

บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1. ความจำเป็นของการลดอุณหภูมิ

ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผักทุกชนิดจะยังคงมีชีวิตอยู่ ด้วยการหายใจ (respiration) ซึ่งจะ
ใช้พลังงานจากธาตุอาหารที่สะสมอยู่ถ่ายทอดมาเป็นความร้อนซึ่งความร้อนนี้เรียกว่าความร้อนจาก
การหายใจ (heat of respiration) ผลผลิตที่มีอัตราการหายใจสูงจะเสื่อมคุณภาพได้เร็ว เนื่องจาก
ธาตุอาหารถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในอัตราที่สูง ฉะนั้นถ้าต้องการให้ผลผลิตมีคุณภาพสูงอยู่ได้นาน
สิ่งที่สำคัญก็คือ จะต้องลดอัตราการหายใจของผักให้เหลือน้อยที่สุด

การเก็บรักษาผักไว้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยการลดอุณหภูมิของผักลงมา หรือการทำความเย็นผัก
นั้น เป็นวิธีการลดอัตราการหายใจของผัก โดยอาจประมาณได้ว่าถ้าอุณหภูมิของผักลดลงทุกๆ 10
องศาเซลเซียส จะช่วยลดอัตราการหายใจได้ประมาณ 2-4 เท่า นอกจากนี้ผลผลิตที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ
ต่ำจะทำให้ชะลอการสุก ลดการสูญเสียน้ำ และชะลอการเสื่อม ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผักให้สูงอยู่
แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่จะเก็บรักษาผักนี้ต้องไม่ลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเสียหายด้วยความ
เย็นต่อผัก (chilling injury) อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผักนี้จะขึ้นอยู่กับชนิด และพันธุ์
ของผัก ดังนั้นการลดอุณหภูมิของผักลงแต่ไม่ควรต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเสียหาย และเก็บ
รักษาผักไว้ที่อุณหภูมินี้ จะทำให้รักษาคุณภาพของผักให้อยู่ในระดับสูงและเก็บไว้ได้นาน (เด่น,
2542)

2.2. ความสำคัญของการลดอุณหภูมิขั้นต้น (ระพีพรรณ, 2548)

1. ความหมายของการลดอุณหภูมิเฉียบพลัน

การลดอุณหภูมิเฉียบพลัน ถูกนำมาใช้ครั้งแรกโดย Powell และทีมงานในกระทรวงเกษตร
ของอเมริกาในปี 1904 โดยหมายถึง

- การดึงความร้อนจากแปลงปลูก (field heat) ออกจากผลผลิตที่เพิ่งเก็บเกี่ยวใหม่ เพื่อให้
กระบวนการเมแทบอลิซึมช้าลงและลดการสูญเสียน้ำก่อนการขนส่งและการเก็บรักษา
- การลดความร้อนจากแปลงของผลผลิตโดยทันที และการลดอุณหภูมิของผลผลิตอย่าง
รวดเร็ว

2. วัตถุประสงค์ของการกำจัดความร้อนแฝง (นิพนธ์, ไม่ระบุปีที่ตีพิมพ์)

1. จำกัดการทำงานของน้ำย่อยที่ทำให้เซลล์เสื่อม และลดอัตราการหายใจ ซึ่งเป็นสาเหตุให้
ผลผลิตเน่า และ
2. จำกัดการคายน้ำซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตเหี่ยว

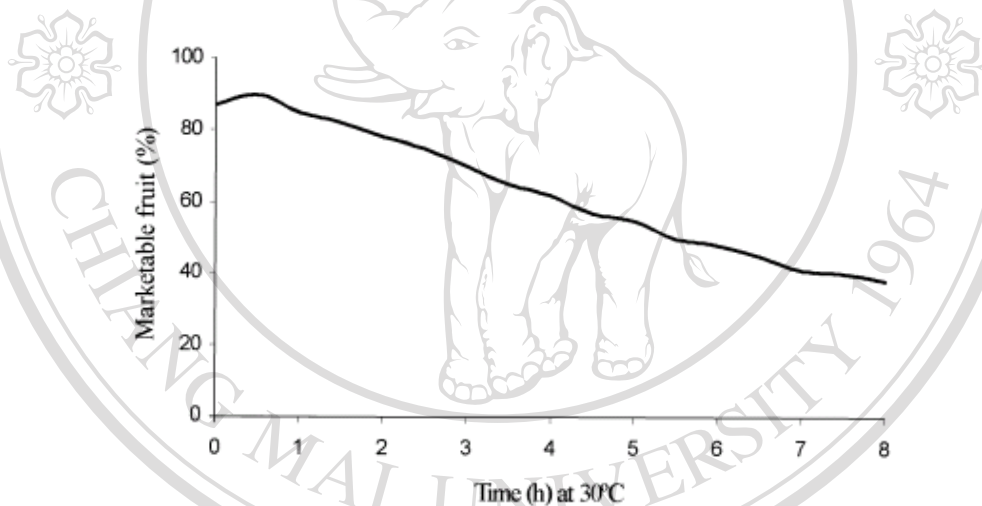
3. ลดหรือจำกัดการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้ผลิตผลเน่าเสีย

4. จำกัดการสร้างเอทิลีนซึ่งเร่งความแก่ของเนื้อเยื่อพืช และลดการตอบสนองต่อเอทิลีนของพืช

การเลือกวิธีกำจัดความร้อนแฝงอย่างรวดเร็ว และเหมาะสม จะช่วยขยายระยะเวลาการตลาด โดยรักษาคุณภาพผลิตผลเป็นเวลานานกว่าปกติ ทั้งระหว่างรอการขนส่งสู่ตลาดและระยะที่วางขายในตลาด

3. ความสำคัญของช่วงระยะเวลา (lag time) ระหว่างการเก็บเกี่ยวกับการทำให้เย็น

ความร้อนจากแปลงปลูก สามารถทำให้เกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็วในผลผลิตพืชสวน ดังนั้นการดึงความร้อนที่ติดมานี้ออกไปให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ภายหลังการเก็บเกี่ยว จึงสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและเป็นการเพิ่มคุณภาพให้แก่ผลิตผล



ภาพที่ 2.1 แสดงเวลาที่มีผลต่อคุณภาพผลสตรอเบอรี่ก่อนการลดอุณหภูมิ

ที่มา : Brosnan and Sun, 2001.

2.3. ปัจจัยที่มีผลต่อวิธีการลดอุณหภูมิเฉียบพลัน

เทคนิคในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันให้แก่ผักนั้น มีด้วยกันหลากหลายวิธี โดยมีเป้าหมายอย่างเดียวกันคือการดึงความร้อนจากแปลงปลูกออกจากผักทันทีหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งวิธีที่ต่างกันก็จะให้ผลได้ดีกับผักแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป โดยในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมนั้นควรพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. **ธรรมชาติของผัก** ประเภทของผักที่ต่างกัน ต้องการการทำความเย็นที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น สตรอเบอรี่และบรอกโคลี่ ต้องการอุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็งในขณะที่น้ำเต้า และ

มะเขือเทศอาจจะได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำเกินไป ในทำนองเดียวกัน เนื่องจากปัญหาอาจเกิดจากความเปียกชื้นของผัก เช่น ดอกไม้บางอย่างอาจอ่อนแอต่อเชื้อราสีเทา (gray mould) และอาจไม่เหมาะต่อการทำให้เย็นโดยใช้น้ำ

2. การใช้บรรจุภัณฑ์ การเลือกวิธีการทำให้เย็นได้รับอิทธิพลอย่างมากจากชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ผลผลิตอาจถูกบรรจุในกล่อง ถังหรือถุง ที่จะเปลี่ยนและมีผลต่อความต้องการในการทำให้เย็น และมีอิทธิพลต่อเทคโนโลยีการทำความเย็นที่จะช่วยลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว รูปแบบของบรรจุภัณฑ์และวัสดุมีผลต่อการเลือกวิธีการทำให้เย็นและอัตราการทำให้เย็น เช่น บรรจุภัณฑ์ที่มีรูพรุน สามารถทำการลดอุณหภูมิลงได้เร็วและมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท

3. การไหลของผลิตภัณฑ์ เทคนิคการทำความเย็นบางอย่างมีความรวดเร็วกว่าวิธีอื่น และมีความแตกต่างในผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ถ้าปริมาณของผลผลิตที่ต้องทำให้เย็นต่อฤดูกาล ต่อวัน หรือต่อชั่วโมงมีปริมาณมาก เทคนิคการทำความเย็นที่รวดเร็วจึงมีความจำเป็นเพื่อให้สามารถผลิตได้อย่างเพียงพอ ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ในการทำความเย็น และขั้นตอนการบรรจุหรือการจับคู่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ควรได้รับการพิจารณาเพื่อมิให้เกิดการติดขัดในระหว่างการผลิตในโรงงาน

4. ข้อพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนการก่อสร้างและการดำเนินงานมีความผันแปรอย่างมาก ระหว่างวิธีการทำให้เย็นแต่ละวิธี ค่าใช้จ่ายในการเลือกเทคนิคการทำความเย็นต้องมีความสมเหตุสมผล ได้ราคาขายที่สูง หรือทำให้ได้ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจอื่นๆ ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของแต่ละวิธี

2.4. การลดความร้อนโดยใช้ระบบสุญญากาศ

การลดอุณหภูมิในระบบสุญญากาศ เป็นการระเหยความชื้นหรือน้ำอย่างรวดเร็วจากผิวหนังและภายในผักเพื่อลดอุณหภูมิ โดยที่โครงสร้างของผักไม่ถูกทำลาย (Sun and Zheng, 2004) เหมาะสำหรับผักที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เป็นการระเหยน้ำที่ความดันต่ำ เมื่อน้ำระเหยกลายเป็นไอจะต้องใช้พลังงานแฝง (latent energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่โมเลกุลสะสมเพื่อนำไปใช้ในการต้านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และพลังงานแฝงนี้จะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับสถานะของน้ำ เมื่อน้ำได้รับพลังงานแฝง จะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ส่งผลให้พลังงานภายในมีมากขึ้น ความร้อนแฝง (latent heat) นี้เกิดการถ่ายเทพลังงานแฝงระหว่างสิ่งแวดล้อมกับระบบให้กันและกันแล้วจะทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนสถานะ (วงศก, 2545)

อุณหภูมิของน้ำเริ่มระเหยขึ้นอยู่กับความดันไอน้ำของสิ่งแวดล้อมโดยตรง ในผักประกอบด้วยปริมาณน้ำอิสระ ถ้าผักถูกนำไปไว้ในห้องที่ปิด ความดันจะลดลงโดยปั๊มดูดอากาศออกความดันที่แตกต่างกันระหว่างน้ำในผักและสภาพแวดล้อมจะเป็นสาเหตุทำให้น้ำระเหยและ

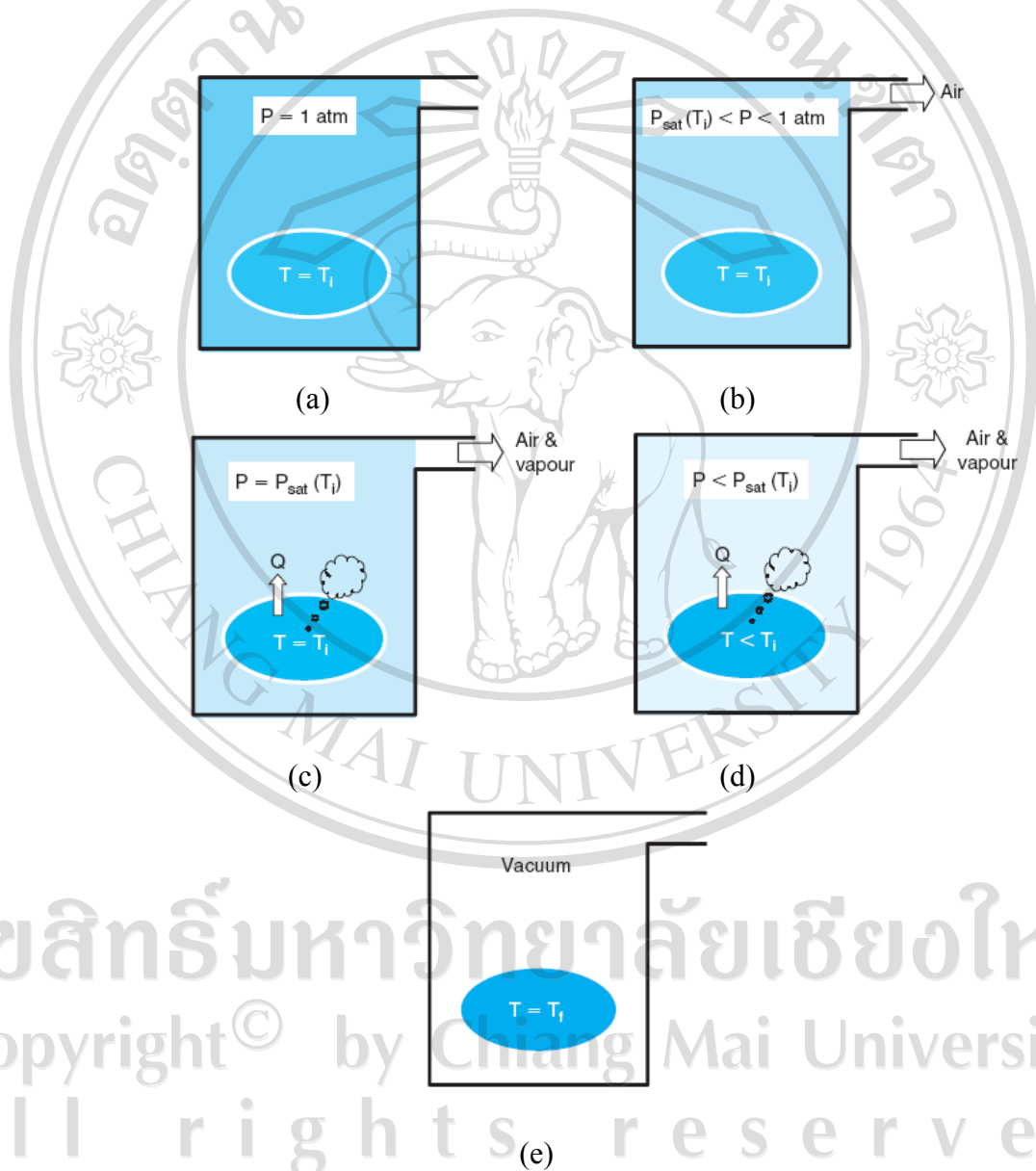
กลั่นตัวเป็นไอน้ำเพื่อออกไปสู่บรรยากาศแวดล้อม ตัวกลางในการนำความร้อนคืออากาศ ผลที่ได้คือผักจะมีอุณหภูมิลดต่ำลง มีการระเหยของน้ำกลายเป็นไอน้ำอย่างต่อเนื่อง และอุณหภูมิสุดท้ายของผักสามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ (Sun and Zheng, 2006)

ปัจจุบันได้มีการศึกษาการลดอุณหภูมิในระบบสุญญากาศอย่างกว้างขวาง โดยนำมาใช้กับผักและผลไม้ เนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อ ปลาและผลิตภัณฑ์ปลา ซอส ชุป ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และอาหารสำเร็จรูป (McDonal and Sun, 2000) เนื่องจากใช้เวลาน้อย ยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นาน พัฒนาคูณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ (Sun and Zheng, 2004) ประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิในระบบสุญญากาศขึ้นกับอัตราส่วนพื้นที่ผิวระเหยต่อปริมาตร จึงเหมาะกับผักประเภทผักใบ (leafy vegetable) ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำระบบสุญญากาศมาใช้เชิงการค้ากับผลิตผลทางการเกษตรจำพวกผักใบที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น ผักกาดหอมห่อ กะหล่ำปลี เป็นต้น (พัลลภ, 2550)

2.5. หลักการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทั่วไป (Sun and Zheng, 2005 ; 2006)

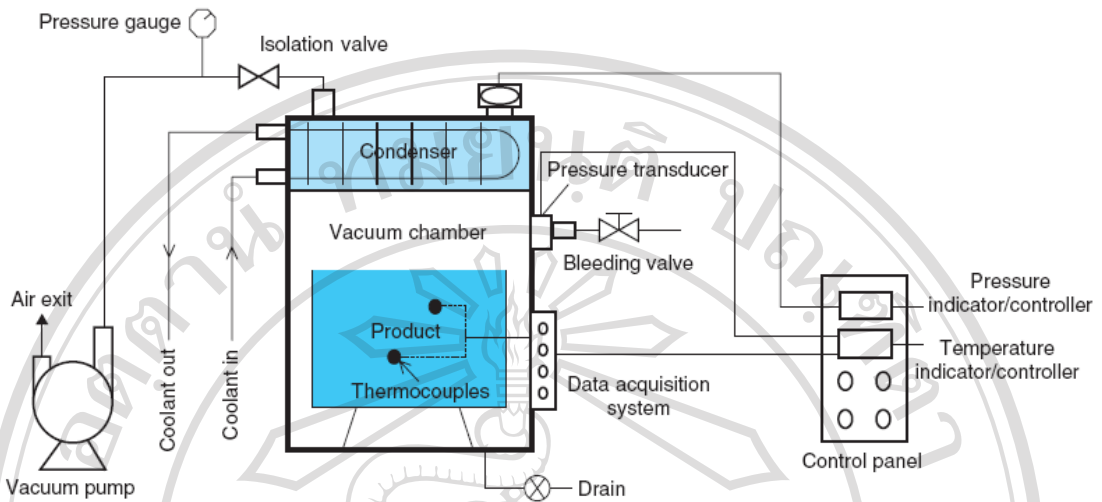
1. ผักมีอุณหภูมิเริ่มต้น (T_i) นำไปจัดเรียงในห้องลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศแล้วปิดประตู (ภาพที่ 2.2a)
2. เปิดสวิตช์เครื่องปั๊มสุญญากาศรอให้ความดัน (P) ลดลงจนถึงความดันอิ่มตัว (P_{sat}) ที่เท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้นของผัก ในช่วงแรก $P > P_{sat}$ ดังภาพที่ 2.2b ยังไม่เกิดการระเหยของน้ำในผัก เมื่อ $P = P_{sat}$ น้ำในผักเริ่มเกิดการระเหยโดยใช้ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่สะสมอยู่ในผัก (ภาพที่ 2.2c) โดยการระเหยเริ่มต้นมักจะใช้เวลาประมาณ 7-10 นาที ขึ้นอยู่กับขนาดของห้องลดอุณหภูมิและประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศ
3. เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงอยู่ในสภาวะพร้อมที่จะทำงานโดยความดันจะถูกกำหนดด้วย flash point คือ เวลาที่ใช้ในการลดความดันในห้องสุญญากาศก่อนที่น้ำจะเริ่มมีการเดือด ปั๊มสุญญากาศจะดูดอากาศออกแต่ยังไม่ทำความเย็น
4. เมื่อใกล้ถึงจุด flash point น้ำจะเริ่มระเหยกลายเป็นไอ และถูกดูดออกโดยปั๊มสุญญากาศหรือเกิดการควบแน่น ส่งผลให้ความดันภายในจะลดลง โดย $P < P_{sat}$ ดังนั้นการระเหยของน้ำจะเกิดขึ้น (ภาพที่ 2.2d) การลดอุณหภูมิจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ (T_f) (ภาพที่ 2.2e) กระบวนการจึงสิ้นสุดลง
5. เมื่อกระบวนการสิ้นสุดลงแล้วระบายอากาศจะเปิดออกและอากาศจะไหลเข้าสู่ห้องลดอุณหภูมิ ผักจะถูกนำออกมาจากห้องลดอุณหภูมิและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

ในระหว่างการลดอุณหภูมิ พืชผักใบจะสูญเสียน้ำร้อยละ 1.5-4.7 หรือประมาณร้อยละ 1 ต่ออุณหภูมิที่ลดลง 12.2 องศาเซลเซียส (เด่น, 2542) วิธีนี้จะทำให้น้ำระเหยออกจากผักอย่างรวดเร็ว ผักบางชนิดอาจจะเหี่ยว เนื่องจากสูญเสียน้ำมากถ้าหากใช้เวลานานเกินไป ดังนั้นก่อนนำผักเข้าลดอุณหภูมิจะต้องใช้น้ำเย็นฉีดพ่นให้ใบเปียก หลังจากลดอุณหภูมิจำเป็นต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและขนส่งโดยใช้รถห้องเย็น

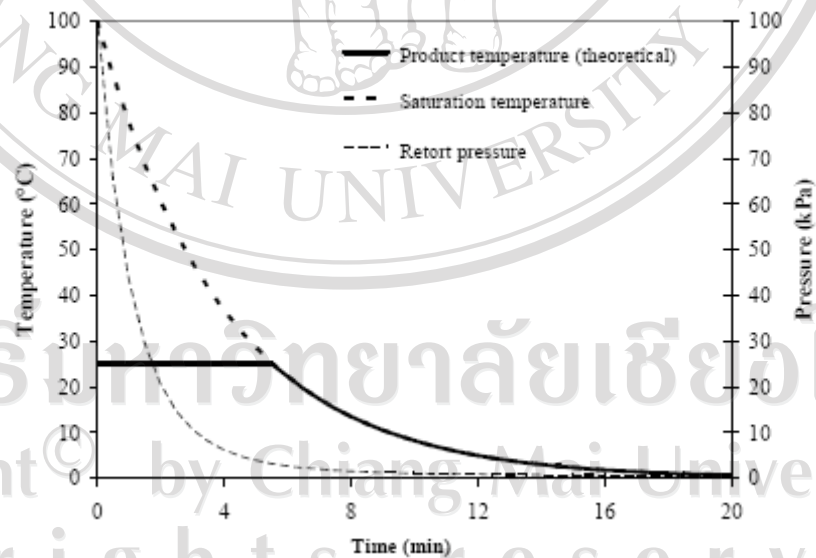


ภาพที่ 2.2 แสดงภาพจำลองการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ที่มา : Sun and Zheng, 2005.



ภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างทั่วไปของเครื่องทำความเย็นโดยใช้ระบบสุญญากาศ
ที่มา : Sun and Zheng, 2005



ภาพที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิอุดมคติผลิตภัณฑ์ ความดันและอุณหภูมิอิ่มตัวในห้องสุญญากาศ กับเวลาสำหรับการลดความเย็นโดยใช้ระบบสุญญากาศทั่วไป
ที่มา : Renin, 2006.

การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยสมมุติให้สภาวะการทำงานเริ่มต้นที่ความดันและอุณหภูมิบรรยากาศ ซึ่งอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศ ขณะที่ทำการลดความดันอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะยังคงที่จนกระทั่งความดันได้มาถึงจุดอิ่มตัว ณ ระดับความดันที่ต้องการสภาวะนี้อากาศที่อยู่ภายในห้องจะหายไป ปริมาณของอากาศที่อยู่ภายในห้องลดอุณหภูมิจะถูกแทนที่ด้วยไอน้ำที่ระเหยออกจากผิวของผลิตภัณฑ์ ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิจะถูกควบคุมให้คงที่ โดยอาศัยคุณสมบัติเกี่ยวกับความดันไอ คือที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งของเหลวจะมีค่าความดันไออยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่แน่นอน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดันไออิ่มตัว (มิลลิเมตรปรอท)
0	4.58
1	4.93
2	5.29
3	5.68
4	6.10
5	6.54
6	7.01
7	7.51
8	8.04
9	8.61
10	9.21
11	9.84
12	10.52
13	11.23
14	11.99
15	12.79

ที่มา : Yunus, 1994.

ได้มีการนำเทคนิคการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้โดยใช้ระบบสุญญากาศมาใช้ในการค้าครั้งแรกที่ Salinas, California ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี 1948 โดยนำมาใช้กับผักกาดหอมห่อพันธุ์ iceberg (Rennie, 2006) และได้นำเทคโนโลยีนี้มาใช้กับผักอีกหลายหลายชนิด เช่น ผักกาดหอมห่อพันธุ์ต่างๆ ผักขม กะหล่ำ ผักกาดฮ่องเต้ ถั่ว เห็ด หัวหอม และผักใบชนิดต่างๆ เป็นต้น โดยทำการลดอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 20-22 องศาเซลเซียส โดยมีความดันในระบบที่ทำการลดอุณหภูมิประมาณ 4-4.6 มิลลิเมตรปรอท ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิประมาณ 25-30 นาที (ตารางที่ 2.2) การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศอาศัยการลดความดันบรรยากาศจนกระทั่งถึงระดับความดันไอ (saturated water vapor pressure) อิมตัวของผัก ณ อุณหภูมิที่ต้องการ ทำให้จุดเดือดของน้ำมีอุณหภูมิต่ำลง ซึ่งที่ความดัน 4.6 มิลลิเมตรปรอท น้ำจะมีจุดเดือดที่ 0 องศาเซลเซียส

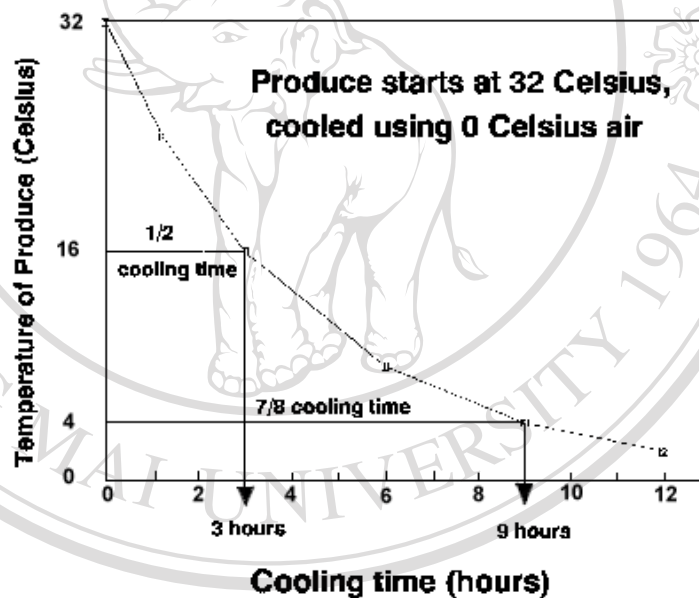
ตารางที่ 2.2 ผลของการลดอุณหภูมิผักและผลไม้โดยใช้ระบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 20-22 องศาเซลเซียส ความดันไออิมตัว 4-4.6 มิลลิเมตรปรอท โดยใช้เวลา 25-30 นาที

ชนิดของผลิตผล	อุณหภูมิของผลิตผลเมื่อผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
Potatoes	18
Carrot roots	14
Snap beans	12
Cabbage	7
Celery	7
Peas	6
Broccoli	5.5
Corn	4.5
Carrot tops	2
Lettuce	1
Green onions	1

ที่มา : Thomson, 1996.

2.6. ลักษณะกราฟของการลดอุณหภูมิ

เมื่อทำการลดอุณหภูมิของผักลง (ภาพที่ 2.5) ในช่วงแรกอุณหภูมิของผักจะลดลงอย่างรวดเร็ว ต่างจากในช่วงหลังซึ่งอุณหภูมิจจะค่อยๆ ลดลง ในการเปรียบเทียบความเร็วในการลดความร้อนด้วยวิธีต่างๆ นั้น สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า half-cooling time ($t_{1/2}$) ซึ่งหมายถึง เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผักลงครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผักเมื่อเริ่มต้นกับอุณหภูมิของตัวกลาง จากกราฟจะเห็นว่า หากต้องการให้อุณหภูมิของผักเย็นลงเท่ากับอุณหภูมิของตัวกลางแล้ว เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจะยาวนานมาก ดังนั้นการลดอุณหภูมิลงให้ได้ภายในเวลาอันสั้นจำเป็นต้องใช้ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ แต่ต้องไม่ต่ำเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายกับผัก (ภักดี, 2547)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 ภาพที่ 2.5 แสดงอัตราการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้
 ที่มา : www.omafea.gov.on.ca/english/engineer/facts198-031f4.gif
 All rights reserved

2.7. ประโยชน์ของการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (McDonald and Sun, 2000)

1. การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศเป็นการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว ใช้เวลาสั้นเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ (Rennie, 2006)
2. ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ (Rennie, 2006)
3. ช่วยลดการสูญเสียทางกล
4. ค่าดำเนินการต่ำ ถึงแม้เครื่องลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศจะมีราคาสูงแต่ในการดำเนินการในแต่ละครั้งมีต้นทุนต่ำกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากใช้เวลาในการลดอุณหภูมิล้นกว่าวิธีอื่น
5. ช่วยลดเชื้อจุลินทรีย์
6. สามารถกำหนดอุณหภูมิเป้าหมายตามที่ต้องการ
7. สามารถลดอุณหภูมิได้เมื่อบรรจุในภาชนะบรรจุโดยไม่ต้องคำนึงถึงตัวกลาง เนื่องจากอาศัยหลักการการระเหยของน้ำ

2.8. ข้อเสียของการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (Sun and Zheng, 2005)

1. มีจำกัดกับผลิตภัณฑ์ เพราะเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพรุนและมีความชื้น
2. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ส่วนใหญ่ต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น ผักใบ
3. หลักการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศอาศัยการระเหยของน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักสดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียมากกว่าการลดอุณหภูมิแบบอื่น
4. ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายมากทำให้ได้จำนวนผลิตภัณฑ์น้อยลง ถ้าไรลดลง ได้มีการคิดค้นวิธีการช่วยลดการสูญเสียน้ำโดยมีการฉีดพ่นน้ำผลิตภัณฑ์ก่อนทำการลดอุณหภูมิและการติดตั้งหัวฉีดน้ำภายในห้องสุญญากาศเพื่อฉีดพ่นขณะทำการลดอุณหภูมิ
5. การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศอาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์
6. เครื่อง vacuum cooling มีราคาสูง (Macdonald and Sun, 2000) ทำให้มีต้นทุนเริ่มแรกสำหรับการลงทุนมีราคาสูงกว่าวิธีอื่นๆ เหมาะกับธุรกิจที่มีขนาดกลางขึ้นไป

2.9. ผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การนำ vacuum cooling มาประยุกต์ใช้เชิงการค้าในการลดอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อ (lettuce) พันธุ์ iceberg วิธีนี้เป็นการลดความร้อนแฝงในแปลง และการยืดอายุการเก็บรักษา (Harvey, 1963) ผักกาดหอมห่อ ถูกนำมาลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ ก่อนนำไปหุ้มฟิล์มพลาสติกชนิด polyvinylchloride (PVC) หรือหลังการบรรจุในถุง polypropylene (PP) (Haas and Gur, 1987; Artes and Martinez, 1995 ; 1996) การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ สามารถลดอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียส ไปถึง 1 องศาเซลเซียส ในเวลาน้อยกว่า 30 นาที (Everington, 1993) โดยปกติผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิปกติจะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 3-5 วัน แต่เมื่อนำไปลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้มากกว่า 14 วัน (Artes and Martinez, 1995 ; 1996)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับความดันในการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อ พบว่าที่ระดับความดันต่างๆ ไม่มีผลต่อคุณภาพโดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 16 วัน เมื่อเก็บรักษาที่ 1 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 คุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ การสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ (He *et al.*, 2004) การสูญเสียน้ำหนักที่ได้หลังการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ ไม่มีผลต่อคุณภาพที่ระดับความดันต่างๆ การสูญเสียน้ำหนักขณะการเก็บรักษาที่ความชื้นจะสูญเสียน้ำหนัก 2.9 เปอร์เซ็นต์ (Rennin *et al.*, 2001) จากการศึกษาพบว่าการทำ precooling แบบการใช้ระบบสุญญากาศนั้นจะให้ผลในผักประเภทผักใบดีกว่าพวกไม่มีใบ (non-leafy vegetables) และผลไม้ (fruit)

Turk and Celik ได้ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ของผักกาดหอมห่อพันธุ์ Yedikule และพันธุ์ Lital นำผักกาดหอมห่อมาบรรจุในถุงชนิด Polyethylene (PE) ก่อนนำมาลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ พบว่าการนำผักบรรจุก่อนการลดอุณหภูมิ ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก ภายหลังการลดอุณหภูมิเมื่อเปรียบเทียบกับผักที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (Rennie, 2006) และการศึกษาผักกาดหอมห่อพันธุ์ iceberg นำมาบรรจุถุงชนิด PP เจาะรู 33 รู และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรก่อนนำมาลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ เมื่อนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำมาวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70-75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2.5 วัน พบว่า ผักที่เก็บรักษาไว้ในถุงชนิด PP มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสคน้อยกว่า 0.93 เปอร์เซ็นต์ และผักที่ไม่ได้บรรจุในถุงมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสคนมากกว่า 0.93 เปอร์เซ็นต์ (Artes and Martinez, 1999)

การศึกษาการควบคุมอัตราการระเหยน้ำขณะทำการลดอุณหภูมิในไม้ตัดดอกลิลลี่ (lily) ที่ระดับความดัน 4 ความดันคือ 8.5, 9.35, 14.4 และ 374 มิลลิบาร์ต่อนาที พบว่า อัตราการสูญเสียน้ำ

น้ำลดลงจาก 5.4 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 3.7 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 374 และ 8.5 มิลลิบาร์ต่อนาที ตามลำดับ การควบคุมการระเหยของน้ำโดยการควบคุมความดันที่ระดับต่างๆ ไม่มีผลต่ออายุการปักแจกันและอุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการ การฉีดพ่นน้ำก่อนลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศช่วยให้การสูญเสียน้ำลดลง (Brosnan and Sun, 2003)

การยืดอายุการปักแจกันของดอกแดฟโฟดิล (daffodil) โดยแบ่งเป็นสองการทดลอง คือ ลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศมาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส แล้วนำไปแช่น้ำเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่ 19-20 องศาเซลเซียส และการทดลองที่สอง ทำการลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศมาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส แล้วนำมาเก็บที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 และ 10 วัน หลังจากนั้นนำไปแช่น้ำแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 19-20 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วนำมาเก็บไว้ในสภาวะเดียวกัน ผลที่ได้การทดลองแรกมีอายุการปักแจกันได้ 4 วันเมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมียาวเพียง 3 วัน ส่วนการทดลองที่สองมีอายุการปักแจกัน 4 วันสำหรับดอกที่แช่อยู่ในน้ำและมีอายุการปักแจกัน 3 วันสำหรับดอกที่ไม่ได้แช่น้ำโดยนำดอกไม้วางราบกับพื้น หลังจากเก็บไว้ 10 วัน สามารถยืดอายุได้ 2 และ 1 วัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ จากผลการศึกษพบว่าผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างสำหรับการเก็บรักษาแบบแช่น้ำและไม่มีน้ำ จึงเป็นเรื่องง่ายสำหรับการขนส่งเพื่อนำไปจำหน่าย (Brosnan and Sun, 1999)

การนำเทคโนโลยีการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมาใช้ในเห็ด เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา คุณภาพหลังจากการลดอุณหภูมิที่ได้มีคุณภาพสูงและไม่แตกต่างกับวิธีดั้งเดิม เมื่อนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Frost *et al.*, 1989) อย่างไรก็ตาม เห็ดที่นำมาลดความเย็นลงมีตำหนิเพียงเล็กน้อยจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ (browning reaction) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 วัน เมื่อนำเห็ดมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ (Gormley and MacCanna, 1967) การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศจากอุณหภูมิเห็ดเริ่มต้น 21 องศาเซลเซียส ไปถึงอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ทำให้เห็ดสูญเสียน้ำ 3.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าวิธีการทำแบบอากาศเย็น ซึ่งสูญเสียน้ำหนักสด 2 เปอร์เซ็นต์ แต่ขณะทำการเก็บรักษาไว้ที่สภาพเดียวกันพบว่า การสูญเสียน้ำของเห็ดที่ทำการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีค่าน้อยกว่าการใช้อากาศเย็น ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียน้ำในปริมาณที่ชดเชยกันพอดี การฉีดพ่นน้ำก่อนทำการลดอุณหภูมิลงอย่างเฉียบพลันจะทำให้ได้เห็ดมีปริมาณผลผลิตมากขึ้น (Tao *et al.*, 2006)

Barnard ได้ทำการศึกษาความผลของภาชนะบรรจุต่อการสูญเสียน้ำหนักและคุณภาพของเห็ด โดยทำการห่อหุ้มเห็ดในภาชนะที่ทำการเจาะรูก่อนนำไปลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศพบว่าเห็ดที่ห่อหุ้มให้คุณภาพดีกว่าเห็ดที่นำไปลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศแล้วค่อยนำไป

ห่อหุ้ม หลังจากการเก็บรักษาเห็ดไว้ในห้องเย็นเป็นเวลา 7 วัน พบว่าเห็ดมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่า 4.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม หลังจากเก็บรักษาไว้ 7 วัน เห็ดที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ ที่เก็บในตะกร้ามีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดสูงถึง 10.3 เปอร์เซ็นต์ (Sun and Wang, 2001)

การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำในหน่อไม้ โดยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ น้ำที่ใช้ลดความชื้น ความดันในห้องลดอุณหภูมิและอุณหภูมิของหน่อไม้ วิธีการทดลองภายในห้องลดอุณหภูมิ ขณะทำการลดความชื้นจะมีการปล่อยน้ำเย็นเข้าไปจนถึงกึ่งกลางของหน่อไม้ อุณหภูมิ น้ำเย็นจะถูกควบคุมด้วยความดันในห้องลดอุณหภูมิ หลังจากนั้นทำการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ ในการลดปริมาณน้ำที่ผิวและปริมาณน้ำในหน่อไม้ ผลที่ได้พบว่า วิธีนี้จะช่วยประหยัดเวลาในการลดอุณหภูมิและลดพลังงานที่ใช้ในวิธีการนี้ อายุการเก็บรักษานานขึ้นและมีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพความสดไว้ การเปรียบเทียบการทดลองที่ใช้อากาศเย็นไหลผ่านโดยใช้ร่วมกับการใช้น้ำ พบว่าวิธีลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ มีลักษณะปรากฏที่ดีกว่า มีคุณภาพดีและอายุการเก็บรักษายาวนานกว่า แต่วิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ว่า มีค่าใช้จ่ายสูงและมีปริมาณน้ำตาลน้อยกว่า (Cheng, 2006)

บริษัท Western Precooling Systems ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ออกแบบเครื่อง HydroVac โดยมีการฉีดพ่นน้ำก่อนเริ่มการลดอุณหภูมิโดยสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ เช่น ผักกาดหอมห่อ เซลอรี่ (celery) ข้าวโพดหวาน (sweet corn) (Rennie, 2006)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและคุณภาพในการทำ precooling ของบรอกโคลี (broccoli) และแครอทหั่นชิ้น (carrot) โดยเปรียบเทียบทั้งหมด 4 วิธี คือ vacuum cooling, blast cooling, cold room และ plate cooling พบว่า วิธีการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ เป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการฉีดพ่นน้ำที่ตัวผลิตภัณฑ์ก่อนทำการลดอุณหภูมิลงอย่างเฉียบพลันจะช่วยลดการสูญเสีย น้ำ และวิธีนี้ยังใช้เวลาในการทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว (Zhang and Sun, 2006) และการลดอุณหภูมิบรอกโคลีโดยใช้ระบบสุญญากาศจากอุณหภูมิใจกลางผัก 20 องศาเซลเซียส ไปถึง 2.5 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 9 นาที ซึ่งใช้เวลารวดเร็วกว่าการลดอุณหภูมิวิธี air blast cooling ซึ่งใช้เวลา 65 นาที (Sun and Wang, 2001)

การสูญเสียของผักกาดหอมห่อเกิดจากอาการจุดสีน้ำตาลแดงที่ก้าน (russet spotting) อาการสีน้ำตาลแดงที่เส้นกลางใบ (brown stain) อาการเส้นใบเป็นสีชมพู (pink rib) โรคน้ำและจากแบคทีเรีย (bacteria soft rot) (ยงยุทธ, 2535) Aharoni and Ben-Yehosua พบว่าการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ ผักกาดหอมห่อช่วยป้องกันการสูญเสียจากเชื้อแบคทีเรียโดยจะปรากฏเมื่อเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์เมื่อเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น (Rennie, 2006) ซึ่งสอดคล้องกับ

Artes and Martinez (1999) ซึ่งจะปรากฏเมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์เมื่อเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส โดยคุณภาพที่ได้ไม่แตกต่างกับผักที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไป 2.5 วัน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ผักกาดหอมที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ มีการเกิดอาการ pink rib และ heart-leaf injury น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผักที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ

ปัจจุบันได้มีการศึกษาการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศกับผักและผลไม้หลากหลายชนิด เช่น ผักกวม (spinach) มะเขือม่วง (eggplants) แตงกวา (cucumber) พริกหยวก (peppers) หัวผักกาด (turnips) สตรอเบอรี่ (strawberries) แบลคเคอร์แรนท์ (blackcurrants) และแตง (melons) โดยมีประสิทธิภาพที่ดีในการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ อย่างไรก็ตามผักพวกไม่มีใบ และผลไม้ มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศต่ำกว่าผักใบ (Sun and Zheng, 2006)

การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศในผักพวกไม่มีใบ เช่น มะเขือม่วง แตงกวา และแครอท มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิต่ำมาก โดยแตงกวามีอัตราการลดอุณหภูมิต่ำสุดในผัก 3 ชนิด มะเขือม่วงและแครอทมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการลดอุณหภูมิ 2.80 และ 3.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Sun and Wang, 2001)

การศึกษาการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศในผลไม้ เช่น สตรอเบอรี่ พบว่า สตรอเบอรี่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18-22 มิลลิเมตร สามารถลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิเริ่มต้น 20.4 องศาเซลเซียสไปถึง 3 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 30 นาที และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด 2.3 เปอร์เซ็นต์ การลดอุณหภูมिवิธีนี้สามารถช่วยลดการสูญเสียทางคุณภาพได้ เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม (Sun and Wang, 2001)

2.10. สารต้านอนุมูลอิสระ

ในปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระหรือสารแอนติออกซิแดนซ์ (antioxidant) เป็นที่รู้จักกันมากขึ้นโดยเฉพาะในด้านที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ สามารถยับยั้งและควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ สามารถป้องกันการเสื่อมเสียของเซลล์อันเป็นผลมาจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายของคนเรา รวมทั้งช่วยป้องกันการเสื่อมเสียของไขมันและองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหาร โดยช่วยป้องกันหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ความหมายตามในพจนานุกรมได้ให้คำจำกัดความของ antioxidant ไว้ว่า “สารที่ต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือยับยั้งปฏิกิริยาที่เกิดจากออกซิเจนหรือเปอร์ออกไซด์ ตัวอย่างของสารประเภทนี้ ได้แก่ วิตามินอี (tocopherols) นิยมนำไปใช้เป็นสารถนอมอาหารในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ในไขมัน น้ำมัน ผลิตภัณฑ์อาหาร และสบู่ เพื่อป้องกันการหืนในแก๊สโซลีน และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม จะใช้เพื่อป้องกันการเกิดยางเหนียว และการเปลี่ยนแปลงที่ ‘ไม่พึงประสงค์’ ความหมายทางชีววิทยาได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า “สารสังเคราะห์หรือสารที่ได้จากธรรมชาติที่เติมลงไปเพื่อป้องกัน หรือชะลอการเสื่อมเสียจากออกซิเจนในอากาศ” ความหมายทางวิทยาศาสตร์การอาหารได้ให้ความหมายไว้กว้างๆ รวมถึงองค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ที่ช่วยป้องกันไม่ให้อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบเกิดการหืน

สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามแหล่งที่มาได้แก่ สารต้านอนุมูลแบบสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) และสารต้านอนุมูลแบบธรรมชาติ (natural antioxidant) ตัวอย่างของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่พบในผักและผลไม้ต่างๆ ได้แก่ กลุ่มของวิตามินอี สารประกอบฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น โดยกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากที่สุดในผักและผลไม้ ประกอบไปด้วยกลุ่มของ ฟลาโวน (flavone) ฟลาโวนอล (flavonol) ไอโซฟลาโวน (iso-flavone) ฟลาวาโนน (flavanone) และซัลโคน (chalcone) ในกลุ่มของกรดฟีโนลิกที่สำคัญ ได้แก่ *p*-hydroxybenzoic acid, 3,4-dihydroxybenzoic, vanillic, syringic, *p*-coumaric, caffeic, ferulic, sinapic, chlorogenic และ rosmarinic acid ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเอสเทอร์ของกรดอินทรีย์ หรือในรูปไกลโคไซด์ (Gao *et al.*, 2000; Gordon, 2001; Juliani & Simon 2002; Lee & Shibamoto, 2002) ในตารางที่ 2.3 แสดงสารต้านอนุมูลอิสระแบบธรรมชาติ และสารสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ tert-butyl-4-hydroxyanisole (BHA) tert-butyl-hydroxytoluene (BHT) และ tert-butylhydroquinone (TBHQ) เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติบางชนิด (Huang *et al.*, 2005)

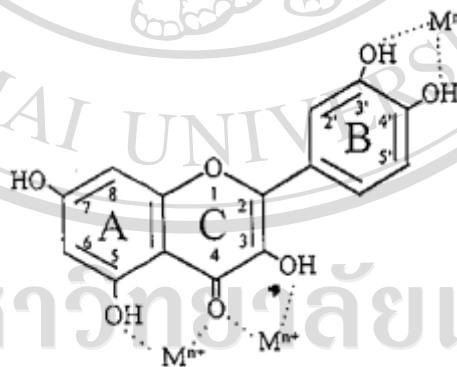
Some components of natural antioxidants	
Amino acid	Other organic acid
Ascorbic acid	Reductions
Carotenoids	Peptides
Flavonoids	Tannins
Melanoidin	Tocopherols

โดยทั่วไปสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ หลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เป็นสารที่พบได้ในพืชทั่วไป มีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่าหนึ่งหมู่ในโมเลกุลสามารถละลายได้ในน้ำ ส่วนใหญ่ที่พบในพืชมักจะรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาล ในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycosides) และพบได้ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) (ศิริวรรณและสุวรรณ, 2527) สารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด มีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งกลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบจะเป็นสารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoids) นอกจากนั้นยังมีสารประกอบต่างๆ เช่น simple monocyclic phenol, phenyl propanoid, phenolic quinone และ polyphenolic ซึ่งได้แก่พวก ลิกนิน (lignin) เมลานิน (melanin) และแทนนิน (tannin) เป็นต้น รวมทั้งยังพบว่ามีสารประกอบที่มีกลุ่มฟีนอล (phenol unit) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน อัลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์ปีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น (Shahidi and Naczka, 2004)

หน้าที่ของสารประกอบฟีนอลิกในพืชเท่าที่ทราบ เช่น lignin ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์พืช ส่วนสารในกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นสารให้สีในดอกไม้ สำหรับสารในกลุ่ม flavonols มีความสำคัญในการควบคุมการเจริญของพืชจำพวกถั่วมีส่วนช่วยในขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชพวกผักขม แต่ยังไม่มีการยืนยันแน่ชัด flavone, flavonols มีคุณสมบัติเป็น antimicrobial, tonifying action และ antioxidant, salicylic acid ใน *Quercus facata* เป็น allelopathic agent, tannin เป็น feeding deterrents, luteone ใน lupin เป็น antimicrobial agent, orchinoi ใน *Orchia militaris* เป็น phytoalexins (วรวิมล, 2544) สารประกอบ phenolic acid เกิดขึ้นได้ง่ายจากการที่เนื้อเยื่อของพืชถูกทำให้สลายตัวด้วยกรด (acid hydrolysis) กรดที่เกิดขึ้นนี้จะละลายได้ในอีเทอร์ phenolic acids ที่พบมากใน

ธรรมชาติ ปรากฏว่าจะพบกรดต่างๆ ดังนี้ คือ *p*-hydroxybenzoic acid, protocatechuic acid, vanillic acid และ *o*-protocatechuic acid ซึ่งกรด 2 ชนิดนี้เป็นลักษณะเฉพาะของพืชในวงศ์ Ericaceae สารประกอบ phenols พบน้อยในรูปอิสระในพืช ตัวที่พบว่ามีมากในพืชทั่วไปคือ hydroquinone ส่วน catechol, orcinol, phloroglucinol และ pyrogallol พบได้ในพืชบางชนิดเท่านั้น สารประกอบ phenols นี้มีความสำคัญต่อการหาสูตรโครงสร้างของสารประกอบ flavonoids เพราะเป็น products ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยด่างของโมเลกุล flavonoids (ศิริวรรณและสุวรรณ, 2527)

สารประกอบฟีนอลิกทำหน้าที่เป็นตัวจับไล่ออนุมูลอิสระ ที่สำคัญคืออนุมูล peroxy โดยมีกลไก 2 แบบ คือ เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นต่ำเมื่อเทียบกับสารออกซิไดส์ สารประกอบฟีนอลิกจะหน่วงเหนี่ยวหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะถูกทำให้เป็นสารที่มีความเสถียร ดังนั้นจึงสามารถป้องกันการเกิดขั้นตอน propagation ได้ นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังทำหน้าที่เป็น chelating agent ดักจับไอออนของโลหะเข้าไปในโมเลกุล เช่น เคอร์ซีทิน (quercetin) โดยโครงสร้างเคอร์ซีทินมีตำแหน่ง (binding site) ที่สามารถดักจับไอออนของโลหะ เช่น ทองแดง ได้ 3 บริเวณ คือบริเวณ 3'4'-dihydroxy ของวงแหวน B บริเวณ 3-hydroxy, 4-keto ของวงแหวน C และบริเวณระหว่างตำแหน่ง 5-hydroxy ของวงแหวน A กับตำแหน่ง 4-keto ของวงแหวน C ดังภาพที่ 2.6

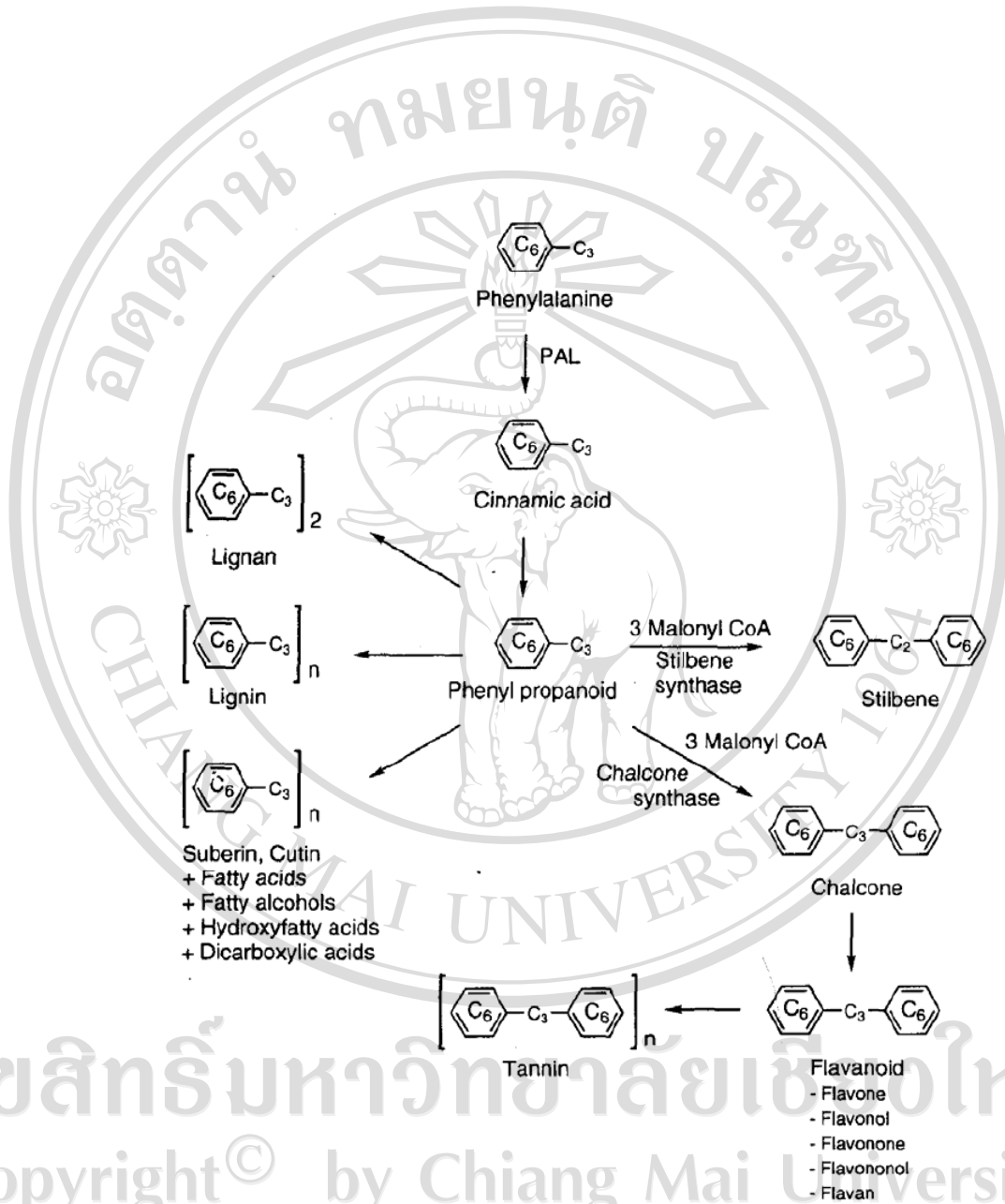


ภาพที่ 2.6 บริเวณ binding side ของเคอร์ซีทินที่จับกับไอออนของโลหะ

ที่มา : อัญญา, 2544.

สารประกอบฟีนอลิกยังทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ เป็นตัวให้ไฮโดรเจนและกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอกทีฟ ด้วยหน้าที่ต่างๆ ดังกล่าวจึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญชนิดหนึ่งในพืชทั่วไป ศักยภาพของสารประกอบฟีนอลิกในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระนั้นขึ้นกับค่า redox potential ของ hydroxyl group ในโมเลกุล และ โครงสร้างทางเคมีซึ่งแตกต่างกันไป

สารประกอบฟีนอลิกที่พบในอาหาร ได้จาก secondary metabolite สารพวก phenylalanine ที่พบได้เล็กน้อยในพืช ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟีนอลิก ที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ aromatic ring โดยมีพันธะต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลตั้งแต่หนึ่งหมู่หรือมากกว่า รวมกับหมู่อนุพันธ์อื่นๆ เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อสัตว์และวัตถุดิบอื่นที่ไม่ใช่พืช สารประกอบฟีนอลิกที่สังเคราะห์ขึ้นนี้จะเข้าไปในระบบย่อยอาหาร เพื่อใช้ในการป้องกันการออกซิเดชันขององค์ประกอบที่เป็นไขมัน ภาพที่ 2.7 แสดงกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกต่างๆ จาก phenylalanine (Shahidi and Naczk, 2004) ในพืช และอาหารทั่วไป จะประกอบด้วย phenolic อยู่ 7 แบบ ซึ่งประกอบขึ้นจาก phenol, phenylpropanoids, benzoic acid, flavonoid, stilbenes, tannin, lignan และ lignin กับ carboxylic acid สายยาวๆ phenolic จะประกอบด้วย suberin และ cutin ซึ่งมีส่วนประกอบหลายตัวที่จำเป็นสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตและ reproduction ของพืช และมีความสามารถในการป้องกันเชื้อโรค phenolic จะอยู่ในส่วนที่ใช้สร้างเมล็ดสี นอกจากนี้ phenolic ยังเป็นสารปฏิชีวนะธรรมชาติ ใช้ป้องกัน rhizopus และช่วยในการส่งผ่านแก๊สและน้ำ และเป็นส่วนประกอบในส่วนที่ทำให้พืชมีความคงตัว



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

ภาพที่ 2.7 ขบวนการสังเคราะห์สารฟีนอลิกต่างๆ
 ที่มา : Shahidi and Naczk, 2004.

2.11. หลักการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

การวัดค่าการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการวิเคราะห์กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ Hydrogen atom transfer (HAT) reaction อาศัยหลักการถ่ายทอดไฮโดรเจนอะตอม วิธีการวิเคราะห์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ วิธี ORAC (Oxygen radical absorbance capacity), TRAP (Total radical trapping antioxidant parameter) วิธีการประเมินการฟอกจางสีของ Crocin วิธีการยับยั้งออกซิเจน (Inhibition oxygen uptake) วิธีการยับยั้งการออกซิเดชันของกรดไขมันไลโนเลอิก และวิธีการยับยั้งการออกซิเดชันของไขมันชนิดความหนาแน่นต่ำ อีกประเภทคือ Electron transfer (ET) reaction ซึ่งอาศัยหลักการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ได้แก่ วิธี TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของ ABTS.+ วิธี DPPH วิธี FRAP (Ferric ion reducing antioxidant parameter) เป็นต้น วิธีการวิเคราะห์กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 2.4

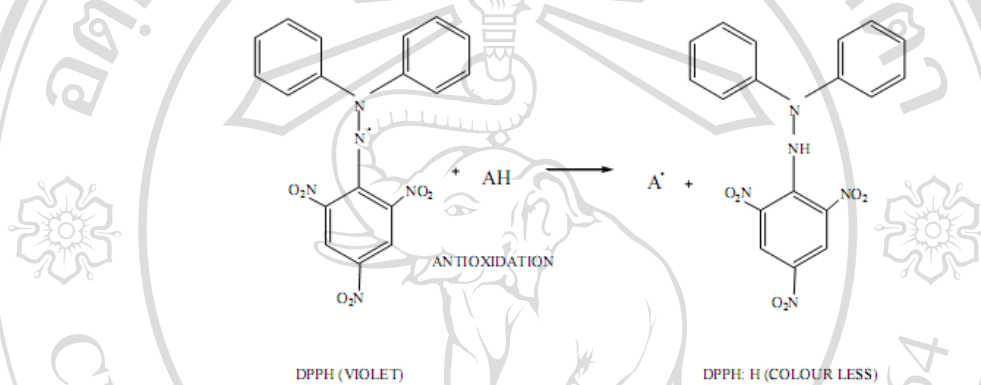
ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความสามารถการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

assays involving hydrogen atom transfer reactions $ROO^\bullet + AH \rightarrow ROOH + A^\bullet$ $ROO^\bullet + LH \rightarrow ROOH + L^\bullet$	ORAC (oxygen radical absorbance capacity) TRAP (total radical trapping antioxidant parameter) Crocin bleaching assay IOU (inhibited oxygen uptake) Inhibition of linoleic acid oxidation Inhibition of LDL oxidation
Assay by electron-transfer reaction $M(n) + e(\text{from } AH) \rightarrow$ $AH^{\bullet+} + M(n-1)$	TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) FRAP (ferric ion reducing antioxidant parameter) DPPH (diphenyl-1-picrylhydrazyl) copper (II) reduction capacity total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent
other assays	TOSC (total oxidant scavenging capacity) Inhibition of Briggs-Rauscher oscillation reaction chemiluminescence electrochemiluminescence

ที่มา : Huang *et al.*, 2005.

การวิเคราะห์กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Assay

เป็นการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยให้สารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับ DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียร มีสีม่วง เมื่อ DPPH ได้รับความร้อนหรืออนุมูลอิสระไฮโดรเจนจะเปลี่ยนเป็น DPPH:H ติดตามผลการทดลองโดยการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH เมื่อความเข้มข้นของ DPPH (สีอ่อนลง) จะบ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ (www.mwit.ac.th)



ภาพที่ 2.8 ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา : www.mwit.ac.th/~teppode/c8.pdf.

วิธีการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดย spectrophotometric มี 3 วิธี (กัมปนาท, 2548)

1. Folin-denis assay วิธีนี้นิยมใช้วัดปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในพืชและเครื่องดื่มผสมแอลกอฮอล์ โดยวัดค่าดูดกลืนแสงของสารประกอบฟีนอลิกซึ่งจับกับเป็นคอมเพลกซ์สีน้ำเงินใน alkaline solution มีวิธีการคือ นำสารสกัดตัวอย่างผสมกับ Folin-Denis reagent จากนั้นเติมด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร

2. Folin-ciocalteu assay ใช้วัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในอาหารซึ่งจะวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมไม่เฉพาะเจาะจง และวัดหมู่ function ของสารประกอบฟีนอลิกทุกหมู่แต่มีข้อเสียคือ ชับสเตรทอาจถูกย่อยได้ด้วย ascorbic acid ในการวัดปริมาณ

3. Prussian blue assay นิยมวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวฟ่างโดยโพลีฟีนอลิกจะเปลี่ยน ferric ไปเป็น ferrous ion และสร้างคอมเพลกซ์ ferricyanide-ferrous ion complex ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนของสารประกอบฟีนอลิก มีวิธีการคือ นำสารสกัดตัวอย่างผสมกับ FeCl_3 จากนั้นเติมด้วย potassium ferricyanide แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ 720 นาโนเมตร

Kalt (2005) สรุปผลการตรวจเอกสารเพื่อหาวิธีการรักษาและเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้เช่น วิตามินซี แคโรทีนอยด์ และสารฟีนอลิก ด้วยการเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการผลิตการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการแปรรูป วิตามินซีเสื่อมสภาพได้ง่ายกว่าสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่นๆ มากเว้นแต่จะเก็บรักษาไว้ในสภาวะที่เป็นกรดและอุณหภูมิ ต่ำ 1-10 องศาเซลเซียส โดยทำการห่อผลไม้ให้มิดชิด การควบคุมบรรยากาศที่ใช้ในการเก็บรักษา อาจเพิ่มหรือลดอัตราการเสื่อมสภาพของวิตามินซีได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ในขณะที่ปริมาณของแคโรทีนอยด์และสารฟีนอลิกบางชนิดจะค่อนข้างคงตัว และอาจเพิ่มปริมาณขึ้นได้อีกหากเก็บรักษาอย่างเหมาะสม เช่น มีการห่อผลไม้ให้มิดชิด มีการควบคุมบรรยากาศและลดค่า pH ที่ใช้ในการเก็บรักษาผลไม้

การหากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในรูปที่ละลายน้ำ รวมทั้งปริมาณสารประกอบฟีนอลต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบในผลผลิตทางการเกษตร เช่น ผัก และผลไม้ การหาความสามารถการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้ สามารถทำได้หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันค่อนข้างเป็นที่แพร่หลาย ได้แก่ การใช้สารละลายอนุมูลอิสระของไนโตรเจนอินทรีย์ ในรูปของ 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) ซึ่งจะเกิดการฟอกจางสีลงได้ ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยวิธีนี้ได้แก่ การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกในพริกหวาน (*Capsicum annuum* L.) ทั้งพริกหวานสีเขียว สีเหลือง สีส้ม และสีแดง และทดสอบความสามารถการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของพริกหวาน พบว่า พริกหวานสีเขียวมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.1 $\mu\text{mol Trolox/equivalent/g}$ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติจากพริกหวานสีเหลือง สีส้ม และสีแดง (Sun *et al.*, 2007)

ในส่วนของประเทศและสมุนไพร ก็ได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธีดังกล่าวมากมาย เช่น Wangenstein *et al.* (2004) ได้ศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ในใบและเมล็ดผักชี พบว่า มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 389 \pm 5 $\mu\text{g/ml}$ และ 510 \pm 12 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ และเมื่อใช้สารละลาย ethyl acetate ในการสกัด พบว่า เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในใบและเมล็ดผักชีโดยวิธี Folin-ciocalteu มีค่าเท่ากับ 1.89 \pm 0.08 และ 5.45 \pm 0.09 g gallic acid equivalents/100 กรัมสารสกัด Gülcin *et al.* (2004) ได้ศึกษาวิธีการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากกานพลู (*Eugenia caryophyllata* Thunb) และลาเวนเดอร์ (*Lavandula stoechas* L.) ด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล และวิเคราะห์ความสามารถการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่า ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกานพลูที่สกัดโดยใช้เอทานอล และที่สกัดโดยใช้น้ำกลั่น มีค่าเท่ากับ 74 % และ 62 % ในขณะที่ลาเวนเดอร์ที่สกัดโดยใช้เอทานอล ลาเวนเดอร์ที่สกัดโดยใช้น้ำกลั่น และ α -tocopherol มีค่าเท่ากับ 62%, 60% และ 50% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ BHA และ BHT ได้ค่าที่ต่ำกว่า โดยมีค่าเท่ากับ 45% และ 31% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบฟีน

นอลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้เมื่อใช้เอทานอลเป็นสารสกัดจะมีค่ามากกว่าการใช้น้ำกลั่นเป็นตัวสกัด Sacchetti *et al.* (2005) ได้ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหย 11 ชนิด โดยวิธี DPPH พบว่า *C. odorata*, *C. citratus*, *R. officinalis* และ *C. longa* มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง $59.6 \pm 0.42 - 64.3 \pm 0.45$ %

นอกจากจะใช้วิธี DPPH ในการตรวจสอบกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระแล้วยังสามารถใช้วิธีการฟอกจางสี β -carotene ในการทดสอบความสามารถการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยพบว่า *C. odorata*, *R. officinalis* และ *C. longa* มีค่าเท่ากับ 75.5 ± 0.53 %, 81.1 ± 0.57 % และ 72.4 ± 0.51 % ตามลำดับ จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันหอมระเหยจากพืชชนิดต่างๆ โดยวิธีการฟอกจางสี β -carotene พบว่า *Gymnema inodorum*, *Piper sarmentosum* และ *Menta arvensis* มีค่าสูงสุด และยังพบว่า *Gymnema inodorum* มีปริมาณวิตามินอีสูงสุด ส่วน *Menta arvensis* มีปริมาณ xanthophylls สูงสุด (Chanwitheesuk *et al.*, 2005; Sacchetti *et al.*, 2004)

Toor *et al.* (2006) ได้ศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศกิ่งแห้ง โดยวิธีการฟอกจางสีอนุมูลอิสระ ABTS.+ พบว่า มีค่าเท่ากับ 1783 μ mole trolox equivalent antioxidant capacity/100 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งน้อยกว่าในมะเขือเทศสด โดยมีค่าเท่ากับ 2730 μ mole trolox equivalent antioxidant capacity/100 กรัมน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-ciocalteau พบว่า มะเขือเทศกิ่งแห้งมีค่าเท่ากับ 300 mg gallic acid equivalent/100 กรัมน้ำหนักแห้ง น้อยกว่าในมะเขือเทศสดซึ่งมีค่าเท่ากับ 404 mg gallic acid equivalent/100 กรัมน้ำหนักแห้ง

Ismail *et al.* (2004) ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในผักสด และผักที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนโดยวิธี Folin-ciocalteau สำหรับผักสด พบว่า ผักขมมีปริมาณสูงสุด เท่ากับ 7167 ± 73 mg/สารสกัด 100 กรัม รองลงมา ได้แก่ กะหล่ำปลี ผักคะน้า หอม และกะหล่ำ โดยมีปริมาณเท่ากับ 4175 \pm 41, 3689 \pm 66, 2528 \pm 43, 1107 \pm 57 mg/สารสกัด 100 กรัม ตามลำดับ เมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อน พบว่า ผักขม กะหล่ำปลี ผักคะน้า หอม และกะหล่ำ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 6168 \pm 41, 3251 \pm 123, 3095 \pm 74, 2187 \pm 49 และ 886 \pm 52 mg/สารสกัด 100 กรัม

2.12. ผักกาดฮ่องเต้ (ไฉน, 2542)

ผักกาดฮ่องเต้ อยู่ในตระกูล Brassicaceae (Cruciferae-Mustards family)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica campestris* spp. *Chinensis* var. *chinensis*

ชื่อสามัญ Pai-Tsai, Pak choi, Bok choy, Chinese white cabbage, White kuang futsoi

ชื่อไทย ผักกาดฮ่องเต้ ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ กวางตุ้งไต้หวัน ผักกาดขาวกวางตุ้ง ปากไชย (ภาษาไต้หวัน)

ถิ่นกำเนิด ประเทศจีน ญี่ปุ่น และเอเชียกลาง

อายุปลูก 45-50 วัน

ฤดูปลูก เป็นพืช 2 ฤดู แต่ปลูกเป็นพืชฤดูเดียว อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส

ลักษณะ ก้านใบมีสีเขียวอ่อน ลักษณะแบน ส่วนก้านใบจะขยายกว้าง และหนา เนื้อกรอบ ปลายใบมนไม่ห่อหุ้ม

ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดฮ่องเต้ ต่อน้ำหนัก 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	จำนวน
Energy (kcal)	10
Carbohydrates (g)	2.2
Dietary fiber (g)	1.0
Fat (g)	0.2
Protein (g)	1.5
Vitamin C (mg)	45
Sodium (mg)	65

ที่มา : USDA Nutrient database (www.wikipedia.org)

มักนำมาบริโภคในส่วนของใบและก้านใบ ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว อายุการเก็บเกี่ยวสั้น แต่สามารถทนต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ดีกว่ากลุ่มผักกาดหัว ดังนั้นจึงสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่เจริญได้ดีที่สุดในสภาพดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์และอินทรียวัตสูง ค่าความเป็น

กรด-ต่าง อยู่ระหว่าง 6.0-6.8 ถึงแม้ผักกาดฮ่องเต้จะทนต่ออุณหภูมิได้ดี แต่ก็ไม่ทนทานต่อความแห้งแล้งเนื่องจากเป็นพืชอายุสั้น และเจริญเติบโตได้ดีดังนั้นแปลงปลูกควรต้องมีความชื้นสูง

ผักกาดฮ่องเต้ได้รับความนิยมเพราะมีสีน้ำตาลงาม มีรสหวาน เนื้อสัมผัสกรอบ และอุดมสมบูรณ์ได้ด้วยเกลือแร่และวิตามิน โดยเฉพาะวิตามินบี 2 (Lu, 2007) วิตามินเอ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และเส้นใย (www.d-aroi.com) การเกิดสีเหลืองเป็นสาเหตุหลักในการสูญเสียของผักกาดฮ่องเต้ เพราะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ขณะเก็บรักษา

ผักกาดฮ่องเต้เป็นผักเศรษฐกิจที่สำคัญของมูลนิธิโครงการหลวง ตลาดที่สำคัญได้แก่ การบินไทย โลตัส คาร์ฟูร์ เป็นต้น ตารางที่ 2.6 แสดงปริมาณและมูลค่าการค้าผักกาดฮ่องเต้ของมูลนิธิโครงการหลวงทั้งหมด โดยมีแนวโน้มความต้องการมากขึ้นทุกปี การบริโภคนิยมบริโภคทั้งต้นสามารถนำไปตัดแปลงทำอาหารได้หลายประเภท มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีสรรพคุณทางยา โดยผักกาดฮ่องเต้ช่วยลดความเสี่ยงจากการเป็นโรคมะเร็ง โรคกล้ามเนื้อเสื่อมและโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (www.vegetableinthailand.com)

ตารางที่ 2.6 แสดงปริมาณและมูลค่าการค้าผักกาดฮ่องเต้มูลนิธิโครงการหลวง ปี 2548-2550 (ม.ค.-ธ.ค.)

รายการ	2548		2549		2550	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
การบินไทย	23,224.00	1,050,580.00	12,031.50	541,417.05	6,354.00	285,930.00
ตลาดกรุงเทพ	16,187.10	380,895.35	32,293.00	848,449.90	54,700.50	1,262,454.65
คาร์ฟูร์	3,035.50	205,402.00	3,572.00	307,372.00	5,465.00	22,674.00
อื่นๆ	20,884.50	288,558.05	39,125.90	365,939.83	46,967.20	997,386.45
รวม	63,331.10	1,925,435.40	87,022.40	2,063,178.78	113,486.70	2,568,445.10

ปริมาณ : กิโลกรัม

มูลค่า : บาท