หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ศึกษาขบวนการผลิตเอธิลแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล มันสำปะหลัง และข้าวโพด

6.1 ประวัติ

แอลกอฮอล์ที่รู้จักกันครั้งแรกมาในรูปของเครื่องดื่ม แอลกอฮอล์ที่นำมาผสมเป็นเครื่องดื่มนั้นได้แก่ เอธิลแอลกอฮอล์ หรือเอทธะนอล หรือไดเมธิลคาร์บินอล ซึ่งเป็นชื่อทางเคมีที่รู้จักกันในนามแอลกอฮอล์[1]

ก่อนคริสศตวรรษ 4000-6000 ปี ในประเทศอียิปต์รู้จักนำแอลกอฮอล์มาใช้ทำเบียร์เพื่อนำไปเป็นเครื่องดื่ม[2] สมัยก่อนไม่มีโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่ผลิตแอลกอฮอล์แบบครอบครัวเพื่อใช้นำมาเป็นเครื่องดื่ม ต่อมาได้มีการสร้างโรงงานขนาดใหญ่เพื่อผลิตแอลกอฮอล์โดยวิธีทางเคมี วิธีที่ธรรมดาที่สุดในการผลิตแอลกอฮอล์ก็คือ การหมักน้ำตาลด้วยสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ เป็นตัวช่วย สิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ นั้นก็คือกลุ่มของยีสต์ ซึ่งจะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ในปี ค.ศ. 1789 ลาวัวซิเอร์ได้เขียนสมการขึ้นเป็นครั้งแรกคือ[3]

น้ำผลไม้ ⟶ แอลกอฮอล์ + คาร์บอนไดออกไซด์

---

[1] Allen's Commercial Organic Analysis. Vol. 1, 5th ed., (London: J and A Churchill. Ltd., 1965).

[2] Merrill, R. and Tom Aston, 1974. Alcohol, in Energy Primer (California: Fricke - Parks Press, Inc., 1974).

[3] Panicker, P.K.N., 1969, History and Nomenclature, in Ethanol, Part 1, Chemical Processing and Engineering, May, 1969.

การหมัก คือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการช่วยเหลือของสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ หลุย ปลาสเตอร์ เป็นคนแรกที่ได้ศึกษาทางวิทยาศาสตร์ของการหมัก การกระทำของสิ่งที่มีชีวิต และการควบคุมทางเศรษฐกิจของมนุษย์ ในสมัยนั้นปลาสเตอร์ได้ปรับปรุงการหมักให้ดีขึ้นอีกด้วย

สำหรับวัตถุดิบที่เป็นแป้ง ต้องเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล และถึงจะหมักเป็นแอลกอฮอล์ได้ ในการเปลี่ยนแป้งนั้นนำวัตถุดิบที่เป็นแป้งมาบดและคลุกเคล้ากับน้ำร้อนและนำไปทำให้เย็น แล้วนำไปใส่เอนไซม์ ไดอะเตส (ข้าวบาเล่ย์กับน้ำ จะมีเอสไซม์ ไดอะเตส) ซึ่งเป็นตัวเร่งในการไฮโดรลีซิสแป้งให้เป็นกลูโคส จากนั้นก็นำไปหมักโดยใช้ยีสต์ ยีสต์จะเปลี่ยนจากน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

กลูโคส เอธิลแอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์

6.2 เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล (Molasses)

6.2.1 โครงร่างวิธีการ

สารละลายที่มาจากกากน้ำตาลถูกปรับความเข้มข้นของน้ำตาลและอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยใช้วิธีการเพิ่มน้ำและการเพิ่มปริมาณกรดเพื่อให้ได้ pH ตามต้องการ นำยีสต์มาผสมกับสารละลายในถังหมัก ปกติถังหมักเป็นถังปิด ควรจะมีการกวนด้วย สำหรับรอบ ๆ ถังหมักจะมีน้ำพ่นอยู่รอบทั้งส่วนบนเพื่อไม่ให้ถังหมักมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง การหมักจะทำให้เกิดแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับโครงการใหม่ แกสคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จะถูกเก็บไว้และทำให้บริสุทธิ์เพื่อนำไปทำน้ำแข็งแห้ง (Dry ice) ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือจากการทำน้ำแข็งแห้งนั้นจะนำมาพ่นใส่ต้นไม้

6.2.2 วิธีการละเอียด (The Precess in Detail)

(1) ชนิดของยีสต์

ยีสต์ที่ต้องการต้องมีความสามารถทนทานต่อความเข้มข้นของ

แอลกอฮอล์สูง ๆ ได้ และเป็นรูปแบบเดียว มีลักษณะอยู่ตัว ในที่นี้ใช้ยีสต์พันธุ์ Saccharomyces cervisiae ส่วนยีสต์อื่น ๆ เช่น Sanamensis และ Schizosaccharomyces pombe ที่นำมาใช้จะต้องอยู่ภายใต้สภาวะเดียวกันนี้

(2) การเตรียมตัวเริ่มต้น (Starter)

ในการเลือกยีสต์เพื่อนำไปเผยแพร่นั้นจะต้องเพาะอยู่ในตัวกลางซึ่งเป็นอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ดังนั้นการเตรียมตัวเริ่มต้น (Starter) ถ้าตัวเริ่มต้นนั้นมีปริมาตรมากก็สามารถกระจายไปทั่วโดยสารละลายกากน้ำตาลและอาหารอาทิเช่น พวกเกลือแอมโมเนียม และเกลือฟอสเฟต ซึ่งบ่อยครั้งมีการเตรียมหลายแสนแกลลอน โดยใช้วิธีเรียกว่า Aseptic technique คือนำหลอดแก้วขนาด 10 ซีซี บรรจุสารละลายซึ่งมีแป้งนำมาฆ่าเชื้อแล้วนำยีสต์ที่บริสุทธิ์นำมาใส่ที่อุณหภูมิเหมาะสม คืออยู่ในช่วงระหว่าง 25 °ซ ถึง 30 °ซ การเพาะเชื้อยีสต์จะนำมาขยายลงในภาชนะที่มีขนาด 200 ซีซี พร้อมทั้งฆ่าเชื้อโรคสารละลายในภาชนะแก้วแล้วค่อยใส่ยีสต์ลงไป และขยายต่อไปขนาด 4 ลิตร ทำเช่นเดียวกัน โดยนำยีสต์ในภาชนะ 200 ซีซี ใส่ลงไปในสารละลายที่อยู่ในภาชนะ 4 ลิตร การเพาะเชื้อยีสต์ก็จะดำเนินต่อไปโดยใช้โครงการเล็ก ๆ (ขนาด 10 แกลลอน ถึง 40 แกลลอน) เฉพาะในห้องทดลองภาชนะขนาด 40 แกลลอนเป็นขนาดที่เหมาะสม ในการหมักจะต้องปิดฝา ควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมเวลา ควบคุม pH คือจะหมักได้สมบูรณ์เมื่อใช้เวลา 50 ชั่วโมง หรือน้อยกว่านี้เล็กน้อย ถ้าเทียบกับโครงการใหญ่ (หลายพัน หลายหมื่นแกลลอน)[1] ก็เช่นเดียวกัน คือเป็นสัดส่วนกัน สำหรับการนำเอาสารละลายที่ยีสต์เพาะอยู่ไปใช้ในการหมักนั้น สามารถนำไปได้ 2 วิธี คือโดยใช้แรงจากเครื่องสูบ (Pump) กับใช้แรงดึงดูดของโลก (จากที่สูงปล่อยลงสู่ที่ต่ำกว่า) ระบบการเพาะเชื้อ การเพาะเชื้อโดยใช้ระบบออโตเมติคแบบแมกเน่ โดยใช้เครื่องมือแบบแมกเน่ การเพาะเชื้อของระบบนี้ได้เพาะเชื้อกันในกล่องโดยใช้ระยะเวลา

---

[1]Sammuelcate Prescott and Cecil Gordon Dunn, Industrial Microbiology 3rd ed (New York: McGraw-Hill Book Co.).

ประมาณ 10 - 18 ชั่วโมง นำเชื้อยีสต์เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วนำไปใส่ลงในสารละลายที่มีกากน้ำตาลซึ่งมีความเข้มข้นของน้ำตาล 12% โดยน้ำหนัก และอาหารเกลือแอมโมเนียม และเกลือฟอสเฟต 0.1% โดยน้ำหนัก

(3) กากน้ำตาล

กากน้ำตาลชนิด Blackstrap เป็นแหล่งการหมักแอลกอฮอล์ชนิดโรงงาน สารดังกล่าวนี้เป็นของเหลวคล้ายน้ำเชื่อม รสหวาน สีน้ำตาลเข้ม เป็นผลิตผลพลอยได้จากการทำน้ำตาลให้ตกตะกอนจากของเหลว (น้ำอ้อย) ที่มีความเข้มข้นมาก ๆ ปกติกากน้ำตาลจะประกอบด้วยน้ำตาลประมาณ 48 ถึง 55% ปีที่แล้วกากน้ำตาลจำนวนมากที่ได้ทดสอบแล้วเป็นชนิด high test ได้นำไปใช้สำหรับผลิตแอลกอฮอล์ การที่เรียกว่ากากน้ำตาล หมายถึงการที่ได้จากการทำให้น้ำอ้อยระเหย ประกอบด้วยของเหลวจากการทำน้ำตาล ส่วนใหญ่ผลที่ได้เกิดจากการไฮโดรลีซิสของกรด บางครั้งกากน้ำตาลมีน้ำตาลสูงถึง 78%

(4) ความเข้มข้นของกากน้ำตาล

ความเข้มข้นของกากน้ำตาล ปกติแล้วมีความเข้มข้น 10 - 18% ที่นำไปใช้ ถ้าความเข้มข้นของน้ำตาลสูงกว่านี้มันก็จะไม่ทำปฏิกิริยากับยีสต์ ดังนั้นแอลกอฮอล์ก็จะไม่เกิดขึ้นด้วย ปริมาณของเหลวที่นำมาหมักจะมีมากกว่าปริมาณของของเหลวที่ใช้ในการกลั่นเพื่อให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากัน ดังนั้นจะต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิต

ความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายกากน้ำตาลประมาณ 12% ปริมาณน้ำที่จะมาปรับให้ได้ความเข้มข้นของน้ำตาล 12% ซึ่งจากข้อมูลในการคำนวณดังตัวอย่างเช่น 4 ส่วนของน้ำโดยน้ำหนักจะเป็น 1 ส่วนของกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้นของกากน้ำตาล 60% โดยน้ำหนัก เพื่อลดให้มีความเข้มข้นของน้ำตาลให้ได้ถึง 12%[1]

---

[1] Ibid. p. 61.

ความเข้มข้นของน้ำตาลในของเหลวที่หมัก ปกติหาได้โดยใช้ Balting hydrometer เครื่องมือซึ่งให้ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลที่ 15.5 °ซ.

(5) สิ่งที่เป็นอาหาร

แม้ว่ากากน้ำตาลจะเป็นอาหารอยู่แล้วก็ตาม แต่จะต้องเติมอาหารเพิ่มสำหรับในการหมัก คือแอมโมเนียมซัลเฟตหรือฟอสเฟต เพื่อเพิ่มไนโตรเยนและฟอสฟอรัสที่ยังขาด

(6) pH ของสารละลาย

การหมักจะดำเนินการไปได้ดีเมื่อปรับ pH ที่สารละลายโดยให้มี pH ประมาณ 4.0 ถึง 4.5 ถ้า pH ต่ำในระดับนี้จะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียหลายชนิด ในการผลิตในโรงงานต้องใช้กากน้ำตาลเป็นจำนวนมาก ดังนั้นสารละลายก็มีปริมาณมากด้วย จึงใช้การควบคุม pH แทนการ sterile เนื่องจากการ sterile สารละลายต้องใช้ค่าใช้จ่ายมากกว่า ในการเพาะเชื้อใช้สารละลาย 2 ถึง 25% ของสารละลายที่ต้องการใช้หมักภายใต้สิ่งแวดล้อมที่แน่นอน

ธรรมดาใช้กรดกำมะถันปรับ pH ของสารละลาย ในบางครั้งใช้กรดแลคติค ยีสต์ชอบกรดแลคติค แต่กรดนี้จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของ butyric acid bacteria ซึ่งมีผลเสียหายต่อการหมัก ก่อนที่จะมีการหมักแอลกอฮอล์

(7) แรงดึงออกซิเยน (Oxygen tension)

ออกซิเยนจำนวนมากที่จำเป็นใช้ในขั้นแรก (Early Stages) สำหรับการขยายเซลล์ของยีสต์ที่เหมาะสม แต่ไม่ต้องการสำหรับการผลิตแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมัก[1]

---

[1] Ibid, p.61

(8) อุณหภูมิ

ระดับอุณหภูมิในสารละลายอยู่ระหว่าง 15.5 °ซ ถึง 26.6 °ซ ปกติจะอยู่ระหว่าง 21.1 °ซ ถึง 26.6 °ซ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ระหว่างการหมักอุณหภูมิของสารละลายจะสูงขึ้น จึงใช้ Cooling coils หรือใช้การพ่นน้ำด้านนอกของถังซึ่งจะช่วยรักษาระดับของอุณหภูมิให้เหมาะสม ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 26.6 °ซ จะทำให้แอลกอฮอล์ระเหย และการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะมีมากขึ้น

(9) เวลาที่ใช้ในการหมัก

ปกติการหมักจะสมบูรณ์ต้องใช้เวลาประมาณ 50 ชั่วโมง หรือน้อยกว่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิ ความเข้มข้นของน้ำตาล และส่วนประกอบอื่น ๆ จะมีผลต่อการหมักทั้งสิ้น

(10) การกลั่น

สารละลายที่หมักแล้วเรียกว่า เบียร์ (beer) นำมากลั่นเพื่อจะแยกแอลกอฮอล์และ fusel oil

ในระหว่างการกลั่นจะมีการแยกแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน และของเหลวที่ไม่ใช่เหล้า (slop) จะถูกแยกออกจากกัน ซึ่งมีประมาณ 60 - 90% ของแอลกอฮอล์ เรียกว่า high wines การแยกแอลกอฮอล์ที่มีเปอร์เซ็นต์ต่ำ เรียกว่า low wines ปกติแล้วจะใช้นำไปกลั่นอีกครั้งกับเบียร์จำนวนมากอีก ปกติจะทิ้งของเหลวที่ไม่ใช่เหล้า (slop) แต่ในบางครั้งจะนำไปใช้ บางครั้งของเหลวนี้อาจใช้แทนน้ำเพื่อเจือจางกากน้ำตาล เรียกว่าสารละลายใหม่ (new mash) ของแข็งจาก slops อาจทำให้เข้มข้นขึ้น โดยการนำมาใช้การกระทำด้วยความร้อน (heat treatment) และนำไปขายเป็นส่วนประกอบของปุ๋ย เนื่องจากของแข็งดังกล่าวประกอบด้วยธาตุโปตัสเซี่ยมและฟอสเฟตเพื่อนำไปเพิ่มเป็นส่วนประกอบอื่น ๆ ของแข็ง

(slops) ที่ได้อาจนำไปใช้เป็นตัวยึดแกน (เชื่อม) หรือเป็นตัวเคลือบ[1]

(11) ผลผลิตที่ได้

ผลที่ได้จากการหมักของสารละลายกากน้ำตาลชนิด black-strap molasses ประมาณ 90% ของภาคทฤษฎี

(12) ขบวนการขั้นสุดท้าย

มาทำให้บริสุทธิ์ต่อไปโดยนำเอาน้ำออก (dehydrated) หรือเป็นแอลกอฮอล์ติดไฟ (denatured)

6.2.3 การผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง

หัวมันจะถูกลำเลียงด้วยสายพานมอเตอร์ไปยังเครื่องล้าง จากเครื่องล้างจะถูกลำเลียงมายังเครื่องสับซึ่งอยู่ในแนวระดับ จากนั้นก็จะถูกนำมายังเครื่องตัด หัวมันจะถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ต่อมาก็มายังเครื่องลอกเปลือก ส่วนหนึ่งซึ่งเป็นเปลือกจะถูกแยกออกไป อีกส่วนหนึ่งจะถูกลำเลียงขึ้นไปยังเครื่องบด สำหรับมันเส้นนั้นจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องบดเลย

ก. การทำแป้งสลาย (Saccharification)

เมื่อจัดเตรียมวัตถุดิบเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะนำมาต้มเพื่อให้ชุยแป้งซึ่งอยู่รอบ ๆ Ligno cellulose compound ในรากออกมา โดยในระหว่างที่ต้มชุยแป้งจะอมน้ำพองและแตกออกเป็นวุ้น อุณหภูมิขณะต้มประมาณ 140 °ซ จากนั้นก็เติม α - Amylase เพื่อเร่งให้มันสำปะหลังเป็นของเหลวเร็วขึ้น การต้มนี้จะกินเวลาประมาณ 30 - 60 นาที แต่ถ้าใช้ไอน้ำผ่านหม้อต้มก็จะช่วยย่นระยะเวลาต้มให้สั้นลง ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงาน เนื้อที่และเอนไซม์ เมื่อต้มเสร็จแล้วก็จะทำการสลายแป้งให้เป็นน้ำตาล ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

---

[1] Ibid. p. 61.

1. โดยใช้กรด
2. โดยใช้เอนไซม์

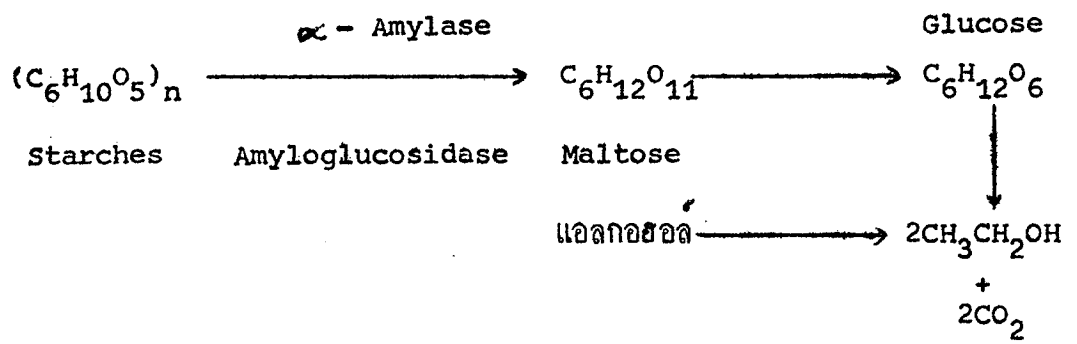
วิธีที่ 1 โดยวิธีไฮโดรลีซิส การสลายแป้งโดยวิธีไฮโดรลีซิสนี้ทำได้โดยการเติมกรดไฮโดรคลอริคหรือกรดซัลฟูริค 0.5% ลงไป เพื่อเป็นตัวไฮโดรลีซิสที่ทำให้โมเลกุลในเซลลูโลสแตกเป็นโมเลกุลของน้ำตาลซึ่งจะนำมาหมัก อุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาคือ 180 °ซ ในปัจจุบันวิธีนี้ไม่ค่อยได้ใช้เนื่องจากได้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่ต่ำกว่า เพราะว่ากรดบางส่วนจะทำให้น้ำตาลมีคุณภาพต่ำลง มีรสขม มีเกลือแร่ปะปนอยู่ ทั้งยังสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำให้บริสุทธิ์สูง นอกจากนั้นกรดยังทำให้เครื่องมือที่ใช้ผุกร่อนเร็ว ทำให้เกิดอุบัติเหตุในโรงงานได้ ระยะหลังนิยมใช้วิธีที่ 2 แทน

วิธีที่ 2 โดยวิธีผ่านขบวนการทางชีววิทยา (Biological Process) การสลายแป้งโดยวิธีนี้โดยการสลายแป้งจากมันสำปะหลังในน้ำให้ได้ความเข้มข้นพอเหมาะ แล้วเติมเอนไซม์ α - Amylase เพื่อเร่งมันสำปะหลัง[1] ให้เป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 140 °ซ ภายใต้ความดันจนแป้งใสที่ได้มีค่า D.E. (Dextrose equiralent) ประมาณ 15 - 18 ปรับ pH ของสารละลายที่ได้ให้มีค่า 4.5 แล้วย่อยน้ำแป้งเหลวให้เป็นน้ำตาล โดยใช้เอนไซม์อีกตัวหนึ่งคือ Amyloglucosidase จะได้ค่า D.E. ประมาณ 95 - 97 นำน้ำตาลที่ได้มาปรับค่า pH ให้ได้ค่าเท่ากับ 5.0 แล้วนำน้ำมากรอง ฟอกสีด้วยถ่าน แล้วผ่านขบวนการผลิตต่อไป
เป็นเอนไซม์มีหน้าที่ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลเร็วขึ้น

---

[1] D.J. Mc Cann Agro - Industrial Systems for Ethanol Production.

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิตแอลกอฮอล์



ใช้ Amylolytic enzymes ซึ่งหาได้จากหลายแหล่งด้วยกัน ในประเทศทางภาคตะวันตกใช้ข้าวบาเล่ย์เป็นตัวเลี้ยงรา ในภาคตะวันออกเชื้อราจะเจริญเติบโตโดยใช้ข้าวหรือรำข้าว

เร็ว ๆ นี้ขบวนการทางชีววิทยาได้ถูกพัฒนาขึ้น ในประเทศฝรั่งเศส เอนไซม์ Amylolidase ใช้ Rhizopus เป็นตัวเริ่มต้น และในสหรัฐอเมริกา วิธีการที่ใช้รำข้าวเลี้ยงเชื้อรา (Banzon et al. 1949) วิธีการช่วยในการหมักในอเมริกา Teixeira et al. (1950) ได้คิดขึ้นและประสบกับความสำเร็จในขบวนการสลายแป้งเป็นน้ำตาลจากสารละลายมันสำปะหลังสำหรับการผลิตแอลกอฮอล์ ขบวนการทั้งหมดนี้พบว่า ผลที่ได้รับจากการสลายแป้งการไฮโดรลีซิสจากทางชีววิทยาได้สูงกว่า การไฮโดรลีซิสจากกรด ในประเทศบราซิล เอนไซม์ที่มาจาก malt ในโครงการเดิมจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และที่สำคัญคือราคาสูง ดังนั้นจึงเน้นความสำคัญมาใช้เอนไซม์ที่มาจากสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ มันมีประโยชน์ที่แน่นอน คือสามารถเพาะได้ และขบวนการที่ใช้รำข้าวเพาะเชื้อรา ขบวนการนี้ไม่ต้องการเพิ่มการติดตั้งในการกลั่นหรือเพิ่มแรงงานพิเศษเพื่อการผลิต การ breakdown แป้งที่มีลักษณะเป็นเจลาตินเกิดจากการไฮโดรลีซิส ∝ - 1, 4 เชื่อมกับโมเลกุลของกลูโคส ทำให้เป็น chain ยาว และไฮโดรลีซิส ∝ - 1, 6 ที่เชื่อมกับกลูโคสเป็น branch ออกมา Malt ประกอบด้วยเอนไซม์ที่สำคัญ 3 ตัว สำหรับ breakdown แป้ง คือ ∝ - amylase, β - amylase และ ∝ - glucosodase (เรียกว่า maltose ด้วย) ∝ - amylase จะทำให้ bonds

ของ α-1, 4 แยกออกภายในโมเลกุล และทำให้เกิดการ form เป็น dextrins ซึ่งเป็น chain เล็ก ๆ ของกลูโคส ที่กล่าวมานั้นเป็นส่วนทำให้แป้งเหลวที่เป็นเจลาตินมีความหนืดน้อย และทำให้มีปลาย chain มากขึ้น เพื่อการกระทำของเอนไซม์ที่สลายแป้ง[1] เบต้า - อามิเลส (Beta - Amylase) ทำให้ α - 1, 4 ที่เชื่อม dextrin และแป้งแตกออก และทำให้ปลายของโมเลกุลเกิด nonreducing ผลลัพธ์นี้ทำให้เกิด Maltose. α - gluconsidase จะทำให้ α - 1, 6 ที่เชื่อมระหว่าง Maltose และ dextrins แตกออกมา ดังนั้นการไฮโดรลีซิสแป้งก็เปลี่ยนเป็นน้ำตาลเพื่อใช้ในการหมักต่อไป

เอนไซม์ที่มาจากสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ 2 ชนิด ได้แก่ α - amylase มาจากแบคทีเรียที่อยู่ตัวขณะร้อน และ amyloglucosidase ที่มาจาก fungi สามารถใช้ด้วยกันเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล Agent ที่เปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล เป็นของเหลว α - amylase ที่มาจากแบคทีเรียจะกระทำเหมือนกับ α - amylase ที่มาจาก malt ถึงแม้ว่าคุณสมบัติบางอย่างจะแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย คือมี stability ต่ำกว่าที่ pH ต่ำ และมี stability สูง ที่อุณหภูมิสูง Amyloglucosidase ทำให้ bonds ของ α - 1, 4 และ α - 1, 6 ในแป้งแตกออก และทำให้โมเลกุลของ dextrin เปลี่ยนเป็นกลูโคส ในการกลั่น ขบวนการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล สำหรับใน malt ขึ้นอยู่กับสารที่กล่าวไปนั้น ซึ่งถึงจะมีทั้งตัวสำหรับทำให้ร้อน ตัวสำหรับทำให้เย็นและเครื่องกวน เอนไซม์จะเพิ่มเข้าไปในสารละลายที่อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้เอนไซม์มี activity ได้สูง หลังจากนั้นก็ pump เข้าถังหมัก ระบบในการใช้เอนไซม์ก็คล้าย ๆ กัน แต่เพื่อให้ผลที่ได้เพิ่มขึ้นก็ขึ้นอยู่กับการใช้เอนไซม์ 2 ชนิด pH และอุณหภูมิที่เหมาะสม[2] เป็นต้น

---

[1] Edward J. Webber, James H. Cook and Amy Chovinard, Cassava Harvesting and Process, pp. 44-45.

[2] Ibid.

ข. การหมัก (Fermentation)

การหมักนั้นเริ่มแรกที่จะต้องเตรียมคือ ทำให้เกิดยีสต์แอลกอฮอล์ให้มีจำนวนมากพอที่สำหรับใช้ในการหมัก โดยการเตรียมยีสต์ในขวดแก้วซึ่งมี Sterilized medium เมื่อได้จำนวนมากพอสมควรก็จะย้ายไปถังหมักที่มี Fresh growth medium ประมาณ 5 - 10% ของน้ำตาลหมักและเติมอาหารส่วนใหญ่เป็นธาตุไนโตรเยนและฟอสฟอรัสลงไป pH ควรอยู่ในระหว่าง 4 - 5 การหมักจะทำให้เกิดความร้อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้การควบคุมความร้อนให้อยู่ในระดับ 30 °ซ การหมักจะเสียเวลา 36 - 48 ชั่วโมง ผลจากการหมักจะได้แอลกอฮอล์ประมาณ 6 - 12% ขึ้นอยู่กับการควบคุมคุณภาพการผลิต ที่สำคัญคือ จะต้องระวังเชื้อโรคที่อาจแทรกแซงเข้าไปในระหว่างการหมัก

การหมักสามารถเป็น Continuous หรือ batch ในระบบ Continuous สารละลายที่จะหมักจะต่อเนื่องตลอดเวลา ไวน์จะมีอัตราการไหลเดียวกัน ไวน์จะถูก pump ไปยังหอกลั่น และควรระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงเชื้อที่อื่นมาปะปนเพื่อป้องกันการเปลี่ยนรูปของยีสต์ ในประเทศบราซิล การหมักเป็นชนิด Batch ก่อนจะสิ้นสุดการหมักไวน์จะผ่านแผ่นกรองเพื่อนำทรายออกและนำไป centrifuge เพื่อนำยีสต์ให้ตกตะกอนและสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ และอีกส่วนหนึ่งสามารถเข้าไปในถังหมักเพื่อทำการหมักได้อีก

ค. การกลั่น (Distillation)

ส่วนน้ำไวน์ก็จะนำไปกลั่น น้ำไวน์ประกอบด้วยแอลกอฮอล์ประมาณ 7 - 11% โดยปริมาตร ซึ่งสามารถแยกได้จาก hydroalcoholic solutionโดยการต้มให้เดือดเอทธานอลจะระเหยก่อนน้ำ และสามารถนำออกมาได้ใน rectifying column ที่มีแอลกอฮอล์ 50% โดยปริมาตร ในหอกลั่นอีกตัวสามารถทำให้แอลกอฮอล์เข้มข้นถึง 95.6% แอลกอฮอล์ที่นำไปผสมกับแกสโซลีนต้องให้เข้มข้นถึง 99.9%[1] ซึ่ง

---

[1] Ibid., pp. 68-

สามารถทำได้โดยใส่สารประกอบที่ทำหน้าที่ dehydration (absorb น้ำ) เช่น โซเดี่ยม อะซีเทต (Sodium acetate) และแคลเซี่ยม ออกไซด์ (Calcium oxide) ใส่ลงในแอลกอฮอล์ บางโอกาสใช้ของเหลวซึ่งสามารถ absorb น้ำได้สูง อาทิเช่น glycerine, glycols หรือสารละลายโปตัสเซี่ยม คาร์บอเนต ใน glycerol ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถเพิ่มเข้าไปแอลกอฮอล์ก็ได้

ง. ผลิตผลพลอยได้

สารละลายที่ได้จากการกลั่นไวน์จะได้รับประมาณ 12 ส่วน ต่อแอลกอฮอล์ 1 ส่วน ซึ่งเป็นสารละลายของเสียที่มีจำนวนสูง ถ้าไม่ขจัดของเสียนี้จะทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม การกำจัดของเสียยังไม่เป็นที่น่าพอใจเพราะว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการกำจัดของเสียสำหรับราคานั้นยังไม่สามารถตอบแทนให้ได้ทั้งหมด การ dehydration ของของเสียประกอบด้วยของแข็งทั้งหมด 6% สารละลายที่เป็นของเสียสามารถนำมาเป็นอาหารให้วัวควายและเป็ดไก่ได้ Stillage ของมันสำปะหลังยังใช้เป็นปุ๋ย (fertilizer) แม้ว่าจะเพิ่มปริมาณและวิธีการของปุ๋ยใส่ลงในดินก็ตาม แต่ก็ยังไม่สามารถทำงานได้ และยังใช้ Stillage เป็น Substrate ในการเจริญเติบโตของ fungus เพื่อลดความเป็นพิษของของเสียลงบ้าง สำหรับในโรงงานที่นำ Stillage มาทำเอนไซม์ วิตามิน และ antibiotics สำหรับแอลกอฮอล์เกรดที่สอง และ fusel oil ที่ได้ประมาณ 50 และ 6 ลิตร ต่อ 1,000 ลิตร ของแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 100% (anhydrous alcohol) สามารถใช้ในการค้าและในขณะเดียวกันก็จะมี CO_2 เกิดขึ้นด้วย (Lima 1977) ในการกรองน้ำไวน์ ผลิตผลพลอยได้เป็น fibre ประมาณ 1.0% ของวัตถุดิบ[1] และใช้ในการเลี้ยงสัตว์ได้ด้วย

ในโรงกลั่นแอลกอฮอล์ Curvelo รัฐ Minas Gerais ในการทำงาน 320 วัน จะให้อาหารสัตว์ 5,000 ตัน fusel oil 115,000 ลิตร

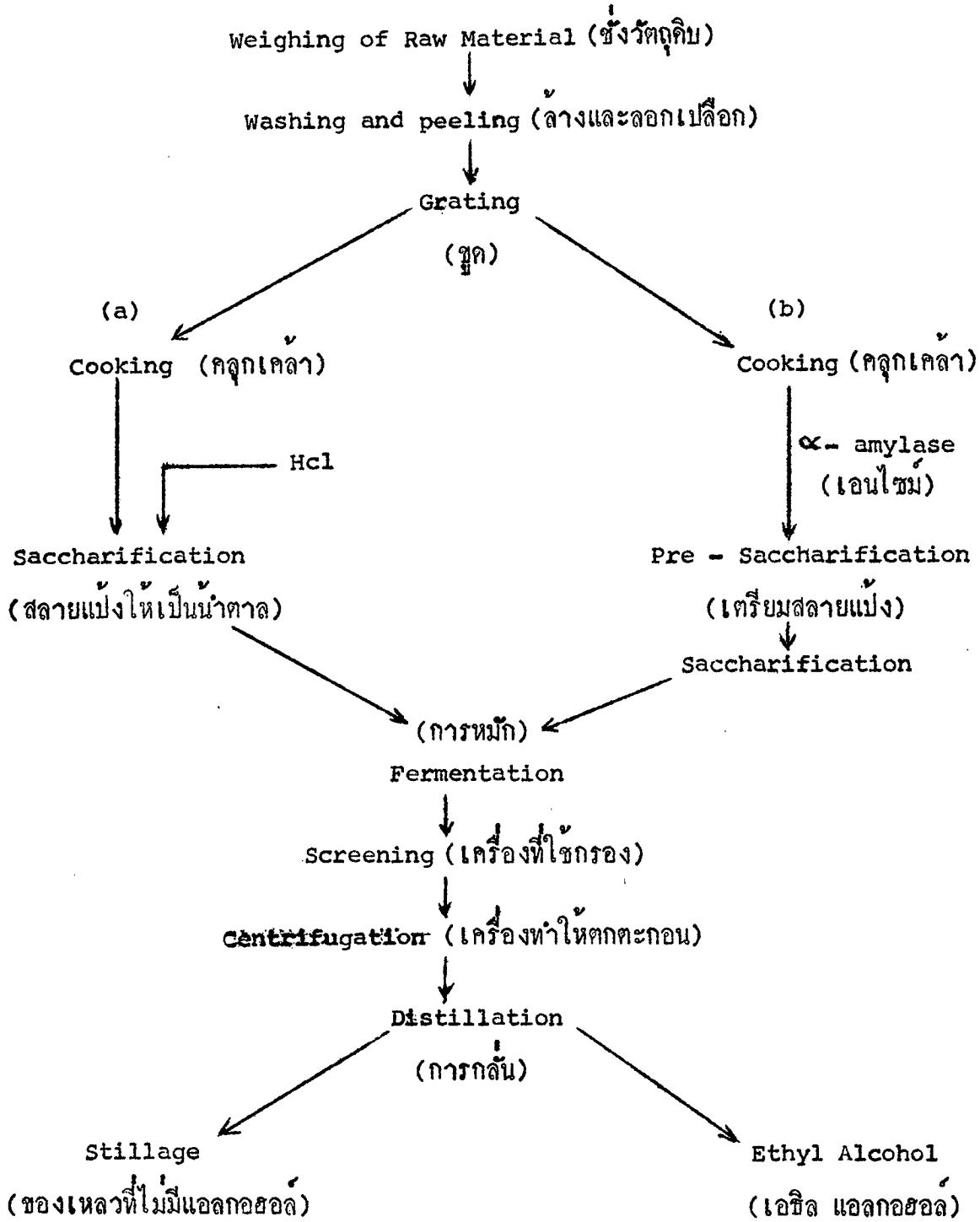
---

[1] Ibid., p. 68

แอลกอฮอล์เกรดสอง 960,000 ลิตร คาร์บอนไดออกไซด์ 10,000 ตัน สำหรับ Stillage ที่ได้ประมาณ 2.4 พันล้านลิตร (Lima 1977)

6.2.4 <u>ขบวนการการผลิตแอลกอฮอล์จากข้าวโพด</u>

เช่นเดียวกันกับขบวนการการผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง



แผนภูมิของการผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง :

(a) การไฮโดรลีซิสด้วยกรด

(b) การไฮโดรลีซิสด้วยเอนไซม์