การตรวจเอกสาร

เงาะ

1. ข้อมูลพื้นฐาน

เงาะมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nephelium lappaceum* L.เป็นพืชที่อยู่ในตระกูลเดียวกับลำไย (Longan) ลิ้นจี่ (Lychee) และคอแลนหรือสีระมัน (Nephelium hypoleucum Kurz) คือตระกูล Sapindaceae มีชื่อเรียกหลายชื่อแตกต่างกันออกไป (ไพโรจน์, 2545)

ภาษาเขมร,ไทย	เรียก เงาะ
ภาคใต้	เรียก ลูกเงาะ , ลูกพลวน
บางแหล่ง	เรียก ลิ้นจี่ขน (hairy Lychee)
ภาษาอังกฤษ	เรียก Ramboostan หรือ Rambutan
ภาษามลายู	เรียก รัมบูตัน
ภาษาจีน	เรียก อั้งม่อตั้น ซึ่งแปลว่า ลูกที่มีขนสีแดง
ชื่อพ้อง	เรียก Nephelium glabrum Cambess
	Nephelium chryseum Blume
	Nephelium sufferrugingeum Radlk

2. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เงาะเป็นไม้ผลยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ชอบอากาศร้อนชื้น อุณหภูมิที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 25 – 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณร้อยละ 75 – 85 ดินปลูกที่เหมาะสมควรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของดินประมาณ 5.5 – 6.5 และที่สำคัญควรเลือกแหล่งปลูกที่มีน้ำเพียงพอตลอดปี มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ดังนี้ (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2534)

ราก เงาะมีระบบรากแบบรากแก้วที่เกิดจากเมล็ดหยั่งลึกลงไปดินตามแนวดิ่ง ทำหน้าที่ยึดลำต้นให้แข็งแรง ต่อจากรากแก้วจะเป็นรากแขนงที่แตกออกจากรากแก้วเป็นรากที่เจริญแผ่ไปทางแนวราบกระจายไปรอบลำต้น และรากอีกชนิดหนึ่งเรียกว่ารากฝอยหรือรากขนอ่อนที่แตกออกจากแขนง ทำหน้าที่ดูดซับน้ำ อาหารลำเลียงขึ้นไปส่วนต่างๆของลำต้น

ในเงาะบางต้นอาจจะไม่มีระบบรากแก้วเนื่องจากต้นพันธ์ที่นะมาปลูกไม่ได้ใช้ส่วนของเมล็ดโดยตรง เช่นต้นพันธุ์ที่ได้มาจากกิ่งตอน เป็นต้น

ลำต้น เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางมีความสูงประมาณ 15 – 25 เมตร ขึ้นอยู่กับอายุ การดูแลรักษา และความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ปลูก ลักษณะลำต้นจะแตกกิ่งสาขามาก เปลือกสีเทาอมน้ำตาลเข้ม กิ่งเล็กกลมสีน้ำตาลอมแดงคล้ำ มีรอยเหี่ยวละเอียด ทรงพุ่มเป็นรูปครึ่งวงกลมแผ่ออกกว้าง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ใบ ลักษณะเป็นใบรวม มีจำนวนใบย่อย 2 - 4 คู่ ก้านใบระหว่างใบย่อยมีขนาดใหญ่ ลักษณะกลมสีน้ำตาลอมแดง ฐานก้านใบหนา ในขณะที่ยังอ่อนอยู่จะมีขนส่วนของใบย่อยจะเรียงตัวสลับเกือบตรงกันข้าม รูปร่างเป็นรูปโล่หรือรูปไข่หัวกลับ ฐานแหลมปลายมน ขอบใบเรียบสีเขียวอมเหลืองหรือมีสีนวล เส้นกลางใบขนาดใหญ่เห็นได้ชัดมีจำนวนเส้นใบประมาณ 6 – 15 คู่ เห็นชัดทั้งด้านหน้าและหลังใบ ใต้ใบจะเป็นคลื่นเล็กน้อยเนื่องจากเส้นใบที่แยกออกมานูนขึ้นชัดเจน

ดอก เกิดเป็นช่อบริเวณปลายกิ่งและซอกใบ ลักษณะของช่อดอกจะตั้งตรงแตกแขนงมีจำนวนดอกอยู่มากมาย ในสภาพทั่วไปดอกเงาะที่เกิดขึ้นในแต่ละต้นแต่ละครั้งจะประกอบด้วยดอกหลายประเภทคือ

- ช่อดอกตัวผู้ เป็นดอกเงาะที่มีดอกตัวผู้ทั้งช่อดอก ลักษณะช่อดอกค่อนข้างยาว รูปทรงกรวย มีกลีบ 5 กลีบที่ไม่ติดกัน และมีเกสรตัวผู้ 5 อัน แต่ละอันจะเรียงสลับกับกีบดอก ตรงกลางดอกจะเป็นแก่นยืนออกมาคล้ายกับเกสรตัวเมียที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อดอกชนิดนี้บานจะมีสีขาวโพลนทั้งต้น อับละอองเกสรจะแตกออกและปล่อยละอองเกสรสีเหลืองออกมา

- ดอกสมบูรณ์เพศ หรือที่เรียกกันว่าดอกกระเทย เป็นดอกที่มีทั้งเกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน ลักษณะของดอกประเภทนี้จะมีช่อดอกสั้นกว่าช่อดอกเกสรตัวผู้ประมาณครึ่งหนึ่ง มีกลีบดอก 4 – 6 กลีบ แต่โดยมากมักพบมี 5 กลีบ มีเกสรตัวผู้ 5 อัน ตรงกลางดอกจะเป็นเกสรตัวเมีย 1 อัน ส่วนปลายจะยืนโค้กออกเป็น 2 แฉก ปกคลุมด้วยขนเล็กๆสีน้ำตาล ซึ่งก้านเกสรตัวเมียจะเกิดขึ้นตรงบริเวณที่รับไข่ทั้ง 2 อันเชื่อมติดกัน แต่เมื่อได้รับการผสมแล้วรังไข่จะเจริญเพียงอันเดียว

ผล จะเกิดรวมกันอยู่เป็นช่อ ติดอยู่บนก้านดอก ลักษณะของผลค่อนข้างกลมสีแดง บางพันธุ์มีสีแดงปนเหลือง ขนาดของผลโดยทั่วไปจะมีความยาวประมาณ 3.5 – 8 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 2 – 5 เซนติเมตร ขนสั้นหรือยาวแล้วแต่ชนิดของพันธุ์ แต่โดยปกติจะมีความเฉลี่ยประมาณ 0.5 – 1.8 เซนติเมตร เนื้อในมีลักษณะใสอ่อนนุ่มหรือสีขาวอมเหลืองห่อหุ้มเมล็ดอยู่

เมล็ด ลักษณะเป็นรูปแบนยาวรี หรือบางครั้งกลมเป็นรูปไข่ ผิวนอกของเมล็ดจะหุ้มด้วยผิวเปลือกบางๆสีน้ำตาลอ่อน ห่อหุ้มเนื้อเยื่อในเมล็ดที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน มีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอน

3. พันธุ์ของเงาะ

เงาะที่ปลูกกันอยู่ในประเทศนั้น มีอยู่มากมายหลายพันธุ์ ในที่นี้ก็จะขอกล่าว พอสังเขปดังนี้ (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2534)

1.3.1. พันธุ์โรงเรียน ปะวัติความเป็นมาของเงาะพันธุ์โรงเรียนมีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ อ.นาสาร จ.สุราษฎร์ธานี กล่าวกันว่ามีนักสำรวจชาวต่างชาติเดินทางผ่านมา ได้กินเงาะและโยนเมล็ดทิ้งไว้ที่โรงเรียนนาสาร ต่อมาเงาะนี้ได้เจริญงอก งามให้ผล ชาวบ้านจึงได้ขยายพันธุ์นำไปปลูก ซึ่งต้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เดิมของเงาะพันธุ์ตายเมื่อปี พ.ศ. 2505 ปัจจุบันเป็นพันธุ์ที่ปลูกอยู่มากทางภาคใต้ และกำลังแพร่ขยายไปภาคตะวันออกที่สำคัญในหลายจังหวัด เช่น ระยอง จันทบุรี ตราด และปราจีนบุรี

ลักษณะประจำพันธุ์ของเงาะโรงเรียน ลักษณะทรงพุ่มค่อนข้างเลื้อยจึงต้องทำการตัดแต่งกิ่งก้านในระยะที่ทำการปลูกปีแรกๆ ใบค่อนข้างเล็กและกลมมีประมาณ 3 – 4 คู่ ก้านใบสั้น ปลายใบงอนขึ้นเล็กน้อย เปลือกผลเมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีเหลืองอมชมพู และเมื่อแก่จัดจะมีสีแดงเข้ม ที่โคนขณะที่ยังไม่แก่จะมีสีเขียวอ่อนและเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อแก่จัด แต่ปลายขนยังมีสีเขียวตองอ่อน เนื้อมีสีขาวขุ่นปนเหลืองเนื้อย่นเล็กน้อย รสชาติหวานกลมกล่อมดีมาก โดยเฉพาะเมื่อยังไม่สุกจัดเต็มที่ถ้างอมเกินไปจะมีรสหวานและมีกลิ่นคาวเล็กน้อย เนื้อกรอบล่อนจากเมล็ด มีเปลือกเมล็ดบางไม่แข็ง เมล็ดลักษณะค่อนข้างแบนยาวรูปไข่

คุณสมบัติที่ดีเด่นของเงาะพันธุ์โรงเรียนคือมีรสชาติดีมาก แต่มีข้อเสียคือไม่ทนต่อโรคใบจุดสนิมและต้องปลูกในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีการให้ปุ๋ยหรือธาตุอาหารที่เพียงพอและสม่ำเสมอ ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ต้องมีน้ำเพียงพอในขณะติดผลเพราะถ้าขาดน้ำในระยะที่ผลใกล้สุก ผลจะแตกและร่วงหล่นเสียหายมาก ส่วนการให้ผลผลิตโดยเฉลี่ยประมาณเมื่ออายุ 5 – 6 ปี ประมาณ 100 กิโลกรัมต่อต้น

1.3.2. พันธุ์สีชมพู ประวัติของเงาะพันธุ์นี้ต้นแรกปลูกที่บ้านครูกี เมธาวัน ต.เกวียนหัก อ.ขลุง จ.จันทบุรี ลักษณะผลจะมีสีชมพูไม่แดงจัด จึงเรียกกันว่าเงาะสีชมพู ปลูกมากในเขตภาคตะวันออก

ลักษณะประจำพันธุ์ของเงาะพันธุ์สีชมพู ในระยะแรกตั้งแต่อายุ 2 ปีขึ้นไป จะมีทรงพุ่มค่อนข้างทึบ ใบมีขนาดยาว และกว่าเงาะพันธุ์โรงเรียนเล็กน้อยแต่สีของใบจะเขียวเข้มน้อยกว่า ขอบใบจะห่อเข้าหากันเล็กน้อย ให้ผลดก ผลมีขนยาวผลที่สุกจะมีสีชมพู เปลือกหนา รสหวาน เมล็ดล่อน ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 5 – 6 ปีขึ้นไป ไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัม แต่มีข้อเสียคือเก็บไว้ได้ไม่นานเนื่องจากเปลือกและขนอ่อนช้ำได้ง่าย จึงไม่เหมาะสมกับการขนส่งระยะทางไกลๆ

1.3.3. พันธุ์สีทอง เป็นพันธุ์ที่ปลูกง่าย การเจริญเติบโตดีที่สุด การแตกทรงพุ่มดีมาก ลำต้นเกลี้ยง ใบค่อนข้างยาวและใหญ่ เมื่อสมบูรณ์เต็มที่ใบจะใหญ่และหนาขึ้นสามารถทนต่อโรคได้ดี จัดเป็นเงาะพันธุ์เบาที่ให้ผลได้เร็วกว่าพันธุ์อื่น ลักษณะเด่นอีกประการคือ ผลใหญ่มากขนยาว แข็ง สีสวย สีของขนและเปลือกเมื่อสุกมีสีแดงส้ม และเมื่อสุกงอมเต็มที่โคนขนจะมีสีแดง ปลายขนสีเขียวตองอ่อน เนื้อมีสีขาวค่อนข้างใส เนื้อล่อนจากเมล็ดแต่มีเปลือกเมล็ดติดเนื้อบ้าง เมื่อเก็บจากต้นใหม่ๆ จะมีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย แต่เมื่อทิ้งไว้ 1 – 2 คืน จะมีรสหวานมากขึ้นและมีกลิ่นหอม เมล็ดค่อนข้างแบนสีขาวปนน้ำตาล ผลเงาะสีทองนี้จะมีเยื่อหุ้มเนื้อเหนียวมาก จึงทำให้เงาะพันธุ์นี้แตกยากเมื่ออยู่ในช่วงฤดูร้อนหรือช่วงที่ต้นเงาะขาดน้ำ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

1.3.4. พันธุ์น้ำตาลกรวด เป็นพันธุ์เตี้ย มีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า ขนาดทรงพุ่มเตี้ยกว่าพันธุ์สีทองและพันธุ์โรงเรียนมาก ซึ่งนับว่าสะดวกแก่การดูแลรักษา เช่น การพ่นสารกำจัดโรคและแมลง นอกจากนี้ยังให้ผลผลิตต่อไร่สูง เพราะสามารถปลูกในระยะประชิด 6 x 6 เมตรได้

ลักษณะของใบมีขนาดกลาง ปลายใบค่อยข้างมน สีเขียวเข้มเป็นมันมีลักษณะคล้ายเงาะโรงเรียน เมื่อเริ่มสุกผิวเปลือกจะมีสีเหลืองเข้ม โคนขนสีชมพู และส่วนปลายขนมีสีเขียวอ่อนอมเหลือง เมื่อสุกเต็มที่ที่โคนขนจะขยายห่างกันและค่อนข้างแข็งทนทานต่อการขนส่ง เนื่องจากมีเลือกหนา แต่มีช่องว่างระหว่างเปลือกกับเนื้อ เนื้อมีสีขาวขุ่นและมีรอยย่นคือมีลักษณะเป็นเส้น มีรอยบุ๋มเป็นทางพาดยาวตามความยาวของผล เมื่อยังไม่สุกเต็มที่จะมีรสเปรี้ยวอมฝาด แต่เมื่อสุกเต็มที่แล้วจะมีรสหวานมาก เพราะมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ มีกลิ่นหอมเนื้อกรอบ เนื้อล่อนจากเมล็ด ลักษณะเมล็ดแบนค่อนข้างกว้างและสั้น เมล็ดมีสีขาวอมเหลืองคล้ายงาช้าง

1.3.5. เงาะพันธุ์บางยี่ขัน เป็นเงาะพันธุ์เก่าแก่ซึ่งเป็นที่รู้จักดีของชาวไทยในสมัยก่อน และถือว่าเป็นพันธุ์ที่ดีที่สุดในสมัยนั้น ปลูกกันมากแถวบางยี่ขัน แต่ปัจจุบันนี้ไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร จึงไม่ค่อยมีการปลูกกันมากนัก ลักษณะประจำพันธุ์ที่สำคัญ คือ มีต้นขนาดใหญ่ กิ่งเหนียว ปลูกง่าย ใบมีขนาดใหญ่ ผลก็มีขนาดใหญ่ค่อนข้างแบน ด้านหัวและท้ายกว้างเกือบเท่าๆกัน มีโหนกใกล้ขั้วผล จำนวนผลต่อต้นน้อย ขนมีลักษณะเรียวเล็กสั้น สีแดง หรือเหลืองที่โคน และเขียวที่ปลาย เนื้อมีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ไม่แฉะแต่ก็ไม่กรอบ เมล็ดยาวรีจากท้ายถึงหัว ค่อนข้างแบน

1.3.6. พันธุ์เจ๊ะมง เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากทางภาคใต้ เช่น สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส เป็นพันธุ์หนักกว่าพันธุ์อื่นๆ ปลูกยากให้ผลไม่ดก ลักษณะใบมีขนาดปานกลาง ปลายใบงอเล็กน้อย ผลสีแดงสด รสหวานกรอบ เนื้อไม่แฉะ

1.3.7. พันธุ์ซาลังงอ เป็นเงาะพันธุ์ที่นิยมปลูกทางภาคใต้ ปลูกยากให้ผลช้าและผลดกน้อยกว่าพันธุ์เจ๊ะมง กษณะทั่วไปใบค่อนข้างใหญ่ ผลขนาดใหญ่และยาว ขนสีแดงอมชมพูคล้ายเงาะพันธุ์สีชมพู แต่ขนาดผลใหญ่กว่า เนื้อหนาล่อนกรอบ รสออกหวานอมเปรี้ยว

นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังมีเงาะพันธุ์อื่นๆอีก เช่น พันธุ์อากร พันธุ์สีนาก พันธุ์ปีนังเบอร์ลี่ และพันธุ์ตาวี ซึ่งปัจจุบันไม่นิยมปลูก

1.4 ชนิดของเงาะ

โดยทั่วไปแล้ว เราจะแบ่งเงาะออกเป็น 2 ชนิด คือ เงาะติด และเงาะล่อน

1.4.1. เงาะติด หมายถึง เงาะที่ส่วนของเนื้อติดกับเมล็ด ไม่สามารถแยกจากกันได้ โดยทั่วไปมีรสเปรี้ยว เนื้อแฉะ ลำต้นใหญ่แข็งแรง ปลูกง่าย ทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี แต่ก็ไม่รับความนิยมทั้งในด้านการค้า และการขยายพันธุ์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

1.4.2. เงาะล่อน หมายถึง เงาะที่มีเนื้อในล่อน ไม่ติดเมล็ด สามารถแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นที่นิยมทั่วไปด้านการค้า บริโภค และการขยายพันธุ์ เนื่องจากมีรสหวานกรอบเนื้อแห้ง แต่ก็มีบางชนิดที่มีรสหวานอมเปรี้ยว เนื้อแฉะ

1.5 คุณค่าทางโภชนาการ

เงาะเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และคุณประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย ซึ่งอุดมไปด้วยวิตามินซี บี1 บี2 คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และไนอาซีน การรับประทานเงาะสดสามารถแก้อาการท้องร่วงชนิดรุนแรง ได้ผลดี นอกจากนี้ผลเงาะนำมาต้ม นำน้ำที่ได้มาเป็นยาแก้อักเสบ ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย รักษาอาการอักเสบในช่องปาก และโรคบิดท้องร่วง คุณค่าทางโภชนาการของเงาะ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของเงาะ 64 แคลอรี่

คุณค่าทางโภชนาการ	**ปริมาณ**	
ไขมัน	0.1	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	16.5	กรัม
โปรตีน	1.0	กรัม
แคลเซียม	20	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	15	มิลลิกรัม
เหล็ก	1.9	มิลลิกรัม
วิตามินบี1	0.01	มิลลิกรัม
วิตามินบี2	0.06	มิลลิกรัม
ไนอาซีน	0.4	มิลลิกรัม
วิตามินซี	53	มิลลิกรัม

ที่มา : กลุ่มเกษตรสัญจร, 2534

น้ำส้มสายชู

น้ำส้มสายชูมาจากภาษาฝรั่งเศสว่า Vinaigre แปลว่า ไวน์ที่มีรสเปรี้ยวมาก (Vin=Wine aigre=รสเปรี้ยว) ดังนั้นน้ำส้มสายชูจึงมีความหมายว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำให้เกิดกรดน้ำส้ม (Acetification) ของวัตถุดิบพวกน้ำตาลหรือแป้งที่ผ่านกระบวนการหมักแอลกอฮอล์มาแล้ว (วราวุฒิ, 2538)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูนั้นมีหลายอย่างเช่น การผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์ การผลิตน้ำส้มสายชูจากผลไม้ต่างๆ การผลิตน้ำส้มสายชูจากข้าวมอลต์ การผลิตน้ำส้มสายชูจากแอลกอออล์ (Lipp et al., 1998) การผลิตน้ำส้มสายชูจากมันเทศ การผลิตน้ำส้มสายชูจากข้าวโซซุ ซึ่งตามมาตรฐานของสำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา ได้แบ่งชนิดของน้ำส้มสายชูออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้ (วราวุฒิ, 2538)

Cider vinegar และ Apple vinegar เป็นน้ำส้มสายชูหมักที่ได้จากแอปเปิ้ลเป็นวัตถุดิบและมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

Wine vinegar และ Grape vinegar เป็นน้ำส้มสายชูได้จากองุ่นเป็นวัตถุดิบมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

Malt vinegar เป็นน้ำส้มสายชูที่ได้จากข้าวมอลต์หรือข้าวอื่นๆ ที่ถูกย่อยโดยข้าวมอลต์ เป็นวัตถุดิบและมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

Sugar vinegar เป็นน้ำส้มสายชูที่ได้จากน้ำตาล กากน้ำตาล มีกรดน้ำส้มสายชูไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

Glucose vinegar คือน้ำส้มสายชุที่ได้จากการหมักสารละลายกลูโคสมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

Spint vinegar distilled vinegar และ Grain vinegar คือน้ำส้มสายชูที่ได้จากแอลกอฮอล์กลั่นและมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

สำหรับประเทศไทยได้มีมาตรฐานของน้ำส้มสายชูกำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุข(ฉบับที่ 204) พ.ศ. 2543 เรื่องน้ำส้มสายชูไว้ดังนี้คือ

ชนิดของน้ำส้มสายชู

การผลิตน้ำส้มสายชูแต่ละประเภทจะทำจากวัตถุดิบที่เหมาะสมเช่น ธัญพืช ผลไม้ หรือน้ำตาล ทำให้น้ำส้มสายชูมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งรสเปรี้ยวในน้ำส้มสายชูเกิดจากกรดอะซิติกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมี 2 ชนิดหลักคือ (สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

1. น้ำส้มสายชูหมัก (fermented vinegar) หมายถึง น้ำส้มสายชูที่ได้จากการนำวัตถุดิบมาหมักกับส่าเหล้า แล้วนำมาหมักกับเชื้อน้ำส้มสายชูตามกรรมวิธีการผลิต

2. น้ำส้มสายชูกลั่น (distilled vinegar or spirit vinegar) มี 2 ประเภทคือ น้ำส้มสายชูกลั่นแบบ distilled vinegar หมายถึง น้ำส้มสายชูที่ได้จากการกลั่นน้ำส้มสายชูหมัก ส่วนน้ำส้มสายชูแบบ spirit vinegar หมายถึง น้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักเอทานอลเจือจางกับเชื้อน้ำส้มสายชูตามกรรมวิธีการผลิต แล้วนำไปกลั่นหรือกรอง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหาร พ.ศ. 2507 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 10 เรื่องกำหนดคุณภาพ มาตรฐาน การเจือสี และการแสดงฉลากของน้ำส้มสายชู (ราชกิจจานุเบกษา, 2523) ได้แบ่ง 3 ชนิด ดังนี้

1. น้ำส้มสายชูหมัก หมายถึง น้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักธัญพืช ผลไม้ หรือน้ำตาลด้วยส่า หรือยีสต์เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ แล้วหมักต่อด้วยเชื้อน้ำส้มสายชูตามกรรมวิธีธรรมชาติ

2. น้ำส้มสายชูกลั่น หมายถึง น้ำส้มสายชูที่ได้จากการนำน้ำสุราขาวเจือจางหรือแอลกอฮอล์เจือจางมาหมักกับเชื้อน้ำส้มสายชูโดยมีการเติมอาหารเสริมที่จำเป็นต่อการเจริญของเชื้อน้ำส้มสายชู ได้แก่ กลูโคส ออโตไลส์ยีสต์ (autolysed yeast) เป็นต้น (Conner and Allgeier, 1976)

3. น้ำส้มสายชูเทียม หมายถึง สารละลายที่ได้จากการผสมกรดอะซิติก ซึ่งสังเคราะห์ขึ้นทางเคมีในน้ำบริสุทธิ์ ให้มีความเข้มข้นให้มีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 4 กรัม แต่ไม่เกิน 7 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ทำให้เป็นน้ำส้มสายชูที่มีราคาถูก มีความบริสุทธิ์สูงแต่ขาดกลิ่นรสที่ดี (นภา, 2537)

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตน้ำส้มสายชู

ในการผลิตน้ำส้มสายชู ถ้าใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ที่ไม่ใช้แอลกอฮอล์จะต้องมีการนำวัตถุดิบมาหมักให้ได้แอลกอฮอล์ก่อนด้วยเชื้อยีสต์ จากนั้นจึงจะนำเอาแอลกอฮอล์ที่ได้มาใช้ในการหมักเพื่อผลิตกรดอะซิติกอีกต่อหนึ่ง โดยอาศัยเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มที่ผลิตกรดอะซิติกได้ ดังนั้นเชื้อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตกรดอะซิติก จึงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. ยีตส์

ยีสต์ที่ใช้ในการหมักเพื่อผลิตกรดอะซิติก เป็นเชื้อชนิดเดียวกับที่ใช้ในการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักด้วยแบคทีเรียอีกต่อหนึ่ง ในปัจจุบันได้มีการคัดเลือกยีสต์สำหรับผลิตแอลกอฮอล์เพื่อนำไปผลิตกรดอะซิติกโดยตรง เช่น การผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์ (wine vinegar) ยีสต์ที่ใช้คือ *Saccharomyces ellipsoideus*. มาหมัก อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส จะได้น้ำส้มสายชูที่มีกลิ่น และรสดี นอกจากนี้ ยังมียีสต์ในสกุล *Saccharomyces* อีกหลายสายพันธุ์ ได้แก่ *S. diastaticus* และ *S. carlsbergensis* เป็นต้น ส่วน *S. cerevisiae* เป็น eukaryotic cell เส้นผ่านศูนย์กลาง 1-5 ไมโครเมตร ยาว 5-30 ไมโครเมตร เซลล์มีรูปร่างกลม หรือ รี อาจมีรูปร่างเป็นรูปถั่ว รูปเลมอน ลักษณะเด่น เป็นเซลล์เดียว ละมีการแตกหน่อ (budding) นิยมใช้ยีสต์ชนิดนี้ในการหมักน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ (วราวุฒิและรุ่งนภา, 2532)

2. แบคทีเรีย *Acetobacter* พบในน้ำตาลสด น้ำตาลปี๊บ น้ำตาลเมา กระแช่ ลูกแป้งข้าวหมาก ลูกแป้งเหล้า (นภา, 2537) *Acetobacter sp.* มีลักษณะดังนี้ (ภาพที่ 1) มีรูปร่างเป็นรูปไข่ (ellipsoidal-shaped) หรือรูปแท่ง (rod-shaped) การเรียงตัวของเซลล์มีหลายลักษณะอาจพบ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เซลล์เดี่ยว หรืออยู่เป็นคู่หรืออยู่เป็นเส้นสายยาว หรือสายสั้น แตกต่างกันตามชนิด ไม่พบเอนโดสปอร์ เซลล์ติดสี แกรมลบ (gram negative) มีขนาด 0.6-0.8×1.0-3.0 ไมโครเมตร (De Ley and Frateur, 1974) และสามารถเจริญในอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อที่มีกรดอะซิติกตั้งแต่ 2-11 เปอร์เซ็นต์ (Stanier *et al.,* 1976) ซึ่งในการผลิตน้ำส้มสายชูควรจะเลือกใช้สายพันธุ์ที่สามารถให้กรดอะซิติกสูงกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เท่านั้น *Acetobacter* sp. ต้องการออกซิเจนในการออกซิไดส์เอทานอลให้เป็นกรดอะซิติก เนื่องจากไม่สามารถใช้สารอื่นนอกจากออกซิเจนเป็นตัวรับไฮโดรเจนตัวสุดท้ายในกระบวนการเปลี่ยนอาหารเป็นพลังงาน (De Ley and Frateur, 1974)

ภาพที่ 1 *Acetobacter aceti* (Wikipedia, 2011)

การเตรียม Starter และ vinegar stock

ได้เคยมีผู้ทำการทดลองใช้เชื้อบริสุทธิ์ในการหมักน้ำส้มสายชูพบว่าทำได้ยากต้องใช้เชื้อในปริมาณมากซึ่งไม่คุ้มค่าแม้ว่าจะทำได้ ถังหมัก ถังเก็บ และเครื่องมืออื่นๆ ไม่สามารถนำมานึ่งฆ่าเชื้อและการทำงานในสภาพปราศจากเชื้อ (aseptic) ทำได้ยาก ดังนั้นการใช้เชื้อบริสุทธิ์จึงไม่นิยมแพร่หลายและการค้นคว้าตามโรงงานต่างๆ ก็ไม่เป็นที่เปิดเผย (Allgeier and Hildbrandt, 1960)

การหมักเริ่มต้นในอาหารเหลว (submerged fermentation) ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำส้มสายชูและน้ำส่า แล้วเติมสารอาหารลงไป บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส การหมักดำเนินไปจนมีแอลกอฮอล์เหลืออยู่ประมาณ 0.4% (Peppler, 1967) หลังจากการหมักสมบูรณ์แล้วเอาน้ำส้มสายชูที่ได้ออกประมาณครึ่งหนึ่ง ส่วนที่เหลือเก็บไว้ใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นในครั้งต่อไป (Allgeier and Hildbrandt, 1960)

การเตรียม vinegar stock ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ ถ้าเป็นพวกแป้งจะต้องย่อยให้แป้งกลายเป็นน้ำตาลเสียก่อน โดยใช้เอนไซม์ หรือกรดก็ได้ แต่สำหรับผลไม้แห้งต้องใส่น้ำเพื่อให้น้ำตาลจากผลไม้แห้งละลายออกมา สำหรับวัตถุดิบที่เป็นผลไม้สด เช่น องุ่น ก็ใช้วิธีคั้นเอาน้ำออกมา ส่วนวัตถุดิบที่มีเปอร์เซ็นต์ น้ำตาลสูงเช่น กากน้ำตาล หรือน้ำผึ้ง ต้องทำให้เจือจาง แต่อย่างไรก็ตามวัตถุดิบจะต้องมีน้ำตาลอย่างน้อย 8% (Underkofler and Hickey, 1954)

การควบคุมการหมักแอลกอฮอล์ มีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะให้ได้ vinegar stock ที่มีกลิ่นและรสดี การหมักในระยะนี้ถ้าหากว่า lactic acid bacteria ปะปนอยู่ แบคทีเรียนี้จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลกติก และกรดน้ำส้ม ทำให้กลิ่นและรสเสียไป อีกทั้งยังทำให้ยีสต์ชะงักการเจริญเติบโตเมื่อมีปริมาณของกรดมากพอ เช่น ถ้าการหมักมีกรดน้ำส้มเกิดขึ้นก่อนไม่ว่าในปริมาณเท่าใดจะทำให้มีน้ำตาลเหลืออยู่มากกว่าปกติ กรดน้ำส้ม 0.5% มีผลทำให้ปฏิกิริยาของยีสต์ลดลง แต่ถ้ามีกรดน้ำส้มมากกว่านี้กระบวนการหมักอาจหยุดการชะงักได้ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์ให้ออกซิไดซ์ เชื้อน้ำส้มสายชูจะใช้น้ำตาลในการสร้าง gluconic acid หรือ ketogluconic acid แล้วมีผลทำให้กลิ่นและรสเสียไปเช่นเดียวกับผลที่เกิดจาก lactic acid bacteria นอกจากนี้ ตลอดระยะของการหมักแอลกอฮอล์ยังต้องควบคุมการเจริญของ film yeast ซึ่งสามารถใช้น้ำตาลได้ดีเช่นกัน (Underkofler and Hickey, 1954)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำส้มสายชู

1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตจะแตกต่างกันตามสายพันธุ์ โดยทั่วไปจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส บางสายพันธุ์สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูง แต่จะสูญเสียกิจกรรมในการผลิตอะซิติกไปอย่างสมบูรณ์ จากการแยกเชื้อ *Acetobacter aceti* สายพันธุ์ 1023 พบว่าสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพในการผลิตกรดแอซีติกได้ดี และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 38 องศาเซลเซียส จะสูญเสียกิจกรรมไป 55 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ *Acetobacter aceti* สายพันธุ์เดิมจะสูญเสียกิจกรรมอย่างสมบูรณ์ที่ 35 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นมีการคัดเลือกเชื้อน้ำส้มสายชู 10 สายพันธุ์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการผลิตกรดอะซิติกได้ดี และนำมาทดสอบการเจริญที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า เชื้อส่วนมากสามารถเจริญและผลิตกรดอะซิติกได้ดีที่อุณหภูมิ 30-32 องศาเซลเซียส แต่มีบางสายพันธุ์ที่ยังคงผลิตกรดอะซิติกได้ที่อุณหภูมิ 37-40 องศาเซลเซียส

2. ความเป็นกรดด่าง

แบคทีเรีย *Acetobacter* sp. เจริญเติบโตได้ดีที่พีเอชค่อนข้างต่ำ พบว่าเจริญเติบโตได้ที่ระดับพีเอช 4.0-4.5 และเจริญได้ดีที่สุดที่ระดับพีเอช 5.4-6.3 ส่วนที่ระดับพีเอช 7-8 จะเจริญเติบโตได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (De Ley and Frateur, 1974)

3. แหล่งคาร์บอน

แหล่งคาร์บอนที่ดีที่สุดสำหรับการเจริญของเชื้อ *Acetobacter* sp. คือ เอทานอล, กลีเซอรอล (glycerol) และโซเดียมแลกเทต (Na-DL-Lactate) ตามลำดับ แต่ในสภาวะที่มีเอทานอลเพิ่มขึ้น 1, 2, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การเจริญของเชื้อ *Acetobacter* sp. เป็น 87, 82, และ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (De Ley and Frateur, 1974) และจากการศึกษาพบว่าเอทานอลมีผลยับยั้งการออกซิไดส์แอซีเทตให้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยเซลล์ (resting cells) ของ *Acetobacter aceti* แต่ไม่สามารถยับยั้งได้อย่างสมบูรณ์ และพบว่า *Acetobacter aceti* ใช้กลูโคสได้อย่างสมบูรณ์ โดย 180 เปอร์เซ็นต์ ของกลูโคสจะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคเนต (gluconate) และเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานตามวิถีเฮกโซไคเนส (hexokinase pathway) ในวัฏจักรเฮกโซสมอนอฟอสเฟต ส่วนน้ำตาลอื่นๆ เช่น กาแลกโทส ไซโลส อะราบิโนส และไรโบส จะถูกออกซิดส์เป็นกรดที่เกี่ยวข้องได้ แต่น้ำตาลเหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอนที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (Conner and Allgeier, 1976)

4. ผลของออกซิเจน

การหมักน้ำส้มสายชูนี้เป็นการหมักในสภาพที่ต้องการอากาศ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการให้อากาศอย่างต่อเนื่อง ถ้าการให้อากาศเกิดขัดข้องในระหว่างการหมักจะเกิดผลกระทบต่อเชื้อ *Acetobacter* sp. โดยผลของการทำลายเซลล์ *Acetobacter* sp. ในระหว่างการขาดออกซิเจนยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ความเข้มข้นทั้งหมดของกรดแอซีติกและแอลกอฮอล์ในน้ำหมักและอัตราเร็วของการหมัก (fermentation rate) เป็นต้น (วราวุฒิและรุ่งนภา, 2532) นอกจากนี้รวมถึงระยะเวลาที่ขาดออกซิเจนด้วย

5. ผลของแอลกอออล์

แบคทีเรีย *Acetobacter* sp. จะถูกทำลายลงเมื่อการหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จนกระทั่งปริมาณแอลกอฮอล์ ในน้ำหมักถูกเปลี่ยนไปจนหมดและในขณะเดียวกันมีการเติมอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อใหม่ที่มีแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบลงไปในน้ำหนักนั้นช้าเกินไป จะมีผลทำลายเซลล์ของ *Acetobacter* sp. โดยเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของกรดอะซิติกและแอลกอฮอล์ทั้งหมดที่มีในน้ำหมัก และระยะเวลาที่ขาดแอลกอฮอล์โดยมีผลเหมือนกับการขาดออกซิเจน (วราวุฒิและรุ่งนภา, 2532)

กรรมวิธีการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

วิธีการผลิตแบ่งได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

1. การผลิตแบบช้า (slow process หรือ surface culture) เป็นวิธีที่ใช้กันมาตั้งแต่ดั้งเดิม วิธีการคือจะปล่อยให้น้ำส่า (เอทธานอล) เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกรดน้ำส้มเองตามธรรมชาติ โดยที่เชื้อน้ำส้มจะเจริญเติบโตมีลักษณะเป็นแผ่นฝ้าอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของน้ำส่า กระบวนการผลิตแบบนี้จัดเป็นแบบครั้งคราว (batch) ปฏิกิริยาการหมักจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และมีประสิทธิภาพต่ำ ต่อมาจึงได้มีการปรับปรุงโดยใช้เชื้อน้ำส้มบริสุทธิ์สายพันธุ์ที่ดี มีความสามารถผลิตกรดน้ำส้มได้ในอัตราสูง ในประเทศไทยมักจะใช้กล้าเชื้อในรูปของ ลูกแป้งเชื้อน้ำส้มซึ่งสามารถเก็บไว้ได้นานในลักษณะแห้ง (ณัฐดา

และสมบูรณ์, 2533) การผลิตน้ำส้มสายชูหมักแบบช้านี้เป็นวิธีที่ง่าย ใช้ต้นทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพต่ำ ได้กรดน้ำส้มน้อย และต้องใช้ระยะเวลาการหมักนาน

2.การผลิตแบบสับเมอร์ (submerged) เป็นการหมักแบบที่มีการให้อากาศหรือก๊าซออกซิเจนเข้าไปในน้ำหมักโดยตรงในลักษณะของฟองอากาศ มีอุปกรณ์การกวนให้เชื้อน้ำส้มและฟองอากาศกระจายไปทั่วถังหมัก ดังนั้นระบบการหมักแบบนี้จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบให้มีระบบการให้อากาศที่มีประสิทธิภาพดีและสม่ำเสมอ

3. การผลิตแบบเร็ว (quick process) วิธีนี้อัตราการผลิตสูงกว่าแบบช้า เนื่องจากมีการปรับปรุงระบบการให้อากาศ ให้มีการกระจายอย่างทั่วถึง และใช้เทคนิคการบรรจุตัวกลางที่เป็นวัสดุเฉื่อย (inert material) ลงไปเพื่อให้เชื้อน้ำส้มเกาะ เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของสารอาหารในน้ำกับเชื้อจุลินทรีย์ อีกทั้งยังเป็นการกักเก็บปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ไว้ในถังหมักให้ได้มากที่สุด ถังหมักที่ใช้เรียก เจนเนอเรเตอร์ (Generator) ชนิดของตัวกลางที่ใช้ เช่น ซังข้าวโพด ชานอ้อย ถ่านไม้ กระเบื้อง และพลาสติก เป็นต้น ก่อนการหมักต้องล้างวัสดุตัวกลางให้สะอาด แล้วล้างด้วยน้ำส้มสายชูที่ยังไม่ได้ฆ่าเชื้อ เพื่อให้มีเชื้อน้ำส้มเกาะบนวัสดุตัวกลางนั้น ในการหมักจะค่อยๆ ให้สารละลายแอลกอฮอล์ไหลผ่านวัสดุตัวกลางอย่างช้าๆ จากส่วนบนของถังหมัก พร้อมกับพ่นอากาศจากส่วนล่างขึ้นไป เชื้อน้ำส้มจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และจะออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ให้เป็นกรดน้ำส้มไหลมาในวัสดุที่รองรับ ถ้าเป็นการผลิตแบบต่อเนื่องจะต้องมีการเติมเอทธานอลลงไปในปริมาณเล็กน้อยเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยา overoxidation ที่จะทำให้กรดน้ำส้มถูกเปลี่ยนไปเป็น น้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดการสูญเสียกรดน้ำส้มบางส่วนไป อีกทั้งการเติมเอทานอลลงไปในปริมาณเล็กน้อยจะทำให้กลิ่นของน้ำส้มสายชูดีขึ้น เนื่องมาจากเอทธานอลได้ถูกเปลี่ยนเป็นสารพวกเอสเทอร์ (ester)

วิธีการหมักแบบเร็วนี้จะให้ผลผลิตเร็วกว่า และได้ปริมาณของกรดน้ำส้มสูงกว่า อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการหมักยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องคือ ชนิดของตัวกลางบรรจุ ระบบการให้อากาศ และระบบการไหลหมุนเวียนของน้ำหมัก

3.1 ชนิดของตัวกลางบรรจุ (packed bed) เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดน้ำส้มเป็นแบบ oxidation ดังนั้นการที่จะทำการให้สารละลายแอลกอฮอล์สัมผัสกับอากาศมากที่สุดก็คือการใช้ตัวกลางบรรจุเพื่อให้เชื้อน้ำส้มเกาะ เป็นการเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำหมัก ซึ่งจะเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลให้สูงขึ้นด้วย ตัวกลางบรรจุที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

- ให้พื้นที่ผิวสัมผัสสูง
- ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำหมัก และไมเป็นพิษต่อจุลินทรีย์
- สามารถให้เชื้อเกาะเป็นฟิล์มบางๆ ซึ่งเรียกว่าฟิล์มบางๆ ซึ่งเรียกว่าฟิล์มชีวะ (biofilm) ได้ดี

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

- มีความแข็งแรง อายุการใช้งานยาวนาน
- มีน้ำหนักเบา เคลื่อนได้ง่าย และทำการติดตั้งง่าย

3.2 ระบบการให้อากาศ ถังหมักที่มีประสิทธิภาพดีควรจะมีหัวกระจายอากาศซึ่งให้อากาศออกมาในลักษณะเป็นฟองละเอียดขนาดเล็ก สม่ำเสมอ ทั่วกันจุดในถังหมัก เพื่อให้ออกซิเจนสามารถแพร่กระจายเข้าไปในน้ำหมักได้อย่างรวดเร็ว และมีโอกาสสัมผัสกับน้ำหมักได้มากที่สุด

3.3 ระบบไหลหมุนเวียนของน้ำหมัก ถังหมักแบบที่มีตัวกลางบรรจุต้องมีการออกแบบให้น้ำหนักมีโอกาสสัมผัสกับตัวกลางอย่างทั่วถึง Ellwood et al., (1979) ได้กล่าวถึงการพัฒนาของฟิล์มชีวะบนผิวของตัวกลางไว้ดังนี้

- ในการเลี้ยงแบคทีเรียนั้นแบคทีเรียจะเกาะอยู่บนผิวของผิวของกลางในลักษณะเป็นเยื่อชั้นเดียว (monolayer) อย่างรวดเร็ว และจุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการยึดเกาะของแบคทีเรียบนตัวกลาง
- การแพร่กระจายของจุลินทรีย์บนพื้นผิว ขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลของของไหล
- การยึดติดกับผิวของตัวกลางของแบคทีเรีย ขึ้นอยู่กับแรงทางกายภาพและแรงทางเคมี
- ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติด คือการผลิตสารเชื่อมประสานที่เป็นพวกโพลีแซคคาไรด์ของแบคทีเรีย เพื่อช่วยในการยึดติดกับตัวกลาง
- ฟิล์มชีวะจะหลุดเข้ามาในของเหลวส่วนใหญ่ (bulk liquid) ได้เนื่องมาจากแรงเฉือน หรือการชะล้างของฟิล์มเองจากการขาดแคลนสารอาหารเสริม

ขั้นตอนการหมักน้ำส้มสายชู

การหมักน้ำส้มสายชูจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาลมี 2 ขั้นตอน คือ

1. การหมักน้ำตาลให้เป็นเอทานอล

ซึ่งเป็นกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ และอาศัยเชื้อยีสต์ในสกุล *Saccharomyces cerevisiae* (วราวุฒิและรุ่งนภา, 2532) โดยเชื้อยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลกลายเป็นเอทานอล

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

กลูโคส เอทานอล

วัตถุดิบที่ใช้ในการหมักน้ำส้มสายชู สามารถใช้ได้หลายชนิด เช่น น้ำสกัดจากผลไม้ต่างๆ ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลน้อยอาจจะต้องมีการเติมหรือทำให้เข้มข้นหรือ โมลาส (molasses) ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลสูง จะต้องมีการเจือจางก่อน แต่ถ้าเป็นพวกแป้ง ต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของน้ำตาลก่อนโดยการย่อยด้วยเอนไซม์ หรือไฮโดรไลซ์ด้วยกรด โดยทั่วไปมักจะปรับความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นให้

อยู่ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) และปรับพีเอชให้ค่อนข้างเป็นกรด คือ ประมาณ 4.5 แล้วปล่อยให้การหมักเกิดขึ้น โดยยีสต์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ประมาณ 48-72 ชั่วโมง ก็จะหมักได้สมบูรณ์ ขั้นตอนการหมักแอลกอฮอล์และน้ำส้มสายชูการแยกออกจากกัน เพราะการสร้างกรดอะซิติกสามารถยับยั้งการเจริญของยีสต์ และทำให้การหมักแอลกอฮอล์ไม่สมบูรณ์ แม้ว่ายังมีน้ำตาลเหลืออยู่ (Adams, 1985)

อย่างไรก็ตาม การหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาลจะต้องอาศัยปฏิกิริยาหลายขั้นตอนประกอบกันอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งเกิดผลพลอยได้หลายชนิด เช่น กลีเซอรอล รวมทั้งกรดอะซิติก แต่มีในปริมาณน้อย (วราวุฒิและรุ่งนภา, 2532)

2. การเปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดอะซิติก

โดยอาศัยเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มอะซิติกแบคทีเรีย (ภาพที่ 1) ทำการหมักในสภาพมีอากาศ สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ (วราวุฒิและรุ่งนภา, 2532)

ขั้นตอนแรก การเปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นแอซีทัลดีไฮด์ (acetaldehyde) โดยอาศัย เอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (alcohol dehydrogenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้

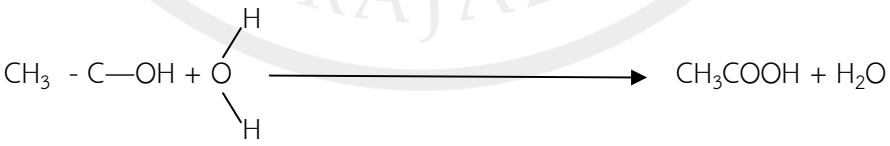
$$C_2H_5OH + O \longrightarrow CH_3CHO + H_2O$$

เอทานอล เอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส แอซีทัลดีไฮด์

ขั้นตอนที่สอง การเปลี่ยนแอซีทัลดีไฮด์ให้เป็นไฮเดรตแอซีทัลดีไฮด์ (hydeate acetaldehyde) โดยอาศัยเอนไซม์ แอซีทัลดีไฮด์ดีไฮโดรจีเนส (acetaldehyde dehydrogenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้

แอซีทัลดีไฮด์ เอนไซม์แอซีทัลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนส ไฮเดรตแอซีทัลดีไฮด์

ขั้นตอนที่สาม เป็นขั้นตอนการสร้างกรดแอซีติก โดนเกิดปฏิกิริยาการส่งโปรตอน 2 ตัว ของไฮเดรต แอซีทัลดีไฮด์ไปยังอะตอมของออกซิเจนจนเกิดกรดแอซีติกออกมา โดยอาศัยเอนไซม์แอลดีไฮด์ดีไฮโดรจีเนส (aldehyde dedehydrogenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้



ไฮเดรตแอวีทัลดีไฮด์ เอนไซม์แอลดีไฮด์ ดีไอดดรจีเนส กรดแอซีติก

นอกจากนี้ อาจเกิดโดยอาศัยปฏิกิริยาการรวมตัวของแอซีทัลดีไฮด์ 2 โมเลกุล เรียกว่า cannizzaro reaction ดังนี้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$CH_3CHO + CH_3CHO \longrightarrow CH_3COOH + C_2H_5OH$$

แอซีทัลไฮด์ กรดแอซีติก แอลกอฮอล์

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชู

อิทธิพลความเข้มข้นของเอทานอลโดยส่วนใหญ่แล้วความเข้มข้นของเอทานอลจะออยู่ในช่วงร้อยละ 8-12 (วราวุฒิ, 2538) ซึ่งจากการศึกษาอัตราการเจริญของแบคทีเรียพบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลอยู่ในช่วง 0.5 และ 6 กรัมต่อลิตร จะมีอัตราการเจริญของเชื้อเพิ่มขึ้นจาก 0.13 ไปเป็น 0.21 ต่อชั่วโมง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นไปเป็น 30 กรัมต่อลิตร ก็ยังมีส่วนที่เหลือเจริญต่อไปแต่เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้นเป็น 40 กรัมต่อลิตร จะยับยั้งการเจริญและอัตราการเจริญลดลง และถ้าเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลเป็น 120 กรัมต่อลิตร จะไม่เหมาะต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย

อิทธิพลความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดอะซิติกมีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมหรืออัตราการเจริญของเชื้อ *Acetobacter aceti* ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 10-14 ซึ่งจะสังเกตได้จากความเข้มข้นกรดอะซิติกที่ผลิตได้นั้นมักจะมีความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 10 กรัมต่อกรัม และจากการศึกษาเมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่อยู่ในอาหารเป็น 20 กรัมต่อลิตร จะมีผลในการยับยั้ง และเมื่อมีความเข้มข้นเป็น 40 กรัมต่อลิตร จะขัดขวางการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย และถ้าเพิ่มความเข้มของกรดอะซิติกเป็น 60 กรัมต่อลิตร จะยับยั้งการเจริญถึงร้อยละ 70

อิทธิพลของการให้อากาศในการหมักนั้นจะมีผลทำให้เชื้อแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้มีอัตราการผลตกรดเพิ่มขึ้นด้วยแต่ถ้าให้อากาศมากเกินไปก็จะมีผลไปยับยั้งกิจกรรมและมีผลกระทบต่อการผลิตกรดได้เช่นกันดังนั้นจึงต้องให้อากาศในปริมาณที่เหมาะสม

การเก็บเกี่ยวน้ำส้มสายชูหมัก

การเก็บเกี่ยวผลผลิตมี 3 ขั้นตอน ดังนี้ (วราวุฒิ และรุ่งนภา, 2532)

ขั้นตอนที่ 1 การทำให้น้ำส้มสายชูใส

เมื่อการหมักสิ้นสุดลงน้ำหมักที่ได้จะมีลักษณะขุ่น และไม่มีความสม่ำเสมอในตัวผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงต้องมีการบ่มเพื่อตกตะกอนที่ไม่ละลายออกมา และทำให้น้ำส้มสายชูมีการพัฒนาด้านคุณภาพ กลิ่น รสชาติ และความใส หลังจากนั้นจึงนำมากรองกากรองทำได้ 2 วิธี คือ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

1. เติมสารที่ทำให้ใส (Refining agent) หรือสารที่ช่วยในการกรอง เช่น Diatomaceous earth เป็นต้น สารเหล่านี้จะไปจับกับอนุภาคของสารแขวนลอยแล้ว ตกตะกอนลงมาทำให้น้ำส้มสายชูใส เร็วขึ้น

2. การกรองผ่านเครื่องกรอง ทำให้น้ำส้มสายชูใสเร็วขึ้น ซึ่งในปัจจุบันนิยม ใช้การกรองแบบ Membrane ultrafiltration process ระบบนี้อาศัยความดันเข้าช่วยทำให้กรองได้รวดเร็วและต่อเนื่อง

ขั้นตอนที่ 2 การฆ่าเชื้อ

โดยการใช้ความร้อน หรือการเติมสารเคมีเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนที่อาจเป็นสาเหตุทำให้น้ำส้มสายชูเกิดการเสื่อมเสียได้ เช่น กาไรใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 50 ppm. (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ขั้นตอนที่ 3 การบรรจุขวด

มักบรรจุในขวดแก้ว หรือขวดพลาสติกที่ทำด้วยพลาสติกที่ทำด้วยโพลิไวนิลคลอไรด์ หรือ โพลิเอทิลีน แล้วปิดฝาอย่างแน่นเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปได้

ปฏิกิริยาการหมักน้ำส้มสายชู (Adam, 1985)

การผลิตน้ำส้มสายชูหมักขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันของยีสต์และแบคทีเรีย ดังในปฏิกิริยาดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 2)

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

glucose ethyl alcohol carbon dioxide

$C_2H_5OH + O_2 \longrightarrow CH_3COOH + H_2O$

Ethyl alcohol acetic acid water

ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาการหมักน้ำส้มสายชู (Adam, 1985)

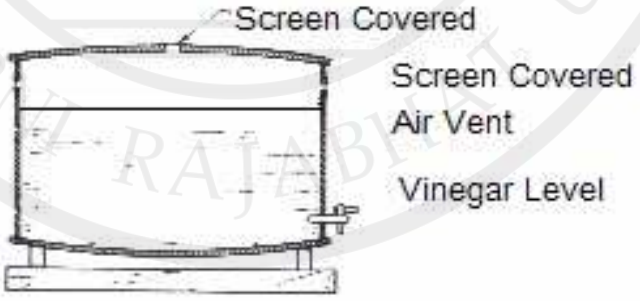
กลูโคส 1 โมเลกุลถูกเปลี่ยนเป็นเอทธิลแอลกอฮอล์ 2 โมเลกุล กับคาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุลโดยเชื้อยีสต์ จากนั้นแบคทีเรียเชื้อน้ำส้มจะออกซิไดซ์เอทธิลแอลกอฮอล์ไปเป็นกรดน้ำส้ม (กรดอะซิติก) โดยแอลกอฮอล์ 1 โมเลกุล ทำปฏิกิริยาออกซิเจน 1 โมเลกุล ได้เป็นกรดน้ำส้ม 1 โมเลกุลและน้ำ 1 โมเลกุล โดยที่กรดน้ำส้มไม่สามารถจะถูกสร้างโดยจุลินทรีย์เพียงชนิดเดียวได้

การออกแบบเครื่องมือในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

กระบวนการหมักเพื่อผลิตน้ำส้มสายชูเป็นกระบวนการหมักในสภาพอาหารเหลว ประกอบด้วยถังหมักและอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมปัจจัยต่างๆ โดยถังหมักที่ใช้ในกระบวนการหมักทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ แบบไม่ต่อเนื่อง (batch) แบบกึ่งต่อเนื่อง (semi continuous) และแบบต่อเนื่อง (continuous) ซึ่งในอุตสาหกรรมมักนิยมใช้เครื่องหมักแบบต่อเนื่อง เนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะของการหมักให้คงที่ได้ การออกแบบการหมักแบบต่อเนื่องภายในมีอุปกรณ์สำหรับการกวน ส่วน

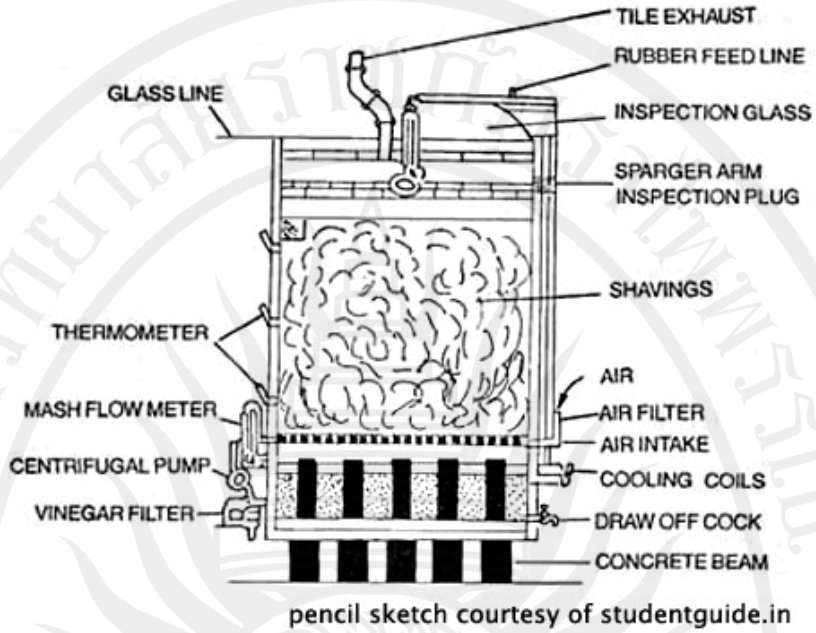
ควบคุมอุณหภูมิ และอุปกรณ์การเติมอากาศ ซึ่งการออกแบบมีการเติมวัตถุดิบและแยกเอาผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นออกจากเครื่องหมักตลอดเวลา

วราวุฒิ และคณะ (2553) ได้กล่าวถึงกระบวนการหมักน้ำส้มสายชู โดยปกติมีรูปแบบกระบวนการหมัก 3 แบบด้วยกัน กล่าวคือ การหมักแบบ Orlean process ซึ่งเป็นการผลิตน้ำส้มสายชูที่เก่าแก่ที่สุด เป็นกระบวนการหมักโดยธรรมชาติ น้ำส้มสายชูที่ได้มีคุณภาพดี กลิ่นดี วิธีการนี้ จะใช้ถังไม้ที่มีขนาดใหญ่ และมีท่อสำหรับเติมไวน์จากด้านบนสู่ก้นถัง ที่ถังไม้ มีรูเจาะไว้เพื่อให้อากาศผ่านเข้าไปปล่อยให้เกิดกรดอะซิติกจนมีปริมาณสูง แล้วปล่อยน้ำส้มสายชูออกทางก้นถัง จึงเติมไวน์ลงไปใหม่เพื่อผลิตน้ำส้มสายชูต่อไป (ภาพที่ 3) การออกแบบการหมักแบบ Slow process การหมักนี้จะผลิตกรดอะซิติกออกมาอย่างช้าๆ (Adams, 1985) กระบวนการผลิตอีกแบบหนึ่งเรียกว่า Quick process เป็นกระบวนการหมักที่นำไวน์ผ่านภาชนะที่มีความสูง โดยมีการเพิ่มพื้นที่ของการเจริญของเชื้อแบคทีเรียอะซิติก (Acetic acid bacteria) ถังหมักที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย คือ Generator (ภาพที่ 4-5) โดยจะใช้ถังหมักที่มีตัวกลางบรรจุอยู่ภายในเพื่อให้เชื้อแบคทีเรียอะซิติกเจริญยึดเกาะกับตัวกลาง กระบวนการหมักนี้เกิดขึ้นโดยอาศัยการปล่อยให้ไวน์ไหลจากด้านบนลงสู่ก้นถัง โดยไหลผ่านตัวกลางและพ่นอากาศเข้าทางก้นของถัง ทั้งนี้ตัวกลางจะเลือกใช้วัสดุประเภทเฉื่อย (Inert material) เพื่อช่วยยึดเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียอะซิติก วัสดุต่างๆที่เลือกใช้ประกอบด้วย Ceramic Support พลาสติกในกลุ่ม Lipophilic fibrous support เช่นPolypropylene, Polyethylene, Polystyrenes, Polyethylene terephthalate หรือ Polyurethane (Okuhara, 1987) เศษไม้ (ภาพที่ 6) ชานอ้อย และใยบวบ เป็นต้น สำหรับกระบวนการผลิตที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรม เป็นระบบ Submerged process ซึ่งนิยมทำการหมักในถังทรงสูงที่เรียกว่า Cavitator เชื้อแบคทีเรียอะซิติกจะกระจายอยู่ในถังหมักโดยทั่วไปและสามารถให้สารอาหาร และแอลกอฮอล์กับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในถังหมักโดยมีการผลิตกรดอะซิติกพร้อมกับการเจริญของเชื้อแบคทีเรียอะซิติก ถังหมักที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ Frings acetator (ภาพที่ 7) ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตน้ำส้มสายชูในระดับความเข้มข้นสูงได้อย่างรวดเร็ว (Adams, 1985)

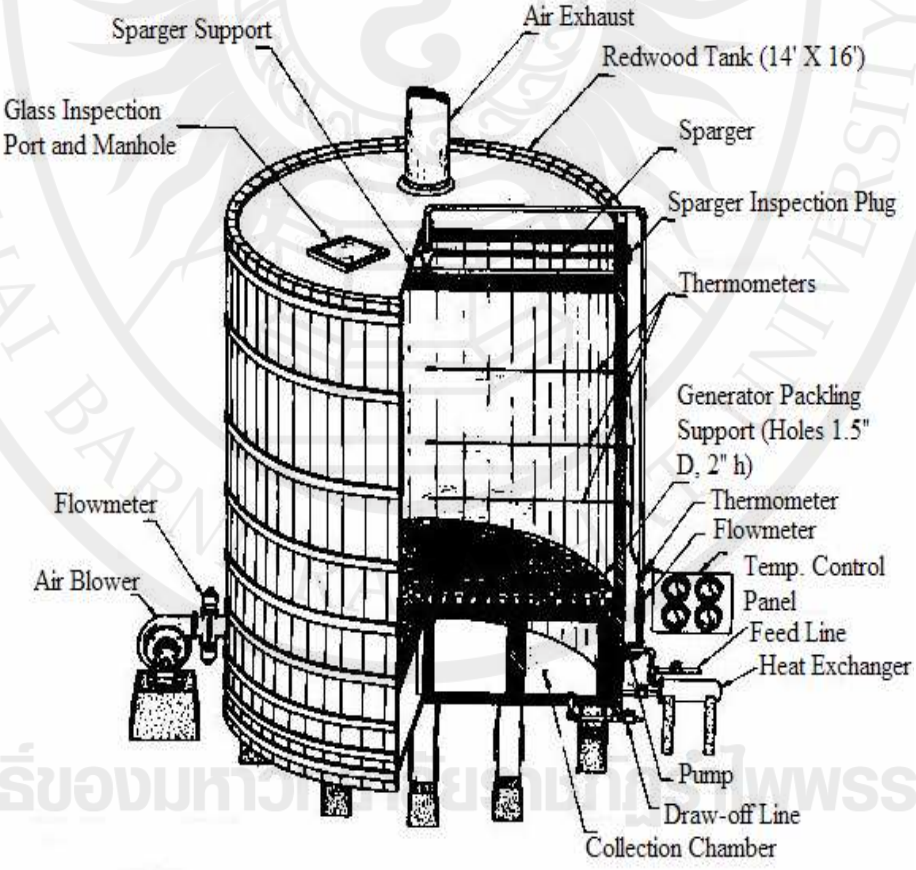


ภาพที่ 3 Orleans Process Barrel (Cruess, 1958)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

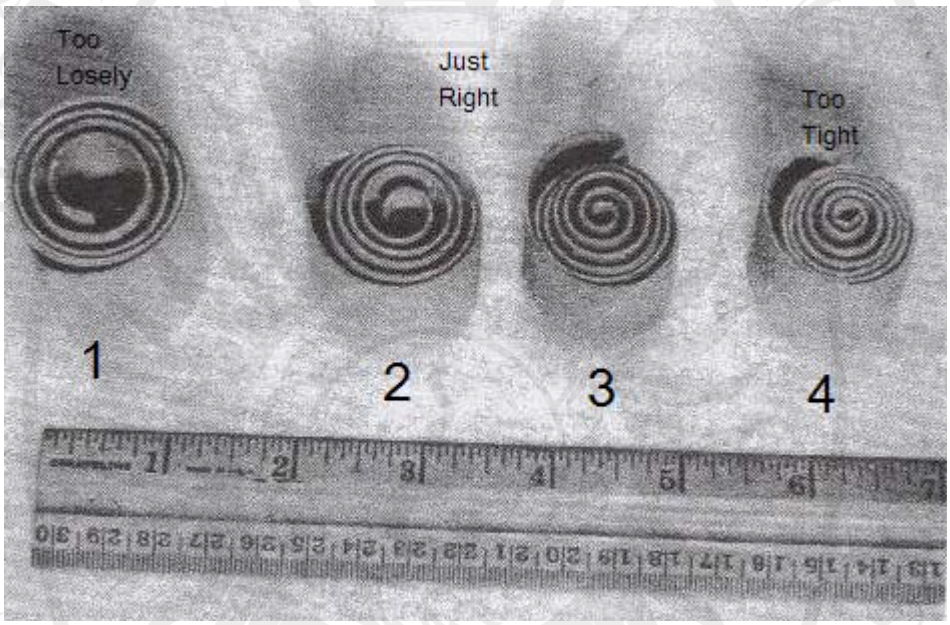


ภาพที่ 4 Vinegar Generator (Cruess, 1958)



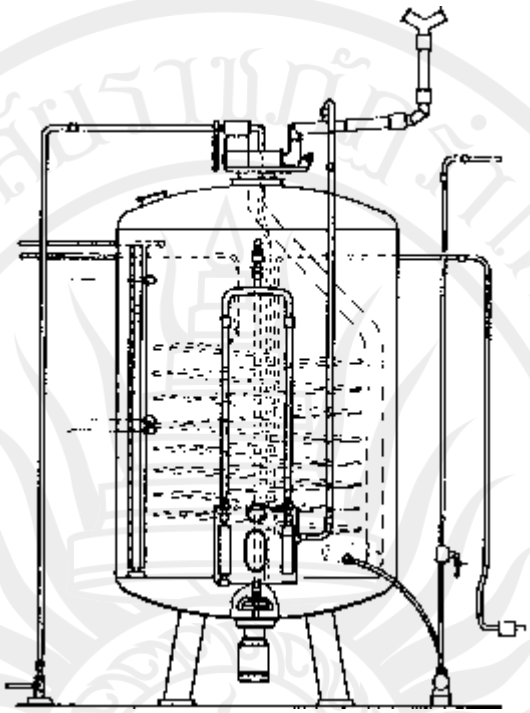
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยรามภัทรพรรณี

ภาพที่ 5 Vinegar Generator (Cruess, 1958)



ภาพที่ 6 Beech Wood Shavings (Peppler and Beaman, 1967)

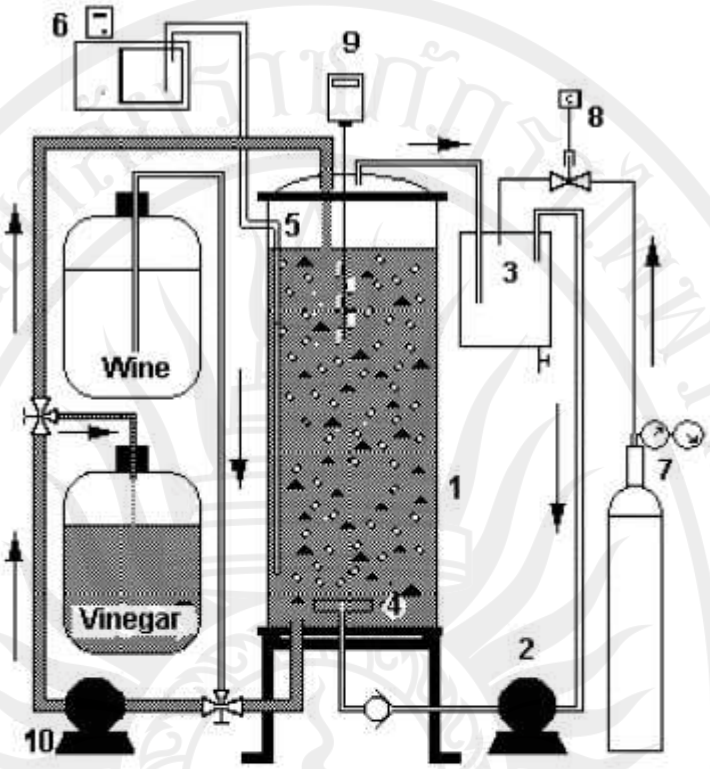
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 7 Frings acetator (Greenshields, 1978)

ในขณะที่ถังหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ได้ถูกพัฒนาจากระบบไม่ต่อเนื่อง หลังจากสิ้นสุดการหมักทุกครั้งปริมาณกรดอะซิติกจะถูกนำออก และน้ำหมักจะถูกเติมลงไปเพื่อให้การหมักได้ดำเนินต่อไป (De Ory et al., 2004) เครื่องมือนี้ถูกออกแบบให้มีระบบการหมุนเวียนของก๊าซด้วยระบบแบบปิด โดยส่วนประกอบที่ระเหยได้จากไอของก๊าซ จะถูกหมุนเวียนกลับสู่ด้านล่างของถังด้วยปั๊มอากาศ หลังจากที่ก๊าซไหลผ่าน Expansion Chamber ผ่านตัวแพร่กระจายและตัวกรองซึ่งทำด้วยแตนเลส เพื่อให้มีการหมุนเวียนของก๊าซในระดับที่เหมาะสม โดยอัตราการไหลเวียนของอากาศสูงสุดเท่ากับ 150 L/min. ซึ่งสภาพภายในถังมีสภาพเป็นสุญญากาศ ออกซิเจนถูกส่งผ่านจากถังบรรจุออกซิเจนรูปทรงกระบอก มีระบบสวิทซ์ไฟฟ้าควบคุมการเปิดปิดด้วยการตั้งเวลา ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 2 mg/L มีระบบ safety valves เพื่อควบคุมความปลอดภัย และมีหน้าปัทม์ควบคุมระดับของเหลวภายในถังหมัก (ภาพที่ 8-9)

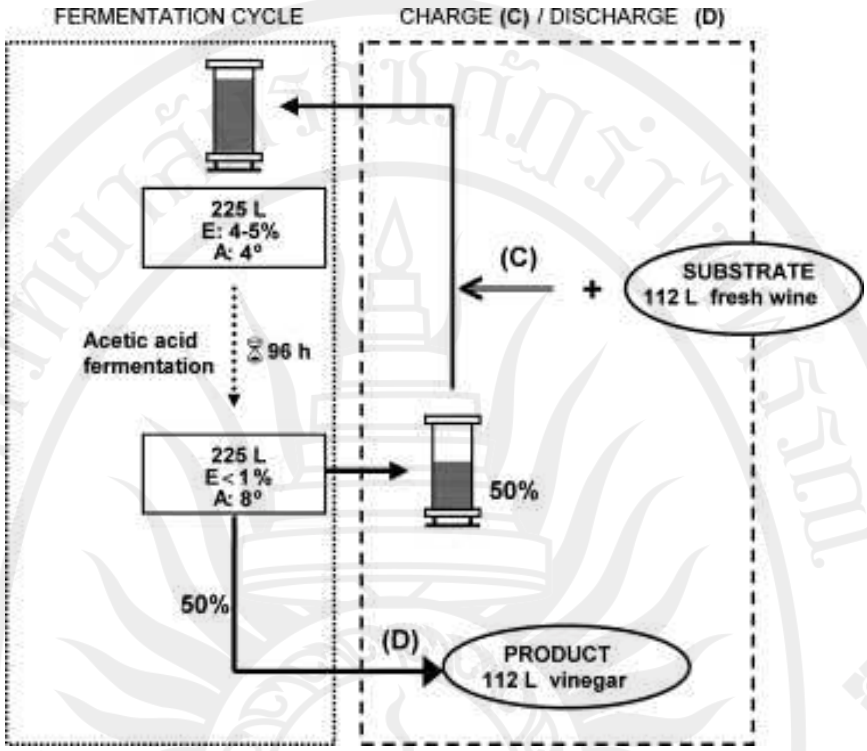
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



1.Reactor.
2.Gas recycling pump.
3.Expansion tank.
4. Air diffusers.
5.Heat exchanger.
6.Thermostatic bath.
7.Oxygen cylinder N-50.
8.Electrovalve ON/OFF
9.Dissolved oxygen sensor.
10.Feed inlet and effluent outlet pump.

ภาพที่ 8 ลักษณะถังหมักแบบกึ่งต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลองผลิตน้ำส้มสายชูหมักในระดับโรงงานอุตสาหกรรม (De Ory et al., 2002 and 2004)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 9 ระบบการทำงานของเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูหมักในลักษณะแบบกึ่งต่อเนื่อง ในระดับโรงงานอุตสาหกรรม (De Ory et al., 2002 and 2004)

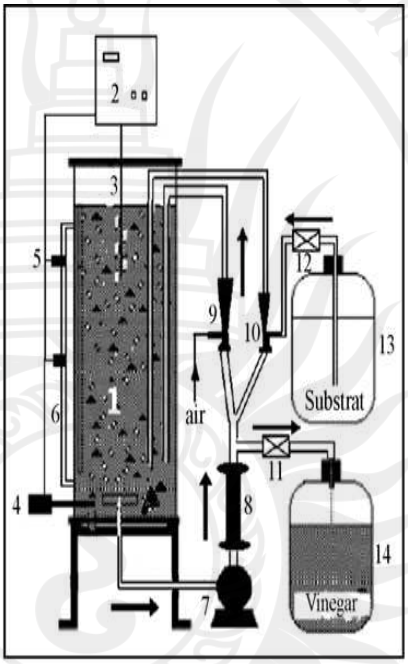
อย่างไรก็ตามถังหมักน้ำส้มสายชูที่ผลิตในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นระบบแบบไม่ต่อเนื่องโดยจะต้องนำผลิตภัณฑ์ที่หมักได้ออกจากถังหมักทุกครั้งและต้องหยุดเครื่อง มีข้อเสียทำให้สิ้นเปลืองเวลาและพลังงาน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นบางพื้นที่จึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือการหมักให้มีประสิทธิภาพขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับชนิดวัตถุดิบและวิถีของชุมชน เช่น ตัวอย่างการผลิตน้ำส้มสายชูกลั่นของชุมชนจากน้ำตาลโตนดหมัก ได้นำเอาเครื่องมือมาสร้างกระบวนการกลุ่มโดยนำวิถีชีวิตชุมชนเดิมมาประยุกต์ให้สอดคล้องกับแนวคิดใหม่ โดยถูกออกแบบให้ใช้งานในระดับกลุ่มชุมชนขนาดเล็ก ใช้ระบบการหล่อเย็นด้วยน้ำพร้อมหอทำเย็น ถังเก็บน้ำอุ่น น้ำเย็น มีระบบการควบคุมระดับน้ำโดยใช้มอเตอร์ปั๊มและระบบแก๊สสำหรับการต้มกลั่นน้ำส้มสายชู

วราวุฒิ และคณะ (มปป.) ได้พัฒนาเทคโนโลยีเพื่อผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำลวกข้าวโพดฝักอ่อน โดยกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักได้พัฒนาขึ้นตั้งแต่การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก กระบวนการผลิตในระบบกึ่งอัตโนมัติในถังหมักแบบ Airlift และระบบควบคุมปัจจัยในการหมักทำให้การผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำลวกข้าวโพดฝักอ่อนสามารถที่จะขยายการผลิตจากห้องปฏิบัติการสู่ระดับกึ่งโรงงานและระดับอุตสาหกรรมได้

Ndoye et al. (2007) ได้ออกแบบเครื่องมือผลิตน้ำส้มสายชูหมักในระดับอุตสาหกรรมโรงงาน (ภาพที่ 10) ในลักษณะการทำงานแบบกึ่งต่อเนื่อง (ภาพที่ 11) โดยใช้เชื้อ *Acetobacter*

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราไพพรรณี

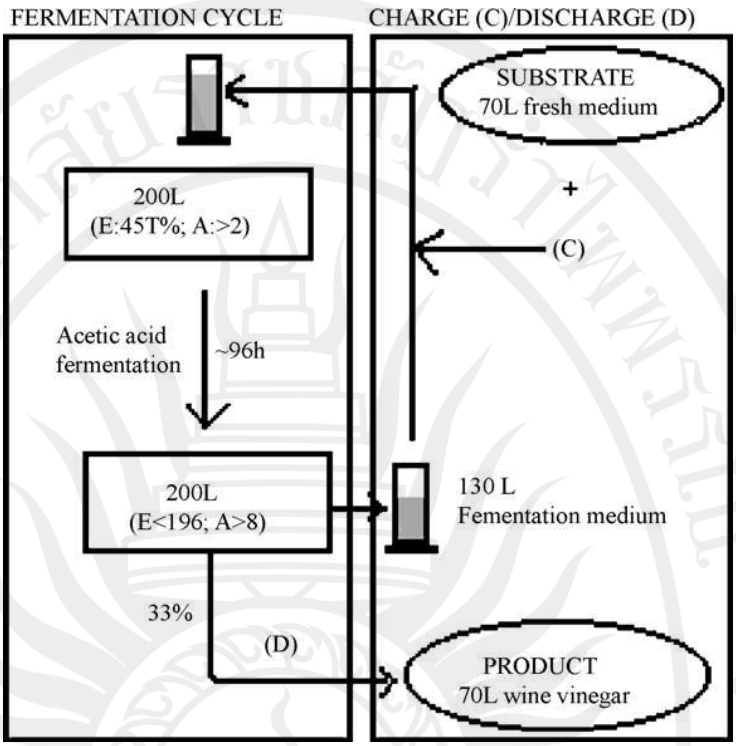
senegalensis sp.nov. ซึ่งแยกได้จากผลมะม่วง และ พบว่าเมื่อทดสอบการผลิตในระดับ 300 ลิตร หมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เครื่องมือหมักดังกล่าวสามารถผลิตน้ำส้มสายชูได้ความเข้มข้นกรดอะซิติก 8% (v/v)



1. Reactor; **2.** Electrical equipment box; **3.** Oxygen sensor; **4.** Temperature sensor; **5.** Ventilation tube; **6.** Wine supplying tube; **7.** Recycling pump; **8.** Heat exchanger; **9.** Venturi air; **10.** Venturi wine; **11.** vinegar outlet valve; **12.** Feed inlet valve; **13.** Wine wood; **14.** Vinegar wood.

ภาพที่ 10 เครื่องผลิตน้ำส้มสายชูหมักในระดับอุตสาหกรรมโรงงาน (Ndoye et al., 2007)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 11 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูหมักในลักษณะแบบกึ่งต่อเนื่อง (Ndoye et al., 2007)

Krusong et al., (2010) ศึกษากระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูด้วยระบบการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องในถังหมักแบบ Stirred Tank Reactor ด้วยการยึดเซลล์ของ *Aetobacter acetic* WK บนพื้นผิวของ loofa sponge หนา 2.5 ซม. พบว่า หลังจากการหมัก 14 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณกรดโดยเฉลี่ย 4.1$\pm$0.1% ด้วยอัตราการหมักสูงสุดที่ 0.0028-0.0067 % ต่อชั่วโมง

Krusong and Vichitraka (2011) ได้ศึกษาระบบการหมุนเวียนน้ำหมักด้วยเครื่อง Air-lift Acetifier ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากข้าวโพด ด้วยวิธีการดูดซับเซลล์ของ *Aetobacter acetic* WK บนพื้นผิวของ loofa sponge พบว่าสามารถผลิตกรดได้ 6.8-7.2 % ภายในระยะเวลา 4-5 วัน โดยอัตราการผลิตกรดเท่ากับ 0.0183 -0.0260 % ต่อชั่วโมง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

นันทนิตย์ (2552) การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกสับปะรดโดยใช้ระบบ Fix Bed Reactor พบว่าการใช้ระบบหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ที่มีอัตราส่วนของปริมาณน้ำส่ากับปริมาณเชื้อน้ำส้มเริ่มต้นเท่ากับ 1:1 และเติมสารประกอบฟอสเฟตพวก $NH_4H_2PO_4$ ลงในน้ำส่าร้อยละ 0.5 จะได้ความ

เข้มข้นของกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 น้ำหนักโดยปริมาตร ในระยะเวลาการหมัก 5 วัน น้ำส้มสายชูหมักที่ได้มีลักษณะ ใส สีเหลืองทอง และมีกลิ่นหอม

สุภกาญจน์ และคณะ(2553) การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเม่าแดง พบว่า อัตราส่วนเหมาะสมที่ระหว่างเม่าแดงต่อน้ำ คือผลเม่าแดง 1 ส่วนต่อน้ำ 4 ส่วน ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับปริมาณกรดที่เหมาะสมในการหมักไวน์ คือ ร้อยละ 0.4 จากนั้นปรับให้มีปริมาณกรดร้อยละ 0.45 โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCo_3$) และปรับปริมาณของแข็งที่ละลายไดทั้งหมด 18 องศาบริกซ์ จากนั้นเติมโพตัสเซียม เมตาไบซัลไฟต์ (KMS) ในน้ำเม่าแดงปริมาณ 200 ส่วนในล้านส่วน (ppm) เพื่อทำลายเชื้อ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เติมเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ (Aseptic technique) เติมแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) ร้อยละ 0.03 เพื่อกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง และเติมวิตามินบี 1 ปริมาณ 0.6 กรัมต่อลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์ โดยมีปริมาณผลผลิต (% yield) และปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด คือ 87.5 และ 9.17 ตามลำดับ ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดอะซิติก คือ ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหมักและน้ำเม่าแดงที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ร้อยละ 30 และ 70 ตามลำดับ

เอื้องพลอยและสุทัศน์ (2552) ผลของกระบวนการหมักที่มีต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำส้มสายชูหมักจากผลหม่อน พบว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำผลหม่อนที่ผ่านการหมักในขั้นตอนการผลิตแอลกอฮอล์ มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำผลหม่อนเริ่มต้น และปริมาณแอลกอฮอล์ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขั้นตอนการผลิตกรดอะซิติก น้ำหม่อนที่ผ่านการหมักจะมีปริมาณสารประกอบฟีโนลิกและฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินมีแนวโน้มที่ลดลงหลังผ่านการหมักเป็นเวลา 7 วัน โดยน้ำหม่อนที่มีปริมาณแอลกอฮอล์เริ่มต้น 9% สามารถผลิตกรดอะซิติกและสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดได้มากที่สุด โดยมีปริมาณเท่ากับ 1.07±0.01% และ 285.20±6.1mg GAE/100ml ตามลำดับ

สุปราณี (2554) น้ำส้มสายชูหมักจากเงาะที่เหลือจากกระบวนการแปรรูป พบว่าสายพันธุ์ยีสต์ที่เหมาะสมต่อการนำไปหมักให้เป็นน้ำส้มสายชูและอัตราส่วนเนื้อเงาะต่อน้ำที่ใช้เหมาะสมที่สุด คือ สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* var. *montachae* อัตราส่วนเนื้อเงาะต่อน้ำ 1:2 จากการหมักได้ 6 วัน ปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 13 และการหมักน้ำส้มสายชูด้วยเชื้อ *Acetobacter aceti* ใช้เวลาหมัก 8 วัน ได้ปริมาณกรดอะซิติกร้อยละ 3.86 จากการพัฒนากรรมวิธีในการผลิตน้ำส้มสายชูศึกษาคุณภาพความใส โดยการตกตะกอนใช้สารละลายเบนโทไนท์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ใช้ในปริมาณร้อยละ 10, 15, 20, 25 และ 30 ในการตกตะกอนน้ำส้มสายชูปริมาณที่เหมาะสมที่สุด คือ สารละลายเบนโทไนท์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ในปริมาณร้อยละ 20 ซึ่งมีค่าความสว่าง (L) มากที่สุด คือ 9.12 ค่าสีแดง (a) คือ -0.35 ค่าสีเหลือง (b) คือ -0.77 โดยมีปริมาณกรด อะซิติกร้อยละ 3.86 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 2.6 และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2.8 น้ำส้มสายชูหมักจากเงาะที่ได้มีลักษณะใส สีเหลืองอ่อน และมีกลิ่นหอม

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี