้ส่วนใหญ่ทำมาจากถั่วในสปีชีส์ ต่าง ๆ และพวกธัญพืช ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง เป็นต้น (Hachmeister และ Fung, 1993)ซึ่งเทมเป้แต่ละชนิดต่างมีองค์ประกอบของสารอาหารต่างๆ แตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

2.1.2. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเทมเป้

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเทมเป้ เช่น ถั่วเหลืองสายพันธุ์ต่างกัน จะมีความแตกต่างกันทั้งทางด้านลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี ภาชนะที่ใช้สำหรับการทำเทมเป้ในห้องปฏิบัติการแล้ว สามารถใช้ Petri dish หรือจานเพาะเชื้อเป็นภาชนะ (Liu, 1997)

2. เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักเทมเป้ เชื้อราที่นิยมใช้หมักเทมเป้คือ *Rhizopus oligosporus* ซึ่งเป็นเชื้อราที่ใช้ในรูปของ suspension ที่ได้จากการทำ pure culture (Liu, 1997)

3. อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก เป็นปัจจัยวิกฤติอย่างหนึ่งของการเจริญเติบโตของเชื้อรา อุณหภูมิที่ดีที่สุดในการหมักเทมเป้ คือ อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องปฏิบัติการเล็กน้อยหรืออยู่ในอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการหมักเทมเป้ในช่วง 30-37 องศาเซลเซียส (Liu, 1997) แต่ Shurtleff และ Aoyagi (1979) ได้กล่าวว่าที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าหรือในช่วง 31-32 องศาเซลเซียส จะให้กลิ่นรสที่ดีกว่า 37 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงอาจทำให้มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราที่เป็นอันตรายได้

4. ความชื้น สุจินดา สุวรรณกิจ (2534) รายงานว่าเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* จะเจริญได้ดีที่ความชื้นประมาณร้อยละ 65-87 ซึ่ง Wang และคณะ (1975) รายงานว่าเชื้อราจะเจริญได้ดีในช่วงความชื้น 40-50 เปอร์เซ็นต์ ในการหมักเทมเป้ถ้าความชื้นน้อยเกินไปจะทำให้ผิวหน้าของถั่วเหลืองแห้งและส่งผลให้การเจริญเติบโตของเชื้อราถูกยับยั้งและทำให้เกิดสปอร์หรือถ้าความชื้นมีมากเกินไปจะทำให้อากาศที่ควรมีให้แก่เทมเป้อย่างเหมาะสมแพร่ผ่านเข้าไปยาก (Shurtleff และ Aoyagi, 1979)

5. ความเป็นกรด ในขั้นตอนการแช่กรด จะต้องมีผลการยับยั้งแบคทีเรียที่ไม่ต้องการ เช่น *Bacillus sp.* หรือแบคทีเรียพวก Enterobacteriaceae ซึ่งจะเป็นพวกที่ไวต่อกรดส่วนพวกที่ทนต่อความเป็นกรด ซึ่งเป็นแบคทีเรียเด่นในขั้นตอนนี้ เช่น Lactic bacteria และ Yeast สามารถถูกยับยั้งได้จากกระบวนการผลิต เครื่องมือ ปราศจากเชื้อ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยทางด้านสภาวะอากาศความแตกต่างทางธรรมชาติของเชื้อจุลินทรีย์ จึงทำให้มีโอกาสที่จะปนเปื้อนได้มีน้อยมาก และในการเลือกกรดอินทรีย์ที่มีความเหมาะสมในการผลิตเทมเป้ (จริยาภรณ์ จรุงจิต และคณะ, 2543) ได้ศึกษาโดยแช่ถั่วเหลืองด้วยกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ

6. หลังจากทำการหมักเทมเป้ ที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณกรดแลคติคปริมาณมากที่สุด Steinkraus (1960) รายงานว่าในการแช่กรดแลคติคเข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ pH ของถั่วเหลืองอยู่ในช่วง 4.0- 5.0 ที่ช่วง pH นี้ การเจริญของแบคทีเรียที่ปนเปื้อนจะถูกยับยั้ง แต่จะไม่มีผลต่อเชื้อราเทมเป้เพราะเชื้อราเทมเป้จะถูกยับยั้งที่ pH 3.5 แต่อย่างไรก็ตามเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* จะผลิตสาร antibacterial ทำให้ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

7. การกะเทาะเปลือกและการให้อากาศ เชื้อราเทมเป้จะเจริญได้ไม่ดีในถั่วเหลืองทั่วไป การกะเทาะเปลือกจึงเป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการผลิตเทมเป้ แม้ว่าออกซิเจนจะเป็นที่ต้องการในการเจริญของเชื้อรา แต่ *Rhizopus oligosporus* ไม่ต้องการอากาศมากนัก อากาศมากเกินไปเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงเพราะอากาศจะทำให้เกิด dehydration ที่ผิวหน้าและทำให้เกิดสปอร์สีดำซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ไม่ดีของเทมเป้ อากาศที่พอเหมาะจะขึ้นกับขนาดของเมล็ดและความหนาของชั้นถั่วเหลืองโดยขนาดของวัตถุดิบที่ดีอยู่ในช่วง 0.2-0.4 เซนติเมตร และความหนาของชั้นเทมเป้ไม่ควรเกิน 3 เซนติเมตร ดังนั้นบรรจุภัณฑ์สำหรับหมักเทมเป้ควรแลกเปลี่ยนอากาศได้(Liu, 1997)และมีการเจาะรูให้มีระยะห่างประมาณ 1/4 ถึง 3/4 นิ้ว โดยความกว้างของรูที่เจาะควรให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่าเข็ม(Shurtleff และ Aoyagi, 1979)

2.1.3. การเตรียมเทมเป้ (tempeh preparation)

เทมเป้มีกรรมวิธีในการผลิตแตกต่างกันออกไป ซึ่งมีวิธีง่ายๆแบบพื้นบ้านจนถึงในระดับอุตสาหกรรม ส่วนการผลิตแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและสภาวะแวดล้อมและปัจจัยต่างๆ แต่โดยทั่วไปขั้นตอนการผลิตเทมเป้ในแต่ละที่ไม่แตกต่างกันมาก

2.1.4. การเปลี่ยนแปลงเทมเป้ระหว่างการหมัก

การหมักใน 20 ชั่วโมงแรก ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สปอร์จะเริ่มเจริญ อุณหภูมิของถั่วเหลืองจะเพิ่มขึ้นทีละน้อย หลังจาก 5 ชั่วโมงเชื้อราจะเจริญอย่างรวดเร็ว และเกิดสปอร์สีดำกระจายทั่วไปทั่วภาชนะบรรจุ จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มลดลง ขณะที่จุลินทรีย์จะมีการเจริญจะมีการผลิตเอนไซม์หลายชนิด ประกอบด้วย protease, lipase เอนไซม์จะย่อยถั่วเหลืองทำให้ส่วนประกอบบางอย่างมีการเปลี่ยนแปลง แม้ว่าปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโน จะมีความสัมพันธ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่จะมีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนของปริมาณกรดอะมิโนอิสระระหว่างการหมักเทมเป้ อย่างไรก็ตามถ้าเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักด้วยกัน เช่น miso และ soy sauce แล้วการเปลี่ยนแปลงของเทมเป้ถือว่าไม่มากนัก เพราะมีความจำกัดทางด้านเอนไซม์ (Liu, 1997)

โปรตีน

ในระหว่างการแช่และการกะเทาะเปลือกของถั่วเหลือง ปริมาณโปรตีน ไนโตรเจนจะลดลงเล็กน้อย ซึ่งจะเท่ากับเปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่จะเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ (TCA soluble) และอะมิโนไนโตรเจน ส่วนการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมัก ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่ามีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของโปรตีนไนโตรเจนและมีการเพิ่มขึ้นของ TCA soluble อะมิโนไนโตรเจนซึ่งการเพิ่มจะลดลงจะเท่ากับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Nowak และ Szebiokto, 1992) ส่วนปริมาณแอมโมเนียที่ออกมาระหว่างการสลายโปรตีนในช่วงความเข้มข้น 0.42-0.84 mmol l^{-1} เชื้อรายังสามารถสร้างเส้นใยได้ แต่ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณแอมโมเนีย 1.3 mmol l^{-1} จะทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อราถูกยับยั้งได้เนื่องจากแอมโมเนียเป็นสารพิษต่อเชื้อรา และจะสามารถยับยั้งการเกิดสปอร์ได้ที่ระดับความเข้มข้น 0.42 mmol l^{-1} (sparringa และ Owen, 1999) การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในระหว่างการหมักเทมเป้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนของถั่วเหลืองทั้ง 5 ประเภทในระหว่างการหมักเทมเป้

Substrate	Total N (Mg ng^{-1} drymatter)	Protein N (Mg ng^{-1} drymatter)	TCA soluble N(Mg ng^{-1} drymatter)	Ammonia N (Mg ng^{-1} drymatter)	Amino N (Mg ng^{-1} drymatter)
Dry soybean (Dehulled)	72.3	65.2	6.9	1.5	0
Soaked	85.0	75.2	11.7	2.4	1.3
Fermented 24 hr ,37°c	76.2	60.2	15.9	3.7	3.5
Fermented 48 hr ,37°c	78.2	56.5	21.1	5.9	8.5
Tempeh with Husk (Fermented 48 hr ,37°c)	70.8	61.7	8.6	2.6	1.3

ที่มา : Nowak และ Szebiotko (1992)

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเทมเป้ เพราะว่าเทมเป้ทำจากถั่วเหลืองที่มีปริมาณโปรตีนมากที่สุดโดยอยู่ในช่วง 32.16-52.65 กรัม ส่วนความแตกต่างของปริมาณโปรตีนของแต่ละ

วัตถุดิบอยู่ในช่วง 3-5 กรัม และพบว่าในระหว่างการหมักโปรตีนกับคาร์โบไฮเดรตมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่สำหรับองค์ประกอบทางด้านกรดอะมิโนมีการเปลี่ยนแปลงโดยปริมาณกลูตามิกจะมีปริมาณสูงที่สุดถึง 6,796 มิลลิกรัม (Negishi และ Sugahara, 1996) ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณกรดอะมิโนของถั่วเหลืองและเทมเป้ทั้ง 3 ชนิด

Amino acid	Soybean	Tempeh (*R. oligosporus*)	Tempeh (Usar)	Lima Bean (*R. oligosporus*)
Leu	2929	4125	3467	2459
Lys	2257	3206	2633	1913
Thr	1532	2089	1760	1358
Val	1678	2627	2182	1717
Arg	2641	3308	2802	1370
Ala	1712	2683	2252	1501
Asp	4084	5809	4738	3194
Glu	6796	9340	7790	3588
Pro	1961	3077	2207	1127
Ser	2074	2859	2392	2203

ที่มา : Negishi และ Sugahara (1996)

คาร์โบไฮเดรต

พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญไม่มากนัก ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งคือกลูโคส มอลโตส และแลคโตส มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และยังพบว่า เฮมิเซลลูโลสคือกาแลคโตน แพนโทซาน ซึ่งมีสารประกอบเชิงซ้อนน้อยกว่าเซลลูโลสถูกสลายได้ง่ายกว่า และมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของเฮมิเซลลูโลส 50 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการหมัก ขณะที่เฮกโซส มีการลดลงอย่างรวดเร็ว (Shurtleff และ Aoyagi, 1979) นอกจากนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ isoflavone ระหว่างการหมักเมื่อใช้ถั่วเหลืองที่สกัดไขมันแล้ว พบว่าก่อนการหมักจะมีปริมาณของ isoflavone glycoside หลังจากหมักที่ 31 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 ชั่วโมง เทมเป้จะมีทั้ง isoflavone glycoside และ aglycones ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิด antioxidant activity เพิ่มขึ้น (Liu,1997) และพบว่าในการหมักที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะมีการลดลงไม่มากนักของน้ำตาล raffinose ซึ่งเป็นน้ำตาล oligosaccharide เช่นเดียวกันกับ stachyose ซึ่งเป็นสาเหตุของการ

เกิดแก๊สในกระเพาะ เมื่อหมักนาน 48 ชั่วโมง จะมีการลดลงของ stachyose 59 เปอร์เซ็นต์ ส่วน sucrose จะมีการลดเพียง17 เปอร์เซ็นต์ (Shurtleff และ Aoyagi, 1979) นอกจากนั้นยังพบน้ำตาล stachyose 7.0 กรัม, raffinose 2.1 กรัม, sucrose 7.2 กรัม, glucose 1.8 กรัม, fructose 0.9 กรัม (ต่อ kg dry weight) ในระหว่างกระบวนการผลิตเทมเป้ (จริยาภรณ์ จรุงจิต และคณะ, 2543)

ไขมัน

การเปลี่ยนแปลงของไขมันพบว่าระดับของกลีเซอไรด์ลดลงจาก 22.3-11.5 (%w/w) หลังจากการหมักเป็นเวลา 69 ชั่งโมง ที่ 37 องศาเซลเซียส และ Muarata (1967) รายงานว่าในผลิตภัณฑ์เทมเป้ที่ได้มีปริมาณกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นถึง 4.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรดไขมันส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาจากไขมันที่ถูกย่อยโดย *Rhizopus oligosporus* เชื้อราจะใช้ไขมันเป็นแหล่งคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ และมีการผลิตกลีเซอรอลอิสระเล็กน้อยซึ่งจะกลายเป็นไตรกลีเซอไรด์ และถูกย่อยเป็นบางส่วนเป็นกลีเซอไรด์และกรดไขมัน ระหว่างการหมักปริมาณกรดไลโนลิอิคและแอลฟาไลโนไลอิคจะลดลง ขณะปริมาณลิโนเลอิคจะเพิ่มขึ้นและในการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนติทริปซินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดไขมันที่ถูกย่อยมาจากไขมันโดยเอนไซม์ไลเปสจากเชื้อราทั้งนี้เพราะกรดไขมันและเอซิลเอสเทอร์เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน (Liu, 1997)

วิตามิน

มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของวิตามินคือ ไรโบฟลาวิน วิตามินบี6 กรดไนโคตินิค ไบโอติน แพนโธเทนิค และโพลาซิน ยกเว้นไทอะมิน ที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเริ่มต้นไม่มากนัก โดยลดลงถึง 58 เปอร์เซ็นต์ (Liu, 1997) ส่วนวิตามินบี12 ในเทมเป้จะสังเคราะห์โดยเชื้อจุลินทรีย์ *Klebsiella* ซึ่งยืนยันได้จากการสังเกตเทมเป้ที่ทำจากเชื้อราบริสุทธิ์ว่า ไม่มีการผลิตวิตามินบี 12จากเชื้อรา และพบว่าในกระบวนการผลิตเทมเป้มี 2 ขั้นตอน ที่จะเพิ่มปริมาณวิตามินบี 12 คือขั้นตอนการแช่และการหมัก โดย *Citrobacter freundii* จะผลิตวิตามินบี12 ดีที่สุดในระหว่างการแช่ การศึกษาการใช้เชื้อผสมในการทำเทมเป้พบว่าแบคทีเรีย 3 ชนิดที่ผลิตวิตามินบี12 คือ *Klebsiella* pneumoniae, *Bacillus negaterium* และ *Streptomyces olivaceus* โดยพบว่า *streptomyces olivaceus* ผลิตวิตามินบี 12 ได้ในปริมาณที่สูงที่สุด

ปริมาณเถ้า ปริมาณสารอนินทรีย์

มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักไม่มากนักโดยพบว่าในเทมเป้แห้งแช่แข็งมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยจากเดิมมีปริมาณเถ้าในถั่วเหลืองอยู่ 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะเพิ่มขึ้นเป็น 2.4 เปอร์เซ็นต์ในเทมเป้ ซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากการสูญเสียของแข็งระหว่างขั้นตอนการผลิตเทมเป้ (Shurtleff และ Aoyagi, 1979)

สารอื่นๆที่ได้จากการหมัก

พบว่า phytic acidc และ phytate ซึ่งเป็นสารที่มีผลต่อการนำสารอาหารไปใช้ เช่น พวกแร่ธาตุ โดยเฉพาะ แคลเซียม เหล็ก สังกะสี ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม เพราะสารนี้จะเข้าไปจับกับพันธะในโครงสร้างวงแหวนของสารอาหาร แต่ *Rhizopus oligosporus* ในการหมักเทมเป้จะไปย่อยสลาย phytic acidในถั่วเหลืองให้เป็น inositol และ phosphoric ส่วนฟอสฟอรัสจะถูกปล่อยจาก phosphaoric acid ให้เป็นสารอนินทรีย์

2.1.5. คุณค่าทางโภชนาการของเทมเป้ (nutritive value of tempeh)

2.1.5.1. เทมเป้มีโปรตีนที่มีคุณภาพสูง (rich in high-quality protein)

คุณค่าทางโปรตีน(Protein valve) ในอาหารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสองประการ คือ ปริมาณของโปรตีน(quantity of protein)ในอาหารและคุณภาพของโปรตีนที่มีอยู่นั้น(quantity of protein) ในแง่ของคุณภาพโปรตีนขึ้นกับความสามารถในการถูกย่อยของโปรตีนนั้น(quantity of protein) และปริมาณของ essential amino acid 8 หรือ 10 ชนิดที่ร่างกายต้องการ คุณภาพโปรตีนนี้สามารถวัดได้โดยอาศัย Protein Effeiciency Ratio (PER),Biological Value (BA), Net Protein utilization(NPU), Chemical Score, และ Amino Acid Score (หรืออาจเรียกว่า Protein Score)ทั้งนี้ในสามวิธีแรกจำเป็นต้องทดลองโดยใช้สัตว์ทดลอง เช่น หนู ส่วนสองวิธีหลังสามารถคำนวณได้จาก amino acid composition ของอาหาร

2.1.5.2. เทมเป้เป็นแหล่งวิตามิน B_{12}(source of essential vitamin B_{12})

Liem, Steinkraus, Cronk (1977) ได้รายงานว่าเทมเป้เป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับคนที่รับประทานอาหารแบบมังสวิรัติเพราะมีคุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้งวิตามินบีB_{12} สูง ดังนั้นจึงสมควรได้รับการรับรองจาก U.S.Recommended Daily Allowance(RDA) วิตามินบี12 (Cyanocobalamin) เป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง และป้องกันโลหิตจาง (Shurtleff และAoyagi, 1979)

2.1.5.3. เทมเป้มีปริมาณไขมันที่อิ่มตัวต่ำ (low in saturated fats)

เทมเป้มีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำแต่ในขณะเดียวกันก็มี lecitin รวมกับ essential polyunsaturated fatty acid (เช่น linoleic acid และ linolenic acid) ปริมาณมาก ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวผสมที่เรียกว่า emulsifier และกำจัดการสะสมคอเลสเตอรอลและกรดไขมันอื่นๆ ตามอวัยวะและกระแสโลหิต

2.1.5.4. เทมเป้เป็นตัวลดคอเลสเตอรอล (a cholesterol-reducer)

เนื่องจากคอเลสเตอรอลเป็นสาเหตุของโรคหลอดเลือดแดงหัวใจอุดตัน(coronaryheart diseases) ซึ่งในปีหนึ่งๆจะมีคนตายด้วยโรคนี้อยู่ในปริมาณที่สูง แต่ในอาหารเทมเป้และอาหารที่ทำ

มาจากถั่วเหลืองชนิดอื่น เช่น เต้าหู้ เต้าเจี้ยว และซีอิ๊ว เป็นอาหารที่ไม่มีคอเลสเตอรอล ดังนั้นจึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการบริโภค (พิชญ์อร วนาอินอินทรายุธ และวราวุฒิ ครูส่ง, 2535)

2.1.5.5. เทมเป้ถูกย่อยได้สูง (highly digestible)

อาหารหลายชนิดที่ทำจากถั่ว (bean) มักถูกย่อยได้ยากซึ่งก่อให้เกิดก๊าซขึ้นภายในทางเดินอาหารซึ่งทำให้เกิดผลเสียแก่สุขภาพ (Shurtleffและ Aoyagi, 1979) แต่เทมเป้เป็นอาหารที่ถูกย่อยได้สูงโดยมากความสามรถในการถูกย่อยมักจะกล่าวในรูปdigestibility coefficient ซึ่งเทมเป้มีค่านี้เท่ากับ 86.1 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่างๆในระหว่างช่วงการหมัก รวมทั้งการให้ความร้อนในช่วงการเตรียมวัตถุดิบ (pretreatment)

2.1.5.6. เทมเป้เป็นแหล่งวิตามินและเกลือแร่ (a good source of vitamins and minerals)

นอกจากวิตามินบี 12 แล้วในเทมเป้ (100 กรัม เทมเป้สด) ยังมีวิตามินเอ (42 IU), บี 1(0.28 มก.) บี 6, ไนอาซิน และ ไบโอติน เป็นต้น ส่วนเกลือแร่ในเทมเป้ มีแคลเซียม, ฟอสฟอรัส, เหล็ก, แมงกานีส เป็นต้น นอกจากนี้แล้วในเชื้อรา *Rhizopus* ที่ใช้ในการทำเทมเป้ยังผลิตเอนไซม์ phytase ออกมาย่อย phytate ซึ่งเป็น chelating agent ในถั่วเหลืองทำให้เกลือต่างๆสามารถนำออกมาใช้ประโยชน์ได้ (Liu, 1997)

2.1.5.7. สารปฏิชีวนะในเทมเป้ (medicinal antibiotic)

จากการศึกษาพบว่าเชื้อราที่ใช้ในการทำเทมเป้ สามารถผลิต heat-stable antibacterial agents ซึ่งทำหน้าที่คล้ายสารปฏิชีวนะเช่นเพนนิซิลลิน เป็นต้น มีผลทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคโดยเฉพาะพวกแบคทีเรียแกรมบวก (พิชญ์อร วนาอินอินทรายุธ และวราวุฒิ ครูส่ง, 2535)

2.1.5.8. เทมเป้ปราศจากสารพิษ (free of chemical toxins)

เมื่อเปรียบเทียบกับ เนื้อ ปลา และสัตว์ปีก พบว่ามียาฆ่าแมลงติดอยู่กับเนื้อเยื่อสูงกว่าในเมล็ดพันธุ์พืชถึง 20 เท่า ส่วนในอาหารนมก็พบมากกว่า 4.5 เท่าเช่นกัน อย่างไรก็ตามสารพิษที่ติดอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์ นอกจากยาฆ่าแมลงแล้วและอาจมียาฆ่าวัชพืชและโลหะหนักอีกด้วย แต่ในเทมเป้ที่บริโภคพบว่าปราศจากสารพิษที่จะเป็นอันตราย (Shurtleff และ Aoyagi, 1979)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของวิตามินบีรวมที่พบในเทมเป้และในถั่วเหลือง

Vitamins	Soybean(100 g)	Tempeh (100 g)	Increase (times)
Thiamine(B_{12})	0.4 mg	0.28 mg	-0.58
Riboflavin (B_2)	0.15 mg	0.65 mg	4.40
Nitotinic acid (Niacin)	0.67 mg	2.52 mg	3.80
Panthenic acid	430 mcg	520 mcg	1.10
Pyridoxine(B_6)	180 mcg	830 mcg	4.60
Folacin(folic acid)	25 mcg	100 mcg	4.00
Cyanocobalamin(B_{12})	0.15 mcg	3.9 mcg	26000
Biotin	35 mcg	53 mcg	1.50 mcg

ที่มา : (Shurtleff และAoyagi, 1979)

2.1.6. การเก็บรักษาเทมเป้

การหมักเทมเป้ควรหยุดการหมักและเก็บเกี่ยวให้เร็วกว่าที่เชื้อราจะเจริญจนสร้างสปอร์และสร้างเส้นใยที่มากเกินไป เทมเป้ที่เก็บภายใต้อุณหภูมิห้องมากกว่า 2 วัน จะไม่สามารถใช้รับประทานได้ เพราะเกิด off-flavor และ order ในระหว่างการเก็บโดยจุลินทรีย์อื่นๆที่ปนเปื้อน และเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์อไมเลส วิธีทั่วๆไปที่สามารถยืดอายุการเก็บให้นานขึ้นคือdrying frying, pasteurization, refrigeration, freezing และ combination (Liu,1997) การใช้วิธี refrigeration โดยนำเทมเป้ใส่ถุงพลาสติกแล้วปิดผนึก เก็บไว้ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียสเป็นการหลีกเหลี่ยงไม่ให้เทมเป้สัมผัสความร้อนจะสามารถเก็บไว้ได้ 2-3 วัน แต่ถ้าเก็บนานกว่านั้นเชื้อราจะสร้างสปอร์ขึ้น ทำให้เทมเป้มีลักษณะสีดำ (shurtleff และ Aoyagi, 1979)

ในประเทศอินโดนีเซียการเก็บรักษาเทมเป้ตามวิธีพื้นบ้านคือ หั่นเทมเป้เป็นชิ้นบางๆ แล้วนำไปตากแดด อีกวิธีคือการนำไป pasteurize (หรือการลวก) ซึ่งกระบวนการนี้จะต้องอาศัยการเก็บในตู้เย็นหรือแช่แข็ง จะทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้มาก อีกวิธีคือ นำไปบรรจุกระป๋อง โดยนำเทมเป้หั่นเป็นชิ้นบางๆไปบรรจุกระป๋อง จะสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้เป็นเวลานานมากกว่า 10 สัปดาห์ โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลง (Liu, 1997)

2.1.7. การนำเทมเป้ไปใช้ประโยชน์

ในประเทศอินโดนีเซีย ได้มีการใช้เทมเป้ในการจัดการควบคุมเกี่ยวกับโรคอหิวาห์ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ทารกอายุต่ำกว่า 5 ปี มีอัตราการตายสูงมาก โดยที่หลังจากการใช้เทมเป้

เป็นอาหารเสริมในเด็กทารกพบว่าสามารถควบคุมและป้องกันโรคนี้ได้ และยังมีการใช้เทมเป้เพื่อป้องกันโรคขาดสารอาหาร (malnutrition)ในเด็กวัยก่อนเรียน ศุภร วนาอินทรายุธ (2532) ได้ศึกษาแนวทางการนำเทมเป้ถั่วลิสงอบแห้งแบบชิ้นไปใช้ประโยชน์ พบว่าสามรถใช้เทมเป้ประกอบอาหารได้หลายชนิดได้แก่ ผัดพริกขิงเทมเป้ แกงเทโพเทมเป้ ต้มข่าเทมเป้ และแกงจืดเทมเป้ และยังศึกษาแนวทางการนำเทมเป้ถั่วลิสงอบแห้งแบบผงไปใช้ประโยชน์ โดยนำไปผลิตเป็นไส้กรอกเปรี้ยวเสริมเทมเป้เสริมถั่วลิสงอบแห้ง สุภางค์ เรืองฉาย (2539) ได้ทดลองให้กลุ่มแม่บ้านใช้เทมเป้ถั่วลิสงแทนเนื้อสัตว์ โดยใช้เทมเป้แทนปลาป่นในแจ่วบองหรือน้ำพริกปลาร้า ใช้เทมเป้แทนเนื้อปลาในน้ำยาขนมจีน และใช้เทมเป้แทนเนื้อหมูในผัดพริกขิง นอกจากนี้ยังใช้ไปชุบแป้งกล้วยทอด ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างดีจากแม่บ้าน สุชาดา สังขพันธุ์ (2541) ได้ศึกษาถึงการผลิตเทมเป้โดยใช้ข้าวซ้อมมือ ข้าวเหนียวและงาขาวเป็นวัตถุดิบในการหมัก พบว่าข้าวเหนียวไม่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักเทมเป้โดยใช้หัวเชื้อที่ได้จากการเตรียมตามวิธีของ สุจินดา สุวรรณกิจ (2534) ได้เนื่องจากหัวเชื้อมีลักษณะเป็นผง และข้าวเหนียวมีเมือกเหนียวมากทำให้หัวเชื้อกระจายไม่ทั่วถึงและเกิดสปอร์ดำอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ข้าวซ้อมมือและงาขาว สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักเทมเป้ที่ดีได้ (สุชาดา สังขพันธุ์, 2541)

2.2 ถั่วเหลืองและองค์ประกอบทางเคมี

2.2.1. ลักษณะทั่วไป

ถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า “ *Glycine* Max (L) Merrill ” อยู่ใน family ของ Leguminosac, Subfamily, Papillnodeae และ Glycine,L.10 ถั่วเหลืองมีอยู่หลายพันธุ์แต่ละพันธุ์จะมีความแตกต่างกันในด้านสี ขนาดของเมล็ด ลักษณะทางกายภาพอื่นๆรวมทั้งส่วนประกอบทางเคมี ความแตกต่างนี้ ทำให้มีการนำไปใช้ประโยชน์ต่างกันไปด้วย เช่น สีของเปลือก เปลือกสีดำใช้ในการสกัดไขมัน สีเหลืองในอุตสาหกรรมทั่วไป และสีเขียวและสีน้ำตาลไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์, 2527)

เมล็ดถั่วเหลือง เป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่าธัญญาหารชนิดอื่นๆ และยังมีสารอาหารที่มีคุณค่า เช่น วิตามินและแร่ธาตุ นอกจากนั้นจะพบว่าถั่วเหลืองมีผลต่อต้านมะเร็งและเชื้อโรคอื่นๆ อาหารที่ให้โปรตีนที่สามารถทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์จึงเป็นที่นิยมในผู้ทานอาหารมังสวิรัติ และเริ่มแพร่หลายมากขึ้นในหมูชาวแมคโคไบโอติก เนื่องจากว่าพบถั่วเหลืองมีคุณสมบัติในการช่วยป้องกันและยับยั้งโรคภัยไข้เจ็บที่สำคัญได้หลายโรค เช่น โรคมะเร็ง โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และยังมีคุณสมบัติทางสมุนไพร แพทย์แผนไทยใช้ถั่วเหลืองปรุงเป็นยาบำรุงกำลัง เป็นยาระบาย ขับปัสสาวะ เปลือกเมล็ดถั่วเหลืองยังนำมาปรุงเป็นยาบำรุงเลือดและแก้เหงื่อออกมาก

ได้ด้วย นอกจากนั้นกากถั่วเหลืองยังสามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์คุณภาพสูง (คมสัน หุตะแพทย์ และวารี ยินดีชาติ, 2542) และสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยหมักคุณภาพสูง คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่นแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับถั่วเมล็ดแห้งชนิดอื่นๆ

ชนิด	ความชื้น (กรัม)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	เถ้า (กรัม)	วิตามินบี 1 (กรัม)	วิตามินบี 2 (กรัม)
ถั่วเหลือง	7.8	35.7	16.5	12.0	6.0	0.93	0.33
ถั่วลิสง	4.4	24.8	46.1	2.0	2.6	1.68	0.15
ถั่วเขียว	9.4	22.8	1.5	35.7	4.4	0.80	0.25
ถั่วแดง	9.2	23.5	2.1	33.0	4.3	1.09	0.18

ที่มา : (อาณดี นิติธรรมยง และประไพศรี ศิริจักรวาล, 2543)

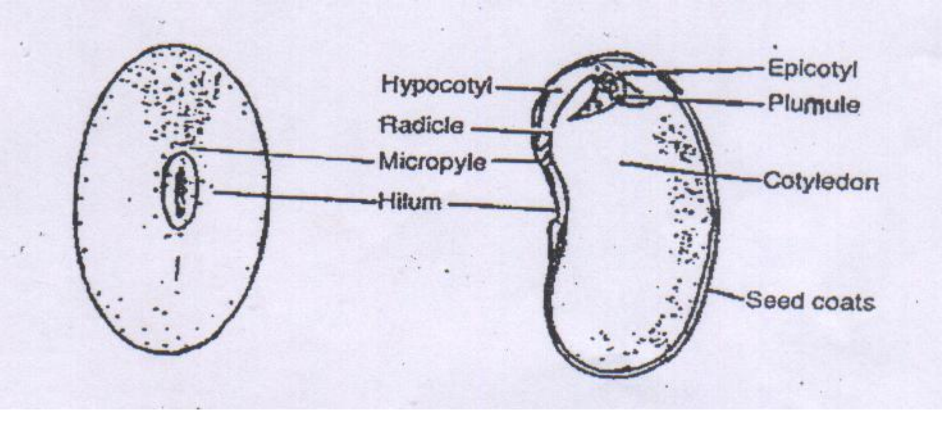
2.2.2. โครงสร้างของเมล็ดถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลืองมีลักษณะกรมรี มีน้ำหนักประมาณ 90-200 มิลลิกรัม เส้นผ่าศูนย์กลางด้านยาวของเมล็ดประมาณ 0.6-0.9 ซม. และเส้นผ่าศูนย์กลางด้านสั้นประมาณ 0.5-0.7 เซนติเมตร ส่วนของเมล็ดมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.1

1 เปลือกมีประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2 ใบเลี้ยงมีประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3 ยอดอ่อนมีประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำ



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดถั่วเหลือง (Liu, 1997)

ส่วนประกอบทางเคมี

เมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนและไขมันจากพืชที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกายมากที่สุดแหล่งหนึ่ง และแต่ละส่วนของถั่วเหลืองมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันซึ่งแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบทางเคมีในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดถั่วเหลือง

ส่วนของเมล็ด	โปรตีน เปอร์เซ็นต์	ไขมัน เปอร์เซ็นต์	คาร์โบไฮเดรต เปอร์เซ็นต์	เถ้า เปอร์เซ็นต์
ถั่วทั้งเมล็ด	40	21	34	4.9
ใบเลี้ยง	43	23	29	5.0
เปลือก	8.8	1	86	4.3
ต้นอ่อน	41	11	43	4.4

ที่มา : (วันชัย สมชิต, 2527)

จากตารางข้างต้นแสดงรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆของถั่วเหลืองมีดังนี้

<u>ก. โปรตีน</u> เป็นสารอาหารหลักในเมล็ดถั่วเหลือง โดยสะสมอยู่ในเซลล์ของถั่วเหลืองที่เรียกว่าProtein bodies หรือ storage protein และอยู่ในส่วนของใบเลี้ยงถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโปรตีนโดยส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิด globulin ซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำ แต่จะไม่ละลายในสภาวะที่มีค่า pH ที่จุด Iso-electric point คือ pH 4.2-4.6 และโดยเฉลี่ยแล้วโปรตีนในถั่วเหลืองมีขนาดน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 200000-600000 โปรตีนในถั่วเหลืองมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี เช่น แรงอัด ความร้อน สภาพเป็นกรด-ด่าง หรือสารเคมีอื่นๆ ทำให้ขนาดของโมเลกุลโปรตีนเปลี่ยนไป หรือมีความหนืดเพิ่มขึ้นเป็นต้น (วันชัย สมชิต, 2527)

คุณค่าของโปรตีนทางด้านสุขภาพ ได้มีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองกับการลดความเสี่ยงโรคหัวใจและหลอดเลือด พบว่าโปรตีนจากถั่วเหลืองอาจมีหลงในการลดระดับโคเลสเตอรอลทั้งหมด โดยที่มีการศึกษาว่าการลดระดับของโคเลสเตอรอลทั้งหมดลงทุกๆ1 เปอร์เซ็นต์จะช่วยลดปริมาณการเสี่ยงต่อโรคหัวใจวายได้ 2 เปอร์เซ็นต์ (อาณดี นิติธรรมยง และประไพศรี ศิริจักรวาล, 2543)

<u>ข ไขมัน</u> มีปริมาณรองจากโปรตีน คือมีอยู่ประมาณ 16-18 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวค่อนข้างคงที่คือประมาณ 15 ต่อ 58 และในกรดไขมันไม่อิ่มตัวมี

ไขมันชนิดที่ดีและมีประโยชน์ต่อการบริโภค(essential fatty acids) ประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะพวก Linoleic และ Linolenic acid เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสารพวก phospholipids หรือ phosphotides ซึ่งเป็นสารที่คล้ายไขมัน โดยมีไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยโดยที่ phoric acid หรือ Inositol ในโมเลกุลของไขมันและไนโตรเจนอยู่ในรูป lecithin หรือ cephalin ซึ่งมีคุณสมบัติของ phospholipids จะมีผลในด้านการ emulsifying ที่ดี (วันชัย สมชิต, 2527)

ค. คาร์โบไฮเดรตในถั่วเหลือง แบ่งได้ 2 ประเภทคือ (สถาบันค้นคว้าและวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์, 2527)

ค.1 คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water soluble carbohydrates) ในเมล็ดถั่วเหลืองส่วนใหญ่ ได้แก่ disaccharide ,trisaccharide และ tetrasaccharide ปริมาณน้อย และไม่พบในรูปของแป้ง (starch) ในถั่วเหลืองเมล็ดแก่ ในเมล็ดถั่วเหลืองที่ยังอ่อนจะพบน้ำตาลในรูปของ monosaccharide คือ glucose และน้ำตาล reducing sugar อื่นๆ อยู่ในปริมาณพอควรแต่จะลดน้อยลงจนหมดในสภาวะที่ถั่วเหลืองมีความแก่พอดี

ค.2 คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำ (water insoluble carbohydrates) อยู่ในใบเลี้ยง เป็นสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อน ได้แก่ arabinan, arabinogalactan เป็นส่วนใหญ่ และอาจรวมถึงสารพวก pectin ด้วย

ง. เถ้าและแร่ธาตุ ปริมาณของเถ้าที่พบในถั่วเหลืองทั้งเมล็ดในแต่ละพันธุ์นั้น มีปริมาณไม่แตกต่างกันมากโดยมีอยู่ในช่วง 4.6-5.3 เปอร์เซ็นต์ และแร่ธาตุส่วนใหญ่ ได้แก่ โปรแตสเซียม (K) 1.83% ฟอสฟอรัส (P) 0.78 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม (Mg) 0.31 เปอร์เซ็นต์ โซเดียม (Na) 0.24 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม (Ca) 0.24 เปอร์เซ็นต์ และซัลเฟอร์ (S) 0.24 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแร่ธาตุอื่นๆที่พบอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก ได้แก่ คลอไรด์ โบรอน แมงกานีส เหล็ก ทองแดง แบเรียม และสังกะสี (สถาบันค้นคว้าและวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์, 2527)ส่วนฟอสฟอรัสที่พบอยู่ในรูปของ inorganic phosphorus เช่น phytin,phospholipids ต่างๆและ nucleic acid เป็นต้น (วันชัย สมชิต, 2527)

จ. เส้นใย ถั่วเหลืองเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดี ในเปลือกถั่วเหลืองจะมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดประมาณ 87 เปอร์เซ็นต์ซึ่งใยอาหารนั้นจะประกอบไปด้วยเซลลูโลส 40-53 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 14-33 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ สำหรับถั่วเหลืองทั้งเมล็ดจะมีใยอาหารประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูงซึ่งเทียบเท่ากับผักผลไม้ (วันชัย สมชิต, 2527) ใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในแง่ของการป้องกันและบรรเทาโรคต่างๆ เช่น ท้องผูก ผนังลำไส้โป่งพอง ช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดโรคเบาหวาน และ

มะเร็ง โดยไม่มีผลต่อการขัดขวางการดูดซึมแร่ธาตุ (อาณดี นิติธรรมยง และประไพศรี ศิริจักรวาล, 2543)

ประโยชน์ของเส้นใยอาหารที่มีต่อสุขภาพของร่างกาย(ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ์ ธรรมธนารักษ์, 2539)

1. สร้างเสริมและปรับปรุงระบบการทำงานของลำไส้ในการย่อย ดูดซึมและการขับถ่าย
2. ป้องกันและบำบัดรักษาอาการโรคท้องผูก (constippation)
3. ปรับสภาพระบบการทำงานของระบบลำไส้เพื่อให้เหมาะแก่การเจริญ และการดำรงสภาพจุลินทรีย์ในลำไส้
4. ยับยั้งการดูดซึมความเป็นพิษของสารต่างๆในระบบการย่อยและการดูดซึม
5. ต่อต้านพิษ (Antitotion Agent) ของสารพิษประเภทไม่ดูดซึม เช่น สีผสมอาหาร จำพวก Organic Synthetic Color
6. ป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่
7. ส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย
8. ควบคุมระดับน้ำตาลในกระแสเลือด
9. ยับยั้งการขับฮอร์โมนอินซูลิน
10. ป้องกันการเกิดก้อนนิ่ว
11. ป้องกันการเกิดโรคอ้วน
12. ควบคุมความดันโลหิต

ฉ วิตามิน ถั่วเหลืองเป็นแหล่งวิตามินแหล่งหนึ่งของอาหาร โดยมีปริมาณวิตามินบีรวมค่อนข้างสูง ในส่วนวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ถั่วเหลืองมีปริมาณของ ß-carotene ประมาณ 2-7 ไมโครกรัมต่อกรัม เมื่อถั่วเหลืองแก่ขึ้นปริมาณวิตามินจะลดลงเหลือเพียง 0.2-2.4 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากแคโรทีนถูกเอนไซม์ไลปอกซิเดส (lipoxidase enzyme) ออกซิไดซ์ให้เปลี่ยนสภาพไป ส่วนวิตามินดีและวิตามินซีจะพบน้อยมากในผลิตภัณฑ์อาหารถั่วเหลือง และวิตามินอีจะมีอยู่ในน้ำมันถั่วเหลืองในปริมาณ 1.4 ไมโครกรัมต่อกรัม (สถาบันค้นคว้าและวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์, 2527) ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักต่างๆ เช่น เต้าเจี้ยว, เทมเป้ จะมีสาร Antioxidant เกิดขึ้น เช่น Daidzein,7,1 dihydroxyflavone, Genistein, 5,7,4–Trihydihydroxyflavone, Factor2,6,7,4- Trihydihydroxyflavone ซึ่งจะเป็นตัวป้องกันการเปลี่ยนแปลงของวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ และในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองจะต้องผ่านการให้ความร้อนสูงจะทำให้วิตามินโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายได้ในน้ำลดลงไปได้น้อยกว่าครึ่งหนึ่ง (วันชัย สมชิต, 2527) จะเห็นว่าถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงมีบทบาททางโภชนาการมากขึ้น แต่ถั่วเหลืองมี

โปรตีนที่มีคุณภาพไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมี methionine และ cystine น้อย แต่มี lysine สูง ดังนั้นถ้าบริโภคถั่วเหลืองรวมกับอาหารอื่นที่มี lysine ต่ำ แต่มี methionine และ cystine สูงจะทำให้ร่างกายได้รับโปรตีนครบถ้วน

2.2.3. กลิ่นถั่ว (Beany flavor)

กลิ่นถั่วเป็นสารพวก organoleptic โดยกลิ่นถั่ว (Beany) มักพบละลายอยู่ในไขมัน เนื่องจากเอนไซม์ lipoxidase (linoleate : oxygen oxidoreductase EC 1.13.11.12) ที่ถูกสร้างขึ้นอยู่ในตระกูลถั่ว (legumes) โดย lipoxygenase เริ่มทำให้เกิดขบวนการรวมตัวของออกซิเจนและไขมันได้ hydroperoxide เกิดขึ้นภายในเซลล์พืช แล้วแพร่กระจายออกมาด้านนอก Lipoxygenase จะสามารถเปลี่ยนแปลง essential fatty acid โดยการย่อยสลายไขมันจาก hydroperoxide กลายเป็นสารรสขม (bitter)หรือมีกลิ่นถั่ว (beany flavors) นอกจากนี้สาร hydroperoxide ยังสามารถทำลายวิตามิน และคลอโรฟิลล์ได้ด้วย (Che Manetal, 1988) Lipoxygenase เป็นกลุ่มเอนไซม์หลายชนิดลักษณะเป็น isoenzyme มีลักษณะแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด รวมทั้งระยะการเจริญเติบโต เอนไซม์กลุ่มนี้แบ่งได้เป็นสองกลุ่มตามหน้าที่การทำงานคือ กลุ่มแรก lipoxygenase F I & F II เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่มีผลโดยตรงต่อกระบวนการเกิดกลิ่นถั่วมากที่สุด ส่วนกลุ่มที่สองได้แก่ lipoxygenase F III เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่ไม่ค่อยมีบทบาทเท่ากับกลุ่มแรก สารตั้งต้นที่เอนไซม์เกิดปฏิกิริยาได้แก่ linoleic , linolenic และ arahidolenic acid (Sambudi และ Buckle, 1992)

กลไกการทำงานของเอนไซม์เริ่มจาก lipoxygenase กระตุ้นให้ไขมันพวก Polyunasaturated fatty acid (PUFA) เกิดปฏิกิริยา hydroperoxidation ได้สารอนุพันธ์ของ Hydroperoxidine เป็นสารตั้งต้นปฐมภูมิ (primary product) สารเหล่านี้จะเกิดภายใต้ภาวะที่มีออกซิเจน จากนั้นเอนไซม์จะย่อยสลายสาร primary product เหล่านี้ไปเป็นสาร volatiles ของพวก aldenhydes เช่น ethanol , propanol , 2-trans-exanol , 2-trans- butanol , 2- trans ,4-cis-pentadienol และ 2-trans, 6-cis-nonadienol สารที่เกิดในช่วงแรกจะทำให้เกิดกลิ่นที่แตกต่างกัน ในถั่วแต่ละชนิด ส่วนสาร volatiles flavour ที่เกิดจากการย่อยสลาย linoleic กับ linolenic จะให้สารประกอบที่เหม็นเขียว (glassy-beany flavour) (Liu , 1997)

2.2.4. ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด สามารถแบ่งผลิตภัณฑ์เป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ (อาณดี นิติธรรมยงและประไพศรี ศิริจักรวาล, 2543)

1. ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากถั่วเหลืองสดหรือผ่านการแปรรูปเพียงเล็กน้อย เช่น ถั่วเหลืองฝักอ่อนต้มสุก

ถั่วแระ ถั่วงอกหัวโต กาแฟถั่วเหลืองที่ได้จากถั่วเหลืองคั่วจนเกรียมแล้วบด

2. ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากถั่วเหลือง เป็นการนำถั่วเหลืองมาแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนและขนาดใหญ่แบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ

2.1 ผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้าน

2.1.1 ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก ได้แก่ นมถั่วเหลือง น้ำเต้าหู้ เต้าฮวย ฟองเต้าหู้

2.1.2 ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการหมัก ได้แก่ ซีอิ๊ว เต้าเจี้ยว ซอสปรุงรส นัทโต เทมเป้ ถั่วเน่า มิโซ ถั่วเหลืองที่หมักด้วยจุลินทรีย์นอกจากจะเป็นการ

ถนอมอาหารแล้ว ยังทำให้สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และคุณสมบัติการละลายที่ดี อาหารจะถูกย่อยได้ขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารและลด และขจัดสารพิษได้อีกด้วย

2.2 ผลิตภัณฑ์อาหารถั่วเหลืองรุ่นใหม่ เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์พื้นบ้านให้เกิดความหลากหลาย ได้แก่ เครื่องดื่มจากนมถั่วเหลืองและนมถั่วเหลืองผสมผลไม้ โยเกิร์ตนมถั่วเหลือง ไอศกรีมนมถั่วเหลือง หรือเต้าหู้เนื้อเทียมและโปรตีนเกษตร ไส้กรอกและเบอร์เกอร์จากถั่วเหลือง

2.3 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร ได้แก่ น้ำนมถั่วเหลือง กากถั่วเหลือง แป้งถั่วเหลืองทั้งชนิดไม่มีไขมันและชนิดปราศจากไขมัน โปรตีนถั่วเหลืองทั้งชนิดมีไขมันและทั้งชนิดปราศจากไขมันโปรตีนถั่วเหลือง เลซิติน

2.2.5. สารต้านโภชนาการในถั่วเหลือง (Antinutritional fators)

2.2.5.1 Isoflavonoids , Isoflavonoes สารกลุ่มนี้มีคุณสมบัติเหมือนกับฮอร์โมนเพศหญิง เรียกว่าไฟโตเอสโตเจน มีอยู่ 2 ตัวหลักๆ คือ เจนีสทีนและไดเซน สารกลุ่มนี้ช่วยในการต้านมะเร็ง โรคหัวใจ โรคกระดูกพรุน (อาณดี นิติธรรมยงและประไพศรี ศิริจักรวาล, 2543) และถั่วเหลืองยังป้องกันอาการที่เกิดในหญิงหมดประจำเดือน (คมสัน หุตะแพทย์ และวารี ยินดีชาติ, 2542)

2.2.5.2 Trypsin Inhibitor เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งในถั่วเหลือง ทำหน้าที่ป้องกันเมล็ดจากการทำลายของแมลง สารนี้จัดเป็นสารต้านการดูดซึมโปรตีนของร่างกายโดยจับกับน้ำย่อย Trypsin ทำให้โปรตีนไม่ถูกย่อยแต่เพื่อให้ถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาการสูงสุด โดยปกติจะกำจัดสารนี้โดยความร้อน และได้พบว่า Trypsin Inhibitor มีคุณสมบัติในการต้านมะเร็ง (อาณดี นิติธรรมยงและประไพศรี ศิริจักรวาล, 2543)

2.2.5.3 Phytic acid เป็นองค์ประกอบปกติของถั่วเมล็ดแห้ง ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ Phytate หรือจับกับโปรตีน Phytate ถูกสร้างและสะสมในถั่วเหลืองขณะที่มีการเจริญเป็นถั่วแก่

เพื่อใช้เป็นแหล่งฟอสเฟสในการสร้างพลังงานระหว่างเมล็ดงอก Phytic acid สามารถจับกับแร่ธาตุได้หลายชนิด เช่น แคลเซียม เหล็ก สังกะสี แมกนีเซียม ดังนั้นเป็นสารขัดขวางกันการดูดซึ่งแร่ธาตุและถ้า Phytic acid จับอยู่กับโปรตีนจะทำให้การย่อยและการดูดซึมโปรตีนน้อยลง แต่พบว่า Phytic acid มีคุณสมบัติเป็นสารต้านมะเร็ง (อาณดี นิติธรรมยงและประไพศรี ศิริจักรวาล, 2543)

2.3. เชื้อจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการหมักเทมเป้

2.3.1. เชื้อรา

เทมเป้เป็นอาหารหมักตามพื้นบ้าน ถึงแม้ในขบวนการผลิตจำเป็นต้องใช้กล้าเชื้อในรูปแบบต่างๆ แต่ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่มีบทบาทต่อการหมักนั้นเพิ่งเริ่มได้มีการศึกษาเมื่อ ค.ศ.1936 ซึ่งในขณะนั้นเข้าใจว่า*Rhizopus oryzae* เป็นเชื้อราที่มีบทบาทต่อกระบวนการหมัก อย่างไรก็ตามหลังจากการพบในครั้งนี้แล้ว ได้ขาดการศึกษาในเรื่องนี้อย่างต่อเนื่อง จนอีก 20 กว่าปีต่อมา จึงมีผู้ให้ความสนใจอย่างจริงจังและได้พบว่าเชื้อราสกุล *Rhizopus* หลาย species ด้วยกันในเทมเป้ ได้แก่ *R. oryzae* , *R.arrhinus, R. stolonifer, R. formosaesis* , *R. achlamydosporus* , *R..chinensis* , *R. cohnii* และได้มีการศึกษาเพิ่มเติมจนพบว่า *R. oryzae* และ *R.arrhinus* นั้น ถึงแม้แยกได้จากเทมเป้โดยทั่วไปแต่ทั้งสองเชื้อ นี้จะไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นกล้าในการผลิตเทมเป้ (นภา โล่ห์ทอง, 2535) และ *R. oryzae* จะมีกิจกรรมการย่อยของเอมไซม์อไมเลสอยู่ในปริมาณที่สูงทำให้เกิดการย่อยสลาย starch ในเมล็ดถั่วให้กลายไปเป็นน้ำตาลและน้ำตาลจะถูกหมักต่อไปเป็น organic acid ทำให้เทมเป้ที่มีกลิ่น รส และสีไม่เป็นที่ยอมรับคือมีรสเปรี้ยวและมีสีดำคล้ำ ส่วน *R.arrhinus* จะมีเอนไซม์อะไมเลสสูงรองจาก *R. oryzae* และจะผลิตเอมไซม์ pectinase ด้วยเอนไซม์ชนิดนี้จะมีผลทำให้ได้เทมเป้ที่มีคุณภาพต่ำคือจะเก็บไว้ได้ไม่นาน (Shurtleff และ Aoyagi, 1979) สำหรับการใช้เชื้อบริสุทธิ์ในการหมักเทมเป้ โดยทั่วไปจะใช้ strains NRRL 2710 เพราะเหมาะสำหรับเมล็ดถั่วเหลืองมากที่สุดแต่จะไม่ดีสำหรับเมล็ดข้าวสาลี ส่วน strains อื่นที่ดีก็มี NRRL 2549 และ NRRL 1526 และได้มีการคัดเลือกเชื้อถึงระดับสายพันธุ์ไว้หลายสายพันธุ์ด้วยกันเช่น *R. oligosporus* NRRL 1521, NRRL 2710 , NRRL 5905 และ CBS 338.62 สายพันธ์เหล่านี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการด้วยกันได้แก่

1. เจริญได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30 ถึง 42 องศาเซลเซียส และเมื่อ pH ของถั่วต่ำ ประมาณ 4.0 เชื้อราจะเจริญสร้างเส้นใยปกคลุมทั้งก้อนถั่วภายใน 18 ถึง 20 ชั่วโมงทำให้จุลินทรีย์อื่นเจริญแข็งขันได้ยาก

2. เป็นราที่ไม่สามารถใช้น้ำตาลซูโครสได้ ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้มีผลดีต่อการหมักเทมเป้ เนื่องจากในเมล็ดถั่วเหลืองที่นึ่งสุกแล้วประกอบไปด้วยน้ำตาลซูโครส สแตไคโอส (Stachyose)

และแรฟฟิโนส (raffinose) อย่างละ 1.84 1.40 และ 0.35 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ในการหมักของเชื้อราที่ใช้ซูโครส น้ำตาลนี้จะถูกใช้หมดไปก่อนจึงเริ่มมีการใช้น้ำตาลอื่นๆ ซึ่งมักจะมีอยู่ในช่วงกิจกรรมการหมักเสร็จสิ้น ดังนั้นเทมเป้ที่ผลิตได้จึงยังคงมีน้ำตาลสแตไคโอสเหลืออยู่ในปริมาณค่อนข้างมาก จึงทำให้ผู้บริโภคมีอาการท้องอืดอันเกิดจากการที่ไม่สามารถย่อยน้ำตาลนี้ได้ ซึ่งเป็นอาการเดียวกับผู้ที่ขาดน้ำย่อยแลคเตสดื่มนมซึ่งมีน้ำตาลแลคโตสเป็นองค์ประกอบอยู่ตามธรรมชาติ ดังนั้นเมื่อสายพันธุ์เชื้อราที่คัดเลือกนี้ไม่สามารถใช้ซูโครส เมื่อเริ่มเจริญเชื้อราจะใช้สแตไคโอสทันทีทำให้น้ำตาลนี้หมดไปหรือเหลือน้อยมาก

3. เป็นสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์โปรติเอส ซึ่งพบได้ว่าโปรติเอสที่ผลิตโดย *Rhizopus oligosporus* นั้น มีทั้งเอนไซม์ที่มีกิจกรรมการย่อยที่ดีที่สุดที่ pH 3 และเอนไซม์ที่มีกิจกรรมการย่อยสูงสุดที่ pH 5 เอนไซม์ทั้งสองจัดว่าเป็น acid protease ซึ่งมีคุณสมบัติที่เอื้อต่อการหมักเทมเป้ เนื่องจากในขณะแช่น้ำนั้นจะมีกิจกรรมการหมักของแบคทีเรียบางชนิดซึ่งเป็นที่เข้าใจว่ามีผลต่อการผลิตวิตามินบี12 และแบคทีเรียเหล่านี้จะผลิตกรดทำให้ pH ของถั่วลดลงในระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ในปัจจุบันจึงนิยมแช่ถั่วในน้ำซึ่งเติมกรดแลคติค (นภา โล่ห์ทอง, 2535)

สายพันธุ์ที่คัดเลือกถ้ามีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์โปรติเอสสูงก็จะทำให้ย่อยสลายโปรตีนในเมล็ดถั่วดำเนินไปอย่างรวดเร็ว และปลดปล่อยแอมโมเนียในปริมาณมากซึ่งโดยที่หลังจากการหมักขึ้นได้ประมาณ 48 ชั่วโมง แอมโมเนียจะมีมากพอที่จะไปยับยั้งไม่ให้เชื้อราเจริญต่อ ซึ่งในช่วงระยะเวลาการหมักระหว่าง 24-28 ชั่วโมงนี้ เชื้อราจะไม่สร้างสปอร์จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่น่ารับประทาน

4. สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสย่อยไขมันในเมล็ดถั่ว ดังนั้นในเทมเป้จึงประกอบไปด้วยกรดไขมัน (Fatty acid) หลายชนิด เช่น กรดลิโนเลอิค กรดโอเลอิค กรดพาล์มมิติก กรดลิโนเลนิก และกรดสเตียริก เป็นต้น

5. สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยเซลล์พืช เช่น เซลลูโลส ไซลาเนส อราบิเนส เป็นต้น

6. สามารถผลิตสารที่มีคุณสมบัติเป็น antioxidant ได้แก่ 6,7,4 –trihydroxyisoflavone จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ไม่มีกลิ่นหืน

7. สามารถผลิตเอนไซม์ phytase ทำให้ phytic acid ในถั่วเหลืองลดปริมาณลง

8. เทมเป้ที่ผลิตโดยใช้ *Rhizopus oligosporus* เหล่านี้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

9. สามารถผลิต Antibacterial โดย อาณดี นิติธรรมยงและประไพศรี ศิริจักรวาล (2543) รายงานว่าพบ *Rhizopus microsporus* เป็นสาเหตุของการตายในลูกเป็ดและหนู แม้ในการหมักเทม

เป้โดยใช้เชื้อรา*R.oligosporus* ที่มีโครงสร้างสัณฐานวิทยาเหมือนกัน แต่ยังไม่พบว่าเทมเป้ จะมีสารพิษ อีกทั้ง *Rizopus oligosporus* จะยับยั้งการเจริญเติบโต การสร้างสปอร์และเอลฟาทอกซินของ *Aspergillus flavus* โดยทั่วๆไป *Rhizopus oligosporus* สามารถผลิตสารไกลโคเปปไตด์ และสารอื่นๆ ซึ่งมีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของ Staphylococcus spp. *Clostridium* spp. *Bacillus* spp. และ *Aspergillus flavus*

2.3.2. รูปของกล้าเชื้อ

ใช้เทมเป้ที่เก็บไว้บนเชื้อราสร้างสปอร์ ซึ่งจะสะดวกในกรณีที่มีการใช้กันอย่างต่อเนื่องแต่ไม่ควรใช้ต่อเนื่องกันมากกว่า 5-6 ครั้ง เนื่องจากจะมีแบคทีเรียปนมากขึ้น เทมเป้เก่าเหล่านี้สามารถเก็บไว้เป็นกล้าเชื้อได้นานพอควร หากนำไปตากแดดให้แห้ง

1. ยูซา ได้แก่ กล้าเชื้อซึ่งผลิตโดยให้จุลินทรีย์เจริญบนใบไม้
2. ลูกแป้งเทมเป้
3. กล้าเชื้อซึ่งเตรียมจากเชื้อบริสุทธิ์

เชื้อรา *Rhizopus* สามารถจัดจำแนกได้ดังนี้

Kingdom : Fungi

Division: Mycota

Class : Zygomycetes

Oder : Mucorales

Family : Mucorales

Genus : Rhizopus

Species : Oligosporus

ราสกุลนี้เส้นใยไม่มีผนังกั้น โคโลนีฟู เจริญได้รวดเร็ว มีโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่าไรซอยด์ (rhizoid) ซึ่งจะสร้างขึ้นตรงตำแหน่งที่รานี้สัมผัสกับพื้นที่ผิวแข็ง เช่น ด้านข้างของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (Peti dish) โดยไรซอยด์จะยึดจับกับอาหาร เส้นใยที่เชื่อมต่อระหว่างไรซอยด์ 2 กลุ่ม เรียกว่า สโตลอน (Stolon) สปอร์แรงจิโอสปอร์ (sporangiospores) ของ *Rhizopus* ยื่นชูออกไปตรงข้อบริเวณไรซอยด์ไม่แตกแขนงที่ปลายมีคอลูเมลา(columella) และสปอร์แรงเจียม (Sporangium) รูปกลม ภายในสปอร์แรงเจียมมี สปอร์แรงจิโอสปอร์(sporangiospores) รูปกลมหรือรี ผิวเรียบ มักมีสีดำ (shurtleff และ Aoyagi, 1979) ดังแสดงในภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ *Rhizopus oligosporus*

ที่มา : www. Micropix. Demon. Co.uk/tempeh/t-right. Html

2.4. อาหารมังสวิรัติ

อาหารมังสวิรัติ หมายถึง อาหารที่ปราศจากเนื้อสัตว์ทุกประเภทแต่ยังคงใช้ผักทุกประเภทรับประทาน ในส่วนอาหารเจเป็นอาหารที่ปราศจากเนื้อสัตว์ทุกประเภทเช่นกัน แต่อาหารเจจะไม่ใช้ผักฉุนทั้ง 5 ประเภท มาปรุงในอาหารโดยเด็ดขาด อันได้แก่ กระเทียม หัวหอม หลักเกียว กุ้ยฉ่าย ใบยาสูบ ผักดังกล่าวนี้เป็นผักมีรสหนัก กลิ่นเหม็นคาวรุนแรงนอกจากนี้ยังมีพิษคอยทำลายพลังธาตุทั้ง 5 ในร่างกาย เป็นมูลเหตุให้อวัยวะหลักสำคัญทั้ง 5 ทำงานไม่ปกติ เพราะฉะนั้นผู้ที่รับประทานอาหารมังสวิรัติอยู่แล้วหากจะลองปรุงและรับประทานอาหารเจดูบ้างก็เพียงแต่ไม่บริโภคผักฉุนทั้ง5 ประเภทเท่านั้นเองอาหารมังสวิรัติแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. อาหารมังสวิรัติชนิดเคร่งครัด เป็นมังสวิรัติที่กินอาหารจากพืชอย่างเดียวไม่มีอาหารพวกเนื้อสัตว์ ไข่ นม หรือ ผลิตภัณฑ์ของนมหรือไข่ เป็นส่วนประกอบของอาหารเลย
2. มังสวิรัติชนิดที่ดื่มนม อาหารมังสวิรัติประเภทนี้มีนมและผลิตภัณฑ์นม นอกเหนือจากพืช แต่ไม่มีเนื้อสัตว์และไข่เป็นส่วนประกอบของอาหารเลย
3. อาหารมังสวิรัติที่ดื่มและกินไข่อาหารมังสวิรัติประเภทนี้มีไข่และนมและผลิตภัณฑ์ของนมนอกเหนือจากพืชแต่ไม่มีเนื้อสัตว์เลย

บางท่านเกรงว่าการรับประทานอาหารมังสวิรัติอย่างเดียวจะทำให้ร่างกายขาดสารอาหาร โดยเฉพาะโปรตีนซึ่งคนทั่วไปเข้าใจว่าโปรตีนหาได้จากเนื้อสัตว์เท่านั้น แต่ความจริงคนที่รับประทานอาหารมังสวิรัติก็สามารถได้รับประทานอาหารครบหมู่เช่นเดียวกันโดยโปรตีนจะได้มาจากพืช พวกถั่วเมล็ดแห้ง เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วลิสงเป็นต้น (http:/www.Thai goodview.com)

2.5. อาหารเจ

เป็นอาหารประเภทชีวจิต เมื่อรับประทานติดต่อกันอยู่ช่วงหนึ่งจะทำให้ร่างกายเกิดการปรับตัวให้อยู่ในสภาวะสมดุล สามารถขับพิษของเสียต่างๆออกจากร่างกายได้ ปรับระบบไหลเวียนระบบทางเดินอาหารให้มีเสถียรภาพทั้งนี้ผู้รับประทานอาหารเจจะต้องทานอาหารให้ครบ 5 หมู่และดื่มน้ำให้เพียงพอ และอาหารเจส่วนใหญ่มักใช้ถั่วในการผลิต

ประโยชน์จากการรับประทานอาหารเจ

1. ร่างกายขับถ่ายของเสียออกหมดทำให้ไม่มีพิษตกค้างอยู่ภายใน สารอาหารที่มีในพืชผักผลไม้ช่วยทำให้การขับถ่ายและการย่อยเป็นปกติ

2. เมื่อทานอาหารเจเป็นประจำ โลหิตจะถูกฟอกให้สะอาดขึ้นเรื่อยๆ เซลล์ต่างๆ ของร่างกายเสื่อมช้าลงทำให้อายุยืนผิวพรรณผ่องใส ในตาแจ่มใสไม่พร่ามัว ร่างกายแข็งแรง รู้สึกสบายไม่อึดอัดสุขภาพดี

3. อวัยวะหลักภายในและอวัยวะประกอบทั้งห้าแข็งแรง ทำงานได้ปกติสมบูรณ์มีประสิทธิภาพสูง อวัยวะภายในทั้ง 5 ได้แก่ หัวใจ ไต ม้าม ตับ ปอด อวัยวะประกอบทั้ง 5 ได้แก่ ลำไส้ใหญ่ ลำไส้เล็ก กระเพาะปัสสาวะ กระเพาะอาหาร ถุงน้ำดี

4. ร่างกายต้านทานต่อสารพิษต่างๆ ได้สูงกว่าคนปกติธรรมดา (http:www. Bangkokokhealth.com)

2.6. เต้าหู้ยี้

เต้าหู้ยี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากถั่วเหลืองชนิดหนึ่งจัดเป็นอาหารทางซีกโลกตะวันออกซึ่งมีการผลิตมากทางประเทศจีนเป็นเวลาหลายศตวรรษแล้วและเป็นอาหารหมักที่มีคุณค่าทางโปรตีนเต้าหู้ยี้มีชื่อภาษาจีนหลายชื่อ เช่น ซูฟู (sufu) ทูซูฟู ฟูซู ฟูรู โทฟูรู เต้าฟูรู แต่ซูฟูเป็นชื่อแรกที่ชาวจีนเรียก ซึ่งตามความหมายของซูฟูหมายถึงก้อนที่ราขึ้นขาว (milk mold) ซึ่งเป็นราที่กินได้ ส่วนทางตะวันตกเรียกเต้าหู้ยี้ว่า Chinese cheese การทำเต้าหู้ยี้ใช้เต้าหู้ซึ่งปกติจะมีองค์ประกอบทางเคมีของน้ำ 83% โปรตีน10% และไขมัน4% นำมาตัดเป็นก้อนขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร (ขนาดดังกล่าวนี้ไม่ได้จำกัดแน่นอนอาจจะมีขนาดแตกต่างกันไปแล้วแต่การผลิตแต่ละแห่ง) เมื่อตัดก้อนเต้าหู้ตามขนาดที่ต้องการแล้ว นำไปแช่ในสารละลายเกลือกรด (acid saline) ที่ประกอบด้วยกรดซิตริก 2.5% และเกลือ 6% นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงใส่เชื้อราชนิดใดชนิดหนึ่ง ได้แก่ *Mucor racemosus* *Mucor hiemalis* หรือ *Actimomucor elegans* ลงบนก้อนเต้าหู้จากนั้นเก็บไว้ที่

อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 3-7 วัน เชื้อราจะขึ้นขาวคลุมก้อนเต้าหู้ แล้วนำไปแช่ในน้ำเกลือผสมเหล้าที่ประกอบด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 2-6 เดือน จะได้เต้าหู้ยี้ สาเหตุที่แช่ก้อนเต้าหู้ยี้ที่มีราขึ้นคลุมขาวลงในน้ำเกลือนั้นนอกจาก จะช่วยการถนอมอาหารให้รสเค็มแล้ว ยังป้องกันการเจริญของเชื้อรา และจุลินทรีย์อื่น ๆ อีกด้วย สิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ปริมาณเกลือที่พอเหมาะ ในน้ำเกลือจะช่วยให้ได้เอนไซม์จากเชื้อราบนก้อนเต้าหู้ที่เรียกว่า โปรทีเอส(protease) ซึ่งมีคุณสมบัติในการย่อยโปรตีน ทำให้เกิดกลิ่นรสของเต้าหู้ที่ดี เกลือที่นิยมใช้ในการแช่ก้อนเต้าหู้คือเกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์) นอกจากนี้ ยังมีเกลืออีกหลายชนิดที่สามารถใช้แทนเกลือแกงได้ คือโพแทสเซียมคลอไรด์ แคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งเกลือเหล่านี้ จะช่วยให้เกิดการย่อยของโปรตีนได้เร็วขึ้นในการเก็บเต้าหู้ยี้ให้มีคุณภาพดีอยู่ได้นาน มักใช้สารเจือปน เช่น กรดเบนโซอิกหรือเบลซาลดีไฮด์เติมลงในน้ำเกลือและใช้สารปรุงแต่งชนิดต่างๆ เติมลงในเต้าหู้ยี้ ทำให้เกิดเต้าหู้ยี้ชนิดต่างๆ เช่น เติมข้าวแดง (red rice,ang-kak) ลงไป ทำให้เกิดสีแดงเรียกว่า red sufu เติมพริกแดง ยี่หราข้าวแดง เรียกว่า Kwantung sufu เติมดอกจันทร์เรียกว่า rose sufu เติมกานพลูและเปลือกส้มเรียกว่า tsaosufu และเติมข้าวบดหมักหรือไวน์ลงในน้ำเกลือเรียกว่า drunksufu นอกจากนี้ยังมีเต้าหู้ยี้ชนิดต่างๆอีกมากตามแต่ชนิดของสารปรุงแต่งที่เติมลงไป

(http://www.tistr.or.th/t/publication /page_area_show_bc.asp?i1=64&i2=17)