บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ไวน์

ไวน์ (Wine, Vin, Vino, Vinho หรือ Weine) หมายถึงเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักน้ำองุ่นโดยใช้เชื้อยีสต์ ทำให้น้ำตาลบางส่วนหรือทั้งหมดในน้ำองุ่นกลายเป็นแอลกอฮอล์ โดยควบคุมกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ไวน์เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีคุณภาพทางโภชนาการที่มนุษย์ใช้ดื่มแทนน้ำมาแต่ดึกดำบรรพ์ ไวน์สามารถทำได้จากผลไม้อื่นๆ ที่มีสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรทที่เพียงพอต่อการหมักได้ แต่จะมีชื่อเรียกต่างๆ กันไป โดยทั่วไปจะเรียกตามชื่อผลไม้ที่นำมาหมัก เช่น ไวน์หม่อน ไวน์มะเกี๋ยง ไวน์สตรอเบอรี่ ไวน์มะยม ไวน์สับปะรด และอื่นๆ (สมสุข ตังเจริญ และ อรวินท์ เลาหรัชตนันท์, 2536)

ไวน์เริ่มเป็นที่รู้จักกันตั้งแต่สมัยอียิปต์และบาบิโลเนียเก่า โดยเริ่มจากการที่ปล่อยน้ำองุ่นทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ยีสต์ในอากาศเจริญใช้น้ำตาล กรด และสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำองุ่นสร้างเป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์เล็กน้อย ทำให้ได้เครื่องดื่มที่มีรสชาติแปลกออกไป คนโบราณนิยมดื่มไวน์ที่มีน้ำตาลผสมเครื่องเทศสมุนไพรจากรากไม้ เปลือกดอกไม้ เมล็ดพืช เป็นเครื่องปรุงแต่งกลิ่นรสและกลิ่นให้หอมชวนดมและดื่ม ไวน์ทำจากน้ำผลไม้หลากหลายสายพันธุ์ มีปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำ มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย อาจมีหรือไม่มีรสหวานก็ได้ มีกลิ่นหอมจากผลไม้ชนิดนั้นๆ และกลิ่นหอมที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีตามธรรมชาติ ทำให้ไวน์แตกต่างจากเหล้าหรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์อื่นๆ (สมสุข ตังเจริญ และ อรวินท์ เลาหรัชตนันท์, 2536)

การจำแนกชนิดของไวน์สามารถจำแนกได้หลายแบบคือ

1. จำแนกตามสีของไวน์ (Amerine and Singleton, 1972) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1.1 ไวน์แดง (red wine) ทำจากองุ่นแดงหรือผลไม้สีแดง ไวน์แดงจะมีสีตั้งแต่สีแดงอ่อนๆ จนถึงสีแดงเข้ม(สีทับทิม) หรือสีม่วงเข้มซึ่งขึ้นกับประเภทขององุ่นที่นำมาทำไวน์ ไวน์แดงจะมีรสชาติ ความฝาด กลิ่น และความเข้มข้นมากกว่าไวน์ชนิดอื่นๆ แต่หวานน้อยกว่า

1.2 ไวน์ขาว (white wine) ทำจากองุ่นเขียวหรือผลไม้อื่น สีของไวน์จะมีระดับต่างๆ กัน ตั้งแต่สีเหลืองซีดจนถึงสีเหลืองทองใส ไวน์ขาวมีรสชาติอ่อน

1.3 ไวน์โรเซ่ (rose′ หรือ pink wine) มักได้จากการผสมระหว่างไวน์ขาวกับไวน์แดง หรืออาจได้จากการหมักองุ่นแดงหรือผลไม้สีแดงที่ควบคุมระยะเวลาในการสกัดสีออกจากผิว

ของเปลือกผลองุ่นให้ต่ำกว่าปกติ ไวน์ที่ได้จะมีสีชมพูระดับที่แตกต่างกันไปตั้งแต่สีชมพูอ่อนๆ จนถึงสีเกือบแดง มีลักษณะและรสชาติคล้ายไวน์ขาว

2. จำแนกตามปริมาณแอลกอฮอล์ที่มีในไวน์ (Vine, 1991) คือ

2.1 เทเบิลไวน์ คือไวน์ที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ระหว่าง 9-14%v/v และมีปริมาณแก๊ส CO_2 เพียงเล็กน้อย ซึ่งได้จากการหมักตามธรรมชาติ โดยไม่มีการเติมสิ่งหนึ่งสิ่งใดลงไป นิยมใช้ดื่มก่อนอาหารเพื่อเรียกน้ำย่อยหรือดื่มในระหว่างการรับประทานอาหาร

2.2 ฟอร์ติฟายด์ไวน์ (fortified wine) คือไวน์ที่มีการเติมแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ที่ได้จากการกลั่นเหล้าองุ่น หรือบรั่นดี (brandy) หรือเหล้าชนิดอื่นๆ (spirits)ลงไป เพื่อเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์ให้สูงขึ้นประมาณ12-24%v/v จึงสามารถเก็บได้นานกว่าเทเบิลไวน์โดยทั่วไปจะเป็นไวน์ที่มีความหวาน นิยมใช้รับประทานหลังอาหารหรือเรียกว่าเป็นไวน์ย่อยอาหาร เช่น port wine และเชอรี่ (sherry) แบ่งได้ 2 ชนิด

2.1.1 ไวน์ดื่มก่อนอาหาร (aperitif wine) เป็นไวน์ที่เติมแอลกอฮอล์ และมีการเพิ่มสี กลิ่น รส รากไม้ ยา และเครื่องเทศที่มีกลิ่นหอมลงไปด้วย

2.1.2 ไวน์ดื่มหลังอาหาร (dessert wine) เป็นไวน์ที่มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงมีการเพิ่มแอลกอฮอล์เข้าไปในไวน์เพียงอย่างเดียว เป็นไวน์ที่มีรสหวาน มีกลิ่นและแอลกอฮอล์มากกว่าไวน์ธรรมดา นิยมดื่มหลังอาหารเพื่อย่อยอาหาร

3. จำแนกตามปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในไวน์ ซึ่งขึ้นกับมาตรฐานของแต่ละประเทศ เช่นที่ประเทศออสเตรเลีย Wine Committee of The Royal Agricultural and Horticulture Society of South Australia (Rankine, 1989) กำหนดว่า

3.1 ไวน์ไม่หวาน (dry wine) คือไวน์ที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ไม่เกิน 7.5 กรัมต่อลิตร

3.2 ไวน์หวาน (sweet wine) คือไวน์ที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตั้งแต่ 10-200 กรัมต่อลิตรในบางแห่งจะแบ่งไวน์ตามความหวานออกเป็นหลายระดับ เช่น ไวน์ไม่หวาน ไวน์หวานเล็กน้อย (semi-dry wine) ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ระหว่าง 7.5-10 กรัมต่อลิตร ไวน์หวาน และไวน์หวานมาก (very sweet wine)

4. จำแนกตามปริมาณแก๊ส CO_2 (Vine, 1991) คือ

4.1 ไวน์ไม่มีฟอง (still wine) คือ ไวน์ที่มีแก๊ส CO_2 เพียงเล็กน้อยซึ่งเกิดจากการหมักตามธรรมชาติ โดยทั่วไปหมายถึง table wine มีปริมาณแอลกอฮอล์ระหว่าง 9-14%v/v

4.2 สปาร์คลิงไวน์ (sparkling wine) คือ ไวน์ที่มีการเติมแก๊ส CO_2 หลังการหมัก หรือไวน์ที่มีการหมักซ้ำ (refermentation) ในขวดอีกครั้งหนึ่ง เช่น แชมเปญ มีความซ่าเนื่องจากมีแก๊ส CO_2 บรรจุในขวด ปกติมีแอลกอฮอล์ 10-13 %v/v

5. จำแนกตามการเติมกลิ่นสมุนไพร (สันติ วงศ์สุวรรณ, 2532)

5.1 ไวน์ที่มีการเติมกลิ่นสมุนไพร (herbs) เปลือกไม้ รากไม้ พืชต่างๆ เครื่องเทศ (exotic spices) หรือสารสกัดให้กลิ่น เพื่อแต่งเติมปรับปรุงสีสันและกลิ่นหอม ปรับปรุงรสชาติให้กลมกล่อมขึ้น เช่น เวอร์มูท (vermouth) และมาตินี (matini)

5.2 ไวน์ที่ไม่มีการเติมกลิ่นสมุนไพร เครื่องเทศหรือสารสกัดให้กลิ่น

6. จำแนกตามโอกาสที่ดื่ม

6.1 ไวน์ดื่มก่อนอาหาร (aperitif wine) เป็นไวน์หวาน มีแอลกอฮอล์สูง ใช้ดื่มก่อนรับประทานอาหารเพื่อเรียกน้ำย่อย ปริมาณแอลกอฮอล์อาจสูงถึง 20%v/v ได้มาจากการเติมแอลกอฮอล์ ซึ่งอาจเติมในรูปของวิสกี้หรือบรั่นดี หรือวอดก้า (vodka) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ชนิดทานได้ ตัวอย่างของไวน์ชนิดนี้ได้แก่ ไวน์เชอรี่

6.2 ไวน์ดื่มระหว่างอาหาร หรือดื่มพร้อมอาหาร ไวน์ชนิดนี้ส่วนมากไม่หวาน มีแอลกอฮอล์ประมาณ 9-14%v/v

6.3 ไวน์ดื่มหลังอาหาร ได้แก่ พอร์ท (port) ครีมเชอรี่ (cream sherry) โทเก (tokay) และมาลากา (malaga)

สปาร์คลิงไวน์

ผู้ที่ค้นพบวิธีทำแชมเปญคนแรก เป็นนักสอนศาสนาในประเทศฝรั่งเศสชื่อ **ดอง เปอรินอง** (Dom Pe'rignon) เมื่อปี คศ. 1668-1715 โดยนำน้ำองุ่นมาหมักทำให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์โดยยีสต์ แต่น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ไม่หมด ดังนั้นเมื่อบ่มทิ้งไว้ก็จะเกิดการหมักได้แก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้น จึงทำให้มีความซ่ามากกว่าไวน์ทั่วไปและเป็นที่นิยมชมชอบมาก จากการค้นพบโดยบังเอิญนี้จึงทำให้มีการผลิต สปาร์คลิงไวน์เป็นอุตสาหกรรม

ประเภทของสปาร์คลิงไวน์ อาจแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ (Amerine et al., 1967)

ประเภทที่ 1 แก๊ส CO_2 ที่มากกว่าปกติในไวน์นี้เกิดจากการหมักครั้งแรก

ประเภทที่ 2 แก๊ส CO_2 ที่มากกว่าปกติในไวน์เกิดจาก Malo-lactic fermentation

ประเภทที่ 3 แก๊ส CO_2 ที่มากกว่าปกติในไวน์เกิดจากการหมักน้ำตาลที่เติมลงไปในไวน์ (เป็นการหมักครั้งที่สอง) ส่วนใหญ่สปาร์คลิงไวน์จะผลิตด้วยวิธีนี้

ประเภทที่ 4 แก๊ส CO_2 ที่มากกว่าปกติในไวน์เกิดจากการอัดแก๊ส CO_2 ไวน์ประเภทนี้เรียก carbonated wines

ปัจจุบันการหมักสปาร์คลิงไวน์แบบหมักครั้งที่สอง (ประเภทที่ 3) มี 2 แบบ

1. แบบหมักในขวด (fermentation in the bottle) มี 2 วิธี

1.1 วิธีการแบบดั้งเดิม หรือวิธีการแบบแชมเปญของฝรั่งเศส วิธีนี้จะบ่มโดยให้ไวน์สัมผัสตะกอนยีสต์เป็นเวลานาน และกำจัดตะกอนในขวดที่เกิดขึ้นในการหมักครั้งที่ 2 ด้วยวิธีพิเศษ จะได้สปาร์คลิงไวน์ที่มีคุณภาพดีที่สุด มีแก๊สอยู่มาก และมีราคาแพงที่สุด

1.2 วิธีการแบบถ่ายจากขวดลงสู่ถังสแตนเลส (transfer process) เป็นวิธีการที่เลียนแบบวิธีการดั้งเดิมของฝรั่งเศสโดยการหมักในขวดแต่จะใช้เวลาในการบ่มน้อยกว่า วิธีนี้จะได้สปาร์คลิงไวน์ที่มีคุณภาพดีพอสมควร และราคาปานกลาง

2. แบบหมักในถัง (bulk-process sparkling หรือ Charmat process sparkling wine หรือ tank-fermented) คุณภาพของสปาร์คลิงไวน์ชนิดนี้ไม่ดีนัก เนื่องจากฟองแก๊สจะหายไปเร็วมาก ทำให้สปาร์คลิงไวน์ชนิดนี้มีราคาไม่แพง

ขั้นตอนการทำสปาร์คลิงไวน์ (Amerine et al., 1967)

1. การเตรียมไวน์พื้นฐาน (base wine หรือ cuve'e) ไวน์พื้นฐานส่วนใหญ่มักเป็นไวน์ขาวไม่หวาน ที่มีการผสมไวน์หลายชนิดเพื่อปรุงแต่งกลิ่นรสให้มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งไวน์พื้นฐานที่ดีควรมีองค์ประกอบ ดังนี้

- มีกรดทั้งหมด 0.70 กรัมต่อ100 มิลลิลิตรไวน์ หรือสูงกว่านั้น
- มีกรดระเหยต่ำ คือควรต่ำกว่า 0.040 กรัมต่อ100 มิลลิลิตรไวน์ (คำนวณในรูปของกรดน้ำส้มสายชู) ซึ่งปริมาณกรดระเหยนี้จะเป็นตัววัดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดอื่นในไวน์
- มีปริมาณแอลกอฮอล์ปานกลางระหว่าง 11.0-11.5%v/v
- มี pH ต่ำกว่า 3.3
- มีปริมาณอัลดีไฮด์ต่ำ โดยอัลดีไฮด์จะเกิดขึ้นเนื่องจากการหมักไม่สมบูรณ์ (มีออกซิเจนอยู่มาก) หรืออาจเกิดในช่วงของการบ่มเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของแอลกอฮอล์ ซึ่งถ้ามีมากเกินไปจะทำให้กลิ่นรสของไวน์ไม่ดี
- มีปริมาณ Total SO_2 ระหว่าง 53-92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมี free SO_2 อยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย SO_2 ที่เหลือในไวน์ได้จากการเติมสารประกอบซัลเฟอร์หรือเกลือซัลไฟท์ในขั้นตอนของการฆ่าเชื้อด้วยสารเคมีในไวน์ ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้คือสารประกอบซัลเฟอร์หรือเกลือซัลไฟท์ เช่น โซเดียมหรือโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ การใช้ SO_2 นอกจากเพื่อทำลายจุลินทรีย์ ยังช่วยทำให้เกิดสารกลีเซอรอล (glycerol) ในปริมาณที่เหมาะสมที่จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของไวน์

ในด้าน body ของไวน์ และทำให้ไวน์มีรสชาติที่กลมกล่อม มีความสำคัญต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพราะมีรสหวานเล็กน้อยและให้ความรู้สึกคล้ายน้ำมัน (oiliness) นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของไวน์ (browning reaction) เนื่องจากซัลไฟท์ทำหน้าที่คล้ายสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น อย่างไรก็ตามถ้าใช้ซัลเฟอร์หรือเกลือซัลไฟท์ในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดความเป็นพิษ เป็นสารฟอกสีในไวน์บางชนิด และอาจทำให้กลิ่นรสของไวน์เปลี่ยนแปลง และเกิดกลิ่นแปลกปลอมในไวน์ได้ (ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน, 2542)

SO_2 (gas) ⟷ SO_2 (aq.)

SO_2 (aq.) + H_2O ⟷ H_2SO_3

H_2SO_3 ⟷ $H^+ + HSO_3^-$

HSO_3^- ⟷ $H^+ + SO_3^-$

$2HSO_3^-$ ⟷ $S_2O_5^{2-} + H_2O$

โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์เมื่ออยู่ในสภาพสารละลายจะมีสภาพเป็นกรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) และเปลี่ยนเป็น SO_2 ซึ่งจะแตกตัวออกเป็นไบซัลไฟท์ แบ่งเป็น 2 พวก คือ พวก free HSO_3^- form และ bound HSO_3^- form ที่สามารถรวมกับโปรตีน สารประกอบเพคติค อัลดีไฮด์ คีโตน เด็กซ์ตริน และน้ำตาลได้ จึงไม่มีฤทธิ์ในการทำลายจุลินทรีย์ ส่วน free HSO_3^- form จะมีฤทธิ์ในการทำลายจุลินทรีย์ ไบซัลไฟท์ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์มีผลในการทำลายประมาณร้อยละ 40-50 (Rankine, 1989) ไบซัลไฟท์จะแตกตัวเต็มที่ที่ pH 3.5 เมื่อเติมลงในน้ำหมักต้องทิ้งไว้อย่างน้อย 6 ชั่วโมง จึงจะเติมเชื้อยีสต์ลงไปในน้ำหมักได้มิฉะนั้นจะทำให้เชื้อยีสต์หยุดการเจริญหรือตาย ข้อควรระวังคือ ต้องคำนวณปริมาณที่ใช้ให้ถูกต้อง

การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตไวน์นิยมใช้ SO_2หรือเกลือซัลไฟท์ เช่น โซเดียมหรือโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ (Ough and Crowell, 1987) ซึ่งจะต้องเติมให้อยู่ในระดับที่คงอยู่ในรูป free SO_2 ในไวน์มากเพียงพอคือประมาณ 20-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพื่อรักษาคุณภาพของไวน์ ป้องกันการเจริญของแบคทีเรียอื่นๆ และการเกิดออกซิเดชั่นของไวน์ในระหว่างการผลิตจนกระทั่งบรรจุขวด (Margalit, 1990) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2544) กำหนดว่าไวน์มีปริมาณ Total SO_2 ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณของ free SO_2 ที่ต้องการในการช่วยรักษาคุณภาพของไวน์ขึ้นกับ pH ของไวน์ โดยที่ pH ต่ำ ปริมาณที่ใช้จะต่ำลง เพราะภาวะที่มีความเป็นกรดจะช่วยยับยั้ง หรือป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์อื่นๆ ได้ เช่น ในไวน์แดงที่ pH ประมาณ 3.4-3.6 ต้องการ free SO_2ประมาณ

10-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ Total SO_2 50-150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพื่อป้องกันหรือยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย และการออกซิเดชั่นในระหว่างกระบวนการผลิต (Patrick, Ewart and Sitter, 1993)

2. การเติมน้ำเชื่อมและกล้ายีสต์ลงในไวน์พื้นฐาน ของเหลวผสมระหว่างไวน์พื้นฐาน กล้าเชื้อยีสต์ และน้ำเชื่อม เรียก ทิเรจ (triage) ปริมาณน้ำเชื่อมที่จะเติมในไวน์พื้นฐาน คำนวณตามแรงดันของแก๊ส CO_2 ที่ต้องการ โดยเทียบว่าน้ำตาล 0.4% (4 กรัมต่อลิตร)จะให้แก๊ส CO_2 ที่มีแรงดัน 1 บรรยากาศ ดังนั้นถ้าต้องการแรงดันแก๊ส 6 บรรยากาศ (สปาร์คลิงไวน์โดยทั่วไปมีแรงดันแก๊สประมาณ 5-6 บรรยากาศ) จะต้องเติมน้ำตาลอีก 6x0.4 = 2.4 % และถ้าต้องการแรงดันแก๊ส 3 บรรยากาศ ตามที่กรมศุลกากรของไทย กำหนดไว้ว่า สปาร์คลิงไวน์ต้องมีแรงดันภายในขวดอย่างน้อย 3 บรรยากาศ (ศุลกากร, 2530) ดังนั้นจะต้องเติมน้ำตาลอีก 3x0.4 = 1.2% ส่วนเชื้อยีสต์ที่ใช้หมักควรมีคุณสมบัติพิเศษ ดังนี้ คือ

- สามารถทนแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูงๆได้ ทั้งนี้เนื่องจากไวน์พื้นฐานที่ใช้มักมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ค่อนข้างสูง (11.0-11.5 %v/v)
- สามารถทน SO_2 ได้ เพราะในไวน์พื้นฐานมักมีปริมาณ free SO_2 เหลือ เพื่อป้องกันจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ไม่ต้องการเจริญเติบโต (53-92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
- สามารถหมักได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (10-15 ^{0}C) เพราะแก๊ส CO_2 จะละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำๆ ซึ่งถ้าหมักที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้ขวดระเบิดได้ อีกทั้งในการหมักที่อุณหภูมิต่ำจะให้ฟองแก๊สที่ละเอียดกว่าหมักที่อุณหภูมิสูง
- สามารถหมักที่ระดับน้ำตาลต่ำๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะในการหมักสปาร์คลิงไวน์ จะเติมน้ำตาลลงในไวน์พื้นฐานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (โดยมากไม่เกิน 2.5 %) เพื่อให้ได้แรงดันภายในขวดตามที่ต้องการ ประมาณ 5-6 บรรยากาศ
- จับกันเป็นก้อนตกตะกอนได้ดีเมื่อสิ้นสุดการหมัก
- ให้กลิ่นรสที่ดีเมื่อมีการย่อยสลาย เนื่องจากกลิ่นรสที่เฉพาะของสปาร์คลิงไวน์ (กลิ่นแชมเปญ หรือ Champagne bouquet) จะเกิดขึ้นมากที่สุดในขั้นตอนของการบ่มกับตะกอนยีสต์ ซึ่งต้องใช้เวลานานมาก

ยีสต์แต่ละสายพันธุ์จะมีคุณสมบัติดังกล่าวนี้ไม่เท่ากัน นอกจากนี้แล้วในการหมัก สปาร์-คลิงไวน์ควรเติมแอมโมเนียมฟอสเฟตลงในไวน์ ซึ่งนิยมใช้ในรูปของ DAP ในปริมาณ 0.5-1.0 กรัมต่อลิตร เพื่อเป็นอาหารของยีสต์ โดยยีสต์จะใช้แอมโมเนียมในการเพิ่มจำนวนเซลล์ และใช้ในการสร้างโปรตีนที่จำเป็น เช่น สร้างโปรตีนที่ช่วยเพิ่มความทนทานต่อแอลกอฮอล์ในยีสต์ และสร้างเอนไซม์ชนิดต่างๆ เป็นต้น ส่วนฟอสเฟตนั้นยีสต์จะใช้รวมกับน้ำตาลในการสร้างพลังงานในรูปของ

ATP ดังนั้นถ้าในการหมักมี DAP ไม่เพียงพอต่อความต้องการของยีสต์ จะทำให้การเจริญเติบโตของยีสต์หยุดชะงักได้(Graham, 1993)

3. การหมัก ที่นิยมใช้กันมี 2 แบบ คือ (Amerine et al., 1967)

3.1 การหมักในขวด (fermentation in the bottle) มี 2 แบบ คือ

3.1.1 แบบดั้งเดิม ใช้ในการผลิตแชมเปญของฝรั่งเศส วิธีนี้ต้องใช้เวลานาน สิ้นเปลืองแรงงานมาก และที่สำคัญต้องใช้ความชำนาญสูง การหมักต้องทำในขวดพิเศษที่เรียกว่า ขวดแชมเปญ (ทำจากแก้วหนา ก้นขวดเว้าเป็นหลุมเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และทนต่อแรงดันสูง) โดยหมักที่อุณหภูมิ 15.6 ^{0}C (60^{0}F) หรือต่ำกว่านั้น คือ ประมาณ 10-12 ^{0}C เป็นเวลา 1-2 เดือน ในช่วงของการหมักไม่ควรมีการเขย่าหรือสั่นขวดเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ปี (โดยมากจะใช้เวลาประมาณ 2 ปี) เพื่อให้ยีสต์ตกตะกอนและตาย เกิดการบ่มของไวน์กับตะกอนของยีสต์ เทคนิคนี้มีความสำคัญมากเพราะจะทำให้เกิด **กลิ่นแชมเปญ** เมื่อสิ้นสุดการหมักบ่ม ขวดจะถูกวางปักลงบนขาตั้งสำหรับเอียงขวดเพื่อให้ตะกอนยีสต์เคลื่อนมารวมกันที่คอขวด เรียกขั้นตอนนี้ว่า **riddling process** ซึ่งจะทำร่วมกับการหมุนขวด โดยจะขยับขวดหมุนไปทีละน้อย (1/8 รอบของขวด) จากนั้นจะถึงขั้นตอนของการกำจัดตะกอน ที่เรียกว่า **disgorging** ทำโดยนำขวดแชมเปญไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 7.2^{0}C (40^{0}F) นานหนึ่งคืน แล้วจุ่มปากขวดประมาณ 2-3 นิ้วลงใน subfreezing bath (อาจเป็นน้ำแข็งผสมกับเกลือ $CaCl_2$) เพื่อทำให้ตะกอนยีสต์และไวน์ที่อยู่บริเวณคอขวดแข็งตัว จากนั้นเปิดจุกให้แรงดันของแก๊สดันตะกอนของยีสต์ที่เป็นน้ำแข็งออกจากขวด เติมไวน์หรือน้ำเชื่อมลงไปทดแทนไวน์ที่หายไป เรียกขั้นตอนนี้ว่า **dosage**

3.1.2 แบบถ่ายจากขวดสู่ถัง วิธีการผลิตแบบถ่ายจากขวดสู่ถัง เป็นการปรับปรุงดัดแปลงวิธีการหมักในขวดโดยหมักในขวดขนาดใหญ่ก่อน เมื่อเสร็จสิ้นการหมักในขวดก็จะถ่ายไวน์พร้อมตะกอนยีสต์ลงในถังสแตนเลสปิดสนิทที่ทนแรงดันสูง เติมน้ำเชื่อมลงไปแล้วบรรจุขวดโดยผ่านระบบการกรอง ข้อเสียของวิธีการนี้คืออาจเกิดการเติมอากาศ (ออกซิเดชั่น) ทำให้กลิ่นรสและสีของสปาร์คลิงไวน์เปลี่ยนไป

3.2 การหมักในถัง เป็นการหมักโดยใช้ถังสแตนเลสปิดสนิทที่ทนแรงดันสูง และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยจะควบคุมอุณหภูมิในการหมักประมาณ 50-75 ^{0}F ใช้เวลา 2 สัปดาห์ มีการกวนตะกอนยีสต์เพื่อไม่ให้ตะกอนรวมตัวกัน และเพื่อป้องกันการแตกของเซลล์ยีสต์ซึ่งอาจก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ แยกตะกอนยีสต์ออกด้วยการกรอง แล้วบ่มต่ออีกระยะที่อุณหภูมิ 0 ถึง –4 ^{0}C เพื่อกำจัดทาร์เทรต (tartrates) ที่มากเกินไป กรองไวน์ภายใต้สุญญากาศเพื่อกำจัดยีสต์และผลึกทาร์เทรต แล้วบรรจุขวดพร้อมกับเติมน้ำเชื่อมผสม SO_2 เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของยีสต์ที่อาจผ่านการกรองและป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น ในการผลิตสปาร์คลิงไวน์

ในทางอุตสาหกรรมนิยมผลิตด้วยวิธีการหมักในถังมากกว่าหมักในขวด เนื่องจากการกำจัดตะกอนในการหมักในขวดทำได้ยากกว่าการหมักในถัง

สปาร์คลิงไวน์ที่ดีควรมีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ (Pool and Henick-Kling, 1989)

- มีปริมาณแอลกอฮอล์ระหว่าง 12-13 %v/v
- มีปริมาณน้ำตาล ขึ้นอยู่กับการเติมหลังการหมักครั้งที่สอง
- มีปริมาณ Total SO_2 ระหว่าง 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรืออาจสูงถึง 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- มีปริมาณกรดทั้งหมดระหว่าง 0.73-0.84 กรัมต่อ100 มิลลิลิตรไวน์(รูปกรดทาร์ทาริค)
- มี pH ระหว่าง 2.9-3.6

ในการประเมินทางประสาทสัมผัส ลักษณะของสปาร์คลิงไวน์ที่ใช้ในการทดสอบ (Pool and Henick-Kling, 1989) มีดังนี้

ลักษณะปรากฏ

การประเมินลักษณะปรากฏ (visual evaluation) แบ่งเป็น 4 ส่วน

1. ลักษณะของฟองแก๊สที่ปกคลุมผิวหน้าสปาร์คลิงไวน์เมื่อรินลงในแก้ว (evaluating the foam or head) แบ่งตามลักษณะได้ดังนี้

1.1 มีฟองแก๊สปกคลุมผิวหน้าทั้งหมดของสปาร์คลิงไวน์ (มีคุณภาพดีที่สุด)

1.2 มีฟองแก๊สปกคลุมผิวหน้าของสปาร์คลิงไวน์เพียงครึ่งเดียว (มีคุณภาพดี)

1.3 มีฟองแก๊สปกคลุมผิวหน้าของสปาร์คลิงไวน์เพียงหนึ่งในสี่ (มีคุณภาพดีปานกลาง)

1.4 มีฟองแก๊สเกาะที่ผิวด้านในของแก้วเพียงเล็กน้อย (มีคุณภาพดีเล็กน้อย) เป็นคุณลักษณะที่ต่ำที่สุดที่ยังสามารถยอมรับได้ว่าเป็นสปาร์คลิงไวน์

1.5 ไม่มีฟองแก๊สบนผิวหน้าเลย เป็นคุณลักษณะที่ยอมรับไม่ได้ในสปาร์คลิงไวน์

ส่วนในเรื่องของความต่อเนื่องของการมีฟองแก๊ส ถ้ามีฟองแก๊สนาน 10-20 นาที ถือว่ามีคุณภาพดีมาก ถ้ามีฟองแก๊สนาน 1-3 นาที ถือว่ามีคุณภาพปานกลาง และถ้าฟองแก๊สหายไปภายใน 5 วินาที ถือว่าไม่มีฟองแก๊ส (none foam) ฟองแก๊ส CO_2 ที่ปกคลุมผิวหน้าของสปาร์คลิงไวน์ นอกจากจะให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ดีแล้ว ยังช่วยป้องกันการระเหยของแก๊ส CO_2 ทำให้สปาร์คลิงไวน์มีความซ่าอยู่ได้นาน

แก๊ส CO_2 เมื่ออยู่ในสปาร์คลิงไวน์จะอยู่ในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

- อยู่ในรูปของฟองแก๊ส CO_2 เล็กๆ แขวนลอยอยู่ในสปาร์คลิงไวน์
- อยู่ในรูปของ CO_2 ที่รวมตัวอยู่กับน้ำ

- อยู่ในรูปของ CO_2 ที่ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ ได้เป็นกรดคาร์บอนิค ซึ่งปฏิกิริยาเคมีที่เกิดระหว่างน้ำกับ CO_2 มีดังนี้

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons CO_2 \bullet H_2O \quad \text{(moderately fast: function of mixing)}$$

$$CO_2 \bullet H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \quad \text{(very very slow)}$$

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+ \quad \text{(very fast)} \qquad pK_a = 6.38$$

ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของแก๊ส CO_2 ในน้ำ มีดังนี้

- แรงดันแก๊ส CO_2 ที่มีแรงดันของแก๊ส CO_2 สูงๆ การละลายของแก๊สจะดีกว่าที่แรงดันแก๊ส CO_2 ต่ำๆ
- องค์ประกอบของน้ำ ถ้ามีสารละลายอื่นปนอยู่มากการละลายของแก๊ส CO_2 จะลดลง
- อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิต่ำการละลายของแก๊ส CO_2 จะสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง
- วิธีการผสมระหว่างแก๊ส CO_2 กับน้ำ

2. ลักษณะของฟองแก๊สที่เกิดขึ้น (evaluating the gas bubbles) ในการเสิร์ฟสปาร์คลิงไวน์ จะเสิร์ฟที่อุณหภูมิ 4-7 ^{0}C เนื่องจากว่าที่อุณหภูมิดังกล่าว ฟองแก๊สจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และใช้เวลานาน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วในการเกิดฟองแก๊สมีหลายประการ

- สปาร์คลิงไวน์ที่มี กลีเซอรอล น้ำตาล และเปปไทด์ละลายอยู่ จะทำให้ฟองมีขนาดเล็กและเกิดขึ้นอย่างช้าๆ
- สปาร์คลิงไวน์ที่หมักที่อุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาในการหมักนาน จะให้ฟองแก๊ส CO_2 เล็กและละเอียดกว่าสปาร์คลิงไวน์ที่หมักที่อุณหภูมิสูง และใช้เวลาในการหมักสั้น

3. สีและความใส (color and clarity) สปาร์คลิงไวน์ควรมีลักษณะใสและไม่มีตะกอน ทั้งนี้ถ้าเป็นไวน์แดงอาจเกิดตะกอนขึ้นได้ อันเนื่องจากสีของแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิค (phenolic compounds) หรือฟีนอล (phenols)
สารประกอบฟีนอลิค มีหลายชนิด เช่น colorless compounds, non flavonoids รวมถึงสารประกอบที่ให้สีที่มีขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง ฟลาโวนอยด์ สารสี หรือรงควัตถุ และแทนนินซึ่งมาจากผลไม้ สารประกอบนี้มีการเปลี่ยนแปลงได้ในระหว่างกระบวนการหมักไวน์หรือการบ่ม ฟีนอลที่สกัดได้จากผลไม้จะแสดงรวมในรูปของกรดแกลลิค (gallic acid) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 2000-6000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในไวน์แดงโดยทั่วไปจะมีฟีนอลทั้งหมด (ในรูปของกรดแกลลิค) 1400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคาดว่าเป็นพวก nonflavonoid อย่างน้อย 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

เป็นแอนโธไซยานินประมาณ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร สารประกอบฟลาโวนอยด์ เช่น catechin, epicatechin, gallocatechin, epigallocatechin และ epicatechin gallate มีประมาณ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟลาโวนอยด์อื่นๆ เช่น quercertin, kaempferol และ myricetin derivatives มีประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีสารโมเลกุลใหญ่ของแอนโธไซยานินที่รวมอยู่กับแทนนินอีกประมาณ 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของฟีนอลทั้งหมดในไวน์จะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ขององุ่น สภาวะการปลูก วิธีการหมัก สภาวะในการหมักไวน์ และการบ่มไวน์ รงควัตถุหลักที่มีผลต่อสีและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไวน์แดงคือ แอนโธไซยานินและแทนนิน ปริมาณแทนนินที่มีในไวน์จะช่วยให้แอนโธไซยานินและสีของไวน์มีความคงตัว (Zoecklein et al., 1995)

4. ขาไวน์ (legs or tears formation) เป็นลักษณะการไหลของน้ำไวน์บนผิวแก้วด้านในโดยขาไวน์เป็นตัวบอกถึง body ของไวน์ สปาร์คลิงไวน์ที่ดีควรมีขาไวน์ที่เล็กและชัดเจน

ลักษณะด้านกลิ่น

การประเมินลักษณะด้านกลิ่นด้วยการสูดดมด้วยจมูก (evaluation by nose) กลิ่นในสปาร์คลิงไวน์ จะแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. Primary aromas เป็นกลิ่นที่เกิดจากตัวผลไม้ที่ใช้ทำไวน์ โดยผลไม้แต่ละชนิดจะให้กลิ่นที่ไม่เหมือนกัน

2. Secondary aromas เป็นกลิ่นที่เกิดในช่วงของการหมักไวน์ ซึ่งอุณหภูมิจะมีผลต่อกลิ่นที่เกิดขึ้น โดยถ้าหมักที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดกลิ่นที่ดีกว่าหมักที่อุณหภูมิสูง

3. Tertiary aromas เป็นกลิ่นที่เกิดในช่วงของการบ่ม โดยกลิ่นที่เกิดในช่วงนี้นอกจากจะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกรดอินทรีย์กับแอลกอฮอล์ได้สารพวกเอสเทอร์แล้ว ยังมีกลิ่นเกิดจากการย่อยสลายตัวเองของยีสต์ด้วย

ลักษณะด้านความรู้สึกเมื่อบริโภค

การประเมินเมื่ออยู่ในปาก (evaluation by mouth) พิจารณาจาก

1. การปลดปล่อยแก๊สในปาก (release of gas in the mouth)
2. การปลดปล่อยแก๊สในกระเพาะ (release of gas in the stomach)
3. ความเปรี้ยว (acidity)
4. ความหวาน (sugar) ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลที่เติมลงไปหลังการหมักครั้งที่สอง
   - Extra – Brut (Natural) มีน้ำตาลอยู่ 0-6 กรัมต่อลิตร
   - Brut ต้องมีรสชาติที่สมดุลกันระหว่างกรดกับน้ำตาล ยกตัวอย่างเช่น ถ้ามีกรดทาร์ทาริค 0.73 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร ต้องเติมน้ำตาลเท่ากับ 0.6 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร แต่ถ้า

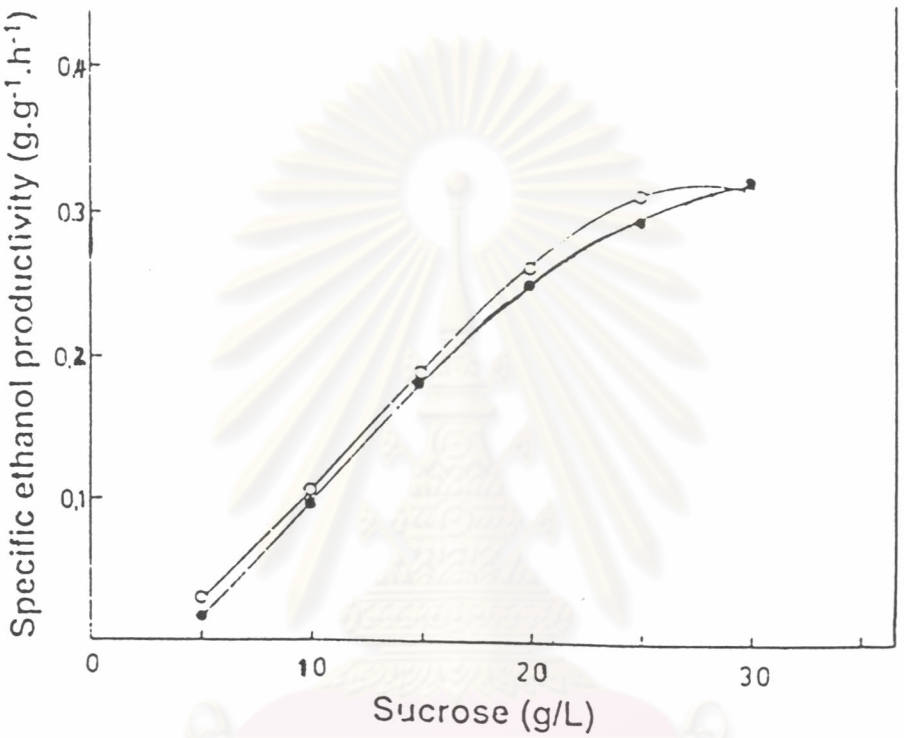
มีกรดทาร์ทาริค 1 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร ต้องเติมน้ำตาลเท่ากับ 1.2 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร ในการเตรียมน้ำเชื่อมสำหรับปรับน้ำตาลใน สปาร์คลิงไวน์ (Amerine et al., 1967) ทำโดยเอาบรั่นดีผสมกับไวน์ (ให้ได้แอลกอฮอล์ 20%)และเติมน้ำตาลทรายอีก 50% จากนั้นเติม SO_2 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

- Extra – Dry มีน้ำตาลอยู่ 1.2-2.0 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร
- Dry (Sec)มีน้ำตาลอยู่ 1.7-3.5 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร
- Semi – Dry มีน้ำตาลอยู่ 3.3-6.0 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร
- Sweet (Doux) มีน้ำตาลอยู่มากกว่า 5.0 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร

5. Body หมายถึงความเข้มข้นของไวน์
6. Aroma by mouth ควรมีกลิ่นรสที่ดี ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม
7. Aftertaste ควรมีกลิ่นรสที่ดี และมีกลิ่นรสค้างในปากอยู่นาน

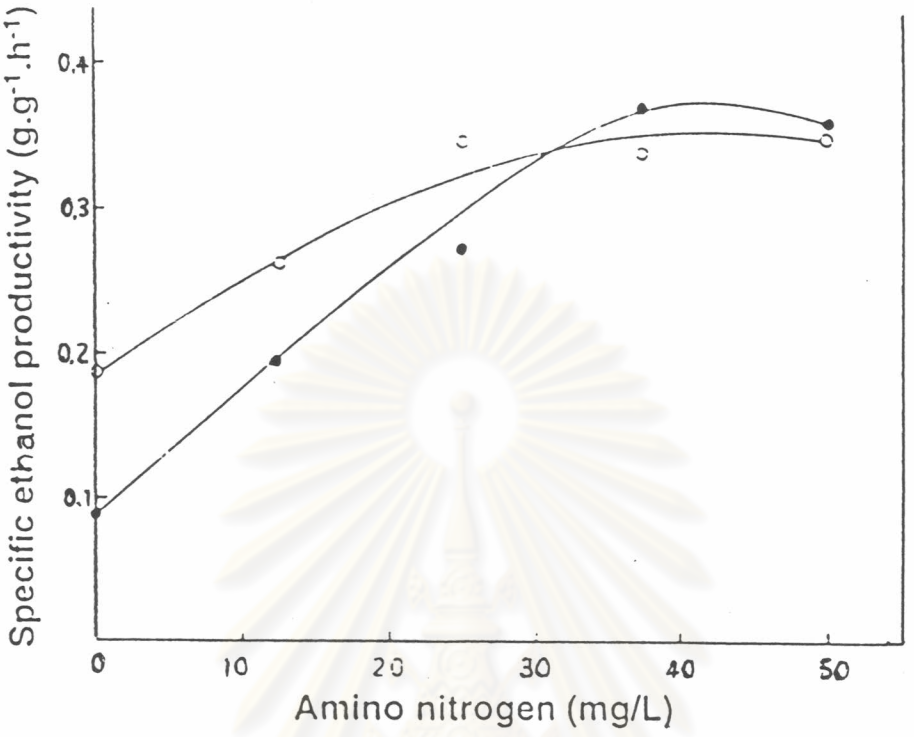
การผลิตสปาร์คลิงไวน์ นอกจากทำจากไวน์องุ่นแล้ว ยังสามารถผลิตจากไวน์ผลไม้ชนิดอื่นได้ด้วย เช่น จากลูกแพร์ ลูกแอปเปิ้ล ลูกพลัม ฯลฯ จากงานวิจัยของ ประดิษฐ์ ครุวัณณา และคณะ (2533) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไวน์และสปาร์คลิงไวน์จากดอกกระเจี๊ยบ พบว่าเชื้อยีสต์แต่ละสายพันธุ์สามารถหมัก สปาร์คลิงไวน์ได้ไม่เหมือนกัน โดยสายพันธุ์ยีสต์ที่เหมาะสมในการหมักแชมเปญ คือ *Saccharomyces cerevisiae* CP12 ส่วนการเติมกากเปลือกองุ่น (5.5% โดยน้ำหนัก) หรือกากเปลือกองุ่นผสมเซลลูโลสและยูเรีย(0.05%)หรือ DAP (0.05%) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักไวน์ดอกกระเจี๊ยบ และเมื่อนำไวน์ดอกกระเจี๊ยบมาผลิตเป็นสปาร์คลิงไวน์แบบอัดแก๊ส CO_2 และแบบให้แก๊สเกิดขึ้นเองด้วยการหมักครั้งที่สองแบบ Champagne method พบว่าสปาร์คลิงไวน์ที่ได้ทั้งสองแบบเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Tchorbanov และคณะ (1993) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหมักแบบ หมักในขวดในไวน์แอปเปิ้ล โดยศึกษาปัจจัยเรื่อง ความเข้มข้นของน้ำตาล แหล่งของไนโตรเจนที่ใช้ในการหมัก ความเป็นกรด-ด่าง(pH) และความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ พบว่า อัตราการหมักของยีสต์จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำตาลที่ระดับต่ำๆเท่านั้น โดยถ้าความเข้มข้นของน้ำตาลน้อย อัตราการหมักก็จะน้อย และถ้าความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้นอัตราการหมักของยีสต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเท่ากับ 2.5% ยีสต์จะมีอัตราการหมักที่สูงที่สุด (เติม DAP จำนวน 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ดังแสดงในรูปที่ 1 ในทำนองเดียวกันความเข้มข้นของ DAP ก็มีผลต่ออัตราการหมักของยีสต์ที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆเช่นกัน โดยอัตราการหมักของยีสต์จะมีค่าสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นของ DAP เท่ากับ 35-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 2 *Saccharomyces oviformis* strain Varna-1 สามารถหมักได้ดีที่สุดที่ pH เท่ากับ 3.4 และ

Saccharomyces oviformis strain Epernet 1 สามารถหมักได้ดีที่สุดที่ pH เท่ากับ 3.9-4.0 (เติม DAP จำนวน 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้ำตาล 30 กรัมต่อลิตร) สุดท้ายประสิทธิภาพในการหมักจะลดลง เมื่อความเข้มข้นของแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น



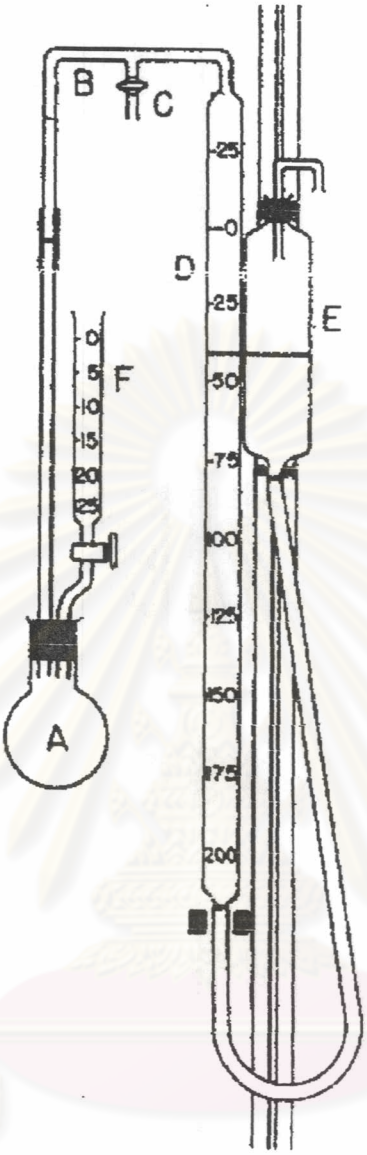
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาล (g/l) กับ specific ethanol productivity ($g.g^{-1}h^{-1}$) (Tchorbanov et al.,1993)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ DAP (mg/l) กับ specific ethanol productivity ($g.g^{-1}h^{-1}$) (Tchorbanov et al.,1993)

ในการติดตามการหมักของยีสต์สามารถทำได้โดย ติดตามจากปริมาณวัตถุดิบที่หายไป ได้แก่ น้ำตาล หรืออาจติดตามจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ยีสต์สร้างขึ้น ได้แก่ แอลกอฮอล์ และแก๊ส CO_2 ตามสมการของ Gay-Lussac ซึ่งในการทดลองนี้จะติดตามการหมักของยีสต์โดยติดตามจากปริมาณแก๊ส CO_2 ที่ยีสต์สร้างขึ้น โดยประยุกต์การวัดแก๊ส CO_2 จากเครื่องวัดปริมาณแก๊ส CO_2 (A.O.A.C., 1995) ตามรูปที่ 3



Chittick apparatus for gasometric determination of carbon dioxide

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3 เครื่องวัดปริมาณแก๊ส CO_2 Chittick apparatus (A.O.A.C.,1995)

ซึ่งในการคำนวณจากสมการของกฎแก๊สสมบูรณ์ มีดังนี้

$$PV = nRT$$

โดย P = แรงดันภายในระบบ (atm)

= แรงดันบรรยากาศ (atm)+ แรงดันอันเนื่องมาจากความแตกต่างของระดับของเหลวในอุปกรณ์ (atm)

V = ปริมาตรแก๊สภายในระบบ (L)

n = mole ของแก๊สในระบบ

R = 0.08206 L atm $K^{-1}mole^{-1}$

K = อุณหภูมิ (K)

ในการคำนวณหาแรงดันบรรยากาศ สามารถหาได้จากการหาจุดเดือดของน้ำ ณ เวลานั้น แสดงตามสมการ ดังนี้ (Ferist, Wenzel and Clump, 1980)

$$\log VP = A - B / (C + t)$$

โดย VP = แรงดันบรรยากาศ (mm.Hg)

A = 7.96681

B = 1668.21

C = 288.0

t = จุดเดือดของน้ำกลั่น (^{0}C)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการคำนวณหาแรงดันอันเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างระดับของของเหลว แสดงตามสมการ ดังนี้ (Ferist et al., 1980)

$$P1 = 7.5 \times pgh$$

โดย P1 = แรงดันจากความแตกต่างของระดับของเหลวในระบบ (mm.Hg)

p = ความหนาแน่นของของเหลวในระบบ (g/l)

= 1100 g/l

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

= 9.81 m/s^2

h = ความแตกต่างของระดับของเหลว (m)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย