

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 โปรตีนเซลล์เดียว

โปรตีนเซลล์เดียว (Single cell protein) เป็นโปรตีนจากจุลินทรีย์ซึ่งอาจจะเป็นจุลินทรีย์เซลล์เดียว (unicellular microorganism) ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และสาหร่ายบางชนิด หรือจุลินทรีย์ที่มีหลายเซลล์ (multicellular microorganism) ได้แก่ สาหร่ายและเชื้อรา โดยจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียว ควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ

- 2.1.1 เจริญได้เร็วในอาหารที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- 2.1.2 เจริญได้ดีในอาหารที่มีส่วนประกอบง่าย ๆ
- 2.1.3 คงลักษณะทางพันธุกรรมได้ดี ไม่กลายพันธุ์ง่ายเมื่อเลี้ยงติดต่อกันเป็นเวลานาน
- 2.1.4 มีความทนทานต่อการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ชนิดอื่น
- 2.1.5 ทราบคุณสมบัติทางพันธุกรรม สรีรวิทยาและสามารถปรับปรุงทางพันธุกรรมได้
- 2.1.6 มีวัสดุเหลือทิ้งน้อยหรือไม่มีเลย หลังจากที่ผ่านมากระบวนการเลี้ยง
- 2.1.7 แยกและเก็บเกี่ยวเซลล์ได้ง่าย
- 2.1.8 ให้ปริมาณโปรตีนสูง โดยเฉพาะโปรตีนจะต้องมีกรดอะมิโนที่มีคุณค่า
- 2.1.9 ไม่เป็นพิษและไม่ทำให้เกิดอาการภูมิแพ้
- 2.1.10 เก็บรักษาได้ง่าย เช่น การทำให้แห้ง

(Kumnuanta, 1976)

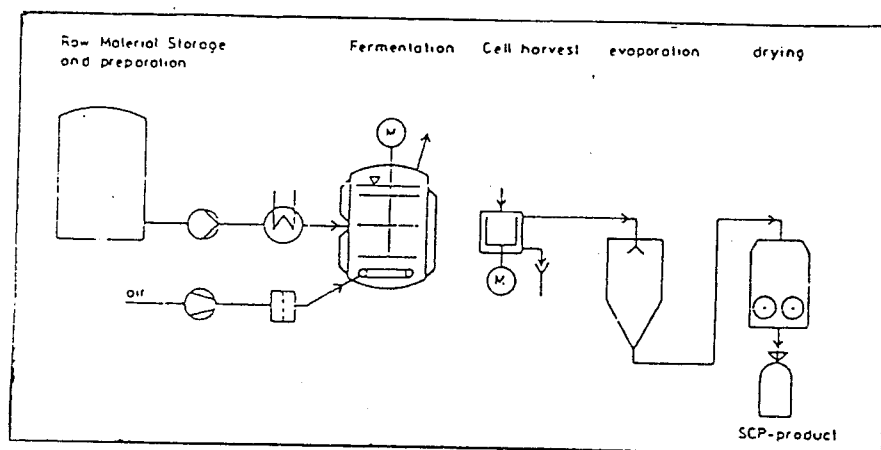
ในอนาคตโปรตีนเซลล์เดียวเป็นที่คาดหวังว่าจะเป็นแหล่งอาหารโปรตีนของโลกที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง ทั้งนี้เพราะ

1. ราคาถูก เนื่องจากใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูก และสามารถใช้อัตราการผลิตได้หลายชนิด รวมทั้งวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมและการเกษตร
2. การเลี้ยงใช้ระยะเวลาสั้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเร็ว ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่าการแบ่งตัวในแต่ละชั่วรุ่น (generation time) จะพบว่าแบคทีเรียมีอัตราการเจริญสูงสุด

คือ ประมาณ 0.3 - 2.0 ชั่วโมง ยีสต์มีอัตราการเจริญรลงมา คือ ประมาณ 1 - 3 ชั่วโมง ส่วนเชื้อรา และสาหร่าย จะใช้เวลาประมาณ 4 - 12 ชั่วโมง และ 2 - 6 ชั่วโมง ตามลำดับ

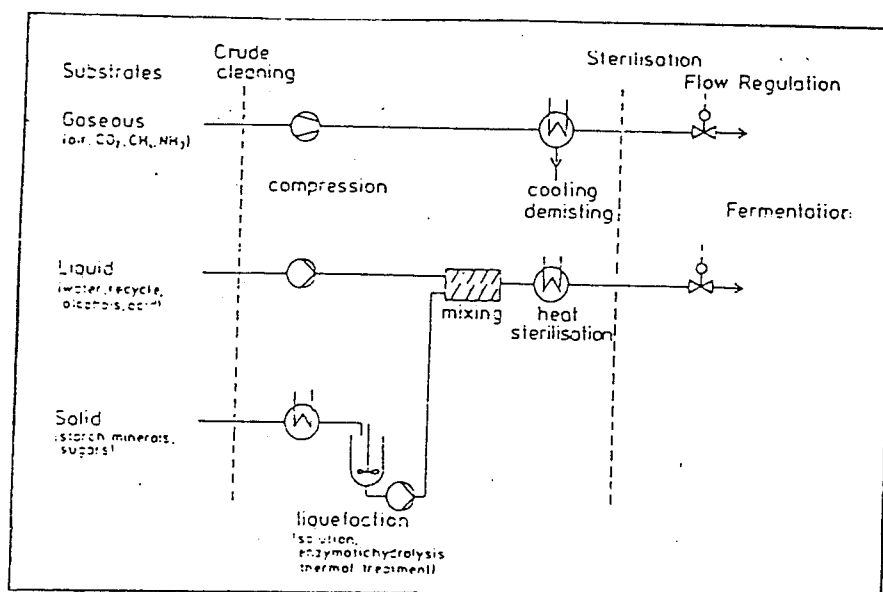
3. ประหยัดเนื้อที่ในการผลิต ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับพืชและสัตว์จะเห็นว่าการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวใช้พื้นที่น้อยกว่ามากในการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนเท่ากัน
4. มีปริมาณโปรตีนสูง และมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นคล้ายกับโปรตีนของสัตว์ และที่สำคัญคือสังเคราะห์ได้เร็วกว่าพืชและสัตว์ ในโปรตีนเซลล์เดียวจะมี lysine, methionine และ tryptophan ซึ่งโปรตีนจากพืชมักจะขาด

ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวนั้น กระบวนการที่ใช้ในการผลิตแบบมาตรฐานทั่ว ๆ ไป จะมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 (ดวงพร, 2528)



รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมแสดงถึงขั้นตอนการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

X



รูปที่ 2.2 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

2.2 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว มีทั้งสาหร่าย รา แบคทีเรีย และยีสต์ จุลินทรีย์แต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ตลอดจนข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป คือ (สิรินทรเทพ, 2526)

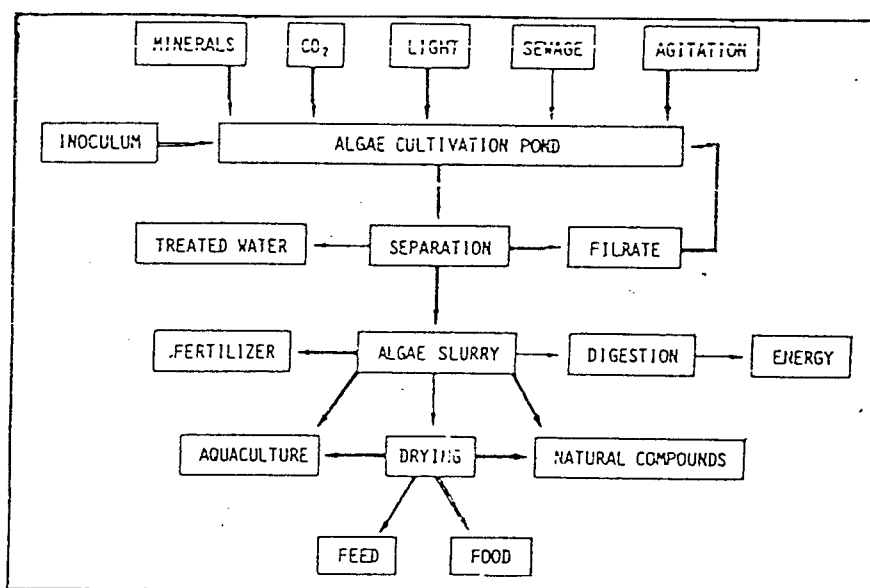
2.2.1 สาหร่าย

จัดเป็นจุลินทรีย์ที่มีการดำรงชีวิตแบบ phototrophic microorganism คือใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ (CO_2) ให้เป็นสารอินทรีย์ ข้อดีของสาหร่ายคือมีโปรตีนประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ มีวิตามินซีและวิตามินบีรวมสูง ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ใช้ CO_2 เป็นแหล่งคาร์บอน สามารถตรึง N_2 จากอากาศมาใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจนได้ อาหารที่ใช้เลี้ยงมีเพียงเกลืออนินทรีย์เท่านั้น ทนทานต่อการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ชนิดอื่น และเก็บเกี่ยวผลผลิตง่าย ส่วนข้อเสียของสาหร่ายคือ มีอัตราการเจริญต่ำกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่น มีปัญหาเกี่ยวกับการตกตะกอนของเซลล์ในระหว่างการเลี้ยง มีกลิ่นรสไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ความ

สามารถในการย่อยได้ (digestibility) ต่ำกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่น และถ้าเลี้ยงในถังหมักมักมีปัญหาในการให้ CO₂ และแสงแก่เซลล์แต่ละเซลล์

สาหร่ายที่ได้รับความสนใจในการนำมาใช้ผลิตได้แก่ *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., *Spirulina* sp., *Uronema* sp. *Dunaliella* sp. เป็นต้น

การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากสาหร่าย ส่วนประกอบทางเคมี และคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย แสดงดังรูปที่ 2.3 ตารางที่ 2.1, 2.2, 2.3 และ 2.4



รูปที่ 2.3 การเพาะเลี้ยงและกระบวนการผลิตสาหร่ายเป็นแหล่งอาหารโปรตีน

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของสาหร่ายแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับถั่วเหลือง (%น้ำหนักแห้ง)

Component	<i>Scenedesmus</i>	<i>Spirulina</i>	<i>Chlorella</i>	Soya
Crude protein	50-55	55-65	40-55	35-40
Lipids	8-12	2-6	10-15	15-20
Carbohydrates	10-15	10-15	10-15	20-35
Crude fiber	5-12	1-4	5-10	3-5
Ash	8-12	5-12	5-10	4-5
Moisture	5-10	5-10	5-10	7-10

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของสาหร่าย (กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)

Component	<i>Spirulina</i>	<i>Scenedesmus</i>
Total nitrogen	11.0	8.30
Non-protein nitrogen	1.50	1.05
Protein-nitrogen	9.50	7.25
Available lysine (g/100g protein)	2.96	3.66
RNA	2.90	4.40
DNA	1.00	1.60
Calcium	0.75	0.85
Phosphorus	1.42	1.90

ตารางที่ 2.3 กรดอะมิโนต่าง ๆ ในสาหร่ายเปรียบเทียบกับโปรตีนมาตรฐานของ FAO

(กรัมต่อ 100 กรัม โปรตีน)

Amino acid	FAO	<i>Spirulina</i>	<i>Scenedesmus</i>
Isoleucine	4.0	6.7	3.6
Leucine	7.0	9.8	7.3
Valine	5.0	7.1	6.0
Phenylalanine	6.0	5.3	4.8
Tyrosine	-	5.3	3.2
Lysine	5.5	4.8	5.6
Methionine	3.5	2.5	1.5
Cystine	-	0.9	0.6
Tryptophan	1.0	0.3	0.3
Threonine	4.0	6.2	5.1
Alanine	-	9.5	9.0
Arginine	-	7.5	7.1
Aspartic acid	-	11.8	8.4

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

Amino acid	FAO	<i>Spirulina</i>	<i>Scenedesmus</i>
Glutamic acid	-	10.3	10.7
Glycine	-	5.7	7.1
Histidine	-	2.2	2.1
Proline	-	4.2	3.9
Serine	-	5.4	3.8

ตารางที่ 2.4 ปริมาณวิตามินชนิดต่าง ๆ ในสาหร่าย (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)

Vitamin	<i>Spirulina</i>	<i>Scenedesmus</i>	Egg
Thiamine	27.80	8.20	1.20
Riboflavine	33.40	36.60	3.40
Pyridoxine	1.32	2.50	2.50
Cobalamine	2.40	0.44	0.02
Biotine	0.06	0.20	0.20
β -carotene	500.00	230.00	10.00

2.2.2 ยีสต์

เป็นจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในการผลิตมากที่สุด เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารที่ดีของโปรตีนและวิตามินบี จึงมีการผลิตในเชิงการค้าเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ และบางชนิดก็เป็นที่ยอมรับของมนุษย์ ปริมาณโปรตีนของเซลล์ยีสต์มีประมาณ 44-55 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ข้อเสียของยีสต์คือมีปริมาณกรดนิวคลีอิกค่อนข้างสูง ประมาณ 10-12 % ของน้ำหนักแห้ง มีแนวโน้มจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ คือ ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับไต และโรคเก๊าท์

ยีสต์ที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดี่ยวได้แก่ *Candida utilis*, *C. tropicalis*, *C. lipolyticum*, *C. pseudotropicalis*, *Kluyveromyces fragilis*, *Rhodotorula* sp., *Saccharomyces* sp.

2.2.3 รา

ข้อดีของเชื้อราคือ เป็นที่ยอมรับโดยทั่ว ๆ ไป ตลอดจนมีคุณค่าทางอาหารเท่ากับยีสต์ แต่ข้อเสียของเชื้อราคือมีอัตราการเจริญต่ำกว่ายีสต์และแบคทีเรีย และมีปัญหาในการเลี้ยงเพราะว่าเส้นใยเมื่อเลี้ยงในสภาพอาหารเหลว (submerged culture) เส้นใยจะอยู่ในสภาพเป็นกลุ่มก้อน (pellet) เกิดปัญหาในการให้ออกซิเจนแก่เซลล์ และมีการเจริญของเส้นใยติดอยู่ข้างถังหมัก

ส่วนประกอบของกรดอะมิโนในเชื้อรา จะมีลักษณะใกล้เคียงกับจุลินทรีย์อื่น ๆ คือมี sulfur amino acid ต่ำ และมีวิตามินบีอยู่ในระดับต่ำ การใช้เชื้อราเป็นอาหารสัตว์จึงต้องเสริมวิตามินบีชนิดต่างๆ ลงไปด้วย เชื้อราที่นิยมใช้ผลิตโปรตีนเซลล์เดี่ยวได้แก่ *Aspergillus niger*, *Trichoderma viride*, *Fusarium sp.*, *Rhizopus sp.* เป็นต้น

2.2.4 แบคทีเรีย

การศึกษาเกี่ยวกับการใช้แบคทีเรียเป็นแหล่งอาหารโปรตีนเริ่มเป็นที่สนใจกันมากขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียมีอัตราการเจริญที่สูงกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่น และมีปริมาณโปรตีนสูง โปรตีนในแบคทีเรียแต่ละชนิดจะมีปริมาณแตกต่างกันไปตั้งแต่ 47-87 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โปรตีนจากสาหร่าย รา และยีสต์ มีประมาณ 40, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ในแบคทีเรียยังมีกรดอะมิโนจำเป็นคือ methionine, tryptophan และ cystine ซึ่งไม่พบในเชื้อราและยีสต์ และแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่ง่ายต่อการปรับปรุงพันธุ์เพื่อนำมาใช้ทางอุตสาหกรรม แต่ข้อเสียของแบคทีเรีย คือ เซลล์มีขนาดเล็ก ทำให้เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ยาก แบคทีเรียที่นิยมใช้ในการผลิตโปรตีนได้แก่ *Corynebacterium sp.*, *Rhodospseudomonas sp.*, *Enterobacter sp.*, *Methylomonas sp.*, *Pseudomonas sp.* เป็นต้น

ตารางที่ 2.5 กรดอะมิโนจำเป็นของเชื้อ *Methylophilus sp.* เมื่อเปรียบเทียบกับ กรดอะมิโนจำเป็นจากปลาป่นและถั่วเหลืองป่น

Amino acid	Grams amino acid 16 grams Nitrogen <i>Methylophilus</i> protein	Grams amino acid/100 g product		
		Fish meal 72%	Soya meal 66% 47%	
Lysine	6.8	4.9	4.9	2.9
Methionine	2.5	1.8	1.9	0.6
Cystine	0.7	0.5	0.7	0.6
Alanine	7.0	5.0	4.2	2.1
Arginine	5.0	3.6	3.7	3.5
Glutamic acid	10.5	7.6	8.9	8.7
Aspartic acid	9.0	6.5	6.2	5.4
Glycine	5.3	3.8	3.9	2.1
Histidine	2.0	1.4	1.5	1.4
Isoleucine	4.8	3.4	3.2	2.1
Leucine	7.6	5.2	5.0	3.6
Phenylalanine	3.6	2.6	2.9	2.4
Proline	3.4	2.4	2.9	2.2
Serine	3.4	2.4	3.0	2.6
Threonine	4.6	3.3	3.0	2.5
Tryptophan	1.0	0.7	0.9	0.6
Tyrosine	3.3	2.3	7.3	1.9
Valine	5.6	4.1	3.7	2.1

ตารางที่ 2.6 ปริมาณโปรตีนของแบคทีเรียที่เรียที่สามารถใช้สารไฮโดรคาร์บอนได้

Strain	Protein (% dry weight)	Index of essential amino acid
<i>Brevibacterium insectiphilum</i> ATCC 15528	53.6	60.0
<i>Corynebacterium sp.</i> ATCC 15529	69.0	58.0
<i>Corynebacterium paurometabolum</i> ATCC 15530	59.6	63.3
<i>Pseudomonas ligustri</i> ATCC 15522	60.9	46.8
<i>Pseudomonas pseudomallei</i> ATCC15523	56.8	58.2
<i>Pseudomonas orvilla</i> ATCC 15524	62.0	63.0
<i>Alcaligenes sp.</i> ATCC 15525	70.0	74.1
<i>Cellulomonas galba</i> ATCC 15526	51.4	65.9

ส่วนแบคทีเรียที่เลี้ยงเพื่อผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียวในประเทศไทย และมีแนวโน้มว่าสามารถที่จะนำมาใช้ได้ คือ *Rhodopseudomonas sphaeroides* P47 ซึ่งเป็นเชื้อที่มีปริมาณโปรตีนสูง (ตารางที่ 2.7) และโปรตีนในเซลล์ของเชื้อชนิดนี้มีองค์ประกอบของกรดอะมิโน ทั้งกลุ่มอะมิโนจำเป็นและไม่จำเป็นครบถ้วน (ตารางที่ 2.8) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนพวก methionine, tyrosine, alanine, glycine, threonine, aspartic acid และ arginine มีปริมาณสูงกว่าของเซลล์สำหรับและยีสต์ และเซลล์ของเชื้อนี้ยังประกอบด้วยวิตามินบี 12 ในปริมาณ 72.72 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และมี carotenoid 1.27 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่ช่วยเพิ่มคุณค่าของอาหารสัตว์ (ดวงพร, 2528)

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบองค์ประกอบของแบคทีเรีย *R. shaeroides*, *Chlorella sp.* และ
ยีสต์ *Saccharomyces sp.*

Vitamin	Bacteria (g/ 100 g all dry weight)	Yeast (g/ 100 g all dry weight)
Riboflavin (B ₂)	3,600	2,900
Pyridoxine (B ₆)	3,000	2,400
Folic acid	2,000	1,700
Cobalamin (B ₁₂)	200	1.0
Ascorbic acid (C)	20,000	-
Cholecalciferol (D ₃)	10,000	300,000

ตารางที่ 2.8 ส่วนประกอบของเซลล์ และองค์ประกอบของกรดอะมิโน ภายในเซลล์ของเชื้อ
R. shaeroides P47

Component	P 47	Alga	Yeast
Crude protein content (%)	56	56	51
Amino acid (g/100 g dry basis)			
*Lysine	2.57	2.71	3.76
*Histidine	0.96	1.06	0.90
Arginine	3.55	3.24	2.50
Aspartic acid	5.18	4.74	3.11
*Threonine	2.87	2.28	2.65
Serine	2.33	2.12	2.75
Glutamic acid	6.22	4.62	6.21
Proline	2.02	2.12	1.77
Glycine	3.18	2.28	2.18
Alanine	5.06	2.98	2.86
*Valine	2.68	3.02	3.20
*Methionine	1.47	0.27	0.51
*Isoleucine	1.78	2.44	2.63

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

Component	P 47	Alga	Yeast
*Leucine	3.90	4.46	3.54
Tyrosine	1.70	0.96	1.30
*Phenylalanine	2.36	2.65	2.20
Ammonia	1.13	2.58	5.30
Vitamin B ₁₂ (µg/cell)	72.72	n	0.11-0.17
Carotenoid (mg/g cell)	1.17	n	n

n = Not analyzed

Alga = *Chlorella vulgaris* (Kobayashi and Kurate ,1987)

Yeast = *Saccharomyces anomalous*

* = Essential amino acids

ในจำนวนจุลินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว พบว่ายีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ในการผลิต ทั้งนี้เพราะเป็นจุลินทรีย์ที่เลี้ยงง่ายไม่ต้องการ growth factor มากและมีคุณค่าทางอาหารที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นอาหารคนและสัตว์

2.3 การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากยีสต์

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ทั้งสภาพที่มีอากาศและไม่มีอากาศ ในสภาพไม่มีอากาศ ยีสต์จะหมักน้ำตาลกลูโคสได้เร็วกว่าในสภาพที่มีอากาศ เหตุที่เป็นดังนี้เพราะกลูโคสไปขัดขวางกระบวนการหายใจของยีสต์ในสภาพที่มีอากาศ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Pasteur Effect พบว่ากลูโคสที่ความเข้มข้น 5 % (w/v) สามารถไปยับยั้งการสังเคราะห์เอนไซม์ในกระบวนการหายใจได้ (Reed และ Pepler, 1973) ยีสต์ที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวกันมาก คือ *Saccharomyces sp.* และ *Candida utilis*

2.3.1 กระบวนการที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากยีสต์

การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากยีสต์สามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และชนิดของเชื้อที่ใช้ในการผลิต ตัวอย่างของกระบวนการที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากยีสต์ ได้แก่

2.3.1.1 Swedish Symba process

ใช้เชื้อ *Endomycopsis fibuligera* ซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์ α และ β -amylase ออกมา ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลเพื่อให้เชื้อ *Candida utilis* นำน้ำตาลที่ได้ไปใช้เพื่อการเจริญและเพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนเซลล์เดียว

2.3.1.2 Amylo Process

ใช้จุลินทรีย์ 2 ชนิด คือ *Rhizopus sp.* และ *Saccharomyces cerevisiae* โดยใช้แป้งเป็นแหล่งวัตถุดิบ *Rhizopus sp.* จะสร้างเอนไซม์ออกมาย่อยแป้งไปเป็นน้ำตาลเพื่อเป็นแหล่งอาหารของ *Saccharomyces cerevisiae* และจะได้เซลล์ของยีสต์นี้เป็นแหล่งอาหารโปรตีน

2.3.1.3 Waldhof Process

ใช้ *Candida utilis* หมัก sulfite waste liquor ในถังหมักแบบต่อเนื่องของ Waldhof จะได้โปรตีนประมาณ 55 - 60 เปอร์เซ็นต์

2.3.1.4 DSM Oxanene - water Process

ใช้ *Candida lipolytica* และ *Trichosporon cutaneum* หมักน้ำทิ้งจากการออกซิไดซ์ cyclohexane ได้โปรตีนประมาณ 54 - 67 เปอร์เซ็นต์

2.3.1.5 n - paraffin and gas oil Process

ใช้ *Candida lipolytica* โดยใช้ n - paraffin เป็นแหล่งวัตถุดิบ

2.3.2 แหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากยีสต์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งในการเลือกใช้วัตถุดิบชนิดใดนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยในการผลิตหลาย ๆ ประการ เช่น ปริมาณของวัตถุดิบ ราคา ความยากง่ายในการจัด

หาีสต์ที่นำมาใช้ในการผลิต กระบวนการในการปรับสภาพวัตถุดิบ ลักษณะของกระบวนการผลิต และการเก็บเกี่ยวผลผลิต ปริมาณของผลผลิตรวมทั้งความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ วัตถุดิบที่นิยมใช้ในการผลิตมีหลายชนิด เช่น (Schulz และ Oslage, 1977)

2.3.2.1 กากน้ำตาล (molasses)

เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาลทราย ซึ่งจะมีปริมาณน้ำตาลประมาณ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงต้องการทำเจือจางก่อนที่จะนำไปใช้ ยีสต์ที่ใช้ผลิตได้แก่ *Candida utilis* *C.tropicalis*, *Saccharomyces cerevisiae* ในการใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งวัตถุดิบนี้มักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งจะต้องล้างเอากากน้ำตาลที่ติดกับเซลล์ออกให้หมด เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีและกลิ่นของกากน้ำตาล

2.3.2.2 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural waste)

วัตถุดิบเหล่านี้จะประกอบไปด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นส่วนใหญ่ เช่น ฟางข้าว ผักตบชวา ชานอ้อย ชังข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการปรับสภาพ (pretreatment) ก่อนโดยการใช้กรดหรือด่างในการย่อย ให้เป็นน้ำตาล หรือใช้จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ เช่น *Trichoderma viride* ย่อยสลายเสียก่อน หลังจากการปรับสภาพจะได้น้ำตาลที่มีห้าอะตอมและหกอะตอม เช่น ไซโลส อะราบิโนส แมนโนส กลูโคส เป็นต้น โดยยีสต์ที่นำมาใช้ในการผลิต เช่น *Candida utilis* และ *C. tropicalis*

2.3.2.3 น้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษ (Sulfite waste liquor)

น้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษจะมีน้ำตาลประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยประกอบด้วยน้ำตาลที่มีคาร์บอนห้าและหกอะตอม เช่น ไซโลส อะราบิโนส ดังนั้นยีสต์ที่สามารถใช้ผลิตได้ คือ *Candida utilis* ปัญหาที่พบในการผลิต คือ ต้องทำการปรับสภาพวัตถุดิบก่อน และในการเก็บเกี่ยวเซลล์ต้องทำการล้าง lignosulfonic acid ที่เกิดขึ้นออก

2.3.2.4 น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร (agro-industry waste water)

มักจะมีน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอน เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานลับประรดกระป๋อง น้ำทิ้งจากโรงงานสุรา เป็นต้น ซึ่งหลังจากการเลี้ยงนอกจากจะได้เซลล์เป็นผลิตภัณฑ์แล้ว ยังเกิดผลพลอยได้จากการลดค่า BOD และ COD ในน้ำทิ้งลงอีกด้วย ทำให้ลดขั้นตอนและค่าใช้จ่ายในการบำบัดลง เชื้อยีสต์ที่นิยมใช้ในการผลิตคือ *Candida utilis*

2.3.2.5 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon compound)

เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับผลิตในประเทศที่มีอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันมาก ผลพลอยได้ที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว เช่น อัลเคน (alkane) อัลคีน (alkene) พาราฟิน (n-parafin) เมทานอล (methanol) และ gas oil เป็นต้น เชื้อที่ใช้ในการผลิต เช่น *Candida lipolytica*, *C. intermedia*, *C. quilliermonii* เป็นต้น

2.3.2.6 หางนม (Whey)

เป็นผลพลอยได้จากการผลิตเนยแข็ง (cheese) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลแลคโตสประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 0.8 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดแลคติกเล็กน้อย ยีสต์ที่สามารถใช้น้ำตาลแลคโตสได้ดีคือ *Kluyveromyces fragilis* และนอกจากนี้ยังมียีสต์ *Candida pseudotropicalis* อีกหนึ่งชนิดที่นิยมใช้ผลิต

2.3.2.7 สารประกอบจำพวกแป้ง (starch material)

เป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ α -1,6-glycosidic linkage หรือ α -1, 4-glycosidic linkage หรือมีทั้งสองพันธะซึ่งจะต้องมีการปรับสภาพโดยใช้เอนไซม์อะไมเลสย่อยให้ได้เป็นน้ำตาลเสียก่อน แต่มียีสต์บางชนิดที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้ เช่น *Endomycopsis fibuligera* ดังนั้นจึงมักจะเลี้ยงเชื้อชนิดนี้ร่วมกับเชื้อยีสต์ชนิดอื่นโดยจะเลี้ยงร่วมกับ *Saccharomyces cerevisiae* เพื่อผลิตแอลกอฮอล์ เรียกว่า Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) หรือเลี้ยงร่วมกับเชื้อ *Candida utilis* เพื่อผลิตโปรตีนเซลล์เดียว เรียกว่า Symba Yeast Process วัตถุดิบที่นิยมใช้ เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง มันเส้น กากมัน น้ำทิ้งจากโรงงานแป้ง เป็นต้น

2.3.3 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากยีสต์

การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวเพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงนั้นจะต้องจัดสภาวะต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการเจริญของยีสต์ เช่น แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน แหล่งฟอสฟอรัส ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ เป็นต้น

2.3.3.1 แหล่งคาร์บอนและพลังงาน

ยีสต์ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานทั้งในสภาพที่มีออกซิเจน และปราศจากออกซิเจน ยีสต์ส่วนมากจะใช้น้ำตาลที่สามารถหมักได้ เช่น D - glucose, D-fructose และ D-mannose ได้ดี บางชนิดก็สามารถใช้แป้ง (starch) ได้ เช่น *E. fibuligera* บางชนิดก็ใช้ inulin ได้ เช่น *Fabospora fragilis* บางชนิดก็ใช้น้ำตาล pentose ได้ เช่น *C. utilis* นอกจากนี้บางชนิดยังใช้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้

2.3.3.2 แหล่งไนโตรเจน

ยีสต์ต้องการแหล่งไนโตรเจนเพื่อใช้ในการสร้างโปรตีนของตัวเอง แหล่งไนโตรเจนที่ยีสต์นำมาใช้ได้มีหลายอย่าง ยีสต์ทุกชนิดใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ ส่วนแอมโมเนียมฟอสเฟต โมโน และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต แอมโมเนียมคาร์บอเนต แอมโมเนียมทาร์เตรทและยูเรียนั้นยีสต์หลายชนิดสามารถใช้ได้ดี ในการผลิตยีสต์เพื่อเป็นอาหารเสริมโปรตีนส่วนมากนิยมใช้สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตหรือยูเรีย (สมคิด, 2521)

2.3.3.3 แหล่งฟอสฟอรัส

ยีสต์ต้องการแหล่งฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการสร้างพลังงาน เซลล์ยีสต์สามารถดูดซึมสารโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตได้ดีกว่าไดไฮเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต

สารอาหารอื่น ๆ นั้น ยีสต์ต้องการในปริมาณต่ำ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ เพื่อเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น แมกนีเซียม โคบอลท์ โมลิบดีนัม ทองแดง และสังกะสี เป็นต้น นอกจากนี้ยีสต์ยังต้องการ growth factor บางชนิด เช่น biotin, pentotinic acid, enositone, thiamin, nicotinic acid, pyridoxine, และ pholic acid เป็นต้น (Imrie และ Vlitos, 1976)

2.3.3.4 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของอาหาร

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีความเป็นกรดมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ปกติ pH ที่เหมาะสมของยีสต์ทั่ว ๆ ไป จะอยู่ระหว่าง 4.5 - 5.5 อย่างไรก็ตาม pH ที่เหมาะสมของยีสต์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป เช่น *C. utilis* pH ที่เหมาะสม คือ 4.5 - 5.0 *E. fibuligera* pH ที่เหมาะสม คือ 6.0 เป็นต้น

2.3.3.5 อุณหภูมิ

ยีสต์ส่วนใหญ่เจริญได้ดีระหว่างอุณหภูมิ 20 - 30 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมของยีสต์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การเลี้ยง *E. fibuligera* ร่วมกับ *S. Cerevisiae* แบบวิธี Symba yeast process โดยใช้มันเส้น 5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเป็นแหล่งวัตถุดิบ อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 35 องศาเซลเซียส (วิชชุพร , 2523)

2.3.4 คุณค่าทางอาหารของยีสต์

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่อุดมด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และวิตามินบี โดยองค์ประกอบภายในเซลล์ยีสต์จะต่างกันไปตามสายพันธุ์ของเชื้อ สภาพแวดล้อมที่เลี้ยงเชื้อ และกรรมวิธีการเก็บเกี่ยวเซลล์ ธรรมชาติของอาหารเลี้ยงเชื้อ และการให้อากาศ คุณค่าทางอาหารของยีสต์ขึ้นอยู่กับคุณภาพของโปรตีนและวิตามินที่เป็นองค์ประกอบในเซลล์ยีสต์ โดยยีสต์มีค่า digestibility และ biological value 87 เปอร์เซ็นต์ทั้งสองค่า (Bhattacharjee, 1970)

โดยทั่วไปยีสต์มีโปรตีนประมาณ 45 - 55 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.9 นอกจากนี้ในเซลล์ยีสต์ยังประกอบไปด้วย กรดนิวคลีอิก ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนีย ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ (Harrison , 1968) และกรดอะมิโนที่จำเป็นต่าง ๆ อีกหลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อ ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ยีสต์ที่ใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีน (กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

Constituent	<i>S. cerevisiae</i> Molasses	<i>Candida utilis</i> Sulfite liquor	<i>S. fragis</i> Milk whey	<i>S. cerevisiae</i> Beer
Protein	50	55	54	45
Lipids	6	5	1	6
Moisture	5	6	7	6
Ash	7	8	9	8
Sodium	0.3	0.001	-	0.2

ตารางที่ 2.10 เปรียบเทียบกรดอะมิโนจากเซลล์ยีสต์ชนิดต่าง ๆ กับโปรตีนมาตรฐานของ FAO

Amino acid	FAO Reference protein	Content in yeast (g/16gN)		
		S. cerevisiae in molasses	C. utilis sulfite liquor	C. utilis in molasses
Lysine	4.2	8.2	6.7	10.7
Valine	4.2	5.5	6.3	5.7
Leucine	4.8	7.5	7.0	8.1
Isoleucine	4.2	5.5	5.3	7.3
Threonine	2.8	4.8	5.5	4.8
Methionine	2.2	2.5	1.3	1.4
Phenylalanine	2.8	4.4	4.3	4.1
Cystine	2.0	2.6	0.7	0.3
Tryptophan	-	1.2	1.2	0.5
Histidine	-	4.0	1.9	2.8
Tyrosine	-	5.0	3.3	1.4
Arginine	-	5.0	5.4	4.7

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเซลล์ยีสต์มีประมาณ 22 - 34 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง คาร์โบไฮเดรตที่พบประกอบด้วย trehalose ประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ glucan ประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์ mannan ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ และ glycogen ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ไขมันในเซลล์ยีสต์มีประมาณ 2 - 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ไขมันส่วนใหญ่เป็นพวก triglyceride, lecithin และ ergosterol สำหรับเกลือแร่ในเซลล์ยีสต์มีประมาณ 6 - 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.11 นอกจากนี้ยีสต์ยังอุดมไปด้วยวิตามินต่าง ๆ เช่น thiamine HCl, riboflavin, niacin, pyridoxine HCl, folacin, calcium-D-pantothenate, biotin, p-aminobenzoic acid, choline chloride และ inositol ดังแสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.11 ปริมาณเกลือแร่ของยีสต์ *Candida ingens* (น้ำหนักรแห้ง)

Mineral	Percentage
Calcium	6.59
Phosphorous	7.19
Magnesium	1.49
Manganese	0.06
Zine	0.08
Potassium	0.68
Chloride	0.15
Sodium	0.0049
Siliga	Negligible

ตารางที่ 2.12 ปริมาณวิตามินของยีสต์ *Candida ingens* (น้ำหนักรแห้ง)

Vitamin	mg/ 100 g
Thiamine	1.0
Riboflavin	4.7
Pantothenic acid	11.1
Niacin	43.5
Cyanocobalamin	0.25

2.4 การใช้ยีสต์เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์

เนื่องจากยีสต์อุดมไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และวิตามินบี จึงทำให้ผู้บริโภครับสารอาหารจากยีสต์ แต่ถ้าบริโภคยีสต์ในลักษณะที่ยังมีชีวิตอยู่ ยีสต์จะดูดซึมวิตามินและกรดอะมิโนจากร่างกายผู้บริโภค โดยพบว่าวิตามินบีในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะลดลง (Bhattacharjee, 1970) นอกจากนี้คนและสัตว์ชั้นสูงไม่มีเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารที่จะย่อยสลายผนังเซลล์ของยีสต์ได้ แต่สัตว์บางชนิดได้แก่ ไก่ หมู วัว ควาย และปลาบางชนิด มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายผนังเซลล์ของยีสต์ได้ ดังนั้นการที่จะให้ได้รับคุณค่าทางอาหารจากการบริโภค

ยีสต์ ต้องทำให้ยีสต์ตายและย่อยผนังเซลล์ออกก่อน ซึ่งมีหลายวิธีได้แก่ การใช้ความร้อนสูงในระหว่างการอบแห้ง ขบวนการ autolysis, plasmolysis และ hydrolysis ทั้งสามขบวนการหลังนี้ใช้เตรียม yeast extract ที่เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ไม่เหมาะที่จะใช้เตรียมยีสต์เป็นอาหารสัตว์ ยีสต์นอกจากจะมีคุณค่าทางอาหารมากมาย แต่ถ้าผู้บริโภคได้รับยีสต์มากเกินไปจะก่อให้เกิดโรคไขข้ออักเสบในคนได้ เนื่องจากยีสต์มีกรดนิวคลีอิกสูง กรดนิวคลีอิกจะถูกเมตาโบไลซ์เป็นกรดยูริก ในร่างกายของคนไม่มีเอนไซม์ยูริเคส (uricase) ที่จะย่อยสลายกรดยูริกให้กลายเป็น allantoin ดังนั้นเกลือยูเรตจึงตกตะกอนตามข้อต่อและเนื้อเยื่อภายในร่างกาย แต่สัตว์บางชนิดได้แก่ สุนัข วัว และไก่ มีเอนไซม์ยูริเคสที่สามารถย่อยกรดยูริกได้ (Tannenbaum และ Wang, 1975)

ได้มีการทดลองใช้ยีสต์เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ปรากฏว่า ในอาหารไก่ซึ่งใช้ยีสต์แทนแหล่งโปรตีนอื่น ๆ โดยใช้ผสมในอาหารถึง 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการเจริญ ประสิทธิภาพการแลกเนื้อและคุณภาพซากไม่ต่างจากอาหารควบคุม ในไก่ไข่และไก่พันธุ์ ใช้ยีสต์ 12 - 14 เปอร์เซ็นต์ในอาหารเพื่อเป็นแหล่งโปรตีน บางครั้งใช้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลต่อการไข่หรือ reproductive performance เมื่อทำการทดลองใช้ยีสต์ในอาหารไก่ไปถึง 5 รุ่น พบว่าไก่อังคงมีความปกติ สามารถไข่ และผสมพันธุ์ไปได้เรื่อย ๆ ในสุกรก็เช่นกันเมื่อใช้ยีสต์ผสมในอาหารเลี้ยงสุกร 5 รุ่น ได้รับผลสำเร็จเมื่อเลี้ยงแม่สุกรและพ่อสุกรในระยะ reproductive phase โดยใช้อาหารที่ใช้ยีสต์แทนแหล่งโปรตีนทั้งหมดในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนทั้งหมดเปรียบเทียบกับสูตรอาหารปกติ ปรากฏว่าจำนวนลูกต่อคอกและน้ำหนักแรกเกิดไม่ต่างกัน และเมื่อเลี้ยงแม่สุกรในระยะให้นมด้วยอาหารผสมยีสต์ 15 เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับสูตรอาหารปกติปรากฏว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของลูกต่อวันไม่ต่างกัน ในสุกรระยะ weaning (น้ำหนักประมาณ 25 กิโลกรัม) ถึงระยะ slaughter (น้ำหนักประมาณ 110 กิโลกรัม) ได้ใช้ยีสต์ผสมในอาหารในระดับ 7.5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสูตรอาหารปกติปรากฏว่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อวัน และประสิทธิภาพการแลกเนื้อไม่ต่างกัน ในอาหารทั้งสามสูตร อุทัย และคณะ (2518) ใช้มันสำปะหลังหมักด้วยเชื้อยีสต์บดแล้วผสมในอาหารไก่ในระดับ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามันสำปะหลังซึ่งผ่านการหมักด้วยเชื้อยีสต์ในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ให้ผลในการเพิ่มน้ำหนัก และประสิทธิภาพในการใช้อาหารดีเท่ากับอาหารเปรียบเทียบ และยังสามารถเป็นแหล่งที่ให้วิตามินบีโดยเฉพาะไรโบฟลาวินและแพนโททีนิก

2.4.1 การใช้ยีสต์เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ปีก

Burns และ Baker (1976) ได้ศึกษาการใช้ยีสต์เป็นแหล่งฟอสฟอรัสในสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงไก่กระທง โดยวัดจากแก้วกระดูกแข้ง (tibia) น้ำหนักกระดูก และน้ำหนักเพิ่ม พบว่าการ

ตอบสนองต่อการใช้ยีสต์และโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ต่างกัน โดยคิดเทียบกับโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ซึ่งจะให้ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้เป็นมาตรฐาน โดยที่ปริมาณของฟอสฟอรัสที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 41.1 มิลลิกรัมต่อยีสต์ 1 กรัม

Daghir และ Sell (1982) รายงานว่าในการใช้ยีสต์เป็นแหล่งโปรตีนแทนกากถั่วเหลืองทั้งหมด จะให้น้ำหนักและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำกว่าสูตรอาหารที่ใช้กากถั่วเหลือง ซึ่งทั้งนี้พบว่าเมทไธโอนิน (methionine) เป็นกรดอะมิโนที่ขาดมากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคืออาร์จินิน (arginine) การใช้ยีสต์จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากโภชนาการอาหารน้อยลง ความนำกินของอาหารต่ำลง การเพิ่มระดับกรดอะมิโนในอาหารที่ใช้ยีสต์ไม่ทำให้การตอบสนองดีกว่าเดิม ซึ่งแสดงว่าการลดการกินนี้เนื่องมาจากยีสต์มีกรดอะมิโนที่สามารถนำไปใช้ได้ต่ำ

Daghir และ Abdul-baki (1977) ได้ศึกษาการทดแทนกากถั่วเหลืองและปลาป่นด้วยยีสต์ที่ผลิตจากกากน้ำตาล พบว่าในสูตรอาหารที่มีปลาป่น 5 เปอร์เซ็นต์จะทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยยีสต์ได้ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสูตรอาหารที่ไม่มีปลาป่นนั้นสามารถใช้ยีสต์ทดแทนกากถั่วเหลืองได้ 10 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน เมื่อเติมเมทไธโอนิน และไลซีนอย่างละ 0.5 เปอร์เซ็นต์

Rowland และ Baker (1977) ได้ศึกษาการใช้ยีสต์ที่ผลิตได้จากปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (petroleum-hydrocarbons) เอทานอล (ethanol) และน้ำตาลจากไม้ยืนต้น ในสูตรอาหารไก่กระตัง พบว่าเมื่อใช้ยีสต์ในอาหาร 10 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเจริญเติบโตของไก่จะน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของไก่ที่กินสูตรอาหารที่มีเคซีน (casein) ซึ่งเติมอาร์จินินด้วย โดยพบว่าเมทไธโอนินเป็นกรดอะมิโนที่ขาดมากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ อาร์จินิน เมื่อทำการเสริมเมทไธโอนินและอาร์จินินในอาหารที่มียีสต์นั้นจะให้ผลเหมือนกับสูตรอาหารที่มีเคซีน

Succi และคณะ (1980) ได้ศึกษาถึงการให้ยีสต์ที่ผลิตจากเมธานอลทดแทนปลาป่นและกากถั่วเหลืองในอาหารเลี้ยงไก่กระตัง พบว่าเมื่อใช้ยีสต์ในอาหารเลี้ยงไก่กระตังชนิดไม่อัดเม็ด 15 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร เกือบเท่ากับสูตรที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนอย่างเดียว และค่อนข้างจะต่ำกว่าสูตรที่ใช้ปลาป่นอย่างเดียว ส่วนการใช้ยีสต์ในอาหารเลี้ยงไก่กระตังชนิดอัดเม็ด 15 เปอร์เซ็นต์นั้น อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารจะดีกว่าการใช้กากถั่วเหลืองหรือปลาป่นอย่างเดียว สูตรอาหารที่มียีสต์มากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์จะขาดซิลิเนียม ถ้าใช้ยีสต์ในอาหาร 25 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับซิลิเนียม 0.3 ppm จะให้

อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการใช้อาหารเท่ากับการใช้กากถั่วเหลืองหรือปลาป่น
อย่างเดียวนิสู่ตราอาหาร

Saoud และ Daghir (1980) ได้ศึกษาผลของการใช้ยีสต์ที่ผลิตได้โดยใช้กากน้ำตาลเป็น
แหล่งคาร์บอน ทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารเลี้ยงไก่กระทง ในอัตรา 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์
ของอาหารพบว่าการใช้ยีสต์ทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารไก่นั้น จะทำให้การเจริญเติบโตและประ
สิทธิภาพการใช้อาหารลดลง สำหรับผลของการใช้ยีสต์ต่อปริมาณไนโตรเจนในเลือด พบว่าจะให้ผล
ไม่แตกต่างกันมากนักทางสถิติ แต่โดยทั่วไปการใช้ยีสต์จะช่วยเพิ่มซีรัมอัลบูมิน (serum albumin)

Brant และ Balloum (1977) ได้ศึกษากำรใช้ยีสต์ทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารสำหรับ
เลี้ยงนกกกระทา พบว่าการใช้ยีสต์ในอาหารในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์นั้น ให้ผลไม่แตกต่างกันทาง
สถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทั้งในแง่ของอัตราการเจริญ
เติบโต การให้ไข่ อัตราการผสมติด และความสามารถในการฟักออก ตลอดจนไม่พบความเป็นพิษ
ในการเลี้ยงนกกกระทาติดต่อกันนาน ๆ

2.5 การเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังด้วยจุลินทรีย์

มันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดีแหล่งหนึ่งเช่นเดียวกับข้าวโพดและปลายข้าว
แต่ว่ามันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้
เป็นอาหารสัตว์ จึงได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนาการเพิ่มโปรตีนมันสำปะหลังด้วยจุลินทรีย์ ในที่นี้จะขอ
กล่าวเฉพาะการเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังด้วยเชื้อยีสต์

สวัสดีและคณะ (2516) อ้างโดย สมเจต (2530) ได้ศึกษาถึงการหมักมันเส้น โดยมีองค์
ประกอบของอาหารที่ใช้ในการศึกษาดังนี้ คือ ใช้มันเส้นเป็นแหล่งคาร์บอนในปริมาณ 75 กิโลกรัม
ทำการเติมยูเรียลงไป 8 กิโลกรัม น้ำตาลแดง 2 กิโลกรัม แล้วใช้จุลินทรีย์จากมูลกระบือสด ๆ เติมน้ำ
ลงไปอีก 4 กิโลกรัม เติมน้ำ 150 กิโลกรัม ทำการหมักเป็นเวลา 7 วัน พบว่าสามารถผลิตโปรตีนได้
15 เปอร์เซ็นต์ โดยเป็นแอมโมเนียโปรตีนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการหมักต่อเป็นเวลา
30 วัน พบว่าจะได้โปรตีนรวมเพิ่มขึ้นเป็น 14.20 เปอร์เซ็นต์ โดยเป็นแอมโมเนียโปรตีนประมาณ
6.16 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาในปี 2517 ก็ได้ทำการศึกษาต่อ แต่เปลี่ยนแหล่ง วัตถุดิบเป็นมันสำปะหลัง
สดโดยทำการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์จากลูกแป้งเหล็ก และมีการเติมแอมโมเนียซัลเฟต ปริมาณ
7.67 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งไนโตรเจน จากการศึกษาพบว่าปริมาณโปรตีนที่ได้เพิ่มขึ้นน้อยมาก คือ

เมื่อหมักได้ 35 วัน ปริมาณโปรตีนรวม (crude protein) เพิ่มขึ้นจาก 2.15 เปอร์เซ็นต์ เป็น 8.04 เปอร์เซ็นต์ และเป็นโปรตีนจริง (true protein) เพียง 3 เปอร์เซ็นต์

เชิดชัย (2520) ได้ทำการศึกษาถึงการใช้ยีสต์ชนิดต่าง ๆ เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในมันสำปะหลัง อาหารที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยมันสำปะหลัง 10 กรัม น้ำ 150 ลิตร ยูเรีย 0.5 กรัม และ KH_2PO_4 5.0 กรัม ทำการหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลของการศึกษาพบว่าการใช้ยีสต์ 2 ชนิดผสมกัน คือ *Candida utilis* กับ *Schwanniomyces alluvius* ได้ผลดีที่สุด คือ ได้โปรตีนสูงถึง 49.69 เปอร์เซ็นต์ และได้ผลผลิตสูงถึง 41 เปอร์เซ็นต์

วิชัย (2523) อ้างโดย สมเจต (2530) ได้อธิบายถึงการเพิ่มโปรตีนจากมันสำปะหลังด้วยจุลินทรีย์ว่า เมื่อนำมันสำปะหลังสดสับมาผสมกับยูเรีย 2 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus nigrican* อย่างเดียว และหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus nigrican* ร่วมกับ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่าการหมักเป็นมันสำปะหลังด้วยเชื้อราอย่างเดียวได้โปรตีน 2.48 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมันสำปะหลังที่หมักด้วยราพร้อมกับยีสต์ได้ปริมาณโปรตีน 12.04 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากยีสต์ได้ใช้น้ำตาลจากกากย่อยสลายมันสำปะหลังโดยเชื้อรา