

การตรวจเอกสาร

1. เอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือที่เรียกอีกชื่อว่า เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) เป็นสารอินทรีย์มีสูตรเคมีคือ C_2H_5OH หรือ CH_3CH_2OH มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 46 มีจุดเดือดเท่ากับ 78.3 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวเท่ากับ 115 องศาเซลเซียส เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย จุดติดไฟ ละลายได้ในน้ำ และสารอินทรีย์อื่น ๆ ได้

การนำเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่สามารถนำไปผสมกับน้ำมัน (Fuel Alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ใน 32 รูปแบบ คือ รูปแบบแรกเป็นเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงทดแทนน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซลใช้กับเครื่องยนต์มีอัตราส่วนการอัดสูง บราซิลเป็นประเทศแรกที่มีการศึกษาวิจัยและเริ่มใช้เอทานอลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงตั้งแต่ปี 2516 โดยผลิตเอทานอลจากอ้อย และกากน้ำตาล โดยพาหนะที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงมากถึงประมาณ 41 เปอร์เซ็นต์สำหรับในเครื่องยนต์ดีเซลสามารถใช้เอทานอลบริสุทธิ์ 95 เปอร์เซ็นต์ ผสมในน้ำมันดีเซลเรียกว่า ดีโซฮอล (Diesohol) ในอัตราส่วน 15 เปอร์เซ็นต์และเพิ่มสารปรับปรุงคุณสมบัติบางชนิดในปริมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์

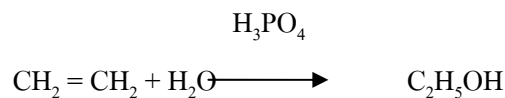
ในแง่การเผาไหม้ อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Air – Fuel Ratio) ของก๊าซโซลีนมีค่าอยู่ในช่วงแคบ ประมาณ 15 ต่อ 1 สำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยมีมลพิษต่ำ แต่ถ้าพ้นจากช่วงนี้ไปแล้วจะก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ทำให้เกิดมลพิษมาก ในขณะที่เอทานอลมีการเผาไหม้ที่สะอาดโดยปราศจากคราบเขม่าและมีเสถียรภาพในช่วงกว้างกว่า มีคุณสมบัติการเผาไหม้ที่ต่ำกว่า ช่วยป้องกันการหยุดการทำงานของเครื่องยนต์ ทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มกำลังของเครื่องยนต์ได้เป็นปริมาณมาก ถ้าได้รับการดัดแปลงอย่างเหมาะสมซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถแข่ง โดยปกติแล้วเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีปริมาณเอทานอล 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ (ในก๊าซโซลีนเรียกว่า E10 – E15 หรือก๊าซโซฮอล) จะไม่ต้องปรับแต่งใด ๆ และจะทำให้ค่าออกเทนสูงขึ้น 4-6 จุด เช่น เดิมเอทานอลในปริมาณ 95-97 แต่ยังคงเพิ่มปริมาณเอทานอลมากกว่านี้ ระบบการจ่ายเชื้อเพลิงจำเป็นต้องได้รับการดัดแปลงโดยสอดคล้องกับปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้น (ศิริพล และ สุจิต, 2548)

การผลิตเอทานอล

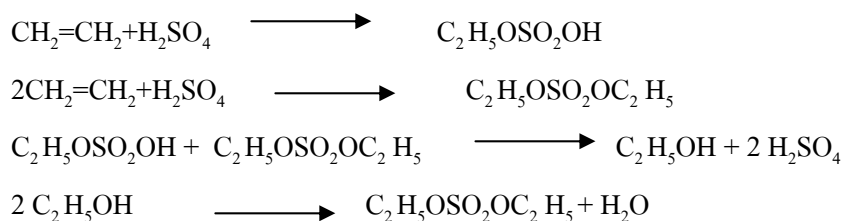
เอทานอลที่ได้จากการผลิตในชั้นอุตสาหกรรมเพื่อใช้งานในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามกรรมวิธีการผลิต คือ เอทานอลชนิดที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีโดยใช้เอทิลีนเป็นวัตถุดิบ และเอทานอลชนิดที่ผลิตโดยวิธีการหมักจากวัสดุการเกษตร

การผลิตเอทานอลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี

1. การผลิตเอทานอลจากกระบวนการแคตตาไลติกไฮเดรชันของเอทิลีน (Ethylene from Ethylene by Catalytic Hydration) เป็นการผลิตเอทานอลจากเอทิลีนโดยใช้กระบวนการแคตตาไลติกไฮเดรชัน ซึ่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์มีดังนี้



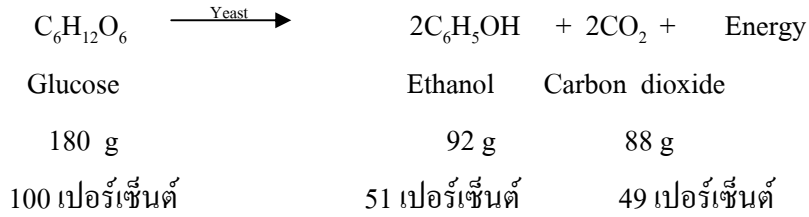
2. การผลิตเอทานอลจากกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน และไฮโดรไลซิสของเอทิลีน (Ethanol from Ethylene by Esterification and Hydrolysis) เป็นกระบวนการผลิตเอทานอลโดยใช้เอทิลีนจากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันและไฮโดรไลซิสดังปฏิกิริยาสังเคราะห์ดังนี้



วิธีการสังเคราะห์เอทานอลทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาแล้วแต่เดิมนิยมทำกันมากกว่าวิธีการหมักทั้งนี้เป็นกระบวนการที่รวดเร็วและไม่ยุ่งยาก กระบวนการผลิตขึ้นอยู่กับปัจจัยเพียงไม่กี่ชนิด เนื่องจากวิธีการสังเคราะห์ดังกล่าวต้องใช้สารเริ่มต้นที่เป็นผลผลิตจากปิโตรเลียม ซึ่งในช่วงระยะหลังเกิดภาวะขาดแคลนน้ำมันปิโตรเลียม จึงทำให้ต้นทุนการผลิตทั้ง 2 วิธีนี้สูงขึ้นมาก ซึ่งแต่เดิมจะต่ำกว่าวิธีการผลิตแบบการหมักจนทำให้มีผู้สนใจและหันเหวิธีการผลิตเอทานอลมาทางด้านการหมักสารพวกคาร์โบไฮเดรตแทน

เอทานอลที่ได้จากกระบวนการหมักสารพวกคาร์โบไฮเดรต (Ethanol Fermentation of Carbohydrate)

การเปลี่ยนสารพวกคาร์โบไฮเดรตอันได้แก่ แป้ง และน้ำตาลให้เป็นเอทานอลนั้นถ้าสารเริ่มต้นเป็นน้ำตาลสามารถใช้ยีสต์ในการหมักได้เลย ยีสต์ที่นิยมใช้เป็นยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces* sp. ในอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลที่ต้องการเอทานอลความเข้มข้นสูง ๆ ใช้ยีสต์ในสายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* กระบวนการหมักเพื่อให้เอทานอลจะเกิดขึ้นในสถานะที่ไม่มีอากาศ (Anaerobic Condition) ดังสมการต่อไปนี้



เมื่อสารเริ่มต้นใหม่เป็นพวกแป้ง เช่น ข้าว ข้าวโพด และมันสำปะหลัง สามารถใช้มอลท์เอนไซม์ (Malt Enzyme) หรือ มอลเตสเอนไซม์ (Maltase Enzyme) ซึ่งได้จากพวกราในกลุ่ม *Phycomycetes* sp. และ *Ascomycetes* sp. มาเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล นอกจากเชื้อราแล้วยังสามารถใช้กรดเกลือไปรวมกับแป้งแล้วต้มให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะได้น้ำตาลที่มีโมเลกุลเล็กกว่าที่ใช้ย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งสามารถใช้ทำให้เกิดเอทานอลได้มากกว่าน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ แต่การใช้กรดจะต้องควบคุมปริมาณให้พอเหมาะ โดยปริมาณกรดที่เหลือจะต้องไม่ทำให้น้ำตาลเสียไปอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่รุนแรงเกินไป และจะต้องทำการปรับความเป็นกรดต่างให้เหมาะสมในปฏิกิริยาการหมักที่จะดำเนินการต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมัก

การหมัก (Fermentation) เป็นคำที่มีรากศัพท์มาจากภาษาละติน คือ “Fervere” แปลว่า เดือด ซึ่งในครั้งแรกที่ใช้เพื่ออธิบายลักษณะที่เกิดจากการกระทำของยีสต์ในน้ำสกัดจากผลไม้ หรือเมล็ดข้าวมอลท์ เนื่องจากยีสต์ย่อยสลายน้ำตาลภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจนทำให้เกิดฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผุดขึ้นมาเหมือนน้ำเดือด การหมักในทางชีวเคมีหมายถึง การสร้างพลังงานจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ โดยมีสารอินทรีย์เป็นทั้งตัวให้และตัวรับอิเล็กตรอน ส่วนการหมักในทางจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม หมายถึง กระบวนการผลิตผลผลิตใดๆ ก็ตามที่ได้จากการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์จำนวนมาก (Mass Culture) ซึ่งครอบคลุมทั้งกระบวนการแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจนในขณะที่การหมักทางชีวเคมีจะหมายถึงเฉพาะกระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจนเท่านั้น

พื้นฐานของกระบวนการหมัก

กระบวนการหมักเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาพที่ไม่มีอากาศ การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลสามารถเกิดขึ้นได้หลายวิถีทาง (pathway) ซึ่งขึ้นอยู่กับเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในกระบวนการหมัก โดยทั่วไปแล้วการหมักมักจะใช้เชื้อยีสต์ในสกุล *Saccharomyces* sp. และยีสต์ในสกุลอื่น ๆ ซึ่งเอทานอลจะถูกสร้างขึ้นโดยอาศัย Embden-Meyerhof-Parnas Pathway

ตามทฤษฎีน้ำตาลกลูโคส 1 กรัม จะถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอล 0.51 กรัม และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.49 กรัม แต่ในทางปฏิบัติพบว่าน้ำตาลกลูโคส 1 กรัม จะถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอลได้

0.46 กรัม และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.44 กรัม ที่เหลือยีสต์ใช้สำหรับการเจริญเติบโต และเปลี่ยนเป็นผลพลอยได้อื่น ๆ เมื่อกล่าวถึงการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบประเภทเฮมิเซลลูโลส คือ การสร้างเอทานอลจากน้ำตาลเพนโตสพบว่าเชื้อยีสต์สกุลอื่นๆที่ไม่ใช่ *Saccharomyces* sp. สามารถใช้น้ำตาลไซโลส (Xylose) ได้โดยผ่านวิถี Heterolactic Fermentation (Heterolactic Fermentation Pathway)

การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของน้ำตาล D-Xylose จะเกิดขึ้นภายในเซลล์ยีสต์โดยจะเปลี่ยนเป็นไซลิทอล (Xylitol) แล้วต่อมาเป็น ดี-ไซลูโลส (D-Xylulose) โดยเอนไซม์ ดี-ไซโลสรีดักเทส (D-Xylose Reductase) และไซลิทอลดีไฮโดรจีเนส (Xylitol Dehydrogenase) ตามลำดับ จากนั้นดี-ไซลูโลส จะถูกเติมหมู่ฟอสเฟตเข้าไปโดยเอนไซม์ ดี-ไซลูโลสไคเนส (D-Xylulose Kinase) ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นสารตัวกลาง (Intermediate) ของวิถีเพนโตสฟอสเฟต (Pentose Phosphate Pathway) สำหรับเชื้อแบคทีเรีย เช่น *Zymomonas mobilis* จะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นเอทานอลได้โดยอาศัย Entner-Doudoroff Pathway

จากวิธีดังกล่าวนี้จะได้เอทานอลจำนวน 2 โมลจากกลูโคส 1 โมล แต่ได้จาก ATP 1 โมลต่อโมเลกุลของกลูโคส เมื่อเทียบกับ Embden-Meyerhof-Parnas Pathway ซึ่งได้ ATP 2 โมล ต่อโมเลกุลกลูโคส

ชนิดของการหมัก

การหมักที่มีความสำคัญทางการค้าสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. การหมักที่ให้ผลผลิตเป็นตัวเซลล์ (Microbial Cell or Biomass) การผลิตเซลล์จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญทางการค้า ได้แก่ การผลิตเซลล์ยีสต์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบ (Baker's Yeast) ซึ่งเริ่มทำการผลิตครั้งแรกในระดับอุตสาหกรรมตั้งแต่ต้นทศวรรษที่ 19 และการผลิตเซลล์จุลินทรีย์ (Single Cell Protein) เพื่อใช้เป็นอาหารมนุษย์หรือสัตว์ ซึ่งเริ่มผลิตครั้งแรกในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 ในประเทศเยอรมัน

2. การหมักที่ให้ผลผลิตเป็นเอนไซม์ การผลิตเอนไซม์สามารถผลิตได้ทั้งจากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์จัดเป็นแหล่งผลิตเอนไซม์ที่มีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากสามารถผลิตได้ครั้งละมาก ๆ ในเวลาอันสั้นโดยใช้เทคนิคการหมัก และสามารถปรับปรุงให้ได้ผลผลิตมากขึ้นง่ายกว่าการผลิตจากพืชหรือสัตว์ สำหรับประโยชน์เอนไซม์จากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอาหาร

3. การหมักที่ให้ผลผลิตเป็นสารเมแทบอลิท์ สารเมแทบอลิท์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ สารเมแทบอลิท์ปฐมภูมิ (Primary Metabolite) และสารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิ (Secondary Metabolite) สารเมแทบอลิท์ปฐมภูมิเป็นสารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น กรดอะมิโน

นิวคลีโอไทด์ โปรตีน กรดนิวคลีอิก ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต จุลินทรีย์จะผลิตสารเหล่านี้ขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระยะที่สอง (Log Phase) ตัวอย่างของสารเมแทบอไลต์ปฐมภูมิที่มีความสำคัญทางการค้า และผลิตขึ้นโดยการหมัก ได้แก่ เอทานอล กรดซิตริก กรดกลูตามิก อะซิโตน บิวทานอล ไลซีน นิวคลีโอไทด์ โพลีแซคคาไรด์ และวิตามิน

สารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิเป็นสารที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสารตัวกลาง หรือหรือผลผลิตจากกระบวนการเมแทบอไลต์ปฐมภูมิ ซึ่งพบในจุลินทรีย์บางชนิดในช่วงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระยะที่สาม (Stationary Phase) และอาจพบในการเพาะเชื้อแบบต่อเนื่องที่มีอัตราการเจริญต่ำ จุลินทรีย์ที่มักพบว่าการสังเคราะห์สารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ ได้แก่ แบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Spore Forming Bacteria) และฟังไจ (Fungi)

4. การหมักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบที่เติมลงไป เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบให้อยู่ในรูปที่คล้ายกันแต่มีราคาสูงขึ้นซึ่งสามารถทำได้โดยใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ หรือสารเคมีที่เป็นตัวเร่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) อะมิเนชัน (Amination Reaction) คอนเดนเซชัน (Condensation Reaction) ดีไฮโดรจิเนชัน (Dehydrogenation Reaction) ดีไฮดรอกซิเลชัน (Dehydroxylation Reaction) ดีไฮเดรชัน (Dehydration Reaction) ดีคาบอกซิเลชัน (Decarboxylation Reaction) การใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ดีกว่าการใช้สารเคมีคือ มีความจำเพาะมากกว่า และสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่ต้องใช้โลหะหนักซึ่งเป็นสารมลพิษเป็นตัวเร่ง กระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบที่ใช้จุลินทรีย์ที่เป็นที่รู้จักกันดีที่สุด ได้แก่ กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชู (กระบวนการเปลี่ยนเอทานอลไปเป็นอะซิติก) อย่างไรก็ตามกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการผลิตสารที่มีราคาแพง เช่น สารปฏิชีวนะ สเตอรอยด์ (Steroid) และพรอสตาแกลนดิน (Prostaglandin)

นอกจากนี้การหมักยังอาจแบ่งตามความต้องการอากาศได้เป็น 2 ชนิดคือ การหมักที่ต้องการอากาศ (Aerobic Fermentation) เช่น การหมักกรดอะซิติก และกรดซิตริก และการหมักที่ไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic Fermentation) เช่น การหมักอะซิโตน และบิวทานอล นอกจากนี้ยังแบ่งตามสภาพการควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อราได้ 3 ชนิด

1. Septic Fermentation เป็นการหมักในสภาพเปิดซึ่งไม่จำเป็นต้องฆ่าจุลินทรีย์จากภายนอกที่อาจปนเปื้อนมากับวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก หรือปนเปื้อนเข้ามาในระหว่างการหมัก แต่ใช้วิธีการปรับสภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการ และไม่เหมาะสมหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ เช่น การเติมเกลือในการหมักน้ำปลาและซีอิ๊ว เป็นต้น

2. Semi- Septic Fermentation เป็นการหมักในสภาพปิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจากภายนอกแต่ไม่จำเป็นต้องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบที่ใช้หมักและใช้วิธีปรับสภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการแต่ไม่เหมาะสม หรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ เช่น การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล (Molasses) ไม่จำเป็นต้องฆ่าเชื้อในกากน้ำตาล แต่ใช้วิธีปรับค่าความเป็นกรดค่าที่ 3.5 เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อื่น แต่ยีสต์ที่ใช้ในการหมักสามารถเจริญได้ดี

3. Aseptic Fermentation เป็นการหมักในสภาพปิดที่ต้องทำให้วัตถุดิบที่ใช้ในการหมักปราศจากเชื้อปนเปื้อน และต้องระมัดระวังไม่ให้มีการปนเปื้อนของเชื้ออื่นในระหว่างการหมักด้วย

การแบ่งตามลักษณะหรือปริมาณน้ำในอาหารเลี้ยงเชื้อได้เป็น 2 ชนิด คือการหมักบนอาหารแข็ง ซึ่งมีวิธีการเติมน้ำเล็กน้อยเพียงเพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการเท่านั้น เช่น การหมักกรดซิตริกโดยเชื้อรา เป็นต้น และการหมักแบบเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์โดยอาหารที่มีลักษณะเหลว เช่น การหมักแอลกอฮอล์และน้ำส้มสายชู

การแบ่งตามลักษณะของกระบวนการที่ใช้ได้เป็น 3 แบบ คือ

1. Batch Fermentation เป็นการหมักแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งทำในระบบปิดซึ่งมีสารอาหารเริ่มต้นปริมาณจำกัด เมื่อใส่จุลินทรีย์ที่ต้องการเพาะเลี้ยงลงไปในระบบแล้วจะไม่มีสารอาหารใดๆ ลงไปอีก

2. Continuous Fermentation เป็นการหมักแบบต่อเนื่องโดยมีการเติมอาหารใหม่ และถ่ายอาหารเก่าออกจากระบบในอัตราเดียวกันตลอดเวลาทำให้จุลินทรีย์สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องอาหาร

3. Fed-Batch Fermentation เป็นการหมักที่มีการเติมสารอาหารบางอย่างเพิ่มลงไปในการหมักที่เพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เป็นระยะ ๆ เพื่อให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและใช้สารอาหารได้อย่างเต็มที่โดยที่ไม่มีการถ่ายอาหารเก่าออก การหมักแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดเรื่องความเข้มข้นของสารอาหารเริ่มต้น ซึ่งถ้าเข้มข้นไปอาจมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ หรืออาจทำให้มีปัญหาในการให้ออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอได้ยาก

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล

วัตถุดิบที่สามารถใช้ในการผลิตเอทานอลจะแบ่งออกได้ดังนี้

1. วัตถุดิบที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ สามารถนำไปหมักได้โดยตรง เช่น น้ำตาลจากอ้อย หัวบีท กากน้ำตาล และวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง

2. วัตถุดิบที่เป็นแป้ง วัตถุดิบประเภทนี้สามารถย่อยสลายให้เป็นน้ำตาลที่สามารถใช้ในการหมักโดยใช้กรด หรือเอนไซม์ในการย่อย เช่น แป้งจากข้าวโพด มันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง

3. วัตถุดิบที่เป็นเซลลูโลส เช่น ไม้ ของเสียจากอุตสาหกรรมป่าไม้ (Wood Wastes) วัตถุดิบพวกนี้จะย่อยสลายยาก แต่ก็มีควมพยายามในการศึกษากันมากโดยหวังจะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลในอนาคต

4. วัตถุดิบจากผลพลอยได้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น หางนม ของเสียจากผลไม้ (Fruit Wastes) และ Sulfite Liquor (วีรบุช, ศกุนตริ และสุภาภรณ์, 2551)

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตเอทานอล

1. การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยทั่วไปการเจริญของจุลินทรีย์อาจแบ่งออกได้ 3 แบบ คือ

ก) การเจริญของเซลล์โดยที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ไม่เพิ่มจำนวน

ข) การเจริญโดยมีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนขึ้น แต่ไม่มีการแยกตัวออกจากกันทำให้เกิดเป็นกลุ่มของเซลล์ เช่น การเจริญเติบโตของพวกยีสต์

ค) การเจริญที่เซลล์มีการแบ่งตัวเพิ่มขึ้น และแยกจำนวนอย่างชัดเจน การเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ตั้งแต่เซลล์เริ่มอยู่ในอาหาร จนถึงหยุดการเจริญเติบโตสามารถแบ่งเป็นช่วง หรือระยะการเจริญเติบโตได้ 4 ระยะ ซึ่งในแต่ละระยะจุลินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

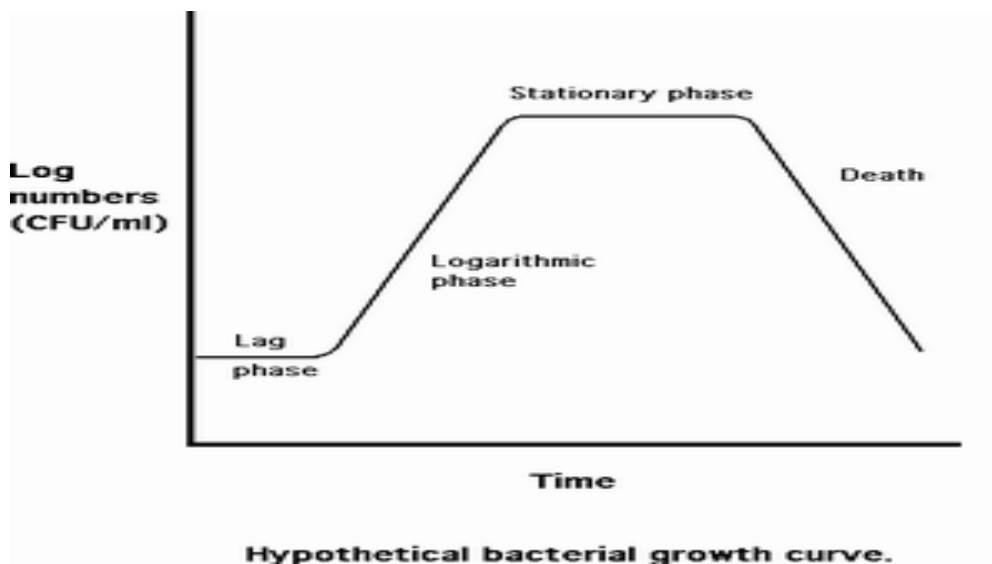
1. ระยะแรกเรียกว่า Lag Phase เป็นช่วงที่เซลล์เริ่มอยู่ในสภาวะใหม่ ซึ่งเป็นระยะพักตัวของเซลล์ซึ่งเป็นการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เช่น ชนิดของสับสเตรท อุณหภูมิ เซลล์ยังไม่มี การแบ่งตัวแต่จะมีการสร้างเอนไซม์ และ โมเลกุลบางอย่างที่จำเป็นใช้ในการย่อยสลายอาหารและเพื่อเตรียมการในการนำสับสเตรทมาใช้ในการเจริญเติบโต เซลล์อาจมีการเพิ่มขนาดขึ้น บางครั้งพบว่ามวลหรือปริมาณของเซลล์มีการขยายขึ้นในช่วงนี้แต่จำนวนเซลล์คงเดิม ช่วงระยะ Lag Phase นี้จะยาว หรือสั้นขึ้นอยู่กัอายุของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ ความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมและวิธีการในการเลี้ยงเชื้อ นอกจากนั้นยังพบว่าขึ้นอยู่กัสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ ความแตกต่างระหว่างสภาวะสิ่งแวดล้อมใหม่รอบ ๆ เซลล์กับสิ่งแวดล้อมเดิมที่เซลล์เคยอยู่

2. ระยะที่สองเรียกว่า Log Phase หรือ Exponential Phase หลังจากการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะสิ่งแวดล้อมใหม่ในช่วง Lag Phase แล้ว เซลล์พร้อมที่จะใช้สับสเตรทในอาหาร เซลล์เริ่มมีการเจริญเติบโตโดยการเพิ่มจำนวนเซลล์ การเจริญเติบโตแบบเพิ่มจำนวนเซลล์นี้เป็นการเจริญแบบทวีคูณ (Multiplication) คือ อัตราการเจริญเติบโตจะขึ้นกับจำนวนเซลล์ที่มีชีวิต การเปลี่ยนแปลงของจำนวนเซลล์หรือมวลจุลินทรีย์จะมีการเพิ่มเป็นแบบทวีคูณ คือ เป็นกราฟแบบ Exponential หรือ แบบ Log ระยะการเจริญเติบโตนี้มีอัตราการใช้สับสเตรทที่สูงมาก ปริมาณสับสเตรทจึงลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วงนี้จะสั้นหรือยาวเพียงใดขึ้นอยู่กับ

ปริมาณ และความเข้มข้นของสารอาหารและปริมาณการจับถ่ายสารที่เป็นพิษสำหรับจุลินทรีย์เอง ซึ่งอาจทำให้เกิดการเจริญและการทำงานของเอ็นไซม์หยุดชะงักไป

3. ระยะที่สามเรียกว่า Stationary Phase เป็นช่วงที่มีจำนวนเซลล์สูงที่สุดและค่อนข้างคงที่ อัตราการเพิ่มจำนวนมีค่าใกล้เคียงศูนย์ นั่นคืออัตราการเกิดเซลล์จะเท่ากับอัตราการตายรวมกับการแตกสลายของเซลล์ จนกระทั่งเริ่มเข้าสู่ระยะ Decline Phase

4. ระยะที่สี่เรียกว่า Death Phase หรือ Decline Phase เป็นช่วงที่อัตราการตายแบบยกกำลัง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของอาหาร ปริมาณความเข้มข้นของสารพิษที่ปล่อยออกมาจากเซลล์ และการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงช่วงการเจริญของจุลินทรีย์

ที่มา: ศิริพล และ สุจิต (2548)

สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์

ก) อุณหภูมิ เป็นสภาพแวดล้อมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการเจริญของจุลินทรีย์และการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดจุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการช่วงอุณหภูมิในการเจริญแตกต่างกันไป

1. อุณหภูมิต่ำสุด (Minimum Temperature) เป็นอุณหภูมิต่ำที่สุดที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมินี้จะมีการแบ่งเซลล์ได้ช้ามาก

2. อุณหภูมิที่เหมาะสม (Optimum Temperature) เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ ที่อุณหภูมินี้จุลินทรีย์จะมีการแบ่งตัวโดยใช้เวลาน้อยที่สุด หรือทวีจำนวนได้เร็วที่สุด

3. อุณหภูมิสูงสุด (Maximum Temperature) เป็นอุณหภูมิสูงสุดที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้

ในการหมักนั้นจุลินทรีย์แต่ละชนิดซึ่งมีปฏิกิริยาการเจริญเติบโตคล้ายกัน อาจมีเอนไซม์ที่เป็นโปรตีนคนละชนิดทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเดียวกัน สิ่งนี้จึงเป็นเหตุผลที่อธิบายว่าทำไมอุณหภูมิที่ดีที่สุดสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน จากเหตุผลดังกล่าวจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิในการหมักให้เหมาะสมเพื่อให้จุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงมีการเจริญเติบโตในอัตราสูงสุด

ข) อาหาร เป็นแหล่งวัตถุดิบที่จุลินทรีย์นำมาใช้สร้างเซลล์ ดังนั้นอาหารจึงควรประกอบไปด้วยธาตุอาหารต่าง ๆ ในปริมาณที่สอดคล้องกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งมีธาตุหลักที่สำคัญได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน

ค) ความเป็นกรด-เบส เนื่องจากจุลินทรีย์ถูกควบคุมโดยกระบวนการเมตาบอลิซึมซึ่งมีเอนไซม์เป็นตัวการสำคัญ และการทำงานของเอนไซม์ถูกควบคุมโดย pH สำหรับ pH ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ซึ่งในการเลี้ยงเชื้อที่สภาวะเหมาะสมช่วงแรกจะมีการเจริญเติบโตปกติจนเมื่อเชื้อเริ่มปล่อยของเสียออกมาเป็นผลให้ pH ในอาหารเปลี่ยนไปจนอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมที่จะเจริญได้ ดังนั้นในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจึงควรใส่บัฟเฟอร์ เพื่อช่วยให้ pH ในอาหารเปลี่ยนแปลงไปช้าๆ เพราะบัฟเฟอร์จะรวมตัวกับกรดหรือเบส เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ H^+ หรือ OH^- (ศิริพล และ สุจิต, 2548)

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักเอทานอล

1. ยีสต์ ในกระบวนการหมักเอทานอลปัจจุบันจะมีจุลินทรีย์ที่สำคัญคือ ในกลุ่มของยีสต์โดยเฉพาะ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งยีสต์ในแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการหมักแตกต่างกันไป ยีสต์ที่สามารถหมักเอทานอลได้ดีจะสังเกตได้จากการเขย่าขวดที่ใช้หมักจะพบว่าเกิดฟองก๊าซจำนวนมาก ส่วนพวกที่หมักได้ไม่ค่อยดีจะเป็นฝ้าลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของอาหาร

2. เชื้อรา เชื้อราที่สำคัญต่อการผลิตเอทานอล ได้แก่ ราในกลุ่ม *Rhizopus* ssp. เช่น *Rh. oryzae*, *Rh. delemar*, *Rh. chinensis* ราในกลุ่ม *Aspergillus* spp. เช่น *A. oryzae* และ *A. niger* นอกจากนี้มีราพวก *Amylomyces rouxii* และพวก *Mucor* sp. เชื้อราที่กล่าวข้างต้นเป็นพวกที่สามารถย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลเพื่อให้ยีสต์หมักเป็นเอทานอล โดยราจะผลิตเอนไซม์อะไมเลสออกมาย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลแล้วจึงเติมเชื้อยีสต์ลงไปภายหลัง การหมักโดยเชื้อราต้องคำนึงถึงลักษณะที่สำคัญต่อความสามารถของเชื้อในการเปลี่ยน

แป้งเป็นน้ำตาล ความสามารถในการสร้างกลีเซอรอลที่ลักษณะการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว เติบโตสปอร์ของเชื้อได้ง่าย เชื้อมีความสามารถย่อยแป้งคอกที่ในกระบวนการหมักเอนไซม์ที่เชื้อสร้างขึ้นจะค่อย ๆ เปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล และยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล ดังนั้นในช่วงการหมักยีสต์จะเจริญเติบโตขึ้นสร้างเอทานอล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เชื้อราหยุดเจริญเติบโตหรือตายไปแต่เชื้อราในเอนไซม์จะทำงานต่อไปจนแป้งหมด หรือเอนไซม์เสื่อมสภาพไป ดังนั้นในช่วงการหมักโดยยีสต์จะต้องควบคุม pH และอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์

3. แบคทีเรีย จากรายงานพบว่าแบคทีเรียพวก *Zymomonas* sp. สามารถหมักน้ำตาลให้เป็นเอทานอลได้เช่นเดียวกับยีสต์ และยังมีสกุลอื่นอีกเช่น *Clostridium* spp. ซึ่งแต่ละสกุลจะมีประสิทธิภาพในการหมักแตกต่างกัน แต่มีข้อสำคัญคือ แบคทีเรียพวกนี้เลี้ยงยากและโอกาสในการตายง่ายเจริญเติบโตได้ดีใน pH ที่สูงกว่ายีสต์ และผลิตเอทานอลได้ต่ำกว่า ดังนั้นเส้นทางที่จะใช้แบคทีเรียหมักยังอยู่ในขั้นทดลอง ความสนใจในเชื้อนี้ค่อนข้างไปในทางวิทยาศาสตร์พื้นฐาน และพันธุศาสตร์โดยจะมีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เกี่ยวกับการหมักเพื่อผลิตเอทานอลจากเชื้อเหล่านี้ไปยังแบคทีเรียที่เลี้ยงง่าย และเจริญเร็วกว่า (สามารถ และ สิทธิ, 2546)

ขั้นตอนในการหมักเอทานอล

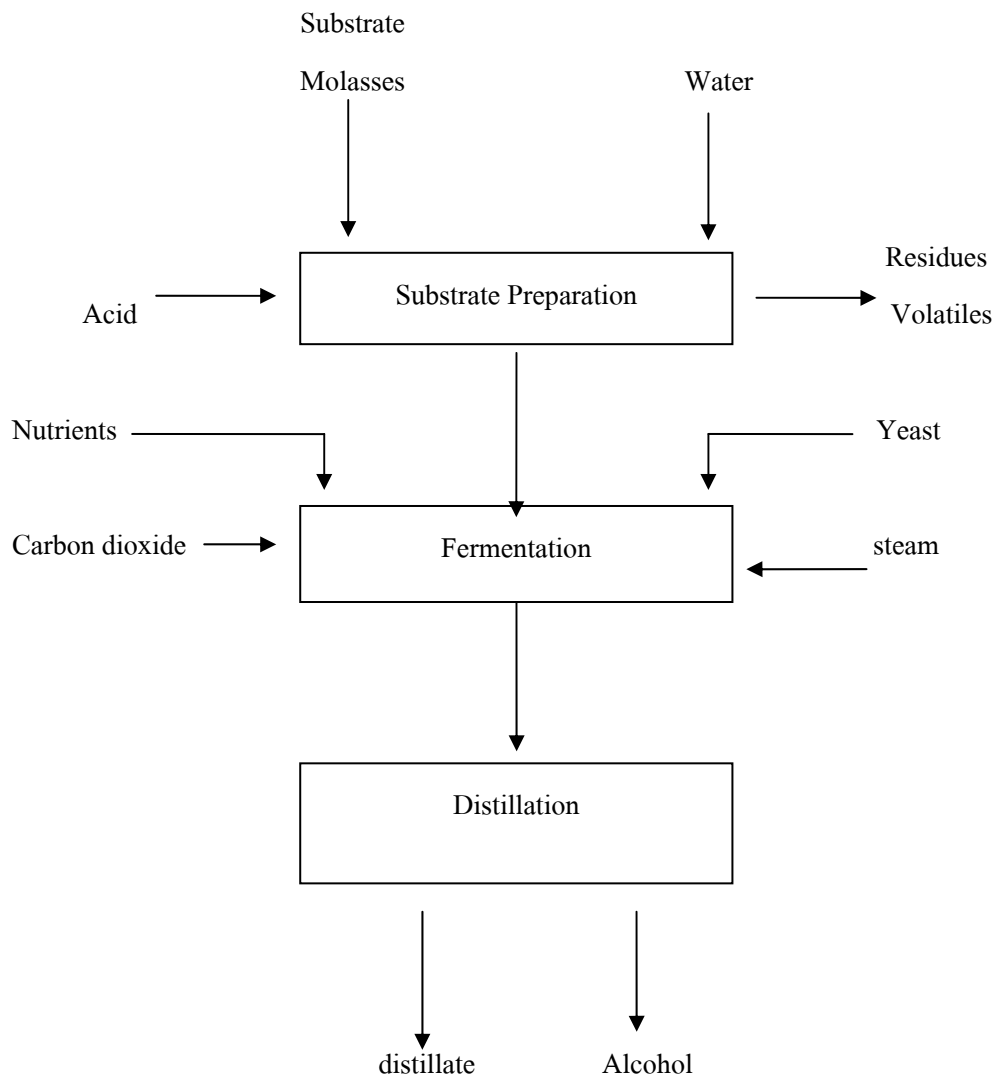
กรรมวิธีในการผลิตเอทานอล จะมีส่วนประกอบหลักซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้ คือ การเตรียมวัตถุดิบ การหมัก และการกลั่น รายละเอียดของขั้นตอนหมักแสดงดังรูปที่ 2

1. การเตรียมวัตถุดิบ (Pretreatment) วิธีปรับสภาพได้แก่ การลดขนาด การให้ความร้อน การใช้กรด – ด่าง แอมโมเนีย สารละลาย จุดประสงค์ของการปรับสภาพคือ ช่วยให้การเปลี่ยนแปลงชีวภาพเกิดขึ้นได้ดีขึ้น

2. การหมัก (Fermentation) เป็นกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นเอทานอล โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ *Saccharomyces cerevisiae* การเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอลต้องพิจารณาถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ปริมาณน้ำตาลที่สามารถเปลี่ยนเป็นเอทานอลได้
2. ปริมาณและความเข้มข้นของเอทานอลที่ต้องการ
3. ตัวยับยั้งปฏิกิริยา
4. กระบวนการผลิตเอทานอล
5. สภาพของกระบวนการผลิตเอทานอล

3. การกลั่น (Distillation) เป็นกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จากการหมัก โดยทั่วไปมักใช้การกลั่นแยกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลขึ้นไปถึงระดับที่ไม่สามารถกลั่นต่อได้



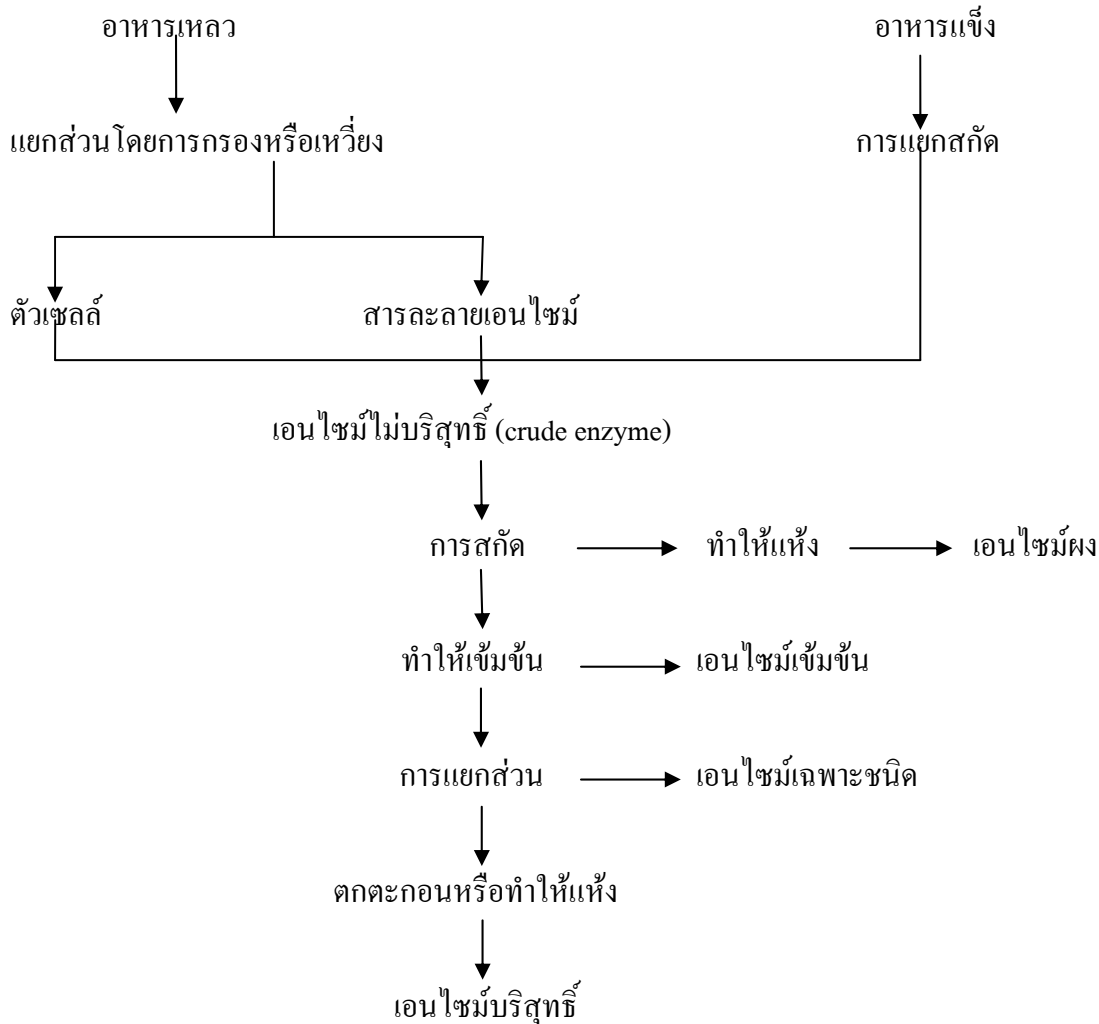
รูปที่ 2 ขั้นตอนพื้นฐานในกระบวนการหมักเอทานอล

ที่มา: กาญจนา, ชรีรัตน์ และศิริวรรณ (2547)

ผลิตภัณฑ์เอนไซม์จากจุลินทรีย์

เอนไซม์ทุกชนิดเป็นสารประกอบพวกโปรตีนที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง (Biocatalyst) ปฏิกิริยาของกระบวนการต่างๆ ในสิ่งมีชีวิตในสภาพ *in vitro* เอนไซม์ก็สามารถที่จะทำงานได้หากมิได้แยกออกจากส่วนประกอบอื่นๆ ของสิ่งมีชีวิตด้วยวิธีการที่ถูกต้อง ปัจจุบันมีการผลิตและนำเอนไซม์มาใช้ในอุตสาหกรรมมาก โดยอาจผลิตจากพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ แต่แหล่งผลิตเอนไซม์ที่น่าสนใจมากที่สุดคือจุลินทรีย์ เอนไซม์

ที่ได้จากการหมักจะต้องผ่านขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อที่จะให้ได้เอนไซม์บริสุทธิ์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนผังได้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังการผลิตเอนไซม์ให้อยู่ในรูปบริสุทธิ์

ที่มา: กิตติมา, พิศาล และสุภวินด์ (2546)

คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของเอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง เอทานอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน สามารถละลายทั้งในน้ำและสารละลายอินทรีย์อื่นๆ เป็น แอลกอฮอล์ที่สามารถนำมาบริโภค นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ในรูป เอทานอลไร้ น้ำ (Anhydrous ethanol) ที่มีความบริสุทธิ์สูง (เข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) หรือ อาจใช้เป็นเอทานอลที่มีน้ำ (hydrous ethanol) การนำเอทานอลไปใช้นั้นสามารถนำไปใช้ได้หลายแบบ

1. แอลกอฮอล์ที่รับประทานได้โดยตรง (Portable Alcohol) ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสุรา เครื่องสำอาง และยา ดังมีตัวอย่าง รายงานว่า ในประเทศจีน ซึ่งเป็นประเทศคู่ค้าหลักของไทยในการนำเข้ามันสำปะหลังเส้น เพื่อนำไปผลิต แอลกอฮอล์สำหรับผลิตสุรา จากตัวอย่างของโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ Feng Run Jui Yey Ou Xien Gong Si ที่ผลิตสุราได้ปีละ 200,000 ตันต่อปี ได้มีการนำเข้าวัตถุดิบมันเส้นจากประเทศไทย ไปใช้ในกระบวนการผลิต (รายงานคณะผู้แทนการค้าสมาคม การค้ามันสำปะหลังไทย เดินทางเยือน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน เมืองเซี่ยงไฮ้ และ หานหนิง ระหว่างวันที่ 1-6 พฤศจิกายน 2544)

2. แอลกอฮอล์ที่ไม่รับประทานโดยตรง (Industrial Alcohol) เช่น กรดอะซิติก หรือ กรดน้ำส้มกรดมะนาว ที่สามารถนำไปใช้ต่อในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมทางการแพทย์ และนอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเส้นใย และ โลหะ

3. แอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงมีความบริสุทธิ์ สูง 95% หรือ 99.5%-99.6% แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์แตกต่างกันนี้สามารถนำมาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงได้ 3 แบบดังต่อไปนี้

1. แอลกอฮอล์ บริสุทธิ์ 95% ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงทดแทนน้ำมัน เบนซิน หรือ ดีเซล ใช้กับเครื่องยนต์ ที่มีอัตราส่วนส่วนการอัดสูง

2. แอลกอฮอล์ 99.5% - 99.6% เมื่อผสมกับน้ำมันเบนซินเรียกว่า แก๊สโซฮอล์โดยที่แก๊สโซฮอล์ 95 หมายถึงการผสมน้ำมันเบนซิน 95 กับเอทานอล ในสัดส่วน 90: 10 โดยที่ยังรักษาค่าออกเทนไว้ได้ในระดับเดิม สัดส่วนการผสมเอทานอล กับน้ำมันนั้น มีใช้กันอยู่ หลายประเภท ในหลากหลายประเทศ E 85 เป็น ชื่อที่เรียกเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมน้ำมันกับเอทานอล โดยมีสัดส่วนของเอทานอลสูงถึง 85% และมีค่าออกเทนสูงมีใช้กันในประเทศในแถบ อเมริกา และ ยุโรป อย่างไรก็ดี น้ำมันชนิดนี้ไม่สามารถใช้ได้กับรถยนต์ รุ่นส่วนใหญ่ที่ใช้อยู่ในประเทศไทย เนื่องจาก ต้องเป็นรถยนต์ที่มีเครื่องยนต์ ที่ทนต่อการกัดกร่อนสูงกว่าปกติ ดังนั้นการใช้น้ำมัน ชนิดนี้ จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการเตรียม ความพร้อม ทั้งในด้านของ ผู้ใช้รถยนต์ และรวมถึง ผู้จำหน่ายน้ำมันที่ต้องคำนึงถึงกระบวนการผลิต และ ขั้นตอนการจัดจำหน่าย (Electricity and Industry Magazine)

3. เป็นสารเคมีที่ช่วยเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันโดยการเปลี่ยนรูปเอทานอล เป็น ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether) สามารถใช้ทดแทนสาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ซึ่ง MTBE เป็นสารเดิมแต่งในน้ำมันเบนซินที่หลายประเทศประกาศห้ามใช้เนื่องจากก่อให้เกิดมลภาวะในอากาศที่สูงกว่าสารเดิมแต่งอื่นๆ สำหรับการใช้อเอทานอลเป็นพลังงานทดแทนนั้นประโยชน์ที่ได้รับ ประกอบด้วย

การนำเอทานอลมาใช้ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง เบนซิน เพื่อทดแทน สาร MTBE ที่ช่วยเพิ่มค่าออกเทนให้กับน้ำมัน ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเงินตราต่างประเทศในการนำเข้า MTBE และน้ำมันได้

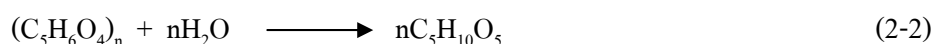
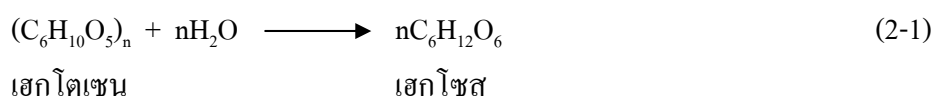
ลดปัญหามลพิษทางอากาศ และการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ จากการทดแทนสาร MTBE ที่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะ เนื่องจากการรายงานว่าการใช้สารเอทานอลผสมในน้ำมันทดแทน สาร MTBE นี้ ทำให้น้ำมันดังกล่าว มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ลดลง ร้อยละ 20 และปริมาณไฮโดรคาร์บอนลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซิน

แก้ปัญหาผลผลิตทางการเกษตรล้นตลาด อาทิ อ้อย มันสำปะหลัง โดยจำหน่ายได้ในราคาที่ดีขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อประเทศชาติโดยรวม แม้ว่าอัตราสิ้นเปลืองของแก๊สโซฮอล์จะสูงกว่าน้ำมันเบนซินปกติเล็กน้อย แต่เมื่อเทียบกับราคาที่ถูกลงกว่า 2.50 บาทแล้ว ก็นับว่ายังคุ้มค่ากว่า อีกทั้งยังเป็นการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานจากการใช้วัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศ

อุตสาหกรรมเอทานอลเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในการสร้างแหล่งพลังงานของประเทศ เพื่อทดแทนพลังงานส่วนหนึ่งที่ต้องนำเข้า ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศจากกระทรวงพลังงานพบว่าการใช้พลังงานภาคขนส่งปัจจุบันคิดเป็น 37 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมดโดยมีมูลค่ารวมเท่ากับ 380,000 ล้านบาทซึ่งส่วนใหญ่เป็นค่าน้ำมันเชื้อเพลิงนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนั้นการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบทางการเกษตรของประเทศไทย เช่น อ้อยและมันสำปะหลัง ยังนับว่าเป็นการสร้างเสถียรภาพของราคาผลผลิตทางการเกษตรของประเทศด้วย ซึ่งจะมีส่วนช่วยเสริมสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจให้กับเกษตรกรอีกด้วย (ศิริพล และ สุจิต, 2548)

การย่อยสลายเซลลูโลส

เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาล เมื่อนำมาทำการย่อยสลายจะได้โมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ดังสมการที่ 2-1 และ 2-2 ถ้าเซลลูโลสถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์จะให้น้ำตาลกลูโคสเพียงอย่างเดียว ถ้าการย่อยไม่สมบูรณ์จะได้ทั้งกลูโคส เซลโลไบโอส (Cellobiose) และโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide) ส่วนเฮมิเซลลูโลสเมื่อถูกย่อยจะให้น้ำตาลเพนโตสหลายชนิด ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่บริสุทธิ์ เป็นข้อเสียเปรียบสำหรับการย่อยสลายของเฮมิเซลลูโลส



เพนโตแซน

เพนโตส

การย่อยสลายในเนื้อเยื่อพืชสามารถอธิบายได้ โดยใช้ความรู้จากโครงสร้างภายในโมเลกุลของ เซลลูโลสจากที่กล่าวข้างต้น เซลลูโลสแบ่งตามโครงสร้างการจัดเรียงโมเลกุลแบ่งเป็น 2 ส่วนคือบริเวณ เซลลูโลสอสัณฐานและบริเวณเซลลูโลสที่เป็นผลึก (กิตติมา, พิศาล และสุภวินค์, 2546)

2. ความรู้เบื้องต้นและความสำคัญของสับปะรด

2.1 ประวัติและแหล่งผลิตสับปะรดในประเทศไทย

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้กับประเทศสูงเป็นอันดับหนึ่งในบรรดาสินค้าผลไม้สดและผลไม้แปรรูปประเภทอื่นๆ ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย โดยเฉพาะสับปะรดกระป๋อง ซึ่งมีมูลค่าส่งออกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยในปี 2549 มีมูลค่ากว่า 13,000 ล้านบาท ไทยครอบครองความเป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกสับปะรดแปรรูป อันดับ 1 ของโลกยาวนานที่สุดกว่า 20 ปี นอกจากอุตสาหกรรมสับปะรดจะมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของไทยแล้วยังก่อให้เกิดการจ้างงานโดยมีเกษตรกรและแรงงานที่เกี่ยวข้องประมาณ 4 - 5 แสนคน การศึกษาข้อมูลตลาดสับปะรดในประเทศจึงมีความสำคัญ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันให้ไทยเป็นผู้นำในการส่งออกในตลาดสับปะรดโลกต่อไป

ประเทศไทยมีศักยภาพในการปลูกสับปะรด เนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมแก่ การเพาะปลูก อีกทั้งการสนับสนุนจากรัฐบาลทั้งการปลูก การบริโภค และการแปรรูปเพื่อการส่งออก เมื่อพิจารณาภาพรวมการผลิตสับปะรดของประเทศไทยในช่วง 5 ปี (ปี 2545-2549) พบว่าไทยมีพื้นที่ปลูกสับปะรดกว่า 1.2 ล้านไร่ ปัจจุบันมีพื้นที่เก็บเกี่ยวสับปะรดผันแปรอยู่ระหว่าง 4-6 แสนไร่ มีผลผลิตสับปะรดสดเฉลี่ยประมาณ 2.0 - 2.2 ล้านตันต่อปี ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 3.5 ตันต่อไร่

แหล่งเพาะปลูกสับปะรดที่สำคัญของไทย แบ่งออกเป็น 4 แหล่งใหญ่ๆ ดังนี้

- 1) ภาคกลาง และภาคตะวันออก ปลูกมากในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด ฉะเชิงเทรา และอุทัยธานี
- 2) ภาคเหนือ ปลูกมากในจังหวัดลำปาง เชียงใหม่ และเชียงราย
- 3) ภาคใต้ ปลูกมากในจังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานี
- 4) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีการปลูกในแหล่งที่ตั้งโรงงานสับปะรดกระป๋องในจังหวัดหนองคาย และนครพนม

2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของสับปะรด

โดยทั่วไปสับปะรดสด มีวัตถุแห้งอยู่ 10 - 12 เปอร์เซ็นต์ โดยพบปริมาณน้ำตาล 70 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แบ่งเป็นปริมาณน้ำตาลที่พบมากส่วนใหญ่เป็นพอกซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์ กลูโคส 20 เปอร์เซ็นต์ และฟรุกโตส 10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีแยกวิเคราะห์ตามส่วนต่าง ๆ ของสับปะรด (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบ	เปลือกด้านข้าง	ส่วนหัว	ส่วนล่าง	แกนไส้	เศษเนื้อ
ความชื้น	85.8	84.9	85.9	88.6	84.5
โปรตีน	4.4	4.1	5.4	3.2	3.6
ไขมัน	1.5	1.2	1.4	1.3	1.2
เยื่อใย	8.1	11.6	13.4	8.9	4.7
เถ้า	4.9	5.4	7.6	3.8	4.2
NFE	81.1	77.7	72.2	82.8	86.3
NDS	72.9	61.2	53.1	73.1	85.5
NDF	27.1	38.8	46.9	26.3	14.5
ADF	12.1	17.1	20.4	12.2	5.8
ADL	1.7	1.9	2.8	0.7	0.6
Cellulose	10.4	15.2	17.6	11.5	5.2
Hemicelluloses	15.0	21.7	26.5	14.1	8.7

ที่มา: วรพงษ์ และ วิภา (2528)

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรดจากโรงงาน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

แหล่งที่มา	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	NFE
Khajiarern (1984)	4.80	1.9	25.5	4.5	63.3
FAO (1983)	6.90	0.9	17.8	4.0	70.4
ชวนิศดากร (2526)	3.74	3.81	12.72	3.99	77.72
จินดาและคณะ (2528)	6.44	1.84	13.96	6.81	52.95
จินดาและคณะ (2542)	6.00	3.81	14.84	6.81	68.54

ที่มา: วรพงษ์ และ วิภา (2528)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในผลไม้มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนกิจกรรมของเมตาโบลิซึมเมื่อผลไม้แก่หรือสุกจะมีปริมาณแป้งลดลงเพราะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล รสหวานของผลไม้เกิดจากกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ซึ่งจะหวานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของน้ำตาล แต่ละชนิด อีกส่วนหนึ่งของ

คาร์โบไฮเดรตคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและสารเพกติน ที่อยู่ตามผนังเซลล์ ซึ่งร่างกายไม่สามารถย่อยได้ จึงไม่มีความสำคัญในแง่ที่ให้คุณค่าทางอาหาร แต่มีประโยชน์ต่อการขับถ่ายและสำคัญต่อลักษณะเนื้อของผลไม้

ตารางที่ 3 ประเภทและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสับปะรด

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
กลูโคส	1.0 – 3.2
ฟรุกโตส	0.6 – 2.3
ซูโครส	5.9 – 12.0
แป้ง	< 0.002
เซลลูโลส	0.43 – 0.54
เฮกโซแซน	0.10 – 0.15
เพนโตแซน	0.33 – 0.43
เพกติน	0.06 – 0.16

ที่มา: พงษ์เทพ (2540)

2.3 ประโยชน์ของสับปะรด

สับปะรดมีส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ประโยชน์ได้กว้างขวาง ดังนี้

เนื้อใช้รับประทานสดหรือแปรรูปเป็นสับปะรดแช่อิ่ม สับปะรดกวน สับปะรดแห้ง แยม สับปะรดหรือบรรจุกระป๋อง และคั้นทำน้ำสับปะรด ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือใช้เนื้อสับปะรดผสมกับปลาและเกลือหมักไว้ทำเป็นอาหารที่เรียกว่า “แก้มหมักนัค”

ใบเส้นใยจากใบสับปะรด นำมาทอเป็นผ้าใยสับปะรดในฟิลิปปินส์เรียกว่า ผ้าบารอง ราคาแพง นิยมตัดเป็นชุดสากลประจำชาติฟิลิปปินส์และไต้หวัน เชือกกระดาชจากใยสับปะรดจะได้กระดาชที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ความบางมาก มีผิวนุ่มเนียน สามารถบิดงอหรือเปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย โดยไม่เสียหาย ในหลายประเทศใช้เป็นกระดาชสำหรับพิมพ์ธนบัตร

เปลือก การใช้เปลือกสับปะรดเลี้ยงวัว เศษเหลือทิ้งจากโรงงานสับปะรด คือ เปลือกและแกนกลาง ซึ่งจะมีน้ำอยู่สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์เมื่อคั้นต่อน้ำหนักสดส่วนเหลือทิ้งจะมีโปรตีนและโภชนะย่อยได้ทั้งหมดประมาณ 0.7 และ 7.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อคั้นต่อน้ำหนักแห้งจะมีค่าโปรตีนและโภชนะย่อยได้สูงถึง 7 และ 70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปกติวัวชอบรับประทานเปลือกสับปะรด ยิ่งเปลือกที่ทิ้งไว้ 2 - 3 วัน สี

ออกเป็นน้ำตาลเทา ๆ มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อยวัวจะชอบกินมากกว่าเปลือกสด ดังนั้น หากเลี้ยงวัวในแหล่งที่มีโรงงานสับปะรด จึงใช้เปลือกสับปะรดเป็นอาหารเลี้ยงวัวได้ทั้งฝูงและวัวขุน โดยนำเปลือกมากองทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง จึงใช้เป็นอาหารเลี้ยงวัวได้เป็นการลงทุนที่น้อยที่สุด แต่ให้ผลตอบแทนสูง

2.4 ปริมาณผลพลอยได้และเศษเหลือ

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ สับปะรดที่นิยมปลูกและมีคุณสมบัติเหมาะสม คือมีสัดส่วนของผลที่ใช้ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจสูง และส่งโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ สับปะรดหนึ่งผลจะหนักประมาณ 1,754.4 กรัม/ผล ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 3,870.00 กิโลกรัม/ไร่ สับปะรดหนึ่งผลเมื่อเข้าแปรรูปในโรงงานจะมีเศษเหลือใช้จากการทำสับปะรดกระป๋องประมาณ 1,228.1 กรัม/ผล ในพื้นที่ 1 ไร่ จะได้เปลือกสับปะรดเฉลี่ย 2,700.55 กิโลกรัม หรือถ้าคิดเป็นปริมาณเปลือกทั้งประเทศประมาณ 2.8 ล้านตัน ส่วนของใบสับปะรดประมาณ 4.0 ล้าน และจุกประมาณ 0.37 ล้านตัน (สมบัติและคณะ 2537)

ผลพลอยได้จากเศษเหลือของสับปะรดจากอุตสาหกรรมบรรจุกระป๋อง สามารถนำมาแปรรูปทำอย่างอื่นได้ เช่น น้ำเชื่อม แอลกอฮอล์ น้ำส้มสายชูและไวน์