

การออกแบบและสร้างถังหมักความดัน

สกุลชาย วีระฐานนท์¹⁾ ขวัญฤทัย พฤกษามหาลาภ¹⁾ วุฒิพล วรรณทรัพย์²⁾

- 1) นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
2) ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

Email : tidtop@hotmail.com

บทคัดย่อ

ผลิตผักกาดเขียวปลีโดยใช้ถังหมักความดัน ซึ่งจะใช้ปุ๋ยมัดลมเข้าไปในถังหมัก เพื่อเพิ่มอัตราการแพร่ของน้ำหมักให้เข้าไปในเนื้อเยื่อผักกาดเขียวปลีได้เร็วขึ้น จึงเป็นการช่วยลดระยะเวลาในการผลิตผักกาดเขียวปลีต้องให้สั้นลง ลดต้นทุนในการผลิต และเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงขึ้น โดยการนำผักกาดเขียวปลีต้องมาลวกที่อุณหภูมิ 90 - 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 2 นาที แล้วจึงนำมาบรรจุลงตะแกรงในถังหมัก เติมน้ำหมัก และทำการอัดความดันให้กับถังหมัก โดยมีการศึกษาปัจจัยคือ ความดันที่ 3 ระดับ 1, 2, และ 3 บาร์ และเวลาที่ 3 ระดับคือ 1, 2, และ 3 วัน โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำผลที่ได้มาวัดค่า pH ความเค็ม และความหวานเพื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการหมักปกติ เมื่อวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพของผักกาดเขียวปลีต้อง ทางสถิติ พบว่าแต่ละระดับในการทดลองของปัจจัย ความดันและเวลามีผลต่อกระบวนการหมัก ซึ่งพบว่าวิธีการหมักผักกาดเขียวปลีที่ให้ผลเหมือนกับการหมักด้วยวิธีปกติคือ การหมักที่ความดัน 2 บาร์ และเวลา 2 วัน จะได้ค่า pH ความเค็ม และความหวาน เท่ากับ 3.48, 7.6 และ 7.8 ตามลำดับ และผักกาดเขียวปลีที่ได้มีสีเหลืองน้ำตาล เนื้อสัมผัสกรอบ มีรสเค็ม และเปรี้ยวผสมอยู่ด้วยกัน โดยที่ถังหมักผักกาดเขียวปลีต้นแบบนี้จะสามารถลดระยะเวลาการหมักลงได้ 5 - 7 วัน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ เพื่อเพิ่มปริมาณในการผลิตผักกาดเขียวปลีหมักให้มากขึ้นโดยใช้เวลาในการหมักน้อยลง และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นที่ต้องการหมักได้อีกด้วย

คำสำคัญ :

1. หลักการและเหตุผล

ผักกาดเขียวปลี เป็นพืชวงศ์ Cruciferae มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss มีชื่อสามัญหลายชื่อ เช่น Chinese mustard, Indian mustard, leaf mustard ส่วนชื่อภาษาไทยได้แก่ ผักกาดเขียว ผักกาดจ้อน ผักกาดดำ ผักกาดโป่ง ผักเป็ก ชื่อที่นิยมเรียกกันคือ ผักกาดเขียวปลี

ผักกาดเขียวปลีเป็นพืชล้มลุกฤดูเดียว (annual crops) สามารถปลูกได้ตลอดปี แต่ปลูกได้ผลดีที่สุด

ในช่วงเดือนตุลาคม - มกราคม อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 15-20 องศาเซลเซียส ปลูกโดยใช้เมล็ดหว่าน หรือหยอดลงหลุม หรือเพาะกล้า การปลูกใช้ระยะระหว่างแถว 50 เซนติเมตร ระหว่างต้น 30 เซนติเมตรให้ผลผลิตสูงสุด คือ 5,120.42 กิโลกรัมต่อไร่ ผักกาดเขียวต้องการความชื้นในดินมากในช่วงระยะเจริญเติบโต และต้องการความชื้นน้อยลงในระยะเข้าปลีค่า pH ของดินที่พอเหมาะคือ 6-6.5 ต้องการแสงแดดเต็มที่ มักพบปัญหาการขาดธาตุโบรอนในดินที่เรียกว่า “โอกิน” หรือ “โอเก็ง” โดยปลายรากจะแห้งตายเป็นสีดำ ทำให้พืชแคระแกรนและเมื่อนำไปดอง

ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพไม่ดี หากเป็นมากเมื่อผ่าไส้กลางลำต้นจะเห็นเป็นรอยช้ำสีดำ มักเกิดในพื้นที่ซึ่งมีการปลูกติดต่อกันหลาย ๆ ครั้ง ดังนั้นจึงควรปลูกพืชตระกูลอื่นหมุนเวียน เพื่อชะลอความเสียหายดังกล่าว

เมืองทองได้แบ่งพันธุ์ผักกาดเขียวปลีเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. พันธุ์ปลีกลม มีลักษณะใบนอกแผ่ กาบใบกว้าง น้ำหนักผลผลิตต่อไร่สูง แต่มักเกิดอาการปลีแตกเร็ว ชะลอการเก็บเกี่ยวได้ไม่นาน
2. พันธุ์ปลีแหลม มีลักษณะหัวปลีแหลม น้ำหนักผลผลิตต่อไร่ต่ำกว่าพันธุ์ปลีกลม แต่ไม่ค่อยเกิดอาการปลีแตกชะลอการเก็บได้นานขึ้น

ผลผลิตของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในไทยในภาคต่างๆ ส่วนมากต้นกล้าจะมีอายุประมาณ 30 วัน หลังจากหยอดเมล็ด แล้วเจริญเติบโตเข้าปลีอายุประมาณ 40-50 วัน และสามารถเก็บเกี่ยวเพื่อส่งตลาด หรือ โรงงาน เมื่ออายุ 55-75 วัน ในแหล่งปลูกภาคกลางพบว่าในฤดูฝนสามารถเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 55 วัน ส่วนในฤดูหนาวประมาณ 60 วัน และมีบางครั้งก็ต้องเก็บเกี่ยวก่อนอายุ เนื่องจากมีศัตรูพืชรบกวนมาก ผักกาดเขียวปลีมีขนาดต้นสูงประมาณ 13-16 เซนติเมตร การเลือกตัดควรเลือกตัดหัวมีเข้าปลีแน่นได้ขนาดที่ต้องการ ไม่แคร่แกรนและปราศจากโรคและแมลง พันธุ์ที่นิยมปลูกส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ปลีกลม เนื่องจากลักษณะกาบใบใหญ่เมื่อนำมาดองจะทำให้ผักดองสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน และเป็นที่ต้องการของโรงงาน

แม้ว่าจะสามารถปลูกผักกาดเขียวปลีได้ตลอดทั้งปี แต่ช่วงระหว่างเดือนตุลาคมถึงมกราคม ผลผลิตสูงและคุณภาพดี คือ มีต้นขนาดใหญ่ ปลีแน่น มีเปอร์เซ็นต์การห่อปลีมาก ส่วนผักกาดเขียวปลีที่ปลูกนอกฤดู โดยเฉพาะในฤดูร้อนจะได้ผลผลิตต่ำ และคุณภาพไม่ดี ต้นมีขนาดเล็ก ปลีมีขนาดเล็ก และเปอร์เซ็นต์การห่อปลีต่ำไม่เหมาะที่จะใช้ทำผักกาดเขียวปลีดอง



ภาพที่ 1 ผักกาดเขียวปลี

เกลือกับการถนอมอาหารนั้นเป็นสิ่งที่ใช้กันมาแต่โบราณและเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการถนอมอาหาร โดยเฉพาะแถบเอเชียนิยมกันมาก ทั้งนี้ก็เพราะว่าเกลือนั้นมีราคาถูก หาได้ง่าย และใช้ง่าย

เกลือในทางวิทยาศาสตร์มีสูตรทางเคมีว่า (NaCl) เกลือที่บริสุทธิ์นั้นจะมีลักษณะสีขาวเป็นผลึกโปร่งไม่คงที่ ผลึกเป็นลูกบาศก์ (cubic System) และมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น โดยหน้าที่หลักของเกลือในการถนอมอาหาร คือ การไปลดค่า Water Activity ของอาหาร ลด pH และทำให้ค่าของแรงดัน Osmotic สูงขึ้นซึ่งจะส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเติบโตได้

การถนอมอาหารของเกลือในผักกาดเขียวปลี Brogstrem (1971) ได้กล่าวว่าการแทรกซึมของเกลือเข้าไปในอาหารมีอยู่ 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ

1. Osmotic Stage เมื่ออาหารถูกแช่อยู่ในสารละลายของเกลือ โดยที่สารละลายเกลือนี้นี้มีความเข้มข้นมากกว่า จึงมีแรงดัน Osmotic ที่มากกว่าดึงเอาน้ำออกมาจากอาหารตามหลักของ Osmosis
2. Protein Denatured เมื่อแรงดัน Osmotic Pressure สูงกว่าจะทำให้เกลือซึมเข้าไปเรื่อยๆ เมื่อถึงจุดๆ หนึ่งจะทำให้เกิดการ Denature และ Coagulation เกิดขึ้น ทำให้อาหารจะเริ่มที่บวมขึ้น

3. Equilibrium Stage เมื่อถึงจุดสมดุลแล้วจะทำให้อาหารมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของเกลือเข้าไปแทนที่น้ำในอาหาร

ปัจจัยสำคัญๆที่มีผลต่อการแทรกซึมของเกลือคือ

1. ชนิดของอาหาร อาหารต่างชนิดกันย่อมมีความชื้นที่ต่างกัน และความชื้นที่ต่างกันนี้เองจะทำให้ค่าของ Osmotic Pressure ต่างกันไป
2. อุณหภูมิ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าการละลายของเกลือเพิ่มมากขึ้น
3. เวลา ปริมาตร และความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้กับอาหาร อาจจะกล่าวได้ว่าเป็นเรื่องเดียวกัน เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันมาก

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ระหว่างการดอง คือ สภาวะแวดล้อมของการดอง ได้แก่ ปริมาณออกซิเจน ปริมาณเกลือ อุณหภูมิการหมัก และระยะเวลาการหมักดอง เมื่อผักถูกตัดระหว่างเก็บเกี่ยว น้ำภายในเซลล์ส่วนหนึ่งจะไหลออกมาตรงรอยตัดของเหลวเหล่านี้เป็นแหล่งอาหารที่ดีสำหรับเชื้อ *Leuc. Mesenteroides* ซึ่งผลิตกรดแลคติก กรดอะซิติก เอทานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ เชื้อนี้สามารถเจริญเร็วกว่าแบคทีเรียชนิดอื่นที่ผลิตกรดแลคติก กรดที่เชื้อผลิตขึ้นจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ไม่ต้องการส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นจะแทนที่อากาศ ในภาชนะทำให้สภาวะภายในมีออกซิเจนลดลง และช่วยปรับสภาวะให้ เหมาะสม หลังจากการเจริญของ *Leuc. Mesenteroides* จะมีแลคติกแอซิดแบคทีเรียสายพันธุ์อื่นเจริญต่อ เช่น *Lb. Plantarum* เป็นแบคทีเรียที่ผลิตกรดในปริมาณสูง และกรดส่วนมากจะเป็นกรดแลคติก ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดขึ้นกับปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบ ซึ่งรายงานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยที่ความเหมาะสมในการหมักดองผักที่สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ

ของผักดองต่างๆ คือ ความเข้มข้นของเกลือ อุณหภูมิ และระยะเวลาการหมักดอง สามารถแยกได้ดังนี้

1. เกลือโซเดียมและแคลเซียม มีบทบาทในการปรับลดค่า pH ได้ระดับหนึ่ง ควบคุมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ในกระบวนการหมักดองผัก และยังมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผักดอง ซึ่งเป็นการศึกษาผลของเกลือโซเดียมและเกลือแคลเซียมต่อผักดองชนิดต่างๆ

2. อุณหภูมิ จะเป็นตัวควบคุมปริมาณ และกิจกรรม (activity) ของเอนไซม์จาก จุลินทรีย์ ดังนั้น การใช้อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมเป็นเหตุให้จุลินทรีย์ ในกระบวนการหมักดอง ผลิตรสชาติผิดปกติและลักษณะอื่นๆ ของผักดองที่ไม่ต้องการ ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดแลคติกจะเจริญได้ดีอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 21-24 องศาเซลเซียส

3. ระยะเวลาการหมักดอง ระยะเวลาการหมัก นอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียแล้วยังมีผลต่อการกำหนดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี สารระเหย และ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผักดอง ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการหมักดองจะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆด้วย เช่น ความเค็มของเกลือ อุณหภูมิการดอง

ซึ่งทางโรงงานอุตสาหกรรมกำลังประสบปัญหา ด้านการผลิตผักกาดเขียวปลีหมักช้า ไม่ทันต่อความต้องการของลูกค้าและทางโรงงานยังมีนโยบายที่จะขยายตลาดสินค้าส่งออก ซึ่งในการผลิตผักกาดเขียวปลีหมักนั้นจะต้องใช้เวลาในการหมักนาน ทางโรงงานจึงอยากที่จะหาวิธีการผลิตผักกาดเขียวปลีหมักให้ได้จำนวนมาก และรวดเร็วขึ้นกว่าวิธีการหมักตามธรรมชาติ ซึ่งการหมักวิธีตามธรรมชาติจะมีความยุ่งยาก ในการหมักแต่ละครั้งได้ปริมาณผักกาดเขียวปลีน้อย และยังต้องใช้ภาชนะในการหมักเป็นจำนวนมาก ซึ่งผลจากการหมักตามวิธีธรรมชาติก็ไม่สามารถควบคุมผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้มีมาตรฐานและคุณภาพที่ดีทั้งหมดได้

ทางคณะผู้จัดทำจึงได้มีแนวความคิดที่จะสร้างถังหมักผักกาดเขียวปลีต้นแบบให้หมักผักกาดเขียวปลีได้โดยที่ใช้เวลาในการหมักน้อยกว่าวิธีการหมักตามธรรมชาติ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำมีสมมติฐานว่าในการหมักผักกาดเขียวปลีให้ใช้เวลาน้อยนั้น ความดันน่าจะมีผลต่อการหมักจึงได้เสนอโครงการ เพื่อออกแบบและสร้างถังหมักความดัน ซึ่งได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากโครงการ IPUS ดำเนินการโดยนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ภายใต้คำแนะนำของอาจารย์จาก สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล และได้รับความร่วมมือจาก บริษัทเล็งเฮงอกริฟุส จำกัด

2. การออกแบบถังหมักความดัน

จะประกอบไปด้วยตัวถังขนาดบรรจุ 30 ลิตร ตะแกรง STL สำหรับบรรจุผักกาดเขียวปลี 10-12 กิโลกรัม และปั๊มลม พร้อมด้วยอุปกรณ์ติดตั้งบริเวณฝาถังได้แก่ pressure gauge Thermometer ข้อต่อลม และ safty valve ตัวถังติดตั้งกระจกสำหรับมองเห็นผลิตภัณฑ์ ส่วนบริเวณกันถังติดตั้งวาล์วระบายน้ำ



ภาพที่ 2 ถังหมักความดัน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณออกแบบถังหมักแรงดัน (ตระการ, 2540) ความดันภายในหรือภายนอกที่กระจายอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้เกิดความเค้นตามแนวรอบวงมากกว่าความเค้นตามแนวยาวอยู่ 2 เท่า ทั้งนี้จากลักษณะรูปร่างของทรงกระบอกเอง

สำหรับความเค้นกดอัดอันเนื่องจากความดันภายนอก และความเค้นดึง เนื่องจากความดันภายในสามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

สูตร

ความเค้นตามแนวยาว :

$$S_1 = PD / 4t \quad (1)$$

ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง :

$$S_2 = PD / 2t \quad (2)$$

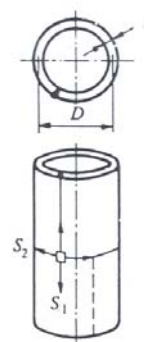
เมื่อ

D = เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของถัง (mm)

P = ความดันภายใน หรือภายนอก
(kg/cm^2)

S_1 = ความเค้นตามแนวยาว (kg/cm^2)

S_2 = ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง
(kg/cm^2)



ภาพที่ 3 ความเค้นในผนังทรงกระบอก

ที่มา : ตระการ (2540)

เนื่องจากความความเค้นตามแนวเส้นรอบวง มีค่าเป็น 2 เท่าของความเค้นตามแนวยาว ดังนั้นในการคำนวณ จึงให้ค่าความความเค้นตามแนวเส้นรอบวง เป็นค่าอนุญาตเพียงค่าเดียว

โดยสูตรในการหาความหนา และความดันที่ยอมให้ได้สูงสุด ของถังตัวถังทรงกระบอก ที่เกิดขึ้นตามตะเข็บ ตามแนวเส้นรอบวง (ความเค้นเกิดขึ้นตามแนวยาว) เป็นดังนี้ :

$$t = PR / (2SE + 0.4P) \quad (3)$$

$$p = 2Set / (R - 0.4t) \quad (4)$$

โดย

P = ความดันภายในหรือภายนอก
(kg/cm²)

R = รัศมีภายใน(mm)

S = ค่าความเค้นของวัสดุ(kg/cm²)

E = ประสิทธิภาพรอยต่อ

t = ความหนาของผนัง (mm)

ขนาดของถัง

$$V = 0.785 D^2 h \quad (5)$$

ความหนาของถัง

$$t = PR / (2 SE - 0.4 P) + C.A. \quad (7)$$

ตะแกรง

$$v = \pi r^2 h \quad (8)$$

3. การทดสอบถังหมักความดัน



ภาพที่ 4 การทำงานของถังหมักความดัน

3.1 การทดสอบทางเคมีของน้ำหมัก

จากการศึกษาพบว่าน้ำหมักก่อนการหมักต้องมียิบรมณความเค็มอยู่ในช่วง 8.6-10.5 % (NaCl) ค่า pH อยู่ในช่วง 2.9-3.2 และปริมาณความหวานอยู่ในช่วง 8.6-10.2 °Brix

3.2 เงื่อนไขในการทดสอบ

การทดสอบถังหมักความดัน เพื่อหาความดันและเวลาที่เหมาะสมในการหมักผักกาดเขียวปลี คณะผู้จัดทำได้กำหนดเงื่อนไขในการทดสอบ โดยพิจารณาจากสภาวะการทำงานของถังหมักความดันไว้ดังนี้

1. ความดันของถังหมัก เป็น 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 บาร์
2. ระยะเวลาในการหมักคือ 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 วัน

4. สรุปผลการทดลอง

ค่า pH เมื่อเพิ่มความดัน และเวลาในการหมัก จะทำให้น้ำหมักมีค่า pH เพิ่มขึ้น การเพิ่ม ขึ้นของค่า pH ของน้ำหมักที่หมักด้วยความดันสูงขึ้นไปจะมีอัตราเร็วกว่าที่การหมักด้วยความดันต่ำ ดังเช่นความดัน 3 bar มีค่า pH เพิ่มขึ้นมากในระยะเวลาหลังการหมัก 1 วัน จากค่า pH 2.90 เป็น 3.35 หลังจากนั้นค่า pH จะค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการแพร่ได้ถึงจุดสมดุลแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อเวลาหมักผ่านไป 3 วัน น้ำหมักจะมีค่า pH เท่ากับ 3.48 ส่วนความดัน 2 bar จะทำให้น้ำหมักเปลี่ยนค่า pH เพิ่มขึ้นในช่วง 2 วันแรก หลังจากนั้นค่า pH จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ที่เวลา 3 วัน ค่า pH เท่ากับ 3.51 สำหรับความดัน 1 bar พบว่าค่า pH จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนครบ 3 วันจะมีค่า pH เท่ากับ 3.42 จากการวิเคราะห์ทางสถิติจะพบว่าที่ความดัน 1 บาร์เวลา 3 วัน, ที่ความดัน 2 บาร์ เวลา 2 วัน และที่ความดัน 3 บาร์ เวลา 2 และ 3 วัน เมื่อเทียบกับการหมักปกติถือว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05

(ตารางที่ 4)

ความเค็ม พบว่าที่ทุกระดับความดันมีความเค็มลดลงจนได้ค่าๆ หนึ่ง แล้วจากนั้นความเค็มก็ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและความดันในการหมักมากนัก เมื่อนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติจะได้ว่าที่ความดัน 1

บาร์ เวลา 2 และ 3 วัน, ที่ความดัน 2 บาร์ และที่ความดัน 3 บาร์ เมื่อเทียบกับการหมักปกติ ถือว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05

ความหวาน พบว่าจากการทดลอง การใช้ความดัน ทำให้มีความหวานในช่วงเริ่มแรกลดลงเร็ว โดยใช้ความดันที่ 1, 2 และ 3 bar จะให้ค่าความหวานอยู่ในช่วง 7.5 - 8.0 เมื่อความหวานอยู่ในช่วงดังกล่าวแล้วหลังจากนั้นเมื่อเวลาหมักนานขึ้นความหวานจะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยมาก จากการทดลองควบคู่กับการหมักปกติ จะได้ว่าที่ความดัน 1 บาร์ เวลา 2 และ 3 วัน เทียบกับการหมักปกติไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่นัยสำคัญ 0.05 ส่วนที่ความดัน 2 และ 3 บาร์ เวลา 1, 2 และ 3 วัน เมื่อเทียบกับการหมักปกติทางสถิติถือว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05

การเพิ่มความดันในการดองเป็นการเพิ่มอัตราการแพร่ ทำให้ความเข้มข้นในน้ำหมักแพร่เข้าไปแทนที่น้ำในเซลล์ผัก ทำให้น้ำในเซลล์ผักถูกดันออกมาสู่น้ำหมักด้านนอก จึงทำให้ความเค็มในน้ำหมักเจือจางลง ซึ่งพบว่าหลังการหมักดองความเค็มจะลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงของความเค็มไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการหมักและพบว่าเมื่อค่า pH ความเค็ม และความหวานเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงระยะแรก จนถึงจุดสมดุล จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากกระบวนการแพร่ได้หยุดเนื่องจากความเข้มข้นของน้ำหมักและความเข้มข้นในเซลล์ผักมีค่าเท่ากัน

โดยจะพบว่าในช่วงแรกค่าความเค็ม และความหวานของน้ำหมักจะแปรผกผันกับความดัน ส่วนค่า pH นั้นจะแปรผันตรงกับความดัน แต่หลังจากนั้นที่เวลาการหมักมากขึ้นความเค็มและความหวานอาจมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย ส่วนค่า pH จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4 ผลการทดลองหมักผักกาดเขียวปลี

ความดัน (บาร์)	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	pH	ความหวาน	ความเค็ม
น้ำหมักเริ่มต้น	0	2.90	10.00	10.00
หมักปกติ	7	3.47	8.00	8.00
1	1	3.26	9.27	9.17
	2	3.39	7.93	8.07
	3	3.42	7.93	7.93
2	1	3.38	7.90	8.17
	2	3.45	7.80	7.60
	3	3.51	8.00	8.03
3	1	3.35	7.93	7.87
	2	3.41	7.87	7.80
	3	3.48	7.87	7.80



ภาพที่ 5 ผักกาดเขียวปลีดองที่ได้จากถังหมักความดัน

5. สรุปผล

การศึกษาผลของความดัน และระยะเวลาในการหมักต่อคุณภาพของผักกาดเขียวปลีต้อง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความดันและระยะเวลาในการหมักให้น้อยลง โดยควบคุมการหมักของผักกาดเขียวปลี ให้เป็นที่ยอมรับของโรงงานอุตสาหกรรม ได้ผลดังนี้

1. จากการทดลองพบว่าความดันมีผลต่ออัตราการแพร่ของน้ำหมักทำให้กระบวนการหมักสามารถเกิดขึ้นได้เร็ว เพราะแรงดันเพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคของสารต่างๆแพร่เข้าเซลล์ได้ดีขึ้น และเกิดการดันน้ำภายในเซลล์ผักออกมาด้านนอกเซลล์ จนภายในและภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นเท่ากันก็จะหยุดแพร่เกิดการสมดุล
2. พบว่าจากการทดลองความดันไม่มีผลทำให้ค่า pH ของการหมักทั้ง 2 วิธีต่างกันแต่จะมีความสัมพันธ์กันคือ เมื่อเพิ่มความดันจะทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นด้วยแต่ก็จะเพิ่มในระยะแรกเท่านั้นจนถึงจุดสมดุลก็จะไม่เปลี่ยนแปลง
3. พบว่าจากการทดลองความดันไม่มีผลทำให้ค่าความเค็ม ของการหมักทั้ง 2 วิธีต่างกันแต่จะมีความสัมพันธ์กันคือ เมื่อเพิ่มความดันจะทำให้ค่าความเค็มลดลงแต่ก็จะลดลงในระยะแรกเท่านั้นจนถึงจุดสมดุลก็จะไม่เปลี่ยนแปลง
4. พบว่าจากการทดลองความดันไม่มีผลทำให้ค่าความหวานของการหมักทั้ง 2 วิธีต่างกันแต่จะมีความสัมพันธ์กันคือ เมื่อเพิ่มความดันจะทำให้ค่าความหวานลดลงแต่ก็จะลดลงในระยะแรกเท่านั้นจนถึงจุดสมดุลก็จะไม่เปลี่ยนแปลง
5. จากการทดลองพบว่าความดันไม่มีผลทำให้ความกรอบของการหมักทั้ง 2 วิธีแตกต่างกัน
6. จากการทดลองพบว่าความดันไม่มีผลทำให้สีของการหมักทั้ง 2 วิธีแตกต่างกัน

ดังนั้นจากการใช้ถังหมักความดันในการหมักผักกาดเขียวปลีจะได้ว่าค่า pH ความเค็ม ความหวาน ความกรอบ และสี ไม่มีความแตกต่างจากการหมักด้วยวิธีปกติ แต่ความดันมีผลต่อกระบวนการหมัก คือความ

ดันสามารถทำให้การแพร่เกิดขึ้นได้เร็วกว่าการหมักปกติ จึงสามารถลดระยะเวลาในการหมักลงได้เหลือ 2 วัน ที่ 2 บาร์ และได้ผักกาดเขียวปลีต้องที่เป็นที่ยอมรับของโรงงานอุตสาหกรรม และยังเป็นการลดระยะเวลาในการหมักได้ถึง 5 วันเมื่อเทียบกับการหมักแบบปกติ

กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยต้องขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปีการศึกษา 2546 ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Brogstrem G., 1971, Principle of food science VII food microbiology and biochemistry, New York, The Macmillan Com.

เกษม พิสิก, 2524, ผักฤดูหนาว เล่มหาวิทยาลัย 1, เกษตรศาสตร์, หน้า 61-64.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมส่งเสริมการเกษตร, 2534, สถิติการปลูกพืชผักทั่วประเทศปีเพาะปลูก 2530, หน้า 16.

ตระการ ก้าวไกลกรรม, 2540, คู่มือถึงรับแรงดัน, บริษัทเอ็มแอนด์ดี จำกัด, กรุงเทพฯ, 516 หน้า.

ทรงชัย ชุ่มภิรมณ์, เปลี่ยน วงเจริญ และสาหัส สันเทียะ, 2529, การศึกษาระยะปลูกผักกาดเขียวปลีที่เหมาะสม, ภาควิชาการเกษตร, หน้า 129.

ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก, 2532, กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร, โอ. เอส. พรินติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ, 302 หน้า.

เมืองทอง ทวนทวี, 2525, สวนผัก, กลุ่มหนังสือเกษตร, หน้า 134-137.

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2525, ทฤษฎีอาหาร เล่ม 2, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 256 หน้า.