

บทที่ 2

งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมาของหอมหัวใหญ่

หอมหัวใหญ่มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Allium cepa* Linn. ชื่ออังกฤษ Onion วงศ์ Alliaceae จัดเป็นพืชในตระกูล Amaryllidaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในบริเวณตอนกลางทวีปเอเชียหรือทางตะวันตกของทวีปเอเชีย จากนั้นก็แพร่กระจายในประเทศแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน (Tindall, 1968) ผ่านอียิปต์และตุรกี สำหรับประเทศอียิปต์มีประวัติบันทึกการบริโภคหอมหัวใหญ่ ตั้งแต่ 3200-2780 ปีก่อนคริสตกาล นอกจากนี้ในคัมภีร์ไบเบิลก็ได้รับรู้ถึงการบริโภคหอมหัวใหญ่ไว้เช่นกัน หลังจากหอมหัวใหญ่แพร่กระจายเข้าไปในประเทศยุโรปแล้ว ได้มีการคัดเลือกจนเกิดหอมหัวใหญ่ขึ้นมาสองชนิดในช่วงยุคกลางของยุโรป ชนิดแรกเกิดขึ้นบริเวณประเทศสเปนเป็นชนิดที่รสไม่จัด ชนิดที่สองเป็นชนิดรสจัดเกิดขึ้นทางตะวันออกและตะวันตกของยุโรป (Shinohara, 1977)

การปลูกหอมหัวใหญ่และการพัฒนาพันธุ์ขยายตัวอย่างรวดเร็วในสองศตวรรษหลังนี้ หลังจากที่มีการนำไปปลูกในทวีปอเมริกา ในช่วงแรกมีการนำเอาหอมหัวใหญ่ชนิดรสจัดเข้าไปปลูกทางตอนเหนือของสหรัฐอเมริกาโดยปลูกในช่วงฤดูใบไม้ผลิจนถึงฤดูร้อน ส่วนชนิดรสไม่จัดถูกนำเข้าไปปลูกในระยะหลังทางบริเวณตอนใต้ของสหรัฐอเมริกาโดยปลูกในช่วงฤดูใบไม้ร่วงจนถึงฤดูร้อน คือ ปลูกข้ามฤดูหนาว (Shinohara, 1977) นอกจากนี้จะมีการแพร่กระจายไปยังทวีปอเมริกาแล้ว ก็ยังมีการแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของโลกด้วยเช่นบริเวณเอเชียตะวันตกเฉียงใต้ อินเดีย สาธารณรัฐประชาชนจีน ทางตอนกลาง ตะวันตก และตะวันออกของแอฟริกาและบริเวณเขตร้อนโดยทั่วไป (Tindall, 1968)

จำนวนโครโมโซมพื้นฐานของหอมหัวใหญ่ (basic number) $n = 8$ และ $2n = 16$ ซึ่งเท่ากับของกระเทียม (*Allium sativum*) ได้มีการทดลองผสมหอมหัวใหญ่ พบว่าหอมหัวใหญ่สามารถผสมได้กับหอมญี่ปุ่น (*Allium fistulosum*) ซึ่งมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันแต่ลูกผสมเป็นหมัน โดยต้องใช้สารโคลิซิน (Colchicine) ทำให้ลูกผสมที่เป็นดิพลอยด์ (diploid; $2n$) ซึ่งเป็นหมันให้เปลี่ยนเป็นแอมฟิดิพลอยด์ (amphidiploid) เพื่อให้ลูกผสมแข็งแรงและไม่เป็นหมันสามารถผสมกับพืชได้อีกต่อไป (Jones and Mann, 1963)

โดยทั่วไปแล้ว หอมหัวใหญ่ต้องการสภาพวันที่ยาวกว่าความยาววันวิกฤตจึงจะลงหัวได้ หอมแต่ละพันธุ์ต้องการความยาววันไม่เท่ากัน สามารถแบ่งพันธุ์หอมตามความต้องการช่วงแสงที่น้อยที่สุด (minimum photoperiod) สำหรับลงหัวได้ตามลักษณะของพันธุ์ที่มีอยู่ในสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นได้ดังนี้

การจำแนกพันธุ์หอมหัวใหญ่ของสหรัฐอเมริกา

1. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสง 12 ชั่วโมง ได้แก่ Yellow Bermuda (Excel) Crystal Wax Early Grabo (Texas) Red Creole และ White Creole เป็นพันธุ์ที่เจริญได้ดีในเขตกึ่งเมืองร้อน นิยมปลูกทางใต้ของรัฐเท็กซัส และแคลิฟอร์เนีย เป็นพันธุ์เบาที่สุดที่ปลูกข้ามฤดูหนาว
2. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสง 13 ชั่วโมง ได้แก่ Crystal Grao California Early Fed California Hybrid Red (F1) และ San Joaquin เป็นพันธุ์เบาปานกลาง นิยมปลูกทางเหนือของรัฐเท็กซัส และตอนกลางของรัฐแคลิฟอร์เนีย ปลูกข้ามฤดูหนาวและเก็บเกี่ยวต้นฤดูร้อน
3. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสง 13.5 ถึง 14 ชั่วโมง ได้แก่ Sweet Spanish Early Yellow Globe (Danvers) Mountain Danvers Australian Brown Yellow Southport Yellow Flat Dutch และ Yellow Globe Danvers. เป็นพันธุ์ที่ปรับตัวให้เข้ากับสภาพทางเหนือของสหรัฐอเมริกา เช่นรัฐนิวยอร์ก รัฐอินเดียนา รัฐโคโลราโด และรัฐแคลิฟอร์เนียตอนเหนือ เพาะเมล็ดในฤดูใบไม้ผลิและเก็บเกี่ยวในเดือนกันยายน

การจำแนกพันธุ์หอมหัวใหญ่ของประเทศญี่ปุ่น

1. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสงน้อยกว่า 12 ชั่วโมง ได้แก่ Aichi shiro Aichi Ki-wase (ลูกผสมของพันธุ์ Senshu และ Aichi Shiro) และ Express White เป็นพันธุ์กึ่งเขตร้อนนิยมปลูกตามชายฝั่งที่มีอากาศค่อนข้างอบอุ่นของเมืองโตเกียว เพาะเมล็ดกลางเดือนกันยายนและเก็บเกี่ยวต้นเดือนเมษายน
2. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสงประมาณ 12 ชั่วโมง ได้แก่ Kaizuka-Wase (เป็นสายพันธุ์เบาของพันธุ์ Early Flat Danvers) และ Imai Wase (เป็นสายพันธุ์หนักของพันธุ์ Senshu Ki) นิยมปลูกทางแถบอบอุ่นของเกาะฮอนชู เพาะเมล็ดปลายเดือนกันยายน และเก็บเกี่ยวตั้งแต่ต้นเดือนพฤษภาคม
3. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสงประมาณ 13 ชั่วโมง ได้แก่ Senshu Ki (Yellow Flat Danvers) และ Senshu Kodaka (เป็นพันธุ์ที่เก็บรักษาได้ดีของพันธุ์ Senshu Ki) นิยมปลูกทางตอนกลาง และตะวันตกของเกาะฮอนชูเพาะเมล็ดปลายเดือนกันยายนและเก็บเกี่ยวตั้งแต่ปลายเดือนพฤษภาคม ถึงต้นเดือนมิถุนายน
4. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสงมากกว่า 13 ชั่วโมง ได้แก่ Yamaguchi Maru (เป็นสายพันธุ์ที่ไม่ออกดอกของพันธุ์ Yellow Globe Danvers) นิยมปลูกกันทั่วไปในเกาะฮอนชู เพาะเมล็ดปลายเดือนกันยายน เก็บเกี่ยวปลายเดือนมิถุนายน เพื่อเก็บรักษาสำหรับใช้ในฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง

5. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสง 14.5 ชั่วโมง ได้แก่ Sapporo Ki (Yellow Globe Danvers) นิยมปลูกในเกาะฮอกไกโดเฉพาะเมล็ดในเดือนเมษายน และเก็บเกี่ยวต้นเดือนกันยายน เพื่อเก็บรักษาสำหรับใช้ในฤดูหนาว (Shinohara, 1977)

สำหรับพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย คือพันธุ์กรานเน็กซ์ (Granex) มีทั้งพันธุ์ Yellow Granex และ white Granex ซึ่งจะมีทั้งชนิดหัวกลมและหัวแบน มีการลงหัวเร็ว และแก่สม่ำเสมอ หัวมีขนาดใหญ่และคอเล็ก

พันธุ์เดสเซก (Dessex) นิยมปลูกกันมากในภาคเหนือ ลงหัวเร็วและสุกแก่สม่ำเสมอ หัวมีขนาดปานกลาง

นอกจากนี้ก็มีพันธุ์ Red Globe Red Creloe Yellow Bermuda (Excel) Early Grano ซึ่งให้ผลผลิตดีพอสมควร หัวมีขนาดปานกลาง หัวจะสุกแก่ช้ากว่าทั้งสองพันธุ์ข้างต้น (เมืองทอง และ สุวีรัตน์, 2525; สำนักงานการค้าภายในเขต 5, 2529)

พันธุ์หอมหัวใหญ่ที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ ประกอบด้วยพันธุ์เอสโกร 33 ร้อยละ 32.69 พันธุ์ซูเปอร์เร็กซ์ ร้อยละ 34.66 พันธุ์ชวานาสวีท ร้อยละ 15.42 และพันธุ์ 60 ร้อยละ 3.14 (สำนักงานพาณิชย์, 2540)

ส่วนประกอบทางเคมีภายในหัว

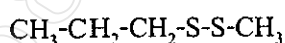
หัวของหอมหัวใหญ่นั้นเมื่อคิดเป็นน้ำหนักแห้งแล้ว ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ก็มีโปรตีน 1.4% และไขมัน 0.2%

ในหัวสด 100 กรัม มีวิตามินเอ 50 หน่วยสากล (international units) ไทอะมิน 0.03 กรัม ไรโบฟลาวิน 0.04 มิลลิกรัม ไนอะซิน 0.02 มิลลิกรัม และกรดแอสโคบิก 9.0 มิลลิกรัม (ถวัลย์ศักดิ์, 2532)

ลักษณะเฉพาะของพืชที่อยู่ในสกุล Allium ก็คือ มีกลิ่นของสารประกอบออลลิซิน (allicin) สารนี้ทำให้หัวหอมมีกลิ่นเฉพาะเมื่อใช้ประกอบเป็นอาหาร สารออลลิซินเป็นสารอินทรีย์ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ สารประกอบอินทรีย์ของกำมะถันในหอมหัวใหญ่มีหลายชนิดคือ trans-S-1-propenyl cysteine sulfoxide, S-methylcysteine sulfoxide, S-propylcysteine sulfoxide และ Cycloalliin สามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบกำมะถันที่ไม่ซับซ้อน (Simpler sulfur) ได้โดยน้ำย่อย Alliinase น้ำย่อยชนิดนี้ถูกปล่อยออกมาเมื่อเราทำให้หัวหอมช้ำ สาร Simpler sulfur เป็นสารที่ไม่คงตัวซึ่งจะสลายตัวต่อไปให้ Sulfides และสารอื่นๆ อีก สารเหล่านี้เป็นตัวทำให้หัวหอมมีกลิ่น โดยเฉพาะ Methylpropyl disulfide, Methylpropyl trisulfide และ Dipropyl trisulfide เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นในหัวหอม เมื่อปอกหอมแล้วเกิดอาการระคายเคืองที่นัยน์ตาทำให้น้ำตาไหลก็เนื่องมาจาก

Thiopropanol-S-oxide สารนี้เกิดจากสารชื่อ trans-S-(1-propenyl cysteine sulfoxide) ทำปฏิกิริยากับ น้ำย่อย Allinase

หัวหอมมีน้ำมันหอม (Onion oil) ซึ่งเป็นน้ำมันระเหยในปริมาณน้อย น้ำมันมีสารประกอบกำมะถันเป็นสารหลักแต่ไม่ได้เป็นสารที่ให้กลิ่น สารที่ทำให้เกิดกลิ่นในหัวหอมที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิดคือ Methylpropyl disulfide, Methylpropyl trisulfide และ Dipropyl trisulfide สารที่ให้กลิ่นนอกจากที่กล่าวมาแล้ว 3 ชนิดก็คือ Allylpropyl disulfide, Dimethyl disulfide, 3,4-Dimethylthiophene, Methyl-cis propenyl disulfide และสารอื่นๆ อีก



Methyl propyl disulfide

พวกกรดอินทรีย์ที่พบมี Phenolic acid, Caffeic acid, Sinapic acid, p-Coumaric acid และ Protocatechuic acid สารจำพวก Flavonoids เช่น Quercetin และ glycosides ของสารนี้ Sterols ที่พบมี Cholesterol, Stigmasterol, β -Sitosterol, Saponins น้ำตาล วิตามิน A และ C วิตามิน B₁ และ B₂, Pectin และ Anthocyanins (นิจศิริ, 2534)

สีแดงของหอมหัวใหญ่คือ แอนโทไซยานิน (anthocyanins; glucosides of cyanidin) และสีเหลืองนั้นส่วนใหญ่เป็นฟลาโวนอล ควอซีติน (flavonol quercetin) สารที่ให้สีเหลืองคือ ควอซีติน (quercetin) ซึ่งเป็นสารฟลาโวนอล (flavonol) ชนิดหนึ่งที่อยู่ในพืชทั่วไป จากการศึกษาสารประกอบฟลาโวนอลและฟีนอล (phenol) ในหอมพบว่าหอมหัวใหญ่ไม่ได้เกิดจากการที่มีสาร ฟลาโวนอลที่มีสีเหลืองอ่อนแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีสารที่คล้ายแทนนิน (tanin) เป็นองค์ประกอบอีกด้วย สารนี้เกิดจากการออกซิไดซ์กรดโปรโตแคทชิซุอิก (Protocatechuic acid) ที่ให้สีน้ำตาลเข้ม

สารควอซีตินนี้มีอยู่ 4% ของผิวแห้งของหัวหอม และมีสารสไปราโอไซด์ (spiraeosid) ซึ่งเป็นสารไกลโคไซด์ (glycoside) ของควอซีตินอยู่ 1% กรดโปรโตแคทชิซุอิกนี้แยกจากผิวแห้งของหอมได้ 0.45% ส่วนสารประกอบฟีนอลิก (phenolic) ที่อยู่ในผิวแห้งจะมีอยู่ 0.01% หรือน้อยกว่านี้เช่น ฟลอโรกลูซิน (phloroglucin) แคทชิโคล (catechol) เมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) ของกรดโปรโตแคทชิซุอิกและกรดฟลอโรกลูซินอลคาร์บอกซิลิก (phloroglucinol carboxylic acid) (ถวัลย์ศักดิ์, 2532)

ในทางอาหารใช้หอมหัวใหญ่แต่งกลิ่นในอาหารได้หลายชนิดรวมทั้งเครื่องดื่มน้ำที่มีแอลกอฮอล์ และไม่มีแอลกอฮอล์ อาหารแช่แข็ง ขนมหวาน ขนมหึง เยลลี่ เนื้อ และผลิตภัณฑ์จาก

เนื้อ เป็นเครื่องเทศที่มีรสเผ็ดร้อน แต่งกลิ่นอาหารที่ปรุงเสร็จแล้ว แต่งกลิ่นน้ำซอส ไขมัน น้ำมัน ซุป (นิจศิริ, 2534)

หอมหัวใหญ่เป็นพืชที่จำหน่ายเกิดการเน่าเสียได้ง่าย จึงต้องระมัดระวังในเรื่องการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา การขนส่ง ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว โดยทั่วไปชาวไร่มักจะนำหอมหัวใหญ่ทั้งหัวแขวนตากแดดก่อนนำออกสู่ตลาด ด้วยวิธีนี้จะทำให้ความชื้นของหอมหัวใหญ่ลดน้อยลง และสามารถเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้นบ้าง แต่อย่างไรก็ตามการถนอมในรูปแบบสดนี้ไม่สามารถเก็บรักษาได้นาน การถนอมให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปใช้ในการปรุงแต่งกลิ่นรส ได้เลยและยังสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เน่าเสีย มีด้วยกันหลายกรรมวิธี (ครุณี, 2523) ในที่นี้จะศึกษาเฉพาะการทำแห้ง

2.2 อาหารแห้ง (Dehydration foods)

การถนอมอาหารโดยการทำให้แห้ง เป็นวิธีการถนอมอาหารเก่าแก่ที่สุดวิธีหนึ่ง มนุษย์ได้สังเกตพบความจริงว่าผลิตผลจากพืชบางชนิด เช่นเมล็ดธัญพืช และถั่วต่างๆ จะแก่และแห้งตามธรรมชาติขณะที่ยังติดอยู่กับกิ่ง หรือลำต้น และยังพบว่าผลิตผลที่อยู่ในลักษณะแห้งนี้จะสามารถเก็บไว้ได้นาน จากการลอกเลียนกระบวนการธรรมชาติมนุษย์จึงได้ใช้การตากแห้งเพื่อรักษาผลิตผลอื่นๆ เช่นพืชชนิดอื่นๆ เนื้อสัตว์ และปลาสำหรับการใช้เกลือกับผลิตผลนับเป็นวิธีการถนอมอาหารเก่าแก่อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งปกติมักจะทำร่วมกับการตากแห้ง ในขณะที่กรรมวิธีก่อนตากแห้งได้ปฏิบัติในระยะต่อมา

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 ได้มีการผลิตอาหารแห้ง โดยเฉพาะผักอบแห้งอย่างกว้างขวาง และเมื่อเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงได้มีการเพิ่มปริมาณการผลิตผลไม้อบแห้งและผักอบแห้ง และได้ขยายการผลิตไปสู่ผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น นม ไข่ และเนื้อสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากสามารถประหยัดพื้นที่ในการเก็บ ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย และความสะดวกของการใช้อาหารอบแห้ง แต่การผลิตอาหารอบแห้งโดยเฉพาะผลไม้ ผัก ไข่ และเนื้อสัตว์ลดลง หลังจากสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ 2

แม้ว่าประเทศที่พัฒนาแล้วจะมีอุปกรณ์เครื่องเย็นอย่างพร้อมเพียงเพื่อใช้เก็บและกระจายอาหารที่เสื่อมเสียง่ายและอาหารแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้อาหารกระป๋องและอาหารที่บรรจุในขวดแก้วยังเป็นอาหารที่ยอมรับโดยทั่วไป จึงทำให้การบริโภคอาหารอบแห้งน้อยกว่าปกติ แต่สิ่งเหล่านี้ไม่ปรากฏในประเทศที่ยังไม่พร้อมในเรื่องอุปกรณ์แช่เย็น และอาหารตากแห้งหรืออบแห้งยังมีความจำเป็นต่อวงการทหารต่อไป ดังนั้นการวิจัยในแง่มุมมองของการยอมรับและความต้องการของอาหารอบแห้งยังคงดำเนินต่อไป

แม้ว่าเมล็ดธัญพืชและผลิตภัณฑ์ของธัญพืช เป็นผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งที่ผลิตมากที่สุดในโลก ติดตามด้วยน้ำตาล ถั่วแห้ง และเมล็ดพืชน้ำมันก็ตาม การผลิตอาหารตากแห้งและอาหารอบแห้ง ยังคงเป็นส่วนที่สำคัญของวงการธุรกิจอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปเช่น ในปี พ.ศ. 2503 (ค.ศ. 1960) ประเทศสหรัฐอเมริกาผลิตอาหารอบแห้งถึง 20 ล้านตัน (Josyl, 1967)

การอบแห้งเป็นวิธีที่ใช้ความร้อนไล่น้ำออกจากอาหารโดยการระเหย หรือระเหิด ความร้อนที่ใช้จะไม่สูงเท่าวิธีสเตอริไลซ์หรือพาสเจอไรซ์แต่จะใช้เวลานานกว่า การทำให้อาหารแห้งจะทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ขนส่งสะดวก ง่ายต่อการบรรจุ แต่มีข้อเสียเช่น อาหารแห้งกรอบ เปราะง่าย ขนาดเปลี่ยนไป คุณค่าทางอาหารเสียไป การเก็บอาหารแห้งเป็นเวลานาน ทำให้จุลินทรีย์ลดลง พวกที่พบมักเป็นยีสต์และสปอร์ของราในผักและผลไม้แห้ง

อาหารแห้ง (Dried, desiccated or low moisture) เป็นอาหารที่มีปริมาณน้ำไม่เกิน 25% และมี Aw (water activity) ระหว่าง 0.0 และ 0.60 ส่วนพวกที่มีน้ำ 15-50% และ Aw ระหว่าง 0.60 และ 0.85 เป็น “intermediate moisture foods” (IMF)

อาหารเกือบทุกชนิดมีน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด โดยมีอยู่ประมาณร้อยละ 65-95 ของน้ำหนักรวมของอาหาร อาหารที่มีปริมาณน้ำมากจะเสื่อมเสียได้รวดเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพและเคมี น้ำในอาหารจะเป็นตัวทำลายองค์ประกอบต่างๆ ของอาหาร อาหารที่มีน้ำอยู่สูง มีสารถูกละลาย (solute) ต่ำไม่พอต่อการยับยั้งโดยเจริญของจุลินทรีย์ได้ ถ้าหากสารถูกละลายเพิ่มขึ้นถึงจุดที่ทำให้ Aw อยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ก็จะทำให้อาหารสามารถยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น การเสื่อมเสียจะลดลง ความอ่อนนุ่มของอาหารมีอยู่

อาหารที่ถูกลด Aw จนเหลือ 0.65-0.85 หรือมีความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 65-85% มีความชื้นประมาณ 15-30% เรียก “Intermediate moisture foods” ตัวอย่างอาหารดังกล่าวมี กุนเชียง เนยแข็ง บ่ม แยมแห้ง ฟรุ้ทเด็ก แยม ผลไม้แห้ง ลูกกวาด ในการจำแนกอาหารเราสามารถแบ่งตาม Aw เป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. High moisture foods (HMF) เป็นพวกที่มี Aw อยู่ในช่วง 1.00-0.85
2. Intermediate moisture foods (IMF) เป็นพวกที่มี Aw อยู่ในช่วง 0.85-0.65
3. Low moisture foods (LMF) เป็นพวกที่มี Aw อยู่ในช่วง 0.65-0.00

เนื่องจากค่า Aw ของอาหารมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ความสามารถในการสร้างสารพิษ และความคงทนของเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งนี้รวมทั้งพวกที่ทำให้เกิดการเสื่อมในอาหารและที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหารด้วย

โดยทั่วไปจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีที่สุดในอาหารที่มีน้ำเป็นประโยชน์ในระดับพอเหมาะ (Optimal Aw) การเจริญเติบโตจะลดลง เมื่อลดปริมาณน้ำเป็นประโยชน์ลงในขณะที่ Aw

ลดลงเรื่อยๆ นั่น การเจริญของจุลินทรีย์จะลดลงตามไปด้วย จนกระทั่งถึงช่วงหนึ่งที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการน้ำที่เป็นประโยชน์ในช่วงต่างๆ กัน ช่วงที่มีปริมาณน้ำน้อยที่สุดที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้เรียกว่า “minimal Aw” โดยปกติเชื้อรามีความต้องการน้ำที่เป็นประโยชน์น้อยกว่าแบคทีเรีย และยีสต์ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะเจริญได้ที่ค่า Aw ต่างๆ กันดังนี้

| ชนิดจุลินทรีย์ | ค่า Aw ต่ำสุดที่จุลินทรีย์เจริญได้ |
|---|------------------------------------|
| แบคทีเรีย (normal bacteria) | 0.91 |
| ยีสต์ (normal yeast) | 0.88 |
| รา (normal mold) | 0.80 |
| แบคทีเรียที่ทนเกลือ (halophilic bacteria) | 0.75 |
| ยีสต์ที่ทนน้ำตาลสูง (osmophilic yeast) | 0.60 |

จะเห็นว่าแบคทีเรียที่เป็น Spoilage bacteria จะไม่เจริญใน Aw ต่ำกว่า 0.91

- Spoilage molds สามารถเจริญได้ใน Aw ต่ำถึง 0.80

- *Staphylococcus aureus* ที่เป็น food poisoning เจริญได้ใน Aw ต่ำถึง 0.86 ส่วน

C. botulinum ไม่สามารถเจริญใน Aw ต่ำกว่า 0.95

จากรูปที่ 2-1 จะเห็นได้ว่าถ้าทำให้ค่า Aw ของผลิตภัณฑ์ต่ำประมาณ 0.70 ก็จะไม่เกิดการเสียหายจากจุลินทรีย์ได้เลย ค่า Aw 0.70 นี้เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผักแห้ง จะมีค่า 14-20% หรือความชื้นของผลไม้แห้งประมาณ 18-25% (ลักขณา, 2530)

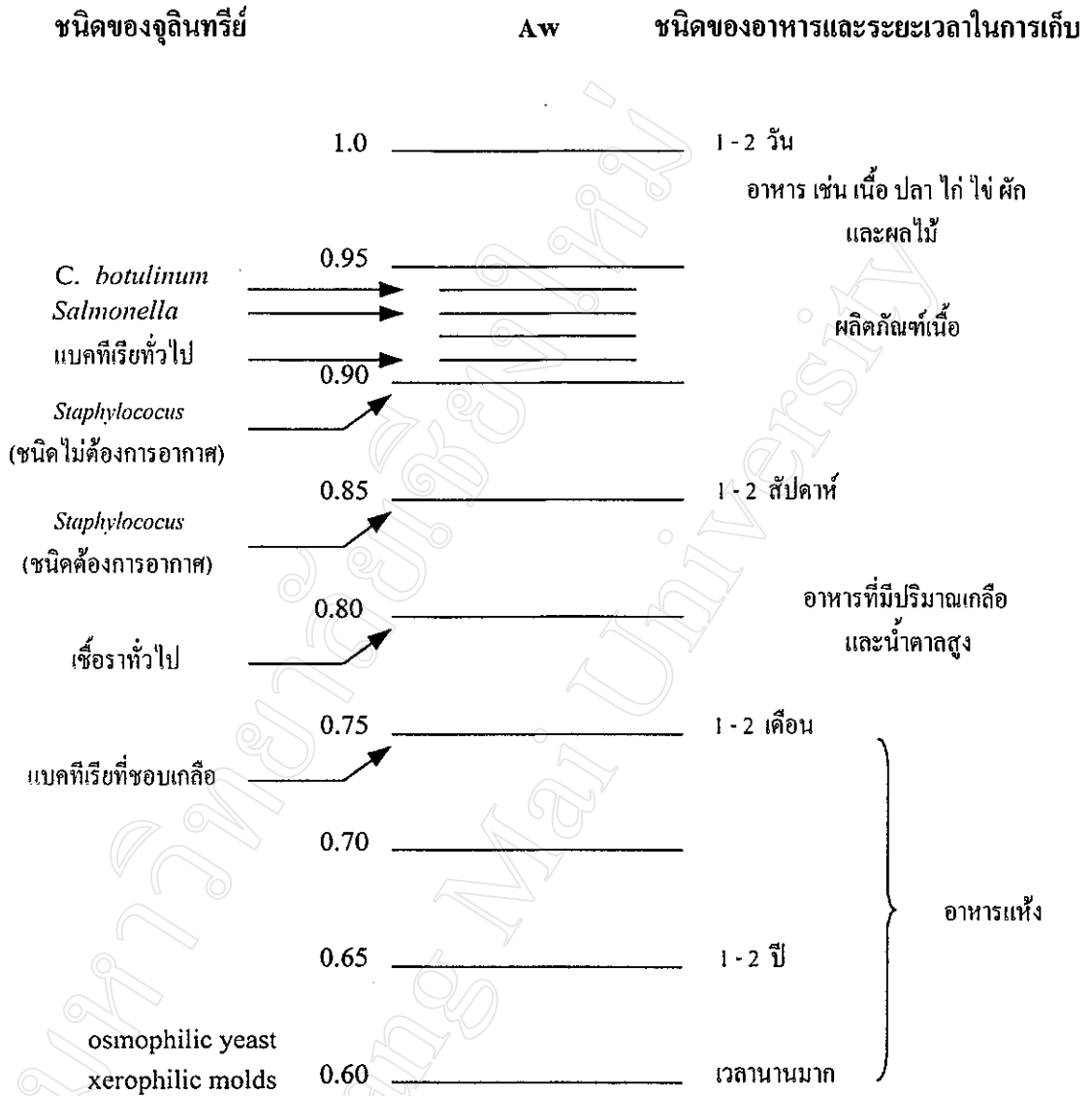
ในขั้นตอนต่างๆ ของการทำผักและผลไม้แห้ง เช่นการใช้ค้าง การใช้กำมะถัน การลวก และการให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรซ์ จะช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ในการทำผลไม้แห้งมักใช้วิธีพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ถึงกว่า 90% อุณหภูมิที่ใช้ 65.5°C ถึง 85°C ใช้เวลา 30-70 นาที ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70-100% ใช้ได้ผลดีในการทำผลไม้แห้งหลายชนิด ทั้งนี้จะช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และที่ทำให้เกิดการเสียแก่ผลิตภัณฑ์

ค่า Aw (water activity) เป็นอัตราส่วนของ Water vapor pressure ของอาหาร (ความดันไอของอาหาร) กับ vapor pressure ของน้ำบริสุทธิ์ (ความดันไอน้ำของน้ำบริสุทธิ์) ณ ที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$Aw = P/P_0$$

เมื่อ P = vapor pressure ของสารละลาย

P₀ = vapor pressure ของ solvent (มักใช้น้ำ)



รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ของค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ชนิดของอาหาร และระยะเวลาในการเก็บรักษา (ลักษณะ, 2530)

การเปลี่ยนแปลงในเนื้อเยื่อระหว่างการอบแห้ง

การอบแห้งมีผลกระทบต่อคุณภาพอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากอาหารมีการสูญเสียน้ำและได้รับความร้อน อาหารแข็งอาจมีโครงสร้างแบบเซลล์ (cellular structure) ซึ่งมีน้ำอยู่ระหว่างเซลล์และภายในเซลล์ เซลล์เหล่านี้จะยืดหรือหดตัวภายใต้การกระทำของแรง ถ้าเซลล์เหล่านี้ถูกแรงกระทำจนเกินขีดจำกัดความยืดหยุ่น (elastic limit) ชิ้นอาหารก็จะไม่สามารถกลับไปสู่รูปร่างเดิมได้ การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้อย่างชัดเจนระหว่างการอบแห้งได้แก่ การหดตัวของชิ้นอาหาร ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในอาหารทั้งที่มีโครงสร้างแบบเซลล์และไม่ใช่

1. การเหี่ยวย่น เซลล์เนื้อเยื่อสัตว์และพืชของสิ่งมีชีวิตมีคุณสมบัติของความเต่งตึง ซึ่งหมายความว่าของเหลวที่อยู่ภายในแต่ละเซลล์จะทำให้เซลล์พองออก จนมีโครงสร้างเหนียวแน่นคล้ายลูกบอลูน ผันงเซลล์จะมีลักษณะอยู่ภายใต้แรงตึงผิว ในขณะที่ของภายในเซลล์จะถูกแรงอัด โครงสร้างของผนังเซลล์มีลักษณะแข็งแรงและยืดหยุ่น แต่เมื่อน้ำเยื่อเซลล์ได้ผ่านกระบวนการบางกระบวนการ เช่น การลวก พบว่าผนังเซลล์จะมีลักษณะการยอมให้ซึมผ่านง่ายขึ้น ความเต่งตึงของเซลล์จะหายไป

โครงสร้างอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทันที เมื่อผ่านการอบแห้ง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของของเหลวการกระจายตัวใหม่ของตัวถูกละลายและการเหี่ยวย่น เมื่อเป็นเช่นนี้ทำให้ลักษณะการเคลื่อนที่ หรือการส่งผ่านมวลก็จะเปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการอบแห้ง Fish (1958) ได้รายงานว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของน้ำในมันฝรั่งที่ผ่านการลวกมีค่าอยู่ระหว่าง 10^{-8} ถึง 10^{-7} cm^2 ต่อวินาที ที่ปริมาณความชื้น 15-20% (โดยน้ำหนักแห้ง) แต่ค่านี้จะลดลงต่ำกว่า 10^{-10} cm^2/s เมื่อความชื้นมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1 ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นกับอาหารชนิดอื่นๆ เหมือนกัน แต่มีอาหารบางชนิดที่ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จะไม่ลดลงอย่างรวดเร็วเหมือนที่เกิดกับมันฝรั่ง Jason (1958) ได้สังเกตปรากฏการณ์ของการอบแห้งกล้ามเนื้อปลา ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ 2 ค่า คือค่า D_1 จะมีค่าลดลงถึงปริมาณน้ำอิสระมีค่าประมาณ 5% และค่า D_2 จะมีค่าลดลงจนถึงการอบแห้งจะสมบูรณ์ และ D_1 มีค่า $2-4 \times 10^{-6}$ cm^2/s ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถที่จะใช้อธิบายการเหี่ยวย่นของอาหารอบแห้งได้ ฉะนั้นในสภาวะการอบแห้งถ้าสามารถที่จะรักษาก่อนอาหารให้มีความชื้นทั้งผิวนอกและข้างในไม่ต่างกันมากจะพบว่า การเหี่ยวย่นจะเกิดขึ้นน้อยมาก แต่ถ้าหากว่าอุณหภูมิเริ่มต้นสูงมากจะทำให้ผิวนอกแห้งและมีลักษณะแข็ง ในขณะที่ภายในยังนิ่มอยู่ การเหี่ยวย่นก็จะเกิดขึ้นและภายในก่อนอาหารจะมีลักษณะเป็นโพรง

2. ความหนาแน่นรวม ถ้าหากอาหารถูกอบแห้งเร็วจนเกินไปจะทำให้อาหารมีค่าความหนาแน่นรวมน้อยกว่าพวกอาหารที่ถูกอบแห้งด้วยอัตราช้า เช่น การอบแห้งมันฝรั่งชนิดลูกเต๋า ที่อุณหภูมิ 65°C และมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก 30°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที ให้มีความชื้น 0.11

ปอนด์ต่อปอนด์ของวัตถุแห้ง เปรียบเทียบกับอีกตัวอย่างที่อบแห้งที่ 51°C และมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก 49°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง 30 นาที ให้มีความชื้น 0.61 ปอนด์ต่อปอนด์ของวัตถุแห้ง แล้วจึงเปลี่ยนอุณหภูมิอบแห้งเป็น 65°C และมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก 30°C อีกเป็นเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที ให้มีความชื้น 0.11 ปอนด์ต่อปอนด์ของวัตถุแห้ง จากปรากฏการณ์นี้พบว่า ค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังจะเป็นสองเท่าของค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างแรก ซึ่งค่าความหนาแน่นรวมนี้มีผลต่อปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการบรรจุหีบห่อของอาหารดังกล่าว

3. ความสามารถในการคืนตัว ปัจจัยคุณภาพของอาหารแห้งที่สำคัญ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความสามารถในการคืนตัว ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียว ลักษณะเป็นเส้นใย การคืนตัวอย่างช้าๆ หรือไม่สมบูรณ์ เหล่านี้ถือเป็นคำหนิทางคุณภาพของอาหารอบแห้ง เช่นกรณีการสูญเสียความนุ่มของเนื้ออบแห้ง อาจเนื่องมาจากการจับตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อ

ได้มีการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ถ้าเก็บเนื้อเยื่อพืชหรือสัตว์ไว้ที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงแบบไม่คืนตัวจะเกิดขึ้นเสมอ แม้ว่าอุณหภูมินั้นจะไม่สูงพอที่จะทำให้อาหารเกิดสีน้ำตาลหรือไหม้ได้ก็ตาม ความยืดหยุ่นของผนังเซลล์และความสามารถในการพองตัวของแป้งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการคืนตัว แต่ปัจจัยทั้งสองลดลงเมื่ออาหารถูกกับความร้อน เช่น เนื้ออบแห้งสามารถดูดซับน้ำได้เพียงส่วนหนึ่งของน้ำเริ่มต้นเท่านั้น และถึงแม้ว่าจะสามารถดูดซับน้ำได้จนมีน้ำหนักเท่าเดิม ก็ไม่ใช่หมายความว่าเนื้อนั้นจะมีโครงสร้างเหมือนเดิม ผลัดกันหลังจากคืนตัวจะไม่มีลักษณะฉ่ำ และมีลักษณะเนื้อร่วนกว่าเนื้อสด

4. การสูญเสียสารระเหย เมื่อน้ำกลายเป็นไอระเหยไปจากอาหารจะพาสารที่ระเหยได้ไปด้วยในปริมาณที่ต่างๆ กัน โดยทั่วไปปรากฏการณ์นี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ จึงได้มีการใช้สารบางชนิด เช่นผงถ่าน หรือตัวดูดกลิ่นอื่นๆ ที่สามารถจับสารระเหยนี้ไว้ ด้วยจุดประสงค์ก็เพื่อจะนำกลิ่นนี้กลับมายังอาหารอีก

องค์ประกอบของไอขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหาร และความดันไอของสารระเหย แต่ว่าองค์ประกอบของไอดังกล่าวจะถูกระทบกระเทือนจากความสามารถการละลายในน้ำและในของเหลวอื่นๆ

5. การเกิดสีน้ำตาลหรือความเสียหายเนื่องจากความร้อน ปัญหาที่สำคัญและเห็นได้ชัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้ง ก็คือการเปลี่ยนแปลงสีซึ่งเรียกชื่อต่างๆ เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเกิดสีไหม้ หรือความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อน การเปลี่ยนแปลงนี้บางครั้งเป็นความต้องการ เช่น การเกิดสีน้ำตาลไหม้บนผิวหน้าของขนมปัง แต่ในแง่ของการอบแห้งถือว่าเป็นคำหนิทางคุณภาพ ถ้าการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้นมากจะทำให้กลิ่น รส ความสามารถในการคืนตัว และปริมาณกรดแอสคอร์บิกถูกระทบกระเทือนไปด้วย

อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเสียหายในลักษณะนี้มักจะเป็นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา เช่นอาหารที่มีความไวต่ออุณหภูมิ อาจจะทำอุณหภูมิได้สูงถึง 33°C หรือสูงกว่านี้ได้เพียง 2-3 วินาที โดยไม่เกิดความเสียหาย แต่สามารถสังเกตเห็นสีน้ำตาลนี้ได้ถ้าหากว่าใช้เวลานาน 8-10 ชั่วโมงที่ 49°C อัตราการเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นกับปริมาณความชื้นของอาหาร ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในระบบที่ซับซ้อนที่มีสารละลายอย่างเจือจาง แต่ถ้าสารละลายนี้เข้มข้นขึ้นเนื่องจากการอบแห้ง ปฏิกริยาที่จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในกระบวนการอบแห้งอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงสุดที่ความชื้นอยู่ระดับปานกลาง คือ ในช่วงระหว่าง 15-20% เมื่ออาหารมีลักษณะแห้งอย่างสมบูรณ์การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ อาหารอบแห้งที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 1-2 จะสามารถเก็บได้เป็นเวลานาน แม้ว่าจะเก็บที่อุณหภูมิสูง แต่ว่าปฏิกริยาการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่น การเกิดกลิ่นหืนจะกลายเป็นปัจจัยจำกัดของการเก็บอาหารนี้ (ไพบูลย์, 2532)

2.3 หลักการอบแห้ง

การอบแห้งวัสดุโดยทั่วไปนั้นใช้อากาศแห้งเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ พร้อมๆ กับการถ่ายเทมวลจากวัสดุไปยังอากาศ ความร้อนจากอากาศที่วัสดุได้รับนั้นจะเป็นตัวทำให้น้ำในวัสดุระเหย ซึ่งวัสดุที่เป็นสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุจะคงที่ ซึ่งถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ จะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อผิววัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุจะลดลง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นของวัสดุในขณะที่อัตราการอบแห้งเริ่มเปลี่ยนแปลงจากอัตราการอบแห้งคงที่ไปเป็นอัตราการอบแห้งลดลง เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (Hall, 1980)

2.3.1 อัตราการอบแห้ง (Drying rate)

อัตราการอบแห้ง (Drying rate) เป็นการวัดความเร็วหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อเวลาและหรือต่อพื้นที่โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยไป}}{\text{ระยะเวลาและหรือพื้นที่}}$$

2.3.2 กระบวนการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งมี 2 ช่วง คือช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period) และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period)

1. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period)

ในการทำแห้งโดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางทำให้แห้ง (drying medium) ที่ภาวะอุณหภูมิและความชื้นคงที่ เมื่อวัตถุที่เปียกชื้นสัมผัสกับอากาศร้อนวัตถุจะปรับอุณหภูมิของมันจนเข้าสู่ภาวะสม่ำเสมอ (steady state) แล้วผิวหน้าของวัตถุจะชุ่มด้วยของเหลว เมื่ออุณหภูมิที่ผิวหน้าของวัตถุเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb) ของอากาศร้อน จึงจะเริ่มเกิดการระเหยของน้ำเป็นไอ และถ่ายเทไปยังกระแสตัวกลางทำให้แห้ง ถ้าน้ำยังมีพอเพียงที่จะคลุมผิวหน้าของของแข็งเป็นฟิล์มบางๆ อัตราการแห้งในช่วงเวลานี้จะมีค่าคงที่ และการระเหยของน้ำจะเกิดขึ้นได้เสมือนกับว่าไม่มีของแข็งอยู่เลย ปรากฏการณ์นี้จะทำให้อัตราการอบแห้งมีค่าคงที่ เรียกช่วงเวลานี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period) ในช่วงนี้โครงสร้างของวัตถุจะไม่มีผลต่ออัตราการระเหยของของเหลวที่อยู่บนผิวหน้าของวัตถุเลย ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ ใอน้ำจะระเหยออกจากเนื้อของวัตถุ ต่อเมื่อน้ำไม่พอเพียงที่จะปกคลุมผิวหน้าของของแข็ง พื้นที่ที่เกิดการระเหยลดลงทำให้อัตราการแห้งไม่คงที่อีกต่อไป ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยตรงให้แก่ผิวของของแข็ง จึงทำให้ออกจากผิวของของแข็งแห้งแล้วอุณหภูมิที่ผิวของของแข็งจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นด้วย นั่นคือช่วงนี้จะเป็นช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่สิ้นสุดลง ความชื้นในช่วงสุดท้ายของ constant rate period เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) ในวัตถุนิคเดียวกันที่ถูกทำให้แห้งภายใต้ภาวะของระบบเดียวกัน อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะมีค่าความชื้นวิกฤตสูงกว่าสารที่มีอนุภาคขนาดเล็ก

2. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period)

เมื่อช่วง constant rate period สิ้นสุดลง อุณหภูมิของวัตถุจะเริ่มสูงขึ้น ของเหลวที่อยู่ผิวหน้าของวัตถุจะหมดไป ทำให้อัตราการแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว และสัมพันธ์กับการลดลงของความชื้น เรียกช่วงเวลานี้ว่า อัตราการแห้งลดลง (falling rate period) การแห้งในช่วงนี้พบว่าขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของสารเป็นอย่างมาก จนกระทั่งไม่อาจทำนายได้ด้วยวิธีทางทฤษฎี ทั้งนี้เนื่องจากระนาบที่เกิดการระเหยเป็นไอจะเคลื่อนถอยลึกเข้าไปในชั้นของของแข็ง ใอน้ำที่ระเหยจะแพร่ซึมผ่านชั้นของแข็งไปยังผิวหน้าก่อนแพร่ซึมเข้าไปในกระแสตัวกลางทำแห้ง อุณหภูมิของชั้นของแข็งแห้งจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และอุณหภูมิจะลดจากผิวนอกที่สัมผัสกับตัวกลางทำแห้งร้อน ไปจนถึงตำแหน่งที่เป็นระนาบที่เกิดการระเหยของน้ำ การถ่ายเทของน้ำในของแข็งนี้มีผู้พยายามอธิบายโดยอาศัย ทฤษฎี 2 ทฤษฎี คือ การแพร่ซึม (diffusion) ซึ่งน้ำจะแพร่ซึมมายังระนาบที่เกิดการระเหย และแคปิลลารี (capillary) ซึ่งน้ำจะเกิดการถ่ายเทภายใต้ภาวะของแรงแคปิลลารี (capillary force) อย่างไร

ก็ตามพบว่าทั้ง 2 ทฤษฎียังไม่อาจใช้ทำนายการแห้งตัวได้อย่างถูกต้อง (Mark, 1979; Van Arsdel, 1973)

2.3.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

ในการทำแห้งอาหารต่างๆ ไป มีปัจจัยหลายประการที่ทำให้การอบแห้งนั้นเกิดได้เร็ว และช้า ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว นอกจากนั้นพื้นที่ผิวของอาหารก็จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งมาก อาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก การอบแห้งก็จะทำได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่างของอาหาร ส่วนใหญ่จะคำนึงถึงเฉพาะความหนาของอาหารเนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร ยิ่งอาหารมีความหนามากขึ้น การอบแห้งจะเกิดได้ช้าลง

3. ปริมาณอาหาร อาหารที่ใส่ในเครื่องอบแห้งและการจัดเรียงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง การใส่ปริมาณอาหารมากเกินไปเข้าไปในเครื่องอบแห้ง จะทำให้การอบแห้งทำได้ไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะบริเวณช่วงกลางๆ น้ำจะระเหยออกได้ไม่ดี ความร้อนเข้าไปไม่ค่อยถึง ยิ่งถ้าจัดเรียงตัวกันไม่ดีแล้ว จะทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้ามาก

4. ปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) เมื่อทำการอบแห้งโดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ ความชื้นของผลผลิตจะลดต่ำลงจนถึงจุดๆ หนึ่ง ซึ่งผลผลิตมีความคงที่หรือความชื้นในผลผลิตมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ เรียกความชื้นนี้ว่า “ปริมาณความชื้นสมดุล” ค่าปริมาณความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิต อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

5. คุณสมบัติอากาศชื้น

อากาศชื้นประกอบด้วย อากาศแห้งและไอน้ำ ซึ่งโดยปกติจะใช้เป็นตัวกลางในกระบวนการอบแห้ง ส่วนอากาศที่ไม่มีไอน้ำอยู่ เรียกว่า “อากาศแห้ง”

คุณสมบัติอากาศชื้นจะแสดงตามแผนภูมิอากาศชื้น โดยมีค่าจำกัดความและเครื่องหมายดังนี้

1. อุณหภูมิกระเปาะเปียก, T_{wb} ($^{\circ}\text{C}$) คือค่าอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่หุ้มกระเปาะด้วยผ้าเปียก และสัมผัสกับอากาศด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 5 เมตร/วินาที
2. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, T_{db} ($^{\circ}\text{C}$) คืออุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์หรือเครื่องมือวัดอุณหภูมิทั่วไป

3. ความดันไอของไอน้ำในอากาศ, P_v คือส่วนของความดันย่อย ที่กระทำโดยโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น ส่วนอากาศที่อิมตัวด้วยไอน้ำ จะเรียกความดันไอน้ำนี้ว่าความดันไอน้ำอิมตัว (P_{vs})
4. อัตราส่วนความชื้น, W (kg/kg-dryair) คือมวลของไอน้ำในอากาศชื้นต่อมวลของอากาศแห้งในอากาศชื้น
5. ความชื้นสัมพัทธ์, RH (%) คืออัตราส่วนของความดันไอของไอน้ำในอากาศชื้นต่อความดันไอของน้ำ ในอากาศอิมตัว ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน
6. ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น, V (cm³/kg) คือปริมาตรอากาศชื้นต่อ 1 กิโลกรัมของอากาศแห้ง
7. จุดน้ำค้าง, T_{dp} (°C) คืออุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่น เมื่ออากาศนั้นถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นและความดันบรรยากาศคงที่
8. เอนทาลปี, h (kJ/kg) คือพลังงาน (ปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในสสารที่อุณหภูมิกำหนด) ต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง

2.4 เครื่องอบแห้งด้วยกระแสลมร้อน (Hot air driers)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีส่วนประกอบหลักคือ เครื่องให้ความร้อน (heater) ไบพัสสำหรับเป่าลมร้อนกระจายทั่วอาหาร และทางระบายไอน้ำเพื่อให้ระเหยออกสู่ภายนอก ถ้าเป็นอาหารที่มีขนาดใหญ่ควรจะอบทีละชุด (batch process) เพราะใช้เวลาอบนาน ส่วนอาหารที่เป็นชิ้นเล็กๆ เช่น ถั่ว ธัญพืช หรือข้าวโพดสามารถใช้ระบบต่อเนื่องได้

เครื่องอบแห้งประเภทถาด (Cabinet, tray driers)

เครื่องอบนี้จะสร้างเป็นชั้นวางอาหาร ชั้นต่างๆ ทำด้วยโลหะบุฉนวน ส่วนอาหารจะใส่ในถาดตามชั้นเหล่านี้ เครื่องให้ความร้อนอาจติดตั้งอยู่ด้านบน เพื่อกระจายความร้อนลงสู่อาหาร หรืออาจติดตั้งทางด้านข้างเพื่อถ่ายเทความร้อนทั้งด้านบนและด้านล่าง (รูปที่ 2-2)

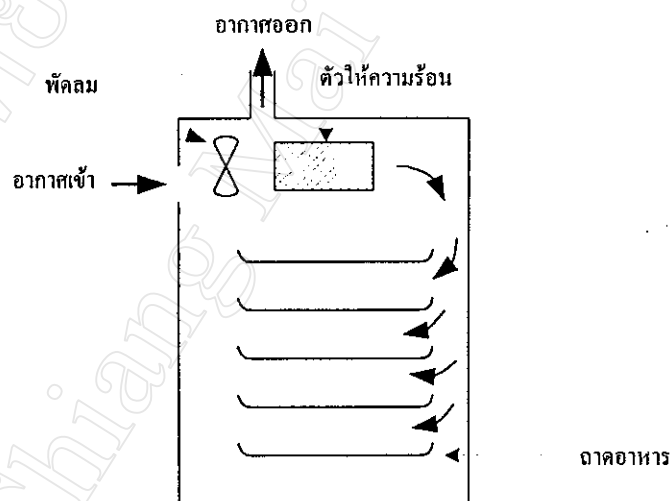
เครื่องให้ความร้อนนี้อาจใช้ระบบเผาไหม้ด้วยแก๊ส หรือไอน้ำเดือด หรือไฟฟ้า มีไบพัสในบริเวณใกล้เคียงกับเครื่องให้ความร้อน เพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วตู้อบ นอกจากนั้นจะเห็นว่าที่ด้านบนจะมีทางระบายไอน้ำออก ทำให้อาหารแห้งเร็วขึ้น จากรูป 2-3 อาจเสริมเครื่องให้ความร้อนซึ่งตั้งอุณหภูมิต่ำไว้ระหว่างชั้นต่างๆ จะช่วยเพิ่มอัตราการระเหยของไอน้ำด้วย (อรุณี, 2530)

ถ้าความร้อนถ่ายเทจากลมร้อนทั้งหมด การอบแห้งในคานบนี้จะเป็นคานอัตราแห้งคงที่ ความชื้นของอากาศก็จะเข้าใกล้เส้นกระเปาะเปียก อย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ จึงได้มีการติดตั้งตัวให้ความร้อนภายในตู้อีกตัวหนึ่ง จากการติดตั้งตัวให้ความร้อนเพิ่มนี้เอง ทำให้อากาศ

สามารถดูดซับปริมาณน้ำได้มากขึ้นต่อหนึ่งหน่วยของอากาศ แต่ในขณะเดียวกันอุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารก็จะสูงกว่าอุณหภูมิของกระเปาะแห้ง เมื่อเป็นเช่นนี้อาจจะต้องมีการติดตั้งตัวควบคุมอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าหากว่าอุณหภูมิสูงเกินไป

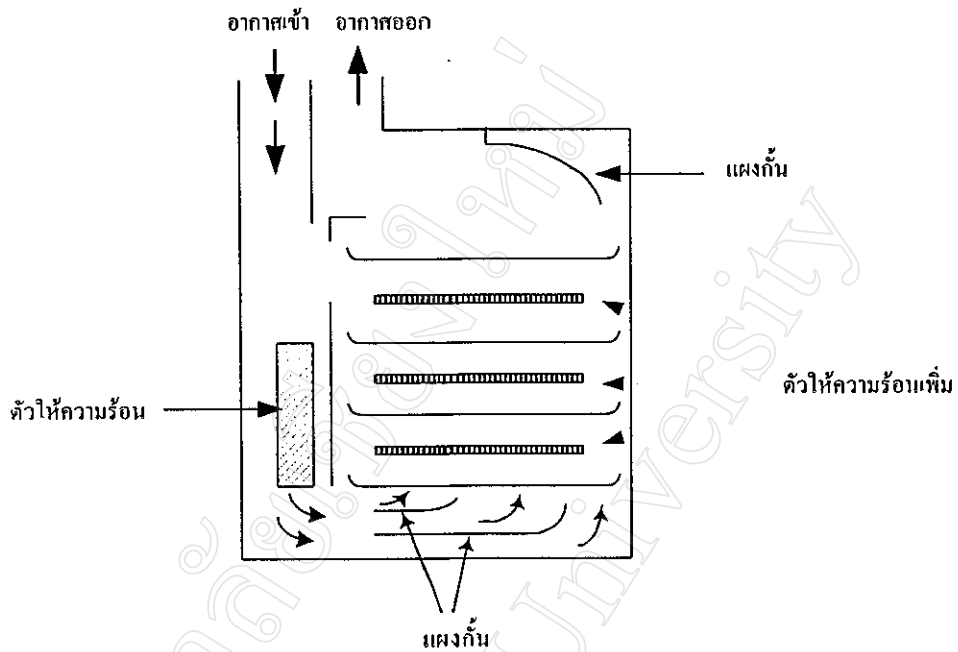
เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของพื้นที่ที่ใช้อบแห้ง และชั้นความหนาของอาหารที่จะอบแห้งของเครื่องนี้จะพบว่า ถ้าลมร้อนผ่านเข้าไปยังชั้นของอาหารที่ไม่แน่นมาก พื้นที่ผิวของอาหารสัมผัสกับลมร้อนได้เกือบทุกด้าน โดยมีค่าเท่ากับความหนาเฉลี่ยของอาหารนั้น แต่ถ้าอาหารถูกจัดวางอัดแน่นมาก พื้นที่ผิวสัมผัสของชั้นอาหารก็จะมีค่าเท่ากับพื้นที่ผิวของถาดที่บรรจุอาหารนั้น และมีความหนาเท่ากับความสูงของถาดนั้นๆ (ไพบูลย์, 2532)

เครื่องอบเป็นชั้นเหมาะสำหรับโรงงานขนาดเล็ก เพราะค่าใช้จ่ายในการลงทุนไม่สูงมาก และใช้อบแห้งอาหารได้หลายชนิด



รูปที่ 2-2 ลักษณะของเครื่องอบแห้งประเภทถาด

ที่มา : Karel (1975)



รูปที่ 2-3 เครื่องอบแห้งประเภทถาดที่มีตัวให้ความร้อนเพิ่ม
ที่มา : Karel (1975)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องอบแห้งที่นิยมใช้กับพวกผักสด และผลไม้ ได้แก่ Tunnel dryer และ Cabinet dryer หรือ Tray dryer (เจียมจิต, 2527)

สมยศ (2530) อบมะม่วงแช่แข็งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ Tray dryer ขนาด 32x34x22 inch ปริมาตรภายใน 0.39 m³ แบ่งเป็น 6 ชั้น อบภายใต้อุณหภูมิ 40°C ได้มะม่วงแช่แข็งมีสีดีน่ารับประทาน

สิงหนาท และคณะ (2534) ทดลองอบผักกาดหางหงส์ ผักกะหล่ำปลี และผักกาดแก้ว ด้วยตู้อบแบบถาด (Tray dryer) ขนาดตู้ 0.80x0.60x1.03 m ด้านบนและด้านข้างตู้อบมีช่องระบายอากาศ โดยอาศัยการพาความร้อนตามธรรมชาติ ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง ด้านในตู้แบ่งเป็น 3 ชั้น ด้านล่างติดตั้งเตาแก๊สแบบหัวกะโหลก บนเตามีแผ่นเหล็กเพื่อส่งถ่ายความร้อนให้กระจายทั่วตู้ สามารถอบผักต่างๆ ดังกล่าวให้แห้งที่อุณหภูมิ 50°C โดยมีสี และคุณภาพดี

เจียมจิต (2527) ทดลองอบกระเทียมด้วยตู้อบแบบถาด (Tray dryer) ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน มีพัดลมช่วยในการไหลเวียนอากาศร้อนโดยเป่าอากาศผ่านแผงความร้อนด้วยความเร็วลมคงที่ตลอดการทดลอง ควบคุมพัดลมโดยปรับปุ่มควบคุมรอบพัดลมไว้ที่ตำแหน่ง 200 รอบกระเทียม

ด้วยอุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 45°C 55°C 70°C และ 80°C ในแต่ละการทดลอง ใช้เวลา 330 นาทีต่อการทดลอง ผลการทดลองได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลการวิจัยของกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งเสนอให้ใช้อุณหภูมิในช่วง 45°C - 60°C

Khattab (1996) พบว่าปัญหาของเครื่องอบแห้งแบบถาดจะให้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งไม่สม่ำเสมอ เช่นบางส่วนแห้งมากเกินไป บางส่วนยังคงมีความชื้นสูง ทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ลดลง ดังนั้นได้เสนอว่าการบรรจุผลิตภัณฑ์ในแต่ละถาดควรให้มีความสอดคล้องกับอากาศที่จะผ่านเข้ามายังถาดได้ กล่าวคืออากาศที่เย็นกว่าและมีความชื้นสูงจะเคลื่อนที่อยู่ด้านบน

สำหรับการอบแห้งหอมหัวใหญ่ยังเป็นเรื่องที่ไม่มีการเผยแพร่อย่างกว้างขวาง Mulet *et al.* (1989) และ Bertin and Blazquez (1986) กล่าวเอาไว้ว่าการอบแห้งที่เหมาะสมจะสำเร็จได้ต้องอาศัยความรู้อย่างลึกซึ้งในขบวนการอบแห้ง และลักษณะของวัตถุดิบ (Rapusas, 1995)

ครุณี (2523) ได้ทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นเป็นแว่น ขนาดความหนา 0.1 cm ด้วยตู้อบลมร้อน Burger Eisenwerke ผลิตที่ประเทศเยอรมัน อบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ได้หอมหัวใหญ่ที่มีความชื้นสุดท้าย 15.15% พบว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลเกือบเข้มแห้ง เที้ยว กลิ่นและรสสูญเสียเกือบหมด เมื่อเติมน้ำแล้วไม่สามารถทำให้กลับสู่สภาพเดิมได้ จึงสรุปเอาไว้ว่าการอบแห้งวิธีนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นที่ยอมรับ

Singh (1994) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งผักไฟฟ้าขนาดเล็ก แบบ Tray dryer ที่มีขนาด $2.750 \times 0.965 \times 2.605$ m ตัวห้องอบแบ่งเป็น 10 ชั้น ชั้นละ 2 ถาด (Two side-by-side stacks of 10) ให้อากาศร้อนเคลื่อนที่เข้าทางด้านล่างของตู้้อบออกทางด้านบนด้วยอัตราเร็วคงที่ $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$ วัตถุประสงค์อุณหภูมิอากาศในถาดชั้นที่ 1 4 7 และ 10 พบว่าแต่ละชั้นมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน โดยชั้นที่ 1 (อยู่ด้านล่าง) มีอุณหภูมิสูงที่สุด และอุณหภูมิลดลงตามระดับความสูง จึงทดลองสลับถาดทุกๆ 2 ชั่วโมง พบว่ากะหล่ำดอกทุกถาดแห้งสม่ำเสมอ อีกทั้งในการอบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นขนาด 0.30-0.35 cm ที่อุณหภูมิอากาศ 56°C ใช้เวลา 12 ชั่วโมง ในการลดความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น 92.5% เหลือ 7.5% สม่ำเสมอทุกถาด

Rapusas and Driscoll, (1995) ศึกษาลักษณะการแห้งของหอมหัวใหญ่หั่นสีขาว (White onion slices) อบแห้งแบบชั้นบาง (Thin layer) โดยอบหอมหัวใหญ่หั่นขนาด 0.2-0.5 cm ด้วยตู้อบแบบ Batch type (Tray dryer) ใช้อากาศร้อนอุณหภูมิ 42.5°C - 90°C มีความชื้น 0.0093-0.0442 kg-H₂O/kg-dry air ความเร็วลม 0.6-1.4 m/s ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศและความหนาของชั้นวัตถุดิบที่ใช้ในการอบแห้ง มีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการอบแห้ง (Drying rate) โดยที่อุณหภูมิอากาศ 90°C หอมหัวใหญ่หั่นมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70°C และ 50°C ตาม

ลำดับ และหอมหัวใหญ่หั่นชิ้นใหญ่จะมีความต้านทานการระเหยน้ำสูงกว่าชิ้นเล็ก โดยชิ้นขนาด 0.8 cm ใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด นานกว่าการอบชิ้นขนาดเล็ก 0.2 cm 大部分ความชื้นในอากาศและความเร็วลมนั้นมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งเพียงเล็กน้อย

Elustondo *et al.* (1996) ศึกษาแบบอบแห้งการคายน้ำของหอมหัวใหญ่หั่น โดยใช้เครื่องอบที่สร้างขึ้นในห้องทดลอง โดยเป่าลมผ่านหัวแก๊สได้อากาศร้อนส่งผ่านตามท่อเข้าทางใต้ตะแกรงบรรจุชิ้นวัตถุดิบออกทางด้านบน ตลอดการทดลองใช้สภาวะเดียวกัน คือ ที่อุณหภูมิ 55°C ความเร็วลม 3.5 m/s ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 15% ชิ้นหอมหัวใหญ่ตัวอย่างมี dry matter 7% ความหนาของกาบใบอยู่ในช่วง 0.3-0.6 cm หั่นหอมหัวใหญ่เป็น 3 ขนาด คือ 0.5 1.0 และ 1.5 cm ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนาดชิ้นหอมหัวใหญ่หั่นมีผลต่ออัตราการอบแห้ง โดยชิ้นหอมหัวใหญ่หั่นที่มีกาบหนา 0.3 cm พบว่าหอมหัวใหญ่หั่นขนาด 0.5 cm ใช้เวลาในการอบน้อยกว่าขนาด 1.0 1.5 และ 2.0 cm ตามลำดับ นอกจากนี้ขนาดชิ้นที่ต่างกันยังมีลักษณะการหดตัวต่างกัน พบว่าถ้าขนาดความกว้างของชิ้น < 1.5 เท่าของความหนาของกาบ เมื่อผ่านการอบแห้งผิวหน้าของชิ้น หอมหัวใหญ่หั่นจะยุบลงตรงกลางเป็นแอ่ง ปริมาณความชื้นต่ำมาก ชิ้นหอมหัวใหญ่หั่นจะแห้ง ตรงกันข้ามกับชิ้นที่มีความกว้างของชิ้น ≥ 2.5 เท่าของความหนาของกาบ เมื่อผ่านการอบแห้งบริเวณขอบรอบๆ ชิ้นหอมหัวใหญ่หั่นจะแห้งแข็งยุบติดกัน ส่วนตัวชิ้นยังคงมีปริมาณน้ำ และรูปร่างคงเดิม ส่วนการสูญเสียน้ำเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผิวด้านหนา (ถูกตัด) กับด้านหน้า (ผิวปกติ) พบว่าด้านหน้าจะมีการสูญเสียน้ำระหว่างการอบมากกว่าด้านหน้าถึง 10 เท่า

Cabrera-Rabi *et al.* (1987) ทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่หั่น พบว่าการอบด้วยอุณหภูมิเริ่มต้น 75°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงจึงลดอุณหภูมิลงมาที่ 65°C เป็นการอบแห้งที่ดีที่สุด

Lewicki *et al.* (1998) ได้ทำการทดลองอบหอมหัวใหญ่พันธุ์โอปอลโต (Oporto) ด้วย Convective dryer ในห้องทดลอง เครื่องอบสามารถควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมได้ อบหอมหัวใหญ่หั่นขนาด 0.3 cm ใช้วัตถุดิบ 5 kg/m² อบด้วยอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิ 5 แบบ

1. อบด้วยอุณหภูมิตั้งที่ 60 °C 70 °C และ 80 °C
2. เริ่มอบที่อุณหภูมิ 70 °C จนกระทั่งน้ำระเหยออกไป 50% ลดอุณหภูมิลงเหลือ 60 °C
3. เริ่มอบที่อุณหภูมิ 70 °C จนกระทั่งน้ำระเหยออกไป 75% ลดอุณหภูมิลงเหลือ 60 °C
4. เริ่มอบที่อุณหภูมิ 80 °C จนกระทั่งน้ำระเหยออกไป 50% ลดอุณหภูมิลงเหลือ 60 °C
5. เริ่มอบที่อุณหภูมิ 80 °C จนกระทั่งน้ำระเหยออกไป 75% ลดอุณหภูมิลงเหลือ 60 °C

ผลการทดลองพบว่า

- การเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนในการอบแห้ง มีผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น และอัตราการแพร่ของน้ำดีขึ้น
- การลดอุณหภูมิเป็นช่วงๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Drying curve (เส้นกราฟการอบแห้ง) แต่มีผลต่อระยะเวลาการอบแห้ง โดยการลดอุณหภูมิจาก 70°C เป็น 60°C จะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าการอบด้วยอุณหภูมิกึ่งที่ 60°C ส่วนการลดอุณหภูมิจาก 80°C เป็น 60°C จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบด้วยอุณหภูมิกึ่งที่ 60°C