บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทุเรียน

ทุเรียนมีถิ่นกำเนิดบริเวณหมู่เกาะอินเดียในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (สุจิตตรา ตั้งประกอบเจริญ, 2549) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ*Durio zibethinus* L. จัดอยู่ในวงศ์Bombacaceae เป็นผลไม้ที่มีกลิ่นเฉพาะตัวผลมีขนาดใหญ่รูปรีถึงกลม เปลือกมีสีเขียวถึงน้ำตาล มีหนามแหลมแข็งปกคลุมทั่วเปลือก มีรสชาติหวานมัน และเนื้อในมีสีเหลืองซีดถึงแดง แตกต่างกันไปตามแต่ละสปีชีส์ (Brow and Michael., 1997) ทุเรียนได้ชื่อว่าเป็นราชาแห่งผลไม้ (King of fruit)(Heaton and Donald, 2006)ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในแถบเอเชียตอนใต้ ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีการผลิตทุเรียนมากที่สุด และมีการส่งออกทุเรียนเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยมีกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีที่สามารถส่งออกในรูปแบบของทุเรียนไร้กลิ่นทั้งในรูปสด แช่แข็งอบแห้ง และอื่น ๆ (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2552)พันธุ์ทุเรียนที่ปลูกในประเทศไทย จำแนกได้เป็น 6 กลุ่ม ตามลักษณะรูปร่างใบ ปลายใบ ฐานใบ ทรงผล และรูปร่างของหนาม คือกลุ่มกบ กลุ่มลวง กลุ่มก้านยาว กลุ่มกำปั่นกลุ่มทองย้อยและกลุ่มเบ็ดเตล็ด (หิรัญหิรัญประดิษฐ์ และคณะ, 2542)ซึ่งปัจจุบันพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากมี 4 พันธุ์ คือ หมอนทองชะนีก้านยาวและกระดุมเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ได้ความนิยมของตลาดและปลูกเป็นการค้า โดยแต่ละพันธุ์จะมีคุณสมบัติทั้งในด้านลักษณะเด่นและลักษณะด้อยที่แตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของทุเรียนพันธุ์นั้นๆ (หิรัญหิรัญประดิษฐ์, 2547)

ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (*Durio zibethinus Murray*) เป็นพืชที่นิยมปลูกกันมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะมาเลเซีย อินโดนีเซีย ไทย และฟิลิปปินส์ (Siriphanich, 2011)เป็นผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักประมาณ3-4 กิโลกรัม ทรงผลค่อนข้างยาวมีบ่าผลปลายผลแหลมพูมักไม่ค่อยเต็มทุกพู เปลือกหนา และมีหนามแหลมสูง ฐานหนามเป็นเหลี่ยม ระหว่างหนามใหญ่จะมีหนามเล็กวางแซมอยู่ทั่วไป ซึ่งเรียกหนามชนิดนี้ว่า เขี้ยวงู ก้านผลใหญ่แข็งแรง ช่วงกลางก้านผลจนถึงปากปลิงจะอ้วนใหญ่ เป็นทรงกระบอก เนื้อหนาสีเหลืองอ่อนเนื้อค่อนข้างแห้งไม่แฉะติดมือ รสชาติหวานมัน เมล็ดน้อยและลีบเป็นส่วนใหญ่(ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, 2535)ส่วนช่วงระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวประเทศไทยจะมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงระยะแก่จัดก่อนที่ผลจะสุกและปล่อยให้สุกขณะที่รอขาย(Alan Davidson, 1999)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

จากสถิติการเพาะปลูกทุเรียน จังหวัดจันทบุรี ปีเพาะปลูก 2550-2556(ตารางที่ 2.1) ในปี พ.ศ 2556 มีผลผลิตรวมทั้งหมด 223,899 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย 1,344 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรี, 2556)

ตารางที่ 2.1สถิติการเพาะปลูกทุเรียน จังหวัดจันทบุรีปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2550-2556

สถิติการเพาะปลูกทุเรียน จังหวัดจันทบุรีปีการเพาะปลูก 2550-2556				
ปีการเพาะปลูก (ไร่)	**พื้นที่ปลูกรวม (ไร่)**	**พื้นที่ให้ผลผลิต (ไร่)**	**ผลผลิตรวม (ตัน)**	**ผลผลิตเฉลี่ย (ก.ก./ไร่)**
2550	219,959.00	203,649.00	239,606.00	1,177.00
2551	201,828.00	191,673.00	243,808.00	1,272.00
2552	183,551.00	172,376.00	217,194.00	1,260.00
2553	184,412.00	171,088.00	210,890.00	1,233.00
2554	186,229.00	169,243.00	224,754.00	1,328.00
2555	184,199.00	167,350.00	206,175.00	1,232.00
2556	185,682.00	166,584.00	223,889.00	1344.00

ที่มา:สำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรี (2556)

ซึ่งผลผลิตทุเรียนดังกล่าวส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในการบริโภคทั้งในรูปแบบของการบริโภคสด และแปรรูป เพื่อการส่งออก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ๒๕๕๖)ดังนั้นในปี พ.ศ. 2556 จะมีเปลือกทุเรียนจากการผลิตและแปรรูปทุเรียนเหลือทิ้งเป็นปริมาณมาก ซึ่งมีเพียงบางส่วนที่เกษตรกรนำมาใช้ทำเป็นปุ๋ยพืชสดแต่ส่วนใหญ่กองทิ้งไว้หรือขนย้ายไปทิ้งที่อื่นก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศและส่งกลิ่นเหม็น

2.2 เปลือกทุเรียน

จากผลการวิจัยส่วนประกอบของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง1 ผลประกอบด้วยเปลือก 58.56 เปอร์เซ็นต์ เนื้อ 28.51 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ด 12.93 เปอร์เซ็นต์ (ลือพงษ์ ลือนาม และจรูญพงศ์ เทียมประทีป, 2552) ในขณะที่งานวิจัยของวรวรรณสังข์แก้ว(2554)พบว่าทุเรียนพันธ์หมอนทอง 1 ผลมีส่วนประกอบของเปลือก เนื้อและเมล็ด เท่ากับ 67.4,25.5, 7.1เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับจากข้อมูลสำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรีพ.ศ.2556 จะได้ส่วนเนื้อ เมล็ด และเปลือกทุเรียนประมาณ 57,091, 15,896 และ 150,901 ตัน จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (*DuriozibethinusMurray*) ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน ไฟเบอร์ และคาร์โบไฮเดรตรวมเท่ากับ 30.92,17.99,7.69,6.92,3.15,4.01,0.26,27.81และ57.85

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Unhasirikul et al., 2013) และการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง พบว่าประกอบด้วยใยอาหารในปริมาณ 79 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไขมัน โปรตีน สตาร์ซ และเถ้า พบในปริมาณเพียง0.82,5.48,2.55 และ3.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ(โศรดาวัลภา และคณะ,2553) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบที่น่าสนใจหลายอย่างจึงได้มีการนำเปลือกทุเรียนมาใช้ประโยชน์ต่างๆ อาทิเช่น ผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียน) โดยการนำพลังงานคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์แผ่นชิ้นไม้อัดซึ่งสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดีเนื่องมาจากพลังงานคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านเข้าไปในแผ่นชิ้นไม้อัดที่นำมาทำการอบแห้งได้เพราะความร้อนที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟภายในแผ่นชิ้นไม้อัดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจึงทำให้ความแห้งที่เกิดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอไปทุกตำแหน่งของตัวแผ่นจึงเป็นเหตุให้การควบคุมคุณภาพในการผลิตทำได้ง่ายระยะเวลาในการอบแห้งก็สั้นกว่าการอบแบบปกติและยังเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยเหมาะกับการนำไปใช้เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ภาคการเกษตรภายในประเทศที่เน้นการควบคุมคุณภาพเพื่อการส่งออก (อนุชิตจิ๋วหยีและคณะ, 2555)ผลิตวัสดุเชื้อเพลิง (ถ่าน) โดยการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะคุณภาพต้นทุนการผลิตของถ่านทั้งสองลักษณะ พบว่าถ่านเปลือกทุเรียนอัดแบบก้อนกลมที่ได้มีสีดำสม่ำเสมอไม่มีวัสดุอื่นเจือปนไม่แตกหัก และจุดไฟติดง่าย ส่วนถ่านเปลือกทุเรียนอัดแบบแท่งมีลักษณะแตกหักค่อนข้างง่ายเนื่องจากอัดด้วยแรงคนโดยต้นทุนการผลิตต่ำสุดจนถึงสูงสุดได้แก่เปลือกทุเรียนที่หั่นเป็นชิ้นหนาเปลือกทุเรียนที่อัดเป็นก้อนกลมเปลือกทุเรียนที่หั่นชิ้นบางและเปลือกทุเรียนที่หั่นเป็นก้อนใหญ่โดยมีต้นทุนการผลิต 44.11, 52.23, 57.86 และ 66.35 บาทต่อกิโลกรัมตามลำดับ(วรวรรณ สังข์แก้ว,2554)

ผลิตถ่านกัมมันต์โดยการสังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนด้วยกระบวนการคาร์บอไนเซชันสองแบบ คือ กระบวนการคาร์บอไนเซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนและภายใต้ความดันสุญญากาศ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันภายใต้ความดันสุญญากาศ มีพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนและสีเมทิลีนบลูได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (สราวุธ ศรีคุณ, 2550) การเสริมใยอาหารมีการศึกษาผลของการเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนด้วยการทดแทนส่วนของแป้งสาลีจำนวน 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า การเพิ่มปริมาณใยอาหารจากเปลือกทุเรียนโดยการทดแทนส่วนของแป้งในขนมปังในระดับที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาตรของปริมาตรของขนมปังลดลง มีสีคล้ำมากขึ้น มีเนื้อสัมผัสนิ่มลง เหนียวเหนอะเพิ่มขึ้นและยืดหยุ่นตัวลดลง การเสริมใยอาหาร 5 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้ปริมาตรและเนื้อสัมผัสของขนมปังเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่ได้มีการเสริมใยอาหาร แม้ว่าการเสริมใยอาหารในระดับ10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสี ปริมาตรและเนื้อสัมผัสของขนมปังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกับที่ระดับ5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ การ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนในขนมปังจึงทำให้ในปริมาณไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค (โศรดา วัลภา และคณะ,2553)

แผ่นฟิล์มจากเปลือกทุเรียนโดยทำการทดลองผลิตซีเอ็มซีจากเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนเพื่อผลิตเป็นฟิล์ม ซึ่งมีคุณสมบัติย่อยสลายพร้อมทั้งพัฒนาคุณสมบัติของฟิล์มให้ดีขึ้นด้วยการใส่สารเติมแต่ง เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก ซึ่งเปลือกทุเรียนสามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มที่ละลายน้ำได้ ไวต่อน้ำและมีการดูดซึมความชื้นได้ดีมีศักยภาพในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่ละลายน้ำได้ สามารถใช้ผลิตถุงชากาแฟเคลือบผิวแคปซูลยา เป็นต้น (นิลวรรณ คงถาวร และคณะ, 2557)ผลิตกระดาษจากเปลือกทุเรียน โดยการนำเปลือกทุเรียนสองสายพันธุ์ คือ พันธุ์หมอนทอง และพันธุ์ก้านยาว มาพัฒนากระดาษสำหรับการพิมพ์ระบบพ่นหมึกเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติและสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนทั้งสองสายพันธุ์ พบว่า เปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ทำให้ได้กระดาษที่มีคุณภาพดี และกระดาษเปลือกทุเรียนนี้สามารถนำไปพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ระบบพ่นหมึกได้ โดยงานพิมพ์ตารางสีทดสอบบนกระดาษที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีขอบเขตสีกว้างกว่ากระดาษที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนพันธุ์ก้านยาว (นิทัศน์ ทิพยโสตนัยนาและสุชปาเนตรประดิษฐ์, 2550)

เพคตินจากเปลือกทุเรียน โดยศึกษาปริมาณและคุณสมบัติของเพคตินจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จากเปลือกส่วนด้านนอกและด้านใน และเพื่อหาเทคนิคขั้นตอนที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนโดยเปรียบเทียบปริมาณและคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้จากสภาวะต่างๆ ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมซึ่งสกัดเพคตินได้มากที่สุดคือการใช้เวลาสกัด 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พีเอช 2 และล้างตะกอนด้วยอะซิโตน โดยพบว่าเพคตินที่สกัดจากเปลือกทุเรียนด้านในได้ปริมาณเพคตินต่อน้ำหนักแห้งเท่ากับ 11.74 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าที่สกัดจากเปลือกด้านนอกซึ่งได้เพคตินเท่ากับ 7.91 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกเฉลี่ยคิดเป็น 50.10 และ 47.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าเพคตินทางการค้าที่มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกเท่ากับ39.63 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อนำมาศึกษาคุณสมบัติด้านอื่น พบว่าเพคตินที่สกัดจากเปลือกทุเรียนด้านในและด้านนอกมีปริมาณดีกรีออฟเอสเทอริฟิเคชันเฉลี่ย 66.34 และ 82.75 ตามลำดับ ปริมาณเมทอกซิลเฉลี่ย 10.83 และ 13.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สรุปได้ว่าเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีคุณสมบัติเป็นเพคตินที่มีปริมาณเมทอกซิลสูง (รัชฎาพร และอธิยา, มปป)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

จิรศักดิ์ และณัตติยา (2554) ผลิตไบโอเอทานอลจากเปลือกทุเรียนโดยกระบวนการทำให้เป็นน้ำตาลแยกจากการหมัก (SHF) และกระบวนการทำให้เป็นน้ำตาลพร้อมการหมัก (SSF) ศึกษาการปรับสภาพเปลือกทุเรียนโดยการใช้น้ำกลั่น กรดซัลฟูริกเจือจาง และโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางที่อุณหภูมิ 121 และ135 องศาเซลเซียส หมักโดยการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเจือจาง ใช้เปลือก

ทุเรียน 1.5 เปอร์เซ็นต์ นำซับสเทรตที่ปรับสภาพมาผสมกับเอนไซม์ อะไมเลส อะไมโลกลูโคซิเดส ไซแลนเนส เซลลูเลส และเพกติเนส น้ำตาลที่ได้นำมาใช้ในการผลิตเอทานอลโดย SHF และ SSF โดย *S. cerevisiae*และ *C. tropicalis*น้ำตาลที่ได้เท่ากับ 9.34 ถึง 14.52 กรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพการแปรรูปน้ำตาลเท่ากับ 62.27 ถึง 96.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิ ได้สัมประสิทธิ์การผลิตเอทานอลของเชื้อยีสต์ผสม *S. cerevisiae*และ *C. tropicalis*สูงสุด (96.07 เปอร์เซ็นต์โดยทฤษฎี) การหมักโดย SSF ใช้เวลาสั้นกว่า (16-20 ชั่วโมง) การหมักโดย SHF (48 ชั่วโมง) ทำให้ได้ผลผลิตเอทานอลสูงขึ้น 0.939 กรัมเปอร์เซ็นต์ และ 0.883 กรัมเปอร์เซ็นต์

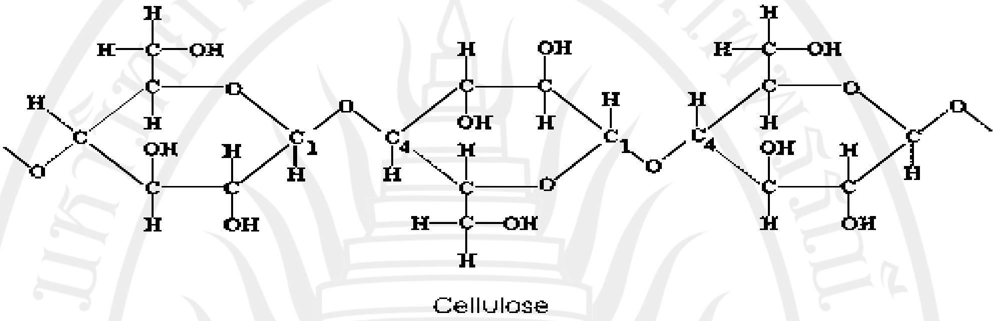
2.3การผลิตเอทานอลจากเศษวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose)เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร ได้แก่ ชานอ้อย ซังข้าวโพด ฟางข้าว และของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ เป็นต้น ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก3ส่วนคือ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่น ๆ เจือปนด้วยเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวและอยู่ในรูปผลึก มีลักษณะเป็นเส้นใยเหนียว และไม่ละลายน้ำ เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส (pentose) หลายชนิด เช่น ไซโลส (xylose) แมนโนส (manose) และอะราบิโนส (arabinose) เป็นต้น ซึ่งไม่ละลายน้ำและเสถียรน้อยกว่าเซลลูโลสมาก ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ของฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) ที่ทนต่อการไฮโดรไลซิสอย่างมาก (จักรพงศ์ สังโชติ และคณะ,2555)

1. เซลลูโลส (cellulose) เป็นสารประกอบโฮโมพอลิแซ็คคาไรด์ (homopolysaccharide) ไม่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคส (β-D-glucopolyranose) เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเบต้า-1,4 ไกลโคซิดิก (β-1,4 glycosidic) แต่ละสายประกอบด้วยกลูโคส 15-10,000 หน่วย(เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์, 2551) และมีมากที่สุดในเซลล์พืช พบตามผนังเซลล์ของพืชทุกชนิดมีหน้าที่ช่วยทำให้พืชมีโครงสร้างแข็งแรง ในธรรมชาติจะไม่พบเซลลูโลสในรูปอิสระ มักพบรวมกับลิกนิน(lignin) เพนโตแซน (pantosan) กัม(gum) แทนนิน(tannins) ไขมัน (Lipid) และสารที่ทำให้เกิดสี(colouring matter)เป็นต้น(ดรุณวรรณ ชื่นบุบผา, 2553)

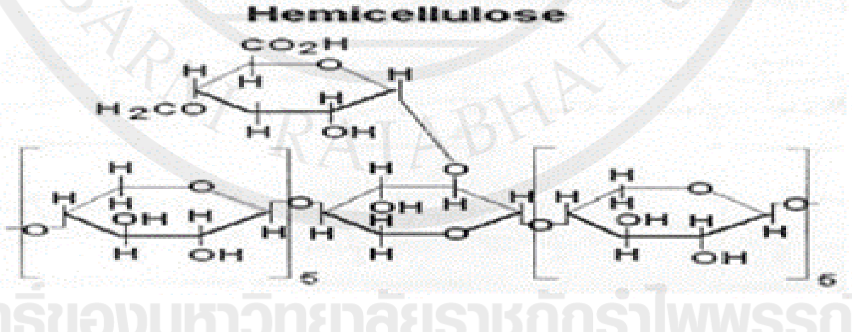
เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ซึ่งจะทำปฏิกิริยาโดยจะจับกับ ออกซิเจน, ไนโตรเจนและ ซัลเฟอร์สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมากและโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมากอุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมากการที่จะแยกองค์ประกอบเหล่านี้ออกจากกันได้จึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการทางเคมีเข้ามาช่วยเซลลูโลสมักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัวและมีความสามารถในการละลายต่ำเซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกันการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมี

ความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพจึงจำเป็นที่จะต้องมีการนำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการต่างๆเพื่อเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เหมาะต่อการนำไปย่อยให้เป็นน้ำตาลด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์แล้วเข้าสู่กระบวนการการหมักต่อไป (วิไลวรรณลีนะกุล, 2552) โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสแสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1โครงสร้างของเซลลูโลส
ที่มา:ชีววิทยาของชีวิต, 2558

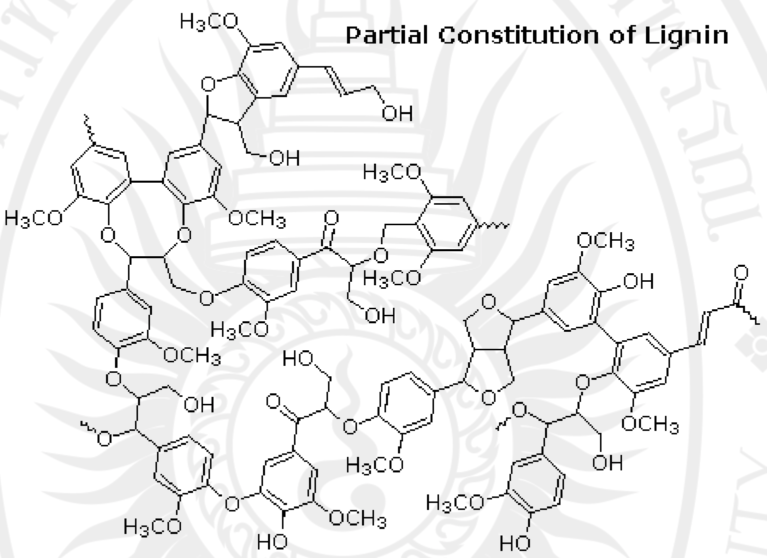
2. เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses)เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ประเภทเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส ซึ่งส่วนมากจะเป็น ดี-ไซแลน ที่ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสหลาย ๆ โมเลกุลโดยแต่ละโมเลกุลต่อกันด้วยพันธะเบต้า-1,4 ไกลโคซิดิก (β-1,4 glycosidic) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานกลุ่มเส้นใยเซลลูโลสร่วมกับลิกนินและเพกตินประกอบเป็นผนังเซลล์ทำให้เซลล์มีความแข็งแรงและคงรูปอยู่ได้(วนิดา ปานอุทัย, 2553) โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสแสดงดังภาพที่ 2.2



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 2.2โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส
ที่มา:องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้, 2558

3. ลิกนิน (lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่รวมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารประกอบด้วยคาร์บอน (carbon) ไฮโดรเจน (hydrogen) และออกซิเจน (oxygen) รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ และมีโครงสร้างที่แข็งแรงทนต่อการย่อยสลาย เพราะฉะนั้นพืชที่มีลิกนินมากจึงมีความแข็งแรงทนทาน และเมื่อพืชตายก็จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (lignase) หรือลิกนินเนส (ligninase) (หรรษา เวียงวะลัย, 2548)โครงสร้างของลิกนินแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3โครงสร้างของลิกนิน
ที่มา: Condensation Polymers, 2558

องค์ประกอบหลักของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส จากอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ฟางข้าวสาลี ชานอ้อย ซังข้าวโพด เปลือกสับปะรด และอื่น ๆ เปอร์เซ็นต์เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน แสดงดังตารางที่ 2.2

ขั้นตอนในการผลิตเอทานอลจากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Raw material preparation) การปรับสภาพ (Pretreatment) การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) การหมัก (Fermentation) ซึ่งในวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสจะต้องมีขั้นตอนการไฮโดรไลซิสเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลก่อนการหมัก (ชัชนันท์ นิวาสวงษ์ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย, 2555) แสดงดังภาพที่ 2.4

ตารางที่ 2.2องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่พบในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส

วัตถุดิบ	องค์ประกอบ (%)			เอกสารอ้างอิง
	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	
ฟางข้าวสาลี	49.7	26.4	8.4	Delgenes et al., 1990
ฟางข้าว	32	24	13	Reberto et al., 1994
ผักตบชวา	65.2	20	12	Nasimul et al., 2002
ซังข้าวโพด	45	35	15	Howard et al., 2003
ใบข้าวโพด	33.64	24.4	8.65	Xing et al., 2009
เปลือกกล้วยน้ำว้า	23-24	12-13	22-23	ดรุณวรรณ ชื่นบุบผา,2553
เปลือกสับปะรด	64.57	4.59	20.55	ณัตติยา จันทวงษา,2553
เปลือกทุเรียน	34.28	8.29	35.16	ณัตติยา จันทวงษา,2553

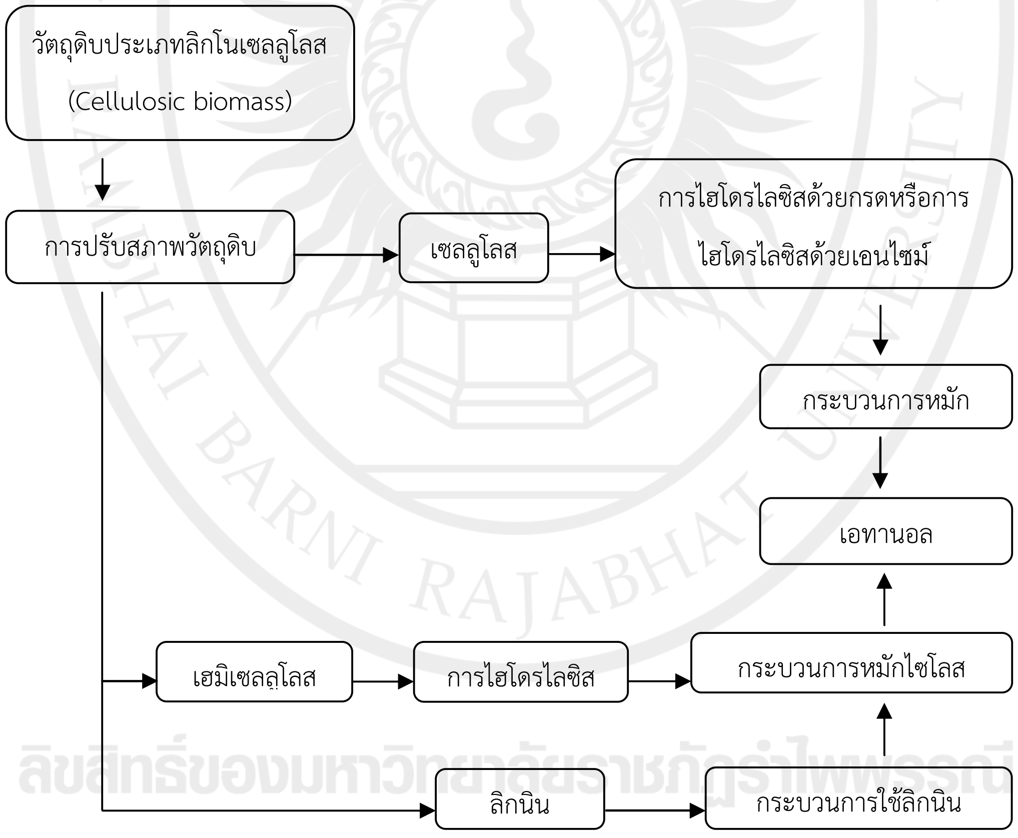
2.3.1 การปรับสภาพ (pretreatment) มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดลิกนินและเป็นการปรับโครงสร้างของเซลลูโลสให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการไฮโดรไลซิส ซึ่งการปรับสภาพจะช่วยกำจัดลิกนิน อีกทั้งเป็นการลดโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นผลึกของเซลลูโลสและช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการเข้าทำปฏิกิริยา (Krishna and Chowdary, 2000) วิธีการปรับสภาพเบื้องต้นนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 วิธี (ประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์ และคณะ, 2552) ดังนี้

2.3.1.1 การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ(physical pretreatment)ที่นิยมคือ การลดขนาดโดยวิธีการบด ซึ่งวิธีการบดเป็นการบดผลึกของเส้นใยที่ประกอบด้วยไมโครไฟบริลจำนวนมากและในแต่ละไมโครไฟบริลนั้นประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (crystallineregion)ให้แตกออก เพื่อให้สารละลายย่อยสลายได้ง่ายขึ้นรวมทั้งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบทำให้สารละลายทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น โดยรายงานการวิจัยของ เสรี มหาวิชัด และเฉลิม เรืองวิริยะชัย (2555) มีการนำลำต้นมันสำปะหลังมาสับให้ได้ขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 48 ชั่วโมงนำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งมาบดให้ละเอียด ให้ได้ขนาดประมาณ 500 ไมโครเมตร แล้วเก็บไว้ในภาชนะที่แห้งและปิดให้มิดชิดเพื่อป้องกันความชื้นก่อนการนำไปใช้ ศึกษาผลของการปรับสภาพตัวอย่างโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แบบต่างๆ ได้แก่ตัวอย่างที่ไม่ได้ปรับสภาพ การปรับสภาพโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยใช้ตู้อบไอร้อน เป็นเวลา 60 นาที การปรับสภาพที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา48 ชั่วโมง และการปรับสภาพโดยใช้หม้อนึ่งความดัน ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็น

เวลา 60 นาที พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ1.46±0.17, 1.06±0.12, 1.15±0.13 และ 0.85±0.14 กรัมต่อลิตรตามลำดับ

2.3.1.2การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี(chemicalpretreatment)แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือการใช้กรดและด่าง

2.3.1.2.1 การใช้กรด เป็นการปรับสภาพวัตถุดิบโดยใช้สารละลายกรดอ่อน เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก ทำให้เฮมิเซลลูโลสละลายน้ำออกมา กระบวนการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การใช้กรดซัลฟิวริกเจือจางความเข้มข้น 0.5–1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เนื่องจากสภาวะนี้จะได้ผลผลิตของเฮมิเซลลูโลสสูงถึง 75–90 เปอร์เซ็นต์ แต่ข้อเสียของกระบวนการนี้คือการใช้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดสารข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์และเป็นพิษต่อกระบวนการหมักในขั้นตอนต่อไป ถึงแม้ว่าการใช้กรดอ่อนจะมีต้นทุนต่ำ แต่การกำจัดสารพิษที่เกิดขึ้นมีราคาสูง ดังนั้นจึงมีการคิดกระบวนการใหม่โดยเพิ่มความเข้มข้นของกรดที่ใช้และใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าทำให้สามารถลดการเกิดสารพิษลงได้(ณัตติยา จันทวงษา, 2553)



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 2.4 กระบวนการผลิตเอทานอลจากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส

ที่มา:ธีรภัทร ศรีนรคุตร (2543)

Zhang และคณะ(2011) ได้ทำการศึกษาการผลิตเอทานอลจากต้นธูปฤาษี โดยการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1–1 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 140–180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5–10 นาที ผลจากการปรับสภาพ พบว่า การปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ ได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลกลูโคสสูงถึง 97.1 เปอร์เซ็นต์

ณัตติยา จันทวงษา (2553) ศึกษาการปรับสภาพเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้น 0.1, 1 และ 2 โมลาร์ ภายใต้ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที พบว่าการปรับสภาพเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด คือ 6.12 กรัมต่อลิตร ซึ่งได้มากกว่าการปรับสภาพเปลือกทุเรียนด้วยกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 1 โมลาร์ ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ 4.15 และ 5.16 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.2.1.2.2 การใช้ด่าง เป็นการปรับสภาพวัตถุดิบโดยใช้สารละลายด่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีผลทำให้เฮมิเซลลูโลสและลิกนินละลายน้ำออกมา และยังทำให้เกิดการพองตัว (swelling) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบ

ระวีวรรณ แกล้วกล้า(2538) ได้ทำการปรับสภาพฟางข้าวขั้นต้นโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.0 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะทำให้การย่อยสลายเซลลูโลสโดยเอนไซม์เซลลูเลสเกิดดีขึ้น

เกศมณี ตาดทอง และคณะ (2546) ศึกษาการปรับสภาพเปลือกสับปะรด โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โมลาร์ พบว่า ที่ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที มีปริมาณเซลลูโลส 91.32 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 0.46 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 4.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.3.1.3 การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีฟิสิกส์(physic-chemicalpretreatment)เป็นการใช้วิธีทางกายภาพร่วมกับการใช้สารเคมีเช่นการใช้สารละลายเบสเจือจางและความร้อนภายใต้ความดันสูงในการปรับสภาพซึ่งประสิทธิภาพการไฮโดรไลซิสนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายเบสและความร้อนเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นการแตกตัวของน้ำตาลที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนเป็น สารประเภท เฟอฟูรัล (furfural) ฟอร์มัลดีไฮด์(formaldehyde)หรือกรดฟอร์มิก (formic) เป็นต้นซึ่งเป็นตัวขัดขวางขั้นตอนในการไฮโดรไลซิส (ชัชนันท์ นิวาสวงษ์ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย,2555) Acebalและคณะ (1986) ได้ทำการปรับสภาพฟางข้าว โดยการเปรียบเทียบวิธีทางกายภาพคือ การบดและวิธีการทางเคมีฟิสิกส์ คือการบดและแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

พบว่า การใช้วิธีการทางเคมีฟิสิกส์ในการปรับสภาพฟางข้าวทำให้เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของเซลลูโลสสูงกว่าการใช้วิธีทางกายภาพเพียงอย่างเดียว คือ 0.557 เปอร์เซ็นต์ และ 0.240 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ต่อมา Badal และคณะ (2005) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และความร้อนในสภาวะความดันสูงในการปรับสภาพฟางข้าวต่อกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ พบว่า ประสิทธิภาพการไฮโดรไลซิสขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และความร้อนที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ความร้อนภายใต้สภาวะความดันสูงเพียงอย่างเดียว พบว่า การไฮโดรไลซิสลดลงเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแตกตัวของน้ำตาลที่เกิดขึ้นเปลี่ยนเป็นสารประเภทเฟอฟูรัล สารฟอร์มัลดีไฮด์ หรือกรดฟอร์มิก ซึ่งเป็นตัวขัดขวางการทำงานของเอนไซม์

2.3.1.4 การปรับสภาพด้วยวิธีทางชีวภาพ (biological pretreatment) เป็นการใช้เอนไซม์เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างที่ซับซ้อนของเซลลูโลสให้อยู่ในรูปโซ่ตรงและช่วยลดความเป็นผลึกของเซลลูโลสซึ่งวิธีการนี้เหมาะสำหรับขั้นตอนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์(ชัชนันท์ นิวาสวงษ์และเฉลิม เรืองวิริยชัย, 2555) จากรายงานการวิจัยของกัลยา อยู่นาน และจิรศักดิ์ คงเกียรติขจร (2548) ได้นำกากมันสำหลังปะหลังแห้งและบดละเอียดมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ปรับพีเอชเท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 44.59 เปอร์เซ็นต์ นำสารละลายจากปฏิกิริยาที่ได้มาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสที่ (pH) เท่ากับ 4 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 79.99 เปอร์เซ็นต์

2.3.2 การไฮโดรไลซิส (hydrolysis) คือการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ของน้ำตาลคาร์บอน 5และ 6 อะตอมจะได้น้ำตาลไซโลส (xylose) แมนโนส (mannose) อะราบิโนส (arabinose) และกลูโคส (glucose) ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชการไฮโดรไลซิสมี 2 กระบวนการ ได้แก่ การใช้สารเคมีและการใช้เอนไซม์(Boschet al.,2010)

2.3.2.1 การใช้สารเคมี

2.3.2.1.1 การไฮโดรไลซิสด้วยกรด (Hydrolysis acid) แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการคือ การไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจาง และการไฮโดรไลซิสโดยด้วยกรดเข้มข้น

1) การไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจาง (dilute acid hydrolysis) เป็นการเปลี่ยนเฮมิเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาล ในปี 1998Nguyen ได้ศึกษาการไฮโดรไลซิสโดยใช้กรดเจือจางกับไม้เนื้ออ่อน ประกอบด้วย2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจะใช้กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.7 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ขั้นตอนที่สอง ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์อุณหภูมิ 215 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ไฮโดรไลเสทที่ได้ในแต่ละขั้นตอนต้องปรับพีเอชให้เป็นกลางหรือลดสารพิษ ไฮโดรไลเสทที่ได้ พบว่าประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส 89 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

กาแลกโตส 82 เปอร์เซ็นต์ และกลูโคส 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*สามารถผลิตเอทานอลได้ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรต่อปริมาตร

Nguyen และคณะ (1999) นำเศษไม้ 3 ชนิด ที่ได้จากป่าที่มีไม้เนื้ออ่อนอยู่อย่างกระจัดกระจายมาเปลี่ยนให้เป็นเอทานอลโดยการย่อยด้วยกรดเจือจาง 2 ขั้นตอน คือ นำเศษไม้มาแช่ในกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น0.4-0.7เปอร์เซ็นต์และใช้ไอน้ำอุณหภูมิ180–200องศาเซลเซียส พบว่า เกิดการไฮโดรไลซิสเฮมิเซลลูโลสได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์และเซลลูโลสประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ กรองไฮโดรไลเสทและล้างด้วยน้ำ นำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ส่วนไฟเบอร์ที่เหลือนำมาแช่ในกรดเจือจางครั้งที่ 2 แต่ย่อยโดยใช้อุณหภูมิ 210–220 องศาเซลเซียส จะได้เซลลูโลส 45 เปอร์เซ็นต์ ของเซลลูโลสที่ยังคงเหลืออยู่ ผลผลิตที่ได้คือน้ำตาลเฮกโซส 74–89 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโอลิโกแซ็กคาไรด์มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และพบว่าอุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส จะเกิดการสูญเสียเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าแต่จะเกิดเฟอฟูรอล (furfural) และไฮดรอกซีเมธิลเฟอฟูรอล (hydroxymethyl furfural ; HMF)

พงษ์ศักดิ์ และมาลี (2551) ได้ศึกษาการไฮโดรไลซิสชีวมวลจากข้าวโพดโดยใช้กรดซัลฟิวริก 0.25-1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส พบว่า สภาวะที่ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดคือ ใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 0.5เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 100องศาเซลเซียสจะได้น้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 3.419กรัมต่อลิตร จากผลการทดลองสามารถคาดการณ์ว่าหากใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นในการไฮโดรไลซิสจะทำให้ได้ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นด้วย

Kim และคณะ (2001) ไฮโดรไลซิสเซลลูโลสโดยการใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.07 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักภายใต้สภาวะที่รุนแรงคือ อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองแบบ batch reactors และ bed-shrinking flow-through (BSFT) พบว่า แบบ batch reactors จะได้กลูโคส 60 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 205 และ 220 องศาเซลเซียส และพบว่าเปอร์เซ็นต์กลูแคนยังคงอยู่ในส่วนของแข็งสูง ส่วนแบบ BSFT จะได้กลูโคส 87.5, 90.3 และ 90.8 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 205, 220 และ 235 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

Badalและคณะ(2005)ศึกษาการย่อยฟางข้าวโดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 141 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลไซโลสสูงสุดคือ 565 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของฟางข้าว หลังจากนั้นจึงทำการหมักด้วยแบคทีเรีย *Escherichia coli* strain FBR5 ได้ผลผลิตเอทานอล 0.24 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

Jargalsaikhan และ Saracoglu (2009) นำกากเปลือกเมล็ดทานตะวันที่ได้จากการผลิตน้ำมัน มาไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.7 โมลาร์ อุณหภูมิ 90 องศา

เซลเซียสเป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง โดยใช้ตัวอย่าง 1:5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ได้ผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 37 กรัมต่อลิตร กำจัดสารพิษในน้ำย่อยโดยวิธีโอเวอร์ไลมิง (overliming) คือ ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชให้เป็น 10 กรองและปรับพีเอชให้ลดลงเป็น 6.0 ด้วยกรดซัลฟิวริก นำมาหมักเอทานอลโดยใช้เชื้อ *Pichia stipites* ในฟลาสก์ 250 มิลลิลิตร ใช้อาหาร 135 มิลลิลิตร กล้าเชื้อ 20 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พีเอชเริ่มต้น 4.6-7.4 อัตราการเขย่า 55-150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 300 ชั่วโมง พบว่าที่สภาวะพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 อัตราการเขย่า 100 รอบต่อนาทีให้ปริมาตรเอทานอลสูงที่สุด 12.9 กรัมต่อลิตร

Milati และคณะ (2011) ได้ทำการผลิตเอทานอลจากน้ำมันปาล์ม โดยการไฮโดรไลซิสปาล์มน้ำมัน ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.20 และ 0.80 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 170-230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 และ 15 นาที ผลของการไฮโดรไลซิสปาล์มน้ำมันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.80 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าได้ผลผลิตน้ำตาลไซโลสสูงถึง 135.94 กรัมต่อกิโลกรัมของปาล์มน้ำมัน และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.80 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลกลูโคสสูงสุดถึง 62.70 กรัมต่อกิโลกรัมของปาล์มน้ำมัน ด้วยเช่นกัน จากนั้นนำสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิสทั้ง 2 ชนิดมาทำการหมักน้ำตาลไซโลสด้วยเชื้อ *Mucor indicus* ส่วนน้ำตาลกลูโคสหมักด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* ซึ่งปริมาณเอทานอลที่ได้ คือ 0.45 และ 0.46 กรัมต่อกรัมของน้ำตาล ตามลำดับ

2) การไฮโดรไลซิสโดยด้วยกรดเข้มข้น (concentratedacid hydrolysis) วิธีการนี้จะใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเพื่อทำการไฮโดรไลซิสแป้งให้เป็นน้ำตาล จากงานวิจัยของ Esther Guerra-Rodríguez et al. (2012) ได้ศึกษาการใช้กรดซัลฟิวริกในการไฮโดรไลซิสฟางข้าวสาลี พบว่าการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 29 นาที จะได้ปริมาณน้ำตาลไซโลส 18.9 กรัมต่อลิตร กลูโคส 3.5 กรัมต่อลิตรอะราบิโนส 3.1 กรัมต่อลิตรเฟอร์ฟิวรอล 0.6 กรัมต่อลิตรและกรดอะซิติก 2.3 กรัมต่อลิตรและพบว่าการไฮโดรไลซิสที่สภาวะนี้ จะได้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ 11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ชมพูนุช หาญนันทวิวัฒน์ (2547) ผลิตน้ำตาลจากการไฮโดรไลซิสวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ ชานอ้อย เปลือกทุเรียน และฟางข้าว ด้วยกรดซัลฟิวริกร่วมกับการใช้รังสีแกมมา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซิส คือ กรดซัลฟิวริก 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสระยะเวลา 30 นาที ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสชานอ้อยเปลือกทุเรียนและฟางข้าว คือ 53.73, 47.83 และ 49.83 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ การฉายรังสีปริมาณ 100 กิโลเกรย์ ร่วมกับการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา 30 นาที พบว่า ตัวอย่างชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ทุเรียนและฟางข้าวเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉายรังสีที่ 75 กิโลเกรย์

นันทิกา คล้ายชม และคณะ (2554) ผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากซางข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ121องศาเซลเซียสเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซิสและสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆที่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซิสและสัดส่วนซางข้าวฟ่างหวานต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์คือกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น4 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เวลาที่ใช้ 60 นาทีและสัดส่วนของซางข้าวฟ่างหวานต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 1:20 กรัมต่อมิลลิลิตรจะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 19.67 เปอร์เซ็นต์กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

Larsson และคณะ (1999) ทดลองไฮโดรไลซิสสลายไม้สน โดยใช้กรดซัลฟิวริกที่เข้มข้น 0.5, 2.4 และ 4.4 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ให้ความร้อนโดยไอน้ำที่อุณหภูมิ 150, 180, 200, 210, 225 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 5, 10, 20 และ 30 นาที รวมทั้งหมด 76 ตัวอย่าง พบว่า ภายใต้สภาวะที่มีความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 4.4 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ให้มีปริมาณน้ำตาลไซโลส แมนโนส และกลูโคสเท่ากับ 10.2 22.4 และ 11.9 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Buhner (2003) ทำการทดลองการไฮโดรไลซิสสลายเส้นใยของข้าวโพด (corn fiber) โดยนำข้าวโพดสด (ความชื้นสูง) มาทำให้แห้งโดยลมร้อน บดให้ละเอียดจนได้ขนาด 20 mesh ทำการไฮโดรไลซิสสลายโดยแปรผันปริมาณความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร)ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที พบว่า ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 0.75 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60นาที ได้ปริมาตรน้ำตาลกลูโคส ไซโลส และอะราบิโนส ในไฮโดรไลเสทปริมาณ 72, 73 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ดรุณวรรณ ชื่นบุบผา (2553) ศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยน้ำว้าด้วยกรดซัลฟิวริก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 4 เปอร์เซ็นต์ ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด 34.2 กรัมต่อลิตร

Tellez – Luis และคณะ (2002)ได้ทำการศึกษากระบวนการไฮโดรไลซิสซางข้าวฟ่างหวานด้วยกรดซัลฟิวริกเพื่อนำไปผลิตไซลิทอล พบว่า การไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 71 นาที จะได้ปริมาณผลผลิตเป็นน้ำตาลไซโลส 18.17 กรัมต่อลิตร และกลูโคส 6.73 กรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าในการไฮโดรไลซิสด้วยกรดนั้นจะมีผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์พลอยได้หลายชนิด เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสเกิด

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การสลายพันธะได้น้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม เช่น ไซโลส น้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม เช่น แมนโนส กาแลกโตส และกลูโคส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเซลลูโลส คือ กลูโคส และเมื่อถูกดึงน้ำ (Dehydration) จะเกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้ซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์คือ เฟอฟูรัล (furfural) 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล (5-hydroxymethylfurfural) กรดอะซิติก (acetic acid) กรดฟอร์มิก (formic acid) และกรดลิววูลินิก (levulinic acid) ซึ่งผลิตภัณฑ์พลอยได้ส่วนใหญ่นั้นจะมีความเป็นพิษต่อเซลล์เมื่อนำไปหมักเป็นเอทานอล(ดรุณวรรณ ชื่นบุบผา,2553)

Aguilar และคณะ (2002) ไฮโดรไลซิสชานอ้อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะ อุณหภูมิ 100–128 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0–300 นาที พบว่า สภาวะที่เหมาะสม ในการไฮโดรไลซิส คือ กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 นาที สารละลายที่ย่อยได้ประกอบด้วยไซโลส กลูโคส เฟอฟูรอล และกรดแอซิติกปริมาณ 21.6, 3.0, 0.5 และ 3.65 กรัมต่อลิตร ที่สภาวะนี้เฮมิเซลลูโลสถูกย่อยไป 90 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าความเข้มข้นของไซโลสจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิ 122 และ 128 องศาเซลเซียส ซึ่งน่าจะเกิดจากการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลไซโลสเป็นเฟอฟูรอลก็อาจเป็นไปได้ และกลูโคสที่ได้น่าจะได้จากส่วนพอลิเมอร์ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งจะใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักต่อไป ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกมีผลโดยตรงต่อความเข้มข้นของกลูโคส โดยพบว่าปริมาณกลูโคสสูงที่สุด 8.86 กรัมต่อลิตร เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น6 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 128 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที และจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่าน้ำตาลกลูโคสเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นไฮดรอกซิเมธิลเฟอฟูรอล

Romero และคณะ (2010) ได้ทำการไฮโดรไลซิสมะกอกด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 4.80 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 นาที พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคส 17.20 เปอร์เซ็นต์

2.3.2.1.2 การไฮโดรไลซิสด้วยด่าง (alkalinehydrolysis)สารละลายที่นิยมใช้ คือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เอทิลีนไดเอมีน และแอมโมเนียเป็นต้น การใช้สารละลายด่างในการไฮโดรไลซิสจะทำให้สายของโพลีแซคคาไรด์สั้นลงจะเกิดปฏิกิริยานี้ได้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 160-180 องศาเซลเซียส และต้องใช้ออกซิเจนเข้าร่วมในการทำปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสด้วย(ชัชนันท์ นิวาสวงษ์ และเฉลิมเรืองวิริยะชัย,2555) จากการศึกษาการสกัดน้ำตาลกลูโคสจากใบอ้อยพบว่า การใช้ใบอ้อย 125 กรัมต่อลิตร ทำการไฮโดรไลซิสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะได้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 95.63 กรัมต่อลิตร (นุจรีย์ เตารัตน์ และอนงค์นาฏ ดวงภักดี, 2555)

2.3.2.2การใช้เอนไซม์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ (enzyme hydrolysis) เพื่อแลกเปลี่ยนแป้งและเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส โดยเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยทั่วไปจะผลิตจากเชื้อราและแบคทีเรีย เอนไซม์เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่สิ่งชีวิตสร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาภายในเซลล์และมีความจำเพาะต่อสับสเตรท จึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโดยมีผลผลิตข้างเคียงน้อยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงและไม่ทำให้เกิดการผุกร่อนของเครื่องมือ (พักตร์ประไพ ประจำเมือง, 2546) ในสภาวะการทำงานที่เหมาะสมจะสามารถเร่งปฏิกิริยาได้เร็วถึง10^{8}-10^{11}เท่าเมื่อเทียบกับปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง นอกจากนี้เอนไซม์มีความจำเพาะต่อปฏิกิริยาหนึ่งๆ เท่านั้นทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงแม้ว่าเอนไซม์จะถูกสร้างและอยู่ภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตแต่สามารถสกัดออกมาใช้งานได้เช่นเดียวกันกับการทำงานภายในเซลล์(เกศมณี ตาดทอง และคณะ, 2546) จากงานวิจัยของบัญชา โลหะรัตน์ (2554) ได้ทำการศึกษาการไฮโดรไลซิสเมล็ดขนุนด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส พบว่า สภาวะในการปรับสภาพที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดขนุนสด คือการใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 0.13 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 90.9 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6.0 เป็นเวลา 160 นาที หลังจากนั้นไฮโดรไลซิส ต่อด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลส 0.13 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 4.5 เป็นเวลา 360 นาที สามารถให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด 83 กรัมต่อลิตร นำน้ำตาลที่ได้มาหมักด้วยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* 0.4 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาการหมัก 2 วัน ได้ปริมาณเอทานอลเท่ากับ 10.5 เปอร์เซ็นต์

ชลดา และคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาการผลิตเอทานอลจากกากมันสำปะหลังโดยการไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและเพคติเนส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้น้ำตาลเพิ่มขึ้น จากนั้นได้ทำการไฮโดรไลซิสต่อด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสอีกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และไฮโดรไลซิสต่อด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลสอีกเป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าจากความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 145 กรัมต่อลิตร สามารถไฮโดรไลซิสและให้ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด 122.4 กรัมต่อลิตร

2.3.3 การกำจัดสารพิษ

จากการไฮโดรไลซิสวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจะได้ทั้งน้ำตาล และสารประกอบอื่นๆ เช่น เฟอฟูรัล 5-ไฮดรอกซีเมทิวเฟอฟูรัล กรดอะซิติก และเมทานอล เป็นต้น ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลต่ำลง เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการลดปริมาณสารพิษในการไฮโดรไลเสท ได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอออน กรองโมเลกุล โอเวอร์ไลมิง การระเหย การสกัดกับตัวทำละลายอินทรีย์ การใช้ผงถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้ยังมีการใช้เอนไซม์ในการลดสารพิษ (หรรษา เวียงวะลัย, 2548) ในที่นี่จะขอกล่าววิธีการลดสารพิษ3 วิธี ได้แก่

2.3.3.1 การลดสารพิษโดยใช้เอนไซม์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

เป็นวิธีที่จะคัดเลือกการจับกันอย่างจำเพาะของสารประกอบในไฮโดรไลเสทกับเอนไซม์ ซึ่งเอนไซม์ที่ใช้ในการลดสารพิษ ได้แก่ แลคเคส (laccase) ฟีนอลออกซิเดส (phenol oxidase) ลิกนินเปอร์ออกซิเดส (lignin peroxidase) ซึ่ง Jonsson และคณะ (1998) ได้ทดลองใช้เอนไซม์ 3 ชนิด คือ แลคเคส ฟีนอลออกซิเดส และลิกนินเปอร์ออกซิเดสที่ผลิตได้จากเชื้อรา *Treameyyes versicolor*ร่วมกับการใช้ไอน้ำ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลกลูโคส และใช้ยีสต์*S. cerevisiae* ในการหมักเพื่อให้ได้เอทานอล พบว่า การที่ใช้เอนไซม์แลกเคสในการลดสารพิษ จะมีการใช้กลูโคสอย่างรวดเร็วและผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้น แลกเคสจะสามารถลดสารพิษประเภทสารประกอบฟีนอลที่เป็นโมโนอะโรมาติกซึ่งเป็นตัวยับยั้งที่สำคัญในกระบวนการหมัก ฟีนอลออกซิเดสเป็นสารยับยั้งโพลีแซคคาไรด์ที่แยกได้จากลิกนิน ซึ่งโพลีแซคคาไรด์สามารถใช้ในการหมักเอทานอลได้ ส่วนการลดสารพิษของเอนไซม์ลิกนินเปอร์ออกซิเดสจะส่งเสริมให้กระบวนการหมักมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.3.2 โอเวอร์ไลมิง (overliming)

เป็นวิธีลดสารพิษที่นิยมใช้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและใช้ต้นทุนต่ำ แต่การลดสารพิษด้วยวิธีนี้ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำตาล ตัวอย่างของด่างที่ใช้ ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) โพรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นต้น การลดสารพิษโดยวิธีนี้ทำได้โดยการนำไฮโดรไลเสทปรับพีเอชให้ได้เท่ากับ 10 จะเกิดตะกอนในไฮโดรไลเสท ทำการปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอน แยกส่วนใสมาปรับพีเอชให้อยู่ช่วง 5.5-6.5 ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น หลังจากนั้นนำไฮโดรไลเสทที่ได้ไปเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์หรือทำการลดสารพิษด้วยวิธีอื่นต่อไป (Roberto et al., 1991) จากงานวิจัยของ Amartey และ Jeffires (1996) ได้ศึกษาการลดสารพิษด้วยวิธีโอเวอร์ไลมิงโดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) พบว่า ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ไซโลส อะราบิโนส และกรดอะซิติก ลดลง 14, 4, 8 และ 43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และนำไฮโดรไลเสทที่ได้ไปหมักด้วยเชื้อ *Pichia stipites* CBS 6054 ได้ผลผลิตเอทานอลและความเข้มข้นเอทานอลสูงสุดเท่ากับ0.41 กรัมต่อกรัม และ 13.3 กรัมต่อลิตรตามลำดับ

2.3.3.3 การดูดซับโดยการใช้ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) คือวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบซึ่งถูกนำมาผ่านกระบวนการเผาไหม้และก่อเกิดกัมมันต์ ทำให้วัตถุนั้นมีโครงสร้างเป็นรูพรุนคล้ายรังผึ้งและมีพื้นที่ผิวภายในสูง ถ่านกัมมันต์มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 87-90 เปอร์เซ็นต์ และยังมีแร่ธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบด้วย เช่น ไฮโดรเจน (hydrogen) ออกซิเจน (oxygen) ซัลเฟอร์ (sulfur) และไนโตรเจน (nitrogen) เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมาเตรียมถ่านกัมมันต์ วิธีดูดซับไฮโดรไลเสทโดยใช้ถ่านกัมมันต์จะใช้อัตราส่วน

ไฮโดรไลเสทต่อผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 120:1, 40:1, 24:1 และ 10:1 กรัมต่อกรัม ตามลำดับเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที พบว่า ที่เวลา 60 นาที สามารถลดปริมาณสารพิษสูงสุดคือ 76.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้อัตราส่วนไฮโดรไลเสทต่อผงถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 10:1 กรัมต่อกรัม และที่ระยะเวลาเดียวกันนี้ อัตราส่วน 120:1, 40:1 และ 24:1 กรัมต่อกรัม สามารถลดปริมาณสารพิษ ได้เท่ากับ 10.9, 15.89 และ 20.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (หรรษา เวียงวะลัย, 2548)

Silva และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1-30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นั้นก็เพียงพอต่อการกำจัดสารประกอบฟีนอลิก คือกำจัดได้ 94เปอร์เซ็นต์ และมีการลดลงของน้ำตาล 0.47 เปอร์เซ็นต์แต่เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีการลดลงของน้ำตาลถึง 31.3 เปอร์เซ็นต์

2.3.4 การหมักเอทานอล (fermentation)เป็นการหมักน้ำตาลโดยจุลินทรีย์ทำให้ได้เอทานอลการหมักทำได้โดยการเตรียมน้ำหมักที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 14 เปอร์เซ็นต์และปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 4.5-5.0 เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆหมักที่อุณหภูมิ25–35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-72 ชั่วโมงสุดท้ายจะได้เอทานอล6–10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักของสารตั้งต้น จุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในกระบวนการหมักในปัจจุบันได้แก่ยีสต์*S. cerevisiae* ซึ่งจุดเด่นของยีสต์ตัวนี้ คือสามารถเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิกว้าง 30-40 องศาเซลเซียส(ธราพงษ์ วิฑิตศานต์ และคณะ, 2553) สามารถแบ่งการหมักเอทานอลได้เป็น2 แบบได้แก่

2.3.4.1 การหมักแบบไม่ต่อเนื่อง(batch fermentation) เป็นการผสมหัวเชื้อลงในน้ำหมักโดยเกิดขึ้นในถังหมักเพียงใบเดียวจนเสร็จสิ้นการหมักภายในเวลา 72 ชั่วโมง (ธราพงษ์วิฑิตศานต์และคณะ,2553) ข้อดีของการหมักแบบนี้คือ การลงทุนต่ำง่ายต่อการเก็บรักษาวัตถุดิบและสามารถใช้กับการหมักที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันได้ตลอดจนโอกาสที่การหมักจะติดเชื้อต่ำอีกด้วย ส่วนข้อเสียคือความถี่ในการฆ่าเชื้อในถังจะมีผลเสียต่อเครื่องมือที่ใช้วัดค่าใช้จ่ายในการเตรียมหัวเชื้อสูงและมีโอกาสเสี่ยงสูงในการกลายพันธุ์ของเชื้อที่ใช้หมักได้(ชัชนันท์ นิวาสวงษ์ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย ,2555)จากการศึกษาปริมาณเปลือกทุเรียนตั้งต้นต่อการผลิตเอทานอลพบว่าการใช้เปลือกทุเรียนปริมาณ1.5, 5 และ10 เปอร์เซ็นต์ ทำการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น1โมลาร์ ที่ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที และทำการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์แพคติเนส (pectinase)ไซลาเนส (xylanase)เซลลูเลส (cellulase) แอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase) และอะไมโลกลูโคซิเดส (amyloglucosidase) แล้วทำการหมักโดยใช้เชื้อ *S. cerevisiae*TISTR 5221 ผสมกับเชื้อ *Candida tropicalis* TISTR5045 ในอัตราส่วน 1:2 เมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลกลูโคสทั้งหมดและเอทานอล พบว่า การใช้เปลือกทุเรียนปริมาณ1.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำตาลจะลดลงในส่วนของปริมาณเอทา

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

นอลพบว่า จะสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการหมักที่เพิ่มขึ้นและได้ปริมาณเอทานอลสูงสุด 5.27 กรัมต่อลิตร ที่เวลา 12 ชั่วโมง(ณัตติยา จันทวงษา, 2553)

2.3.4.2การหมักแบบต่อเนื่อง (continuousfermentation) เป็นกระบวนการหมักในระบบแบบเปิด ที่มีการเติมอาหารใหม่ พร้อม ๆ กับการถ่ายอาหารเก่า และเซลล์จุลินทรีย์ออกจากระบบในอัตราเดียวกันตลอดเวลา จุลินทรีย์มีการเจริญและการหมักอย่างต่อเนื่องตลอดระยะที่มีการเติมอาหารใหม่เข้าระบบแบบต่อเนื่อง ข้อดีของการหมักแบบนี้คือ การควบคุมผลิตภัณฑ์ใช้ผู้ดูแลน้อย โอกาสติดเชื้อในระหว่างการหมักต่ำส่วนข้อเสียคือวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักต้องเป็นแบบเดียวกันตลอดการหมักและมีปัญหาในการรักษาอัตราการหมักสูง ๆ ส่วนการใช้เครื่องควบคุมคนนั้นมีค่าใช้จ่ายในการทำงานสูงกว่า (ชัชนันท์ นิวาสวงษ์ และเฉลิมเรืองวิริยะชัย, 2555)

RAMBHAI BARNI RAJABHAT UNIVERSITY
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี