สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากเปลือกส้มโดยกระบวนการหมักในอาหารแข็ง เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์

นางสาวสมศิริ นัยนาภากรณ์
นางสาวสุกัญญา เจริญศิริชัยกุล
นางสาวอรทัย เถลิงเกียรติลีลา

โครงงานพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

ปพ.
สส๒๕๑
2539
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 28148
วัน, เดือน, ปี 17 ก.ค. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Utilization of Orange Waste for Single Cell Protein Production as an Animal Feed by Solid State Fermentation

Miss Somsiri Naiyanapakorn
Miss Sukanya Chareonsirichaikul
Miss Orathai Thalerngkietleela

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Biology
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากเปลือกส้มโดยกระบวนการหมักในอาหารแข็ง

โดย นางสาวสมศิริ นัยนาภากรณ์
นางสาวสุกัญญา เจริญศิริชัยกุล
นางสาวอรทัย เถลิงเกียรติลีลา

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ดุษณี ธนะบริพัฒน์
อาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

_____ หัวหน้าภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
(ผศ.ดร. พรรณี ฐิตาภิชิต)

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ

_____ ประธานกรรมการ
(ผศ.นวลพรรณ ณ ระนอง)

_____ กรรมการ
(รศ.ดร.ดุษณี ธนะบริพัฒน์)

_____ กรรมการ
(อาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากเปลือกส้มโดยกระบวนการหมักในอาหารแข็งเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์

นักศึกษา นางสาวสมศิริ นัยนาภากรณ์
นางสาวสุกัญญา เจริญศิริชัยกุล
นางสาวอรทัย เถลิงเกียรติลีลา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ดุษณี ธนะบริพัฒน์
อาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

การศึกษาเบื้องต้นในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อผลิตโปรตีนเซลล์เดียวโดยใช้กากส้มเป็นอาหาร ซึ่งจะเป็นการนำไปสู่การศึกษาในระดับอุตสาหกรรมจากของเสียที่มาจากโรงงานผลิตน้ำส้มกระป๋อง โดยเป็นการช่วยลดปัญหาขยะลงได้ส่วนหนึ่ง การศึกษานี้ใช้กากส้มที่ผ่านการบดและอบแห้งแล้วเป็นอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อรา 2 ชนิด คือ *Aspergillus niger* และ *Penicillium* sp. พบว่า *Aspergillus niger* สามารถผลิตโปรตีนเซลล์เดียวได้มากกว่า *Penicillium* sp. คือผลิตโปรตีนได้ 6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ *Penicillium* sp. ผลิตโปรตีนได้เพียง 4.4 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของอาหารที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวของ *Aspergillus niger* คือ กากส้ม : KH_2PO_4 : ยูเรีย ในอัตราส่วน 100 : 1.4 : 0.4 ซึ่งจะให้ค่าโปรตีนเซลล์เดียว 8.05 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Utilization of orange waste for single cell protein production as an animal feed by solid state fermentation

Name Miss Somsiri Naiyanapakorn
Miss Sukanya Charoensirichaikul
Miss Orathai Thalerngkietleela

Special Project Advisor Associate Professor Dr. Dusanee Thanaboripat
Mr. Mongkol Phensaijai

Department A pllied Biology

Academic Year 1996

ABSTRACT

The utilization of orange waste from canned orange juice industry for single cell protein production by *Aspergillus niger* and *Penicillium* sp. was studied. *Aspergillus niger* gave higher protein production (6%) than *Penicillium* sp. (4.4%). The optimum condition for single cell protein production by *Aspergillus niger* was orange waste : KH_2PO_4 : urea with the ratio of 100 : 1.4 : 0.4 which gave protein yield of 8.05%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงงานพิเศษนี้ได้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ในการนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ดุษณี ธนะบริพัฒน์ ที่ได้กรุณาตรวจแก้ทางด้านภาษาให้ถูกต้อง อาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ ผศ. นวลพรรณ ณ ระนอง ที่ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำโครงงานพิเศษ โรงงานนูบูนจำกัด ที่อนุเคราะห์กากเปลือกส้มจากการผลิตน้ำส้มกระป๋อง รวมทั้งเพื่อนๆ น้องๆ ที่ช่วยให้กำลังใจจนรายงานเสร็จสมบูรณ์

12 มีนาคม 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. การตรวจเอกสาร	
2.1 ส้ม	3
2.2 คุณค่าทางอาหารของกากส้ม	5
2.3 การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้ม	5
2.4 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว	5
2.5 ประเภทของจุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตโปรตีนเซลล์เดียว	6
2.6 คุณค่าของโปรตีนเซลล์เดียวสำหรับสัตว์	12
2.7 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว	17
2.8 การยอมรับของผู้บริโภคและความเป็นพิษของโปรตีนเซลล์เดียว	21
3. อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	24
3.2 วิธีการทดลอง	24
3.3 การวิเคราะห์	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อรา 2 ชนิด คือ 36
Aspergillus niger และ *Penicillium* sp.

4.2 ผลการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อ *Aspergillus niger* ในอาหาร 38
ที่มีการเติมน้ำตาลซูโครสและในอาหารที่ไม่มีการเติมน้ำตาลซูโครส

4.3 ผลการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อ *Aspergillus niger* ในอาหารที่มียูเรีย 39
เป็นแหล่งไนโตรเจนและในอาหารที่มีแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจน

4.4 ผลการใช้ยูเรียในปริมาณต่าง ๆ ในอาหาร 40

4.5 ผลการใช้โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณต่าง ๆ ในอาหาร 41

5. วิจารณ์ผลการทดลอง 43

เอกสารอ้างอิง 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงส่วนประกอบสารอินทรีย์ในกากส้มที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม	4
2. ปริมาณความต้องการอาหารโปรตีนของสัตว์เลี้ยง	14
3. แหล่งอาหารบางชนิดที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว	18
4. ส่วนประกอบของกากน้ำตาล	19
5. ส่วนประกอบของน้ำทิ้งจากโรงงานทำกระดาษ	20
6. ส่วนประกอบของน้ำทิ้งจากโรงงานมันฝรั่ง	20
7. แสดงปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้จากเชื้อ *Aspergillus niger* ในอาหารที่เติมยูเรียในปริมาณต่าง ๆ	40
8. แสดงปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้จากเชื้อ *Aspergillus niger* ในอาหารที่เติมโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณต่าง ๆ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. *Aspergillus niger*	26
2. *Penicillium* sp.	27
3. กราฟแสดงค่า Optical density ของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มาตรฐาน	29
4. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าน้ำตาลรีดิวซ์	30
5. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	30
6. การวิเคราะห์ค่าโปรตีนด้วย Kjeldahl method	32
7. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าโปรตีน	33
8. เครื่องวัดค่าพีเอช	34
9. ตู้อบลมร้อน	34
10. เดซิกเคเตอร์	35
11. การเพาะเลี้ยงเชื้อราในอาหาร	35
12. เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลของเชื้อ *Aspergillus niger* และ*Penicillium* sp.	37
13. เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลของเชื้อ *Aspergillus niger* ในอาหารที่มีการเติมน้ำตาลและในอาหารที่ไม่มีการเติมน้ำตาล	38
14. เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลของเชื้อ *Aspergillus niger* ในอาหารที่มียูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนและในอาหารที่มีแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจน	39
15. เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลในอาหารที่เติมยูเรียในปริมาณต่าง ๆ	40
16. เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลในอาหารที่เติมโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณต่าง ๆ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

โปรตีนเซลล์เดียวหรือเขียนย่อว่า SCP (Single Cell Protein) คือโปรตีนจากจุลินทรีย์ ได้แก่ สาหร่าย เชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย ไม่จำเป็นจะต้องเป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว (unicellular cell) เช่น แบคทีเรีย ยีสต์และสาหร่ายบางชนิด แต่รวมถึงจุลินทรีย์ที่มีหลายเซลล์ (multicellular cell) เช่น สาหร่ายและเชื้อรา แต่โดยทั่วไปก็ยังนิยมเรียกว่าโปรตีนเซลล์เดียว (ดวงพร, 2530)

โปรตีนเซลล์เดียวเป็นที่น่าสนใจมาก มีสาเหตุเนื่องมาจากประชากรโลกมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่แหล่งพื้นที่ในการเพาะปลูกมีจำนวนจำกัด ดังนั้นผลผลิตทางการเกษตรจึงไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค จึงทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนอาหารโปรตีน และอีกสาเหตุหนึ่งคือ มีปัญหาจากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวได้ ดังนั้นการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจึงทำให้เกิดประโยชน์ 2 ประการคือ การกำจัดของเสียเพื่อป้องกันปัญหามลภาวะ และผลตอบแทนที่ได้จากการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหล่านี้ โดยใช้จุลินทรีย์ในการแปรรูปสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีในวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนในมนุษย์และสัตว์ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนโปรตีนได้

ในปัจจุบันมีการศึกษาถึงการใช้จุลินทรีย์เป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตทางชีวภาพที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการขาดแคลนโปรตีนของโลก จุลินทรีย์ที่สามารถนำมาผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียวได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ รา และสาหร่าย สาเหตุที่มีการนำจุลินทรีย์มาผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียว เนื่องจากว่าจุลินทรีย์ให้ผลผลิตสูง สามาถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว และประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด และวิตามินต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินบี 12

ส้มเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย ปลูกมากในแถบภาคกลางและภาคตะวันออก และในปัจจุบันมีแนวโน้มขยายบริเวณการปลูกส้มไปในภาคเหนือ ส้มที่ปลูกขึ้นนี้นอกจากจะขายเพื่อการบริโภคแล้วยังมีอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้มรองรับ ทำให้มีของเสียจากกากส้มเป็นจำนวนมาก จึงควรที่จะมีการศึกษาถึงการนำกากของเสียเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ โดยนำมาเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ เพื่อเป็นการเพิ่มโปรตีนแล้วนำไปเป็นอาหารเสริมในสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบชนิดของเชื้อราที่มีความสามารถผลิตโปรตีนเซลล์เดียวในกากส้ม
2. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของอาหารเลี้ยงเชื้อในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

1.2 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาถึงการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อรา 2 ชนิดคือ *Aspergillus niger* และ *Penicillium* sp.

2. หาอัตราส่วนประกอบอาหารเลี้ยงเชื้อราที่เหมาะสมต่อการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วย กากส้ม , โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) , แอมโมเนียมซัลเฟต ($NH_4)_2SO_4$ ในอัตราความเข้มข้นต่าง ๆ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการนำกากของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการลดปริมาณขยะและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม
2. ผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ส้ม

พืชตระกูลส้ม (Rutacfae: Rue Family) มีสมาชิกจำนวน 130 สกุล และ 1,500 ชนิด พบได้ในแถบหนาวและแถบกึ่งร้อนของซีกโลกเหนือและใต้ ส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่ในประเทศอัฟริกาตอนใต้และออสเตรเลีย พืชในตระกูลนี้มีทั้งที่เป็นไม้ยืนต้น ไม้ล้มลุกและไม้พุ่ม ใบมีทั้งชนิดใบเดี่ยวและใบประกอบ ซึ่งมีลักษณะแบบนิ้วมือและขนนก ส่วนของใบนี้อาจมีการลดรูปเป็นหนามด้วย ใบมีการเรียงตัวแบบตรงข้ามหรือสลับ ไม่มีหูใบ ต่อมน้ำมันที่ส่วนของใบนี้มีลักษณะโปร่งแสง ดอกเป็นชนิดสมบูรณ์เพศและได้สมมาตรกัน มักเกิดเป็นช่อดอก ภายในเมล็ดมีลักษณะเหยียดตรงหรือโค้ง ส่วนของเมล็ดอาจมีเนื้อเยื่อสะสมอาหาร ลักษณะเนื้อนิ่ม หรืออาจไม่มีเนื้อเยื่อสะสมอาหารก็ได้ เนื้อเยื่อของพืชนี้มีน้ำยางที่มีกลิ่นหอมระเหย

การจัดจำแนกพืชตระกูลส้มนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 7ตระกูลย่อยซึ่งตระกูลที่สำคัญที่สุด ได้แก่ ตระกูลย่อยของส้ม (Orange Subfamily : Aurantioideae) ประกอบด้วยสมาชิกที่เป็นไม้ผลเศรษฐกิจมากมาย เช่น ส้มต่างๆ (*Citrus* sp.)

สมาชิกมากมายของตระกูลนี้มีเพียงสกุลส้ม (Citrus) เท่านั้นที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยจากที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และพบมากในเขตมรสุมที่ค่อนข้างแห้งแล้ง จึงมีการปลูกกันทั่วโลกในบริเวณพื้นที่เขตร้อนและกึ่งร้อน โดยเฉพาะในสภาพแถบกึ่งร้อนของภูมิอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียน ที่ปลูกเพื่อผลิตเป็นการค้า

- **การแบ่งพืชตระกูลส้ม**

พืชตระกูลส้มสามารถแบ่งกลุ่มได้ดังนี้

1. กลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา แยกได้เป็น

1. จำพวกที่มีรสหวาน เป็นกลุ่มส้มที่ใหญ่ที่สุดและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดในโลกด้วย มีลักษณะทั่ว ๆ ไปดังนี้

ต้นมีขนาดปานกลางค่อนข้างใหญ่ ปลายใบแหลม โคนใบป้าน ดอกไม่ค่อยมีละอองเกสร ผลมีรูปร่างค่อนข้างกลม หรือยาวรีเป็นรูปไข่ ส่วนด้านในของเปลือกจะหนากว่าพวกส้มเขียวหวาน และส่วนด้านในของผลส้มจะติดกับเปลือกด้านนอก การปอกเปลือกจึงค่อนข้างยากกว่าพวกส้มเขียวหวาน

2. ส้มที่มีรสเปรี้ยวหรืออาจมีรสออกขม กลุ่มส้มนี้มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉียงเหนือของอินเดียติดต่อกับจีนและพม่า และได้กระจายออกไปอีกหลาย ๆ ประเทศ ลักษณะของส้มชนิดนี้คล้ายกับส้มกลุ่มแรก

2. **กลุ่มส้มจีน ส้มเขียวหวาน** มีแหล่งกำเนิดในประเทศจีน และมีการปลูกมานานแล้ว ข้อดีของผลส้มกลุ่มนี้ก็ตรงที่หลังการเก็บเกี่ยวผลมาแล้วสามารถที่จะเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน ๆ ในสภาพห้องเย็นที่ได้ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม โดยที่คุณภาพไม่เปลี่ยนแปลง

3. **กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุ้ท**

4. **กลุ่มมะนาว** ได้แก่ มะนาวฝรั่ง

2.2 คุณค่าทางอาหารของกากส้ม

ภายหลังจากนำส้มไปใช้ประโยชน์แล้วจะได้ของเหลือทิ้ง ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของของเหลือทิ้งจากโรงงานส้มกระป๋องแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งอาจทำให้เกิดมลภาวะเป็นพิษอันเนื่องมาจากการเน่าเสียและเป็นแหล่งของเชื้อโรคได้ จึงมีผู้พยายามหาวิธีในการนำเอาส่วนเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ด้วยกันหลายอย่าง เช่น นำกากส้มไปหมักเป็นปุ๋ยชีวภาพ นำส่วนผิวส้มไปสกัดทำน้ำมันหอมระเหย นำไปสกัดเพคติน และผลิตเป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับสัตว์ และผลิตเอนไซม์เพคติเนส (Chandler , 1977)

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบอินทรีย์ในกากส้มที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม (Labaneinh,1979)

Analysis Description	Unit	Peel Waste
Dry matter	%	100
organic matter	%	96
total sugar	%	33.8
ash	%	4.0
crude fibre	%	9.1
ether extract	%	5.3
total N	%	0.9
crude protein	%	5.6

ส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้กากส้มมีคุณค่าทางอาหารสูง คือ มีน้ำตาลอยู่ปริมาณสูง และยังมีสารอินทรีย์อื่น ๆ อยู่มาก เช่น เพกติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้ม

Garzon (1992) ได้ศึกษาการใช้กากส้มนำมาทำเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ *Aspergillus foetidus* ซึ่งในอาหารแข็งที่ประกอบด้วย กากส้ม ยีสต์สกัด และเกลือแร่ต่าง ๆ พีเอชเริ่มต้นของอาหารคือ 3.8 ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ได้กิจกรรมเอนไซม์สูงสุด 1,600 - 1,700 หน่วยต่อกรัมน้ำหนักสดของอาหารแข็ง ผลผลิตเอนไซม์ที่ได้ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าการหมักโดยใช้กากแอปเปิ้ลเป็นส่วนประกอบของอาหาร เมื่อใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิดเดียวกันในการหมัก

Lane (1984) ศึกษาถึงการนำกากส้มมาใช้ในการหมักโดยไม่ใช้อากาศ เพื่อย่อยสลายกากส้มให้เกิดเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ประโยชน์จากการใช้กากส้มในการหมักเพื่อทำให้เกิดน้ำมันเชื้อเพลิงจะช่วยลดปัญหาขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมส้มในประเทศออสเตรเลียได้มาก

Chandler (1995) ได้ทำการทดลองนำกากส้มที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้มมาทำปุ๋ยอินทรีย์ โดยนำกากส้มไปหมักกับดิน เพื่อเพิ่มปริมาณแร่ธาตุให้สูงขึ้นคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จากการทดลองนี้นำปุ๋ยที่ได้ไปทดสอบกับผักกาดหอม พบว่าไม่มีความเป็นพิษกับพืช

2.4 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

ได้มีการศึกษาและทดลองใช้จุลินทรีย์บางชนิดที่จะคัดเลือกมาผลิตโปรตีนเซลล์เดียว ซึ่งมีทั้งสาหร่าย ไลเคนส์ แบคทีเรีย รา และยีสต์ การคัดเลือกนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ คือ ประเภทของวัตถุดิบ คุณค่าอาหาร และวัตถุประสงค์ที่จะนำเอาจุลินทรีย์โปรตีนไปใช้ Kosaric (1972) ได้รวบรวมคุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมจะผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียวดังนี้คือ

1. เจริญได้รวดเร็วในอาหารที่มีราคาถูก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่นนั้น ๆ
2. เจริญได้ดีในอาหารที่มีส่วนประกอบง่ายๆ มีความต้องการวิตามินและสารเร่งการเจริญเติบโตต่าง ๆ น้อยหรือไม่ต้องการเลย
3. คงลักษณะทางพันธุกรรมได้ดี ไม่กลายพันธุ์ง่ายเมื่อเลี้ยงติดต่อกันเป็นเวลานาน
4. การแยกและเก็บเกี่ยวเซลล์ทำได้ง่าย
5. มีความต้านทานต่อการปะปนของจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ
6. ทราบคุณสมบัติทางพันธุกรรม สรีรวิทยา และสามารถปรับปรุงทางพันธุกรรมได้
7. ใช้แหล่งพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
8. หลังจากผ่านกระบวนการเลี้ยงแล้ว มีวัสดุเหลือทิ้งน้อยหรือไม่มีเลย
9. ไม่เป็นพิษและทำให้เกิดอาการภูมิแพ้
10. ให้ปริมาณโปรตีนสูง โดยเฉพาะโปรตีนจะต้องมีกรดอะมิโนที่มีคุณค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เก็บรักษาได้ง่าย เช่น การทำให้แห้งได้

12. ต้นทุนการเพาะเลี้ยงเซลล์และการเก็บเกี่ยวเซลล์จะต้องสามารถแข่งขันกับแหล่งอาหารโปรตีนอื่นๆ ได้

2.5 ประเภทของจุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

สาหร่าย

จัดเป็นพวกที่มีการดำรงชีวิตแบบ phototrophic microorganism คือการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งของพลังงานในการรีดิวซ์สารอนินทรีย์ให้เป็นสารอินทรีย์ ข้อดีของสาหร่ายคือมีปริมาณโปรตีนสูงประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพเพาะเลี้ยงได้ทุกฤดูกาล อุดมด้วยวิตามินซีและวิตามินบีรวม ใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันอยู่ในสัดส่วนที่น่าพอใจ สามารถใช้เป็นแหล่งของคาร์บอน ในการเจริญต้องการน้ำปริมาณเล็กน้อย สามารถเจริญได้ในที่แห้งแล้งและเก็บเกี่ยวผลง่าย สำหรับพวกสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue - green algae) บางชนิดยังสามารถตรึงไนโตรเจนได้ด้วย ข้อเสียของพวกนี้คือ อัตราการเจริญต่ำกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่น และถ้าเลี้ยงในถังหมักมีปัญหาการให้คาร์บอนไดออกไซด์และแสงแก่เซลล์แต่ละเซลล์ (ดวงพร , 2530)

สาหร่ายที่ได้รับความสนใจในการใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีน ได้แก่ *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., *Spirulina* sp., *Coelastrum* sp. และ *Uromema* sp. โดยเฉพาะ *Spirulina maxima* ชาวพื้นเมืองอัฟริกาและบางส่วนของเม็กซิโกใช้ผสมในอาหาร

ในประเทศญี่ปุ่นและไต้หวันมีการผลิต *Chlorella* ในรูปผงหรืออัดเม็ดเพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ หรือใช้เป็นยา โดยจะนำ *Chlorella* มาสกัดให้ได้ส่วนที่เรียกว่า " Chlorella Growth Factor " และมีการส่งออกไปขายยังประเทศอิสราเอล อิตาลี เม็กซิโก บัลกาเรีย และประเทศอื่น ๆ อีกหลายประเทศ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้เตรียมจากการแยกเซลล์ของสาหร่ายชนิดนี้ออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อโดยการหมุนเหวี่ยง และนำมาทำให้เข้มข้นขึ้นโดยใช้การหมุนเหวี่ยงภายใต้สุญญากาศ และนำของเหลวเข้มข้นที่ได้มาทำให้แข็งขึ้น เพื่อให้อยู่ในรูปผง (ดุษณี, 2537)

Dunaliella เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวสีเขียวที่สามารถทนและปรับตัวได้ดีที่ความเข้มข้นของเกลือสูง สามารถให้ผลผลิตที่มีคุณค่าถึง 3 ชนิดคือ กลีเซอรอล เบตา - แคโรทีน และโปรตีน สาหร่ายชนิดนี้มีลักษณะแตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่น ๆ คือ ไม่มีผนังเซลล์ ตัวเซลล์จะล้อมรอบด้วยเซลล์เมมเบรนที่ยืดหยุ่นและปกคลุมด้วยเมือกที่ผิวเซลล์ ทำให้เซลล์ของสาหร่ายชนิดนี้ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออสโมซิสได้ดี นอกจากนี้การไม่มีผนังเซลล์ของสาหร่ายชนิดนี้ทำให้ง่ายต่อการย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ (Ben - Amotz and Avron ,1989) ประเทศที่สนใจและมีการศึกษาเพื่อผลิตสาหร่าย *Dunaliella* ในทางการค้าได้แก่ ออสเตรเลีย สหรัฐ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อเมริกา และอิสราเอล ซึ่งนอกจากการผลิตสาหร่าย *Dunaliella* เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเสริมสุขภาพและอาหารสัตว์เลี้ยงแล้ว ยังมีการผลิตสาหร่ายชนิดนี้เพื่อนำเอาเบตา-แคโรทีนจากสาหร่ายมาใช้เป็นสีผสมอาหารอีกด้วย

แบคทีเรีย

แบคทีเรียสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารได้ เพราะมีปริมาณโปรตีนสูงและมีอัตราการเจริญเร็วกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่น ๆ ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งไลซีน ที่เหมาะต่อความต้องการของร่างกาย ยกเว้นกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ข้อดีของการใช้แบคทีเรียในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวคือ มีอัตราการเจริญเร็ว ให้ปริมาณโปรตีนสูงและสามารถใช้แหล่งไฮโดรคาร์บอนได้ แต่มีข้อเสียที่ขนาดเซลล์เล็กประมาณ 5 - 10 ไมครอน ทำให้เก็บเกี่ยวผลยาก การทดลองเลี้ยงแบคทีเรียเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนนั้นเริ่มเมื่อปี ค.ศ. 1953

บริษัทเนสเล่ท์ ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ได้จดลิขสิทธิ์เกี่ยวกับกระบวนการผลิต *Acinetobacter calcoaceticus (Micrococcus cerificans)* จากอาหารพาราฟินหรือเอทานอล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นผงสีขาวประกอบด้วยโปรตีน 12.1 เปอร์เซ็นต์ มีการเติมกรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก กรดฟอสฟอริก และ / หรือ กรดทาร์ทาริกลงไปด้วยเพื่อเป็นสารรีดิวซ์ในระหว่างการตกตะกอน เพื่อป้องกันการออกซิเดชันหรือการดูดซึมเม็ดสี สำหรับบริษัทสแตนดาร์ดออยล์ (Standard Oil) แห่งรัฐอินเดียน่า ประเทศสหรัฐอเมริกาก็มีการจดลิขสิทธิ์การผลิตโปรตีนจากแบคทีเรียบิวเทน โปรตีนที่ได้จะอยู่ในรูปไฟเบอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.2 - 2 มม. (ดุษณี,2537)

Fields และคณะ (1991) ได้ศึกษาถึงการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อ *Cellulomonas uda* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน และย่อยสลายเซลลูโลสได้ โดยใช้ซังข้าวโพดและก้านข้าวโพดบดที่ถูกย่อยด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 N ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และปรับพีเอชให้เป็น 7 แล้วใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ การใส่เชื้อจะใช้ในรูปเชื้อแบคทีเรียชนิดเดียวหรือใส่เชื้อผสมกับยีสต์ *Candida utilis* เมื่อเลี้ยงเซลล์เป็นเวลาครบ 5 วัน นำเซลล์มาแยกออกโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 11,000 รอบต่อนาที และนำมาทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชม. ปริมาณโปรตีนที่ได้จากเซลล์แบคทีเรียอย่างเดียวเท่ากับ 28.3 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนที่ได้จากแบคทีเรียผสมกับยีสต์เท่ากับ 34.0 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณกรดอะมิโนใกล้เคียงกับไข่ และจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสามารถนำเซลล์ที่ผลิตได้มาผสมกับข้าวโพดที่ใช้เป็นอาหารเป็นการเพิ่มคุณค่าของโปรตีนในการใช้เป็นอาหารสัตว์หรือมนุษย์ได้

ในประเทศไทยมีการศึกษาถึงการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้โดยใช้กากมันสำปะหลัง และน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตมันสำปะหลังมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก จากการศึกษาถึงการเจริญของเชื้อ *Rhodocyclus gelatinosus* (เดิมชื่อ *Rhodopseudomonas gelatinosa*) บนกากมันสำปะหลังที่เก็บไว้ในที่มืด และมีออกซิเจน พบว่าได้โปรตีน 56 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.45 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 26.42 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 3.21 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนที่ได้จะประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น เมทไทโอนีน ไลซีน ลิวซีน และเฟนนิลอะลานีน นอกจากนี้ยังมีวิตามินที่จำเป็น เช่น วิตามินบี 2 ,วิตามินบี 12 , วิตามินอี และกรดนิโคตินิก (Nicotinic acid) (Noparatnaraporn, 1987) โปรตีนเซลล์เดียวจากแบคทีเรียที่ผลิตได้นี้สามารถนำมาใช้เป็นอาหารปลาได้ โดยสามารถทดแทนการใช้ปลาป่นได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และเมื่อนำมาเลี้ยงปลาทอง (*Carassius auratus*) อายุ 2 เดือน เป็นเวลา 122 วัน ปรากฏว่าไม่เกิดอาการเป็นพิษหรืออาการผิดปกติแต่อย่างใด นอกจากนี้ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียยังให้น้ำหนักปลามากกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารปลาอย่างเดียวถึง 22.62 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงการนำแบคทีเรีย *Rhodobacter sphaeroides* P47 ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ให้ผลผลิตสูงเมื่อใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารและมีปริมาณวิตามินบี 12 และคาโรทีนอยด์ (carotenoid) สูง มาเลี้ยงผสมกับเชื้อ *Rhodocyclus gelatinosus* ด้วย (Noparatnaraporn et al., 1987) โดยใช้กากมันสำปะหลังแห้งที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันในจังหวัดชลบุรี เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการเลี้ยงเชื้อผสมให้ผลผลิตดีกว่าการเลี้ยงเชื้อเดี่ยว ๆ ใช้ระยะเวลาในการเจริญสั้นลง และยังพบว่าเซลล์ของ *Rc. gelatinous* อุดมไปด้วยวิตามินบี 2 ในขณะที่เซลล์ของ *Rb.sphaeroides* P 47 จะประกอบด้วยวิตามินอี ซึ่งวิตามินเหล่านี้จำเป็นต่อการเจริญของสัตว์ โดยเฉพาะวิตามินอี จะมีความสำคัญต่อการพัฒนาการสืบพันธุ์ของสัตว์ด้วย

ไลเคนส์

Perez และ Lano (1944) ได้รายงานว่า *Centraria isolandi* สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนหรือเป็นอาหารมนุษย์ได้ (มงคล, 2532)

ยีสต์

ยีสต์เป็นโปรตีนเซลล์เดียวที่มีการนำมาใช้กันมากที่สุด เนื่องจากยีสต์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับมนุษย์และสัตว์ การใช้ยีสต์เป็นอาหารมีมานานตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 ชาวเยอรมันได้บริโภคยีสต์เป็นอาหารเสริมโปรตีน ซึ่งยีสต์ที่ใช้ในการบริโภคคือ *Saccharomyces cerevisiae* โดยใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหาร และในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ในประเทศเยอรมันก็มีการผลิต Torula yeast (*Candida utilis*) จากของเสียจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษเป็นวัตถุดิบและจากน้ำตาลที่ได้จากการใช้กรดย่อยเนื้อไม้ โปรตีนที่ผลิตได้นี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแหล่งอาหารสำหรับมนุษย์ นอกจากนี้ยีสต์ยังสามารถใช้ผลพลอยได้ทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรมเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานได้ เช่น กากน้ำตาล วัตถุดิบพวกแป้ง หางนม ผลไม้ และน้ำทิ้งจากโรงงานต่าง ๆ เป็นต้น

ยีสต์ประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมันปริมาณมาก และเป็นแหล่งวิตามินบีรวมสูงสุดแหล่งหนึ่ง แหล่งโปรตีนจากยีสต์จะมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับโปรตีนจากพืช มีกรดอะมิโนจำเป็นเกือบทุกชนิดยกเว้นเมทไทโอนีนและซิสทีน โปรตีนของเซลล์ยีสต์จะมีประมาณ 45 - 55 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

Candida utilis เป็นยีสต์ที่นิยมใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวมากที่สุด เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้เร็ว ใช้น้ำตาลและอาหารได้หลายชนิด ขนาดของเซลล์ใหญ่ และมีปริมาณโปรตีนสูง ซึ่งชาวเยอรมันเป็นชนชาติแรกที่ใช้เชื้อ *Candida* เป็นแหล่งอาหารโปรตีนในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 (Beech และคณะ, 1985) ดังนั้น *Candida* จึงเป็นยีสต์ตัวแรกที่รู้จักกันในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวและได้รับความนิยมแพร่หลายทั่วไป ได้มีการศึกษาถึงการนำ *Candida utilis* มาเลี้ยงในอาหารต่าง ๆ เช่น Lawfordและคณะ (1979) ได้นำ *Candida utilis* Y - 900 มาเลี้ยงในกากน้ำตาลโดยใช้กระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง พบว่าได้โปรตีนจากยีสต์ 50 - 55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีคุณค่าใกล้เคียงกับโปรตีนจากถั่วเหลือง นอกจากนี้กรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิดที่พบในยีสต์สามารถนำมาใช้เป็นอาหารเสริมในธัญพืชได้ เช่น ข้าวสาลีที่ขาดไลซีนและทรีโอนีน เป็นการเพิ่มคุณค่าอาหารพวกธัญพืชเหล่านี้

Rale (1985)ได้ศึกษาถึงการใช้ผลมะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale*) ในการผลิตยีสต์เพื่อเป็นอาหารสัตว์หรืออาหารเสริมในประเทศอินเดีย ผลมะม่วงหิมพานต์ที่ยังอ่อนอยู่จะมีรสเปรี้ยวและฝาด ส่วนผลแก่จะฉ่ำและหวาน เมื่อนำผลแต่ละผลมาคั้นจะได้น้ำคั้นประมาณ 25 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีของแข็งทั้งหมด 10.4 เปอร์เซ็นต์ และอีก 90 เปอร์เซ็นต์ จะประกอบด้วยน้ำตาลแปร (ส่วนใหญ่) แทนนิน (tannin) กรด และเม็ดสี ในการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์จะใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปมะม่วงหิมพานต์ หรือน้ำคั้นจากผลที่เหลือทิ้ง โดยอาจเติมสารอาหารอื่น ๆ ลงไปด้วย เช่น แอมโมเนีย ยีสต์ที่ใช้เลี้ยงเพื่อเป็นอาหารสัตว์คือ *C.utilis* และ *S.cerevisiae* และจากการศึกษาพบว่า *C.utilis* ให้ผลดีกว่า *S.cerevisiae* ทั้งปริมาณเซลล์และปริมาณโปรตีน และจากการเลี้ยงเชื้อ *C.utilis* ในอาหารที่เติมแอมโมเนีย 0.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับอาหารที่ไม่เติมแอมโมเนีย พบว่าในอาหารที่เติมแอมโมเนียจะได้ปริมาณยีสต์และโปรตีนสูงกว่า เมื่อเก็บเกี่ยวเซลล์ยีสต์และนำมาอบให้แห้ง วิเคราะห์ค่ากรดนิวคลีอิกทั้งหมดได้ 8.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่ากรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบจะมีอยู่ในปริมาณต่ำ ยีสต์ที่เก็บเกี่ยวได้สามารถนำมาทำให้แห้งและมีความชื้นต่ำกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ ได้โดยใช้เครื่อง drum dryer ยีสต์ที่ผลิตได้นำมาทดลองเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนูเป็นเวลา 21 วัน พบว่ามีรสชาติดี ย่อยง่าย และไม่เกิดอาการเป็นพิษหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่อวัยวะต่าง ๆ แต่อย่างใด

Aker และ Robinson , 1987 ได้ทดลองนำกล้วยที่ถูกคัดทิ้งมาใช้เลี้ยงยีสต์ *C.utilis* เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ จากการคำนวณถึงการใช้กล้วย 20,000 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ในการหมักแบบครั้งคราว พบว่าได้จุลินทรีย์เป็นปริมาณ 2,970 กิโลกรัม และได้โปรตีน 44 เปอร์เซ็นต์

Nwabueze และ Oguntimein ,(1987) ได้ทดลองนำกากส้มหวานมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงยีสต์ *Saccharomyces cerevisae* โดยกระบวนการหมักแบบครั้งคราว พบว่าจะได้โปรตีน 57 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) จากการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยกากส้ม 4 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 5.5 อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส และระยะเวลาเลี้ยงเชื้อ 12 ชั่วโมง

Calleja และคณะ (1986) ได้ศึกษาถึงการนำแป้งมันมาใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces alluvius* ซึ่งเป็นเชื้อที่มีอัตราการเจริญสูง ไม่เป็นเชื้อโรคและสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตได้หลายชนิด เช่น อินูลิน เซลโลไบโอส ไซโลส และ เมลิไบโอส นอกจากนี้เชื้อนี้ยังสามารถปล่อยเอนไซม์อะไมเลสออกมานอกเซลล์ในปริมาณมากอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ได้มีผู้นำยีสต์ *S.alluvius* มาใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์ และเอนไซม์อะไมเลสทางอุตสาหกรรมอีกด้วย

เชื้อรา

เชื้อราที่ใช้เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์มานานคือเห็ด ซึ่งเป็นโปรตีนเซลล์เดียวที่มนุษย์สามารถบริโภคได้โดยตรง เช่น *Agaricus campestris* ถูกใช้เป็นอาหารแถวยุโรป ส่วนที่ประเทศจีนนิยมรับประทานเห็ด *Cortinellus berkelyanus* และเห็ด *Volvarialla volvaceae* เป็นที่นิยมในเขตจีนตอนใต้ และฟิลิปปินส์ เมื่อสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ประเทศเยอรมันได้เลี้ยงราพวก *Geotrichum candidum* เป็นอาหารเสริมของมนุษย์เนื่องจากมีปริมาณวิตามินและโปรตีนสูง (Bhattacharjee,1970) นอกจากนี้ราพวก *Geotrichum lactis* สามารถเลี้ยงได้โดยใช้กากถั่วเหลืองจากนมและของเสียที่มีซัลเฟอร์ อย่างไรก็ตามราที่ใช้เป็นอาหารโปรตีนในปัจจุบันพบว่ามีเมทไทโอนีน กรดกลูทามิก ไรโบฟลาวินและวิตามินบี 12 อยู่ ส่วนราอื่น ๆ ที่เป็นแหล่งโปรตีนได้แก่ *Aspregillus* sp.,*Fusarium* sp. และ*Rhizopus* sp. เป็นต้น ข้อดีของเชื้อราคือ ยอมรับง่ายตลอดจนมีคุณค่าทางอาหารพอ ๆ กับยีสต์ แต่การเจริญต่ำกว่ายีสต์และแบคทีเรีย และมีปัญหาในการเลี้ยงเพราะว่าเส้นใยเมื่อเลี้ยงในสภาพอาหารเหลว เส้นใยจะอยู่ในสภาพเป็นกลุ่มก้อนเกิดปัญหาในการให้ออกซิเจนแก่เซลล์ (Stewart,1970) มีเชื้อราหลายชนิดมีแนวโน้มที่จะใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมโปรตีนในสัตว์เลี้ยง เช่น *A. niger* , *Trichoderma viride* และ *Fusarium* sp. (Bhattacharjee,1970)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kokke (ค.ศ. 1977) ทดลองหมักเปลือก Carob แบบแข็ง (solid state) เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์โดยใช้เปลือกผลไม้กับน้ำอัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่ง และมีการเติมพวก Na_2HPO_4 เล็กน้อย ฆ่าเซลล์ด้วยความร้อน 20 นาที แล้วหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* หรือ *Monascus ruber* นาน 35 นาที น้ำตาลในเปลือกผลไม้ถูกใช้ 73-83 เปอร์เซ็นต์ และแทนนินถูกใช้หมดไป ซึ่งวิธีนี้ง่ายสามารถใช้ตามฟาร์มและหมู่บ้านได้

Fusarium graminearum เป็นเชื้อราที่บริษัท Ranks Hovis McDougall (RHM) ในประเทศอังกฤษนำมาใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวเพื่อให้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์ โดยมีชื่อเรียกว่าไมโคโปรตีน (mycoprotein) สาเหตุที่บริษัทนี้เลือกใช้เชื้อราในการผลิตเนื่องจากว่าเชื้อรามีคุณค่าทางอาหารและรสชาติดี มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ กระบวนการหมักที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง ไมโคโปรตีนที่ผลิตได้จะนำมาลดปริมาณกรดนิวคลีอิก โดยนำเชื้อรามาสกัดด้วยไอโซโพรพานอล(Isopropanol) และผ่านกรรมวิธีด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์หรือแอมโมเนียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ที่พีเอช 8.5 ซึ่งกรรมวิธีนี้จะลดปริมาณกรดนิวคลีอิกจาก 9 - 10 เปอร์เซ็นต์ ให้เหลือเพียง 0.59 - 1.7 (Litchfield, 1991) หลังจากนั้นจึงเก็บเกี่ยวผลิตภัณฑ์โดยวิธีกรองภายใต้สุญญากาศ (vacuum filtration) สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์และเนื้อปลา นอกจากนี้ยังมีคุณค่าทางอาหารคล้ายกับเนื้อสัตว์อีกด้วย ผลิตภัณฑ์ไมโคโปรตีนได้ทดลองวางขายในประเทศอังกฤษโดยมีชื่อทางการค้าว่า ควอร์น (Quorn) (Osborne, 1989)

Paecilomyces varioti เป็นเชื้อราอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว โดยบริษัท United Paper Mills ประเทศฟินแลนด์ ในปี ค.ศ. 1970 ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า "เปกิโลโปรตีน" (Pekilo protein) โดยใช้กระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง และใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษที่กำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกแล้ว เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ (Romantschuk, 1975) น้ำทิ้งที่ได้ต้องนำมาฆ่าเชื้อและเติมสารอาหาร เช่น โพแทสเซียมคลอไรด์ กรดฟอสฟอริก และ แอมโมเนียลงไปด้วย หลังจากกระบวนการหมักสิ้นสุดลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกแยกออกมาโดยการกรองภายใต้สุญญากาศ และทำให้แห้ง โปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้นี้จะมีปริมาณโปรตีน 55-60 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดอะมิโนและวิตามินใกล้เคียงกับยีสต์ เมื่อนำมาทดลองเลี้ยงกับหมู วัว ควาย เป็ด ไก่ไข่ และไก่พันธุ์ พบว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี และรัฐบาลฟินแลนด์อนุญาตให้ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ได้

Chaetomium cellulolyticum ที่มีการศึกษาเพื่อนำมาใช้ผลิตโปรตีนเซลล์เดียว เนื่องจากเชื้อนี้สามารถย่อยสลายวัตถุดิบพวกเซลลูโลสได้ดี เช่น เยื่อกระดาษ ขี้เลื่อย และฟางข้าวสาลี ซึ่งบริษัท Envirocon ในประเทศแคนาดาได้มีโปรแกรมการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อราตัวนี้เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการค้า โดยได้สร้างโรงงานผลิตขึ้นที่เมืองแวนคูเวอร์ จุดประสงค์ของการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวก็เพื่อใช้เป็นอาหารเสริมในอาหารสัตว์

Tropical Product Institute (TPI)(1967) ของอังกฤษ ได้รายงานเกี่ยวกับวิธีการหมักหัวมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร วิธีแรกคือ การเติมแร่ธาตุในอาหารราคาถูกเป็นอาหารเสริม วิธีนี้เรียกว่า TPI vegetative cheese process โดยใส่เกลือ และสปอร์ของรา *Rhizopus stolonifer* อีกวิธีหนึ่งโดยการใช้ของเหลวจากมันสำปะหลังเติมเกลือและสปอร์ดังกล่าวข้างต้น ภายใต้การหมักที่มีอากาศ ผลจาก 2 วิธี จะได้ปริมาณเซลล์ของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นมากมาย นอกจากนั้น Woolen (1968) ได้ค้นคว้าวิธีการเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังได้ crude protein เพิ่มขึ้น 0.1-4.0 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้ามีการนำมันสำปะหลังมารวมกับสารที่มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเกลือแร่อื่นๆ รวมทั้งในสปอร์รา *Rhizopus stolonifer* ลงไปในสภาพอุณหภูมิที่เหมาะสม ความชื้นองค์ประกอบและคุณสมบัติต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ที่เหมาะสมทำให้ราเจริญได้ดี โปรตีนที่ได้เก็บในรูปแข่แข็งหรือทำแห้งก็ได้ (Duthie, 1975)

Imrie และ Vlitos (1973) ได้ทำการทดลองนำมันสำปะหลังมาเป็นวัตถุดิบในการเลี้ยงเชื้อ *Aspergillus niger* ในการหมักระบบ Continuous Culture ได้โปรตีนสูง 45 เปอร์เซ็นต์

2.6 คุณค่าของโปรตีนเซลล์เดียวสำหรับสัตว์

อาหารสัตว์จะมีส่วนประกอบที่จำเป็นและสำคัญ 3 ชนิด คือ ธัญพืช โปรตีนและเกลือแร่ หรือวิตามิน หรือยา ซึ่งขึ้นอยู่กับ ชนิด อายุ และหน้าที่ของสัตว์ ส่วนประกอบของอาหารสัตว์จะมีอัตราที่แตกต่างกันคือ ประมาณ 60 - 80 , 15 - 35 และ 0 - 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในบางกรณีไขมันจะเข้ามาแทนส่วนผสมบางอย่างได้ เพื่อเพิ่มคุณค่าให้กับอาหารสัตว์

ส่วนประกอบที่เป็นโปรตีนอาจมาจากอาหารชนิดเดียว หรือหลายชนิด เช่น สารสกัดจากถั่วเหลือง หรือ ส่วนสกัดจากเมล็ดไขมันกับโปรตีนจากสัตว์ เช่น ปลาป่น หรือ เนื้อป่น เลือดป่น เศษเป็ดเศษไก่ เป็นต้น

<u>หน้าที่ของโปรตีนในอาหารสัตว์</u>

1. ช่วยทำให้สัตว์เจริญเติบโตได้ดี ถ้าขาดโปรตีนจะแคระแกรนและอ่อนแอง่ายต่อการติดโรค

2. โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ กล้ามเนื้อ เลือด น้ำย่อย ฮอร์โมน เนื้อเยื่อ ขน ผิวหนัง แม้กระทั่งกระดูกก็ยังมีโปรตีนอยู่เกินกว่า 1 ใน 3 ของวัตถุแห้ง

3. โปรตีนช่วยเสริมสร้าง ผลผลิตให้กับสัตว์ เช่น นม ไข่ เนื้อ และ ขน นอกจากนั้นยังใช้สำหรับการเจริญเติบโตของลูกในท้องอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โปรตีนเป็นแหล่งของพลังงานสำหรับสัตว์ โดยจะให้พลังงานในปริมาณที่พอ ๆ กับคาร์โบไฮเดรต สัตว์จะได้รับพลังงานจากโปรตีนโดยการทำงานของตับ ในกระบวนการที่มีชื่อว่า Deamination โดยตับจะเปลี่ยนกลุ่มอะมิโนไปเป็นยูเรียในปัสสาวะและจะได้พลังงานออกมา

<u>ความต้องการอาหารโปรตีนของสัตว์เลี้ยง</u>

สัตว์จะต้องการโปรตีนจากอาหารในปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ (ตารางที่ 2)

1. ชนิดของสัตว์

2.อายุของสัตว์กล่าวคือสัตว์อ่อนจะต้องการโปรตีนมากเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโต สัตว์อายุมากขึ้นจะต้องการโปรตีนน้อยลง

3. ระดับของผลผลิตและการตั้งท้อง หากสัตว์กำลังตั้งท้องก็จะต้องการโปรตีนสูง เพื่อการเจริญเติบโตของลูกด้วย

4. ความสมดุลของกรดอะมิโนและความสามารถในการใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ปริมาณความต้องการอาหารโปรตีนของสัตว์เลี้ยง (วินัย, 2525)

ชนิดของสัตว์	ปริมาณโปรตีนในอาหาร (ร้อยละ)
ลูกไก่ 0-4 สัปดาห์	18.8
ลูกไก่ 4-8 สัปดาห์	15.6
ไก่สาว	10.7
ไก่ไข่	16.5
ไก่พันธุ์	16.5
ลูกไก่งวง	28.0
ไก่งวงรุ่น	22.0
ไก่งวงพันธุ์	12.0
ลูกเป็ด	23.0
สุกร 1- 5 กก.	27.0
สุกร 5- 10 กก.	20.0
สุกร 10-20 กก.	18.0
สุกร 20-35 กก.	16
สุกร 35-60 กก.	14
สุกร 60-100 กก.	13
สุกรพันธุ์	12
แม่สุกรเลี้ยงลูก	13
ลูกโค	18-20
แม่โค (กินถั่วบ้าง)	12-14
แม่โค (กินหญ้าบ้าง)	16-18
พ่อโค	12-14

คุณสมบัติของโปรตีนเซลล์เดียวที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ คือ

1. ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้เช่น กากน้ำตาล หางนม มันสำปะหลัง แป้ง และอื่น ๆ ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะใช้วัตถุดิบพวกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เพราะสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะทำให้โปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้มีคุณภาพดี

ลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิต

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิต คือ ยีสต์ แบคทีเรีย รา และ สาหร่าย ซึ่งคุณค่าทางอาหารของโปรตีนเซลล์เดียวจะแตกต่างกันในจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน

3. กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของโปรตีนเซลล์เดียว การแยกผลิตภัณฑ์สุดท้าย อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต ต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

<u>ประโยชน์ของการใช้โปรตีนเซลล์เดียวเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์</u>

1. เป็นแหล่งอาหารที่สัตว์ต้องการ
2. โปรตีนเซลล์เดียวมีกรดอะมิโนครบถ้วน
3. เพิ่มคุณภาพในสัตว์
4. ราคาของโปรตีนเซลล์เดียวไม่สูงมาก

ได้มีการทดลองนำเอาโปรตีนเซลล์เดียวไปใช้เป็นอาหารสัตว์ต่างๆ เช่น ไก่, เป็ด, วัว, ปลา โดยอัตราส่วนและรูปแบบของโปรตีนเซลล์เดียวที่ใช้ต้องคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการ ความปลอดภัย และความคุ้มทุนด้วย

<u>สุกร</u>

ได้มีการทดลองนำเอาโปรตีนเซลล์เดียวมาใช้เป็นอาหารทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารของลูกสุกร โดยใช้โปรตีนในระดับ 15, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าลูกสุกรที่ได้รับโปรตีนเซลล์เดียวแทนปลายข้าวจะมีอัตราการเจริญเร็วกว่าลูกสุกรที่ได้รับปลายข้าวเป็นอาหาร และที่ระดับ 15, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างของอัตราการเจริญของลูกหมูไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปได้ว่าสามารถใช้โปรตีนเซลล์เดียวแทนปลายข้าวในสูตรอาหารลูกสุกรได้ และจากการทดลองใช้มันสำปะหลังหมักเพิ่มโปรตีนจากเชื้อราและยีสต์เพื่อทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารสุกรขุน พบว่า สุกรขุนจะสามารถใช้มันสำปะหลังได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้มันสำปะหลังหมักเพิ่มโปรตีนมีผลทำให้สุกรมีความหนาของไขมันสันหลังเมื่อสิ้นสุดการทดลองต่ำกว่าการใช้ปลายข้าวอีกด้วย (วิชชุพร, 2523)

<u>สัตว์ปีก</u>

ได้มีการทดลองใช้โปรตีนเซลล์เดียวจากยีสต์กับเป็ดไก่ พบว่า สามารถใช้โปรตีนเซลล์เดียวได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของอาหารที่ให้หลักสำคัญของการทดลอง คือ อัตราส่วนของไลซีนต่ออาร์จีนีนในอาหาร เพื่อให้ได้การเจริญสูงสุด สิ่งสำคัญของโปรตีนเซลล์เดียวที่ได้จากยีสต์ คือ มีส่วนประกอบหลักของโปรตีน (กรดอะมิโน) เมทไทโอนีนเหมือนกับถั่วเหลือง และมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับสัตว์ปีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการโปรตีนในนกจะต้องการโปรตีนประมาณ 12-14 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองให้โปรตีนระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ จากโปรตีนเซลล์เดียว ผลการทดลองสรุปได้ว่าไม่มีอันตรายใดๆ เกิดขึ้นต่อไข่และลูกนก แสดงว่าปริมาณโปรตีนที่เกินมาไม่มีผลต่อการให้อาหารของนก

ในประเทศญี่ปุ่น ได้มีการทดลองให้อาหารโปรตีนที่ได้จากยีสต์ที่เจริญในไฮโดรคาร์บอน พบว่าอาหารโปรตีนที่ระดับโปรตีน 15 เปอร์เซ็นต์ ไม่เป็นพิษต่อไก่ และไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อไก่ (Duthie, 1975)

วัว

ในวัวนมไม่จำเป็นต้องใช้โปรตีนเซลล์เดียวเป็นอาหาร เนื่องจากบทบาทของโปรตีนเซลล์เดียวในโภชนาการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่โตเต็มวัยจะไม่มีปัญหาของคุณค่าโภชนาการของโปรตีนเซลล์เดียว สัตว์พวกนี้สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนจำเป็นขึ้นมาได้โดยตัวมันเอง การใช้โปรตีนเซลล์เดียวในสัตว์จำพวกนี้จะใช้สำหรับพวกลูกอ่อน ในประเทศฝรั่งเศสนิยมใช้โปรตีนเซลล์เดียวในการเลี้ยงลูกอ่อนของวัว และ ควาย มากที่สุด (Duthie, 1975)

Young Stock

ได้มีการนำเอาโปรตีนเซลล์เดียวมาใช้เป็นอาหารแก่ลูกวัว ลูกแกะ การนำไปใช้อาจให้ได้ทั้งในรูปอาหารเหลว อาหารแข็ง หรือใช้ทั้ง 2 อย่าง และอาจใช้อาหารนี้แทนนมผงได้ ในประเทศฝรั่งเศสและฮอลแลนด์ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับโปรตีนเซลล์เดียวมาก เนื่องจากมีอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับลูกวัวพันธุ์เนื้อ

การให้โปรตีนเซลล์เดียวในลูกวัวพันธุ์เนื้อ ที่ต้องให้อาหารที่มีเหล็กในปริมาณต่ำ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดสีแดงในเนื้อวัวแต่ต้องไม่ต่ำมากจนยับยั้งการสร้างเม็ดเลือด ความต้องการโปรตีนของลูกวัวพันธุ์เนื้อประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจใช้โปรตีนเซลล์เดียวล้วนๆ หรือ โปรตีนเซลล์เดียว 10 เปอร์เซ็นต์ และ นม 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นฟาร์มวัวสามารถใช้โปรตีนเซลล์เดียวเป็นแหล่งโปรตีนเสริมทดแทนนมได้ โดยปกติ ถ้าใช้นมจะใช้ประมาณ 30 หรือ 50 เปอร์เซ็นต์(โปรตีนเซลล์เดียว 10 เปอร์เซ็นต์สามารถใช้ทดแทนหางนมหรือแล็กโทสได้ 20 เปอร์เซนต์) (Duthie, 1975)

สัตว์ชนิดอื่น

ปลา

Corrias (1973) ได้ทดลองใช้โปรตีนเซลล์เดียวจากยีสต์เป็นส่วนประกอบในอาหารให้กับปลาเทราท์ได้สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ และ ในญี่ปุ่นสามารถใช้ได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ในปลาคราฟท์ และ 45 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลาไหล

กระต่าย

มีการทดลองให้อาหารโปรตีน 10 เปอร์เซ็นต์ ในกระต่าย ซึ่งทำให้กระต่ายมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้โปรตีนเซลล์เดียวเป็นอาหารกันมากในฝรั่งเศส (มงคล, 2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

มิ้งค์

ได้มีการทดลองเลี้ยงมิ้งค์ด้วยโปรตีนเซลล์เดียว ผลปรากฏว่าไม่เป็นอันตรายใดๆ ต่อมิ้งค์ (มงคล, 2532)

สรุปได้ว่ายังไม่มีหลักฐานที่ชี้ให้เห็นว่าการนำโปรตีนเซลล์เดียวไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์จะให้ผลที่แตกต่างในด้านความต้องการอาหารของสัตว์พันธุ์ต่างๆ อย่างเห็นได้ชัด แต่ก็ไม่พบลักษณะที่เป็นอันตรายที่ร้ายแรง

ในอนาคต การใช้โปรตีนเซลล์เดียวเป็นแหล่งอาหารสำหรับสัตว์จะมีความเป็นไปได้ใน 3 แนวทาง คือ

1. การเพิ่มปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวที่นำไปใช้
2. การปรับปรุงสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว
3. การทดลองอย่างต่อเนื่อง

2.7 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

วัตถุดิบหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวได้ซึ่งรวมไปถึงของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและการเกษตรด้วย ตัวอย่างของแหล่งอาหารที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
28148

ตารางที่ 3 แหล่งอาหารบางชนิดที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว (Edelman et al.,1983)

ปิโตรเคมี	น้ำมันก๊าซ n-alkane (พาราฟิน) มีเทน
สารเคมี	เมทานอล เอทานอล กรดแอซีติก
คาร์โบไฮเดรต	เซลลูโลส แป้ง ซูโครส กลูโคส
ของเสีย	หางนม เปลือกผลไม้ ชานอ้อย น้ำทิ้งจากโรงงานทำกระดาษ กากน้ำตาล น้ำทิ้ง มูลสัตว์

Gaden (1974) ได้แบ่งวัตถุดิบสำหรับผลิตโปรตีนเซลล์เดียวออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ไฮโดรคาร์บอน และ คาร์โบไฮเดรต

1. ไฮโดรคาร์บอน

ซึ่งมีทั้งที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว เช่น เมทานอล, เอทานอล, n-paraffin และไฮโดรคาร์บอนในสภาพแก๊ส เช่น มีเทน , เอ็น-บิวเทน , โพรเพน , อีเทน เป็นต้น จุดเริ่มต้นที่สนใจใช้สารประเภทนี้เป็นวัตถุดิบเพราะมีปริมาณมากราคาถูก และมีความบริสุทธิ์สูง แต่ในช่วงนั้นอยู่ในวิกฤตการณ์น้ำมัน จึงทำให้ความสนใจในการนำสารพวกนี้มาใช้เป็นวัตถุดิบเปลี่ยนไป

2. คาร์โบไฮเดรต

ได้แก่ น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส รวมถึงของเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรม ซึ่งได้จากแหล่งต่างๆ เช่น

2.1 กากน้ำตาล ได้จากโรงงานทำน้ำตาล ซึ่งจะเป็นน้ำตาลที่ได้จากอ้อยหรือหัวบีท ขึ้นกับท้องถิ่น ส่วนประกอบของกากน้ำตาลจากอ้อยและหัวบีทแสดงในตารางที่ 4 (ดวงพร, 2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 กากน้ำตาล ได้จากโรงงานทำน้ำตาล ซึ่งจะเป็นน้ำตาลที่ได้จากอ้อยหรือหัวบีท ขึ้นกับท้องถิ่น ส่วนประกอบของกากน้ำตาลจากอ้อยและหัวบีทแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของกากน้ำตาล (ดวงพร, 2530)

Analysis	Average value	
	Beet molasses	Cane molasses
Invert sugar (%)	57	59
Nonfermentables (%)	2.1	3.5
Ash (%)	6.3	5.9
P_2O_5	0.02	0.1
CaO	0.5	0.8
MgO	0.1	0.7
K_2O	3.7	2.2
Vitamins (mg/g)		
Biotin	0.08	0.7
Thiamin	0.6	1.0
Pyridoxine	5.5	35
Nitrogen (%)	1.6	0.4
Betaine	0.8	0
Amino nitrogen	0.4	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำทิ้งจากโรงงานทำกระดาษ (Spent sulfite waste liquor) มีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของน้ำทิ้งจากโรงงานทำกระดาษ (ดวงพร , 2530)

ส่วนประกอบ	กรัมต่อลิตร
Neutralized solids	100
น้ำตาลทั้งหมด	15-22
น้ำตาลเฮกโทส	11-16
น้ำตาลเพนโทส	4-6
กรดระเหย	2-5
กำมะถัน	3-8
สารอนินทรีย์	0.5-2.5
สารอินทรีย์	2.5-5.5
ลิกนิน (ลิกโนเซลลูโลส)	50-65
แคลเซียม	7-10

2.3 น้ำทิ้งจากโรงงานมันฝรั่ง (Potato waste water) แสดงส่วนประกอบในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบของน้ำทิ้งจากโรงงานมันฝรั่ง (ดวงพร , 2530)

	ปริมาณของเสียต่อตันของปริมาณมันฝรั่ง
น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (แกลลอน)	4,200
บีโอดี	50-90
ซีโอดี	210
Suspended solids (ปอนด์)	60-110
ฟอสเฟต (PO_4) (ปอนด์)	0-6
ไนโตรเจน (N) (ปอนด์)	3.5

2.4 น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเนย (whey) มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลือง ประกอบด้วยน้ำตาลแล็คโทส 5 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 1 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.3 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 0.6 เปอร์เซ็นต์

2.5 น้ำตาลโมเลกุลใหญ่ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ แป้งและเซลลูโลส โดยวัตถุดิบพวกนี้ต้องผ่านกระบวนการทางเคมีหรือเอนไซม์เพื่อย่อยให้เป็นน้ำตาลก่อน หลังจากนั้นจึงนำไปเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์

2.6 เมล็ดธัญพืช โดยทั่วไปจะมีแป้งเป็นส่วนใหญ่ โปรตีนมีเพียงเล็กน้อยและมักขาดกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ข้าวสาลี ขาดไลซีน และทริปโตเฟน พืชตระกูลถั่ว ขาดเมทไทโอนีน ไลซีน และทริปโตเฟน ดังนั้นการนำมาเป็นวัตถุดิบผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจึงเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหาร

2.7 มันสำปะหลัง มีแป้งเป็นส่วนใหญ่ มีโปรตีนเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ในหัวมันสำปะหลัง มันสำปะหลังถูกใช้เป็นอาหารหลักของประชากรแถบบราซิล อัฟริกาตะวันตก และอินโดนีเซีย มีหลายประเทศนิยมใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตโปรตีนเซลล์เดียว เนื่องจากราคาถูก หาง่าย มีทุกๆ ฤดูกาล

2.8 เซลลูโลส เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบของพืชทุกชนิด ซึ่งเป็นของเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรม ในสหรัฐอเมริกา ประมาณว่ามีของเหลือใช้จากการเกษตรสูงถึง 200 ล้านตันต่อปี และขยะจากที่อยู่อาศัยพบว่า 40-50 เปอร์เซ็นต์ของขยะที่ทิ้งเป็นพวกเซลลูโลส ชานอ้อยก็เป็นของเหลือทิ้งจำพวกเซลลูโลสมีส่วนประกอบดังนี้ คือ ความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลส 50-60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เฮมิเซลลูโลส 10-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง นอกนั้นเป็นลิกนินและเถ้า

ประโยชน์ของการนำของเสียกลับมาใช้เป็นแหล่งอาหารในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

(1) ลดมลภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ
(2) มีราคาถูกและหาง่าย
(3) สามารถนำมาเปลี่ยนรูปให้เป็นพลังงานและโปรตีนได้
(4) ช่วยลดปัญหาการขาดแคลนโปรตีนของชุมชน
(5) สามารถนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้ในประเทศที่กำลังพัฒนา

2.8 การยอมรับของผู้บริโภคและความเป็นพิษของโปรตีนเซลล์เดียว

ปัญหาของการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวอยู่ตรงที่ความปลอดภัย คุณค่าทางอาหารและการยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากว่าอาหารที่ทำจากโปรตีนเซลล์เดียวนั้นประกอบด้วยจุลินทรีย์ทั้งหมด และจุลินทรีย์เหล่านี้ไม่เคยปรากฏว่ามีการใช้หรือมีการยอมรับในรูปของอาหารมาก่อน (Beech et al., 1985) ก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโปรตีนเซลล์เดียวมาใช้เป็นอาหารสัตว์หรืออาหารมนุษย์ก็ตาม ควรมีการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าไม่เป็นพิษหรือเป็นอันตรายต่อการบริโภค

ข้อควรระวังในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว ได้แก่

วัตถุดิบ วัตถุดิบบางชนิดที่ใช้ในการผลิตอาจเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น เอ็นพาราฟิน หรือไฮโดรคาร์บอนบางชนิด (Reed,1982) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เบเกอร์ยีสต์จากประเทศฝรั่งเศส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อังกฤษ และ รัสเซีย ยีสต์ที่ใช้เป็นอาหารในยุโรปและยีสต์ที่เลี้ยงในน้ำมันก๊าซหรือไฮโดรคาร์บอนที่ได้มาจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเหล่านี้มีไฮโดรคาร์บอน 13 ชนิด รวมทั้งไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารก่อมะเร็งด้วย ได้แก่ 3,4-เบนซ์ไพรีน เมทิลโคแลนทรีน (Grimmer , 1974; Riviere,1977) ถึงแม้ว่าปริมาณของสารที่พบในยีสต์เหล่านี้จะมีอยู่ต่ำกว่า 0.0002 พีพีเอ็ม หรือเพียงเศษหนึ่งส่วนร้อยของที่พบในเนื้อสัตว์รมควันก็ตาม การทดสอบการเกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองก็ยังมีความจำเป็นอยู่มาก

การปนเปื้อนในอาหารเลี้ยงเชื้อ Payer (1975) ได้ตรวจพบว่าสารพิษจากสิ่งแวดล้อมสามารถปนเปื้อนมากับสาหร่ายได้ แม้ว่าปริมาณที่พบจะมีน้อยกว่าในอาหารชนิดอื่น โลหะหนักบางชนิดที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้ออาจติดมากับโปรตีนเซลล์เดียวได้ นอกจากนี้กระบวนการผลิตจะต้องถูกสุขลักษณะด้วย ทั้งนี้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรค หรือจุลินทรีย์สร้างสารพิษด้วย นอกจากนี้การปนเปื้อนของสารพิษและจุลินทรีย์อื่นๆที่ไม่ต้องการแล้ว จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจะต้องไม่เป็นเชื้อโรค หรือสามารถสร้างสารพิษได้ด้วย

การทดสอบความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์โปรตีนเซลล์เดียวจะต้องทดสอบความเป็นพิษทั้งในระยะสั้นและระยะยาวโดยใช้สัตว์ทดลองหลายชนิดด้วยกัน เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ปลอดภัยต่อการบริโภค ซึ่งการทดสอบนี้จะต้องใช้ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์โปรตีนเซลล์เดียวส่วนใหญ่มักจะใช้เป็นอาหารสัตว์มากกว่าอาหารมนุษย์

มีรายงานเกี่ยวกับการทดลองให้โปรตีนเซลล์เดียวในมนุษย์ พบว่าให้ผลแตกต่างกันออกไป ตั้งแต่อาการปกติ จนถึงอาการไม่สบาย ระบบทางเดินอาหารเป็นพิษ ผิวหนังลอกเป็นเกล็ดและอื่นๆ ซึ่งอาการเหล่านี้จะปรากฏชัดขึ้นในกรณีที่มีการบริโภคโปรตีนเซลล์เดียวในปริมาณมาก ในการศึกษาถึงผลของโปรตีนเซลล์เดียวในมนุษย์ ควรใช้ตัวอย่างอย่างน้อย 25 คน หรือ 50 คน จึงจะเหมาะสม โดยพบว่าแบคทีเรียที่นำมาใช้เป็นอาหารโปรตีนจะทำให้มนุษย์เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน และท้องเสียมากกว่าจุลินทรีย์อื่นๆ ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้อาจเนื่องมาจากสารที่มีลักษณะคล้ายสารพิษ endotoxin ที่อยู่ในเซลล์ของแบคทีเรีย (Litchfield, 1991) นอกเหนือจากนี้ก็พบว่าการบริโภคโปรตีนเซลล์เดียวสำหรับมนุษย์ส่วนใหญ่สามารถยอมรับได้ อย่างไรก็ดีในการใช้โปรตีนเซลล์เดียวเป็นอาหารมนุษย์ควรนำมาผ่านกรรมวิธีแปรรูปให้เป็นอาหารชนิดอื่นก่อนที่จะนำมาใช้บริโภคจะเป็นการเหมาะสมกว่า

ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการบริโภคนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ได้แก่ผนังเซลล์ที่ย่อยไม่ได้ สีของจุลินทรีย์ที่น่ารังเกียจโดยเฉพาะอย่างยิ่งสีของสาหร่าย และกลิ่นรสที่ไม่พึงปรารถนาเช่นในกรณีของสาหร่ายและยีสต์ นอกจากนี้ในการบริโภคเซลล์ควรทำให้เซลล์ตายเสียก่อน เนื่องจากว่าการบริโภคเซลล์ที่มีชีวิตเข้าไป อาจมีผลทำให้เกิดการแบ่งเซลล์ขึ้นในลำไส้ และทำให้เกิดการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เกิดสารพิษพวกเอมีน (amine) หรืออาจมีการใช้วิตามินบีในลำไส้มนุษย์ได้ (ดุษณี, 2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. กากส้ม
2. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น HM-7E
3. เครื่องชั่งชนิด 4 ตำแหน่ง รุ่น A 200S และ 2 ตำแหน่ง รุ่น B-3100J
4. สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UNICAM 8620
5. Haemacytometer และกล้องจุลทรรศน์ รุ่น YS 2-H
6. เครื่องย่อย (digestor)
7. เครื่องกลั่น (distiller)
8. เครื่องบด รุ่น 645
9. ถุงพลาสติกทนความร้อนขนาด 6 * 9 นิ้ว
10. คอขวดพลาสติก
11. เดซิกเคเตอร์

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมกล้าเชื้อ

1. เลี้ยงเชื้อราในอาหาร NA (nutrient agar) ในหลอดอาหารวุ้นเอียง บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน
2. ทำสารละลายสปอร์โดยใช้น้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว ให้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^6 สปอร์/มล.

3.2.2 เปรียบเทียบการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อรา 2 ชนิด คือ *Aspergillus niger* และ *Penicillium* sp.

อาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อราประกอบด้วย กากส้ม: $(NH_4)_2SO_4$: KH_2PO_4 : น้ำตาลซูโครส ในอัตราส่วน 100:0.8:1.4:10

1. นำกากส้มที่ผ่านการอบแห้งและบดแล้ว 25 กรัม เติมอาหารเสริมในอัตราความเข้มข้นที่กำหนด
2. ปรับความชื้นเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ เป็นเวลา 10 นาที
3. เติมกล้าเชื้อในอาหาร 10^6 สปอร์ต่อกรัม บ่มที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ในเวลาที่ 0 ,48 ,72 ,96 และ 120 ชั่วโมง

3.2.3 เปรียบเทียบการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวของเชื้อรา *Aspergillus niger* ในอาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ และในอาหารที่ไม่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ

สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อรามี 2 สูตรคือ

กากส้ม:$(NH_4)_2SO_4$:KH_2PO_4 = 100:0.8:1.4

กากส้ม:$(NH_4)_2SO_4$:KH_2PO_4:น้ำตาลซูโครส = 100:0.8:1.4:10

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2 เพื่อหาปริมาณโปรตีนที่ผลิตได้สูงสุด

3.2.4 เปรียบเทียบการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวของเชื้อรา *Aspergillus niger* ในอาหารที่เปรียบเทียบแหล่งไนโตรเจนจาก 2 แหล่ง คือ ยูเรีย และ $(NH_4)_2SO_4$

สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อรามี 2 สูตรคือ

กากส้ม:$(NH_4)_2SO_4$:KH_2PO_4 = 100:0.8:1.4

กากส้ม:ยูเรีย:KH_2PO_4 = 100:0.8:1.4

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2 เพื่อหาปริมาณโปรตีนที่ผลิตได้สูงสุด

3.2.5 เปรียบเทียบการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวของเชื้อรา *Aspergillus niger* โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของยูเรียที่อัตราส่วนต่างๆ

สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อรามี 3 สูตรคือ

กากส้ม:ยูเรีย:KH_2PO_4 = 100:0.4:1.4, 100:0.8:1.4, 100:1.6:1.4

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2 เพื่อหาปริมาณโปรตีนที่ผลิตได้สูงสุด

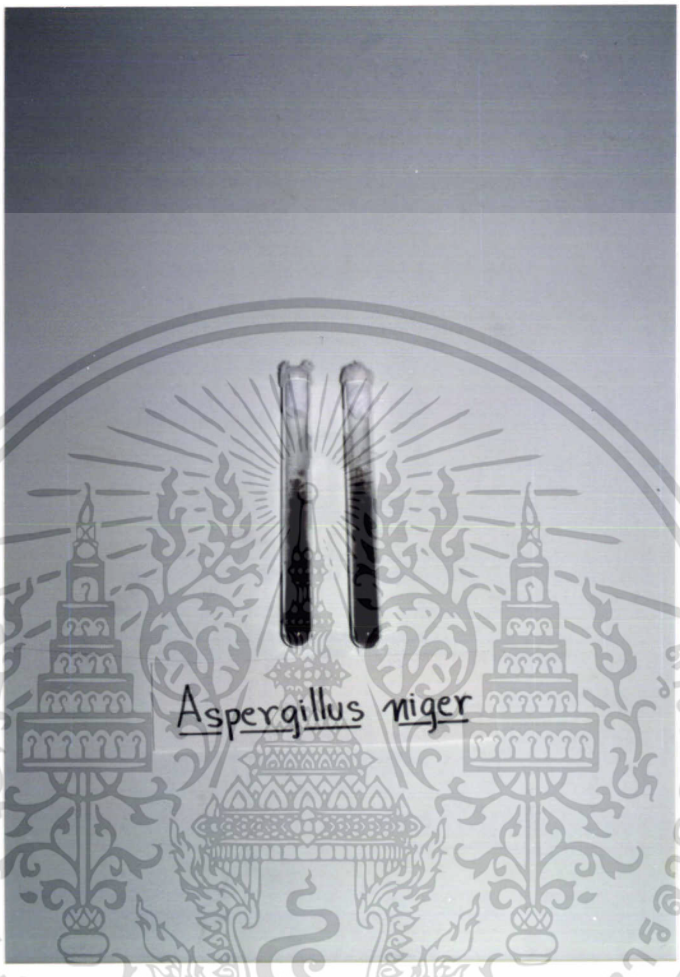
3.2.6 เปรียบเทียบการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวของเชื้อรา *Aspergillus niger* ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ KH_2PO_4 ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อรามี 3 สูตร คือ

กากส้ม:ยูเรีย:KH_2PO_4 = 100:0.4:0.7, 100:0.4:1.4, 100:0.4:2.8

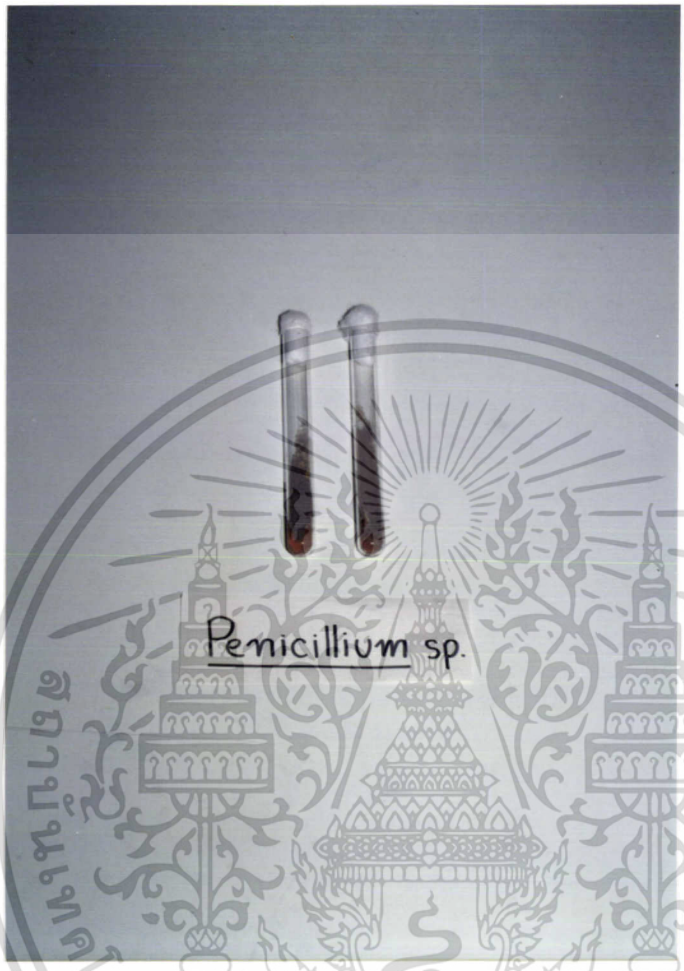
ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2 เพื่อหาปริมาณโปรตีนที่ผลิตได้สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 *Aspergillus niger*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 *Penicillium* sp.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ในโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3 การวิเคราะห์

3.3.1. **การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์** ตามวิธีของ Somogyi-Nelson Method (A.O.A.C., 1980)

สารเคมี

1. Somogyi Reagent

Copper Reagent A (I)

ละลาย 25 กรัมของ Na_2CO_3 (anhydrous) , 20 กรัมของ Sodium potassium tartrate (Rochelle salt) , 20 กรัมของ $NaHCO_3$ และ 200 กรัมของ Na_2SO_4(anhydrous) ในน้ำกลั่นประมาณ 800 มล. ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ในฟลาสก์ปรับปริมาตร

Copper Reagent B (I)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลาย 15 กรัมของ $CuSO_4.5H_2O$ในน้ำกลั่นปรับปริมาตร 100 มล. ในฟลาสก์ปรับปริมาตร

Copper Reagent

นำส่วนผสมของ A 25 ส่วนต่อ B 1 ส่วน เตรียมเมื่อต้องการใช้เท่านั้น

2. Nelson's Reagent

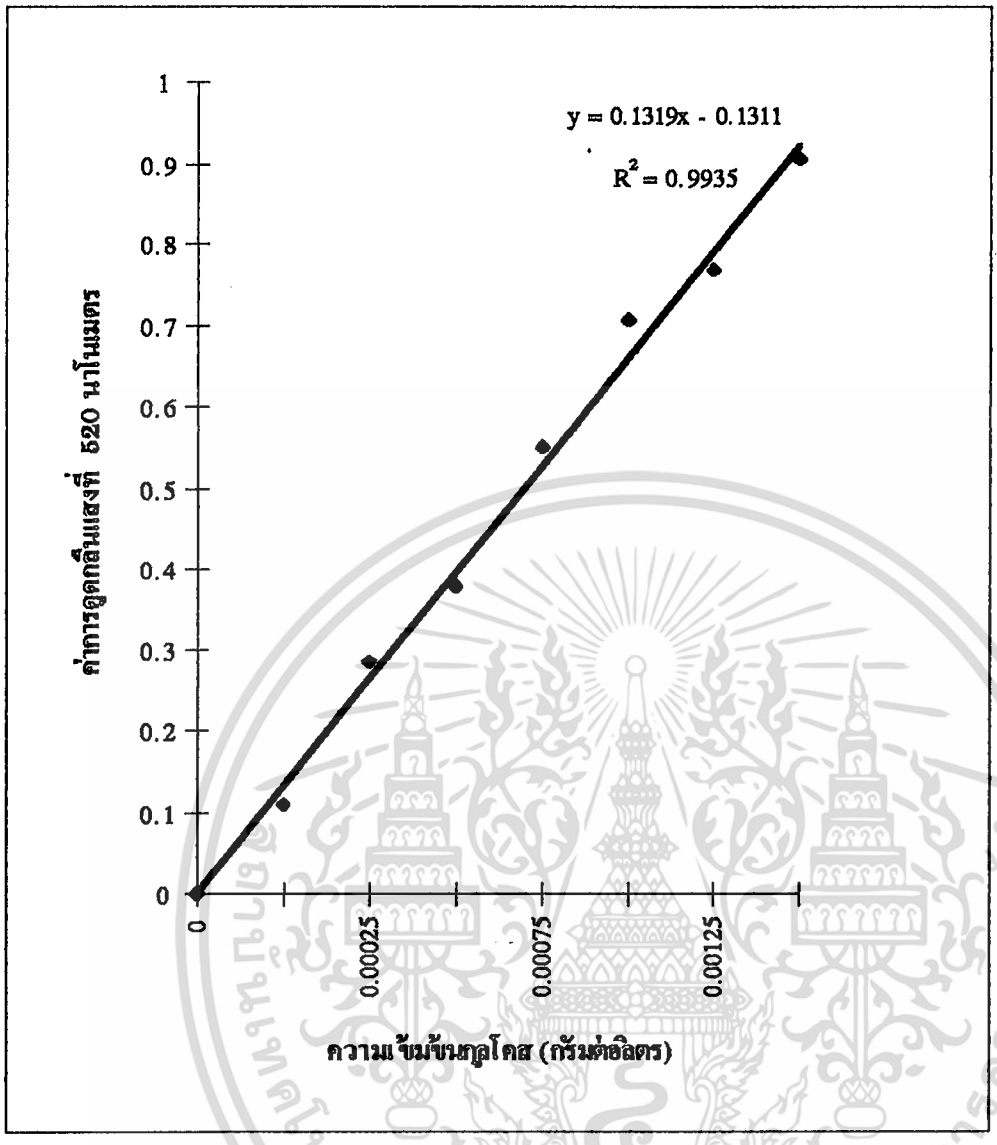
ละลาย ammonium molybdate 50 กรัม ในน้ำกลั่น 900 มล. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 42 มล. เขย่าให้เข้ากันเติม $Na_2HASO_4.7H_2O$ (disodium hydrogen arsinate) 6 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั่น 50 มล. เขย่าให้เข้ากันปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ในฟลาสก์ปรับปริมาตร เก็บในขวดสีชา โดยเก็บที่อุณหภูมิ 37° C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้

<u>วิธีการ</u>

1.ทำกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้นเป็น 100 ,250, 500 , 750 , 1000, 1250 และ 1500 ไมโครกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำกลั่น ใช้ความเข้มข้นละ 1 มล. ใส่ในหลอดทดลอง เติม Copper Reagent 1 มล. เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้ลูกแก้วปิดปากหลอด หลังจากนั้นทิ้งให้เย็นจึงค่อยเติม Nelson's Reagent 1มล. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 15 นาที เติมน้ำกลั่น 2 มล. แล้วนำไปวัดค่า Optical density (O.D.) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

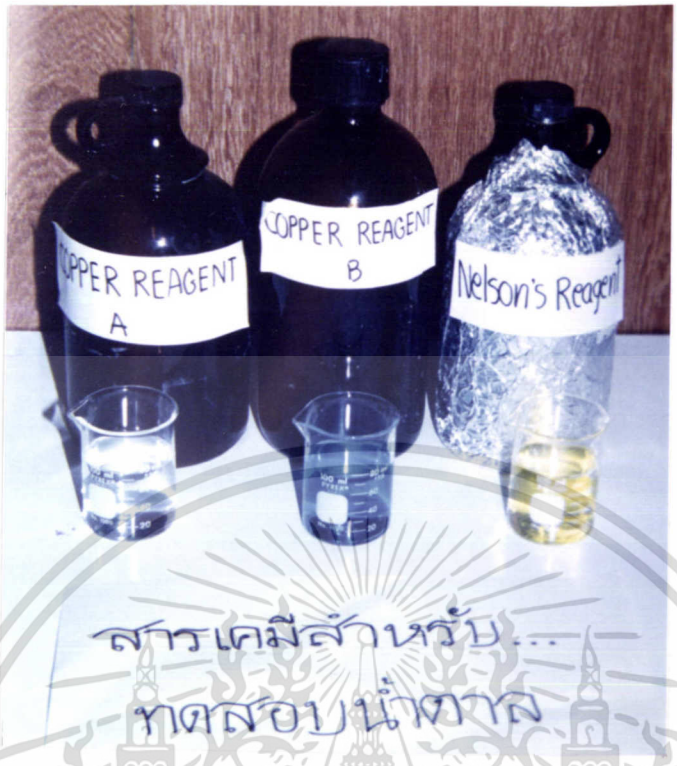
2. หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากสารละลายที่กรองได้ของตัวอย่าง (ตัวอย่าง 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 9 มล. ตั้งทิ้งไว้ 15-20 นาที นำไปกรอง) โดยใช้สารละลาย 1 มล. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้นำไปเปรียบเทียบหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกูลโคส (รูปที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

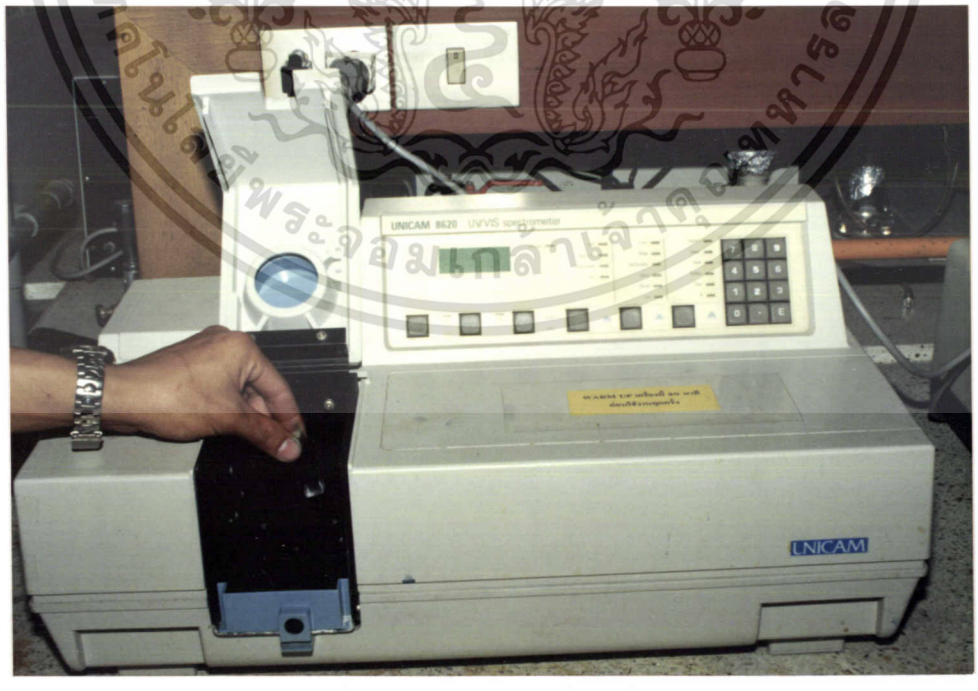


รูปที่ 3 กราฟแสดงค่า Optical density ของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าน้ำตาลรีดิวซ์



รูปที่ 5 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. **การหาปริมาณ crude protein** ตามวิธีการของ Kjeldahl Method (A.O.A.C., 1980)

สารเคมี

1. conc H_2SO_4 97-99%
2. Selenium dioxide
3. สารละลายกรดบอริก (Boric acid) 4%
4. สารละลาย NaOH 30%
5. Mixed indicator (Screen methyl red)
6. สารละลาย H_2SO_4 0.1 N
7. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
8. คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในหลอด Kjeldahl ใส่ glass bead 3-4 เม็ด เติมซิลิเนียมไดออกไซด์ 0.04 กรัม โพแทสเซียมซัลเฟต 7.68 กรัม คอปเปอร์ซัลเฟต 0.28 กรัม เติมกรดซัลฟิวริก 12 มล. นำไปย่อยบนเครื่องย่อย ครั้งแรกใช้ความร้อนต่ำจนไม่มีฟองกาซ แล้วจึงเร่งไฟให้มีความร้อนสูงขึ้นจนได้สารละลายสีฟ้าเขียว ย่อยต่ออีก 10 นาที แล้วปิดไฟ ทิ้งไว้ให้เย็น

2. เมื่อสารละลายเย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 70 มล. โดยพยายามชะกรดที่อยู่ข้างหลอดลงไปด้วย

3. ทำการกลั่นโดยต่อเข้ากับเครื่องกลั่นที่ปลายคอนเดนเซอร์ จุ่มอยู่ในฟลาสก์ที่มีกรดบอริก 4 เปอร์เซ็นต์ 50 มล. หยด mixed indicator 2-3 หยด ปั๊มด่าง NaOH 30 เปอร์เซ็นต์ ไหลลงไปในหลอดประมาณ 80 มล. ดำเนินการกลั่นประมาณ 5 นาที

4. ลดฟลาสก์ลง ปิดเครื่องกลั่น

5. นำสารละลายไปไตเตรตด้วยกรด H_2SO_4 0.1 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ

การคำนวณ

$$\% N = \frac{\text{มล.กรดที่ไตเตรต} \times 0.14}{\text{น้ำหนักวัตถุแห้ง}}$$

$$\% \text{ crude protein} = \%N \times 6.25$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 การวิเคราะห์ค่าโปรตีนด้วย Kjeldahl Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าโปรตีน

3.3.3 การหาค่าพีเอช

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 9 มล.
2. นำไปวัดค่าพีเอชโดยเครื่องวัดพีเอช

หมายเหตุ ตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์เป็นตัวอย่างที่มีน้ำหนักแห้ง โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 - 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8 เครื่องวัดค่าพีเอช

รูปที่ 9 ตู้อบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 10 เดซิกเคเตอร์

รูปที่ 11 การเพาะเลี้ยงโปรตีนเซลล์เดียวในถุงพลาสติก

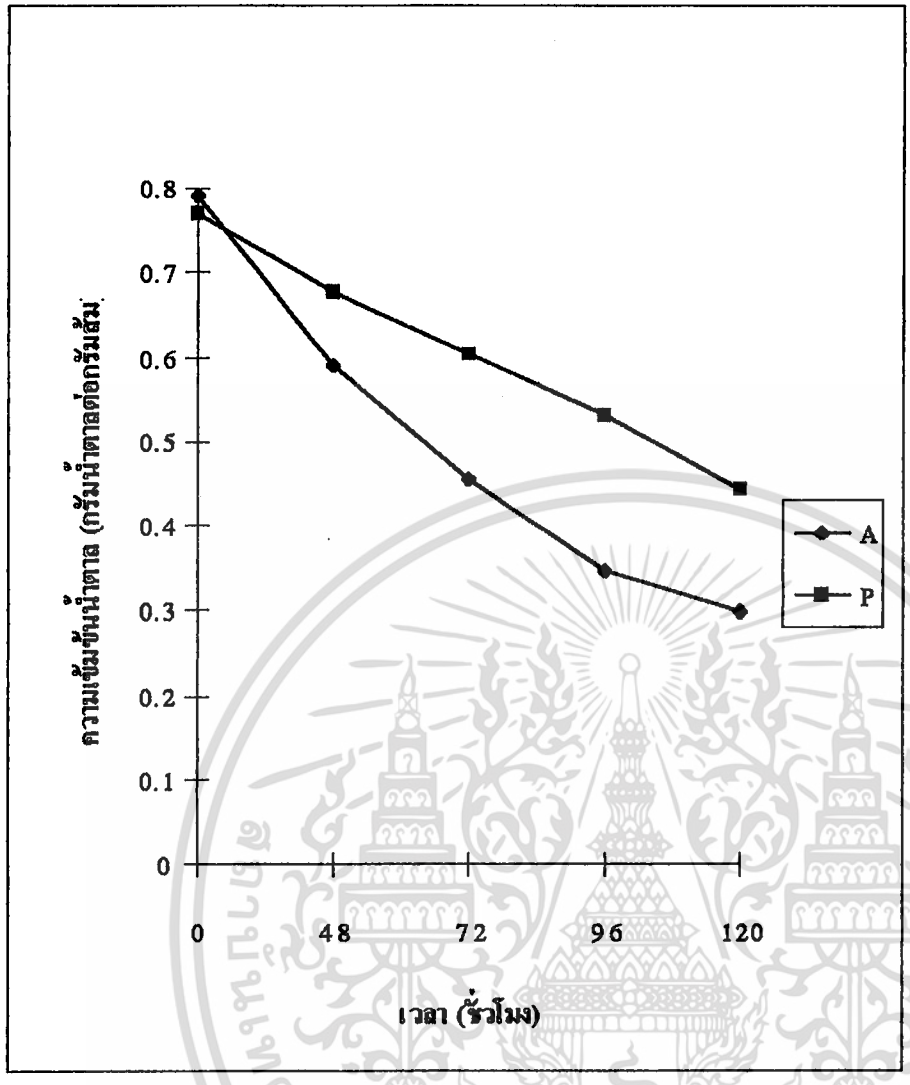
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อรา 2 ชนิด คือ *Aspergillus niger* และ *Penicillium sp.*

จากการศึกษาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวของเชื้อ *Aspergillus niger* และ *Penicillium sp.* ในอาหารที่ประกอบด้วย กากส้ม : $(NH_4)_2SO_4$: KH_2PO_4 : น้ำตาลซูโครส ที่อัตราส่วน 100: 0.8 : 1.4 : 10 พบว่าเชื้อ *A. niger* มีการใช้น้ำตาล (รูปที่ 12) และผลิตโปรตีนเซลล์เดียวมากกว่า *Penicillium sp.* โดย *A. niger* ผลิตโปรตีนเซลล์เดียวได้ 6.8 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ *Penicillium sp.* ผลิตโปรตีนเซลล์เดียวได้เพียง 4.4 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้เชื้อ *A. niger* ในการทดลองหาสภาวะของอาหารเลี้ยงเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

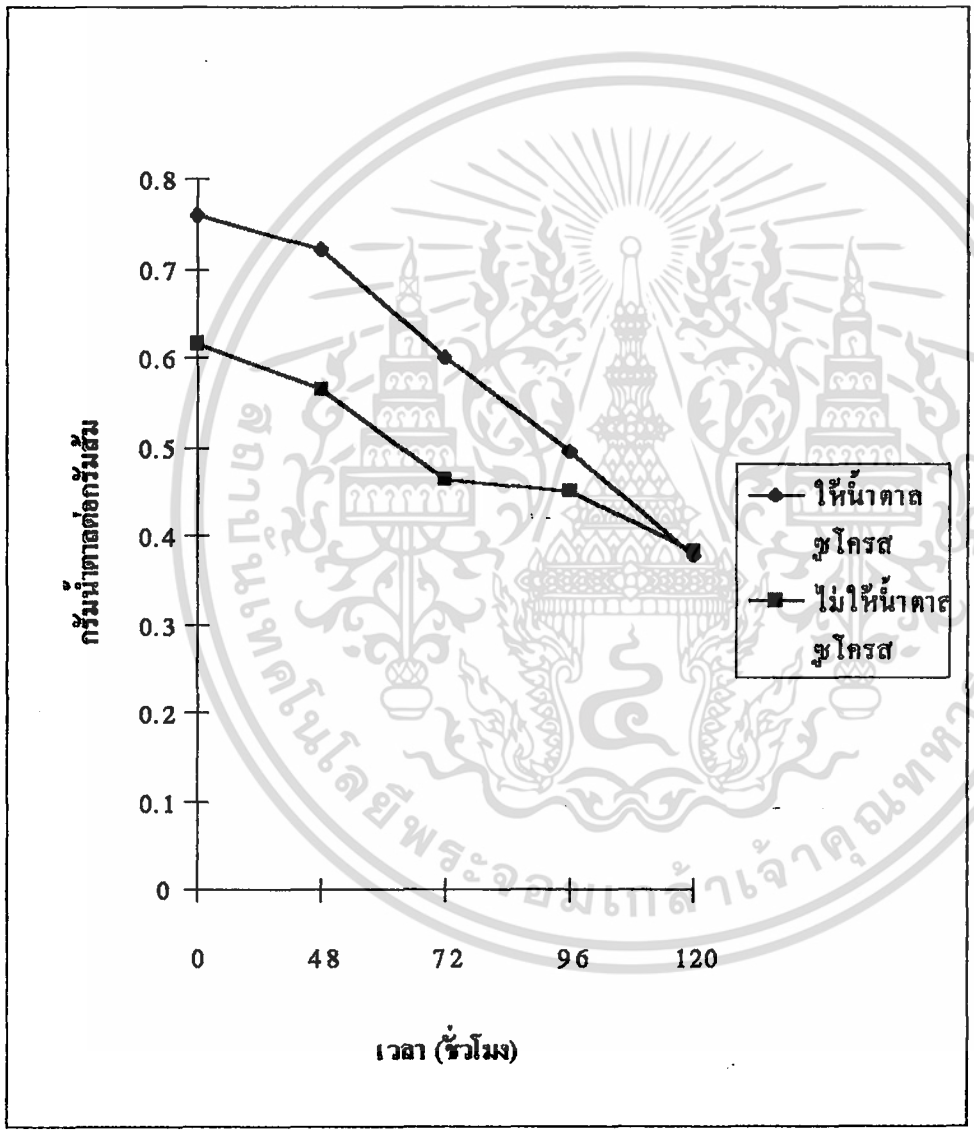


รูปที่12 เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลของเชื้อ *A. niger* (A) กับ *Penicillium sp.*(P)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อ *A. niger* ในอาหารที่มีการเติมน้ำตาลซูโครสและในอาหารที่ไม่มีการเติมน้ำตาลซูโครส

จากการศึกษาพลว่าในอาหารที่มีการเติมน้ำตาลซูโครสเชื้อราจะมีอัตราการใช้น้ำตาลเร็วกว่าอาหารที่ไม่มีการเติมน้ำตาล (รูปที่ 13) และปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้จากอาหารทั้งสองสูตรมีปริมาณใกล้เคียงกัน คือ ปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวในอาหารที่มีน้ำตาลเป็น 6.08 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวในอาหารที่ไม่มีน้ำตาลมีปริมาณ 5.7 เปอร์เซ็นต์

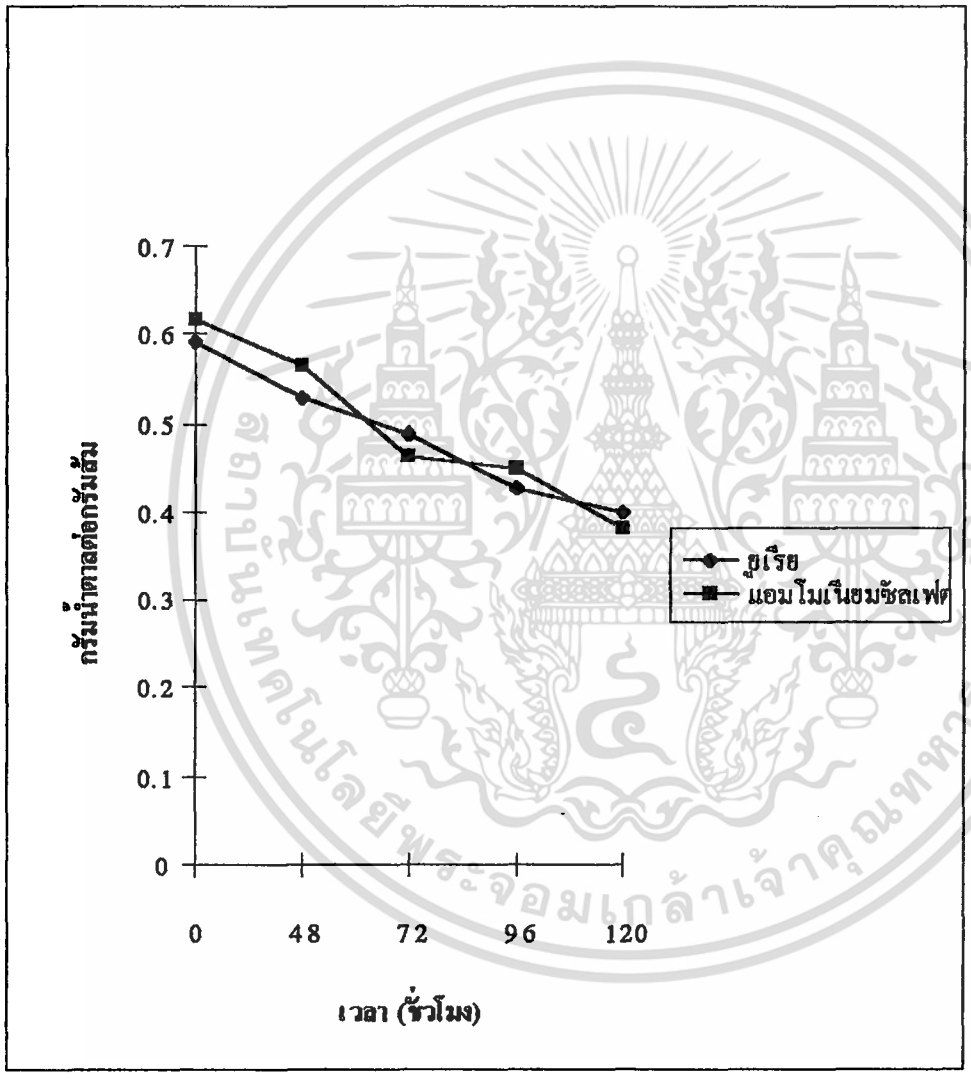


รูปที่ 13 เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลของเชื้อ *A. niger* ในอาหารที่มีการเติมน้ำตาลและในอาหารที่ไม่มีการเติมน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อ *A. niger* ในอาหารที่มียูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนและในอาหารที่มีแอมโมเนียนซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจน

จากการศึกษาพบว่าในอาหารทั้งสองสูตร มีการใช้น้ำตาลในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 14) และมีการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวในปริมาณใกล้เคียงกันปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวจากอาหารที่มียูเรียเป็นองค์ประกอบเท่ากับ 6.15 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวจากอารที่มีแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นองค์ประกอบเป็น 5.65 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 14 เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลของเชื้อ *A. niger* ในอาหารที่มียูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนและในอาหารที่มีแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจน (ความเข้มข้นของแหล่งไนโตรเจนเป็น 0.8 เปอร์เซ็นต์)

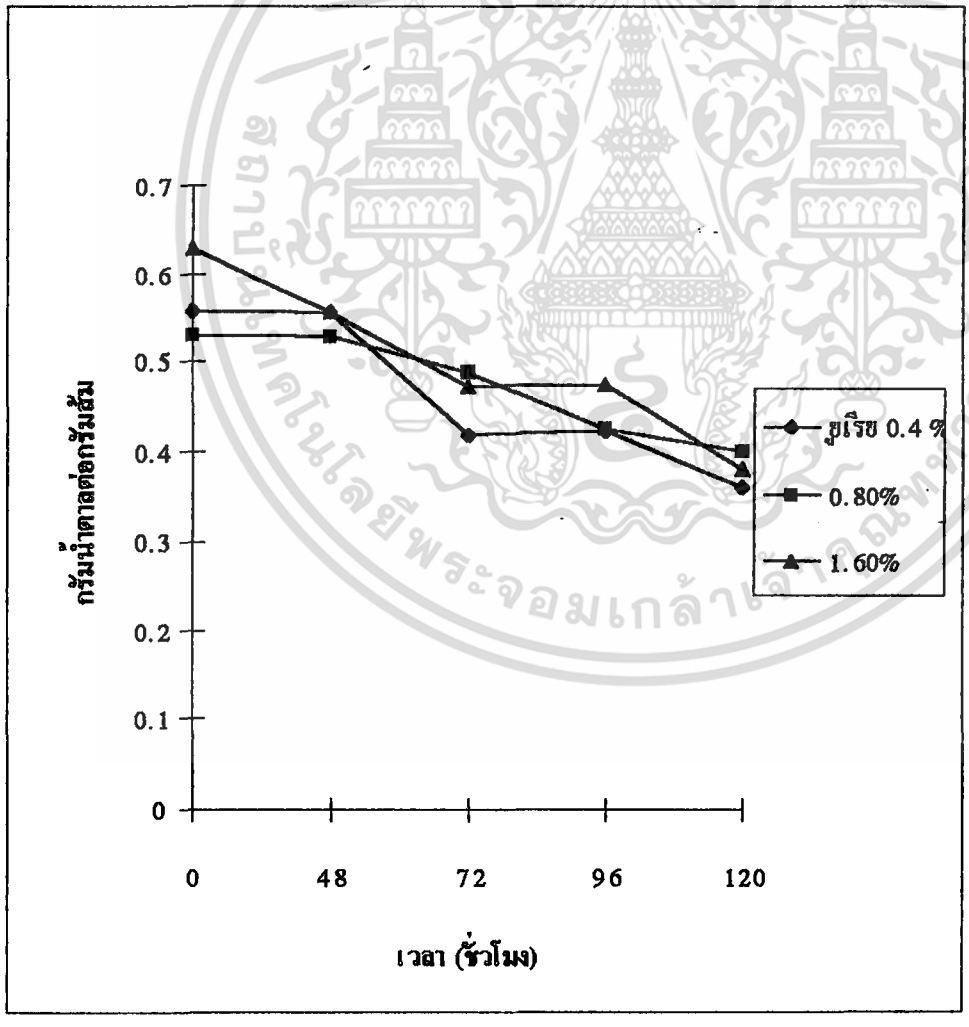
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการใช้ยูเรียปริมาณต่าง ๆ ในอาหาร

จากการศึกษาใช้ยูเรีย 0.4 , 0.8 และ 1.6 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร พบว่า *A. niger* มีอัตราการใช้น้ำตาลเร็วที่สุด เมื่อเติมยูเรียในอาหาร 0.4 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 15) และ *A. niger* สามารถผลิตโปรตีนเซลล์เดียวได้สูงสุด เมื่อมีการเติมยูเรียในอาหาร 0.4 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้จากเชื้อ *A. niger* ในอาหารที่เติมยูเรียในปริมาณต่าง ๆ

ความเข้มข้นของยูเรีย (%)	ปริมาณโปรตีน (%)
0.4	7.22
0.8	6.15
1.6	6.66



รูปที่ 15 เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลในอาหารที่เติมยูเรียในปริมาณต่าง ๆ

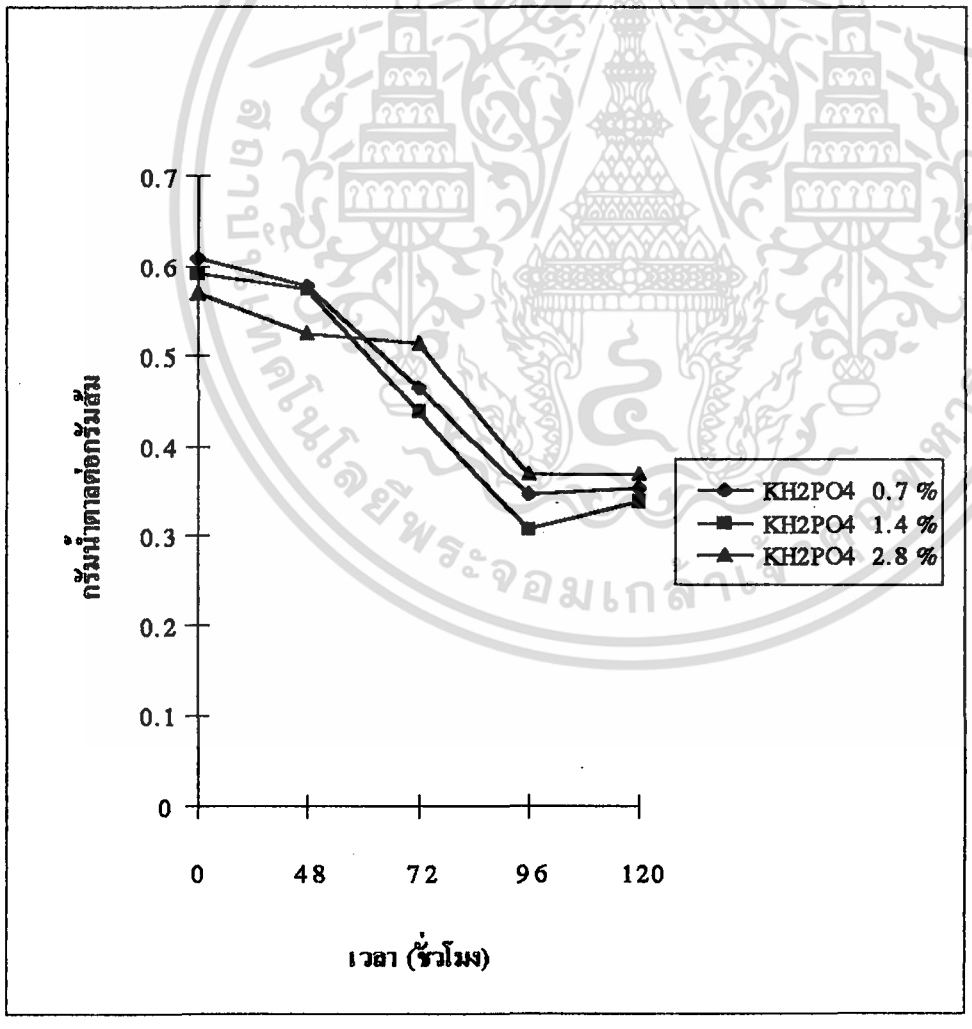
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการใช้โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณต่าง ๆ ในอาหาร

จากการศึกษาการใช้โพแทสเซียมฟอสเฟต 0.7 , 1.4 และ 2.8 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารพบว่า *A. niger* มีอัตราการใช้น้ำตาลที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 16) แต่การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจะมีการผลิตในปริมาณสูงสุดเมื่อเติมโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณ 2.8 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้จากเชื้อ *A. niger* ในอาหารที่เติมโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ KH_2PO_4 (%)	ปริมาณโปรตีนเซลล์เดียว (%)
0.7	6.05
1.4	8.03
2.8	8.74



รูปที่ 16 เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลในอาหารที่เติม KH_2PO_4 ในปริมาณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงค่าทางสถิติในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการให้น้ำตาลและไม่ให้น้ำตาลที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

เวลา	ปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวที่เพิ่มขึ้นในสูตรที่ไม่มีการให้น้ำตาล	ปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวที่เพิ่มขึ้นในสูตรที่มีการให้น้ำตาล
0	0.00	0.00
48	0.98	1.35
72	3.75	1.72
96	5.17	3.00
120	5.65	6.28

H_0 = ไม่มีความแตกต่างของโปรตีนเซลล์เดียวที่เพิ่มขึ้นจากการใช้แหล่งอาหารที่แตกต่างกัน

H_1 = มีความแตกต่างของโปรตีนเซลล์เดียวที่เพิ่มขึ้นจากการใช้แหล่งอาหารที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 10 แสดงค่า ANOVA

SOV	df	SS	MS	F
trt	1	1.40	1.43	1.22
block	4	450885	11.47	10.06
error	4	4.59	1.14	
total	9	51.88		

$F_{1,4(0.05)}$ = 7.71 $F_{4,4(0.05)}$ = 6.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาการใช้กากส้มเป็นแหล่งอาหารในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว จากเชื้อจุลินทรีย์ 2 ชนิดคือ *Aspergillus niger* และ *Penicillium* sp. พบว่า *Aspergillus niger* สามารถผลิตโปรตีนเซลล์เดียวได้มากกว่า *Penicillium* sp. ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Bavor (1986)

การศึกษาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจาก *Aspergillus niger* ในอาหารที่มีการเติมน้ำตาลซูโครสและในอาหารที่ไม่มีการเติมน้ำตาลซูโครส พบว่า ในอาหารที่มีการเติมน้ำตาลซูโครส เชื้อจะมีการใช้น้ำตาลอย่างรวดเร็ว เพราะว่าจุลินทรีย์จะมีการใช้น้ำตาลที่มีอยู่ในอาหารได้ง่ายกว่าการใช้น้ำตาลในกากส้ม แต่ปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้จากอาหารทั้ง 2 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงเลือกใช้สูตรอาหารที่ไม่มีการเติมน้ำตาลเพราะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตระดับอุตสาหกรรม

การศึกษาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อ *Aspergillus niger* ในอาหารที่มียูเรียและในอาหารที่มีแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าจากอาหารทั้ง 2 สูตร *Aspergillus niger* จะมีอัตราการใช้น้ำตาลที่ใกล้เคียงกัน ส่วนโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตจากอาหารที่มียูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนจะมีปริมาณมากกว่าโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้จากอาหารที่มีแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจน ดังนั้นจึงเลือกใช้สูตรอาหารที่มียูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน เพราะมีราคาถูกกว่าแอมโมเนียมซัลเฟต และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตระดับอุตสาหกรรมได้

การศึกษาปริมาณยูเรียที่เติมลงไปในอาหารในปริมาณ 0.4 , 0.8 และ 1.6 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ในอาหารที่เติมยูเรียในปริมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ จะผลิตโปรตีนเซลล์เดียวสูงสุด ซึ่งจากการศึกษาการเจริญของเชื้อราพบว่า เชื้อราจะมีอัตราการเจริญเติบโตจำกัด ถ้ามีปริมาณไนโตรเจนมากเกินไป และจะเจริญได้ดีในปริมาณไนโตรเจนจำกัด (Rale , 1985)

การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เติมลงไปในอาหารในปริมาณ 0.7 1.4 และ 2.8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อาหารที่เติมยูเรีย 2.8 เปอร์เซ็นต์จะผลิตโปรตีนเซลล์เดียวได้สูงสุด แต่ปริมาณโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้จะมีค่าไม่ต่างกับอาหารที่มีการเติมปริมาณโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.4 เปอร์เซ็นต์มากนัก ดังนั้นในการผลิตระดับอุตสาหกรรมควรใช้โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ระดับ 1.4 เปอร์เซ็นต์ เพื่อประหยัดต้นทุนในการผลิต

จากการทดลองนี้ สูตรอาหารที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวได้สูงสุด คือ กากส้ม : ยูเรีย : KH_2PO_4 เป็น 100 : 0.4 : 1.4 ซึ่งสามารถนำไปสู่การศึกษาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากของเสียที่มาจากโรงงานน้ำส้มกระป๋องในระดับที่ใหญ่ขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ดวงพร คันธโชติ. 2530. **จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม : ผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์** พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮาส์

ดุษณี ธนะบริพัฒน์. 2537. **จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม** พิมพ์ครั้งที่ 2 นครราชสีมา โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มงคล เพ็ญสายใจ และ สุภา สินทวีวงศ์. 2532. การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากสับปะรด **โครงงานพิเศษปริญญาตรี** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิชชุพร ว่องสุวรรณเลิศ. 2507. จุลินทรีย์โปรตีนจากมันสำปะหลังโดย *Rhizopus* และยีสต์ **วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

วินัย ขจรพิทักษ์. 2533. **โภชนาการอาหารสำหรับสัตว์** พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ โอเดียนสโตร์

สิทธิชัย อำนวยพร. 2526. **การปลูกส้ม** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

Aker, K.C. and Robinson, C.W. 1987. Growth of *Candida utilis* on single- and multicomponent suger substrate fermentation of wheat straw. **MIRCEN J.** 3, 255-274.

Akin, C. 1973. Process for texturizing microbial cells by alkali-acid treatment. **U.S. Patent 3,** 781, 264.

A.O.A.C. 1980. Official Method Of Analysis (13th Ed.). Horwitz, W. (Ed.). Washington, D.C.

Beech, G.A., Melvin, M.A. and Taggart, J. 1985. Food, drink and biotechnology. In Biotechnology. **Principles and Applications**. Edited by I.J. Higgins, D.J. Best and J. Jones. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Ben - Amotz , A.and Avron ,M. 1989 .The biotechnology of mass culturing *Dunaliella* for products of commercial interest. **In Algal and Cyanobacterial Biotechnology ,** pp. 91 - 114. Editted by R.C. Cresswell, T.A.V. Rees and N.Shah. Longman Scientific and Technical,Harlow.

Bhattacharjee,J.K.. 1970. **Advance in Applied Microbiology.** 13:134-159.

Booth,C. 1971. Introduction to general methods in Microbiology (booth,C.Editor).4:3, Academic Press,London.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calleeja,G.B., Yaguchi,M., Levy-Risk , S.,Seguin,J.H.R.,Roy,C. and Lusena , C.V. 1986. Single cell protein production from potato starch by the yeast *Schwanniomyces alluvius*. **J.Ferm.Technol.** 64(1):71-75.

Chandler,B.V.1977. Problem associate with the processing of Australian Citrus. **Food technol.** in Australia . 29 (7):269-278

Corrias,A. 1973. Personal Communication. P.33-42

Duthie,I.F. 1975. **SCP II** ,p.505.Edited by Tannenbaum,S.R. and Wang, D.I.C.,Mit Press,Cambridge,Mass

E.L.Jr.Gaden. Single Cell Protein (**Academic press**,New York,1974),pp46-60

Garzon N. 1992. Production of Pectic enzyme fron citrus waste by solid substrate fermentation. **Bio Waste**. Vol.3. p194-197

Imrie,F.K.E. and Vlitos,A.J. 1973. Production of fumgal protein from carob (*Ceratonia silique*) **presented at the2nd International Fermentation Symposium.** Kyoto:Japan.

Korasic,N. 1972. **In Food from Waste**. Edited by G.G.Birch,K.J.Parker and J.T. Worrgan. Applied Science Publishers Ltd.,London.

Labaneinh,M.E.O.,Abou-donia,S.A.,Mohamed,M.S.andEl-Zalake,E.M.Technical Laqford,G.R.,Kligerman,A.,Williams, T. and Lawford, H.G. 1979. **Biotech. Bioeng.** 21,1163

Litchfield,J.H. 1991. Food supplements from microbial protein. **In Biotechnology and Food Ingredients,** pp,65-109. Edited by Goldberg,J. and williams,R.Van Nostrand Reinhold,New york.

Moss,M.O. and Smith,J.E.Surrey Universety Press,London

Noparatnaraporn,N.1987.Photosynthetic bacteria from cassava easte:a multepurpose animal feed, In Upgrading of Cassava/Cassava Wasted by Appopriate. **Biotechnologies**,pp.92-105.Proceeding of UNEP/TISTR/Bangkok MIRCEN Workshop,Thailand,November 24-26

Nwabueze,T.U. and Oguntimein,G.B.1987.Sweet Orange (*Citrus sinensis*) residue as a substrate for single cell protein production, **Biol Wastes**. 20(1),71-75

KOKKE, R. 1977. Improvement of carob pods, as feed by solid substrate fermentation, **J.Appl.Bacterial**, 43, pp303-307

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เกี่ยวกับการใช้งานเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Romantschuk,H.1975.The Pekilo process:protein from apet sulfite liquor. In **Single Cell Protein II**, pp.344-356, Edited by S.R.Tannenbaum and E.I.C.Wang. MIT Press, Cambridge, Mass.

Stewart,H.F. 1970. **Advances in food Research**, 18.

Woodard,J.C. and Short, D.D.1973.Toxecety if alkali treated soy protein in rats. **J. Nut.**103(4):569-574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้