

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าวเป็น "ธัญชาติ" ชนิดหนึ่ง ซึ่งได้มาจากเมล็ดของธัญพืชพวกหญ้า วงศ์แกรมินีอี (Gramineae) มีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุเพียงหนึ่งปี (annual grass) มีใบชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) มีรากเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกันทั้งในเขตร้อน (tropical zone) และเขตอบอุ่น (temperate zone) ตั้งแต่พื้นที่น้ำท่วมสูงไปจนถึงพื้นที่สูงตามไหล่เขา ทำให้เกิดความหลากหลายของข้าวชนิดต่างๆที่แพร่กระจายทั่วโลกอย่างน้อย 23 ชนิด ซึ่งมีเพียง 2 ชนิด ที่มนุษย์ปลูกเพื่อบริโภค คือ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud) การแบ่งชนิดของข้าวอาจแบ่งตามสภาพภูมิอากาศและสายพันธุ์ข้าวได้ดังนี้ (พลกฤษณ์, 2547)

1. ข้าวสายพันธุ์อินดิกา (Indica) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ขึ้นได้ดีในสภาพร้อนชื้นเป็นที่ลุ่มมีน้ำขังในนาข้าวเป็นส่วนใหญ่ เช่น พื้นที่ในทวีปเอเชียตอนใต้ ได้แก่ ประเทศอินเดีย ปากีสถานและไทย ลักษณะเมล็ดข้าวมักจะเรียวยาว เมื่อบริโภคจะได้อาหารที่นุ่ม เมล็ดไม่เกาะติดกันและเนื้อสัมผัสที่แข็งเมื่อเคี้ยว

2. ข้าวสายพันธุ์จาปอนิกา (Japonica) จะขึ้นได้ดีที่สภาพอากาศในเขตอบอุ่นค่อนข้างเย็นเป็นที่ลุ่มแต่น้ำขังไม่มากนัก เช่น พื้นที่ในทวีปเอเชียตอนเหนือ ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น เกาหลีและจีน ลักษณะข้าวมักจะอ้วนกลม ป้อม เมื่อบริโภคจะได้อาหารที่ค่อนข้างเหนียว เมล็ดเกาะติดกันและมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม

3. ข้าวสายพันธุ์จาวานิกา (Javanica) จะเป็นสายพันธุ์ที่มีลักษณะพันธุ์กรรมผสมกันระหว่างอินดิกาและจาปอนิกา พื้นที่ปลูกมีสภาพเป็นเกาะ เช่น ประเทศอินโดนีเซีย มีลักษณะเมล็ดขนาดปานกลาง เมื่อบริโภคจะได้อาหารที่มีลักษณะไม่ร้อนและไม่เหนียวมาก เนื้อสัมผัสไม่แข็งและไม่นุ่มมากเท่าสายพันธุ์อินดิกาและจาปอนิกา

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดธัญชาติ (พลกฤษณ์, 2547)

ธัญชาติ หมายถึงเมล็ดธัญพืช ซึ่งเป็นพืชวงศ์หญ้า ประเภทใบเลี้ยงเดี่ยวที่ปลูกได้ทั่วไปในพื้นที่ทั่วโลก ซึ่งเป็นอาหารหลักของมนุษย์ในทุกภูมิภาคของโลก

2.1.1.1 โครงสร้างของเมล็ดธัญชาติจะประกอบด้วย

2.1.1.1.1 เปลือกหุ้มแข็ง (Hull) เป็นส่วนนอกสุดมีลักษณะแข็ง เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของความชื้นภายในและป้องกันแมลงกัดแทะ

2.1.1.1.2 เยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ด (Bran) ในส่วนนี้จะมีเซลล์ลูโลสสูงอุดมไปด้วยวิตามิน หลังจากสีแล้วส่วนนี้จะเป็นรำหยาบ

2.1.1.1.3 ชั้นแอลูโรน (Aleurone layer) อยู่ถัดชั้น bran เข้าไป อุดมไปด้วยโปรตีน ฟอสฟอรัสและวิตามินบีหนึ่ง ไขมันมาก หลังจากสีแล้วส่วนนี้จะเป็นรำละเอียด

2.1.1.1.4 เนื้อเมล็ด (Endosperm) ส่วนนี้จะเป็นเนื้อข้าวเป็นส่วนที่มีมากที่สุดของน้ำหนักเมล็ดข้าวประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ วิตามิน เกลือแร่และไขมันมีเพียงส่วนน้อย

2.1.1.1.5 จมูกข้าว (Germ) อยู่ทางส่วนล่างของเมล็ด ส่วนนี้อุดมไปด้วยไขมัน โปรตีน และวิตามิน

2.1.2 คุณภาพเมล็ดข้าว (พลกฤษณ์, 2547)

2.1.2.1 คุณภาพเมล็ดข้าวทางฟิสิกส์

คุณภาพเมล็ดข้าวทางฟิสิกส์ หมายถึง คุณสมบัติต่างๆของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นด้วยตา หรือชั่ง ตวง วัดได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด (grain weight) สีข้าวเปลือก (pericarp color) ขนาดรูปร่างเมล็ด (grain dimension) ลักษณะท้องไข่ (chalkiness) ความใสของเมล็ด (grain translucency) ความขาวของข้าวสาร (whiteness of milled rice) และคุณภาพการสี (milling quality)

2.1.2.1.1 น้ำหนักเมล็ด เป็นลักษณะที่คงที่มากที่สุดและควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นส่วนใหญ่ น้ำหนักเมล็ดจะแปรไปตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย และสภาพภูมิอากาศก็มีผลกระทบต่อน้ำหนักเมล็ดด้วย จากการตรวจสอบน้ำหนักข้าวเปลือก 100 เมล็ดของข้าวพันธุ์ไทย 344 พันธุ์ พบว่าน้ำหนักแปรปรวนระหว่าง

1.16 – 4.17 กรัม ข้าวพันธุ์ดีของไทยที่รัฐบาลส่งเสริมให้ปลูกจะมีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดระหว่าง 2.25 – 3.67 กรัม

2.1.2.1.2 สีข้าวเปลือก เกิดจากสารสีที่เยื่อหุ้มผล (pericarp) ส่วนเนื้อในเมล็ดของข้าวทุกชนิดมีสีขาวยเสมอ จากการสำรวจพันธุ์ข้าวต่างๆ ในธนาคารเชื้อพันธุ์ข้าวของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี พบว่าข้าวเปลือกมี 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดงและดำ (ม่วง) ส่วนใหญ่มีสีขาวยังมีสีแดงและสี

2.1.2.1.3 ขนาดรูปร่างเมล็ด เป็นลักษณะประจำพันธุ์เพื่อจำแนกข้าวขาวและใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการซื้อขายข้าวของประเทศไทย โดยวัดขนาดเป็นความยาว วัดรูปร่างจากอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างและการวัดความหนาของเมล็ดได้ดังนี้

ความยาวของเมล็ด หมายถึง ระยะทางจากปลายสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด

ความกว้างของเมล็ด หมายถึง ระยะทางส่วนที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ถึงเปลือกนอก

ความหนาของเมล็ด หมายถึง ระยะทางที่มากที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวสาร ข้าวกล้องและข้าวเปลือก รูปร่างของเมล็ดข้าวสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ เรียว, ปานกลางและป้อม (ตารางที่ 1) ซึ่งผลที่ได้จะบอกถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของการขัดสีข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสารแต่ละชนิด

ตารางที่ 2.1 รูปร่างของเมล็ดข้าว

รูปร่าง	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร
เรียว	3.4 หรือ >	3.1 หรือ >	3.0 หรือ >
ปานกลาง	2.3 – 3.3	2.1 – 3.0	2.0 – 2.9
ป้อม	2.2 หรือ <	2.0 หรือ <	1.9 หรือ <

ที่มา: พลกฤษณ์. (2547)

มีเกณฑ์ของขนาดและรูปร่างเมล็ดข้าวกล้องของ USDA (1982) ดังนี้
 ตารางที่ 2.2 ขนาดและรูปร่างเมล็ดข้าวกล้อง

ขนาดเมล็ด	ความยาว (มิลลิเมตร)
ยาวมาก	มากกว่า 7.50
ยาว	7.60 – 7.50
ค่อนข้างยาว	6.61 – 7.059
ปานกลาง	6.101 – 6.609
ค่อนข้างสั้น	5.51 – 6.10
สั้น	น้อยกว่า 5.5

ที่มา: กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2547)

2.1.2.1.4 ลักษณะท้องไข่ หมายถึง จุดขาวขุ่นคล้ายชอล์กที่เกิดขึ้นในเนื้อของเมล็ดเป็นลักษณะที่เกิดจากการจับตัวอย่างหลวมๆของเม็ดสตาร์ช (starch granule) กับเม็ดโปรตีน (protein body) ในเนื้อเมล็ด ลักษณะนี้ควบคุมโดยพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ลักษณะท้องไข่เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพและราคาข้าว ข้าวที่เป็นท้องไข่มาก เมื่อนำไปสีจะมีข้าวหักมาก และไม่ใช่วางเกรดสูง เช่น ข้าว 100% หรือข้าว 5% ได้ เพราะข้าวเกรดสูงจะมีท้องไข่ได้ไม่เกิน 0.5%

2.1.2.1.5 ความใสของเมล็ดหรือความขุ่นของเมล็ด หมายถึง ลักษณะความทึบแสง (opaque) หรือความใส (translucence) ของเนื้อเมล็ด ซึ่งจะสังเกตความแตกต่างได้ในข้าวเจ้าส่วนในเมล็ดข้าวเหนียวจะมีลักษณะขุ่นอย่างเดียวนั้น ปัจจุบันยังไม่พบสาเหตุของความใสหรือความขุ่นในเนื้อเมล็ดข้าวเจ้า แต่คาดว่าอาจจะเนื่องจากทั้งพันธุ์ข้าวและพื้นที่ปลูก เพราะพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีเมล็ดใส แต่ที่ปลูกในแถบภาคกลางบางแห่งข้าวสารจะค่อนข้างขุ่น เป็นต้น

2.1.2.1.6 ความขาวของข้าวสาร ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่น ระดับการสี (degree of milling) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดเกรดข้าว อายุการเก็บข้าว โดยข้าวที่เก็บไว้นานๆจะมีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวสารที่มีโปรตีนสูงจะมีสีคล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ

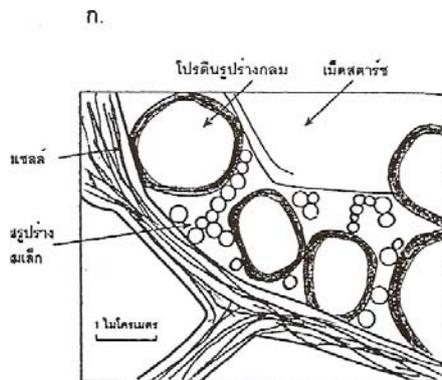
2.1.2.1.7 คุณภาพของการสี ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเมล็ดข้าวเปลือก โดยสิ่งที่ได้จากการสีข้าวคือ แกลบประมาณ 20- 24% รำ 8-10% และข้าวสาร 68-70% ของข้าวเปลือกข้าวสารที่ได้ทั้งหมดจากการขัดขาวจะนำไปคัดแยกเป็นขำเต็มเมล็ดต้นข้าว และข้าวหัก ซึ่งจะได้แต่ละส่วนมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ คุณภาพของข้าวเปลือกก่อนสี ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการสีได้แก่

2.1.3 คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี

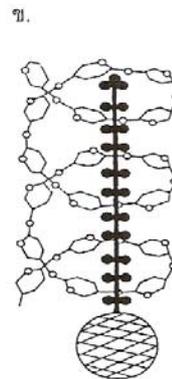
องค์ประกอบทางเคมีเมล็ดข้าวที่สำคัญของเมล็ดข้าวคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและน้ำ หรือความชื้น ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าวทั้งในลักษณะข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวสาร คาร์โบไฮเดรตซึ่งมีสตาARCHเป็นหลัก และสตาARCHประกอบด้วยเอมิโลส และเอมิโลเพกทินในสัดส่วนต่างๆขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวทำให้ข้าวมีลักษณะในการหุงต้มและคุณภาพในการกินต่างกันไปตลอดจนมีผลต่อคุณค่าทางอาหาร เนื่องจากเป็นแหล่งสะสมพลังงาน สำหรับโปรตีนในข้าวยังนับว่าเป็นแหล่งอาหาร โปรตีนหลัก ซึ่งจะช่วยในการเจริญเติบโต สำหรับผู้บริโภคในประเทศบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ส่วนไขมันในข้าว จะอยู่เป็นกลุ่มไขมันที่มีรูปร่าง (lipid bodies) หรือหยดกลม (spherosomes) โดยจะอยู่ร่วมกับเม็ดสตาARCHและโปรตีน ในชั้นแอลลิวโรนและกัพพะ จะมีผลในการเสื่อมเสียขณะเก็บรักษาเมล็ดรวมทั้งเมล็ดที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ และน้ำ หรือความชื้น มีผลต่อคุณภาพข้าวในด้านการเก็บรักษา เป็นต้น (อรอนงค์, 2547)

2.1.3.1 โปรตีนในข้าวมีประมาณ 7-9% โปรตีนหลักในเมล็ดข้าวคือ กลูเทลิน ซึ่งมีอยู่ 80% มากกว่าซีลูโลสอื่นๆ แต่มีโพรลามีนต่ำ คือประมาณ 5% และมีไลซีน 3.5-4% โดยมีรายงานที่เกี่ยวข้องกับโปรตีนในเรื่องคุณภาพข้าวสุกน้อย แต่มีรายงานอธิบายผลของโปรตีนที่อยู่ส่วนนอกของเมล็ดว่าอาจมีส่วนทำให้ระยะเวลาในการหุงต้มเมล็ดข้าวสุกนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปในเมล็ด ทำให้ข้าวที่มีโปรตีนสูงเมล็ดจะแกร่งจึงต้องขัดสีในระดับต่ำทำให้ข้าวสุกเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำ (งามชื่น, 2539)

2.1.3.2 ไขมันในข้าวมีประมาณ 3% คล้ายคลึงธัญชาติอื่น และมีอยู่ในส่วนด้านนอกของเมล็ดมากกว่าในใจกลางเมล็ด ดังนั้นการขัดสีข้าวให้ขาว ทำให้ข้าวสารเข้ามีไขมันอยู่เพียง 0.3-0.5% ซึ่งเป็นไขมันที่เกาะเกี่ยว (bound lipids) กับสารอื่นอยู่ประมาณ 0.3-0.4% ส่วนในข้าวเหนียวมีไขมันที่เกาะเกี่ยวน้อยกว่า 0.03% โดยไขมันมีความสัมพันธ์กับเม็ดสตาARCH 3 ลักษณะ คือ ไขมันอยู่ติดกันกับโปรตีน ซึ่งอยู่ที่ผิวของของเม็ดสตาARCHภายนอก (ภาพที่ 1 ก) หรืออาจอยู่ร่วมกับโครงสร้างของเอมิโลเพกทินสายนอก เช่น สาย A หรือ B₁ ส่วนผิวของเม็ดสตาARCH ลักษณะที่สองไขมันอยู่ภายในเม็ดสตาARCHโดยเกาะเกี่ยวกับสตาARCH (ภาพที่ 1 ข) และลักษณะที่สามอยู่ภายในเม็ดสตาARCH แต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาARCH



Source: Henry and Kettlewell (1996)



Source: Modified from Carlson et al. (1979)

ภาพที่ 2.1 ก. จำลองภาพโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช, โปรตีนและไขมัน ในชั้นสับแอลิวโรนของ
เมล็ดข้าวผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน

ข. โมเลกุลของไขมันเกาะเกี่ยวกับโมเลกุลของสตาร์ช ภายในเม็ดสตาร์ช

ที่มา : อรอนงค์. (2547)

2.1.3.3 ความชื้นในเมล็ดข้าวมีผลต่อการที่ข้าวหุงขึ้นหม้อ และความร่วนของข้าว ข้าวที่มีความชื้นต่ำ เช่น ข้าวเก่าจะหุงขึ้นหม้อและมีความร่วนมากกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง หรือข้าวใหม่ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเก็บข้าวไว้อย่างน้อย 3-4 เดือนก่อนนำออกขาย นอกจากนี้ความชื้นในข้าวยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาข้าว ถ้าเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงทำให้ราและจุลินทรีย์ต่างๆเจริญเติบโต ทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพในระยะเวลาอันสั้น (พลกฤษณ์, 2547)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบทางเคมี	ข้าวขาว
ความชื้น	12.00
โปรตีน	6.20
ไขมัน	1.10
คาร์โบไฮเดรต	79.80
เถ้า	0.30
เยื่อใย	0.60

ที่มา : กองโภชนาการ. (2535)

2.1.4 ข้าวพันธุ์ C85

บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) (CP Fresh Mart) ได้คัดเลือกพันธุ์ข้าวมาจากข้าวพันธุ์ นางมด เอส-4 (Nahng Mon S-4) ซึ่งได้มาจากการรวบรวมพันธุ์ข้าวพื้นเมือง จากตำบลรังสิต อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี เมื่อ พ.ศ. 2493 นำมาปลูกคัดเลือกแบบคัดพันธุ์บริสุทธิ์ในสถานีทดลองข้าวต่างๆ จนได้สายพันธุ์ที่ดีที่สุด

การรับรองพันธุ์ คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ให้ใช้ขยายพันธุ์เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อ พ.ศ. 2499, 2504, 2508 ลักษณะเด่นของพันธุ์นี้ ทนแล้งได้ดี ปลูกเป็นข้าวไร่ได้ ทนน้ำลึกได้ดี แต่ไม่เกิน 1 เมตร คุณภาพการสีดี ได้เมล็ดข้าวสารสวย สีแสด อายุค่อนข้างเบา เก็บเกี่ยวได้เร็ว ลักษณะประจำพันธุ์ ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 5 สัปดาห์ เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนาเท่ากับ 2.4 x 7.7 x 1.8 มิลลิเมตร ปริมาณอมิโลส 19 % คุณภาพข้าวสุก นุ่ม มีกลิ่นหอม พื้นที่นิยมปลูก ภาคกลาง



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของเมล็ดข้าวพันธุ์ C85

ที่มา : กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

2.1.5 ลักษณะของข้าวกิ่งสำเร็จรูป (งามชื่น, 2550)

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ข้าวกิ่งสำเร็จรูปควรมีลักษณะดังนี้

- ผลิตภัณฑ์เมื่อคั้นรูปมีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงข้าวที่ต้มจากข้าวขาว
- ผลิตภัณฑ์ควรแห้ง แยกตัวจากกันไม่เกาะเป็นก้อน
- มีระยะเวลาในการคั้นรูปสั้น และมีอายุการเก็บรักษานาน
- มีลักษณะปรากฏใกล้เคียงกับข้าวขาวที่ขายทั่วไปขนาดของเมล็ดไม่แตกต่างจาก

ข้าวขาว รูปร่างเมล็ดสมบูรณ์ไม่แตกหักจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

- มีสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและรสชาติของผลิตภัณฑ์หลังการคั้นรูปใกล้เคียงกับข้าวสุก

ที่หุงด้วยวิธีธรรมดา

2.1.6 ผลิตภัณฑ์ภายหลังการคืนรูป (สันติ, 2535)

ผลิตภัณฑ์ภายหลังการคืนรูป ควรมีลักษณะดังนี้

- มีรสชาติ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏใกล้เคียงกับข้าวสุกที่หุงด้วยวิธีธรรมดา ไม่มีแป้งดิบหรือจุดแข็งภายในเมล็ด
- มีคุณค่าทางอาหารเหมาะสม ดังนั้นต้องหลีกเลี่ยงการฉีกขาดของเมล็ดข้าว ทำให้สูญเสียแป้งและสารอาหาร

2.1.7 กระบวนการผลิตข้าวถึงสำเร็จรูป (ภัทรชนก, 2541)

ขั้นตอนพื้นฐานในการในการผลิตข้าวถึงสำเร็จรูปประกอบด้วย การเตรียมเมล็ดข้าวก่อนต้ม ได้แก่การแช่และการให้ความร้อนขั้นต้น การทำให้ข้าวสุก และการทำแห้ง

2.1.7.1 การเตรียมเมล็ดข้าวก่อนต้ม มีจุดประสงค์เพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวเล็กๆที่เรียกว่า Fissure จากผิวเข้าไปในเมล็ดจนทั่วทั้งเมล็ด ซึ่งช่วยให้น้ำหรือไอน้ำซึมผ่านเข้าสู่เมล็ดได้ง่ายขึ้น และช่วยลดการแตกหัก หรือการฉีกขาดที่เกิดจากแรงดันออสโมซิส (Osmosis) ทั้งยังช่วยลดระยะเวลาการหุงต้มลงด้วย การเตรียมเมล็ดข้าวก่อนต้มทำได้ดังนี้คือ

2.1.7.1.1 การแช่ข้าว (Soaking) โดยทั่วไปการแช่จะทำให้เมล็ดข้าวดูดน้ำจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 28 การที่ข้าวดูดน้ำได้มากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิของน้ำในการแช่ ทั้งนี้การแช่ข้าวอาจแบ่งเป็น 2 วิธีได้แก่

- การแช่ข้าวโดยไม่ใช้ความร้อน เช่น การแช่ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง
- การแช่ข้าวโดยใช้ความร้อน เช่น การแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 15-20 นาที

ในระหว่างการแช่อาจมีการเติมสารเคมีโดยมีจุดประสงค์ดังนี้คือ

- เพื่อปรับโครงสร้างของโปรตีนโดยการลดหรือ ทำลายโครงสร้างโปรตีนเพื่อให้ข้าวดูดน้ำได้มากขึ้น สารเคมีที่ใช้ได้แก่ ไดโซเดียมฟอสเฟต (Disodium Phosphate), โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride), แคลเซียมซิเตรท (Calcium Citrate)

2.1.7.2 การทำให้ข้าวสุก (cooking) เป็นการให้ความร้อนในระดับที่เท่ากับหรือสูงกว่าอุณหภูมิแป้งสุก ซึ่งเป็นผลจากการเจลาติไนส์แป้งและการดูดซึมน้ำของเมล็ดแป้งในเอนโดสเปิร์มของข้าว กล่าวคือเมล็ดแป้งที่ดูดน้ำไว้จะเกิดการพองตัวและสุก โดยทั่วไปข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนในขั้นนี้ตามระยะเวลาการหุงต้มที่เหมาะสมจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 65-75 และมีอัตราการขยายตัวประมาณ 2.5 เท่า การทำให้ข้าวสุกอาจแบ่งเป็น 2 วิธีได้แก่

2.1.7.2.1 การทำให้ข้าวสุกในขั้นตอนเดียว เป็นการให้ความร้อนแก่ข้าวที่ผ่านการแช่มาก่อน จนกระทั่งข้าวมีความชื้นอย่างน้อยร้อยละ 65-75 และมีการเจลาติไนส์อย่างสมบูรณ์ ขั้นตอนนี้อาจใช้การต้มข้าวในน้ำเดือดที่มีความดันบรรยากาศ หรือการทำให้สุกในหม้อนึ่งความดัน (Autoclave) ซึ่งวิธีหลังนี้จะทำให้อัตราการเจลาติไนส์สูงขึ้นและสามารถลดระยะเวลาการหุงต้ม การทำให้ข้าวสุกขั้นตอนเดียวอาจใช้อุณหภูมิ 85-137 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 2-70 นาที แต่วิธีนี้อาจมีผลให้เมล็ดแตกบาน และเหนียวติดกัน เนื่องจากไม่สามารถควบคุมระดับความสุกได้

2.1.7.2.2 การทำให้ข้าวสุกตามลำดับ (stepwisely gelatinized) แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่

- การทำให้สุกบางส่วน (Partially gelatinized) เป็นการเพิ่มความชื้นให้เมล็ดข้าวให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม คือประมาณร้อยละ 35-40 และมีการเจลาติไนส์ประมาณร้อยละ 80 อาจใช้การต้มหรือใช้หม้อนึ่งความดัน

- การทำให้สุกโดยสมบูรณ์ (Completely gelatinized) อาจทำได้โดยการต้มหรือทำให้สุกในหม้อนึ่งความดัน ขั้นตอนนี้เมล็ดข้าวจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 67-75 และมีการเจลาติไนส์อย่างสมบูรณ์

2.1.7.3 วิธีการทำแห้งข้าวถึงสำเร็จรูป การทำแห้งข้าวถึงสำเร็จรูปอาจทำได้ 2 วิธีได้แก่

2.1.7.3.1 การทำแห้งในขั้นตอนเดียว เป็นการทำแห้งที่ใช้ความร้อนไม่สูงมากคือประมาณ 70 องศาเซลเซียส แต่ใช้เวลานานประมาณ 2-3 ชั่วโมง อาจใช้การทำแห้งในตู้อบลมร้อน

2.1.7.3.2 การทำแห้งแบบหลายขั้นตอน ขั้นแรกเป็นการใช้ความร้อนสูง ภายในระยะเวลาสั้น เพื่อให้โครงสร้างอยู่ตัว เกิดขอบแข็งเรียกว่า case hardening ภายในเมล็ดจะเกิดรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้างอยู่ตัวโดยที่ข้าวไม่ไหม้ อุณหภูมิที่ใช้ออยู่ในช่วงสูง 200-500 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเพียง 1-5 นาที หลังจากนั้นใช้อุณหภูมิต่ำลง อุณหภูมิที่ใช้ออยู่ในช่วง 30-150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเพียง 2-4 ชั่วโมง

2.2 ใบเตย

ชื่อไทย ใบเตย ชื่อสามัญ Pandanus ชื่อวิทยาศาสตร์ Pandanus odoratus Ridi. ชื่อวงศ์ PANDANACEAE ใบเตยมี 2 ชนิดคือ เตยหนามกับเตยหอม เตยมีหนามนิยมนำมาทำเครื่องจักรสาน สิ่งทอนำมาประกอบอาหารไม่ได้ ที่ใช้ประกอบอาหารทั่วไปคือ เตยหอม เตยหอมจัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ขึ้นเป็นกอ ลำต้นสูงประมาณ 2-3 เมตร ชอบขึ้นในที่ชื้นแฉะและใกล้น้ำ ลำต้นกลมต่อ



ใบเตยหนาม



ใบเตยหอม

ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะใบเตย

ที่มา : www.chemtrack.org (2551)

ใบเตยประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยและมีสีเขียวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งในน้ำมันหอมระเหยประกอบไปด้วยสารหลายชนิด เช่น ไลนาลิลอะซิเตท (Linalyl acetate) เบนซิลอะซิเตท (Benzyl acetate) ไลนาโลอล (Linalool) และเจอร์รานีโอล (geraniol) และสารที่ทำให้มีกลิ่นหอมคือ คูมาริน (Coumarin) และเอทิลวานิลลิน (Ethyl vanillin) สรรพคุณของใบเตยคือ ดับร้อน รักษาโรคหัด เลือดออกตามไรฟัน บำรุงหัวใจให้ชุ่มชื้น

คุณค่าทางโภชนาการ ต่อ 100 กรัม

Energy	35	Kcal	Calcium	124	mg
Water	85.3	g	Phosphorus	27	mg
Protein	1.9	g	Iron	0.1	mg
Fat	0.8	g	Beta-carotene	2987	mcg
Carbohydrate	4.9	g	Total vitamain A	498	RE
Dietary fibre	5.2	g	Thiamin	0.20	mg
Ash	1.9	g	Riboflavin	1.2	mg
			วิตามินซี	8	mg

ที่มา: ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง, (2547)

2.3 ปฏิกิริยาทางกายภาพที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งของอาหาร (งามชื่น, 2550)

เป็นที่ทราบกันดีว่า ถ้าการควบคุมกระบวนการอบแห้งไม่ถูกต้องแล้วจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างรุนแรง โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงต้องการกับรูปร่างหรือโครงสร้าง เช่น เกิดรอยแตกผิวหน้าแข็ง การเสียโครงสร้างของโปรตีน เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เกิดการออกซิเดชันของส่วนประกอบที่ไม่คงตัว หรือการเน่าเสียจากจุลินทรีย์อันเนื่องมาจากกระบวนการทางกายภาพทางเคมี หรือทางชีวภาพ เมื่อนำอาหารเข้าอบแห้งจะมีกระบวนการพื้นฐานเกิดขึ้นพร้อมกัน 2 กระบวนการ ได้แก่

2.3.1 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นที่จุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ นั่นคือการอบแห้งกับตัวนำความร้อน การดำเนินการอบแห้งทางการค้าอาจใช้การถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน หรือใช้วิธีร่วมกันจากวิธีดังกล่าว

2.3.1.1 การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแลกเปลี่ยน ความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งกับโมเลกุลข้างเคียง สภาพนำความร้อน (thermal conductivity) เป็นคุณสมบัติของสารที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัตถุซึ่งจะมีค่าแตกต่างกัน สภาพนำความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความร้อน ค่าสภาพนำความร้อนของน้ำจะมีค่ามากกว่าค่าของวัตถุแห้งที่เป็นอาหารอย่างไรก็ตามขณะที่การอบแห้งเกิดขึ้นกับวัตถุ ค่าสภาพนำความร้อนจะลดลง

2.3.1.2 การพาความร้อน การถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุที่หีบจะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเกิดขึ้นน้อยมาก ในทางปฏิบัติการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเกิดขึ้นน้อยมาก ในทางปฏิบัติการถ่ายเทความร้อนทั้งสามวิธีจะเกิดขึ้นพร้อมๆกัน ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามีลักษณะอย่างไร เช่น วัตถุที่มีรูพรุนขนาดเล็กๆ ซึ่งภายในช่องว่างเต็มไปด้วยของเหลวหรือไอ การถ่ายเทความร้อนภายในที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบการนำความร้อน แต่ถ้าช่องว่างภายในมีขนาดใหญ่ และมีของเหลวอยู่ด้วย การถ่ายเทความร้อนภายในของเหลวจะเป็นแบบการพาความร้อน ซึ่งจะทำได้ อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ถ้าความดันอากาศรอบๆวัตถุนั้นลดลง ซึ่งเกิดขึ้นกับการอบแห้งแบบสุญญากาศ การถ่ายเทความร้อนจะพบว่าเป็นแบบการแผ่รังสี

2.3.1.3 การแผ่รังสี การถ่ายเทพลังงาน โดยการแผ่รังสีนั้นเกิดเพียงส่วนน้อยในกระบวนการอบแห้งอาหาร แต่ในกรณีของการอบแห้งอาหารแบบสุญญากาศ และการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีเป็นหลัก นอกจากนี้การถ่ายเทความร้อนแบบแผ่

2.3.2 การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหาร

เมื่ออาหารได้รับความร้อนระหว่างการอบแห้ง ในขณะที่เดียวกับน้ำที่อยู่ในอาหารก็จะเคลื่อนตัวออกจากอาหาร ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารอาจเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ของของเหลวหรือของไอ กล่าวคือ น้ำหรือไอกภายในอาหารจะเคลื่อนที่ไปที่ผิวหน้าของวัตถุ จากนั้นที่ผิวหน้าจะกลายเป็นไอระเหยอออกไปสู่รอบบรรยากาศของตู้อบ จากการศึกษพบว่ากลไกภายในของการไหลของของเหลวและผลของสภาพภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของน้ำในระหว่างการอบแห้ง กลไกภายในของการไหลของของเหลวนั้นพบว่ามียุหลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นกับโครงสร้างของอาหาร ชนิดของการเคลื่อนที่ของน้ำอาจเกิดขึ้นจาก

2.3.2.1 เกิดจากแรงคะปิลลารี (Capillary force) การเคลื่อนตัวแบบนี้พบว่ามียุหลายลักษณะที่ซับซ้อนมาก ซึ่งยากต่อการคำนวณและยากต่อการแยกแยะว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบที่เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้น หรือจากแรงคะปิลลารี ฉะนั้นเพื่อให้เกิดความสะดวกและง่ายจึงใช้ค่าสภาพนำของของเหลว (liquid conductivity) มาใช้อธิบาย ซึ่งค่านี้แตกต่างกันตามปริมาณน้ำ

เมื่อปริมาณน้ำในอาหารลดลง การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านคะปิลลารีและรูเปิดเล็กๆเกิดขึ้นจากไอเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบนี้ยังขึ้นกับความดันย่อยของน้ำในอาหารและค่าการยอมให้ผ่านของอาหารอีกด้วย

2.3.2.2 การแพร่ของของเหลว (Liquid diffusion) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารอาจเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของของเหลว หรือของไอ ถ้าเป็นสภาวะของของเหลว การเคลื่อนที่ของน้ำจะเกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นที่ต่างกันที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำได้ระเหยไปจากผิวหน้านั้น คือความเข้มข้นของของแข็งเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณน้ำลดลง

2.3.2.3 การแพร่ของไอน้ำ (Water vapour diffusion) เกิดจากความแตกต่างของความดันไอย่อยที่อยู่ในรูเปิดเล็กๆมีลักษณะคงที่ แต่พอไอน้ำที่เกิดจากการระเหยของน้ำในระหว่างการอบแห้งแพร่ซึมผ่านเข้าไปยังรูเปิดเล็กๆนี้จะไปไล่อากาศจากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปสู่ความดันไอน้ำต่ำ อัตราการเคลื่อนที่นี้ขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์การต้านทานต่อการแพร่ซึ่งมีลักษณะคล้ายค่าสภาพนำวัตถุ จากการศึกษากอง Gorling (1958) ได้แสดงให้เห็นว่าความต้านทานต่อการแพร่เพิ่มขึ้นอย่างสูงชัน เมื่อปริมาณความชื้นลดลงต่ำกว่า 0.2 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ค่านี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2.3.2.4 การแพร่ของไอน้ำ เกิดจากความแตกต่างของความดันไอ ความชื้นอาจจะเคลื่อนที่โดยการแพร่ผ่านอาหารที่เป็นของแข็งได้ตรงเท่าที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ การระเหยและการแพร่ของไอน้ำอาจเกิดขึ้นในอาหารที่เป็นของแข็งโดยอาหารนั้นได้รับความร้อนข้างหนึ่งและระเหยอีกข้างหนึ่ง หรือการอบแห้งแบบสูญญากาศ

2.3.2.5 การแพร่ของของเหลวที่ดูดซับอยู่ที่ผิวของอาหาร นอกจากนี้การแพร่ของน้ำที่ดูดซับไว้ที่ผิวหน้าในอาหารที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ (10-15%) การแพร่แบบนี้เรียกว่าการแพร่โดยการกระตุ้น

2.4 คาบของการทำแห้ง (ขวัญใจ, 2543)

กรรมวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะคงที่นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 คาบ คือ คาบอัตราคงที่ (Constant rate period) และคาบอัตราแห้งลดลง (falling rate period) ด้วยเหตุนี้จึงแบ่งอาหารที่จะทำแห้งออกเป็น 2 พวก คือ พวกที่ไม่ไวต่อความชื้น (non-hygroscopic) ซึ่งหมายถึง อาหารที่มีความดันย่อยของน้ำในอาหารมีเท่ากับความดันของไอน้ำ และอาหารอีกพวกหนึ่งคือ พวกที่ไวต่อความชื้น (hygroscopic) ซึ่งจะมีค่าความดันย่อยน้อยกว่าความดันไอของน้ำที่มีความชื้นวิกฤตบางระดับ

2.4.1 คาบอัตราคงที่

คาบอัตราคงที่ สามารถอธิบายได้ว่า เป็นระยะที่ผิวหน้าของอาหารสามารถรักษาระดับความชื้นของอาหารพอที่จะทำให้ค่าความดันย่อยมีค่าเท่ากับความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิระเหยเยือกซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นจริงก็ต่อเมื่อปริมาณความชื้นที่ผิวหน้ามีค่ามากกว่าศูนย์ในอาหารประเภทที่ไม่ไวต่อความชื้น หรือมีค่าความชื้นวิกฤตในอาหารประเภทที่ไม่ไวต่อความชื้น

ภายใต้สภาวะเช่นนี้ความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของความชื้นและของมวลจะขึ้นอยู่กับกระแสลมเท่านั้น แต่เนื่องจากได้กำหนดระบบการอบแห้งนี้เป็นระบบที่มีคุณสมบัติของลมมีค่าคงที่ ค่าความต้านทานก็จะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นแรงที่ทำให้การเคลื่อนที่ของมวลและของความร้อนก็สามารถรักษาให้คงที่นั่นคือ อัตราการเคลื่อนที่ของมวลจะสมดุลกับอัตราการส่งผ่านความร้อน และอุณหภูมิผิวหน้าอิมตัวจะยังคงมีค่าคงที่ คาบอัตราคงที่จะยังคงเกิดขึ้นต่อไป ตราบเท่าที่น้ำสามารถเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า และมีค่ามากพอที่จะรักษาไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และระดับความดันของน้ำมีค่าเท่ากับความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิระเหยเยือก ฉะนั้นคาบอัตราคงที่จะสิ้นสุดลงทันทีเมื่อผิวหน้ามีลักษณะแห้ง

ในระบบที่กล่าวถึงสามารถแบ่งการอบแห้งของอาหารที่ไวต่อความชื้นออกเป็น 3 ระยะ และอาหารที่ไม่ไวต่อความชื้นออกเป็น 3 ระยะ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงระยะแรกน้ำจะเคลื่อนที่จาก ผิวหน้าออกไป ในขณะที่เดียวกันก็มีน้ำเคลื่อนที่แบบคาปิลลารีมาทดแทนที่ผิวหน้าการสิ้นสุดของ คาบอัตร่าแห้งคงที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำภายในไม่สามารถมาทดแทนเพื่อให้ผิวหน้าอาหารมีลักษณะอึดตัว ได้ ซึ่งจุดนี้แสดงในเส้นกราฟเป็นจุดหัก

ขนาดของคาบอัตร่าแห้งคงที่ขึ้นกับปัจจัยสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านมวลหรือการส่งผ่าน ความร้อน

2.4.2 คาบอัตร่าแห้งลดลง

เมื่อคาบอัตร่าแห้งคงที่สิ้นสุดลงจะตามด้วยคาบอัตร่าแห้งลดลงในคาบนี้ได้สันนิษฐานว่าการ เคลื่อนที่ของมวลในชิ้นอาหารที่ระยะต่างๆกันไปยังผิวหน้าของอาหารเกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของ ก๊าซและการเคลื่อนที่ผิวหน้าไปยังกระแสลมเกิดขึ้น โดยผ่านชั้นบางๆของก๊าซในอากาศ สาเหตุที่ คาบอัตร่าแห้งลดลงในช่วงนี้ เพราะว่าความต้านทานภายในเพิ่มขึ้นและระยะทางของการเคลื่อนที่ เพิ่มขึ้นด้วย

การสิ้นสุดของคาบนี้เกิดขึ้นเมื่อกึ่งกลางของชิ้นอาหารไม่มีน้ำพอที่จะรักษาความดันให้ เท่ากับความดันของน้ำได้ นั่นคือ ถ้าเป็นอาหารชนิดไม่ไวต่อความชื้น จุดนี้จะเป็นจุดที่แสดงว่าจุด กึ่งกลางของชิ้นอาหารมีความชื้นถึงจุดที่กำหนดหรือความชื้นวิกฤต ฉะนั้นในอาหารที่ไวต่อ ความชื้นจึงเกิดช่วงที่ 3 ขึ้น เมื่อความดันย่อยของน้ำทั่วชิ้นอาหารมีค่าต่ำกว่าความดันไอน้ำ

2.5 การเปลี่ยนแปลงในเนื้อเยื่อระหว่างการอบแห้ง (ขวัญใจ, 2543)

2.5.1 การเหี่ยวยุบ

เซลล์เนื้อเยื่อสัตว์และพืชของสิ่งมีชีวิตมีคุณสมบัติความเต่งตึง ซึ่งหมายความว่าของเหลวที่ อยู่ภายในแต่ละเซลล์จะทำให้เซลล์พองออกจนมีโครงสร้างเหนียวแน่นคล้ายลูกบอลจนผนังเซลล์ จะมีลักษณะอยู่ภายใต้แรงตึงผิว ในขณะที่ของภายในเซลล์จะถูกแรงอัด โครงสร้างของผนังเซลล์มี ลักษณะแข็งแรงและยืดหยุ่น แต่เมื่อเนื้อเยื่อเซลล์ได้ผ่านกระบวนการบางประการ เช่น การลวก พบว่าผนังเซลล์จะมีลักษณะการยอมให้ซึมผ่านได้ง่ายขึ้น ความเต่งตึงของเซลล์จะหายไป

โครงสร้างอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีเมื่อผ่านการอบแห้ง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของ ของเหลว การกระจายตัวใหม่ของตัวถูกละลายและการเหี่ยวยุบ เมื่อเป็นเช่นนี้จะทำให้ลักษณะการ เคลื่อนที่หรือการขนผ่านมวลเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างกระบวนการอบแห้ง

2.5.2 ความหนาแน่น

ถ้าอาหารถูกอบแห้งเร็วจนเกินไปจะทำให้อัตราอาหารมีค่าความหนาแน่นรวม น้อยกว่าพวกอาหารที่ถูกอบแห้งด้วยอัตราช้า

2.5.3 ความสามารถในการคืนตัว

ปัจจัยคุณภาพของอาหารแห้งที่สำคัญได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการคืนตัว ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียว ลักษณะเป็นเส้นใย การคืนตัวอย่างช้าๆ หรือไม่สมบูรณ์ เหล่านี้ถือเป็นคำนิยามทางคุณภาพอาหารแห้ง เช่น กรณีการสูญเสียความนุ่มของเนื้ออบแห้ง อาจเนื่องมาจากการจับตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อ

ได้มีการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ถ้าเก็บเนื้อเยื่อพืชหรือสัตว์ไว้ที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาหนึ่งการเปลี่ยนแปลงแบบไม่คืนตัวจะเกิดขึ้นสม่ำเสมอ แม้ว่าอุณหภูมินั้นจะไม่สูงพอที่จะทำให้อาหารเกิดสีน้ำตาลหรือไหม้ก็ตาม ความยืดหยุ่นของผนังเซลล์และความสามารถในการพองตัวของแป้งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการคืนตัว แต่ปัจจัยทั้งสองลดลงเมื่อถูกความร้อน เช่น เนื้ออบแห้ง สามารถดูดซับน้ำได้เพียงส่วนหนึ่งของน้ำเริ่มต้นเท่านั้น และถึงแม้ว่าจะสามารถดูดซับน้ำได้จนมีน้ำหนักเท่าเดิม ก็ไม่ได้หมายความว่าเนื้อนั้นจะมีโครงสร้างเท่าเดิม ผลึกน้ำตาลหลังคืนตัวจะไม่มีลักษณะหยาบและมีลักษณะเนื้อร่วนกว่าเนื้อสด

2.5.4 การสูญเสียสารระเหย

เมื่อน้ำกลายเป็นไอระเหยไปจากอาหารจะพาสารที่ระเหยได้ไปด้วยในปริมาณที่ต่างกัน โดยทั่วไปปรากฏการณ์นี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ จึงได้มีการใช้สารบางชนิด เช่น ผงถ่านหรือตัวดูดกลิ่นอื่นๆ ที่สามารถจับสารระเหยนี้ไว้ด้วยจุดประสงค์นี้ก็จะเพื่อนำกลับมายังอาหารอีก

องค์ประกอบของน้ำขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารและความดันไอของสารระเหย แต่อองค์ประกอบของไอดังกล่าวจะถูกกระทบกระเทือนจากความสามารถละลายในน้ำและในของเหลวอื่นๆ

2.5.5 การเกิดสีน้ำตาลหรือความเสียหายเนื่องจากความร้อน

ปัญหาสำคัญและเห็นได้ชัดที่เกิดในกระบวนการอบแห้ง คือ การเปลี่ยนแปลงสีซึ่งเรียกชื่อต่างๆ เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเกิดสีไหม้ หรือความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อน การเปลี่ยนแปลงนี้บางครั้งเป็นความต้องการ เช่น การเกิดสีน้ำตาลไหม้บนผิวหน้าของขนมปัง แต่ในแง่ของการอบแห้งถือว่าเป็นคำนิยามทางคุณภาพ ถ้าการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้นมากจะทำให้ กลิ่น รส ความสามารถในการคืนตัว และปริมาณกรดแอสคอร์บิกถูกกระทบกระเทือนไปด้วย

อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นความเสียหายในลักษณะนี้มักจะเป็นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา เช่น อาหารที่มีความไวต่ออุณหภูมิอาจจะ

อัตราการเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของอาหาร ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในระบบที่ซับซ้อนมีสารละลายอย่างเจือจาง แต่ถ้าสารละลายนี้เข้มข้นขึ้นเนื่องจากการอบแห้ง ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในกระบวนการอบแห้งอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงสุดที่ความชื้นอยู่ระดับปานกลาง คือ ในช่วง 15-20% เมื่ออาหารมีลักษณะแห้งอย่างสมบูรณ์ การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ อาหารอบแห้งที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 1-2 จะสามารถเก็บได้เป็นเวลานาน แม้ว่าจะเก็บที่อุณหภูมิสูง แต่ว่าปฏิกริยาการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่น การเกิดกลิ่นหืน จะกลายเป็นปัจจัยจำกัดของการเก็บอาหารนี้

2.6 กระบวนการอบแห้ง (งามชื่น, 2550)

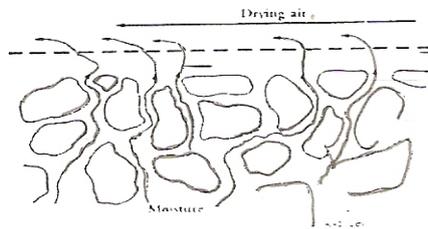
2.6.1 การอบแห้ง

การอบแห้ง เป็นการให้ความร้อนแก่อาหารในระดับหนึ่ง เพื่อไล่น้ำออกจากอาหารให้อยู่ปริมาณน้อยที่สุด การอบแห้งทำได้หลายวิธี เช่น การตากแดด (sun drying) การทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar drying) ตู้อบแห้งแบบใช้ลมร้อน (hot air drier) ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum shelf drier) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying หรือ sublimation) และการอบ (baking) เป็นต้น ซึ่งอาหารที่ได้จะมีปริมาณน้ำหรือความชื้นประมาณ 2-3% ทำให้ลดค่า a_w ในอาหารให้น้อยลง จึงทำให้ยืดยอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น เพราะเมื่ออาหารมีน้ำลดลงจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และ activity ของเอนไซม์ นอกจากนี้การอบแห้งยังช่วยลดน้ำหนักทำให้ลดค่าใช้จ่ายระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง อาหารอบแห้งบางชนิดยังสามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งวิธีการอบแห้งจึงเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา อย่างไรก็ตามการอบแห้งทำให้สูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

2.6.2 กลไกการอบแห้ง

เมื่ออากาศร้อนถูกเป่าลงบนชิ้นอาหารที่เปียกชื้น ความร้อนจะถ่ายเทไปที่ผิวนอกของอาหาร ความร้อนของการกลายเป็นไอ (latent heat of vaporization) จะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำและแพร่กระจายผ่าน boundary ของอากาศและพาไอน้ำระเหยออกไป โดยมีอากาศแห้งเข้ามาแทนที่ ดังภาพที่ 2.4 ทำให้บริเวณที่ผิวนอกของอาหารจะมีความดันไอของไอน้ำลดลงเกิดความ

1. เคลื่อนที่โดย capillary force
2. เคลื่อนที่โดยการแพร่กระจายของน้ำ เนื่องจากตัวถูกละลายมีความเข้มข้นแตกต่างกันที่บริเวณต่างๆกันในชิ้นอาหาร
3. น้ำจะถูกดูดซับด้วยชั้นของตัวถูกละลายออกมาอยู่ที่ผิวนอกของอาหาร
4. ไอน้ำที่ระเหยไปในอากาศจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอ

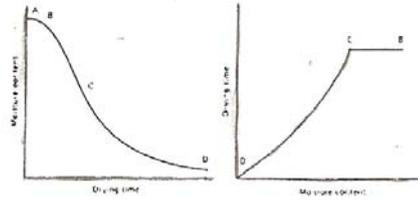


ภาพที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการอบแห้ง
ที่มา : วิไล. (2543)

อาหารมีคุณสมบัติเป็นทั้งสารที่ดูดความชื้น (hygroscopic) และมีสารที่ไม่ดูดความชื้น (non-hygroscopic) อาหารประเภทที่ดูดความชื้น คือ อาหารที่มีความดันย่อย (partial pressure) ของไอน้ำผันแปรไปตามความชื้น แต่อาหารประเภทที่ไม่ดูดความชื้นเป็นอาหารที่มีความดันไอน้ำคงที่ที่ความชื้นต่างๆกัน ซึ่งความแตกต่างนี้แสดงด้วย sorption isotherm ที่แตกต่างกัน

สมบัติของอากาศขณะที่มีอัตราการระเหยของน้ำคงที่ คือ

1. อุณหภูมิของกระเปาะแห้ง (dry-bulb temperature) คงข้างสูง
2. มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ
3. มีความเร็วลมสูง



ในตัวอย่างที่แสดงไว้ข้างต้น จะเห็นว่าเมื่อทำการอบแห้ง จะทำให้ปริมาณน้ำในตัวอย่างลดลง และทำให้ปริมาณของแข็งในตัวอย่างเพิ่มขึ้น ซึ่งสิ่งนี้เองที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารระหว่างการอบแห้ง

ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและความชื้นของอาหาร
ที่มา : วิไล. (2543)

2.6.3 ผลของการอบแห้งต่ออาหาร (งามชื่น, 2550)

2.6.3.1 ลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสภายหลังจากการอบแห้งจะมีผลต่อคุณภาพของผลไม้ ซึ่งสามารถปรับปรุงให้คุณภาพดีขึ้นได้ โดยการลวกและอาจเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไป ในน้ำที่ใช้ลวก การปกปิดเปลือกและหั่นขึ้นก่อนทำแห้งก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะเมื่อแช่น้ำให้คืนตัว การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส อาจเกิดขึ้นเมื่อสตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชันหรือเกิด crystallization ของเซลลูโลส การเคลื่อนย้ายของโมเลกุลน้ำในอาหารระหว่างการอบแห้งทำให้อาหารเหี่ยวและมีปริมาตรลดลง

2.6.3.2 กลิ่นและรสชาติ ระหว่างการอบแห้งความร้อนจะทำให้สารให้กลิ่นระเหยออกไปด้วย ดังนั้นการสูญเสียสารให้กลิ่นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้และความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดในอาหาร ความดันไอของสารที่ระเหยได้ ความสามารถในการระเหยน้ำ หากเป็นสารที่ระเหยได้ง่ายจะสูญเสียตั้งแต่เริ่มต้นอบ ส่วนหลังของการอบจะมีการสูญเสียเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการควบคุมสภาวะในการที่ใช้ในการอบแห้งจะช่วยลดการสูญเสียกลิ่นและรสชาติของอาหารได้

2.6.3.3 สี การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนสีผิวของอาหารและเปลี่ยนการสะท้อนแสงของสีมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนและการเกิดออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง ยิ่งการอบแห้งใช้เวลานานและอุณหภูมิสูงยิ่งเกิดได้ง่ายและอาจเกิด browning reaction ระหว่างการเก็บรักษาหากยังมี activity ของเอนไซม์เหลืออยู่สามารถป้องกันการทำงานของเอนไซม์ได้ โดยนำไปลวกและใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างทำให้เปลี่ยนสีและฟู้บริโภคบางคนเกิดอาการแพ้ได้ เช่น มีอาการหอบหืด

การเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับ a_w และอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการเก็บรักษา ยิ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูงยิ่งมีสีคล้ำ โดยเฉพาะเมื่ออาหารมีความชื้นมากกว่า 4-5 % เเปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียส

2.6.3.4 คุณค่าทางโภชนาการ การนำอาหารแห้งมาแช่น้ำให้คืนตัวไม่ใช่การทำให้อาหารแห้งกลับคืนได้เหมือนสภาพสด (reverse of drying) เพราะการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายและการสูญเสียสารให้กลิ่น (volatile loss) ระหว่างการอบแห้งไม่สามารถทำให้กลับคืนได้ ความร้อนยังลด degree of hydration ของสตาร์ชและความยืดหยุ่น (elasticity) ของผนังเซลล์ และโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติซึ่งจะลดความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนลงด้วย การทำอาหารให้แห้งในสภาวะที่เหมาะสมจะเกิดการเสียหายน้อยและเมื่อนำมาแช่น้ำจะคืนรูปได้เร็ว

การใช้ความร้อนระเหยน้ำออกจากอาหาร ทำให้อาหารมีน้ำลดลง หรือทำให้อาหารอยู่ในสภาพแห้ง เป็นวิธีการถนอมอาหารโดยการลด a_w ดังกล่าวมาแล้วแต่การใช้ความร้อนจะทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ดังนั้นวิธีการทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง หรือ lyophilisation จึงเป็นการทำแห้งหรือลด a_w โดยไม่ใช้ความร้อน อาหารอบแห้งที่ได้จะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและคงเหลือคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสไว้อย่างดี แต่วิธีนี้ต้องใช้เวลานาน เสียพลังงานมาก ค่าใช้จ่ายและการลงทุนก็สูงด้วย ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งที่ใช้วิธีนี้มีราคาสูง จึงนิยมใช้กับอาหารที่มีราคาสูง มีกลิ่นและลักษณะเนื้อเฉพาะ เช่น กาแฟ เห็ดหอม เครื่องเทศ สมุนไพร น้ำผลไม้และเนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการอบแห้งโดยวิธีนี้จะเก็บรักษาได้นานมาก

2.6.4 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารแห้ง

ลักษณะทางประสาทสัมผัส ประกอบด้วย ลักษณะเนื้อสัมผัส รส กลิ่น รสชาด รูปร่างและสี ซึ่งเป็นตัวกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด และมีอิทธิพลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โรงงานอุตสาหกรรมอาหารจะต้องปรับปรุงเทคโนโลยีของกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสคงเหลืออยู่มากที่สุด หรือทำให้เกิดขึ้นใหม่และสารอาหารถูกทำลายในกระบวนการแปรรูปน้อยที่สุด

2.6.5 ประโยชน์ของการทำแห้ง

1. ป้องกันการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์
2. ทำให้มีใช้ในยามขาดแคลนนอกฤดูกาลหรือในแหล่งห่างไกล

3. เก็บไว้ได้นาน
4. ลดน้ำหนักอาหารทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษาและการขนส่ง
5. ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่

2.6.6 การเก็บรักษาอาหารแห้ง

อาหารแห้งที่เก็บที่ค่าแอมวอเตอร์แอกทวิตตี้ต่ำกว่า 0.70 จะปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์แต่ทั้งนี้จะต้องเก็บรักษาค่าแอมวอเตอร์แอกทวิตตี้ไม่ให้เพิ่มระหว่างการเก็บ อย่างไรก็ตามยังมีการเสื่อมเสียอื่นๆอีกทำให้ต้องเก็บอาหารแห้งที่ค่าแอมวอเตอร์แอกทวิตตี้ต่ำกว่านี้มาก และควรหลีกเลี่ยงสภาวะที่ส่งเสริมการเสื่อมเสียของอาหารแห้ง การเสื่อมเสียของอาหารแห้งเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

1. การเกิดออกซิไดส์ เนื่องจากอากาศ มักเกิดกับไขมันทำให้เหม็นหืน เกิดกับวิตามินซี ทำให้เสียคุณค่าทางอาหารเกิดกับคลอโรฟิลล์ แอนโทไซยานิน ทำให้สีซีด เกิดกับน้ำมันระเหยและสารให้กลิ่นทำกลิ่นเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงปัจจัยที่เสริมปฏิกิริยา คือ แสงและอุณหภูมิ
2. เนื่องจากเอนไซม์ที่อยู่ในอาหารแต่แรก หรือมาจากแหล่งอื่นภายหลังจึงต้องมีการทำลายเอนไซม์
3. การเปลี่ยนสี เนื่องจากอุณหภูมิควรหลีกเลี่ยงโดยไม่เก็บในที่ร้อน หรือเก็บในที่ที่มีอากาศถ่ายเท
4. การจับตัวเป็นก้อน เนื่องจากดูดความชื้นจากอากาศควรหลีกเลี่ยงโดยการเก็บในภาชนะที่ปิดสนิท

2.7 ปริมาณน้ำอิสระกับคุณภาพอาหาร (ขวัญใจ, 2543)

ความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของอาหารมากที่สุด วิธีการถนอมอาหารที่เก่าแก่ที่สุด เช่น การทำซัน การทำแห้ง การเติมเกลือหรือน้ำตาลโดยอาศัยหลักการของการลดความชื้นแต่ความชื้นไม่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์ต้องการเจริญเติบโต หรือปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีต้องการเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ดังนั้นปริมาณความชื้นจึงไม่สามารถใช้เป็นดัชนีวัดการเสื่อมเสียของอาหารเหมือน pH ที่ใช้เป็นดัชนีวัดความเป็นกรด-ด่างของอาหาร การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีจะถูควัด โดยปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์และปฏิกิริยาชีวเคมีสามารถนำไปใช้ได้ (availability of water) ซึ่งจะบอกเป็นค่า water activity (a_w) โดยทั่วไปอาหารที่เน่าเสียง่าย เช่น เนื้อสัตว์ ผักและผลไม้สดจะมีค่า a_w ใกล้ 1.0 อาหารที่คงทน

2.7.1 บทบาทของ a_w ต่อคุณภาพอาหาร (มัทนา, 2545)

2.7.1.1 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

a_w เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร การป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์โดยวิธีควบคุม a_w จึงใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น Hurdle Technology ซึ่งเป็นการผสมผสานเทคนิคการถนอมอาหารแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดลำดับของปัจจัยการถนอมอาหาร (Hurdles) ที่สามารถเอาชนะจุลินทรีย์ได้ ปัจจัย เหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิ a_w pH redox potential preservatives และอื่นๆ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตภายใต้ค่า a_w ที่จำกัด ถ้าค่า a_w ของอาหารต่ำกว่าค่า a_w ที่จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ มันจะไม่เจริญเติบโต เช่น แบคทีเรียส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.91 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.80 เป็นต้น

2.7.1.2 ปฏิกิริยาของเอนไซม์ (Enzymatic reaction)

น้ำมีอิทธิพลต่อการทำงานของเอนไซม์มากไม่เพียงแต่ทำหน้าที่พาสารที่จะทำปฏิกิริยาไปยังด้านที่เกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ ยังมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่และการซึมผ่านของสารที่จะทำปฏิกิริยา สารเร่งปฏิกิริยาและสารยับยั้งเอนไซม์อีกด้วย ถ้าไม่มีน้ำเอนไซม์จะทำหน้าที่ไม่ได้ อย่างไรก็ตามที่ที่มีความชื้นต่ำมากๆ หรือภายใต้สภาวะแช่แข็ง เอนไซม์หลายชนิดยังคงทำหน้าที่ได้ โดยทั่วไปปฏิกิริยาของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นตามความชื้น

2.7.1.3 ปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Non-enzymatic browning)

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ และกรดอะมิโน เกิดสาร melanoidins ซึ่งมีสีน้ำตาล ปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดที่ความชื้นปานกลาง (a_w 0.6-0.7) ดังนั้นอาหารแห้งส่วนใหญ่และอาหารที่มีความชื้นปานกลางจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

2.7.1.4 ปฏิกิริยา Oxidation ของไขมัน

เมื่อค่า a_w ของอาหารเพิ่มขึ้นจากศูนย์อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จะลดลงจนกระทั่งความชื้นถึงค่าหนึ่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นตามความชื้น น้ำสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ที่ปริมาณความชื้นต่ำๆ เพราะจะเกิดขึ้นของน้ำรอบๆ สารเร่งปฏิกิริยา และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro peroxides) แต่เมื่อปริมาณความชื้น