จุลินทรีย์ในอาหารหมัก

จิตต์เรขา ทองมณี

อาหารหมักเป็นวิธีการแปรรูปหรือถนอมอาหารที่เก่าแก่วิธีหนึ่งประเทศต่าง ๆทั่วโลกจะมีผลิตภัณฑ์อาหารหมักที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบของประเทศนั้น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์นมหมักจะนิยมผลิตกันในทวีปยุโรป แอฟริกา และเอเชียซึ่งมีการเลี้ยงสัตว์ไว้บริโภคนม ผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากถั่วเหลืองจะผลิตมากในทวีปเอเชีย เพราะถั่วเหลืองเป็นพืชอาหารหลัก ผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากเนื้อสัตว์ เช่น ไส้กรอกผลิตกันมากในทวีปยุโรปและเอเชีย น้ำปลา ผลิตมากในทวีปเอเชียใต้

อาหารหมัก คืออาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ที่สร้างขึ้นโดยจุลินทรีย์และได้ผลิตภัณฑ์ใหม่เกิดขึ้น การหมักจะช่วยให้อาหารที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้นและง่ายต่อการย่อย จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในอาหารหมักมี 3 ชนิดคือ รา ยีสต์และแบคทีเรียแลกติก (Lactic acid bacteria) จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในอาหารหมักส่วนใหญ่มาจากธรรมชาติชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ และสภาวะที่ใช้ในการหมัก แต่ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารหมักบางชนิดจะเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์เพื่อให้การหมักเกิดเร็วขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถควบคุมคุณภาพได้

คนไทยส่วนมากรู้จักจุลินทรีย์ในอาหารหมักจากผลิตภัณฑ์นมหมัก จุลินทรีย์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นมหมักจะเป็นพวกแบคทีเรียแลกติก โดยเติมหัวเชื้อแบคทีเรียแลกติกลงในน้ำนมสดซึ่งสายพันธุ์แบคทีเรียที่ใช้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์นมหมัก เช่น การผลิตโยเกิร์ตจะเติมเชื้อ *Streptococcus thermophillus* และ *Lactobacillus bulgaricus* เป็นต้น จุลินทรีย์จะย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทในน้ำนมได้กรดอะมิโน (amino acid) กรดอินทรีย์ วิตามินและสารอื่น ๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์นมหมักมีคุณค่าทางโภชนาการสูง กลิ่นและรสดีเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค นอกจากผลิตภัณฑ์นมหมักแล้วยังมีอาหารหมักประเภทอื่น เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากถั่วเหลือง ผลไม้ และธัญพืช เช่น เมรัย เหล้า เบียร์ ข้าวหมาก

ผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากเนื้อสัตว์

ประเทศไทยมีอาหารหมักจากเนื้อสัตว์หลายชนิดขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ เช่น ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการผลิตปลาร้า แหนม ปลาเจ่า ปลาจ่อม ส่วนภาคใต้มีการผลิตน้ำปลา กะปิ ไตปลา บูดู และภาคกลางมีการผลิต กะปิ น้ำปลา ปลาร้า เป็นต้น อาหารหมักจากเนื้อสัตว์ส่วนมากเป็นอาหารหมักพื้นบ้านผลิตเพื่อบริโภคในครัวเรือน จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักจะเป็นจุลินทรีย์จากธรรมชาติและที่ติดมากับวัตถุดิบซึ่งช่วยให้อาหารหมักมีคุณค่าทางโภชนาการดีขึ้น

- น้ำปลา

น้ำปลาเป็นการแปรรูปอาหารโดยการนำปลาสดมาหมักมีการผลิตทั้งในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรม พื้นที่ผลิตน้ำปลาส่วนมากอยู่แถบชายฝั่งทะเลทางภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทย ปลาที่ใช้ผลิตน้ำปลาส่วนใหญ่เป็นปลาทะเลเช่น ปลากะตัก ปลาหลัง-เขียว เป็นต้น การหมักน้ำปลาทำได้โดยนำปลาสดมาล้างให้สะอาดแล้วบรรจุลงในไห โอ่ง หรือบ่อ แล้วใส่เกลือสลับกับปลาในอัตราส่วนปลา 3 ส่วนต่อเกลือ 1 ส่วน และปิดฝาให้สนิทตั้งตากแดดไว้เพื่อให้การหมักเร็วขึ้น ปลาจะถูกย่อยได้น้ำปลาจากนั้นนำมากรองซึ่งน้ำแรกที่ได้จากการหมักเรียกว่า หัวน้ำปลา แล้วนำออกตากแดดไว้ประมาณ 1 เดือนเพื่อลดกลิ่นคาวปลาและให้มีกลิ่นหอม ส่วนกากปลาที่เหลือจะเติมน้ำเกลือและหมักต่ออีก 1 - 2 ครั้ง ซึ่งน้ำปลาที่ได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าหัวน้ำปลา คุณภาพของน้ำปลานั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและขั้นตอนการหมัก

จุลินทรีย์ที่พบในการหมักน้ำปลาเป็นจุลินทรีย์ชนิด *Bacillus, Micrococcus, Pediococcus* และ *Staphylococcus* โดยระยะแรกของการหมัก จุลินทรีย์มีการเจริญสูงสุดและสร้างเอนไซม์ออกมา เมื่อน้ำเกลือเข้มข้นขึ้นจุลินทรีย์บางส่วนจะตายไป เอนไซม์ทำหน้าที่ย่อยสลายโปรตีนในปลาให้เป็นเพปไทด์ (peptide) และกรดอะมิโน จากนั้นกรดอะมิโนอาจถูกย่อยสลายต่อไปได้อีก ส่วนไขมันในตัวปลาจะถูกเอนไซม์ย่อยสลายให้กรดไขมันที่มีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นและรสของน้ำปลา นอกจากนี้ยังเกิดกรดอินทรีย์เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดแอซีติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propenoic acid) และกรดไอโซบิวทิริก (isobutyric acid) เป็นต้น ซึ่งสารอาหารต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้น้ำปลามีคุณค่าทางโภชนาการ น้ำปลาชั้นคุณภาพที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.3-2526) กำหนดไว้คือ ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 27/27 องศาเซลเซียสไม่น้อยกว่า 1.20 ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่น้อยกว่า 5.0 และไม่มากกว่า 6.0 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่า 20 กรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนจากกรดอะมิโนไม่น้อยกว่า 10 กรัมต่อลิตร ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ไม่น้อยกว่า 230 กรัมต่อลิตร และต้องไม่มีวัตถุกันเสีย

- **กะปิ**

กะปิเป็นอาหารหมักพื้นบ้านของประเทศไทยและประเทศในแถบเอเชียใต้ ส่วนมากผลิตไว้บริโภคในครัวเรือน กะปิเป็นอาหารหมักจากเคย กุ้ง หรือปลา สำหรับประเทศไทยนิยมใช้เคยหรือกุ้งน้ำเค็มและอาจใช้กุ้งน้ำจืดด้วยขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ กะปิทำได้โดยนำเคยมาล้างให้สะอาดแล้วทิ้งไว้สักพักจึงนำไปคลุกกับเกลือในอัตราส่วนเคย 5 ส่วนต่อเกลือ 1 ส่วน เก็บไว้หนึ่งคืน จากนั้นนำมาคลุกกับเกลืออีกครั้งหมักต่ออีกหนึ่งคืน แล้วจึงนำไปผึ่งแดดจนแห้งก่อนนำไปบดให้ละเอียดแล้วบรรจุใส่โอ่งหรือไหเก็บไว้อย่างน้อย 4 เดือน

จุลินทรีย์ที่พบในการหมักกะปิเป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งที่มี ออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobe) ได้แก่ *Staphylococcus, Bacillus, Micrococcus morrhuae* เป็นต้น เอนไซม์ที่ได้จากแบคทีเรียจะช่วยย่อยสลายโปรตีนในเคยให้เป็นเพปไทด์ และกรดอะมิโน นอกจากนี้ยังได้สารอินทรีย์อื่น ๆ ช่วยเพิ่มกลิ่นและรสของกะปิให้ดีขึ้น ส่วนเกลือช่วยป้องกันวัตถุดิบที่ใช้ทำกะปิไม่ให้เกิดการเน่าเสีย กะปิเป็นอาหารหมักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยมีโปรตีนประมาณร้อยละ 45 - 65 ต่อน้ำหนักกะปิแห้ง นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนและวิตามินอีกเล็กน้อย

- **ปลาร้า**

ปลาร้าเป็นอาหารหมักพื้นบ้านที่นิยมบริโภคในแถบจังหวัดภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางที่ติดแม่น้ำ ปลาที่ใช้ทำปลาร้าส่วนมากเป็นปลาน้ำจืดที่มีไขมันน้อย เช่น ปลากระดี่ ปลาตะเพียน ปลาช่อน เป็นต้น วิธีการหมักปลาร้าของแต่ละท้องถิ่นอาจแตกต่างกัน โดยนำปลาสดมาขอดเกล็ดและล้างให้สะอาดแล้วนำมาคลุกกับเกลือในอัตราส่วนที่เหมาะสม และทิ้งไว้สักระยะเพื่อให้ปลาอ่อนนุ่ม จากนั้นนำมาคลุกกับข้าวคั่วบดหรือรำข้าวหมักในไหหรือโอ่งปิดฝาให้สนิทอย่างน้อย 6 เดือน การหมักยิ่งนานปลาร้าก็ยิ่งมีรสและกลิ่นดีขึ้น

จุลินทรีย์ที่พบในการหมักปลาร้าเป็นแบคทีเรียโฮโมเฟอร์เมนเตทีฟ (homofermentative) และแบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ได้แก่ *Bacillus licheniformis, B.subtilis, Micrococcus, Pediococcus halophilus, Pediococcus sp., Staphylococcus epidermidis, Staphylococcus* sp. เป็นต้น แบคทีเรียจะผลิตเอนไซม์อะไมเลส (amylase) เพื่อย่อยสลายแป้งในข้าวคั่วให้เป็นกรดแลกติก ทำให้ปลาร้ามีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง นอกจากนี้แบคทีเรียยังผลิตเอนไซม์โปรติเอส (protease) เพื่อย่อยสลายโปรตีนในเนื้อปลาให้เป็นกรดอะมิโน ทำให้ปลาร้ามีกลิ่นและรสที่ดี ส่วนเกลือทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ปลาร้าเป็นอาหารหมักที่มีคุณค่าทางโภชนาการคือ มีโปรตีนประมาณร้อยละ 16 ไขมันประมาณร้อยละ 2 - 5 วิตามินบี 12 และแคลเซียม ข้อควรระวังในการทำปลาร้าคือความสะอาดและวิธีทำที่ถูกต้อง

การบริโภคปลาร้าดิบหรือกึ่งดิบกึ่งสุกอาจเกิดโรคพยาธิได้ เพราะอาจมีพยาธิที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ ดังนั้นก่อนนำไปรับประทานควรทำให้สุกก่อน

- **แหนม**

แหนมเป็นการแปรรูปอาหารโดยการหมักอีกวิธีหนึ่ง การผลิตส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน ส่วนผสมจะประกอบด้วยเนื้อหมูสดประมาณร้อยละ 50 ส่วนที่เหลือเป็นข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียวสุก กระเทียม เกลือและเครื่องปรุงอื่น ๆ ผสมคลุกเคล้ากันแล้วนำไปห่อด้วยใบตองหรือพลาสติกหมักไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3 วัน

จุลินทรีย์ที่พบในการหมักแหนมเป็นพวกแบคทีเรียแลกติก ซึ่งจะใช้ข้าวเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในการเปลี่ยนเป็นกรดแลกติก ทำให้แหนมมีรสเปรี้ยว(ความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4.4-4.5) แหนมมีคุณค่าทางโภชนาการโดยมีโปรตีนร้อยละ 23.1 ไขมันร้อยละ 51.1 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 2.3 ความชื้นร้อยละ 65 นอกจากนี้ยังมีวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 เหล็ก และฟอสฟอรัส

คนไทยนิยมบริโภคแหนมดิบเพราะการทำแหนมให้สุกด้วยความร้อนทำให้แหนมมีเนื้อสัมผัสและรสที่เปลี่ยนไปไม่น่ารับประทาน แต่การรับประทานแหนมดิบอาจทำให้เกิดโรคท้องร่วงจากเชื้อแบคทีเรีย Salmonella และโรคพยาธิ Trichinella spiralis ที่ติดมากับเนื้อหมูสด นอกจากการทำลายจุลินทรีย์โดยทำให้แหนมสุกแล้วยังอาจใช้วิธีฉายรังสีแกรมมาซึ่งกระทรวงสาธารณะสุขได้ออกประกาศฉบับที่ 103 พ.ศ. 2529 อนุญาตให้ฉายรังสีแกรมมาในแหนมได้ไม่เกิน 4 กิโลเกรย์ ซึ่งถือว่าปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค การฉายรังสีไม่ทำให้รส กลิ่น และเนื้อสัมผัสของแหนมเปลี่ยนแปลง

ผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากถั่วเหลือง

อาหารหมักจากถั่วเหลืองเป็นอาหารหมักที่อยู่คู่กับคนเอเชียมานานโดยเฉพาะชาวจีนมีประวัติการผลิตอาหารหมักจากถั่วเหลืองมายาวนาน วิธีผลิตอาหารหมักจากถั่วเหลืองของชาวจีนเริ่มแรกจะเป็นการผลิตเพื่อใช้ในครัวเรือนและมีสูตรการหมักเฉพาะแต่ละครอบครัว ซึ่งถ่ายทอดกันมาจากบรรพบุรุษ ต่อมาจึงมีการพัฒนาการผลิตสู่ระดับอุตสาหกรรม และเป็นที่แพร่หลายไปทั่วทั้งเอเชีย ยุโรป อเมริกา รวมทั้งประเทศไทยด้วย ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีโปรตีนสูงสามารถนำมาผลิตอาหารหมักได้หลายชนิด แต่อาหารหมักที่คนไทยนิยมรับประทาน เช่น ซีอิ๊ว เต้าเจี้ยว และเต้าหู้ยี้ เป็นต้น

- **ซีอิ๊ว**

ซีอิ๊วเป็นอาหารหมักที่มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลดำ รสเค็ม และมีกลิ่นเฉพาะใช้สำหรับปรุงแต่งอาหารให้มีรสเค็ม การผลิตซีอิ๊วแบบดั้งเดิมจะมี 2 ขั้นตอนคือ 1) นำถั่วเหลืองแช่น้ำแล้วนำมาต้มหรือนึ่งจนสุก ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำถั่วเหลืองมาผสมกับข้าวสาลีหรือแป้งข้าวเจ้า แล้วใส่กระด้ง เกลี่ยให้บาง วางบนชั้นบ่มที่อุณหภูมิห้องประมาณ 4 - 7 วัน จะมีเชื้อราเกิดขึ้นครอบคลุมทั่วเมล็ดถั่วเหลือง เรียกเมล็ดถั่วเหลืองที่มีเชื้อรานี้ว่า โคจิ (Koji) 2) นำโคจิมาทำเป็นชิ้นเล็ก ๆ บรรจุลงในโอ่งหรือถังและเติมน้ำเกลือเข้มข้นประมาณร้อยละ 22- 24 ขั้นตอนนี้จะเปิดฝาโอ่งหรือถังและตากแดดทิ้งไว้นานประมาณ60 วันเพื่อทำการหมัก โดยจะปิดฝาเฉพาะเวลากลางคืนและเวลาฝนตกเท่านั้นเพื่อกันไม่ให้น้ำปนเปื้อนในระหว่างการหมัก เพราะน้ำจะทำให้ความเข้มข้นของน้ำเกลือลดลงและอาจเกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆทำให้การหมักใช้ไม่ได้ เมื่อครบกำหนดเวลาการหมักจะกรองเอาน้ำซีอิ๊วออกมา ส่วนกากที่เหลือจะเติมน้ำเกลือลงไปและหมักต่อได้อีก 3-4 ครั้ง ซึ่งซีอิ๊วที่ได้จะมีคุณภาพต่ำลง

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการหมักซีอิ๊วมี 2 ระยะ คือ

1) การผลิตโคจิ เชื้อราที่เกิดขึ้นในการหมักช่วงนี้จะมาจากอากาศและติดมากับกระด้ง คุณภาพของโคจิขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ในช่วงอากาศแห้งโคจิจะมีสีเหลืองอมเขียวมักพบเชื้อรา *Aspergillus oryzae* จำนวนมากและพบเชื้อราพวก Phycomycete เช่น *Rhizopus spp., Absidia spp.* และ *Syncephalastrum* จำนวนน้อย เมื่อนำโคจิไปหมักต่อจะได้ซีอิ๊วที่มีกลิ่นและรสดี ส่วนอากาศชื้นโคจิที่ได้อาจมีสีเทาหรือสีดำจะพบเชื้อรา Rhizopus spp. หรือ Mucor spp. จำนวนมาก ซึ่งโคจิที่ได้คุณภาพไม่ดีจึงไม่สามารถนำมาหมักซีอิ๊วได้ เมื่อมีการพัฒนาการผลิตซีอิ๊วในระดับอุตสาหกรรม ขั้นตอนการทำโคจิจึงใช้วิธีเติมหัวเชื้อรา A. oryzae(A. soyae) หรือ จุลินทรีย์ผสมที่ได้จากการหมักซีอิ๊วครั้งก่อน ๆและบ่มในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียสนาน 3-5 วัน ทำให้โคจิที่ได้ไม่เกิดการปนเปื้อนจึงมีคุณภาพดี เชื้อรา A. oryzae จะผลิตเอนไซม์โปรติเอสเพื่อย่อยโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองให้เป็นเพปไทด์และกรดอะมิโน นอกจากนี้ยังผลิตเอนไซม์อะไมเลสเพื่อย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลและเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลกติก กรดกลูตามิก เป็นต้น

2) การหมักโคจิในน้ำเกลือจะมีจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียแลกติก คือ *Lactobacillus delbrueckii* และ *Pediococcus soyae* แบคทีเรียจะผลิตกรดแลกติกทำให้น้ำหมักมีสภาวะเป็นกรดซึ่งจะช่วยป้องกันการเจริญของแบคทีเรียปนเปื้อน นอกจากนี้ *P. soyae* ยังสร้างเอนไซม์โปรติเอสและเพปติเดสเพื่อย่อยสลายโปรตีนที่แขวนลอยในซีอิ๊วทำให้ซีอิ๊วมีลักษณะใสขึ้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรีย bacilli อื่น ๆและยีสต์ที่ช่วยทำให้กลิ่นรส ของซีอิ๊วดีขึ้น จากการหมักซีอิ๊วโดยจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องจะช่วยทำให้ซีอิ๊วมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยมีโปรตีน กรดอะมิโนที่สำคัญ 17 ชนิด เกลือแร่ และวิตามินบี 12 เล็กน้อย

- **เต้าเจี้ยว**

เต้าเจี้ยวเป็นอาหารหมักดั้งเดิมของชาวเอเชียโดยผลิตครั้งแรกในประเทศจีน ได้จากการหมักถั่วเหลือง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว สีน้ำตาล และรสเค็ม การผลิตเต้าเจี้ยวจะเริ่มจากการเตรียมโคจิโดยนำข้าวแช่น้ำไว้เพื่อปรับให้มีความชื้นร้อยละ 35 แล้วนำไปนึ่งนานประมาณ 40 - 60 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น จึงใส่เชื้อรา *Aspergillus oryzae* คลุกให้เข้ากัน แล้วแผ่กระจายไว้ในถาดนำไปบ่มที่อุณหภูมิประมาณ 30-60 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 45-50 ชั่วโมง โดยให้มีอากาศถ่ายเทได้เมื่อเชื้อราเจริญจะมีเส้นใยสีขาวปกคลุมอยู่เต็มข้าวนึ่ง เรียกข้าวนี้ว่าโคจิขั้นตอนต่อไปนำถั่วเหลืองนึ่งหรือต้มที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาทีและทิ้งไว้ให้เย็น นำมาผสมกับโคจิ ในอัตราส่วน 2 : 1 และนำไปหมักกับเกลือ ในโอ่งเคลือบหรือถังโดยเป็นการหมักแบบไร้อากาศเป็นเวลา 1- 2 เดือนก็สามารถนำมาบริโภคได้

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการหมักเต้าเจี้ยวได้แก่เชื้อรา *A.oryzae* จะสร้างเอนไซม์อะไมเลสเพื่อย่อยคาร์โบไฮเดรตในข้าวให้เป็นน้ำตาลกลูโคสและมอลโตส จากนั้นน้ำตาลจะถูกแบคทีเรีย *Streptococcus faecalis, Pediococcus halophilus* และยีสต์ *accharomyces rouxit, Torulo*psis ใช้ในการหมักต่อไปเป็นกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ เอสเทอร์และกรดไขมัน ซึ่งจะทำให้กลิ่นและรสของเต้าเจี้ยวดีขึ้น นอกจากนี้ *A.oryzae* ยังสร้างเอนไซม์โปรติเอสเพื่อย่อยโปรตีนในถั่วเหลืองให้เป็นกรดอะมิโนและเกลือของกรดอะมิโน เช่น โซเดียมกลูตาเมต เป็นต้น เต้าเจี้ยวที่ได้ต้องนำไปผ่านความร้อนโดยการพาสเจอไรซ์ เพื่อทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์ทั้งหมดก่อนนำมาบริโภค

- **เต้าหู้ยี้**

เต้าหู้ยี้เป็นอาหารหมักพื้นบ้านอีกชนิดหนึ่งของชาวจีนที่คนไทยนิยมบริโภค ขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ยี้จะแตกต่างจากซีอิ๊วและเต้าเจี้ยวอยู่บ้างโดยการผลิตจะมี 3 ขั้นตอน คือ

1.) นำเมล็ดถั่วเหลืองผลิตเป็นเต้าหู้ก่อน

2.) ทำการหมักเต้าหู้กับเชื้อราโดยนำก้อนเต้าหู้มาตัดให้เป็นก้อนสี่เหลี่ยมเล็ก ๆและแช่ในสารละลายผสมของเกลือโซเดียมคลอไรด์ประมาณร้อยละ 2-6 กับกรดซิตริกประมาณร้อยละ 0.8-2.5 นาน 1 ชั่วโมงจากนั้นนำไปผ่านไอร้อนที่อุณหภูมิ

100 องศาเซลเซียสนาน 10 นาทีเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน แล้วทิ้งให้เย็นจึงวางในถาดโปร่งเพื่อให้อากาศถ่ายเทได้ดีแล้วใส่เชื้อราลงบนผิวหน้าของก้อนเต้าหู้ เชื้อราที่นิยมใช้คือ *Actinomucor elegans* แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสนาน 3-7 วัน จะมีเส้นใยสีขาวหรือสีขาวปนเหลืองของราขึ้นปกคลุมเต็มก้อนเต้าหู้โดยก้อนเต้าหู้ที่ได้จะมีโปรตีนร้อยละ 12 และไขมันร้อยละ 4.3

3.) นำก้อนเต้าหู้ที่ได้แช่ในสารละลายผสมของโซเดียมคลอไรด์ประมาณร้อยละ 5 - 12กับเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 10 โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ที่ได้มาจากไวน์ข้าวเจ้าและอาจเติมข้าวแดงบดทำให้ได้เต้าหู้ยี้ที่มีสีแดง การหมักขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 40-60 วันจึงบรรจุใส่ขวดและนำไปฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์ก่อนบริโภค

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักเต้าหู้ยี้นอกจากเชื้อรา *Actinomucor elegans* ยังมีเชื้อราอื่นๆ เช่น *Mucor hiemalis, M.silvaticus* และ *M. subtilissimus* เป็นต้น เชื้อราจะสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยโปรตีนและไขมันในก้อนเต้าหู้ให้เป็นเพปไทด์ กรดอะมิโน และกรดไขมัน นอกจากนี้เอทิลแอลกอฮอล์ที่เติมในน้ำเกลือจะทำปฏิกริยากับกรดไขมันได้เป็นเอสเทอร์ที่มีกลิ่นหอม จากการทำงานของจุลินทรีย์จึงทำให้เต้าหู้ยี้เป็นอาหารหมักที่มีโปรตีน แคลเซียม กลิ่นและรสเฉพาะตัวที่ดี

การทำอาหารหมัก มักใช้เกลือเป็นส่วนผสม เพราะเกลือที่เข้มข้นจะช่วยป้องกันจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนไม่ให้เจริญในระหว่างการหมักเป็นการถนอมอาหารไม่ให้เกิดการเน่าเสีย เกลือทำให้ค่า water activity (AW) ของอาหารหมักลดลงจุลินทรีย์จึงขาดน้ำไม่สามารถเจริญได้ นอกจากนี้เกลือทำให้เกิดแรงดันออสโมซิส (osmosis) สูง เซลล์จุลินทรีย์จะสูญเสียน้ำจึงหยุดการเจริญและตายในที่สุด ส่วนคลอไรด์ไอออน (Cl^-) และโซเดียมไอออน (Na^+) จากโมเลกุลของเกลือจะเป็นพิษต่อเซลล์จุลินทรีย์

ผลิตภัณฑ์อาหารหมักเป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อผู้บริโภค ทั้งนี้เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการที่มักประกอบด้วย กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ กรดไขมัน วิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ร่างกายสามารถย่อยนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีกลิ่นและรสชาติที่ดี พร้อมทั้งยังเป็นประโยชน์ในด้านการถนอมเก็บรักษาอาหารเอาไว้ได้เป็นระยะเวลานาน

แต่ในทางกลับกันผลิตภัณฑ์อาหารหมักก็สามารถก่อให้เกิดโทษต่อผู้บริโภคได้ในกรณีที่อาหารหมักนั้นมีคุณภาพต่ำไม่ได้มาตรฐานการผลิตและควบคุมที่ถูกต้อง เกิดการปนเปื้อนด้วยสารพิษ อาทิเช่น การเกิดสารไดเมทธิลไนโตรซามีน (dimethylnitrosamine, DMN) ที่พบอยู่ในปลาร้า สารนี้จัดเป็นสารพิษ ที่ก่อให้เกิดมะเร็งในระบบทางเดินอาหาร แต่เนื่องจากมีโครงสร้าง โมเลกุลขนาดเล็กและมีสมบัติระเหยง่าย จึงถูกทำลายไปได้เป็นส่วนใหญ่ด้วยความร้อนจากกรรมวิธีหุงต้มและปรุงอาหาร นอกจากนี้พิษของอาหารหมักที่พบเสมอเกิดจากสารชนิดหนึ่งที่เรียกชื่อว่า อัลฟ่าทอกซิน (alpha toxin) พบในอาหารหมักหลายประเภท ที่มีเชื้อจุลินทรีย์ *Aspergillus flavus* เจริญเติบโตปนเปื้อนสารพิษอัลฟ่าทอกซินที่จุลินทรีย์ชนิดนี้สังเคราะห์ขึ้นนอกจากมีฤทธิ์เป็นสารก่อมะเร็งแล้ว ข้อเสียที่น่าตกใจก็คือไม่สามารถทำลายพิษสารชนิดนี้ได้ด้วยความร้อนที่ใช้ในการหุงต้มซึ่งไม่เหมือนพิษของสารที่กล่าวมาแล้วนั้น ดังนั้นก่อนที่จะบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารหมักที่มีรสอร่อยเหล่านี้ สิ่งที่เรา ๆท่าน ๆ ควรพิจารณาและเพิ่มความระมัดระวังเป็นขั้นแรก ก็น่าจะได้แก่การพิจารณากรรมวิธีผลิตและแหล่งที่มาของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการนำผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานมาบริโภค และสิ่งสุดท้ายก็คือ ต้องใช้กรรมวิธีการปรุงสุกหรือหุงต้มให้ได้ถูกต้องด้วย

เอกสารอ้างอิง

ดุษณี ธนะบริพัฒน์. **จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม.** กรุงเทพมหานคร :ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2537.

ลัดดาวัลย์ รัศมิทัต. **จุลินทรีย์กับอุตสาหกรรมอาหาร.** ชลบุรี : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยบูรพา. 2526. 247 หน้า.

วราวุฒิ ครูส่ง และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. **เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม.** กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2532. 209 หน้า.

อรพิน ภูมิภมร. **จุลินทรีย์ในเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์และอาหารหมักพื้นเมือง.** กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2526. 156 หน้า.

Beuchat, L.R.,ed. Traditional fermented food product. **In Food and Beverage Mycology.** 2 nd **ed.** New York : AVI, 1987. P. 269-305.