บทที่ 2
สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องดื่มแอลกอฮอล์กลั่น

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์กลั่นเป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการกลั่นผลิตภัณฑ์หมักแอลกอฮอล์ เพื่อให้ได้ เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่สูง ส่วนมากจะใช้หลักวิชาการกลั่นมาใช้ประโยชน์ สาระเหยที่ได้จากการ กลั่นส่วนมากเป็น ethyl alcohol ซึ่งอาจจะมี แอลกอฮอล์ประเภทอื่น ปะปนมาด้วยก็ได้ เช่น methyl alcohol แต่มีส่วนน้อยจนไม่เกิดอันตราย นอกจากนี้ยังมี แอลกอฮอล์โมเลกุลสูงๆ รวมมาด้วย เช่น พวก fusel oil หรือ fusel alcohol ทั้งหลาย โดยเฉพาะพวก propyl alcohol, butyl alcohol, amyl alcohol และ hexyl alcohol เป็นต้น (ไพโรจน์, 2534)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสุรากลั่นได้ให้ ความหมายของสุรา ว่าหมายถึง เครื่องดื่มที่มีแรงแอลกอฮอล์เกิน 0.5 ดีกรี แต่ไม่เกิน 80 ดีกรีส่วนสุรากลั่นหมายถึง สุราที่ได้จากการกลั่นน้ำส่าเป็นสุรา หรือกลั่นน้ำส่าเป็นแอลกอฮอล์ก่อนแล้วปรุงแต่งให้เป็นสุรา ทั้งนี้รวมถึงสุรากลั่นที่ผสมกับของอื่น หรือเครื่องดื่มชนิดอื่น แต่ถ้าผสมกับไวน์ต้องได้แรงแอลกอฮอล์เกิน 23 ดีกรีและชื่อของสุรากลั่นนั้น หมายถึงชื่อที่ใช้เรียกสุรากลั่นตามกรรมวิธีผลิตนั้นๆเช่นวอดกา สุราขาว สุราผสม สุราผสมพิเศษ สุราปรุงพิเศษ ยิน วิสกี้ บรั่นดี หรือรัม เป็นต้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544)

เครื่องดื่ม แอลกอฮอล์กลั่นสามารถแบ่งได้หลายประเภทดังนี้

1. วอดก้า (Vodka)

วอดก้า หมายถึง สุรากลั่นที่ได้จากการนำสุรากลั่นผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่นเฉพาะตัว ซึ่งเกิดจากวัตถุดิบ โดยวิธีการกลั่นซ้ำ หรือกรองด้วยถ่าน ทั้งนี้อาจมีการปรุงแต่งกลิ่น รสอีกด้วยหรือไม่ก็ได้ และในการบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่าย ต้องปรุงแต่งให้มีแรงแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่า 38 ดีกรี (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544) ซึ่งวอดก้าจะผลิตได้จากวัตถุดิบคือมันฝรั่ง ที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งอยู่สูง แล้วจึงนำมาย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์ เพื่อให้แป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล แล้วจึงใช้ยีสต์ในการหมักต่อ เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ และนำน้ำหมักมาทำการกลั่นได้แอลกอฮอล์ที่มีเปอร์เซ็นต์สูง (ไพโรจน์, 2534)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

วอดก้าอาจผลิตจากวัตถุดิบอื่นๆได้ ในสมัยก่อนวอดก้านอกจากจะได้จากการหมัก มันฝรั่ง แล้วยังผลิตจากเมล็ดข้าวต่างๆ เช่น ข้าวโพด หรือข้าวสาลี แล้วกลั่นให้มีแอลกอฮอล์สูง เพื่อให้มีกลิ่นน้อยที่สุด ไม่ต้องเก็บบ่ม แต่วอดก้าที่ผลิตได้ก็ยังมีกลิ่นรสหลงเหลืออยู่มาก ต่อมาจึงมีการใช้เมล็ดข้าวเป็นวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว และคิดค้นวิธีการกำจัดกลิ่นออกไปโดยผ่านการกรองและดูดกลิ่นด้วยถ่าน ฉะนั้นวอดก้าในปัจจุบันจึงปราศจากสีและกลิ่นเจือปน (Lea and Piggot, 1995) วอดก้า เป็นเหล้าสีขาว ที่มีกลิ่นน้อยมากจนแทบไม่รู้สึกว่ามีกลิ่นเลย มีต้นกำเนิดมาจากประเทศรัสเซียและโปแลนด์ (อรวินทร์, 2540) วอดก้ากลายเป็นส่วนหนึ่งในวิถีชีวิตของคนแถบนั้น วอดก้ามีประวัติหลายร้อยปี ซึ่งอาจจะถึง 12-13 ศตวรรษ นอกจากสองประเทศข้างต้นแล้ว ฟินแลนด์ และสวีเดนก็เป็นผู้ผลิตที่สำคัญเช่นกัน วอดก้าได้รับความนิยมในตะวันตกสูงขึ้นในปลายศตวรรษที่ผ่านมา ซึ่งปัจจุบันผลิตในหลายประเทศ รวมทั้งสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันตก แต่ชนิดที่มีชื่อเสียงจะผลิตจากยุโรปตะวันออก วอดก้าอาจจะถูกแต่งกลิ่นรสได้ด้วยสิ่งต่างๆ เช่นส้ม เปลือกเลมอน ขิง กระวาน พริกไทย และน้ำตาล (Lea and Piggott, 1995)

Bareau of Alcohol, Tobacco and Fireaims (BATF) ของสหรัฐอเมริกากำหนดว่า วอดก้า หมายถึงแอลกอฮอล์กลั่นจากผลิตผลทางการเกษตร หรือหลังจากการกลั่นแล้วกรองผ่านถ่านหรือวัสดุอื่นๆ ก็ได้แต่ต้องไม่ทำให้ลักษณะ กลิ่น รส หรือ สีแตกต่างออกไป ทั้งนี้ในการบรรจุจะต้องมีความแรงของแอลกอฮอล์อย่างน้อย 40 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งอนุญาตให้มีการเติม น้ำตาลได้ไม่เกิน 2 กรัมต่อลิตร และกรดซิตริคได้ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีการแยก flavoured vodka ออกไปต่างหาก

การผลิตวอดก้า อาจทำได้จากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น ข้าวไรน์ มันฝรั่ง ข้าวโพด หัวบีท องุ่นหรืออ้อย แต่วอดก้าที่ผลิตจากเมล็ดข้าว จะมีคุณภาพดีที่สุดและเป็นที่ยอมรับที่สุด ปัจจุบันวอดก้าที่ผลิตจากประเทศต่างๆ ทุกประเทศทั่วโลก จึงใช้เมล็ดข้าวเป็นวัตถุดิบ วิธีการผลิตจะนำเมล็ดข้าวมาหมักและกลั่นให้ได้แอลกอฮอล์สูงมากๆ ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก จากนั้นจึงนำมาเติมน้ำกลั่นเพื่อลดปริมาณแอลกอฮอล์ลง และนำไปกรองผ่านถ่านเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง (Jacques *et al*., 1995)

ถ่านที่ใช้ในการกรองจะมีประสิทธิภาพในการดูดสี และกลิ่นได้ดีเพียงใดนั้น ขึ้นกับชนิดของไม้ที่ใช้ทำถ่าน ระยะเวลาในการเผาไหม้ให้เป็นถ่าน และระยะเวลาในการทำให้แห้ง นอกจากถ่านอาจใช้ทรายละเอียดที่ทำจากการบดซิลิคอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) ในการกรองหรืออาจใช้ส่วนผสมของทรายและถ่านในการกรอง เช่นที่ใช้ในการผลิตวอดก้าที่มีชื่อเสียงของประเทศรัสเซียที่ชื่อว่าสโตลิชนายา (Stolichnaya)

วอดก้าจะไม่เก็บในถังไม้โอ๊ก แต่เก็บในภาชนะที่เป็นเหล็กปลอดสนิม กระเบื้องเคลือบ แก้ว พาราฟินหรือภาชนะที่ทำด้วยวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ทำให้เกิดสี และกลิ่นในเหล้า และไม่ต้องเก็บบ่ม บรรจุขวดให้มีแอลกอฮอล์เพียง 40-50 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็มีวอดก้าบางชนิดที่บรรจุขวดให้มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แอลกอฮอล์สูงกว่านี้ เช่น วอดก้าของประเทศรัสเซียจะบรรจุขวดให้มีแอลกอฮอล์สูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะจากวอดก้ามีความแตกต่างกันดังนี้

1. วอดก้าของประเทศรัสเซีย ส่วนมากจะมีแอลกอฮอล์สูงมาก บางขวดบรรจุขวดให้มีแอลกอฮอล์สูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ จึงไร้กลิ่นรส และสีของวัตถุดิบ

2. วอดก้าของประเทศโปแลนด์ นิยมทำจากข้าวบาร์เลย์ และข้าวไรด์ ยี่ห้อที่มีชื่อเสียงคือ วีโบโรวา (veborova) มักบรรจุขวดให้มีแอลกอฮอล์ 45 เปอร์เซ็นต์ เหล้าวอดก้าที่ผลิตในโปแลนด์จะปรุงแต่งกลิ่นหอมด้วยผลไม้ ดอกไม้ และเครื่องเทศต่างๆ และยังมีการทำวอดก้าสูตรพิเศษโดยนำแอลกอฮอล์ของวอดก้าที่กลั่นได้มาลดปริมาณแอลกอฮอล์ ผสมปรุงแต่งกับเหล้ารัมดี เรียกว่า โซพลิคา (soplica) ซึ่งเป็นเหล้าที่มีกลิ่นหอมพิเศษและมีรสอร่อยของแอปเปิล

3. วอดก้าของประเทศสหรัฐอเมริกา วอดก้าเริ่มมีการผลิตครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1934 แต่ไม่ได้รับความนิยมมากนัก จนกระทั่งหลังสงครามโลกครั้งที่สอง มีการนำวอดก้ามาผสมเบียร์เพื่อให้ได้เบียร์ที่มีแอลกอฮอล์ต่ำ มีรสชาติดีขึ้น วอดก้าที่ผสมเบียร์นี้เรียกว่า มอสคาว มูล (Moscow mule) ซึ่งได้รับความนิยมมาก ต่อมาจึงมีการนำผสมกับเหล้าชนิดต่างๆ เช่น จิน มาร์ทินิ เป็นเครื่องดื่มผสมที่ได้รับความนิยมมากจึงมีการผลิตกันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา จนปัจจุบันผลิตได้มากเป็นอันดับหนึ่ง และมักได้รับความนิยมมากกว่าวอดก้าจากประเทศรัสเซียและโปแลนด์ที่เป็นต้นกำเนิด วอดก้าที่ได้รับความนิยม และเป็นที่รู้จักกันดีได้แก่ บอร์ซอย (Borzoi) ฟินแลนเดีย (Finlandia) กอร์ดอนส์ (Gordon) กินบีส์ (Gilby) ไฮแรม วอล์กเกอร์ (Hiram walker) สเมอร์นอฟ์ (Smiroff) สโตลิชนายา (Stolichnaya)

นอกจากการผลิตวอดก้าที่กล่าวมาแล้ว บางประเทศโดยเฉพาะประเทศรัสเซียและสลาวัก ยังมีการเติมสารให้กลิ่นรสตามธรรมชาติลงในวอดก้า อาจเติมหรือไม่เติมน้ำตาลก็ได้สารให้กลิ่นรสที่เติมนั้นจะต้องระบุบนฉลาก ตัวอย่างวอดก้าที่มีการปรุงแต่งกลิ่นรส ได้แก่

1. ลิมอนนายา (Limonnaya) เป็นวอดก้าที่มีการเติมเปลือกมะนาวสดเพื่อให้กลิ่นรส เป็นวอดก้าที่ผลิตในประเทศรัสเซีย
2. ออคโคทนิชิยา (Okhothichiya) เป็นวอดก้าที่ผลิตในประเทศรัสเซีย มีแอลกอฮอล์ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ มีสีฟางข้าว รสหลานและมีกลิ่นสมุนไพรเล็กน้อย วอดก้าชนิดนี้มีการเติมส่วนผสมหลายอย่าง ได้แก่ ขิง การพลู พริกไทยแดง และดำ จูนิเปอร์ อะนิส เปลือกส้ม และมะนาว กาแฟ เหล้าพอร์ตขาวและน้ำตาลแล้วเก็บบ่มไว้หลายเดือนเนื่องจากมีรสหวานคล้ายน้ำผึ้ง จึงเหมาะที่จะเสิร์ฟกับของหวาน
3. เพิร์กซอฟกา (Perksovka) เป็นวอดก้าที่มีสีน้ำตาล รสชาติเผ็ดร้อนมีแอลกอฮอล์ 35 เปอร์เซ็นต์ ผลิตในประเทศรัสเซีย มีการเติมพริกไทยแดง ขาว และดำ วอดก้าชนิดนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เก็บบ่มในถังไม้ หรือถังโลหะเป็นเวลาหลายเดือน จึงนำมากรอง และบรรจุขวดเพื่อส่งออก

4. สตาร์กา (Starka) เป็นวอดก้าอีกชนิดหนึ่งที่ผลิตในประเทศรัสเซีย มีแอลกอฮอล์ 43 เปอร์เซ็นต์ สีเหลืองอำพัน เป็นหนึ่งในจำนวนวอดก้าเพียงไม่กี่ชนิดที่มีการเก็บบ่มตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป วอดก้าชนิดนี้จะเติม บรั่นดี วานิลลา น้ำผึ้ง พอร์ต ใบของต้นแพร์และต้นแอปเปิล
5. ซูโบรวกา (Zubrowka) เป็นวอดก้าที่มีการปรุงแต่งกลิ่นรส ที่ผลิตในประเทศสลาวัก มีสีเหลืองอมเขียว และมีกลิ่นรวมทั้งรสชาติจากสมุนไพรหลายชนิดที่เติมลงไป บรรจุขวดโดยมีใบหญ้าผสมอยู่ด้วย แต่จะไม่ได้รับความนิยมมากนักในประเทศสหรัฐอเมริกาเพราะเชื่อว่า ใบหญ้ามีสารพิษเรียกว่า คูมาริน ซึ่งทำให้เกิดโรคมะเร็งตับได้

วอดก้าสามารถดื่มโดยไม่ผสมอะไรเลยหรือดื่มในลักษณะแช่เย็น หรือเย็นจัดโดยเสิร์ฟในแก้วมาร์ทินิซึ่งเป็นแก้วขนาดเล็ก รูปตัว Y ซึ่งจะดื่มได้หมดแก้วในครั้งเดียว เหมาะที่จะดื่มเสริมรสชาติของอาหารพวกไข่ปลาคาเวียร์ ปลาซาร์ดีน ปลาไส้ตัน มันฝรั่ง และครีมเปรี้ยว ปลาเฮอร์ริง ขนมปังประเภทต่างๆ และปลารมควันโดยเฉพาะปลาแซลมอน นอกจากนี้ยังเหมาะที่ดื่มกับอาหารที่มีรสชาติเผ็ดร้อน เช่น อาหารไทย อาหารแขก อาหารเม็กซิกัน และใช้เป็นเหล้าประกอบการปรุงอาหาร ประเภทเฟลมเบ หรือประเภทไฟลุก

การนำไปทำผสมเป็นเครื่องดื่มผสม ประเภทค็อกเทลเป็นการใช้วอดก้าวิธีหนึ่งนิยมกันมาก เครื่องดื่มผสมจากวอดก้าที่มีชื่อเสียงและได้รับความนิยมมาก เช่น

- บลัดดี้ แมรี่ เครื่องดื่มผสมที่ได้จากการผสมวอดก้ากับน้ำมะเขือเทศ และปรุงแต่งรสชาติด้วยเครื่องปรุงต่างๆหลายชนิด
- สกรูไดรเวอร์ เป็นเครื่องดื่มผสมที่ได้จากการผสมวอดก้ากับน้ำส้ม
- วอดก้า มาร์ทินี เครื่องดื่มผสมที่ได้จากการผสมวอดก้ากับเหล้าเวอร์มูทที่มีรสหวานน้อย
- มอสคาว มูลส์ เครื่องดื่มผสมที่ได้จากการผสมวอดก้ากับเบียร์
- วอดก้า แอน โทนิก เครื่องดื่มผสมที่ได้จากการผสมวอดก้ากับน้ำโทนิก
- แบลก รัสเซียน เครื่องดื่มผสมที่ได้จากการผสมวอดก้ากับคาลัว หรือคอฟฟี่ ลิเคียว
- ไวต์ รัสเซียน เครื่องดื่มผสมที่ได้จากการผสมวอดก้ากับคาลัวและครีม (อรวินทร์, 2544)

Gus'kova และคณะ (1995) ศึกษาสารพิษในวอดก้าและเครื่องดื่มสุรากลั่นชนิดอื่นๆ พบว่ามีประมาณเมธานอลและสารอื่นเช่น เอสเทอร์ อัลดีไฮด์และฟูเซลออยด์มีความเข้มข้นไม่เกินที่อนุญาตเอาไว้ โดยเฉพาะจากมาตรฐานของรัสเซีย เช่น เมธานอล 0.03- 0.05 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร อัลดีไฮด์ 2-15 ppm และเอสเทอร์ 18-50 ppm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Lay keow Ng และคณะ (1996) ศึกษาวอดก้ายี่ห้อต่างๆ 64 ยี่ห้อจากวอดก้าที่มีขายอยู่ในท้องตลาด พบความแตกต่างระหว่าง วอดก้าที่ผลิตในอเมริกาและแคนาดาที่ปริมาณ 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde และ triethyl citrate ที่เกิดขึ้นในวอดก้าจากอเมริกาในขณะที่ไม่พบในวอดก้าของแคนาดา การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าความแตกต่างของวอดก้า ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิต สารที่เติมและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

2. ยิน (Gin) เป็นสุรากลั่นประเภทที่ไม่มีสีที่มีกลิ่นและรสจากจูนิเปอร์ (juniper) ผลิตครั้งแรกในฮอลแลนด์ โดยการกลั่นจากการหมักส่าพืชเมล็ด คือ บาร์เลย์ กับผลจูนิเปอร์ (juniper) และสารให้กลิ่นอื่น ยินส่วนมากจะขายในรูปที่เรียกว่า 'Distill gin' 'English gin' หรือ 'London dry gin' ซึ่งแตกต่างจากยินแบบดั้งเดิมที่ผลิตในฮอลแลนด์ เพราะทำจากแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ เจือจางด้วยน้ำแล้วแต่งกลิ่นรสตามที่ต้องการ ไม่มีการบ่ม Holland gin จะมีน้ำตาลอยู่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ถ้าปราศจากน้ำตาลเรียกว่า Dry gin

3. วิสกี้ (Whiskey) วิสกี้แต่ดั้งเดิมคือ Scotch whiskey ผลิตจากพืชเมล็ดและมอท์ล ในการกลั่นมักจะกลั่นให้ได้แอลกอฮอล์ 90-94 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้เครื่องกลั่นแบบ pot still แอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ไม่มีรสและกลิ่น หลังจากนั้นจึงนำไปบ่มและแต่งกลิ่นรสภายหลัง วิสกี้มีหลายชนิดคือ Iris whiskey ผลิตจากข้าวไรน์ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต มักมีปริมาณแอลกอฮอล์ 71.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร American whiskey ผลิตจากวัตถุดิบพืชเมล็ดได้เกือบทุกชนิด แต่ต้องมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่น้อยกว่า 51 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ระยะเวลาการบ่มอย่างน้อย 2 ปี การบ่มวิสกี้ทำในถังไม้โอ๊ค

4. บรั่นดี (Brandy) คือเครื่องดื่มที่ได้จากการกลั่นไวน์องุ่น ถ้าทำจากวัตถุดิบชนิดอื่น จะมีชื่อของวัตถุดิบชนิดนั้นแสดงนำหน้าบรั่นดี บรั่นดีอาจเป็นสุรากลั่นชนิดแรกที่มนุษย์รู้จัก บางครั้งเรียกว่าบรั่นดีว่า Congnac บรั่นดีมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่น้อยกว่า 95 เปอร์เซ็นต์เมื่อกลั่น และมีแอลกอฮอล์ไม่น้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์เมื่อบรรจุขวด

5. รัม (Rum) คือเครื่องดื่มสุรากลั่นที่ผลิตจากน้ำตาลน้ำอ้อย เป็นเครื่องดื่มของประเทศแถบอเมริกาใต้ คิวบา เปอร์โตริโก และจาไมก้า มักจะทำการบ่มอย่างน้อย 2 ปีในถังไม้ มีปริมาณแอลกอฮอล์ตอนกลั่นไม่น้อยกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่น้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์เมื่อทำการบรรจุ

6. เทกิลา (Tequila) ได้จากการหมักของส่วนหัวของพืชประเภท Tequila cactus นำมาคั้นน้ำ หมักและกลั่น เทกิลามันจะผลิตขายในรูปแบบที่ไร้สีและไม่มีการบ่ม มีกลิ่นสมุนไพรเฉพาะของตัวเอง

7. คอร์เดล และลิเคียว์ (Cordials and Liqueurs) เป็นสุราที่ได้จากการผสมหรือกลั่นซ้ำหัวเชื้อสุรากลั่น บรั่นดี ยิน หรือเครื่องดื่มสุรากลั่นชนิดอื่นด้วยผลไม้ ดอกไม้ หรือพืชผลไม้ หรือสารให้กลิ่นชนิดอื่น มีปริมาณน้ำตาลซูโครส หรือ น้ำตาลเดรทโตสน้อยกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์ อาจจะมีสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ด้วยคาราเมล หรือสีผสมอาหาร ลิเคียว์ส่วนใหญ่จะมีรสหวานคล้ายน้ำเชื่อม (Heart and Fisher, 1971 ; Rose, 1977)

2.2 กระบวนการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์

กระบวนการหมัก เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาพที่ไม่มีอากาศ การเปลี่ยนแปลงน้ำตาลให้เป็นเอทานอลสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายวิถีทาง (partway) ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในกระบวนการหมัก โดยทั่วไปแล้วการหมักมักจะใช้เชื้อยีสตร์ในสกุล *saccharomysis* sp. ซึ่งเอทานอลจะถูกสร้างขึ้นมาโดยอาศัย Embden-Meyerhof-Parnas Pathway โดยการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สมใจ, 2537)

2.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้วัตถุดิบที่ให้น้ำตาล ซึ่งยีสต์สามารถหมักได้ในสภาวะที่เหมาะสม วัตถุดิบจึงอาจจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. Saccharine materials เช่น น้ำตาล น้ำอ้อย และกากน้ำตาล เป็นต้น ที่นิยมใช้กันมากคือกากน้ำตาล ซึ่งอาจเป็นกากน้ำตาลอ้อย หรือกากน้ำตาลจากหัวบีทก็ได้ และกากน้ำตาลแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามคุณภาพคือ blackstrap กับ refiner and high test molasses ซึ่งชนิดหลังนี้จะมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึง 78 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชนิดแรกมีของแข็งที่ละลายได้อยู่ 50-55 เปอร์เซ็นต์ แต่เป็นน้ำตาลประมาณ 30-33 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น นอกจากนี้ในกากน้ำตาลยังมีสารพวก phosphates, Mg, K, trace element, growth factor ตลอดจนสารยับยั้งต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกากน้ำตาลที่ได้จากขบวนการ Sulphitation กับ Carbonation จะพบว่ากากน้ำตาลชนิดแรกมีสารประกอบพวกไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่า และมีสารยับยั้งที่ต่ำกว่ากากน้ำตาลชนิดหลัง แต่อย่างไรก็ตามในกากน้ำตาลที่ได้จากขบวนการ Sulphitation ก็ยังมีสาร potassium imidodisulphonate ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของ SO_2 กับเกลือของ nitrites ซึ่งเป็นผลจากการทำงานของบักเตรี และสารตัวนี้มีผลยับยั้งการเจริญของยีสต์ได้

2. Starchy materials เป็นวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานของยีสต์ได้ แต่ต้องผ่านการย่อยแป้งเป็นน้ำตาลเสียก่อน โดยอาจใช้กรดหรือเอ็นไซม์ ก็ได้ ซึ่งวัตถุในกลุ่มนี้แบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ

1) ธัญพืชที่เก็บอาหารไว้ในหัวหรือราก ที่นิยมใช้ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวบาเล่ย์ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวไรย์ ข้าวฟ่าง และข้าว

-ข้าวโพดมีแป้งเป็นองค์ประกอบ 60-68 เปอร์เซ็นต์ ขั้นแรกต้องทำข้าวโพดให้เกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) เสียก่อน และอาจจะลดความหนืดลงได้โดยใช้ HCL หรือใช้ amylolytic enzyme ที่ได้จากราหรือ malt ถ้าหากใช้ malt wort จะใช้ 10-15 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- ข้าวบาเล่ย์มีแป้งอยู่ 55-65 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำน้ำหมักในรูปของธัญพืชก็ได้ หรือใช้ในรูปของ malt ซึ่งมี amylolytic activity ก็ได้พบว่า malt ในสภาพที่ผ่านความร้อนมาแล้ว จะสูญเสียประสิทธิภาพในการย่อยแป้งไปประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับ malt สด

- ข้าวสาลี มีแป้งอยู่ราวๆ 65 เปอร์เซ็นต์ อาจใช้ทำ malt ได้เช่นเดียวกับข้าวบาเล่ย์ ข้าวโอ๊ต มีแป้งประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ จะใช้ barley malt ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ในการย่อยแป้งข้าวไรด์เหมือนกับข้าวโพดใช้แพร่หลายในยุโรปตะวันออก มีแป้งอยู่ราวๆ 63 เปอร์เซ็นต์ ข้าวฟ่างมีแป้งอยู่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ปลูกมากในแอฟริกา ส่วนข้าวซึ่งปลูกมากทางแถบเอเชีย มีแป้งอยู่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์

2) พืชที่เก็บแป้งไว้ในหัวและราก ที่นำมาใช้ผลิตแอลกอฮอล์ได้แก่ มันฝรั่งและมันสำปะหลัง

- มันฝรั่งมีแป้ง 10-25 เปอร์เซ็นต์ ก่อนอื่นต้องล้างเอาเศษดินออกก่อน แล้วนึ่งในหม้อความดัน 2-3 atm. นาน 15 นาที แล้วจึงจะเติม malt ลงไป 2-3 เปอร์เซ็นต์ ควบคุมอุณหภูมิของ mash เป็น 55 องศาเซลเซียส

- มันสำปะหลังมีแป้งประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ และน้ำตาลอื่นๆ อีกราวๆ 5 เปอร์เซ็นต์ ปกติจะใช้ mold bran (ได้จากเชื้อรา *Aspergillus*) ย่อยแป้งซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า malt

3) Cellulosic materials เช่น ไม้ และ wast sulfite liquor น้ำตาลที่ได้จากการย่อยไม้มีอยู่ประมาณ 65-88 เปอร์เซ็นต์ ประกอบไปด้วย กลูโคส (glucose) ฟรุคโตส (fructose) แมนโนส (manose) กาแลคโตส (galactose) ไซโลส (xylose) และอะราบิโนส (arabinose) พบว่าไม้เนื้ออ่อนจะดีกว่าไม้เนื้อแข็ง เนื่องจากภายหลังการย่อยจะมี น้ำตาลเฮกโซส (hexose) อยู่มาก และสามารถหมักให้เกิดแอลกอฮอล์ได้เลย (นัยทัศน์, 2542)

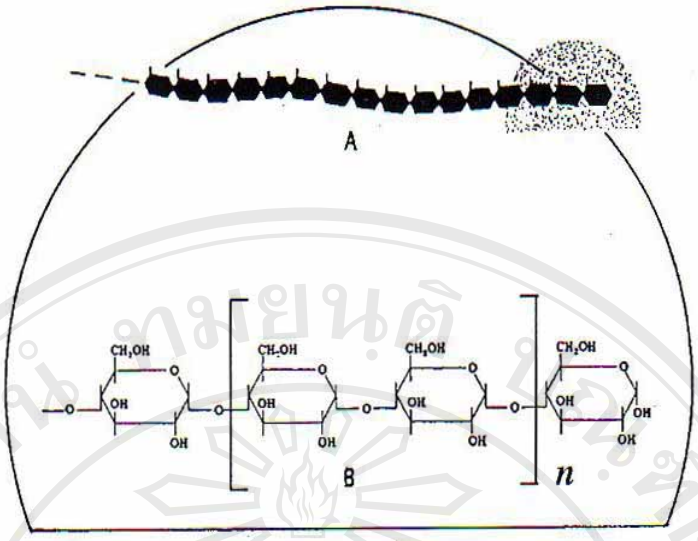
โดยทั่วๆไปแล้วการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลเช่น กลูโคสจำนวน 45 กิโลกรัม จะผลิตเอทานอลได้ 18-23 กิโลกรัม หรือ 23-28 ลิตร ในกรณีที่ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบจะได้เอทธานอล 40-50 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับน้ำหนักแห้งของคาร์โบไฮเดรตจากแป้ง 45 กิโลกรัมถ้าเกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์จะได้กลูโคส 50 กิโลกรัมแต่ตามความเป็นจริงแล้วจะเกิดการย่อยสลายเพียง 90 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็นเซลลูโลส จะผลิตเอทธานอลได้น้อย เนื่องจากแอลฟา-เซลลูโลส จะขัดขวางการเข้าเกาะของเอนไซม์ การย่อยสลายเซลลูโลสจะได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลที่สามารถหมักได้ประมาณ 50% และมีรายงานว่าผลผลิตที่ได้จะสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในสภาวะของการทดลองที่แตกต่างกัน แต่ก็ยังไม่มีการนำเซลลูโลสไปใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม (กำเนิด, 2532)

ซึ่งการเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมักจำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องทราบเสียก่อนว่า วัตถุดิบที่ต้องการใช้มีสารประกอบใดเป็นองค์ประกอบหลักของวัตถุดิบนั้นเช่น ถ้าใช้แป้งเป็นวัตถุดิบ เราจำเป็นต้องทราบก่อนว่าแป้งที่ใช้นั้นมีปริมาณอะไมโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงซ้อนที่ประกอบด้วย

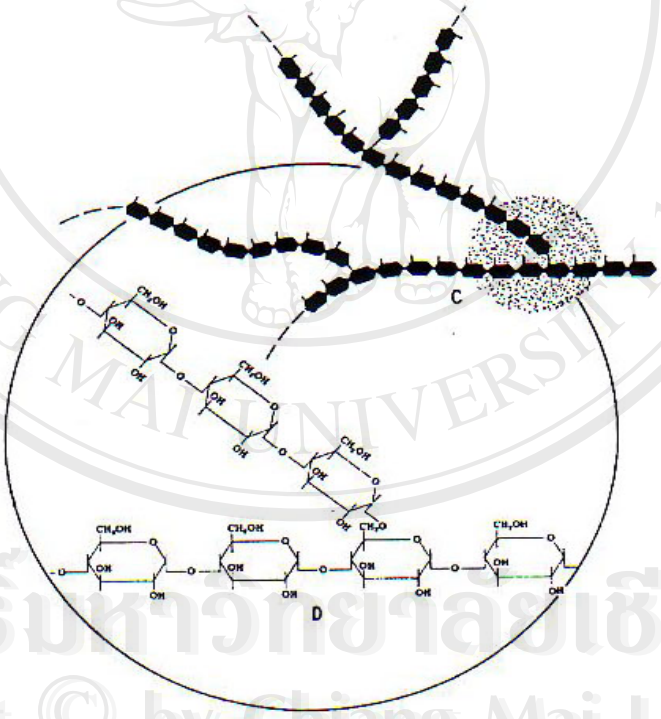
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α(1-4) glucosidic linkage (รูปที่ 2.1 ก.) และอะไมโลเพคตินซึ่งเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส โดยเส้นตรงกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α(1-4) glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α(1-6) glucosidic linkage (รูปที่ 2.1 ข.) นั้นมีมากหรือน้อยเพียงใดเพราะสารประกอบหลักทั้งสองมีผลต่อการนำแป้งไปใช้ประโยชน์ กล่าวคือถ้าแป้งมีปริมาณอะไมโลสในระดับสูง จะทำให้แป้งนั้นสามารถถูกย่อยสลายได้ง่าย ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของอะไมโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันเป็นลูกโซ่แถวยาวๆ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าแป้งนั้นมีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง การย่อยสลายแป้งดังกล่าวจะทำได้ยากขึ้นเพราะโครงสร้างของอะไมโลเพคติน นอกจากจะมีโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันแล้ว ยังมีการแตกแขนงของลูกโซ่อีกด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณของสารประกอบทั้งสองนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งเป็นหลัก เช่น ในแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสเท่ากับ 16-18 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แป้งข้าวโพดมีสูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น ซึ่งเมื่อทราบถึงส่วนประกอบหลักของวัตถุดิบแล้ว ก็ต้องพิจารณาว่าส่วนประกอบดังกล่าวจุลินทรีย์สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงหรือไม่ ถ้าจุลินทรีย์สามารถใช้ได้ช้าหรือค่อนข้างยากจำเป็นต้องนำวัตถุดิบนั้นมาผ่านการแปรสภาพ เสียก่อน ทั้งนี้เพื่อให้วัตถุดิบนั้นอยู่ในสภาพที่เหมาะสมที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการหมักต่อไป (วราวุฒิ และรุ่งนภา, 2533)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ก. โครงสร้างอะไมโลส



ข. โครงสร้างอะไมโลเพคติน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 2.1 โครงสร้างอะไมโลส และอะไมโลเพคติน
ที่มา : Whistler (1965)

2.2.2 การเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลเพื่อใช้ในการหมัก

กระบวนการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์นั้นต้องมีการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลเพราะโดยทั่วไปแล้ววัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์นั้นมักเป็นวัตถุดิบที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเปลี่ยนให้เป็นแอลกอฮอล์ได้ จึงต้องมีการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลก่อน (Poonam and Dalel, 1994) วิธีในการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลสามารถทำได้ดังนี้คือ

1. การใช้กรดเจือจางเช่น กรดเกลือ โดยใช้เพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบพวกเมล็ดพืช มันฝรั่ง และวัตถุดิบอื่นๆ ที่มีแป้งเป็นส่วนใหญ่เพื่อให้แป้งได้ถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลในการหมัก

2. การใช้กรดร่วมกับเอนไซม์โดยเริ่มจากการต้มแป้ง เพื่อจะเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการเปลี่ยนแป้ง ซึ่งแป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลที่ใช้ในการหมักต่อไป (ไพโรจน์, 2534)

3. การใช้เอนไซม์ โดยในกระบวนการผลิตเบียร์หรือ สุรานั้นซึ่งใช้วัตถุดิบเป็นแป้ง จะต้องผ่านขั้นตอนเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือโมเลกุลคู่ด้วยเอนไซม์กลุ่มอะไมเลส ซึ่งจะได้เป็นสารละลายที่จะใช้สำหรับให้จุลินทรีย์หมักเป็นแอลกอฮอล์ต่อไป (ปราณี, 2543) การปรับปรุงการย่อยแป้งโดยการนำเอาเอนไซม์เข้ามาช่วยนั้นเพื่อให้การย่อยมีประสิทธิภาพมากขึ้นและไม่เกิดผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย้อนกลับของปฏิกิริยา เอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายแป้งได้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแต่ละชนิดก็จะให้ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันไป เอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการย่อยแป้งที่สำคัญ คือ

3.1 อัลฟ่าอะไมเลส (α-amylas) ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้จะตัดพันธะ α(1-4) glucosidic linkage แบบสุ่มตลอดสายโมเลกุลของแป้ง เอนไซม์ชนิดนี้ไม่สามารถตัดพันธะที่แตกกิ่งหรือสายตรงของมอลโทไตรโอสได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยมอลโทสกับโพลีแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจำนวนน้อย ที่สำคัญคือจะมีพันธะที่เป็นกิ่งและมีกลูโคสอีกจำนวนหนึ่ง

3.2 เบต้าอะไมเลส (β-amylase) ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้จะตัดพันธะ α (1-4) glucosidic linkage ทีละ 2 หน่วยโมโนเมอร์ จากปลาย non-redution ดังนั้นจะให้น้ำตาลมอลโทสออกมาจากสายโมเลกุลแป้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วยกลูโคสและโพลีแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง และเอนไซม์ชนิดนี้ยังสามารถตัดพันธะที่เป็นกิ่งของโมเลกุลของแป้งด้วยการตัดพันธะที่เป็นเส้นตรง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จาการย่อยแป้งโดยใช้เอนไซม์จะมีปริมาณของกลูโคสหรือมอลโทสมากขึ้น

3.3 กลูโคอะไมเลส (glucoamylase) ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้จะตัดพันธะ α(1-4) glucosidic linkage และพันธะ α(1-6) glucosidic linkage ตามลำดับจากปลาย non-redution ของสายโมโลกุลแป้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วยกลูโคสและโพลีแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง และเอนไซม์ชนิดนี้ยังสามารถตัดพันธะที่เป็นกิ่งของโมเลกุลของแป้งด้วย แต่จะตัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ช้ากว่าการตัดพันธะทีเป็นเส้นตรง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ได้จากการย่อยแป้งโดยใช้เอนไซม์จะมีปริมาณของกลูโคสหรือมอลโทสมากขึ้น (Birch *et al*.,1970)

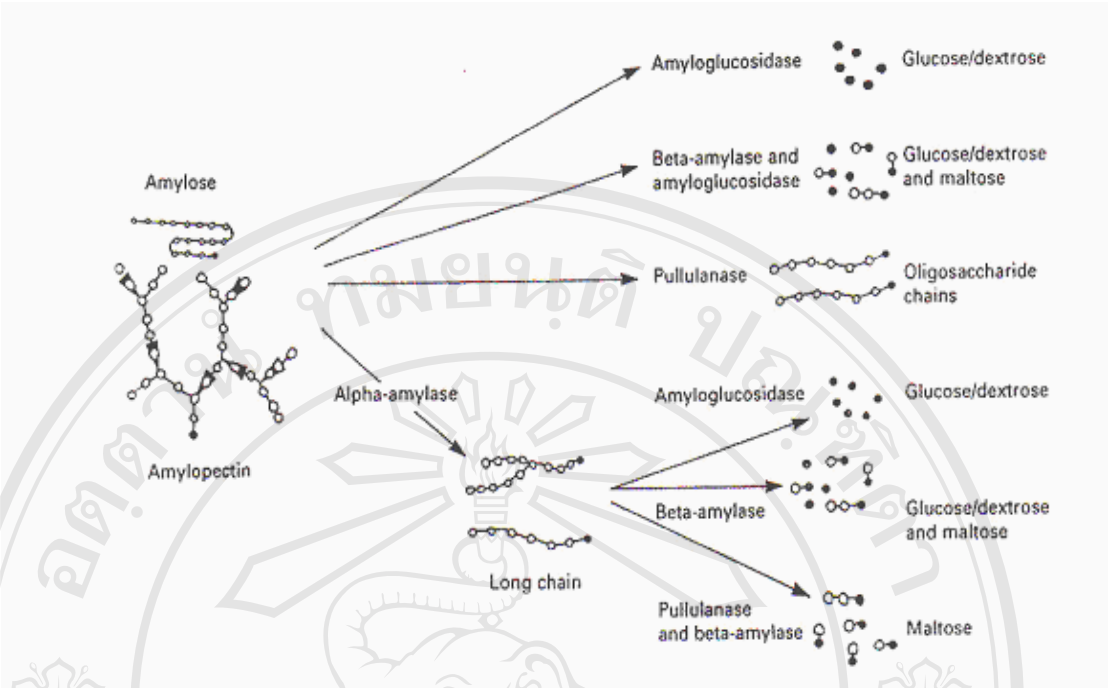
พิรุณ (2533) ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณกลูโคอะไมเลสในการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ผสมขั้นตอนเดียว โดยการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงค่าสมมูลย์เด็กซ์โตสของสารละลายแป้งที่เวลาต่างๆ พบว่าเมื่อใช้เอนไซม์ผสมที่มีปริมาณอัลฟ่าอะไมเลส 0.18 กรัม กลูโคอะไมเลสมากว่า 4.2 กรัมต่อ แป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม อัตราการย่อยมีค่าสูงที่สุดรวมถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณกลูโคอะไมเลสสูงขึ้น

พรพรรณ (2532) ได้ทำการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการย่อยสารละลายแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ผสมแอลฟ่าอะไมเลส และอะไมโลกลูโคซิเดส โดยการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าสมมูลเด็กย์โตสของสารละลายแป้งมันสำปะหลังเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร หลักจากทำให้เป็นเจลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการย่อยสารละลายแป้ง คือ 5.5 และค่าสมมูลเด็กซ์โตสของสารละลายที่ได้มีค่าสูงที่สุดประมาณ 47

Thierry and Jean-Marie (1996) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตแอลกอฮอล์จากแป้งสาลีด้วยเอ็นไซม์กลูโคอะไมเลส และ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่า หลังจากการเติมเอนไซม์ในขั้นตอนการ liquefaction ความหนืดของแป้งจะค่อยๆลดลง และค่าสมมูลเดกซ์โตรส (DE) จะค่อยๆเพิ่มขึ้นใน 2 ชั่วโมง และค่าสมมูลเดกซ์โตรส (DE) จะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อผ่านขั้นตอนการทำให้เกิดน้ำตาล (saccharification) ในเวลา 6 ชั่วโมง

4. การใช้เชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* spp. เช่น *A.oryzea* และ *A. niger* รากลุ่ม *Rhizopus* spp. เช่น *Rh. oryzea*, *Rh. delema* , *Rh. chinensis* นอกจากนี้ ยังมีราพวก *Amylomyces rouxii* และพวก *Mucor* sp. เชื้อราที่กล่าวข้างต้นเป็นพวกที่สามารถย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลเพื่อให้ยีสต์หมักให้เป็นแอลกอฮอล์โดยราจะผลิตเอนไซม์อะไมเลส ออกมาย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลแล้วจึงเติมเชื้อยีสต์ลงไปทีหลัง ซึ่งการหมักโดยเชื้อราต้องคำนึงถึงลักษณะที่สำคัญต่อความสามารถของเชื้อในการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล ความสามารถในการสร้างกลิ่นรสที่ดี ลักษณะการเจริญที่รวดเร็ว มีการเตรียมสปอร์ของเชื้อได้ง่าย เชื้อมีความสามรถในการย่อยแป้งคงที่ ในกระบวนการหมักเอนไซม์ที่เชื้อราหยุดเจริญแล้ว หรือตายไปแต่เอนไซม์ของเชื้อรายังสามารถทำงานต่อไปจนแป้งหมด หรือเอนไซม์เสื่อมสภาพไป ดังนั้นในช่วงการหมักโดยยีสต์จะต้องควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ (วราวุฒิ, 2529)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.2 ผลผลิตจากการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์อะไมเลส 3 ชนิด

ที่มา : ปราณี (2543)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อรา สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา ตลอดจนคุณภาพของผลผลิต เช่นชนิดของสารตั้งต้น ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ สารตั้งต้นหรือวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการหมักบนอาหารแข็ง ส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุเหลือทางการเกษตร เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่างโดยวัตถุดิบเหล่านี้จะมีแหล่งคาร์บอนคือ คาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอาหารหลัก ราจะเจริญได้แตกต่างกันบนวัตถุดิบแต่ละชนิด สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิก็มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา เพราะค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิจะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์ โดยทั่วไปพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการสร้างไมซีเลียม (mycelium) คือ 5.5 – 6.0 สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส

การเพาะเลี้ยงเชื้อราสามารถแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงได้ 2 ประเภท

1. การหมักบนอาหารแข็ง (Solid substrate fermentation) เป็นการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง โดยเชื้อราจะเจริญบนสารตั้งต้นที่มีลักษณะแข็งเช่น ข้าวเปลือก ถั่ว ฟาง ข้าวโพด เป็นต้น โดยการเพาะเลี้ยงก็จะเลี้ยงในขวด ถุงพลาสติก หรือถาด ซึ่งเชื้อราที่เจริญบนอาหารแข็งก็จะใช้สารตั้งต้นเหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอน และเป็นตัวยึดเกาะให้เส้นใยเจริญเติบโต ดังนั้นในอาหารแข็งเหล่านี้ต้องมีน้ำ ความชื้น และอุณหภูมิที่พอเหมาะ เช่น การผลิตอาหารหมักดอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การหมักในอาหารเหลว (Liquid substrate fermentation) เป็นการเพาะเลี้ยงเชื้อราในอาหารเหลวโดยที่สารตั้งต้นอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นของเหลวซึ่งอาหารเหลวนั้นจะมีแหล่งคาร์บอน และธาตุอาหารอื่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวนั้นสามารถจะเพาะเลี้ยงได้ในถังหมัก ซึ่งสามารถจะควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง การให้อากาศ อุณหภูมิ และจะใช้พื้นที่น้อยกว่าการหมักบนอาหารแข็ง (ยุวดี, 2543)

ภูวณัฐ (2539)ได้ทำการศึกษาสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเอนไซม์เซลลูโลสและอะไมโลกลูโคซิเดสจากเชื้อรา *Aspergills niger* และ *Rhizopus oligosporous* โดยโดยใช้ solid culture พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ *Aspergillus niger* คือเมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอาหารที่ประกอบด้วยเปลือกมันฝรั่ง 7 กรัม ผสมรำข้าวเจ้า 3 กรัม เติมน้ำ 30 มิลลิลิตร ได้เอนไซม์เซลลูเลส 0.57 หน่วย อะไมโดกลูโคซิเดส 0.33 หน่วย และเมื่อเลี้ยงในอาหารเปลือกมันฝรั่ง 10 กรัมผสมแอมโมเนียมซัลเฟต 0.2 กรัม เติมน้ำ 30 มิลลิลิตร ได้เอนไซม์เซลลูเลส 0.37 หน่วย อะไมโดกลูโคซิเดส 0.34 หน่วย และพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์เซลลูเลสและอะไมโลกลูโคซิเดสจากเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Rhizopus oligosporous* คือ 60 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

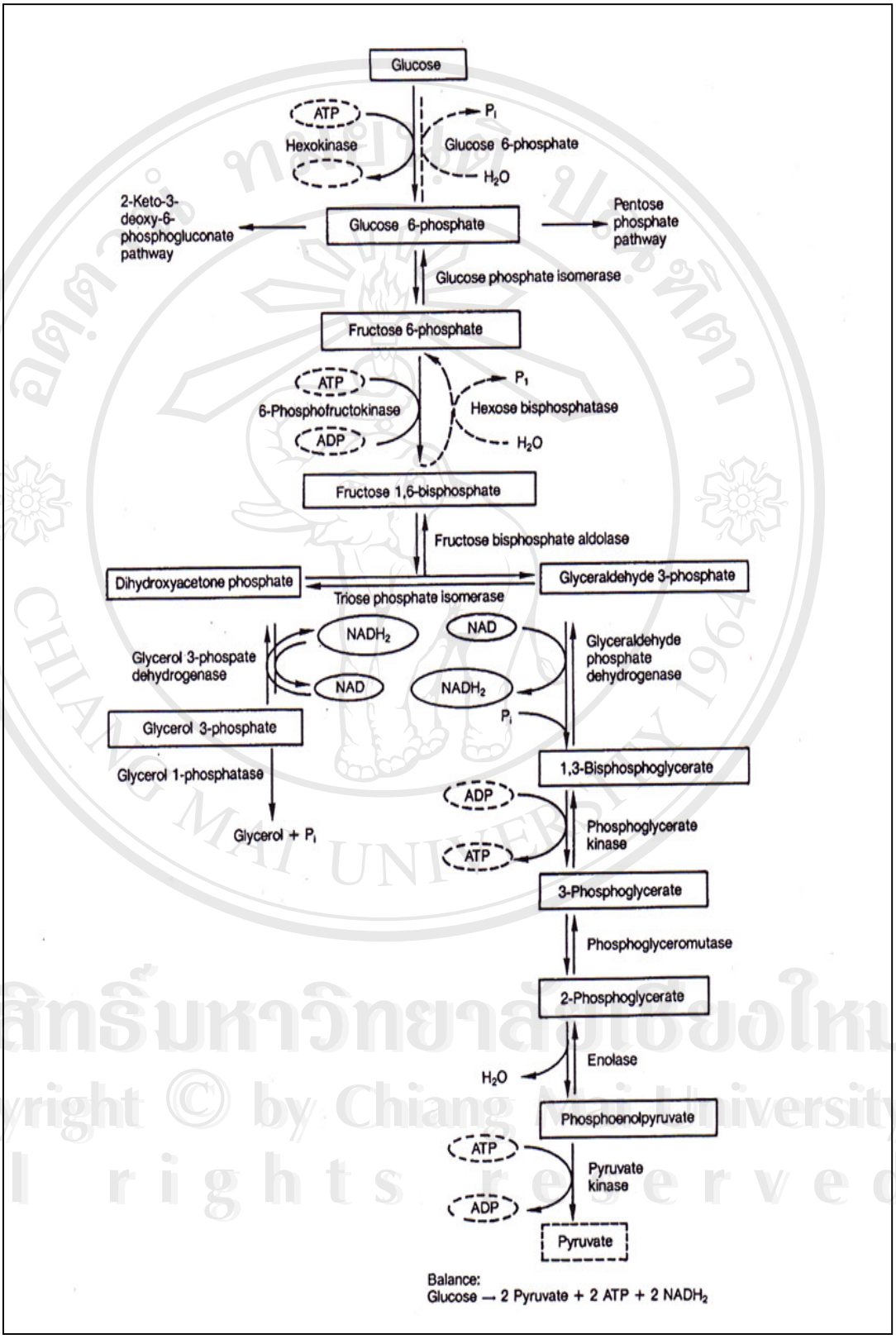
เขมชาติ (2543) ใช้เชื้อรา *Aspergillus oryzea* ในการเตรียมโคจิเพื่อทำการผลิตสาเกจากข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1 และข้าวเหนียวดำ และใช้เชื้อยีสต์บริสุทธิ์ *Saccharomyces sake* ในการหมักโดยทำการหมักที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 วัน พบว่าได้ปริมาณแอลกอฮอล์จากข้าวเหนียวสันป่าตอง1 และข้าวเหนียวดำเท่ากับ 14.30 และ 14.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.2.3 การหมักให้เกิดแอลกอฮอล์

หลังจากทำการเปลี่ยนแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลแล้วยีสต์ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญต่อกระบวนการหมักโดยเฉพาะสายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* โดยจะทำการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์จากสารละลายน้ำตาลที่มีสารอาหาร ซึ่งแหล่งของน้ำตาลในของเหลวขึ้นอยู่กับธรรมชาติของเครื่องดื่มนั้น โดยต้องมีน้ำตาลอิสระสำหรับการหมักแอลกอฮอล์ซึ่งจำเป็นต่อเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* (Rose, 1975) ซึ่งข้อดีของเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* ต่อกระบวนการหมัก เนื่องจากความสามารถในการเจริญได้อย่างรวดเร็ว มีความคงทนต่อแอลกอฮอล์ได้ในปริมาณสูง รวมถึงสามารถสามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ในปริมาณสูงด้วย (วราวุฒ และรุ่งนภา, 2533)

ซึ่งลักษณะทั่วไปของจีนัส *Saccharomyces* นั้นคือ เซลล์ของเชื้อจะมีรูปร่างกลม ในกระบวนการหมักเซลล์ของยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลที่อยู่ในวัตถุดิบให้เป็นแอลกอฮอล์โดยอาศัย Embden-Meyerhof-Parnas Pathway (รูปที่ 2.3) โดยมีปฏิกิริยาทั้งหมดดังสมการ (รูปที่ 2.4)

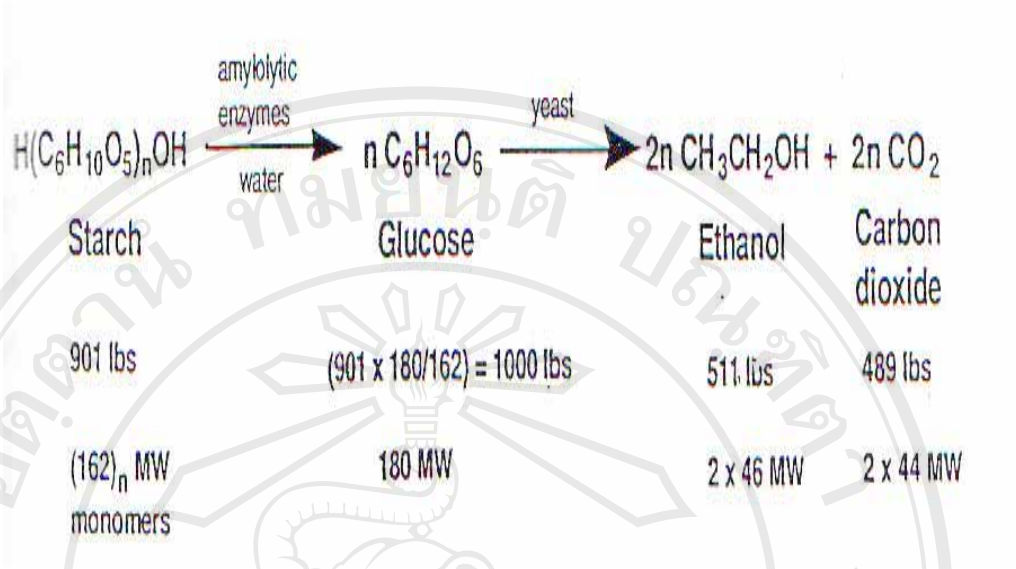
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 2.3 การผลิตเอทานอลจากกลูโคสโดย Embden-Meyerhof-Parnas Pathway

ที่มา : Prave *et al*. (1987)



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแป้งให้เป็นแอลกอฮอล์ในกระบวนการหมัก

ที่มา : Jacques *et al*. (1999)

ซึ่งตามทษฎีจะได้เอทธิลแอลกอฮอล์ 51.1 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 48.9 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะได้ปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 48 เปอร์เซ็นต์ และมีสารอื่นๆ ปะปนมาด้วย นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำตาลประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ในการสร้างเซลล์ยีสต์(Margalit, 1996 ; อรพิน, 2526) ซึ่งในการหมัก ยีสต์จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วง 2-3 วันแรกหลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะช้าลงจนถึงช่วงที่ไม่เพิ่มจำนวนขึ้น แต่ในช่วงนี้ ก็ยังมีการเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์ขึ้นเรื่อยๆ และปริมาณน้ำตาลก็ลดลง และมีการสร้างสารให้กลิ่นรสต่างๆ ในช่วงนี้ด้วย (เจริญ, 2542) นอกจากนั้นในกระบวนการหมักจะมีผลพลอยของการหมักเกิดขึ้นได้แก่

1. กลีเซอรอล ประมาณ 2.5 – 3.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลพลอยได้ที่มีมากที่สุด เกิดจากการเพิ่มไฮโดรเจนให้กับสาร dihydroxyacetone phosphate ซึ่งเป็นสารที่เป็นตัวกลางในกระบวนการหมัก

2. กรดอินทรีย์ ประมาณ 0.02-0.05 เปอร์เซ็นต์ กรดอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้ได้แก่ succinic acid, acetic acid, lactic acid, สก๊อตวิสกี้มี palmitoleic acid

3. อัลดีไฮด์และคีโตน มีประมาณ 0.01-0.04 เปอร์เซ็นต์ ที่พบมากคือ acetaldehyde อัลดีไฮด์ (กำเนิด, 2532)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับยีสต์ในระหว่างการหมัก

1. สารอาหาร (Nutrient material) ยีสต์ใช้คาร์บอนจากน้ำตาล โดยสามารถทนความเข้มข้นของน้ำตาลได้สูงสุดประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไนโตรเจน ยีสต์ใช้ในรูปของสารละลายแอมโมเนีย เกลือแอมโมเนีย สารประกอบโปรตีนที่ละลายในอาหาร เช่น peptone และ amino acid หรือ ยูเรีย ไม่นิยมใช้ไนไตรท์ และไนเตรท เป็นแหล่งไนโตรเจน ฟอสฟอรัสเป็นอาหารที่จำเป็นสำหรับยีสต์ โดยสามารถใช้ในรูปของ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ไดโซเดียมฟอตเฟต ไดโซเดียมฟอสเฟต แคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ฟอสพอริคแอซิค ส่วนแมกนีเซียม จะใช้ในรูปของแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต

2. ความเป็นกรด-ด่างของอาหาร (pH of media) ยีสต์ชอบสภาพอาหารที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 3.5-4.5 ใช้สารละลายแอมโมเนียมฟอตเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟตรวมกันในการปรับความเป็นกรดของอาหารหรืออาจใช้กรดกัมมะถันแอมโมเนีย โซเดียมคาร์บอเนต ในการปรับความเป็นกรด-ด่าง

3. การให้อาหาร (Airetion) ยีสต์จะใช้อากาศในการเจริญเติบโตและแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวน อากาศอาจมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวของการสัมผัสของอาหารกับอากาศ หรือพ่นอากาศลงไปเป็นฟองขนาดเล็ก แต่ถ้าในระหว่างการหมัก ควรจะไม่ให้อากาศอยู่ในอาหารเลย ยีสต์จะใช้น้ำตาลสร้างแอลกอฮอล์ และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในสภาพที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนหรือไม่มีอากาศอยู่

4. อุณหภูมิ (Temperature) ในช่วงแรกของการหมักอุณหภูมิควรอยู่ในระหว่าง 25-26 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่านั้น แต่ไม่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส และเมื่อหมักไปในช่วงสุดท้ายของการหมัก ควรไม่ให้อุณหภูมิสูงเกิน 30 องศาเซลเซียส

5. การใช้สารเคมีป้องกันจุลินทรีย์อื่นๆ การใช้สารเคมีในการป้องกันมิให้มีจุลินทรีย์ชนิดอื่น ที่ไม่ต้องการให้เกิด หรือเจริญระหว่างก่อนการหมักจะเกิดขึ้น สารเคมีที่ใช้ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือ โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) (ไพโรจน์, 2534)

วราทิพย์ (2540) ได้ทำการศึกษาการผลิตเอททานอลจากกลูโคสไซรับที่ได้จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังโดยกระบวนการหมักโดยการย่อยแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเอ็นไซม์ Termamyl และเอนไซม์ AMG พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเอนไซม์ทั้ง 2 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 364.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และเมื่อทำการหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* CTPSCโดยใช้สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่แตกต่างกันพบว่าปริมาณความเข้มข้นของแป้งที่40 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงที่สุดเท่ากับ 1.71 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Thierry and Jean Morie (1996) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตแอลกอฮอล์จากแป้งสาลีด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส และ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่าประสิทธิภาพในการหมักจาก raw wheat starch ให้ปริมาณสูงกว่า ปริมาณเอทานอลที่ผลิตจาก soluble starch

Klingspohn *et al.* (1992) ได้ศึกษาการผลิตแอลกอฮอล์จากส่วนที่เหลือในกระบวนการผลิตแป้งมันฝรั่ง โดยใช้เอ็นไซม์เพื่อทำการย่อยส่วนที่เหลือให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ และใช้เชื้อ *Pachysolen tannophilus* ในการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์ พบว่าการย่อยส่วนที่เหลือได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จำนวนน้อยมีผลให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์ในระดับที่ต่ำเช่นกัน

2.3 ลูกแป้งที่ใช้ในกระบวนการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์

ลูกแป้ง คือ กล้าเชื้อจุลินทรีย์ (inoculum) ที่เป็นในรูปเชื้อแห้งเพื่อใช้ในการผลิตอาหารหมักหลายชนิดในแถบเอเชีย (นภา, 2534) ในประเทศไทยการผลิตสุราขาวโดยวิธีพื้นเมือง ใช้ลูกแป้งเป็นสตาร์ทเตอร์ (starter) ลูกแป้งมี 2 ประเภทคือ ลูกแป้งข้าวหมากสำหรับทำข้าวหมาก และลูกแป้งสุรา ลูกแป้งทั้ง 2 ชนิด มีกรรมวิธีการผลิตเหมือนกัน แต่ต่างกันที่ส่วนประกอบของเครื่องเทศและชนิดจุลินทรีย์ในลูกแป้ง (ไพโรจน์, 2534) นอกจากนี้ยังมีลูกแป้งสำหรับทำน้ำส้มสายชู ซึ่งแตกต่างจากลูกแป้งสุราและลูกแป้งข้าวหมากเพราะประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter* sp. มากกว่ายีสต์และรา (บรรจงจิต และคณะ, 2530) ส่วนการใช้ประโยชน์นั้นจะคล้ายคลึงกันเป็นส่วนใหญ่คือ ใช้ในการหมักที่มีการเปลี่ยนแป้งในวัตถุดิบ ให้เป็นน้ำตาล เพื่อผลิตอาหารหมัก ซึ่งคุณภาพและลักษณะทั่วไปของลูกแป้งที่ดี คือ จะมีลักษณะโปร่งเบา สีขาวนวล ไม่มีรอยแตกร้าว ก้อนแป้งเป็น รูพรุน ซึ่งเกิดจากการฟูของแป้งขณะบ่ม เมื่อขยี้จะยุ่ยเป็นผงละเอียด ไม่มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว มีรูปร่างและขนาดต่างๆกันในลูกแป้งสุราประกอบด้วยเชื้อรา *Rhizopus spp., Amylomyces rouxii., Mucor* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., และพบยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*, *Endomycopsis fibuligera, Endomycopsis* spp. ในบางท้องถิ่นยังตรวจพบแบคทีเรีย *Lactobacillus* spp., *Acetobacter* spp., *Gluconobacter* spp., *Bacillus* spp. อาจมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพโดยมีกรดน้ำส้มเกิดขึ้น (นภา, 2534) ซึ่งบทบาทของจุลินทรีย์ในลูกแป้งต่อกระบวนการหมักคือ

1. ในลูกแป้งนอกจากจะมีจุลินทรีย์ที่ย่อยแป้งได้แล้ว บทบาทของยีสต์ในลูกแป้งจะต้องสามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. เชื้อ *A.rouxii* และ *Rhizopus* spp. เป็นเชื้อราที่ผลิตเอนไซม์ย่อยแป้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ เอนไซม์ที่ผลิตได้มีทั้งแอลฟ่าอะไมเลส และกลูโคอะไมเลส ดังนั้นในกระบวนการหมักเชื้อเหล่าจึงมีบทบาทในการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล ส่วน *Endomycopsis* spp. และ *Hansenula*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

spp. เป็นยีสต์ที่มีความสามรถในการย่อยแป้งเช่นกันนอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้ได้แอลกอฮอล์ และเอสเทอร์ได้อีกด้วย

3. ยีสต์ที่พบว่ามีบทบาทในการผลิตสาโท ได้แก่ *Saccharomysis cerevisiciae* ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอล ยีสต์จะเจริญและผลิตแอลกอฮอล์ได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำประมาณ 4.2-4.5

4. สำหรับแบคทีเรียกรดแลคติค ไม่มีรายงานการศึกษาถึงบทบาทที่แน่ชัดการหมักกระแช่หรือสาโทของไทย โดยเชื้อบริสุทธิ์ที่แยกจากลูกแป้ง ได้แก่ *A.rouxii, Rhizopus* spp. ร่วมกับ *S. cerevisicea* น้ำหมักมีค่ากรด-ด่างประมาณ 4.1-4.5 อยู่แล้วโดยไม่ต้องเติม แลคติคแอซิดแบคทีเรีย ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อราทั้งสองชนิดที่แยกจากลูกแป้งนั้นเป็นสายพันธุ์ที่ผลิตกรดได้ดี

5. *Acetobacter* sp.พบในปริมาณน้อยในลูกแป้ง แต่ก็จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ โดยมีการสังเคราะห์กรดน้ำส้มเกิดขึ้น (หน่วยบริการวิชาการแก่ชุมชน, 2546)

ลูกแป้งสุรา มีองค์ประกอบหลักของวัตถุดิบได้แก่

1. แป้ง ใช้ได้ทั้งแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวจ้าว แต่ผลจากการศึกษาพบว่าลูกแป้งที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวจ้าวล้วนๆจะมีคุณภาพดีกว่าแป้งข้าวเหนียว หรือแป้งผสมสมุนไพร (นภา, 2534) และข้าวสารประกอบด้วยน้ำตาลอิสระทั้งหมด 0.37-0.53 เปอร์เซ็นต์ (Luh, 1980) ข้าวที่นำมาใช้ควรเป็นข้าวไม่อับราหรือแช่น้ำมาก่อน มีเมล็ดสม่ำเสมอไม่เป็นข้าวป่น เมื่อเวลาแช่ต้องซาวเอาละอองออกทิ้งให้หมด (กฤษณามรวิสิฐ, 2492)

2. สมุนไพร มีสูตรการผลิตหลายตำหรับ มักจะเก็บเป็นความลับที่ถ่ายทอดกันเฉพาะในครัวเรือน สมุนไพรมีความสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ปนเปื้อน โดยไม่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ลูกแป้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของลูกแป้งที่ผลิต (นภา, 2534) สมุนไพรที่ใช้ต้องตากแห้งสะอาด ไม่เก่าเกินไป สมุนไพรที่เป็นของสด เช่น ข่า ขิง ต้องล้างน้ำให้สะอาด แล้วผึ่งให้แห้ง (กฤษณามรวิสิฐ, 2492)

ขั้นตอนการผลิตโดยทั่วไป เป็นการนำข้าวมาชั่งตามจำนวนที่ต้องการแล้วแช่น้ำ บดแล้วร่อนให้ละเอียด นำข้าวที่ร่อนแล้วผสมกับสมุนไพรตามอัตราส่วน แล้วเจือน้ำพอเหมาะที่จะปั้นหรือหยอดเป็นลูกแป้งบนใบตองหรือแกลบ บางสูตรพ่นด้วยสุราแล้วทิ้งให้หมาด โรยด้วยแม่เชื้อที่บดละเอียดเตรียมไว้ ทำการบ่มลูกแป้งด้วยการคลุมผ้าทับไว้หรือใช้แกลบโรยทับให้ได้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เมื่อราขึ้นทำการลดอุณหภูมิ แล้วผึ่งในที่ร่มจนแห้ง จึงเอาตากแดด ไม่สามารถนำลูกแป้งที่ตากแดดแห้งแล้วมาใช้ทันที่ได้ ต้องมีอายุอย่างน้อย 7-15 วัน สามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องในที่แห้งได้ 6-7 เดือน ลูกแป้งเชื้อทำด้วยข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียวและเครื่องยาต่างๆ ทุกตำหรับนั้นได้ผ่านการทดลองทำมาแล้วว่าได้ผลดี การแก้ไขส่วนหรือดัดแปลงอาจเกิดผลเสีย การทำลูกแป้งจะต้องระมัดระวังการเลือกของที่ใช้ทำการผสม การบ่มและการเก็บ (กฤษณามรวิสิฐ, 2490) ซึ่งในแต่ละ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ท้องถิ่นจะมีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการทำลูกแป้งการคัดเลือกวัตถุดิบในการคัดเลือกสมุนไพร การทำลูกแป้ง การคัดเลือกชนิดและพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมกับลูกแป้งแต่ละสูตร การสังเกตช่วงเวลาและการสร้างสภาพที่เหมาะสมต่อการหมัก ซึ่งมีผลต่อ กลิ่น สี รส และความใสของน้ำเมา รวมไปถึงคุณภาพของการกลั่น ซึ่งสาโทคุณภาพดีของแต่ละคนนั้นต้องผ่านกระบวนการพัฒนา และสั่งสมความรู้อย่างต่อเนื่องและยาวนาน (เครือข่ายเกษตรกรรมทางเลือก, 2541)

พุทธรินทร์ (2527) พบว่าคุณภาพของลูกแป้งข้าวหมากที่ผลิตไม่คงที่และแตกต่างกันตามสูตรของผู้ผลิต และได้ศึกษาผลของเครื่องเทศที่มีต่อเชื้อในลูกแป้งข้าวหมาก พบว่า กานพลู 1 เปอร์เซ็นต์สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราทุกชนิด รองลงมาคือ พริกไทย ดีปลี และอบเชยส่วนผลของกระเทียม ขิง ชะเอม เจตมูลเพลิง ดอกจันทน์ และลูกจันทน์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ใช้และชนิดของเชื้อรา ในขณะที่กระวาน ตะไคร้ และข่า ไม่มีผลต่อการเจริญของเชื้อรา เชื้อ *Amylomyces* sp. และ *Mucor* sp. จะไวต่อการถูกยับยั้งมากที่สุด *Penicillin* sp. จะมีความต้านทานต่อเครื่องเทศสูงสุด ส่วนผลของการเจริญของยีสต์พบว่า กานพลู เจตมูลเพลิง และอบเชยมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเจริญของยีสต์บนอาหารทดสอบ ส่วนเครื่องเทศอื่นไม่ยับยั้งการเจริญของ *Hansenular* sp. และ *Saccharomyces* sp. แต่สามารถยับยั้งการเจริญของ *Endomycopsis* sp. ในความเข้มข้นต่างๆกัน ในขณะที่กานพลู เจตมูลเพลิง ชะเอมดอกจันทร์และลูกจันทร์สามารถยับยั้งการเจริญของ *Bacillus* sp. ได้ดี รองลงมาคือ ขิง ข่า พริกไทยและกระวาน ส่วนกระเทียม และตะไคร้ ไม่มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อนี้ สำหรับ *Acetobacter* sp.จะถูกยับยั้งการเจริญโดยกานพลูและอบเชย ลักษณะลูกแป้งที่ทำขึ้นส่วนใหญ่มีสีขาวหรือคล้ำกว่าเมื่อบิออกจะแห้งร่วน อาจมีกลิ่นหรือไม่มีก็ได้ขึ้นอยู่กับเครื่องเทศ บทบาทของเครื่องเทศในลูกแป้งข้าวหมากคือ การลดการปะปนของเชื้ออื่นที่ไม่ต้องการ แต่ไม่มีบทบาทคัดเลือกชนิดของจุลินทรีย์ในลูกแป้ง อย่างไรก็ตาม ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในลูกแป้งไม่ได้ถูกควบคุมด้วยเครื่องเทศเพียงอย่างเดียง ยังขึ้นอยู่กับ คุณภาพของวัตถุดิบ คุณภาพของเชื้อเริ่มต้นและสภาพแวดล้อมในการทำลูกแป้ง อย่างไรก็ตามเครื่องเทศที่นำจะใช้เป็นส่วนผสมในการทำลูกแป้งข้าวหมากไดแก่ กระเทียม ขิง ชะเอม ดีปลี และพริกไทย

ในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากข้าวในต่างประเทศ มีการใช้หัวเชื้อ ที่มีลักษณะคล้ายลูกแป้งของไทย บางชนิดทำจากข้าวดิบ ซึ่ง *Aspergillus oryzae* ไม่สามารถเปลี่ยนสตาร์ชดิบให้กลายเป็นน้ำตาล แต่สตาร์ชที่ถูกนึ่งหรือ dextrinized จะสามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้หัวเชื้อ ที่มีรูปร่างคล้ายลูกแป้งของไทย เช่น nin-chu ทำจากข้าวดิบบดละเอียด ทำให้มีรูปร่างคล้ายแผ่นเค้กห่อด้วยใบไม้ ping-chu จากภาคเหนือของจีนทำด้วยข้าวสาลี Tsao-chu ทำจากใบไม้บางชนิด จุลินทรีย์ในลูกแป้งของจีนเป็น mucoraceous fungi และยีสต์ ในขณะที่โคจิจากญี่ปุ่นคือ *Aspergilli* ในประเทศอินโดนีเซียมีลูกแป้งคล้ายกับของจีนเรียกว่า Ragi ทำจากแป้งข้าวและน้ำตาลอ้อยและมีการเติมเชื้อ *Alpinia galanga* ซึ่งเป็นเชื้อราประเภท *Rhizomes* แล้วจึงทำการตากแห้งด้วยแสงแดด และนำไปบดจนละเอียดแล้วเติมน้ำคั้นจากพืชประเภท citrus limonellus หลังจากนั้น 3 วัน รินน้ำที่มีอยู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ทิ้ง นำสิ่งที่เหลือมาปั้นเป็นลูกกลม แล้วนำไปตากแห้งบนฟางข้าว มีการศึกษาพบว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่พบใน Ragi คือยีสต์ *Monillia javanica* และ *Saccharomyces cerevisea* เชื้อราที่พบคือ *Rhizopus oryzea* (Luh, 1980)

ศุภมาศ (2544) ได้ทดลองหมักและผลิตสุรากลั่นโดยใช้ลูกแป้งสุรา 3 ชนิดคือ ลูกแป้งสุราจากจังหวัดเชียงใหม่ เชียงรายและ แพร่และข้าวเหนียว 3 พันธุ์คือ กข6 กข10 และเหนียวสันป่าตอง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของพันธุ์ข้าวอละลูกแป้งในการหมักสุราด้วยกรรมวิธีหมักแบบพื้นบ้านที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่าลูกแป้งจากจังหวัดแพร่และข้าวเหนียวสันป่าตองเหมาะสมสำหรับการหมักด้วยกรรมวิธีนี้ เพราะมีการใช้น้ำตาลจากส่ามากที่สุด ปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณกรดทั้งหมดเกิดขึ้นในการหมักส่าน้อยที่สุด และพบว่า ลูกแป้งจากจังหวัดแพร่ทำให้ส่ามีปริมาณกรดในส่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.38-0.67

2.4 การกลั่นสุรา

หลังจากผ่านกระบวนการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล และกระบวนการหมักจนได้น้ำหมักหรือส่าก็จะเข้าสู่กระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ที่บริสุทธิ์ และมีความเข้มข้นมากขึ้นโดยการต้มกลั่นเป็นการแยกเอาแอลกอฮอล์หรือสุราออกจากส่า การกลั่นคือการต้มให้วัตถุที่ระเหยได้เดือดกลายเป็นไอแยกออกตัวออกจากวัตถุที่ระเหยไม่ได้ ปล่อยให้ส่วนที่ระเหยเป็นไอสัมผัสกับความเย็น ให้ควบแน่นกลายเป็นของเหลวอีกครั้ง ซึ่งน้ำส่าธรรมดามีแอลกอฮอล์ประมาณ 7-12 เปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์บริสุทธิ์มีจุดเดือด 78.3 องศาเซลเซียส น้ำบริสุทธิ์มีจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส ของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในส่ามีจุดเดือดต่างๆกัน ของเหลวที่มีจุดเดือดจะระเหยออกมาก่อนของเหลวที่มีจุดเดือดสูง

การกลั่นสุราโดยเครื่องกลั่นแบบธรรมดา หรือ pot still สุราแรกออกมาเรียกว่าสุราหัวมีกลิ่นหอมรสจืด เพราะกลิ่นที่อยู่ในวัตถุดิบและไอแอลกอฮอล์ซึ่งมีความเบากว่าแอลกอฮอล์ธรรมดาจะออกมาก่อน เมื่อสุราแรกออกผ่านไปแล้ว ก็จะได้สุราธรรมดามีรสและกลิ่นแรง ต่อมาเมื่อใกล้จะเป็นหางรสจะจืดลง ออกเปรี้ยวและฝาด มีกลิ่นส่าจัดขึ้น เพราะแอลกอฮอล์ถูกขับออกเกือบจะหมดเหลือแต่ของที่หนักกว่าแอลกอฮอล์ มีฟูเซลออยล์ และจำพวกกรดระเหยติดปนมาด้วย

เครื่องกลั่นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1) เครื่องกลั่นชนิดธรรมดา มีส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ หม้อต้มส่าสุรา ท่อไอสุรา หม้อรวมไอน้ำ และไส้ไก่ เครื่องกลั่นชนิดนี้ต้องใช้ความร้อนโดยตรง และไม่สามารถกลั่นและแบ่งไอสุราที่มีความแรงแอลกอฮอล์ ในเวลาได้ จึงต้องทำการกลั่น 2-3 ครั้ง จึงจะได้แอลกอฮอล์ที่มีความแรงสูง ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก เครื่องกลั่นชนิดธรรมดาจึงใช้ภายในโรงงานสุราขนาดเล็กและไม่ทันสมัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2) เครื่องกลั่นชนิดแบ่งไอ เป็นเครื่องกลั่นที่ใช้เชื้อเพลิงจากไอน้ำและมีส่วนประกอบคล้ายกับเครื่องกลั่นธรรมดา แต่มีลักษณะของเครื่องแยกส่าสุรา และเครื่องแบ่งไอส่าสุราเป็นปล่องสูง และภายในปล่องมีแผ่นทองแดงหลายแผ่นติดเป็นชั้นๆ ตามความสูงของปล่อง เพื่อให้ได้สุราเข้าเกาะ และกลายเป็นน้ำสุราที่แผ่นทองแดงเหล่านี้ น้ำสุราตามแผ่นทองแดงบางส่วนจะระเหยเป็นไอต่อไปอีก แอลกอฮอล์ของน้ำสุราในแผ่นโลหะ จะแรงขึ้นตามลำดับทุกแผ่น เครื่องกลั่นประเภทนี้ช่วยประหยัดเชื้อเพลิงและสามารถผลิตสุราที่มีแอลกอฮอล์สูงได้ จึงนิยมใช้ในโรงงานทั่วไป ซึ่งเครื่องกลั่นสุรา ควรจะสามารถกลั่นให้ได้สุราบริสุทธิ์ มีกลิ่นรสดี และใช้เชื้อเพลิงน้อย (จีระ และบุญคง, 2528)

ยังสามารถแบ่งเครื่องกลั่นได้อีก คือ

1) เครื่องกลั่นหม้อ (Pot still) เป็นวิธีการกลั่นโดยทั่วไป รูปร่างคล้ายหัวหอม

2) เครื่องกลั่นถัง (Vat still) ส่วนใหญ่ทำด้วยถังไม้ใช้ต้มด้วยไอน้ำ ด้วยวิธีพ่นด้วยไอ

3) เครื่องกลั่นจดทะเบียน (Patent still) กลั่นโดยใช้ไอน้ำ หม้อกลั่นมีลักษณะเป็นชั้นๆ ซ้อนกันขึ้นเหมือนปล่อง ชั้นที่เป็นแผ่นโลหะเจาะรูและมีท่อน้ำล้นไหลกลับ เครื่องหนึ่งมี 2 หม้อ หม้อหนึ่งมี 24 ชั้นสำหรับกลั่นฟอกส่า อีกหม้อหนึ่งมี 37-42 ชั้นสำหรับกลั่นทับให้เป็นสุราดีกรีสูง หรือเป็นแอลกอฮอล์ ส่าที่กลั่นปล่อยเข้าหม้อฟอกส่าจากชั้นบนให้ไหลลงมาชั้นล่างแล้วไหลออกทิ้งไปน้ำส่าต้องปล่อยให้ไหลตลอดเวลาจรกว่าส่าจะหมด ที่ชั้นล่างของหม้อฟอก คือ ก้นหม้อปล่อยไอน้ำให้เดินสวนขึ้นกับน้ำส่าที่ไหลลง ไอน้ำจะต้มน้ำส่าให้แอลกอฮอล์ระเหยไป เมื่อน้ำส่าไหลลงมาถึงก้นหม้อก็หมดแอลกอฮอล์ ส่วนไอน้ำที่ระเหยขึ้นไป จะพาเอาแอลกอฮอล์ไปเข้าที่ก้นหม้อกลั่นทับ แอลกอฮอล์ที่แยกออกจากส่ามีดีกรีต่ำ เมื่อมาเข้าหม้อกลั่นทับ จึงไปเข้าท่อความเย็นกลับเป็นน้ำแอลกอฮอล์

ส่วนประกอบของเครื่องกลั่นที่สำคัญคือ

1. หม้อต้ม ใช้ต้มส่าให้กลายเป็นไอ
2. ท่อต่อ เป็นทางเดินของไอ
3. ไส้ไก่ เป็นที่ให้ไอกลับเป็นน้ำด้วยความเย็น

2.5 มันฝรั่ง

มันฝรั่งจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลกพืชหนึ่ง รองลงมาจากธัญพืชผลผลิตทั่วโลกประมาณ 300 ล้านตันต่อปี พื้นที่เพาะปลูกประมาณ 18.13 ล้านเฮกต้าร์ ผลผลิตเฉลี่ยไร่ประมาณ 15.8 ตันต่อเฮกต้าร์ หรือ 2.54 ตันต่อไร่ ประเทศที่ผลิตมันฝรั่งเป็นจำนวนมาก ได้แก่รัสเซีย โปแลนด์ จีน สาธารณรัฐยูเครน และสหรัฐอเมริกา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในประเทศไทยไม่ประกฏหลักฐานที่แน่นอนว่านำเข้าตั้งแต่ พ.ศ.ใด แต่ชาวเขาและชาวฮ่ออพยพซึ่งอาศัยอยู่บริเวณภูเขาภาคเหนือ รู้จักปลูกมันฝรั่งกันมานานแล้วและเรียกกันว่า มันอาลู สันนิษฐานว่าชาวเขาหรือจีนฮ่อ อาจนำเข้ามาจากประเทศพม่าซึ่งคงจะถูกนำเข้ามาโดยชาวอังกฤษ (ศิริพร, 2542) ในปัจจุบันนี้โครงการปลูกพืชทดแทนและการตลาดที่สูง ซึ่งประเทศไทยและสหประชาชาติ ได้ส่งเสริมการปลูกมันฝรั่งแก่ชาวไทยภูเขาในบางพื้นที่ ซึ่งถือได้ว่าเป็นพืชสำคัญหรือในส่วนของโครงการส่งเสริมการปลูกพืชทดแทนการปลูกฝิ่นของชาวเขา มันฝรั่งสามารถทำรายได้แก่เกษตรกรชาวไทยภูเขาอย่างมาก พื้นที่เพาะปลูกบนที่สูงยังสามารถปลูกมันฝรั่งนอกฤดูได้อีกด้วย พื้นที่ปลูกในโครงการได้แก่ หมู่บ้านบวกจั่น ตำบลโป่งแยง อำเภอแม่ริม หมู่บ้านหลวง อำเภอฝาง และพื้นที่อื่นๆ อีกเล็กน้อยคาดว่าในแต่ละปีจะมีผลผลิตมันฝรั่งออกจากโครงการประมาณ 100 ตัน ซึ่งเป็นพืชที่สามารถทำรายได้ให้แก่เกษตรกรเป็นอย่างมาก โดยได้ผลผลิต 1800-2400 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นรายได้ 9000-12000 บาทต่อไร่ ส่วนประเทศในแถบอเมริกาใต้และเอเชีย จะให้ผลผลิตระหว่าง 1-2 ตันต่อไร่ ผลผลิตโดยเฉลี่ยทั่วโลกประมาณ 2.14 ตันต่อไร่

มันฝรั่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบในการประกอบเป็นอาหาร โดยทั่วไปมักจะใช้มันฝรั่งในรูปของการบริโภคแบบผัก โดยใช้ประกอบกับแกงต่างๆ เช่น แกงกะหรี่ หรือแกงมัสมั่น เป็นต้น ส่วนในประเทศทางยุโรปหรือตะวันตกนิยมใช้มันฝรั่งประกอบอาหาร เช่น มันฝรั่งทอด มันทอด มันแผ่น และมันอบ เป็นต้น สำหรับมันแผ่นนั้น นิยมบริโภคกันเป็นกับแกล้มอาหารว่างมากกว่า และปัจจุบันเป็นสินค้าสำคัญจากมันฝรั่งในทางภาคเหนืออย่างหนึ่ง และทางโครงการพัฒนาที่สูงหลายโครงการได้แนะนำให้ชาวไทยภูเขาบริโภคมันฝรั่งโดยการปรุงกับข้าว โดยหุงกับข้าวอัตราส่วน 1 ต่อ 5 เป็นต้น เพื่อเป็นการลดการใช้ข้าวทำให้ชาวไทยภูเขาหันมาปรุงมันฝรั่งบริโภคในครอบครัวมากขึ้น และจะสามารถได้รับโภชนาการมากยิ่งขึ้น

มันฝรั่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Solanum tuberosun* เป็นพืชหัวอยู่ในตระกูล *Solanaceae* เช่นเดียวกับพวกพริก มะเขือเทศ มะเขือ และยาสูบจัดเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญยิ่ง เป็นพืชที่มนุษย์นำมาบริโภคได้ดี รองมาจากข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด และถั่วเหลือง มันฝรั่งมีคุณค่าทางอาหารสูง ให้โปรตีนต่อมนุษย์ การผลิตรองลงมาจากถั่วเหลืองและยังเป็นอาหารที่ให้วิตามินซี และบี อีกด้วย มันฝรั่งเป็นพืชล้มลุกที่ชอบอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตจะอยู่ระหว่าง 15- 20 องศาเซลเซียสและเหมาะที่จะปลูกในระดับความสูง 500- 1300 เมตร (จากระดับน้ำทะเล)มันฝรั่งมีลักษณะสำคัญทางกิ่งตั้งตรงสูง 45-75 เซนติเมตร ใบเป็นใบแบน ประกอบด้วยใบยอด และใบย่อย ลักษณะรูปใบปลายแหลม 2-4 ดอก มีกลีบดอก 5 กลีบ ประกอบด้วยเกสรตัวผู้ 5 อัน และเกสรตัวเมีย 1 อัน สีของดอกขึ้นอยู่กับพันธุ์ อาจจะเป็นสีขาว ชมพู หรือจะเป็นชมพูอมม่วงก็ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มันฝรั่งให้ผลผลิตโดยลักษณะเป็นหัวได้ดี ซึ่งเรียกว้า Stolons หรือ Rhizomes ยาว 7.5-10 เซนติเมตร ตอนปลายขยายใหญ่เพื่อสร้างหัว ที่ผิวของหัวมันฝรั่งมีรูหรือ Lenticles สำหรับถ่ายเทอากาศ Lenticles นี้จะขยายใหญ่เมื่อได้รับความชื้น ซึ่งอาจจะเป็นเหตุให้เชื้อโรคในดินเข้าสู่ภายในหัวได้ มันฝรั่งมีตา ซึ่งจะสังเกตได้จากหัวมันฝรั่งแต่ละตาจะแตกหน่อ และจะเจริญเติบโตเป็นต้นมันฝรั่งต่อไป มันฝรั่งต้นหนึ่งจะให้หัวเจริญ 6-10 หัวทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น พันธุ์หัวปุ๋ย ดิน และอากาศด้วย ผิวของหัวมันฝรั่ง เมื่อได้รับแสงแดดมากเกินไปจะกลายเป็นสีเขียว อันเป็นผลจากการสร้างคลอโรฟิลล์นั่นเอง (พงษ์ศักดิ์, 2543)

ลักษณะและส่วนประกอบของต้นมันฝรั่ง

มันฝรั่ง เป็นพืชล้มลุกที่ลงหัว กิ่งก้านมันฝรั่งมักมีลักษณะกลมหรือสามเหลี่ยม ส่วนลำต้นที่อยู่ใกล้ดินเป็นทรงกลมแต่ไม่กลวง การออกดอกขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสภาพดินฟ้าอากาศ ในแหล่งที่ปลูก และเมื่อออกแล้วไม่จำเป็นจะต้องมีผลหรือเมล็ดเสมอไป

1) ราก (Root) มันฝรั่งมีระบบรากพิเศษยกเว้นต้นที่งอกจากเมล็ดจึงจะมีรากแก้ว รากพิเศษแตกจากส่วนของลำต้นที่อยู่เหนือดิน และแตกจากไหล ในระยะแรกของการเจริญรากจะกระจายอยู่ตามผิวดิน รากมันฝรั่งจะหยั่งลึกลงไปเมื่อมีอายุมากขึ้น อาจลึกถึง 5 เมตร

2) ลำต้น มันฝรั่งไม่มีเนื้อเยื่อ ลำต้นเหนือดินจะตั้งตรงในระยะแรกของการเจริญเติบโต ระยะต่อมาก็แผ่จนกระทั่งเกือบเอนราบ หรือเอนราบไปกับพื้น ลำต้นมันฝรั่งสูงประมาณ 2-5 ฟุต ลำต้นหลัก สามารถแตกตาข้างได้ และเจริญเป็นกิ่งแขนง กิ่งข้างหรือ อาจเจริญเป็นไหลได้ด้วย ตาข้างส่วนใหญ่ที่เจริญจะเป็นตาที่อยู่บริเวณโคนต้น แต่ต้นมันฝรั่งมีคุณสมบัติที่ตายอดข่มตาข้าง ทำให้แตกตาข้างได้น้อย ลำต้นมันฝรั่งอาจกลมหรือเป็นสามเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยม และมีปีกที่บริเวณก้านใบติดกับลำต้น ยาวประมาณ 1-2 ข้อ

3) ใบ (Leaves) เรียงตัวกันเป็นเกลียวโดยมีลักษณะการเรียงตัวเท่ากับ 5/13 ก้านใบมีรูปร่างเป็นครึ่งวงกลมที่ฐานก้านใบเรียบและติดกับลำต้นประมาณ 1/3 ของลำต้นที่ขอบของก้านใบส่วนที่ติดกับลำต้นนั้นเป็นปีกยาวลงมาตามลำต้น 1-2 ปล้องใบจริงใบแรกของต้นอ่อนที่งอกจากเมล็ดเป็นใบเดี่ยว รูปไข่ และมีขน ส่วนใบต่อๆมาเป็นใบประกอบชนิดออพินเนท ซึ่งใบย่อย จะมีกานใบจำนวนใบย่อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ ส่วนใหญ่ใบย่อยมี 3-4 คู่ และมีใบย่อยที่ปลายสุดของก้านใบรวม 1 ใบเรียกว่าใบย่อยสุดท้ายระหว่างใบย่อยจะมีใบมีใบขนาดเล็กเรียกว่าใบย่อยชุดที่สองแซมอยู่ ใบมันฝรั่งอาจเป็นใบชนิดปิดหรือใบชนิดเปิด ใบเมื่ออ่อนมีขน แต่ใบแก่จะมีขนเฉพาะบริเวณเส้นใบและเส้นกลางใบเท่านั้น นอกจากนี้ที่ลำต้นใต้ดินจะมีใบขนาดเล็กเรียกว่าหูใบ

4) ไหล (Stolon) เป็นกิ่งข้างที่เจริญจากข้อที่โคนต้นซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับดิน ไหลเป็นส่วนชองลำต้นคือมีข้อและปล้อง ปล้องมีลักษณะยาว ปลายโค้งงอ มีใบสเกลเล็กๆ เรียงกันเป็นเกลียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนยอดของไหลมีขนาดเล็กรูปร่างคล้ายกับเซลล์ต้นกำเนิดของกิ่ง เซลล์ชั้นนอกที่ส่วนปลายจะยืดตัวอย่างรวดเร็วและความยาวของเซลล์ผิวนอกทั้ง 2 ด้านจะไม่เท่ากัน ทำให้ปลายไหลโค้งงอ

5) หัว (Tuber) หัวเป็นส่วนที่เจริญจากไหล ซึ่งเป็นส่วนของลำต้นใต้ดินที่เจริญผิดไปจากต้นปกติ ส่วนที่เรียกว่าตาจะเป็นรอยต่อของใบ ซึ่งเป็นตาข้าง ที่ปล้องไม่พัฒนาใน ตา ประกอบด้วยตา 3 ตา คือ หนึ่ง ตา ที่เป็นตาออกซิลารี่ และตาข้าง สอง ตา การเรียงตัวของตาบนหัวมันฝรั่งจะเรียงเป็นเกลียงจากด้านลำต้น ไปยังด้านปลาย ด้านปลายมีตายอดเมื่อแตกหน่อตานี้จะเจริญก่อนและจะข่มไม่ให้ตาข้างแตก การเจริญของหัวเริ่มที่บริเวณภายในส่วนปลายขยายตัวใหญ่ขึ้นปล้องที่อยู่ถัดจากตายอดจะหนาขึ้น โดยที่มีการแบ่งตัวของเซลล์ในส่วนของไส้ จากนั้นเซลล์ในชั้นคอร์เทกซ์และเพอริเมดุลลาร์ ก็แบ่งตัว ซึ่งเซลล์ในเพอริเมดุลลาร์นี้ จะเจริญเป็นเนื้อของหัว หัวที่เจริญเต็มที่ประกอบด้วยปล้องประมาณ 6-11 ปล้องขึ้นกับขนาดของหัว

ในเซลล์พาเรนคิมา โดยเฉพาะเซลล์ที่ไม่มีแป้งในบริเวณเพอริพเฟอรีและไส้ มักจะพบผลึกโปรตีน แต่ผลึกโปรตีนนี้จะหายไปในระหว่างการเก็บรักษาและงอก ขนาดของผลึกโปรตีนประมาณ 10-25 ไมโครมิเตอร์ประกอบด้วยไลซีน 14 และกรดอะมิโนตัวอื่นๆ และอาร์เอ็นเอ (RNA) ส่วนแป้งจะอยู่ในเนื้อเยื่อสะสมพาเรนคิมา และอยู่ในเนื้อเยื่อสะสมพาเรนคิมา และลาเมลีในหัวมีแป้งประมาณ 10-25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสด บางพันธุ์อาจมีถึง 35 เปอร์เซ็นต์ บริเวณที่มีแป้ง สะสมอยู่มากที่สุดคือมัดท่อลำเลียง ปริมาณแป้งจะลดลงเมื่อเก็บหัวมันไว้ที่อุณหภูมิต่ำ แป้งจะถูกสร้างขึ้นโดยอะไมโลพลาส

6) ดอก (Flower) ดอกมันฝรั่ง เป็นดอกช่อชนิดไซม์ คือ ก้านของดอกแตกเป็น 2 กิ่งแต่ละกิ่งจะแตกออกไปอีกมากกว่า 2 แขนงย่อย ดอกย่อยแต่ละดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยงมี 5 กลีบ ติดกันที่โคน ทำให้เป็นรูประฆังหุ้มส่วนของดอกไว้ กลีบดอก 5 กลีบ มีสีขาว เหลืองม่วงหรือน้ำเงินขึ้นกับพันธุ์ กลีบดอกติดกันที่โคนกลีบ ทำให้เห็นเป็นหลอด เกสรตัวผู้มี 5 อันติดกันเป็นกรวยหุ้มเกสรตัวเมียไว้ ก้านเกสรตัวผู้ติดกันกับกลีบดอกที่ส่วนโคนกลีบอับเรณู จะแตกเป็นรูที่ปลายปล่อยละอองเกสรออกมา ส่วนเกสรตัวเมียเป็นชนิด 1 รังไข่ มี 2 คาเปล 2 โลคู ภายในมีไข่อ่อน เป็นจำนวนมาก

7) ผล (Berries) มันฝรั่งมีผลที่เรียกว่าเบอร์รี่ รูปร่างกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-0.7 นิ้วมีสีเขียว หรือสีม่วง ภายในผลมีเกล็ดเป็นจำนวนมาก ประมาณ 300 เมล็ดต่อผล

8) เมล็ด (Seed) เมล็ดมันฝรั่ง มีรูปร่างแบนกลม หรือรูปไข่ มีสีเหลือง น้ำตาลเปลือกบางมีเซลล์ 2-3 เซลล์ เมล็ดที่แก่เปลือกจะประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ ชั้นนอก มีเซลล์หนาเพียงชั้นเดียว ชั้นกลาง และชั้นใน ภายในเมล็ดมีต้นอ่อนเป็นรูปตัวยู (บัณฑูรย์, 2546)

พันธุ์ของมันฝรั่งแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 2 กลุ่ม

1) พันธุ์พื้นเมือง (Native variety) เป็นพันธุ์ซึ่งชาวเขาเผ่าต่างๆ และจีนฮ่อที่อพยพมาอยู่ตามท้องที่เขตอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และตามภูเขาในเขตจังหวัดเชียงรายนิยมปลูกกัน พันธุ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นี้เข้าใจว่าปลูกกันมานานแล้วทางภาคเหนือ เรียกว่า อาลู มีหัวขนาดเล็กกว่าพันธุ์ต่างประเทศ ลักษณะหัวกลม ค่อนข้างยาว เนื้อสีขาวแกมเหลือง เปลือกสีม่วงอ่อนหรือน้ำตาลอ่อน เปลือกหนา เนื้อเมื่อทอดกรอบมีรสขื่นเล็กน้อย ลำต้นใหญ่ ใบใหญ่กว่าพันธุ์ต่างประเทศอย่างชัดเจน ตลาดให้ราคาพันธุ์พื้นเมืองต่ำกว่าพันธุ์ต่างประเทศ การปลูกในฤดูฝนเริ่มปลูกในเดือนพฤษภาคม และขุดเก็บหัวในเดือนสิงหาคมหรือต้นเดือนกันยายน หัวมันที่เก็บในรุ่นนี้ใช้ทำพันธุ์ปลูกในฤดูหนาวได้ดีแต่ส่วนมากมักจะถูกส่งออกสู่ท้องตลาดเพื่อการบริโภค เพราะในฤดูฝนมันฝรั่งในตลาดมีปริมาณน้อยและราคาแพงส่วนพันธุ์สำหรับใช้ฤดูหนาวชาวเขาเก็บรักษาไว้เอง

2) พันธุ์ต่างประเทศ (Introduced variety) นำเข้าจากประเทศเนเธอร์แลนด์ มาปลูกทดสอบในประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2494 ได้พันธุ์ที่เหมาะสมและส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปปลูก ต่อมาได้มีการนำพันธุ์จากประเทศอื่นเข้ามาทำการทดสอบคัดเลือก นอกจากนี้กรมวิชาการเกษตรได้ทำการวิจัยปรับปรุงพันธุ์ขึ้นภายในประเทศด้วย พันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมีดังนี้

2.1) บินเจ (Bintje) ปลูกเป็นการค้าสำหรับบริโภคสดและแปรรูป ลักษณะหัวกลมยาว เปลือกบางสีค่อนข้างขาว เนื้อในค่อนข้างเหลือง เนื้อร่วนซุย รสดี หัวโตมีขนาดยาว 15 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 เซนติเมตร ทนทานต่อความแห้งแล้งและโรคดี ยกเว้นโรคไม้และโรค wart อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 110 วัน ปัจจุบันไม่มีการสั่งเข้ามาเพาะปลูกระยะหลังพบว่าอ่อนแอนต่อโรคและให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ

2.2) เมอร์ก้า (Mirka) อายุเก็บเกี่ยว 110-120 วัน ผลผลิตสูง หัวยาวรี ตาที่หัวตื้น เนื้อในสีเหลือง มีใบมากพอสมควร ทนทานความแห้งแล้งได้ดี ไม่ต้านทานต่อโรคใบไหม้แต่ต้านทานต่อโรคใบม้วนและเชื้อวิสาได้ดี เป็นโรค wart ได้ง่าย พันธุ์นี้นำเข้าจากประเทศเชกโกสโลวาเกีย

2.3) สปุนต้า (Spunta) นำมาจากประเทศเนเธอร์แลนด์ อายุเก็บเกี่ยว100-120 วัน ให้ผลผลิตสูงแต่ปริมาณของแป้งต่ำ มีการเจริญเติบโตเร็ว หัวใหญ่และยาว ตาที่หัวตื้น เนื้อในสีเหลืองอ่อน ทนทานความแห้งแล้งได้ดี ต้านทานโรคใบไหม้ดีพอสมควร เป็นโรคใบม้วนได้ง่าย แต่ต้านทานเชื้อวิสาและโรค wart ได้ดี เนื้อในเมื่อต้มแล้วแน่น สีเนื้อในสม่ำเสมอ นิยมปลูกสำหรับบริโภคสด

2.4) โดนาต้า (Donata) มาจากประเทศสก๊อตแลนด์ อายุเก็บเกี่ยว 130-140 วัน เจริญเติบโตรวดเร็ว หัวมีขนาดใหญ่และสม่ำเสมอ ลักษณะรี ผิวหัวสีเหลืองอ่อน ผิวเรียบ ตาตื้น เนื้อในสีขาว เป็นโรค wart โรคใบไหม้ และโรค scab ค่อนข้างง่าย แต่ต้านทานโรคใบม้วนได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5) เคนนีเบค (Kennebec) เป็นพันธุ์ดั้งเดิมจากสหรัฐอเมริกา หัวกลมรี ผิวหัวสีเหลืองอ่อน เรียบ เนื้อสีขาว ทนแล้งได้ดี เหมาะสำหรับแปรรูปเป็นมันทอดแผ่นบาง (potato chips) อายุเก็บเกี่ยว 100-120 วัน

2.6) แอตแลนติก (Atlantic) มีถิ่นกำเนิดจากสหรัฐอเมริกา อายุเก็บเกี่ยว 100-120 วัน ลักษณะหัวกลมขนาดปานกลาง ผิวสีเหลือง เนื้อสีขาวครีม เริ่มทดลองปลูกโดยบริษัทสยามสแน๊ค จำกัด ปี 2534-2535

2.7) รัสเซ็ท เบอร์แบงค์ (Russet Burbank) เป็นพันธุ์จากสหรัฐอเมริกา ลักษณะผิวสีน้ำตาลและหยาบ ผลผลิตไม่ดี และไม่ต้านทานโรค ปัจจุบันไม่มีการปลูกในประเทศไทย (สุวพงษ์, 2542)

มันฝรั่งที่ผลิตในประเทศไทยแบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์เป็น 2 ลักษณะ คือ

1) มันฝรั่งบริโภคสด ส่วนใหญ่ใช้พันธุ์สปุนต้า ปริมาณการบริโภคสดภายในประเทศ 8000 – 9000 ตัน ใช้หัวพันธุ์นำเข้าจากต่างประเทศ ผลผลิตส่วนใหญ่มาจากสมาชิกสหกรณ์ผู้ปลูกมันฝรั่งจังหวัดเชียงใหม่จำกัด

2) มันฝรั่งแปรรูปส่วนใหญ่นิยมใช้พันธุ์เคนนีเบค แอตแลนติก และควินต้า ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลน้อยกว่าพันธุ์สปุนต้า ปริมาณน้ำเข้าหัวพันธุ์มันฝรั่งแปรรูปนั้นปีละประมาณ 700 ตัน

เนื่องจากหัวมันฝรั่งมีคุณค่าทางอาหารสูง คือมีปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมัน แต่ธาตุ และไวตามินบางอย่างอยู่ในเกณฑ์สูง ดังนั้นจึงใช้เป็นอาหารประจำวันได้อย่างดี นอกจากนี้ ประโยชน์ที่ได้จากหัวมันฝรั่งยังสามารถจำแนกได้ดังนี้

1) ใช้เป็นอาหารมนุษย์โดยตรง ประชากรในยุโรปและอเมริการับประทานมันฝรั่งในรูปต่างกันเป็นอาหารหลักแทนข้าว ส่วนในประเทศไทยบริโภคมันฝรั่งน้อยมาก เช่น เป็นส่วนประกอบของอาหารคาว และทำขนม

2) ใช้ในอุตสาหกรรมทำแป้งและอื่นๆ เช่น มั่นฝรั่งทอด น้ำตาลกลูโคส และ เด็กทรินนำมาทำกาวและสารให้ความเหนียวต่างๆ

3) ใช้ในอุตสาหกรรมการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ และกรดซิตริค

4) ใช้เลี้ยงสัตว์ เช่น วัว ควาย และสุกร โดยใช้ในรูปหัวสด ต้ม หรือ ทำเป็นอาหารหมัก นอกจากหัวแล้ว ยอดและใบสามารถนำไปต้มรับประทานแทนผักได้ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของหัวมันฝรั่งสดและแห้งต่อน้ำหนัก 10 กรัม

องค์ประกอบ	มันฝรั่งสด	มันฝรั่งแห้ง
พลังงาน (กิโลแคลลอรี่)	80.0	321.0
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	78.0	11.7
โปรตีน (กรัม)	2.1	8.4
ไขมัน (กรัม)	0.1	0.4
คาร์โบไฮเดรต(กรัม)	18.5	74.3
เถ้า (กรัม)	1.0	4.0
เบต้าแคโรทีน (มิลลิกรัม)	เล็กน้อย	เล็กน้อย
ไทอะมีน(มิลลิกรัม)	0.1	0.4
ไรโบฟลาวิน(มิลลิกรัม)	0.04	0.16
ไนอะซิน(มิลลิกรัม)	1.5	6.0
กรดแอสคอร์บิค (มิลลิกรัม)	20.0	80.0

ที่มา : Woolfe (1987)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved