

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ข้าวโพดฝักอ่อน (baby corn) เป็นพืชที่ปลูกกันมากในเกือบทุกภาคของประเทศ ภาคเหนือจะปลูกมากในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือในแถบจังหวัดหนองคาย นครราชสีมา และภาคกลางในพื้นที่จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร ราชบุรี ระยะเวลาในการปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 40-45 วัน ปลูกได้ดีในช่วงฤดูฝน แต่ถ้าเป็นพื้นที่ในเขตชลประทานจะสามารถปลูกได้ถึง 4 ครั้งต่อปี ดังนั้นเศษเหลือจากการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน เช่น ต้นข้าวโพด เปลือกข้าวโพด และไหม จึงมีมากในเกือบทุกภาคของประเทศและเกือบตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในเขตชลประทาน

ข้าวโพดฝักอ่อนจะถูกเก็บเกี่ยวในขณะที่ต้นยังมีสีเขียว ส่วนเปลือกและไหมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุในภาชนะปิดสนิทและข้าวโพดฝักอ่อนสดจะมีปริมาณมาก สภาพของเปลือกจะยังคงมีสีเขียว ลักษณะอ่อนนุ่ม รสหวาน มีคุณค่าทางอาหาร (โดยเฉพาะสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์) ที่ดี โปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 12.6-17.0 เยื่อใยหยาบร้อยละ 21.0-21.5 อย่างไรก็ตามบางข้อมูลระบุว่าปริมาณเยื่อใยมีสูงถึงร้อยละ 34.8 (กรมปศุสัตว์, มปป) สำหรับตารางที่ 2.1 แสดงถึงส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดฝักอ่อน จากข้อมูลที่แสดงสามารถสังเกตได้ว่าเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนจัดเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ยังมีคุณค่าและเหมาะสมต่อการนำมาใช้ประโยชน์ ถ้าสามารถที่จะทำการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ที่มีปริมาณสูงได้ซึ่งค่าเฮมิเซลลูโลสนี้สามารถหาได้จากการนำค่า ADF (ร้อยละเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด) ไปหักออกจากค่า NDF (ร้อยละเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (กรมปศุสัตว์, มปป)

จากที่กล่าวมา จะเห็นว่าข้าวโพดฝักอ่อนจัดเป็นพืชที่มีคุณค่า ซึ่งหัวหน้าคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 โดยเริ่มต้นจากการนำน้ำต้มหรือน้ำลวกข้าวโพดฝักอ่อนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุในภาชนะปิดสนิทเพื่อนำมาใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชู (วรารุณี ครุส่ง, 2547; 2550ก; วรารุณี ครุส่ง และคณะ, 2553) อย่างไรก็ตามจากกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนจะเหลือเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนในปริมาณสูงจึงนำมาถึงแนวคิดความจำเป็นในการบริหารจัดการของเสีย (waste) ให้เหลือน้อยที่สุด ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดในการนำเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนมาเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้นกว่าการนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์เพียงด้านเดียว นอกจากนี้จากข้อมูลของศูนย์สื่อสารวิทยาศาสตร์ไทย สวทช. (มปป.) รายงานถึงการศึกษาของ ผกามาศ สัปดาห์ และ สายสมร ลำยอง จากคณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกข้าวโพดแห้งที่มีเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบให้เป็นน้ำตาลไซโลส โดยระบุว่าวิธีการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยเชื้อรา *Thermoascus aurantiacus* ให้ผลผลิตที่ดีกว่าการย่อยสลายด้วยกรด

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนที่เหลือจากการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (น้ำหนักแห้ง)
วัตถุแห้ง (dry matter)	18.0
โปรตีน (crude protein)	12.6-13.5
เยื่อใยหยาบ (crude fiber)	21.0-21.5
ไขมัน (ether extract)	1.0-1.8
เถ้า (ash)	5.2-5.7
Nitrogen free extract	58.3-59.4
ADF (เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด)	27.3-28.7
NDF (เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง)	60.6-61.5
ลิกนิน	1.6-2.5
แคลเซียม	0.1
ฟอสฟอรัส	0.4

NDF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง; ADF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด

ที่มา : <http://www.did.go.th/inform/article/artileg.html>

เห็ดขอนขาว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lentinus squarrosulus* Mont เป็นเห็ดที่ชอบขึ้นบนขอนไม้ ตระกูลเต็งรังและไม้มะม่วง เห็ดขอนขาวนี้พบมากในช่วงต้นฝนหรือในช่วงที่ฝนตกชุก ในภาคกลางเรียกเห็ดชนิดนี้ว่า “เห็ดมะม่วง” ดอกเห็ดจะมีสีขาวนวลหรือครีมถึงเหลืองอ่อน เมื่อนำเห็ดขอนขาวมาประกอบอาหารจะให้รสหวานเหนียวเล็กน้อยคล้ายเนื้อสัตว์เป็นที่นิยมมากในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือตอนบน (ชรีดา ปุกหุด และคณะ, 2542; อุทัย อันพิมพ์, 2546) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าเส้นใยของเห็ดขอนขาวเจริญได้ดีบนเปลือกมันสำปะหลัง ฟางข้าว จี้เลื่อยเปลือกไม้ (Tontyaporn, 1997, Ayodele et al., 2007) และกากเนื้อในปาล์มน้ำมันที่ผสมกับขี้เลื่อย (วสันต์ เพชรรัตน์ และ อนุสรณ์ ทองวิเศษ, 2546) อีกทั้งเส้นใยของเห็ดขอนขาวยังพบว่ามีเยื่อใยหยาบ (crude fiber) อยู่ด้วย (Fasidi and Kadiri, 1999; <http://www.did.go.th/inform/article/artileg.html>) ขณะที่เห็ดขอนขาวเป็นหนึ่งในเห็ดที่มีคุณค่าโปรตีนสูง (Pi et al., 2006; Jose and Kayode, 2009) ปริมาณโปรตีนมีเป็นสองเท่าของมันฝรั่งสดและหกเท่าของส้ม (Atikpo et al., 2008) โดยที่กรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) มีมากกว่าที่พบในถั่วแดง (kidney bean) ในกรณี

ของน้ำสกัด (water extract) จากเห็ดขอนขาว พบว่า มีโปรตีนสูง (57 กรัม/100 กรัม) และอุดมด้วยแร่ธาตุและวิตามิน เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม วิตามินบี 1 และ วิตามินบี2 (Royce et al., 1990; Omar et al., 2011) นอกจากนี้แล้วเห็ดขอนขาวยังมีคุณสมบัติประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ (Eimsa-ard et al., 2005; Abdullah et al., 2010) สารปฏิชีวนะ (Sudirman et al., 1994) เอนไซม์ (Banjo and Kuboye, 2000; Wuyep et al., 2003; Pukahuta et al., 2004; Subramonian et al., 2010) เป็นต้น ในกรณีของเอนไซม์นี้ Pukahuta et al. (2004) และ Subramonian et al. (2010) รายงานว่าเห็ดขอนขาวสามารถผลิตเอนไซม์ได้หลากหลายชนิด เช่น เอนไซม์แลคเคส (laccase) ไซลิเนส (xylinase) และ เซลลูเลส (cellulose) ตามปกติแล้วเห็ดมักจะเลี้ยงในสภาพอาหารแห้ง แต่จากรายงานของ Royce et al. (1990) และ Omar et al. (2011) ยืนยันว่าการเลี้ยงเห็ดในสภาพอาหารเหลวจะช่วยให้เห็ดสามารถสร้างเส้นใยในปริมาณมากซึ่งเป็นแหล่งของสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) ได้

การปรับสภาพ (Pretreatment) วัตถุดิบ ลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอินทรีย์ที่พบมากในธรรมชาติและเป็นแหล่งสำคัญสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม ในแต่ละปีจึงมีของเหลือทิ้งจากการเกษตรกรรมมากมาย เช่น เปลือกข้าว เปลือกข้าวโพด ชังข้าวโพด และ ชานอ้อย เป็นต้น (Deeijing and Ketkorn, 2009) การปรับสภาพเป็นเป้าหมายในการปรับปรุงการย่อยชีวมวลลิกโนเซลลูโลส การปรับสภาพแต่ละวิธีให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันในด้านของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งเป็นสามองค์ประกอบหลักของชีวมวลลิกโนเซลลูโลส อย่างไรก็ตามชีวมวลลิกโนเซลลูโลสจะต้องผ่านการไฮโดรไลซ์กับกรดหรือเอนไซม์ เพื่อที่จะลดขนาดสำหรับการนำชีวมวลลิกโนเซลลูโลสไปใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ในขั้นตอนการปรับสภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำลายโครงสร้างของลิกนินและละลายบางส่วนของโพลีแซคคาไรด์ (Mohan et al., 2012) การปรับสภาพที่นิยมใช้ประกอบด้วย (1) กระบวนการปรับสภาพเชิงกล ซึ่งเป็นการใช้กระบวนการทางกายภาพเพื่อทำความสะอาด ปรับขนาด และทำลายโครงสร้างของวัตถุดิบ โดยมีเป้าหมายให้ปฏิกิริยาทางเคมี หรือชีวภาพในขั้นต่อไปเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ (2) การปรับสภาพทางเคมี ส่วนมากจะใช้กรดอ่อนพวกกรดเกลือ กระบวนการที่ได้รับความนิยมคือ การปรับสภาพด้วยด่าง (จิตติมา คำไชยใหญ่ และคณะ, 2554) และ (3) การปรับสภาพทางชีวภาพซึ่งมีข้อได้เปรียบที่สำคัญในแนวคิดบางอย่างเช่น ใช้สารเคมีและพลังงานต่ำ แต่ก็ยังไม่พบระบบควบคุมและความรวดเร็วที่เพียงพอและเหมาะสม สำหรับการปรับสภาพด้วยสารเคมีมีข้อเสียในแง่ของอุปกรณ์ที่ต้องทนต่อการกัดกร่อนโดยเฉพาะและจะต้องมีการกำจัดของเสียที่เหมาะสมอีกด้วย ดังนั้นการปรับสภาพทางชีวภาพจึงเป็นวิธีการที่เรียกว่าเป็นมิตรกับสภาพแวดล้อมและปลอดภัยในการกำจัดลิกนินออกจากลิกโนเซลลูโลส เอนไซม์ลิกโนไลติกประกอบด้วย LDPs เป็นส่วนใหญ่ (lignin ข่อยสลาย peroxidases) เช่น lignin peroxidases (LiPs) manganese peroxidases (MnPs) และ versatile peroxidases และ lignin-degrading enzyme เช่น laccases (Mohan et al., 2012)

งานวิจัยหลายเรื่องได้ใช้ในวิธีการปรับสภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยวัสดุลิกโนเซลลูโลส การปรับสภาพในหลายๆวิธี เช่น steam explosion การสกัดด้วยตัวทำละลาย และ ปรับสภาพด้วยความร้อน โดยใช้กรดหรือด่าง การปรับสภาพโดยการใช้อกรหรือด่างจะเป็นส่วนช่วยให้มีการย่อยลิกโนเซลลูโลสให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ง่าย เพื่อเป็นการกำจัดลิกนินและเซลลูโลส

การปรับสภาพโดยใช้สารละลายด่างอ่อน จะทำให้เกิดปฏิกิริยาสบู่ (Saponification) ของพันธะเอสเทอร์ระหว่างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสกับสารอื่น เช่น ลิกนิน ทำให้ลิกนินซึ่งเป็นตัวขัดขวางหลุดออกจากโครงสร้างของชีวมวลคั่งนั้น ปริมาณเฮมิเซลลูโลสจึงเพิ่มขึ้น มีรายงานว่ารพุนของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นโดยการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางจะทำให้วัตถุดิบเกิดการพองตัวส่งผลให้พื้นที่ผิวภายในเพิ่มขึ้น (จิตติมา คำไชยใหญ่ และคณะ, 2554) ระดับชั้นของพอลิเมอร์ไรเซชัน และ ความเป็นผลึกลดลง เกิดการแยกตัวของโครงสร้างลิกนินและเฮมิเซลลูโลส การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางนี้สามารถลดเปอร์เซ็นต์ของลิกนินในไม้เนื้อแข็งลงได้ และ ส่งผลดีต่อสารจำพวกฟางที่มีปริมาณลิกนินต่ำ เมื่อทำการปรับสภาพด้วยไอน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรพบว่า ได้ปริมาณเซลลูโลสน้อย และได้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงสุด (จิตติมา คำไชยใหญ่ และคณะ, 2554) นอกจากนี้มีงานวิจัยบ่งชี้ว่าการนำวัสดุชนิดต่างๆ ฟางข้าว รำข้าว ฐูปถาญี และ ผักตบชวา เทียบผลระหว่างวัสดุที่ไม่ปรับสภาพวัสดุที่นำมาปรับสภาพโดยการต้ม และ ปรับสภาพโดยการนำมาแช่สารละลายด่าง 0.5, 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 0.5, 1 และ 1.5 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นและเวลาแช่ที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 เปอร์เซ็นต์ และ 0.5 ชั่วโมง เนื่องจากสามารถผลิตเอนไซม์ไซลาลเนสได้ค่ากิจกรรมที่สูงกว่าการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลา 1 และ 1.5 ชั่วโมง (คุษณี ธนะบริพัฒน์ และคณะ, 2549)

การปรับสภาพโดยใช้กรดธรรมชาติ นั้น ชีวมวลลิกโนเซลลูโลสต้องการการปรับสภาพเพื่อการเข้าถึงเซลลูโลสดีขึ้น โดยปกติจะต้องมีการใช้ความร้อนในการย่อยกับตัวเร่ง (กรด หรือ ด่าง) ตามปกติในการปรับสภาพมักจะมีกรดซัลฟิวริก (50-300 mM) ที่อุณหภูมิ 100-200 °C เพื่อกำจัดลิกนิน และทำให้กิจกรรมของเซลลูโลสไดคเอนไซม์ดำเนินไปได้ง่ายขึ้น ในระหว่างการปรับสภาพโดยใช้กรดและความร้อน โพลีแซคคาไรด์บางส่วนจะถูกย่อยโดยมากจะเป็นเฮมิเซลลูโลส ได้น้ำตาลอิสระสามารถย่อยสลายไปกับเฟอฟูรอล (จากน้ำตาลเพนโตส) และ 5-hydroxymethylfurfural (จากน้ำตาลเฮกโซส) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะยับยั้งการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการใช้กรดธรรมชาติ เช่น กรดมาเลอิก กรดฟumaric และกรดอะซิติกแทนการใช้กรดซัลฟิวริกหรือกรดกำมะถันซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดเฟอฟูรอล และ 5-hydroxymethylfurfural นอกจากนี้อีกเหตุผลหนึ่งที่ควรใช้กรดธรรมชาติแทนกรดซัลฟิวริก คือ การก่อให้เกิดยับยั้ง ซึ่งจะขัดขวางกระบวนการทำงานในการเจริญของเชื้อให้ช้าลง นอกจากนี้การใช้กรดธรรมชาติในการปรับสภาพจะช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยของเอนไซม์ให้ดีขึ้น ในระหว่างการปรับสภาพโดยใช้กรด

ธรรมชาติจะเกิดฟิวเพอรอลจากน้ำตาลไซโลสน้อยลงกว่าการใช้กรดซัลฟิวริก และในส่วนนี้จะทำให้ได้ผลผลิตในปริมาณที่มากขึ้นเนื่องจากไม่มีตัวยับยั้ง (Maarten et al., 2009)

การปรับสภาพโดยใช้ไอน้ำร้อน เป็นการปรับสภาพโดยไม่ใช้สารเคมีแต่ใช้ความร้อนเป็นตัวช่วยขจัดลิกนินแทน หลายปีที่ผ่านมาได้มีการใช้หลากหลายวิธีแตกต่างกันไป เช่น การระเบิดด้วยไอน้ำร้อน (steam explosion) แชน้ำร้อน ใช้ด่างเจือจาง แชนสารละลายกรด ใช้มะนาว และใช้แอมโมเนีย วิธีต่างๆได้ถูกพัฒนาสำหรับการปรับสภาพชีวมวลลิกโนเซลลูโลซิก จุดมุ่งหมายโดยทั่วไปตามแนวคิดนี้คือการกำจัดเฮมิเซลลูโลส หรือลิกนิน ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลสและเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบ นอกจากนี้การปรับสภาพส่วนมากต้องการอุณหภูมิสูงหรือความดันสูง และ ปริมาณการใช้สารเคมีซึ่งอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเอนไซม์ หรือเชื้อจุลินทรีย์ การขจัดสารพิษจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายสูงและมีความยุ่งยาก ดังนั้นการใช้การระเบิดโครงสร้างด้วยไอน้ำร้อนหรือการใช้ความร้อนเป็นวิธีการที่ใช้กันมาก โดยทั่วไปในการปรับสภาพชีวมวลลิกโนเซลลูโลซิก ปัจจัยสำคัญในการใช้วิธีนี้คือ อุณหภูมิ และ ระยะเวลาที่เหมาะสม วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำร้อนถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธีอื่นในการปรับสภาพ เช่น การใช้รังสีไมโครเวฟ กรดซัลฟิวริกเจือจาง และ การใช้แอมโมเนีย เช่นเดียวกับการใช้ราในกลุ่ม white rot fungi ที่ผลิตเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส โดยทำให้พันธะระหว่างเซลลูโลสและลิกนินอ่อนตัวหรือแยกกันได้ นอกจากนี้ การใช้ความร้อนในการปรับสภาพยังสามารถประยุกต์ใช้กับพืชได้หลายชนิดด้วย (Zabih et al., 2010) เมื่อนำตัวอย่างไปปรับสภาพโดยการใช้ความร้อนระดับ 121 °ซ 15psi เป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที พบว่า ปริมาณเซลลูโลสที่เวลา 30 นาที มากที่สุด รองลงมา คือ ที่เวลา 15 นาที และ น้อยที่สุด คือ เวลา 45 นาที แต่ขณะที่ปริมาณเฮมิเซลลูโลสเท่ากันเป็น 18.0%น้ำหนักฐานแห้ง และปริมาณลิกนินที่น้อยที่สุดเมื่อใช้เวลา 45 นาที นอกจากนั้นในงานวิจัยฉบับนี้มีการใช้ร่วมกับสารละลายต่างร่วมด้วยซึ่งได้ผลดีที่สุดเมื่อใช้สารละลายต่าง Na_2CO_3 1.5M ร่วมกับอุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 30 นาที (Zia-ur-Rehman and Shah, 2000)

การปรับสภาพโดยรังสีไมโครเวฟ รังสีไมโครเวฟแตกต่างจากการใช้ความร้อนโดยทั่วไป มีการนำมาประยุกต์ใช้ได้อีกหลายวิธี เพราะผลจากทั้งการไม่ใช้ความร้อนและการใช้ความร้อน จากความร้อนที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ในเตาไมโครเวฟมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า แมกนีตรอน (magnetron) ใช้สำหรับผลิตคลื่นไมโครเวฟ 3×10^8 cycles/s ถึง 300 GHz (3×10^{11} cycles/s) คลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในอุตสาหกรรม และ บ้านจะมีช่วงความถี่ 900 และ 2.45 GHz (Pang et al., 2012) ซึ่งจะปล่อยออกมาที่ช่องว่างภายในเตาที่มีผนังเป็นโลหะ คลื่นไมโครเวฟจะสะท้อนไปมาอยู่ภายในเตาและถูกดูดกลืนโดยอาหารที่อยู่ด้านใน การดูดกลืนที่ไม่สม่ำเสมอจะทำให้บางตำแหน่งเกิดจุดร้อน (hot spots) ขึ้น ทั้งนี้มีรายงานการย่อยชีวมวลด้วยรังสีไมโครเวฟ จึงได้มีการนำมาค้นคว้าต่อเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพประสิทธิภาพของรังสีไมโครเวฟที่ทำกับโครงสร้างของวัตถุดิบสามารถกำจัดซิลิคอน และ ปรับลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ

โดยไม่มีสารเคมี เช่น สารละลายต่าง กรด หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกระบวนการปรับสภาพจึงใช้เพียงรังสีไมโครเวฟเท่านั้น (Ma et al., 2009) รังสีไมโครเวฟจะทำปฏิกิริยากับข้าวโมลกุล และไอออน ในวัตถุดิบซึ่งสามารถนำไปใช้ร่วมกับการปรับสภาพทางเคมีและปฏิกิริยาชีวภาพได้ นอกจากนี้มีการกล่าวถึงการใช้รังสีไมโครเวฟกับกระบวนการที่ใช้ชีวมวลที่มีเซลลูโลส และ มีการพิสูจน์แล้วว่าช่วยในการลดขนาดเซลลูโลสได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานอีกว่ารังสีสามารถเปลี่ยนโครงสร้างระดับอัลตราของเซลลูโลสได้โดยสามารถลดขนาดของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส และยังสามารถช่วยเพิ่มความสามารถของชีวมวลในการทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ได้ (Pang et al., 2012) ไม่ว่าจะเป็นการปรับสภาพด้วยวิธีใดก็ตาม ต่างก็มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดเซลลูโลสและลิกนิน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวภายใน ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนต่อไปง่ายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ถังหมัก (fermenter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพ ถังหมักจะได้รับการออกแบบตามชนิดของการหมัก สำหรับการเลี้ยงเส้นใยของเชื้อราหรือเชื้อเห็ดซึ่งเป็นมวลชีวภาพที่ต้องการออกซิเจนหรืออากาศ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึง “การกระจายอากาศเข้าสู่ น้ำหมักอย่างมีประสิทธิภาพ” ดังนั้นในการออกแบบระบบจึงจำเป็นต้องคำนึงถึง ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) เป็นสำคัญ ทั้งนี้ วราวุฒิ ครุส่ง และคณะ (2553) ได้รายงานถึงการพัฒนางานความรู้ที่ได้รับจากการดูงานที่ Heinrich Frings GmbH & Co KG รวมถึงความรู้ที่ได้จากการปฏิบัติงานในโครงการวิจัยต่าง ๆ ที่ร่วมกับภาคเอกชนในการพัฒนาถังหมักจึงทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบถังหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องของระบบการให้อากาศซึ่งต่อมาได้ร่วมกับคุณประภาส ปิ่นพิเศษ และคุณพนิต เพ็ชรน่วม จากบริษัท แอ็กโกรนิค จำกัด ประดิษฐ์กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูขึ้นมาใหม่และได้โอนสิทธิแห่งการประดิษฐ์ให้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเพื่อยื่นจดสิทธิบัตร “กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักด้วยระบบผสมน้ำหมักเข้ากับอากาศ” ตามเลขที่คำขอ 0801005225 วันยื่นคำขอ 13 ตุลาคม 2551 (วราวุฒิ ครุส่ง และคณะ, 2550ข; วราวุฒิ ครุส่ง, 2551ก; 2551ข; 2552; กรุงเทพมหานคร, 2553) ถังหมักในระบบผสมน้ำหมักเข้ากับอากาศนี้จะพัฒนาเพื่อใช้ในการเลี้ยงเห็ดขอนขาว *L. squarrosulus* Mont ในสภาพอาหารเหลวในการศึกษาครั้งนี้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเลี้ยงเห็ดขอนขาว *L. squarrosulus* Mont. (Singer) นิยมเลี้ยงในเปลือกมันสำปะหลัง ฟางข้าว รวมถึงเปลือกไม้ที่มีเยื่อใยหยาบ (crude fiber) สูง (Fasidi and Kadiri, 1999) ซึ่งต่อมา Adesina et al. (2011) รายงานถึงการใช้ของเสียจากการเกษตร (agricultural waste) เช่น ฟางข้าว จี๊วะ จี๊วะ แป้งมันสำปะหลังสด เสริมลงไปเปลือกไม้หรือใบไม้ซึ่งผลช่วยให้การเจริญของเห็ดขอนขาวดีขึ้น ขณะที่ Ayodele et al. (2007) รายงานถึงการใช้เชื้อจากไม้หลากหลายชนิด พบว่า สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเลี้ยงเห็ดขอนขาว *L. squarrosulus* Mont. (Singer) ได้เป็นอย่างดี

ในกรณีของการผลิตเอนไซม์ของเห็ดขอนขาวนั้น Pukahuta et al. (2004) ได้ทำการคัดเลือกสายพันธุ์ของเห็ดขอนขาวที่มีความสามารถในการสร้างเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายลิกโนเซลลูโลสได้ดี พบว่า *Lentinus squarrosulus* Mont. LS-YA สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงสุด และผลิตเอนไซม์ไซลันเนสได้รองลงมา แต่ไม่ผลิตเอนไซม์แลคเคส ขณะที่ Subramonian et al. (2010) รายงานว่า เห็ดขอนขาวสามารถผลิตเอนไซม์ได้หลากหลายชนิด เช่น เอนไซม์แลคเคส (laccase) ไซลิเนส (xylinase) และ เซลลูเลส (cellulose) ในสภาพการเลี้ยงบนอาหารแห้ง