บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทั่วไปของผักกาดหอมห่อ

ผักกาดหอมห่อ (head lettuce) มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Lactuca sativa* จัดอยู่ในตระกูล Compositae ซึ่งอยู่ในจำพวกเดียวกับทานตะวัน เอนไดว์ (endive) และชิโครี (chicory)

ผักกาดหอมห่อมีลักษณะทั่วไป คือ เป็นพืชที่ปลูกได้ทั่วไปและง่ายเป็นที่นิยมของเกษตรกร ผักกาดหอมห่อเป็นผักในเขตอบอุ่น ซึ่งเจริญได้ดีในเขตที่มีฤดูร้อนแต่ไม่ร้อนจัด และฤดูหนาวแต่ไม่หนาวจัด อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ คือ ช่วง 12.8-15.6 องศาเซลเซียส (นิธิยาและดนัย, 2533) ผักกาดหอมห่อเป็นพืชที่นิยมบริโภคสดและประกอบอาหารมากที่สุด ประกอบด้วยน้ำ 95 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 1-2 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 1-2 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 0.25 เปอร์เซ็นต์ ผักกาดหอมห่อที่ปลูกกันมากในประเทศสหรัฐอเมริกาอยู่ในกลุ่มพันธุ์ Imperial, New York, Great Lake และ Pennlake ส่วนในประเทศไทยปลูกกันมากในเขตพื้นที่สูง ภาคเหนือเป็นสายพันธุ์ Great Lake, King Crown, Summer Lake และ Alpine ผักกาดหอมห่อเหล่านี้จะห่อหัวคล้ายกะหล่ำปลี แต่ไม่แน่นเหมือนกะหล่ำปลี นอกจากนี้ นิพนธ์ (2551) ได้กล่าวไว้ว่าแต่ละพันธุ์จะมีรูปร่างแตกต่างกันไป และสามารถแบ่งสายพันธุ์ออกตามลักษณะของต้นและใบได้ 5 กลุ่ม ดังนี้

2.1.1 ผักกาดหอมห่อชนิดไม่ห่อหัว (Leaf lettuce) บางครั้งเรียกว่า bunching lettuce/loose-leaf (สลัดใบ/ผักกาดหอมห่อ) สายพันธุ์นี้จะมีลำต้นสั้นและใบเป็นกระจุก มีใบเป็นจำนวนมาก ลักษณะรูปร่างและสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมากกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ โดยเฉพาะที่มีใบสีเขียวอ่อน เช่น พันธุ์ Black seeded Simpson และ Grand Rapid เป็นต้น

2.1.2 ผักกาดหอมห่อชนิดห่อหัวแข็งและแน่น (Crisp-head) บางครั้งเรียกว่า head lettuce หรือ iceberg type (สลัดปลี, ผักกาดหอมห่อ, ผักกาดแก้ว หรือสลัดแก้ว) มีใบขนาดใหญ่น้ำหนักมาก ใบในจะม้วนและซ้อนกันคล้ายกะหล่ำปลี หัวแน่น ใบแข็งกรอบกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ ใบนอกจะมีสีเขียวเข้ม ใบจะมีสีเหลืองปนขาว ทนทานต่อการขนส่ง

2.1.3 ผักกาดหอมห่อชนิดห่อหัวหลวมใบเป็นมัน (Butterhead) บางครั้งเรียก bibb หรือ boston lettuce คือ สลัดกึ่งห่อหรือสลัดบัตเตอร์ ใบมีลักษณะอ่อนและนิ่ม ห่อปลีหลวม ใบในจะมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะคล้ายน้ำมันหรือเนยจับที่ผิวใบ การปลูกในฤดูหนาวจะให้หัวขนาดใหญ่ และหัวแน่นกว่าฤดูร้อน

2.1.4 ผักกาดหอมห่อชนิดห่อหัวปลีตั้งขึ้น (Cos หรือ Romaine) ใบมีลักษณะตั้งตรงยาวและห่อ มีสีเขียวเข้ม เนื้อใบหนามีเส้นใบนูนเด่นออกมาด้านหลัง ใบในจะมีปลายโค้งเข้าข้างในทำให้หัวกลมยาว

2.1.5 ผักกาดหอมห่อชนิดต้น (Stem) บางครั้งเรียกว่า asparagus หรือ celtuce มีลักษณะลำต้นสูง ใบจะเรียวยาว เจริญติด ๆ กันขึ้นไปจนถึงช่อดอก อาจจะทยอยเก็บเกี่ยวโดยเริ่มจากใบล่างเหมาะสำหรับใช้เป็นพืชผักสวนครัว ลำต้นสามารถนำไปประกอบอาหาร และแปรรูปได้ (นิพนธ์, 2551)

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (นิพนธ์, 2551)

ผักกาดหอมห่อเป็นพืชฤดูเดียว มีลำต้นอวบสั้นและช่วงข้อถี่ ใบเจริญจากข้อเป็นกลุ่ม

● ใบ

ใบจะมีลักษณะรูปร่างและสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เช่น ใบกลม ใบรี ใบเรียบหรือใบหยัก หรือบิด งอ บางพันธุ์อาจมีใบหนาแข็ง และบางพันธุ์อาจมีใบอ่อนนิ่ม ใบแตกออกจากลำต้นโดยรอบ พันธุ์ที่ห่อเป็นหัวจะมีใบหนา เนื้อใบอ่อนนุ่ม ใบจะห่อหัวอัดกันแน่นคล้ายกะหล่ำปลีใบที่ห่ออยู่ข้างในจะเป็นมัน เปราะมีเส้นเห็นได้ชัด ขอบใบมีลักษณะเป็นหยัก

● ราก

รากของผักกาดหอมห่อเป็นรากแก้ว มีรากแก้วที่แข็งแรงอวบอ้วนและเจริญอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อปลูกในดินร่วนปนทรายที่มีความชื้นเพียงพอ รากแก้วสามารถหยั่งลึกลงไปในดินได้ถึง 5 ฟุต หรือมากกว่า แต่รากแก้วจะเสียหายในขณะย้ายปลูก ดังนั้นรากที่เหลือจึงเป็นรากแขนง ซึ่งแผ่กระจายอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 1-2 ฟุต โดยปริมาณของรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น ไม่ค่อยแพร่กว้างออกไปมากนัก

● ลำต้น

ลำต้นผักกาดหอมห่อในระยะแรกมักจะมองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากใบมักจะปกคลุมไว้ จะเห็นชัดก็ต่อเมื่อระยะแรกของดอก ลักษณะลำต้นผักกาดหอมห่อจะตั้งตรง สูงชะลูดขึ้นจนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ลำต้นมีลักษณะอวบอ้วน ถ้าปลูกในที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก ๆ จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 2 นิ้ว ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อสั้น แต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

● ดอกและช่อ

ดอกของผักกาดหอมห่อมีลักษณะเป็นช่อแบบที่เรียกว่า panicle ประกอบด้วยกลุ่มของดอกที่อยู่เป็นกระจุกอยู่ตรงยอด แต่ละกระจุกประกอบด้วยดอกย่อย 15-25 ดอกหรือมากกว่า ก้านช่อดอกจะยาวประมาณ 2 ฟุต ช่อดอกอันแรกจะเกิดที่ยอดอ่อน จากนั้นจะเกิดช่อดอกข้างตรงมุมใบขึ้นภายหลังช่อดอกที่เกิดจากส่วนยอดโดยตรงจะอายุมากที่สุด ส่วนช่อดอกอื่น ๆ จะอายุรองลงมา ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลือง ตรงโคนเชื่อมติดกัน รังไข่มี 1 ห้อง เกสรตัวเมียมี 1 อัน มีลักษณะเป็น 2 แฉก เกสรตัวผู้ 5 อัน รวมกันเป็นยอดยาวห่อหุ้มก้านเกสรตัวเมียและยอดเกสรตัวเมียไว้

● เมล็ด

เมล็ดผักกาดหอมห่อเป็นชนิดเมล็ดเดี่ยว (achene) ซึ่งเจริญมาจากรังไข่อันเดียว เมล็ดจะมีเปลืองหุ้มเมล็ดบาง เปลือกเมล็ดจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดของผักกาดหอมห่อมีลักษณะแบนยาว หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นเล็ก ๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีม ความยาวเมล็ดประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร (นิพนธ์, 2551)

2.3 การเก็บเกี่ยว (นิธิยา และดนัย, 2533)

ผักกาดหอมห่อควรเก็บเกี่ยวเมื่อมีความแก่เหมาะสม โดยทั่วไปจะใช้ขนาดและความแน่นของการห่อหัวเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว ผักกาดหอมห่อที่คุณภาพดีต้องมีขนาดตามความต้องการ การห่อหัวไม่แน่นจนเกินไป หัวที่หนักเกินไปในขนาดเดียวกันมักจะแก่และแน่น ซึ่งผักกาดหอมห่อที่เข้าหัวแน่นเกินไปจะเก็บรักษาได้ไม่นานเท่ากับพวกที่ห่อหัวแน่นพอดี ผักกาดหอมห่อที่ห่อหัวแน่นพอดีนั้นเมื่อผ่าหัวตามยาวการเรียงตัวของใบจะต้องไม่ชิดเกินไป แต่ละใบจะมีช่องว่างระหว่างกันเล็กน้อย ถ้าหากการเรียงกันของใบชิดกันจนแน่นเหมือนกะหล่ำปลีแสดงว่าแก่เกินไป นอกจากนั้นผักกาดหอมห่อที่แก่เกินไปจะมีใบเหนียว ยางมากและรสขม วิธีการตรวจสอบความแก่แบบง่าย ๆ อาจจะใช้มือบีบเบา ๆ หัวจะยุบลงเล็กน้อย ถ้าหัวไม่ยุบลงเลยแสดงว่าแก่เกินไป ถ้าหัวยุบมากเกินไปเหมือนบีบฟองน้ำแสดงว่ายังไม่แก่พอดี การตรวจสอบความแน่นของหัวผักกาดหอมห่ออาจจะใช้วิธีตรวจสอบโดยรังสีแกรมม่าหรือรังสีเอ็กซ์ก็ได้แต่มีค่าใช้จ่ายสูง

การเก็บเกี่ยวจะใช้แรงงานมนุษย์โดยใช้มีดที่มีความคมตัดที่โคนต้นแล้วใช้ปูนแดงทาบริเวณแผลเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ และแคลเซียมในปูนแดงจะรวมกับเพคตินในเซลล์บริเวณนั้นเพคเตต (calcium pectate) ทำให้เซลล์แข็งแรง นอกจากนั้นยังช่วยป้องกันไม่ให้แผลสัมผัสกับอากาศ ซึ่งจะทำให้แผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงไม่เหมาะต่อการจำหน่ายอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับความแก่ของผักกาดหอมห่อมีผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

ระดับความแข็งแรง	ลักษณะคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว
1. นิ่มยังไม่เข้าหัว	อ่อนแอต่อความเสียหายทางกล มีอัตราการหายใจสูงกว่าผักที่แก่พอดี
2. ค่อนข้างแข็ง เข้าหัวไม่แน่น	อัตราการหายใจสูง
3. เข้าหัวที่มีความแน่นพอดี	เก็บรักษาได้นานที่สุด
4. เข้าหัวแน่นมากแต่ก้านยังไม่แตก	อ่อนแอต่อการเกิดจุดสีน้ำตาลแดง และก้านใบเป็นสีชมพู (russet spotting และ pink rib) ตลอดจนอ่อนแอต่อลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาอื่น ๆ อาจเก็บรักษาได้ระยะสั้น
5. เข้าหัวแน่นมาก ก้านใบแตก ใบบางหัวอาจจะแยกออก	เก็บรักษาได้สั้นมาก ตลาดไม่ยอมรับ

ที่มา: ดนัยและนิธิยา, 2533

2.4 ภาชนะบรรจุผักและผลไม้ (ดนัยและนิธิยา, 2535)

เนื่องจากผลิตผลทางการเกษตรภายหลังการเก็บเกี่ยวยังเป็นสิ่งมีชีวิต มีกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ เช่น การหายใจ การคายความร้อน การคายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่าง ๆ การเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดกระบวนการดังกล่าวให้เกิดช้าลง เมื่อนำผลิตผลที่มีคุณภาพสูงบรรจุใส่ในภาชนะจะรักษาคุณภาพที่ดีของผลิตผลให้คงอยู่ได้นานขึ้นถึงแม้ภาชนะบรรจุไม่ได้เป็นตัวช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตผลให้ดีขึ้นก็ตาม

ภาชนะบรรจุสำหรับการขนส่งและภาชนะบรรจุอื่น ๆ เช่น พลาสติกและกระดาษจะมีผลต่ออัตราการลดความร้อน เพราะจะทำให้อัตราการลดความร้อนลดลง นอกจากนี้ จารุวรรณ (2548) ยังได้กล่าวไว้ว่า พลาสติกเป็นสารสังเคราะห์จำพวกโพลิเมอร์ ประกอบไปด้วยสารหลายอย่างโดยใช้กรรมวิธีเคมีดัดแปลงให้มีคุณสมบัติเหมาะกับงานที่ใช้ เช่น กันการซึมของอากาศ น้ำ หรือไขมัน ทนต่อความร้อนหรือเย็น ทนกรดหรือด่าง มีลักษณะแข็งหรือเหนียว ฯลฯ ซึ่งการบรรจุผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะบรรจุลงในถุงพลาสติกและตะกร้าพลาสติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1 ถุงพลาสติก

ถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุผักและผลไม้มีอยู่ 2 ประเภท คือ ถุงร้อน (PP : ทำมาจากพลาสติกโพลีโปรพิลีน) และถุงเย็น (PE : ทำจากพลาสติกโพลีเอทธิลีน) ซึ่งถุงร้อนหรือถุงเย็นนี้ เรียกตามลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ คือ ถุงร้อนจะเป็นถุงชิดบางใส และใช้ใส่อาหารธรรมดาที่อุณหภูมิห้อง หรือใส่อาหารแช่แข็งได้ ส่วนถุงเย็นนั้นยังสามารถบรรจุผักหรือผลไม้ได้น้ำหนักมากกว่าถุงร้อนด้วย ถุงร้อนมักใช้บรรจุพริกสดและพริกแห้ง ขนาดบรรจุไม่เกิน 5 กิโลกรัม และถุงเย็นใช้บรรจุผักชนิดต่าง ๆ เช่น บรอคโคลี่ มะเขือเทศ มันเทศ แตงกว่า ถัวลันเตา และถั่วฝักยาว ต้องทำการเจาะรูไว้เพื่อเป็นการระบายอากาศด้วย

2.4.2 ตะกร้าพลาสติก (plastic basket)

ซึ่งในปัจจุบันตะกร้าพลาสติกได้รับความนิยมนำมาบรรจุผักและผลไม้กันมากขึ้นถึงแม้จะมีราคาสูง แต่มีความทนใช้ได้ระยะเวลานาน สามารถนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้อีก เรียกว่า ภาชนะบรรจุชนิดหมุนเวียน (returnable container)

2.5 ผลของการบรรจุหีบห่อต่อการลดความร้อน

ภาชนะบรรจุสำหรับการขนส่งและภาชนะบรรจุอื่น ๆ เช่น พลาสติกและกระดาษจะมีผลต่ออัตราการลดความร้อน เพราะจะทำให้อัตราการลดความร้อนลดลง

2.5.1 ชนิดของภาชนะบรรจุสำหรับขนส่งที่ใช้ เช่น ภาชนะขนาดใหญ่ (bins) ตะกร้า กล่องกระดาษ และถุงตาข่ายจะมีผลต่ออัตราการลดความร้อนและความสม่ำเสมอ และมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องลดความร้อนที่ใช้

2.5.2 วัสดุบรรจุ เช่น กรณีที่เป็นบรรจุสำหรับขายปลีก หากมีการกรุพลาสติกหรือวัสดุอื่น ๆ ไว้ด้านในของภาชนะบรรจุ และเมื่อเพิ่มความหนาแน่น ความหนาของวัสดุเหล่านี้จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการลดความร้อนลดลง ส่วนการมีรูระบายอากาศที่วัสดุบรรจุภัณฑ์จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพของการลดความร้อนดีขึ้น

2.5.3 ภาชนะบรรจุจะต้องมีรูเล็กน้อยเพื่อให้มีการระบายความร้อนและระบายอากาศป้องกันไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนที่ผลิตผลคายออกมาสะสมอยู่ภายในและทำให้ผลิตผลไม่ขาดออกซิเจน (ดนัยและนิธิยา, 2535) นอกจากนี้การวางเรียงซ้อนกันและรูปแบบการวางเรียงภาชนะบรรจุระหว่างการลดความร้อนจะมีผลต่ออัตราเร็วในการลดความร้อนมากรูระบายอากาศทางด้านข้างที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อกันควรวางให้ตรงกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการลดความร้อนและรูระบายอากาศจะต้องมีการออกแบบเป็นอย่างดี ซึ่งจะช่วยให้การลดความร้อนมีประสิทธิภาพสูง (นิธิยาและดนัย, 2548)

2.6 การลดอุณหภูมิและการเก็บรักษา

ผักกาดหอมห่อเป็นผักซึ่งเก็บรักษาไว้ได้นานสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสได้ประมาณ 3-4 สัปดาห์ แต่ทั้งนี้ต้องเป็นผักที่มีคุณภาพดี อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา คือ 0-1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ได้ ควรเก็บรักษาในที่ ๆ อุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะจัดการได้

การใช้ระบบควบคุมบรรยากาศ (controlled atmosphere) ในการเก็บรักษาและขนส่งผักกาดหอมห่อเพื่อรักษาคุณภาพให้ดีเป็นเวลานานขึ้น มีการปฏิบัติในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้อัตราส่วนก๊าซออกซิเจน 3-5 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ วิธีการดังกล่าวจะทำให้ผักมีความสดอยู่ได้นาน ไม่แสดงอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาอื่น ๆ การใช้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดแผลสีน้ำตาลขึ้นที่ใบได้ (นิธิยา และดนัย, 2533)

2.7 แหล่งที่มาของความร้อนในผักและผลไม้

ดนัย และนิธิยา (2535) ได้กล่าวไว้ว่า ผักและผลไม้เมื่อตัดออกจากต้นยังคงมีชีวิตอยู่ และมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิของอากาศหรือสภาพแวดล้อมขณะที่ทำการเก็บเกี่ยว ความร้อนที่ติดมากับผักและผลไม้จากแปลงปลูก เรียกว่า field heat เมื่อขนย้ายผักหรือผลไม้มากองรวมกันไว้ถ้าอากาศผ่านเข้าไม่สะดวก จะทำให้ความร้อนที่คายออกมาจากผักหรือผลไม้ (vital heat) รวมกับ field heat ถูกสะสมอยู่ภายในทำให้อุณหภูมิของผักและผลไม้สูงขึ้นจะไปเร่งกระบวนการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ของผักและผลไม้ให้เกิดเร็วขึ้นอีก มีผลทำให้คุณภาพของผักและผลไม้ลดลงและมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ให้ต่ำลง เพื่อไล่ความร้อนจากแปลงปลูกที่ติดมากับผักและผลไม้ออกมาให้เร็วที่สุดและมากที่สุด เมื่อผักและผลไม้มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้กระบวนการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ เกิดขึ้นช้าลง เช่น การหายใจช้าลง การคายน้ำช้าลง การทำลายจากเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ เกิดขึ้นช้าลง อัตราการเสื่อมสลายช้าลงเป็นการลดการสูญเสียทำให้เพิ่มอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

นอกจากความร้อนที่เกิดจากการหายใจและความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกแล้ว จริงแท้ (2537) ยังได้กล่าวไว้ว่า ยังมีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่ไม่ได้เป็นของผักและผลไม้โดยตรง แต่ต้องถูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอาออกไปด้วยพร้อม ๆ กัน เช่น ความร้อนที่ติดมากับภาชนะบรรจุ ความร้อนของอากาศรอบ ๆ ผักและผลไม้ ความร้อนจากดวงไฟในห้องลดอุณหภูมิ ความร้อนจากภายนอกที่ผ่านฉนวนหุ้มเข้ามาได้ ความร้อนจากแหล่งต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องมีการเอาออกไปพร้อม ๆ กัน เพื่อทำให้ผักและผลไม้ให้เย็นลงจะได้เป็นไปอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

2.8 สาเหตุของความสูญเสียของผักกาดหอมห่อ (นิธิยา และดนัย, 2533)

การสูญเสียของผักกาดหอมห่อมีการสูญเสียที่แปรผันไปตามฤดูกาลซึ่งพบมากในเมืองไทย แต่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา มีอัตราความเสียหายอันเนื่องมาจากการขนส่งประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในฤดูหนาวจะมีอัตราการสูญเสียน้อยกว่าในฤดูฝน สาเหตุของความสูญเสียที่สำคัญ คือ

2.8.1 อาการปลายใบไหม้ (Tip Burn) เป็นปัญหาที่รุนแรงมากของผักกาดหอมห่อ โดยมีลักษณะอาการที่สำคัญ คือใบอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตมักแสดงอาการในช่วงเข้าหัว ทำให้ใบที่แสดงอาการปลายใบไหม้ถูกห่ออยู่ภายใน บางกรณีอาการอาจจะแสดงในระยะที่หัวเกือบจะแก่แล้ว โดยปลายใบแสดงอาการไหม้เป็นสีน้ำตาล ซึ่งแผลจะไม่ขยายขนาดขึ้น โดยในระยะเริ่มต้นนั้นเส้นใบตรงปลายใบจะมีสีคล้ำ ซึ่งอาจจะเกิดจากการขยายตัวและเกิดจากการแตกของท่อยาง ทำให้ยางไหลออกมาสู่ภายนอกท่อ ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้นถูกทำลาย และกลายเป็นสีน้ำตาล สาเหตุที่ทำให้เกิดอาการปลายใบไหม้นั้นยังไม่ทราบแน่ชัด แต่อาจเกิดจากการที่ใบขาดแคลเซียม เพราะพบว่าในใบที่แสดงอาการปลายใบไหม้จะมีปริมาณแคลเซียมต่ำกว่าใบปกติ นอกจากนั้นยังคาดว่าอาจเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำไม่พอเพียงหรือไม่สมดุลกับการคายน้ำ และไม่สมดุลของฮอร์โมนพืช

2.8.2 โรคเน่าเละ (Soft Rot) เกิดจากเชื้อแบคทีเรียทำให้เกิดอาการเน่าเละและมีกลิ่นเหม็น เชื้อแบคทีเรียมักเข้าทำลายทางแผล ซึ่งเกิดจากการหัก การช้ำของใบ หรือการที่ผักแสดงอาการปลายใบไหม้วิธีป้องกันที่ดีที่สุด คือ หลีกเลี่ยงการขนส่งหรือเก็บรักษาผักที่หัก ช้ำ หรือมีแผล และอย่าขนส่งผักที่เปียกน้ำ

2.8.3 การหัก การช้ำของใบ เช่น ก้านใบหัก ช้ำ เกิดจากการที่ผักกาดหอมห่อชั้นล่างถูกทับระหว่างขนส่ง นอกจากนี้ยังพบความสูญเสียในแปลงปลูกผัก เช่น อาการใบจุด ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Alternaria* sp. อาการเหี่ยวซึ่งเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas* sp. และอาการโคนเน่าซึ่งเกิดจากเชื้อ *Sclerotinia* sp.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการสูญเสียของผลิตผล (จริงแท้, 2533)

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการสูญเสียผลิตผลทางพืชสวนนั้นต่างเป็นสิ่งมีชีวิตด้วยกันทั้งสิ้น มีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการที่จะให้ผลิตผลเหล่านี้จะดำรงสภาพอยู่เหมือนเดิมจึงเป็นไปไม่ได้ เพราะมีทั้งปัจจัยภายในผลิตผลเอง และปัจจัยภายนอกที่ส่งเสริมให้ผลิตผลนั้น ๆ เสื่อมสภาพลงได้

2.9.1 ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการสูญเสียของผลิตผล

- การคายน้ำ พืชและผลิตผลสดต่าง ๆ ต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ในขณะเดียวกันปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมักมีอยู่สูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงมีศักยภาพที่จะสูญเสียออกจากผลิตผลอยู่ตลอดเวลา การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ นอกจากจะทำให้น้ำหนักที่ขายได้ลดลงแล้วยังทำให้รสชาติของผลิตผลลดลงด้วยโดยเฉพาะในแง่ของเนื้อสัมผัส (texture) และยังทำให้ผิวเหี่ยวย่นไม่เป็นที่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค

- การหายใจ เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต เป็นกระบวนการที่พืชใช้พลังงานที่สะสมไว้ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรตไปใช้ในการเจริญเติบโตหรือดำรงชีวิตเอาไว้ และปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา ดังนั้น การหายใจจึงเป็นการดึงเอาอาหารสะสมออกไปจากผลิตผลตลอดเวลา นอกจากนี้ การหายใจยังให้ความร้อนออกมาซึ่งความร้อนนี้จะช่วยกระตุ้นให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ เกิดขึ้นได้เร็วขึ้นทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้นด้วย

- การผลิตเอทิลีน แก๊สเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชอย่างหนึ่งซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของพืชและผลิตผลค่อนข้างมาก โดยปกติปริมาณการผลิตเอทิลีนจะมีน้อยแต่เมื่อผลสุกหรือเมื่อผลิตผลถูกกระทบกระเทือน เช่น การเกิดบาดแผล การสัมผัสกับความเย็นจะมีการสร้างเอทิลีนขึ้นเป็นจำนวนมาก และเอทิลีนจะไปกระตุ้นกระบวนการต่าง ๆ ให้เกิดขึ้นได้ เช่น กระบวนการสุก การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และการหลุดล่วงของดอกและใบ ซึ่งได้ตรงกับที่ดนัย (2540) อ้างอิงโดยจารุวรรณ (2548) ได้กล่าวไว้ว่า การเกิดลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นกับผักกาดหอมห่อโดยเกิดจุดสีน้ำตาลแดงขึ้นที่ก้านมีสาเหตุจากการที่ได้รับแก๊สเอทิลีนมากเกินไปกระบวนการเสื่อมสภาพของผักกาดหอมห่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว เช่น เหี่ยว เหลืองและใบเน่า ผักกาดหอมห่อไม่มีระยะพักตัวทางธรรมชาติ เพราะผักกาดหอมห่อถูกเก็บเกี่ยวในขณะที่ยังคงเจริญเติบโตอยู่ไม่แก่เต็มที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเคมี องค์ประกอบเคมีอื่น ๆ ของพืชก็มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การสร้างหรือเสื่อมสลายของสารสี (pigment) การเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาล การเพิ่มขึ้นของปริมาณลิกนิน (lignin) ในผลิตผลที่มีเส้นใยมาก
- การพัฒนาและการเจริญเติบโตของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ผลิตผลบางชนิดเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วยังมีการพัฒนา มีการเจริญเติบโตขึ้นให้เห็นได้ชัดเจน การงอกของมันฝรั่ง มันเทศ หอม และกระเทียม การเจริญดังกล่าวต้องใช้อาหารที่มีสะสมอยู่จึงทำให้ผลิตผลเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น

2.9.2 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการสูญเสียผลิตผล

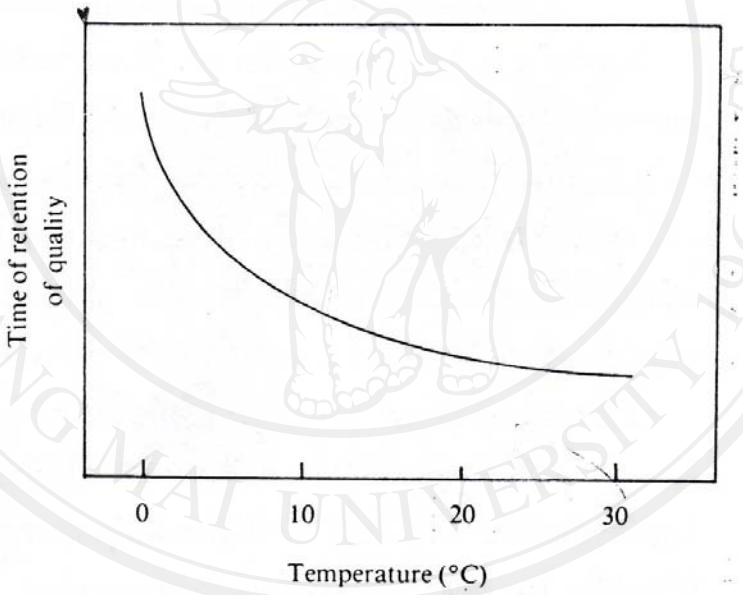
- อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เพราะอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการต่าง ๆ ภายในผลิตผลทุกอย่าง และมีผลต่อปัจจัยอื่น ๆ ภายนอกด้วย ซึ่งในผลิตผลที่มีอุณหภูมิสูงจะเร่งปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ให้เกิดเร็วขึ้น ดังนั้นการหายใจและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีมีอื่น ๆ ภายในผลิตผลก็เกิดขึ้นเร็ว ทำให้ผลิตผลเสียหายได้ง่าย แต่ถ้าหากอุณหภูมิต่ำจะทำให้ผลิตผลสามารถเก็บรักษาไว้ในสภาพเดิมได้นานกว่า แต่ในบางกรณีอุณหภูมิต่ำก็อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ โดยเฉพาะกับผลิตผลในเขตร้อนอาจเกิดอาการผิดปกติที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ขึ้นได้
- ความชื้น เป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดอัตราการสูญเสียน้ำของผลิตผล ในสภาพที่มีความชื้นสูงจะช่วยกระตุ้นให้เชื้อราบางชนิดที่อาศัยอยู่บนผิวของผลิตผลสามารถเจริญเติบโตได้ดี ทำให้ผลิตผลเน่าเสียได้ง่ายจึงต้องมีการควบคุมปริมาณความชื้นให้พอเหมาะไม่ให้มีการสูญเสียน้ำมากไป
- องค์ประกอบของบรรยากาศ การเก็บรักษาผลิตผลถ้ามีปริมาณออกซิเจนต่ำจะช่วยลดอัตราการหายใจและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ แต่ถ้าออกซิเจนน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) ทำให้ผลิตผลเสียหายได้ คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการหายใจก็เช่นเดียวกัน หากมีการสะสมมากเกินไปอาจทำให้เกิดอาการผิดปกติในการหายใจ และทำให้ผลิตผลสูญเสียได้เช่นกัน
- แสง การเก็บรักษาผักรับประทานใบในสภาพที่มีแสงจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ เพราะการสังเคราะห์แสงยังคงเกิดขึ้น
- โรคและแมลง ผลิตผลทางพืชสวนยังมีโรคและแมลงเข้ามารบกวน ส่วนใหญ่แล้วการเข้าทำลายของศัตรูเหล่านี้มักเกิดขึ้นในแปลงปลูก แต่เนื่องจากผลิตผลมีความต้านทานโรคอยู่จึงไม่แสดงอาการผิดปกติออกมา จนกระทั่งเมื่อผลิตผลเริ่มเสื่อมสภาพ เช่น เมื่อมีการสุกขึ้นความต้านทานต่อโรค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่าง ๆ ลดลง เชื้อจุลินทรีย์ที่แอบแฝงอยู่ก่อนแล้วก็จะเจริญเติบโตและก่อให้เกิดความเสียหายได้อย่างรวดเร็ว การป้องกันกำจัดควรจะกระทำตั้งแต่อยู่ในแปลง ซึ่งต้องอาศัยวิธีการต่าง ๆ หลังการเก็บเกี่ยวเข้าช่วยด้วย

2.10 ข้อเสียที่เกิดขึ้นเมื่อผลิตผลมีอุณหภูมิสูงขึ้น (ดนัย และนิธิยา, 2533)

- ทำให้อัตราการหายใจสูง การใช้สารอาหารในผลิตผลมีอัตราสูงขึ้นด้วยส่งผลให้เกิดการสูญเสีย สารอาหารที่พืชสะสมไว้ถ้าเป็นผลไม้จะไปเร่งให้เกิดการแก่ การสุก และการเสื่อมสลายเร็วขึ้น โดยจะมีกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับคุณภาพของผลิตผล (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับคุณภาพของผลิตผล
ที่มา: ดนัย และนิธิยา, 2533

- ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อนำผลิตผลไปผ่านขั้นตอนการลดความร้อนทันทีหลังการเก็บเกี่ยวจะทำให้เกิดการเน่าเสียช้าลง ถ้าหากไม่ลดความร้อนให้ผลิตผลมีอุณหภูมิต่ำผลิตผลจะเน่าเสียได้อย่างรวดเร็ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- เกิดการสูญเสียน้ำผลิตผลที่เก็บไว้ในสภาพที่มีอัตราการคายน้ำต่ำจะสูญเสียได้รวดเร็วมาก ยกเว้นในกรณีที่มีสภาพบรรยากาศมีความชื้นอิ่มตัว ถ้าความชื้นหรือปริมาณไอน้ำในอากาศแตกต่างกับในเนื้อเยื่อของพืชมากจะทำให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำมากด้วย
- การสังเคราะห์เอธิลีนจะเกิดได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วจะช่วยให้อัตราการสังเคราะห์เอธิลีนลดลงด้วย ทำให้ผลิตผลเข้าสู่กระบวนการเสื่อมสลายช้าลง

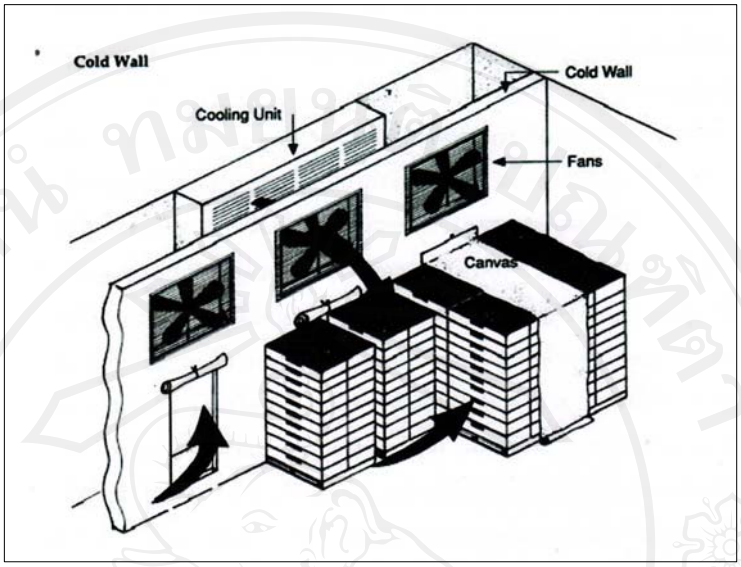
2.11 วิธีการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันแบบต่าง ๆ

วิธีการลดอุณหภูมิเฉียบพลันสามารถปฏิบัติได้หลายวิธี ดังนี้

2.11.1 การลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง (Air Cooling) เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลาง คือ อากาศ เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนเกิดทั้งการนำและการพา (condition และ convection) ซึ่งวิธีการทำให้เย็นโดยใช้ลมนี้ยังสามารถปฏิบัติได้อีกหลายวิธี อาทิเช่น

- **การลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็น (Room Cooling)** เป็นการใช้ห้องเย็นเป็นห้องสำหรับลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ วิธีนี้จะมีความเร็วในการลดอุณหภูมิค่อนข้างต่ำเพราะอากาศเย็นไหลหมุนเวียนรอบ ๆ ภาชนะบรรจุเท่านั้น การเพิ่มการไหลเวียนของอากาศหรือปรับช่องลมออกจากเครื่องทำความเย็นให้ตรงกับตำแหน่งของภาชนะบรรจุผักและผลไม้ให้มากที่สุดจะช่วยลดอุณหภูมิเร็วขึ้น ส่วนภาชนะบรรจุผลิตผลควรมีช่องระบายอากาศเพื่อให้เวลาของการทำความเย็นสั้นเข้า
- **การลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น (Forced-Air Cooling)** เป็นการลดอุณหภูมิโดยการดูดเป่าอากาศเย็นเข้าไปในท่อ (tunnel) มีลักษณะยาวและแคบ ความดันของอากาศทางด้านหน้าและด้านหลังของภาชนะบรรจุแตกต่างกันทำให้อากาศไหลผ่านช่องว่างระหว่างภาชนะบรรจุแตกต่างกัน อากาศไหลผ่านช่องว่างระหว่างภาชนะบรรจุและแทรกตัวเข้าไปตามรูด้านข้างของกล่องภาชนะบรรจุพาความร้อนออกไปจากผลิตผล (ภาพที่ 2.2) อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ประมาณ 0-3 องศาเซลเซียส อากาศหมุนเวียนด้วยความเร็วสูง โดยทั่วไปผลิตผลที่บรรจุในกล่องเรียบร้อยแล้วจะถูกนำเข้าไปในห้องเย็นเป็น 2 แถวชิดฝาผนัง เว้นที่ตรงกลางจัดให้มีพัดลมดูดอากาศออกจากห้องโดยตรงแต่จะต้องถูกดูดผ่านผักผลไม้ก่อน วิธีการเช่นนี้สามารถทำให้ผักและผลไม้เย็นลงอย่างรวดเร็ว และวิธี forced-air cooling นี้เหมาะสำหรับผลิตผลที่บอบบาง ใช้น้ำในการทำให้เย็นไม่ได้ เช่น เห็ด สตรอเบอรี่ หรือผลิตผลที่จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมคุณภาพลงอย่างรวดเร็ว และสามารถใช้ได้ผลดีในกรณีที่มีผลิตผลปริมาณไม่มากนัก นอกจากนี้การใช้ประโยชน์ของวิธีนี้ยังมีข้อจำกัด เพราะถ้าหากไม่หยุดหรือลดการหมุนเวียนของอากาศจะทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.2 ตำแหน่งติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่ผนังและทิศทางการไหลของอากาศในห้อง forced-air cooling
ที่มา: Gast Karen L. B. & Flores Rolando. (1991)

2.11.2 การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง (Hydro-Cooling) เป็นการลดความร้อนโดยใช้น้ำเย็น เนื่องจากน้ำมีความจุความร้อนสูงและเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงสามารถใช้เป็นตัวกลางในการทำให้ผลิตผลเย็นลงได้ดีการใช้อากาศ วิธี hydro-cooling สามารถลดอุณหภูมิได้เร็วกว่าวิธีอื่น ๆ และใช้ได้ผลดีกับผักใบจะช่วยทำให้ผักมีเนื้อสัมผัสและความสดดีขึ้น แต่ก็ต้องขึ้นอยู่กับการสัมผัสระหว่างผลิตผลกับน้ำต้องให้มากที่สุด และน้ำจะต้องเย็นเท่าที่จะเย็นได้โดยไม่ทำให้เกิดผลเสียกับผลิตผล นอกจากนี้การไหลเวียนของน้ำต้องมากพอที่จะสัมผัสกับผลิตผลได้อย่างทั่วถึงและสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำได้ค่อนข้างคงที่ ซึ่งในทางปฏิบัติการทำ hydro-cooling จึงมีวิธีการได้หลายแบบดังนี้

- การปล่อยน้ำเย็นให้ไหลผ่าน (Flooding) เป็นวิธีที่ใช้การปล่อยน้ำเย็นให้ไหลผ่านผลิตผลที่บรรจุในภาชนะเรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะเคลื่อนที่มาตามสายพานหรือรางเลื่อนผ่านกระแสน้ำที่เป็นแบบ cooling water tunnel
- การพ่นน้ำเย็น (Spraying) เป็นการสเปรย์น้ำเย็นออกมาจาก sprinkler ที่อยู่ด้านบนเป็นน้ำฝอย ๆ หรืออาจทำเป็น tunnel

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- การจ่มน้ำเย็น (Immersion) เป็นวิธีการจุ่มภาชนะที่บรรจุผลิตผลแล้วลงในถังน้ำเย็น อาจเป็นถังน้ำแช่แข็งก็ได้ส่วนระยะเวลาที่จุ่มจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้

ดังนั้นการทำ hydro-cooling ได้ผลดีกว่าวิธีอื่น ซึ่งสามารถช่วยลดอุณหภูมิของผลิตผลได้อย่างลดเร็ว น้ำที่ใช้ควรเติมคลอรีนลงไปด้วยเพื่อทำให้น้ำสะอาดปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ แต่ต้องมีการควบคุมให้มีการหมุนเวียนของน้ำไหลผ่านผิวของผลิตผลอย่างเพียงพอ และอุณหภูมิของน้ำต้องไม่ต่ำเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลได้

2.11.3 การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งเป็นตัวกลาง (Ice Cooling) เป็นการลดความร้อนโดยใช้น้ำแข็งโดยการบดน้ำแข็งเป็นก้อนเล็ก ๆ เพื่อทำให้ผลิตผลเย็นลงโดยตรงเป็นวิธีที่ใช้เฉพาะในกรณีที่ไม่มีเครื่องทำความเย็นแต่ประสิทธิภาพในการทำให้ผลิตผลเย็นลงนั้นไม่ค่อยดีพอ เนื่องจากน้ำแข็งไม่สามารถเข้าสัมผัสกับผลิตผลได้ทั่วถึง แต่ถ้าต้องการให้ประสิทธิภาพในการลดความร้อนโดยใช้น้ำแข็งดีขึ้นควรใช้ร่วมกับน้ำเพราะน้ำจะเป็นตัวพาน้ำแข็งให้ไปสัมผัสกับผลิตผลมากขึ้น

2.11.4 การลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศ (Vacuum Cooling) เป็นกระบวนการลดอุณหภูมิภายใต้สภาพที่มีความดันต่ำโดยทำการดูดอากาศออกจากห้องลดอุณหภูมิ เมื่อความดันบรรยากาศลดต่ำลงแล้วน้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ซึ่งการเปลี่ยนสถานะนี้จะอาศัยพลังงานความร้อนที่อยู่ภายในผลิตผลนั้นเองส่งผลให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดต่ำลง ผลิตที่มีพื้นที่ผิวมาก จำพวกผักรับประทานใบสามารถคายความร้อนออกไปได้มากด้วยวิธีนี้และอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ในผลิตผลที่มีลักษณะเป็นผลหรือหัว มีพื้นที่ผิวน้อย จำพวกมะเขือเทศ และมันฝรั่งวิธีนี้จะไม่ค่อยเหมาะสม เนื่องจากมีพื้นที่ที่จะให้มีการเปลี่ยนสถานะของน้ำไปเป็นไอมีน้อย แต่อย่างไรก็ตามปริมาตรของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตผลด้วยวิธีนี้จะมากเป็น 200 เท่าของการสูญเสียโดยวิธีอื่น ๆ ซึ่งทำให้ผลิตผลเย็นลงอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ การลดความร้อนโดยวิธีนี้ผลิตผลจะสูญเสียน้ำประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ต่ออุณหภูมิที่ลดลงทุก ๆ 6 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ผลิตผลมีการสูญเสียน้ำมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง (ดนัย และนิธิยา, 2535)

2.12 หลักการทำงานของเครื่อง vacuum cooling ทั่วไป (Sun and Zheng, 2005)

2.12.1 ผักถูกนำไปลดอุณหภูมิในห้องสุญญากาศ (vacuum chamber)

2.12.2 เปิดสวิตซ์เครื่องปั๊มสุญญากาศรอให้ความดันลดลงจนถึงความดันอิ่มตัวที่เท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้นของผัก การระเหยเริ่มต้นมักจะใช้เวลาประมาณ 7-10 นาที ขึ้นอยู่กับขนาดของ vacuum chamber และประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.12.3 เมื่อความดันใน vacuum chamber อยู่ในสภาวะพร้อมที่จะทำงาน โดยความดันจะถูกกำหนดด้วย flash point ปั๊มสุญญากาศจะดูดอากาศออกแต่ยังไม่ทำความเย็น

2.12.4 เมื่อใกล้ถึงจุด flash point น้ำจะเริ่มระเหยกลายเป็นไอ และถูกดูดออกโดยปั๊มสุญญากาศหรือเกิดการควบแน่น ส่งผลให้ความดันภายในจะลดลง ดังนั้นการระเหยของน้ำจะเกิดขึ้น การลดอุณหภูมิจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ กระบวนการจึงสิ้นสุดลง

2.12.5 เมื่อกระบวนการสิ้นสุดลงวาล์วระบายอากาศจะเปิดออกและอากาศจะไหลเข้าสู่ vacuum chamber ผักจะถูกนำออกมาจาก vacuum chamber และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

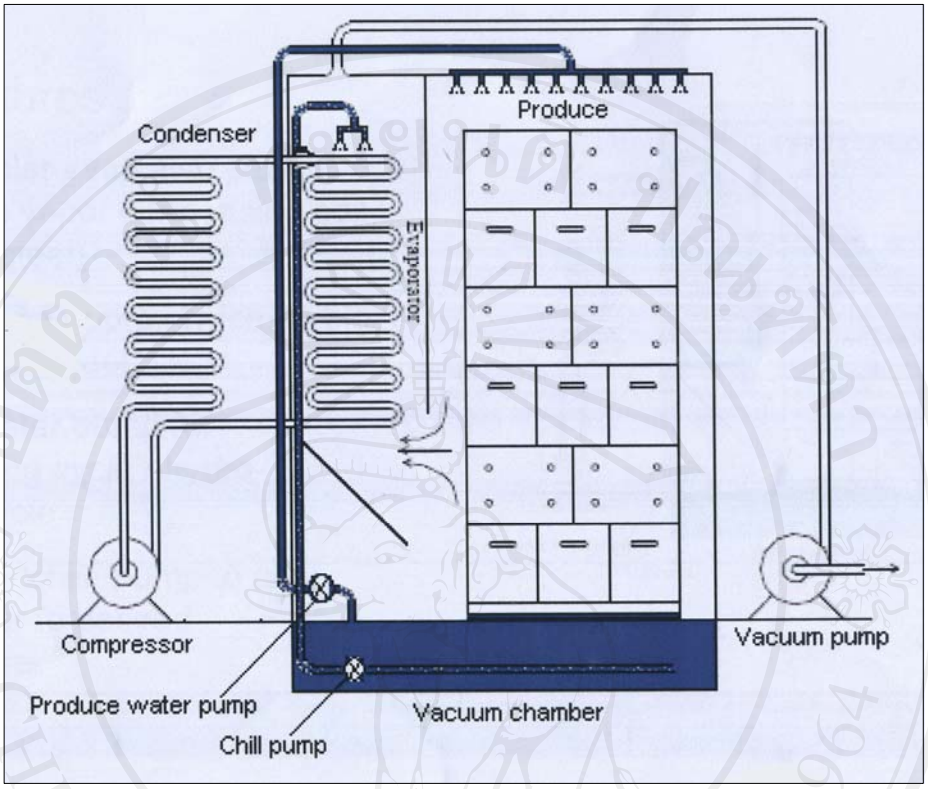
ในระหว่างการลดอุณหภูมิ พืชผักใบจะสูญเสียน้ำร้อยละ 1.5-4.7 หรือประมาณร้อยละ 1 ต่ออุณหภูมิที่ลดลง 12.2 องศาเซลเซียสวิธีนี้จะทำให้น้ำระเหยออกจากผักอย่างรวดเร็ว ผักบางชนิดอาจจะเหี่ยว เนื่องจากสูญเสียน้ำมากถ้าหากใช้เวลานานเกินไป ดังนั้นก่อนนำผักเข้าลดอุณหภูมิจะต้องใช้น้ำเย็นฉีดพ่นให้ใบเปียก หลังจากลดอุณหภูมิจำเป็นต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและขนส่งโดยใช้รถห้องเย็น

2.13 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีความแตกต่างกันทั้งขนาดและรูปร่างขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน แต่โดยทั่วไปมีส่วนประกอบพื้นฐานเหมือนกัน ซึ่งประกอบด้วย

- Vacuum Chamber เป็นส่วนที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดอุณหภูมิ ซึ่งจำเป็นต้องมีลักษณะปิดสนิทตลอดกระบวนการ เพื่อให้ภายใน chamber สามารถรักษาลักษณะสุญญากาศไว้ได้
- Vacuum Pump เป็นส่วนที่ใช้ในการดูดอากาศภายใน vacuum chamber ออกเพื่อทำให้ภายใน chamber มีลักษณะเป็นสุญญากาศ ซึ่งนิยมใช้ oil-sealed rotary pump
- Vapour Condenser เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมน้ำที่ระเหยออกมาจากผลิตภัณฑ์ให้กลับไปเป็นน้ำโดยจะทำการติดตั้งไว้ใน vacuum chamber และได้มีส่วนประกอบอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งได้แสดงใน ภาพที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ
ที่มา: Ingersoll Rand Climate Control Technologies, 2007

2.14 ประโยชน์ของการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยสุญญากาศ (Macdonald and Sun, 2000)

2.14.1 การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศ เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ เช่น การใช้อากาศเย็น หรือการแช่ในน้ำเย็น โดยทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากตัวผลิตผลไปยังผิวภายนอกโดยใช้ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว

2.14.2 สามารถลดอุณหภูมิผลิตผลได้ปริมาณมากต่อครั้ง และใช้ได้กับผลิตผลที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุ โดยไม่ต้องคำนึงถึงการหมุนเวียนของอากาศ, ชนิดของภาชนะบรรจุ หรือตัวกลางในการลดอุณหภูมิ

2.14.3 เนื่องจากเป็นการลดอุณหภูมิที่เกิดจากภายในตัวผลิตผลเองทำให้ได้ผลิตผลที่มีรูปลักษณะเดียวกัน (uniform) หลังจากผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศแล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.14.4 สามารถกำจัดน้ำส่วนเกินที่ติดอยู่บริเวณผิวของผลิตผลที่ไม่ต้องการได้ ทำให้ป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้

2.14.5 การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศ เป็นการลดอุณหภูมิที่ผลิตผลไม่มีการเคลื่อนที่ ทำให้สามารถลดความเสียหายทางกลของผลิตผลได้

2.14.6 การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิเร็วกว่าวิธีอื่นๆ โดยสามารถลดอุณหภูมิได้ 0.5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับผลิตผล เช่น chilling injury หรือ surface freezing ที่พบในการลดอุณหภูมิวิธีอื่นๆโดยใช้อัตราเร็วในการลดอุณหภูมิที่เร็วเกินไป

2.14.7 สามารถควบคุมอุณหภูมิของผลิตผลได้อย่างแน่นอน โดยการกำหนดความดันที่เหมาะสม การใช้เวลาในการลดอุณหภูมิสั้นทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นได้

2.14.8 การลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศอาจมีต้นทุนในการลงทุนสูงกว่าการลดอุณหภูมิโดยวิธีอื่นๆ แต่ในการดำเนินงานแต่ละครั้งพบว่ามีต้นทุนและค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิสั้นกว่าวิธีอื่นๆ (Sun and Zheng, 2006)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว การลดลงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวภาพ ซึ่งอุณหภูมิก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลง การรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งจำเป็นมากในอุตสาหกรรมของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ทันทีหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากว่าแหล่งความร้อนของผักจะได้มาจากการหายใจตลอดเวลาของผัก และความร้อนที่ติดมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก (Brosnan and Sun, 2000) ซึ่งในอุตสาหกรรมทางการเกษตรได้มีการพัฒนาเทคนิคที่จะช่วยลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวทันที โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทผัก ซึ่งเทคนิคที่นิยมกันมากเนื่องจาก เทคนิคนี้จะช่วยประหยัดพลังงาน (Cheng, 2006) เทคนิคดังกล่าวนั้น คือ กระบวนการทำ การทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศเป็นเทคนิคที่ช่วยในการระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็ว ซึ่งเทคนิค การทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอาหาร และผักประเภทต่าง ๆ (MeDonald and Sun,2000) โดยเฉพาะผักประเภทที่มีใบมาก อาทิเช่น ผักกาดหอมห่อ แต่อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้กับผลิตผลทางการเกษตรแต่ละชนิดก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2.2) (Sun and Zheng, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของการใช้กระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศต่อผลิตผลทางการเกษตร

ชนิดของผลิตผล	ข้อดี	ข้อเสีย
ไม้ตัดดอก (Cut flowers)	- สามารถยืดอายุการปักแจกันของดอกแดฟโฟดิบ (daffodil) และดอกลิลลี่ - เหมาะสำหรับลดอุณหภูมิของความร้อนที่ติดมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก - สามารถลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว - สามารถเก็บรักษาดอกได้นานและสะดวกขณะที่มีการขนส่งด้วยรถคอนเทนเนอร์	- ส่วนใหญ่ใช้ได้ดีกับผักใบ - มีการสูญเสียความชื้นเนื่องจากการลดอุณหภูมิทำให้มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสด
ผักและผลไม้ (Fruits and vegetables)	- ยืดอายุการวางจำหน่าย อาทิ เช่น ผักกาดหอมห่อ - ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากสามารถควบคุมการพ่นน้ำลงบนผลิตภัณฑ์ในระหว่างการลดอุณหภูมิ	- เมื่อลดอุณหภูมิเห็ดโดยใช้ระบบสุญญากาศทำให้มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่าวิธี air blast chilling - ทำให้เห็ดเกิดการเปลี่ยนสีและคุณภาพต่ำลง - ใช้ได้ดีกับผักใบ
ผักและผลไม้ (Fruits and vegetables)		- เศษผักหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กผ่านเข้าไปในปั๊มดูดอากาศก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบการทำงานได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิดของผลิตผล	ข้อดี	ข้อเสีย
ผลิตภัณฑ์จำพวกปลา (Fishery products)	- สามารถลดอุณหภูมิของเนื้อปลาทูน่าให้ถึงอุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส	- มีการใช้อย่างจำกัดภายในระบบอุตสาหกรรม เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง
อาหารพร้อมบริโภค (Ready meal)	- ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค - ระบบจะทำให้ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคมีอุณหภูมิต่ำลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านความร้อนแล้วเพื่อป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร - ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีการห่อหุ้มของผลิตทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้สัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรง	- ควรมีการตรวจสอบความปลอดภัยของระบบ เนื่องจากในระหว่างการดำเนินงานระบบมีช่วงของการใช้ความดันที่สูงและต่ำ อาจมีผลต่อเครื่องจักรต่าง ๆ - ระบบสุญญากาศเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กผ่านเข้าไปอุดตันท่อได้ ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อระบบการทำงาน - มีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง

ที่มา: McDonald and Sun (2000)

2.15 องค์ประกอบของคุณภาพ (จริงแท้, 2538)

คุณภาพของผักและผลไม้อาจแยกได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

2.15.1 ลักษณะภายนอก (External characteristic หรือ Appearance) ได้แก่

- รูปร่าง (Shape, Dimension) รูปร่างของผักที่ดีจะต้องมีรูปร่าง – รูปร่างตรงตามพันธุ์ มีความสวยงาม

- ขนาด (Size) ขนาดของผักและผลไม้จะใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

● สี (Color) สีที่ดีของผลิตผลควรเป็นสีธรรมชาติของผลิตผลนั้น ๆ ซึ่งสีของผักผลไม้นี้จะเป็นสิ่งสำคัญในการดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค

ในการวิเคราะห์คุณภาพของผักและผลไม้ตามสีอาจทำได้โดยการเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน อาทิเช่น แผ่นสีมาตรฐานของ The Royal Horticultural Society, London หรือวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี หรืออาจใช้การวิเคราะห์ทางเคมี เช่น การหาปริมาณคลอโรฟิลล์

● ความเป็นมันเงา (Gloss) ผิวของผักและผลไม้ชั้นนอกสุดจะมี cuticle ปกคลุมอยู่ ซึ่งชั้นนอกสุดของ cuticle ประกอบไปด้วยไข (wax) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งถ้ามีอยู่มาก เช่น ตอนที่ผลไม้มีความบริบูรณ์เต็มที่ ทำให้เห็นเป็นนวลสีขาวบนผิวของผลไม้หลายชนิด

● ตำหนิ (Defect) อาทิเช่น รอยบาดแผล รวมไปถึงแผลเป็นที่เกิดจากการเสียดสี, แรงกระทบ, ความเสียหายที่เกิดจากการทำลายของแมลง หรือสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช สิ่งเหล่านี้ถ้าหากเกิดขึ้นกับผักและผลไม้อาจทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

2.15.2 ลักษณะภายใน (Internal characteristic หรือ Appearance) ได้แก่

● รสชาติ ประกอบด้วยทั้งรส (flavor) และกลิ่น (aroma) ซึ่งรสชาติแต่ละผลิตผลแตกต่างกันไป ซึ่งการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตผลแต่ละอย่างจึงแตกต่างกัน และต้องใช้การชิมเป็นสิ่งสุดท้ายในการตัดสินคุณภาพ

● เนื้อสัมผัส (Texture) เนื้อสัมผัสของผลิตผลแต่ละอย่างแตกต่างกันไป และหลังจากการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสก็แตกต่างกันด้วย บางชนิดเปลี่ยนจากกรอบเป็นเหนียว บางชนิดเปลี่ยนจากแน่นแข็งเป็นนิ่มเละ บางชนิดเปลี่ยนจากเนื้อแห้งเป็นแฉะ เป็นต้น ซึ่งความแน่นเนื้อของผักและผลไม้สามารถทำนายอายุ (วัย) ของผลิตผลนั้น ๆ ได้ตามปกติระหว่างการเจริญเติบโตจนกระทั่งผักและผลไม้เกิดความแก่ (ระบบออนไลน์: สมโภชน์, 2537)

การวัดค่าความแน่นเนื้อ (จันทิมาและคณะ, 2547)

การวัดค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คือ การวัดค่าความรู้สึกสัมผัส (kinesthetic) โดยพยายามออกแบบเครื่องมือเพื่อใช้วัดค่าทางกายภาพที่แสดงถึงความรู้สึกสัมผัสของมนุษย์ ทั้งความรู้สึกสัมผัสที่เกิดจากมือ (finger feel) ความรู้สึกสัมผัสที่เกิดจากปาก (mouth feel) เช่นการเคี้ยวอาหารและความรู้สัมผัสที่เกิดขึ้นกับร่างกาย ส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือวัดค่าแรงต้านที่เกิดจากการสัมผัส หน่วยวัดค่าจึงเป็นหน่วยวัดค่าแรง คือ pound force การวัดค่าแรงต้านนี้อาจวัดค่าแรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้านเดี่ยว หรือแรงต้านร่วมที่เกิดจากสัมผัส เช่น การวัดแรงต้านการเคี้ยวอาหารซึ่งเป็นการวัดค่าแรง shear-pressure การวัดค่าแรงต้านการสัมผัสมีการวัดค่าแรงต่อไปนี้

- แรงบด (compression force) คือ การวัดค่าแรงที่เกิดตากการกด หรือบีบเพื่อทำให้ปริมาณของตัวอย่างลดลงแต่ไม่ถึงกับทำลายให้รูปทรงของตัวอย่างแตกออก
- แรงเฉือนแยก (shear force) คือ การวัดค่าแรงที่ทำให้เกิดการแยกตัวโดยการเลื่อนออกจากกัน ซึ่งส่วนหนึ่งของตัวอย่างจะเลื่อนแยกออกจากส่วนเดิม
- แรงตัด (cutting force) คือ การวัดค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างขาดออกจากกัน โดยแต่ละส่วนที่แยกออกไปนั้นจะคงรูปเดิมอยู่เพียงแต่ขาดออกเป็นส่วน ๆ มีรอยแยกเรียบเป็นระเบียบ
- แรงฉีก (tensile strength) การวัดค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างแยกออกจากกัน ด้วยการออกแรงไปในทิศทางตรงกันข้ามกันทำให้เกิดการแบ่งแยกออกจากกัน โดยมีรอยแยกไม่เป็นระเบียบสิ่งที่ต้านแรงแยก คือ ความเหนียว (toughness) เช่น ความเหนียวของเส้นใย หรือความเหนียวของเส้นด้ายหรือเส้นเชือก
- แรงบด–แยก (shear-pressure) คือ การวัดค่าแรงของแรงสองแรง คือ แรงแยกบด (compression) และแรงแยกตัว (shear) ซึ่งเกิดขึ้นกับตัวอย่างในเวลาเดียวกัน เช่นแรงที่เกิดจากการเคี้ยวอาหารด้วยฟันของมนุษย์

2.16 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (จริงแท้, 2538)

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสอาจทำได้หลายวิธี ได้แก่

<u>วิธีที่ 1</u> การวัดการเสียรูปทรง หรือ deformation test ซึ่งเป็นวิธีเลียนแบบการตรวจสอบความอ่อนนุ่มของผลไม้ของคนทั่วไป ซึ่งใช้มือบีบดูว่าผลไม้แข็งหรืออ่อนนุ่ม ซึ่งวิธีการนี้มีหลักการง่าย ๆ คือ ออกแรงกดให้ผลิตผลเกิดการยุบตัว โดยอาจออกแรงกดด้วยแรงคงที่และวัดระยะทางที่ผลิตผลยุบตัวลง หรือออกแรงกดให้ผลิตผลยุบตัวลงในระยะทางที่คงที่แล้วต้องวัดว่าต้องใช้แรงกดเท่าไหร่

<u>วิธีที่ 2</u> เป็นการวัดลักษณะความแข็งหรืออ่อนนุ่มของเนื้อผลิตผลโดยตรง เช่นเดียวกับการกัดและเคี้ยวบดด้วยปากและฟันของผู้บริโภค วิธีนี้มักใช้เครื่องมือที่มีลักษณะต่าง ๆ กดลงบนผลิตผลจนทะลุเข้าในเนื้อแล้วอ่านค่าแรงที่ใช้จนกดทะลุ

ส่วนการรายงานผล สมโภชน์ (2537: ระบบออนไลน์) ได้รายงานไว้ว่า การรายงานค่าความแน่นเนื้อโดยให้แรง (force) ที่ใช้กดเครื่องมือวัดความหนาแน่นเนื้อมีหน่วยเป็น นิวตัน และระบุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวรับแรงกดรวมทั้ง ความลึกที่หัวรับแรงกดจมลงไปในเนื้อของผลไม้ด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.17 การนำกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมาใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตผลทางการเกษตร

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงเทคนิค การทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศในการช่วยลดอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน ซึ่งในกะหล่ำปลี (cabbage) เป็นผักที่มีโครงสร้างของใบที่ห่อกันแน่นจึงยากที่จะทำการลดอุณหภูมิลงอย่างเฉียบพลันภายในโครงสร้างได้ จะต้องใช้อุณหภูมิจากภายนอกเข้าสู่ภายในสูงมาก ดังนั้นจะต้องทำการลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศหลายขั้นตอน (multi-stage vacuum cooling) พบว่า สามารถช่วยลดอุณหภูมิที่พื้นผิวและภายในของกะหล่ำปลีได้ (Cheng and Hsueh, 2006) นอกจากการศึกษาถึงเทคนิคการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศในการช่วยลดอุณหภูมิแล้วยังมีการศึกษาเกี่ยวกับแรงดันภายในเครื่องทำความเย็น (vacuum cooler) ที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของผักกาดหอมห่อ พบว่า ที่ระดับความดันต่าง ๆ ไม่มีผลต่อคุณภาพซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพันธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ และยังทำการค่อย ๆ ลดแรงดันลงเพื่อจะศึกษาถึงค่าความแน่นเนื้อ (firmness), กรดแอสโครบิค (ascorbic acid), ตัวเร่งปฏิกิริยา, และยังได้ศึกษาถึงโครงสร้างที่ส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า การที่ค่อย ๆ ลดแรงดันลงนั้นทำให้ค่าต่าง ๆ ที่ต้องการวัดมีค่าสูงขึ้น ทำให้อายุการวางจำหน่ายและคุณภาพของผักกาดหอมห่อดีมากขึ้น แต่โครงสร้างที่ส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (He *et al*., 2004)

ผักกาดหอมห่อส่วนใหญ่แล้วจะทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงต้นฤดูหนาว (Martinez and Artes, 1999) แล้วนำมาห่อด้วย polypropylene (PP) ซึ่งเก็บรักษาได้นานเป็นเวลา 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดลองนี้ได้นำเทคนิคการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศเข้ามาช่วยในการเก็บรักษา โดยการสังเกตค่าการสูญเสียน้ำหนัก (weight loss), การเหี่ยว (wilting), ความผิดปกติทางสรีรวิทยา (physiological disorders), การย่อยสลายของจุลินทรีย์ และตรวจสอบคุณภาพของ ผักกาดหอมห่อพบว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมห่อหัวแข็งและแน่น และผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัวด้วย polypropylene (PP) จะทำให้มีจุดสีน้ำตาล แต่จากการทดลองวิธีการทั้งหมดที่หุ้มด้วย polypropylene (PP) ยังไม่ปรากฏผลที่แน่ชัด (Artes and Martinez, 1996) ต่อจากนั้นจึงมีการทำการศึกษาต่อเกี่ยวกับการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อที่หุ้มด้วย polypropylene (PP) พบว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมห่อ ที่หุ้มด้วย polypropylene (PP) ขนาด 30 μm จะเป็นวิธีที่ดีที่สุด และการใช้เทคนิคการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ จะช่วยลดสีน้ำตาลที่ติดกับเส้นใบลง และ heart leaf ได้รับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บาดแผลน้อยลง แต่การเก็บรักษาผักกาดหอมห่อด้วยวิธีนี้จะใช้ได้เพียงแค่ช่วงอายุการวางจำหน่ายเท่านั้น (Martinez and Artes, 1999)

ในการศึกษาถึงอุณหภูมิที่แพร่ระหว่างกระบวนการทำความเย็น จำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะวัดอุณหภูมิที่เหมาะสมภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความเย็นในระบบสุญญากาศ (Tambunan *et al.,* 2005) กระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ นอกจากจะใช้ช่วยลดอุณหภูมิกับผักประเภทที่มีใบมากแล้ว ยังได้มีการศึกษาถึงผลของคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเห็ดหลังจากการ ทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศในสภาวะที่ต่างกัน คือ สภาวะcold room, hypobaric room, และ Modified Atmosphere Packaging (MAP) พบว่า การสูญเสียน้ำหนัก, อัตราการหายใจ, ความสามารถในการละลายของแข็ง คุณสมบัติของเยื่อเลือกผ่าน และการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เมื่อมีการทดสอบทางสถิติจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้สภาวะที่ต่างกันระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้สุญญากาศ (Tao *et al*., 2005)

การเปรียบเทียบการลดอุณหภูมิหรือการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของบร็อคโคลี่ และแครอทที่หั่นเป็นชิ้นบาง ๆ โดยเปรียบเทียบวิธีที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ การทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ, การลดอุณหภูมิแบบเป่าลม (blast cooling), การทำให้เย็นโดยใช้ห้องเย็น (cold room) และการลดความเย็นแผ่นเรียบ (plate cooling) ซึ่งพบว่า การทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากน้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ ถูกลดอุณหภูมิโดยใช้การพ่นน้ำลงบนผัก ดังนั้นการลดอุณหภูมิอย่างเฉียบพลันด้วยการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ จึงเหมาะสำหรับการลดอุณหภูมิของบร็อคโคลี่ และแครอท (Zhang and Sun, 2005)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษา วิธีการลดอุณหภูมิด้วยการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ ในหน่อไม้ ซึ่งทำการทดลองเปรียบเทียบกับการทำให้เย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง และการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศแบบแห้ง (vacuum drying) พบว่า ทั้งสามวิธีช่วยลดอุณหภูมิที่พื้นผิว และเปลือกของหน่อไม้ได้เช่นเดียวกัน แต่วิธีการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ จะดีที่สุด (Cheng, 2006) เนื่องจากวิธี การใช้สุญญากาศจะช่วยลดอุณหภูมิแล้วยังสามารถช่วยประหยัดพลังงาน และใช้ระยะเวลาสั้นในการลดอุณหภูมิอีกด้วย (McDonald and Sun, 2000) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงช่วงเวลาในการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางสำหรับผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งทำการทดสอบในผักกาดหอมห่อ 2 สายพันธุ์ คือ Green Towers MTO และ Green Mignonette พบว่า เมื่อใช้น้ำเป็นตัวกลางในการลดอุณหภูมิ Green Mignonette จะใช้เวลาประมาณ 22 นาทีและอุณหภูมิที่ใจกลางของผักจะเป็น 5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับ Green Towers MTO จะใช้เวลาประมาณ 7 – 8 นาทีเป็นอย่างต่ำ โดยทั่วไปแล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางจะใช้สำหรับผัก ผลไม้ที่มีพื้นที่ผิวน้อย ๆ เช่น เชอร์รี่ รวมไปถึงผักกาดหอมห่อแบบไม่แน่น ส่วนการลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศจะเหมาะสำหรับผักกาดหอมห่อแน่น เช่น Iceberg Lettuce จากการทดลองจะเห็นได้ชัดเจนว่า Green Mignonette จะมีลักษณะใบที่ห่อตัวกันแน่นกว่า Green Towers MTO จึงใช้เวลาในการทำให้เย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางนานกว่า จากการทดลองพบว่าในช่วงเวลาประมาณ 30 นาทีน่าจะเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสำหรับในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศน่าจะอยู่ที่ช่วง 25 – 30 นาทีของรอบการทำความเย็น (Tsang and Furutani, 2002)

จากการศึกษาการควบคุมอัตราการระเหยของน้ำ และการสูญเสียน้ำหนัก และอายุการปักแจกันของดอกลิลลี่ ขณะที่ทำการลดอุณหภูมิลงเฉียบพลันที่ระดับอัตราการระเหยแตกต่างกัน 4 ระดับความดัน คือ 8.5, 9.35, 14.4, และ 374 มิลลิบาร์ต่อนาที พบว่า อัตราการสูญเสียน้ำหนักลดจาก 5.4 เปอร์เซ็นต์ ถึง 3.7 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 374 และ 8.5 มิลลิบาร์ต่อนาที เมื่อศึกษาถึงอายุการปักแจกันของดอกลิลลี่ พบว่า การควบคุมอัตราการระเหยของน้ำที่ความดันระดับต่าง ๆ ไม่มีผลต่ออายุการปักแจกัน และอุณหภูมิสุดท้ายก่อนการทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ ทำให้การสูญเสียน้ำลดลง (Brosnan and Sun, 2003)

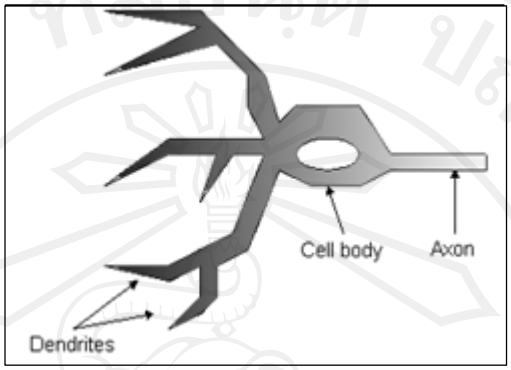
2.18 โคร่งข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

2.18.1 บทนำ

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network; ANN) หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า ‘‘ข่ายงานประสาท’’ (neural network หรือ neural net) เป็นรูปแบบหนึ่งของการประมวลผลข้อมูลที่มีแนวคิดพื้นฐานมาจากความพยายามเลียนแบบการทำงานของระบบประสาททางชีววิทยาของมนุษย์ที่มีลักษณะสำคัญคือ ความสามารถในการเรียนรู้ และปรับตัวได้จุดสำคัญของการประมวลผลข้อมูลโดยโครงข่ายประสาทเทียม คือ โครงข่ายที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายเชื่อมต่อกันอย่างทั่วถึงระหว่างหน่วยประมวลผล (พิชญา, 2548) แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (bioelectric network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ประสาท หรือ นิวตรอน (neurons) และจุดประสานประสาท (synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า เดนไดรท์ (dendrite) ซึ่งเป็น input และปลายในการส่งกระแสประสาท เรียกว่า แอคซอน (axon) ซึ่งเป็นเหมือน output ของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอก หรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่นิวเคลียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งเป็นตัวตัดสินว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอนิวเคลียสจะกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ต่อไปผ่านแอคซอนของมัน



ภาพที่ 2.4 model ของ neuron ในสมองมนุษย์

ที่มา: http://www.google.com.[Doc] Artificial Neural Network [online], 2 เมษายน 2552

2.18.2 ระบบประสาททางชีววิทยา

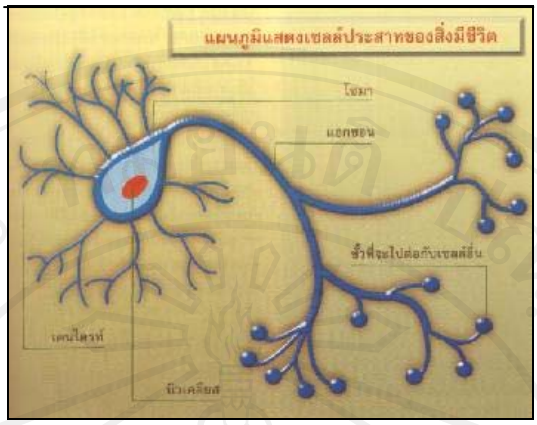
การพัฒนาระบบประมวลผลแบบโครงข่ายประสาทเทียมจะอิงกับแนวทางการประมวลผลของสมองของสิ่งมีชีวิต ดังนั้น ความเข้าใจในลักษณะเชิงคุณภาพ และเชิงพฤติกรรมขององค์ประกอบต่างๆ ในสมองของสิ่งมีชีวิตเป็นสิ่งที่จำเป็น ในระบบประสาทนั้นจะประกอบไปด้วยหน่วยเซลล์ประสาทพื้นฐานจำนวนมากเชื่อมต่อเข้าด้วยกันและสามารถเรียนรู้ได้ เซลล์ประสาทแต่ละหน่วยจะมีองค์ประกอบหลักอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน (พิชญา, 2548)

1. ตัวเซลล์ เรียกว่า โซมา (soma) มีลักษณะเป็นรูปทรงพีระมิด หรือทรงกระบอก (ระบบออนไลน์: http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php)

2. เดนไดรต์ (dendrite) คือ เส้นใยบาง ๆ ที่เซลล์ประสาทใช้รับสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่เซลล์ แต่ละเซลล์ประสาทจะมีเดนไดรต์จำนวนมากจัดตัวเป็นลักษณะเหมือนกิ่งไม้ (ระบบออนไลน์: http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php)

3. แอกซอน (axon) คือ สายส่งผ่านสัญญาณทรงกระบอกขนาดยาวและใหญ่ ที่เซลล์ประสาทใช้ในการส่งสัญญาณไปยังเซลล์ประสาทอื่น ๆ ส่วนปลายของแอกซอนจะแตกกิ่งก้านย่อย ๆ โดยมีส่วนปลายของแต่ละกิ่งก้านเหล่านี้ลักษณะเป็นปม และจะไปจ่ออยู่จนเกือบสัมผัสกับปลายของเดนไดรต์หนึ่งของเซลล์ประสาทเซลล์อื่นๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.5 แผนภูมิแสดงเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิต

ที่มา: http://www.google.com.[Doc] Artificial Neural Network [online], 2 เมษายน 2552

2.18.3 เซลล์ประสาทเทียม (Artificial Neuron)

เซลล์ประสาทเทียม เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม (พิชญา, 2548) เซลล์ประสาทเทียม คือ หน่วยรากฐานของโครงข่ายประสาทเทียม เซลล์ประสาทเทียมไม่สามารถใช้เป็นแบบในการอธิบายการทำงานของเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิตได้ถูกต้อง แต่เป็นการนำเอาแนวคิดที่ได้จากความเข้าใจการทำงานของเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิตมาประยุกต์ใช้

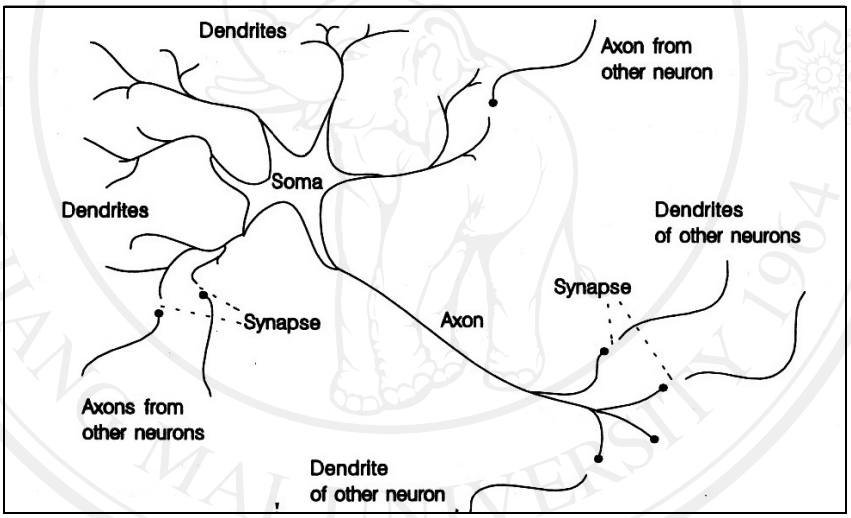
แบบจำลองพื้นฐานของเซลล์ประสาทเทียมถูกนำเสนอโดยแม็กคัลลอชและพิตต์ ในปี พ.ศ. 2486 โดยมีการทำงานคร่าว ๆ แบบเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิต คือ ทำหน้าที่รวมสัญญาณที่เข้ามายังเซลล์ประสาทเทียม ซึ่งเสมือนว่าเป็นเซลล์สัญญาณที่เข้ามาตามเดนไรต์ของเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิต แล้วยิงสัญญาณกระตุ้นออกไป หากผลรวมของสัญญาณเข้านั้นมีค่าสูงเกินระดับ (threshold) ซึ่งก็เสมือนการยิงสัญญาณไฟฟ้าออกทางแอกซอนจากเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิตนั้นเอง

สิ่งที่สำคัญในการจำลองเซลล์ประสาท คือ การจำลองไซแนปส์ทั้งหลายในโคร่งข่ายประสาทเทียม ซึ่งเปรียบเสมือนแหล่งความรู้ของสมอง การจำลองไซแนปส์นั้นใช้หลักการที่ว่าแต่ละไซแนปส์ทำหน้าที่เป็นตัวปรับเปลี่ยนสภาพสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากเซลล์ประสาทอื่น ๆ ก่อนส่งสัญญาณนั้นผ่านเดนไดรท์เข้าสู่ตัวเซลล์ประสาท และการปรับเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับความเหนียวแน่นของการเชื่อมต่อบริเวณรอยต่อไซแนปส์ โดยการแข็งแกร่งนี้จะเปลี่ยนไปตามความรู้ที่สมองได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เรียนเข้าไป นอกจากนี้แม็กคัลลอชและพิตต์ เสนอให้ใช้ตัวประกอบหนึ่งตัว เรียกว่า “ค่าน้ำหนัก” (weight) (ระบบออนไลน์: http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php)

การยิงสัญญาณออกจากเซลล์ประสาทเทียมถูกจำลองโดยสัญญาณขาเข้า (input) จะถูกรวบรวมผ่านส่วนเส้นเชื่อมต่อ (connection) ที่เลียนแบบเดนไดรต์ (processing element) ที่ทำงานเลียนแบบโซมาเส้นเชื่อมต่อแต่ละเส้นจะมีค่าน้ำหนัก (connection weight) ซึ่งเทียบได้กับการเพิ่มหรือลดระดับความแรงของสัญญาณกระแสประสาทของไซแนปส์ ส่วนประมวณผลจะรับผลรวมของสัญญาณขาเข้าและตรวจสอบกับ activation function ที่กำหนด เพื่อกำหนดสัญญาณขาออก (output) ซึ่งสัญญาณขาออกจะถูกส่งต่อไปยังเซลล์ประสาทเทียมอื่น ๆ ต่อไป (พิชญา, 2548)



ภาพที่ 2.6 เซลล์ประสาทเทียม
ที่มา: *Bumrooggit*,G., 1995

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการทำงานของเซลล์ประสาทเทียมสามารถอธิบายได้โดย

$$I = W_1X_1+W_2X_2+...+W_nX_n$$

$$O = F(I)$$

โดย I เป็นค่าผลรวมของสัญญาณขาเข้า

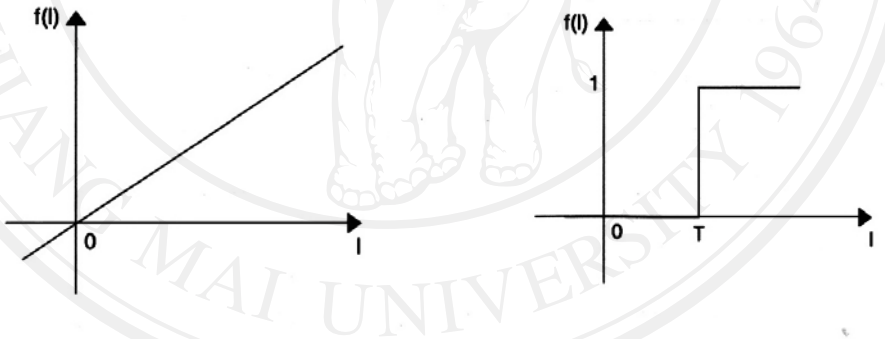
W เป็นค่าน้ำหนักของเส้นเชื่อมต่อ

X เป็นค่าสัญญาณขาเข้า

O เป็นค่าสัญญาณขาออก

$f(I)$ เป็น activation function

Activation function ของส่วนประมวลผลหรือเซลล์ประสาทเทียมนั้นสามารถกำหนดได้โดยฟังก์ชันหลายรูปแบบ แต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้ฟังก์ชันต่อไปนี้ (พิชญา, 2548)



(a) (b)

ภาพที่ 2.7 Activation functions

(a) กราฟ Linear function และ (b) กราฟ Step function

ที่มา: *Bumrooggit*, G., 1995.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(a) ฟังก์ชันแบบเชิงเส้น (Linear activation function)

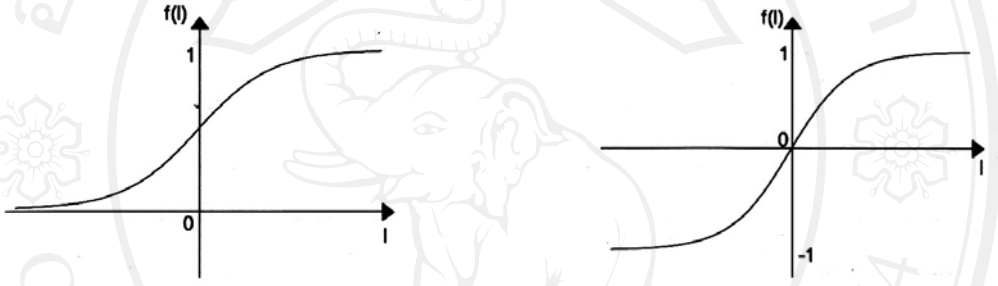
$f(I) = K*I$; โดยที่ K เป็นค่าคงที่

(b) ฟังก์ชันแบบขั้น (Step activation function)

$f(I) = 1 \quad if \quad I \geq T$

$f(I) = 0 \quad otherwise$

โดยที่ T เป็นค่าคงที่; threshold คงที่



(c) (d)

ภาพที่ 2.8 Activation functions

(c) กราฟ Sigmoid function (d) กราฟ Hyperbolic tangent activation function

ที่มา: *Bumrooggit*, G., 1995.

(c) Sigmoid activation function

$$\frac{f(I)}{1+\exp^{-I}} = 1$$

(d) Hyperbolic tangent activation function

$$f(I) = \tanh(I) = \frac{\exp^{(I)} - \exp^{(-I)}}{\exp^{(I)} + \exp^{(-I)}}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.18.4 กระบวนการเรียนรู้ (Learning Process) (พิชญา, 2548)

การเรียนรู้ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ นั้นมีกระบวนการแตกต่างกันไปหลาย ๆ แบบ แต่ละแบบก็อาจเหมาะสมกับแต่ละเผ่าพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ แนวคิดของกระบวนการเรียนรู้จะประยุกต์มาจากผลการศึกษาทางพฤติกรรมศาสตร์ อาจกล่าวโดยทั่วไปว่าการเรียนรู้ คือ กระบวนการซึ่งระบบประสาทปรับตัวเองได้ตามสิ่งเร้า จนกระทั่งสามารถให้ผลตอบได้ตามต้องการ โดยใช้การปรับตัวแปรที่ควบคุมสภาพของตัวระบบเอง

คำจำกัดความของกระบวนการเรียนรู้หมายถึงขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 โครงข่ายประสาทถูกกระตุ้นด้วยสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนที่ 2 โครงข่ายประสาทเกิดการเปลี่ยนแปลง อันเป็นผลมาจากการกระตุ้นดังกล่าว

ขั้นตอนที่ 3 โครงข่ายประสาทตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมในแนวทางใหม่ อันเป็นผลมา

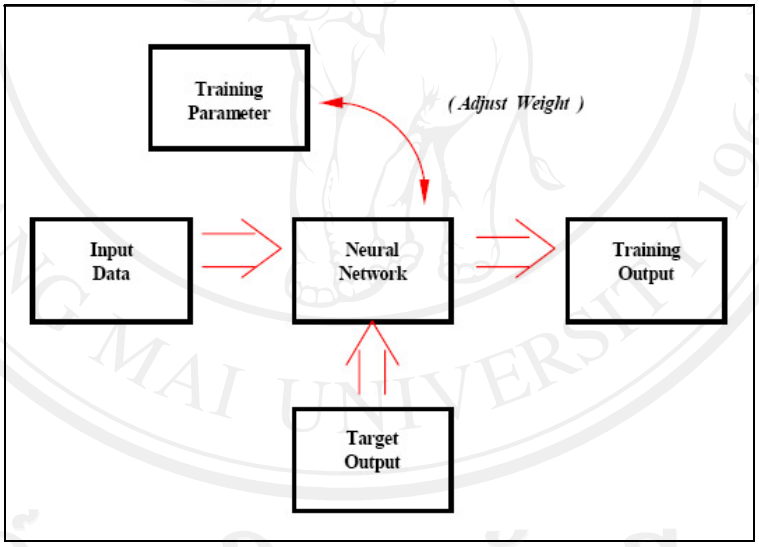
จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในโคร่งสร้างภายในโคร่งข่ายเมื่อพิจารณาไปที่เฉพาะบริเวณหนึ่ง ๆ ของโคร่งข่ายประสาท จะพบว่าการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทที่บริเวณต่าง ๆ นั้นสามารถมีรูปแบบที่แตกต่างกันได้หลาย ๆ แบบ และกระบวนการเรียนรู้ของแต่ละบริเวณก็ไม่เหมือนกันด้วย ในทำนองเดียวกันเทคนิคการเรียนรู้ของโคร่งข่ายประสาทเทียมก็แตกต่างกันไปสำหรับแต่ละชนิดของโคร่งข่าย(ระบบออนไลน์: http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php) ดังนั้นกระบวนการการเรียนรู้ของโคร่งข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบหลัก ๆ คือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) และการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) (พิชญา, 2548)

<u>แบบที่ 1</u> การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) เป็นกระบวนการที่มีการแสดงเป้าหมายของผลลัพธ์ให้กับโคร่งข่ายประสาทเทียมได้เห็นระหว่างการเรียนรู้ เปรียบได้กับการที่มี “ครู” ทำหน้าที่สอนและชี้ข้อผิดพลาดให้ทราบ ดังนั้น ในชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (learning set) ของการเรียนรู้แบบนี้จะมีการแสดงข้อมูลขาเข้า (input) และผลลัพธ์ที่เป็นเป้าหมาย (target output) ให้โคร่งข่ายประสาทเทียมได้รับข้อมูลขาเข้าไปทำการประมวลผลจนได้ผลลัพธ์ (actual output) ออกมา จะสามารถทราบถึงความผิดพลาด (error) ที่เกิดขึ้นระหว่างผลลัทธ์ที่เป็นเป้าหมายกับผลลัพธ์ที่ได้มา ซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในการปรับค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อในโคร่งข่ายประสาทเทียมเพื่อให้เห็นความผิดพลาดลดลง การปรับค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อดังกล่าวจะเป็นการลู่เข้าของค่าความผิดพลาด (error convergence) โดยที่จะพยายามลดค่าความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยหลักการเดียวกับวิธี “steepest decent” การเรียนรู้ด้วยกระบวนการ supervised learning

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถใช้ได้กับโครง่ข่ายประสาทเทียมหลายชนิด แต่ละชนิดที่เป็นที่รู้จักและได้นำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวางในหลากหลายสาขา คือ โครง่ข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่นิยมใช้ในการเรียนรู้โดยวิธี “Backpropagation Alogorithm” (พิชญา, 2548) โดยจะมีคุณลักษณะและสมรรถนะแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการส่วนใหญ่ของการเรียนรู้แบบมีผู้สอนนี้จะดัดแปลงมาจากวิธีการทางคณิตศาสตร์ในเรื่องของเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม (optimization technique) (ระบบออนไลน์:http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php)

การเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning) เป็นการเรียนรู้แบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้วงจรข่ายปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใช้สอนวงจรข่ายจะมีคำตอบไว้คอยตรวจดูว่าวงจรข่ายให้คำตอบที่ถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูกวงจรข่ายก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น (ระบบออนไลน์: report_neural20% network [1] doc.)



ภาพที่ 2.9 แสดงการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning)

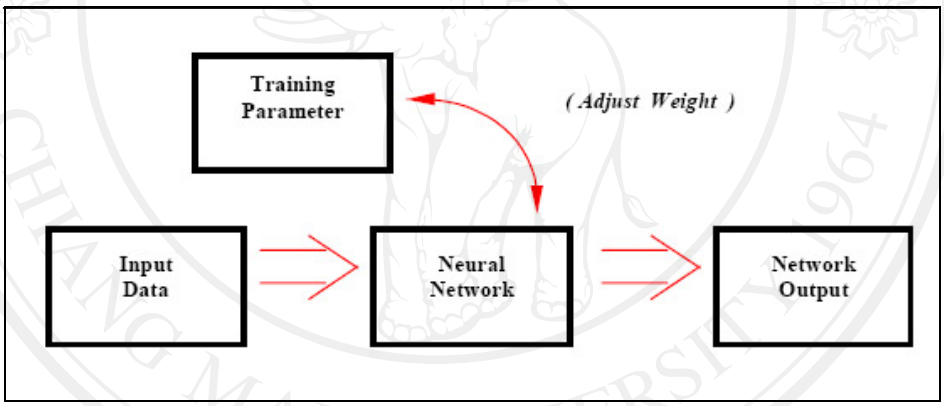
ที่มา: http://www.google.com.[Doc] Artificial Neural Network [online], 2 เมษายน 2552

<u>แบบที่ 2</u> การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) เป็นการเรียนรู้ที่ไม่จำเป็นต้องมีค่าเป้าหมายของแต่ละข้อมูลตัวอย่าง ในระหว่างการเรียนรู้โครง่ข่ายประสาทเทียมจะได้รับข้อมูลกระตุ้นในรูปแบบต่าง ๆ และจะทำการจัดกลุ่มรูปแบบต่าง ๆ เหล่านั้นเองตามต้องการ ผลตอบโครง่ข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนี้จะเป็นการระบุกลุ่มของข้อมูลที่ใส่เข้าไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยจะอิงกับวิธีการจัดกลุ่มซึ่งได้เรียนรู้จากข้อมูลที่โครง่ข่ายเคยพบมา (ระบบออนไลน์: report_neural20% network [1] doc.) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ากระบวนการเรียนรู้นี้เกิดขึ้นโดยไม่มี “ครู” คอยสอนหรือกำหนดเป้าหมายให้ การเรียนรู้ด้วยกระบวนการ unsupervised นี้มีการประยุกต์ใช้กับโครง่ขายประสาทเทียมหลายชนิดด้วยกัน แต่ชนิดที่รู้จักและมีการศึกษากันค่อนข้างมาก คือ โครง่ข่าย Kohonen หรือที่เรียนกันอีกอย่างหนึ่งว่า Self-Organizing Map (SOM) และโครง่ข่าย Hopfied (พิชญา, 2548)

การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning) เป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด วงจรข่ายจะจัดเรียงโครง่สร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล ผลที่ได้วงจรข่ายจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้ (ระบบออนไลน์: report_neural20% network [1] doc.)



ภาพที่ 2.10 แสดงการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning)

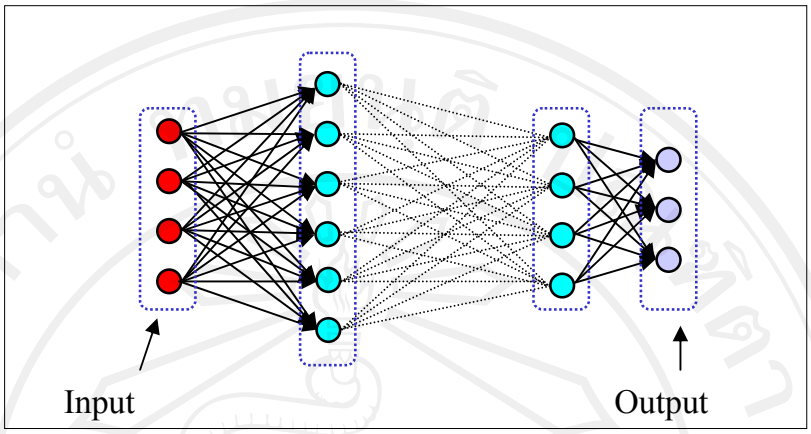
ที่มา: http://www.google.com.[Doc] Artificial Neural Network [online], 2 เมษายน 2552

2.18.5 สถาปัตยกรรมโครงข่าย (Network Architecture)

ก. Feedforward network

ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่ายจะถูกส่งไปในทิศทางเดียวจาก input nodes ส่งต่อมาเรื่อย ๆ จนถึง output nodes โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล หรือแม้แต่ nodes ใน layer เดียวกันก็ไม่มีการเชื่อมต่อกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

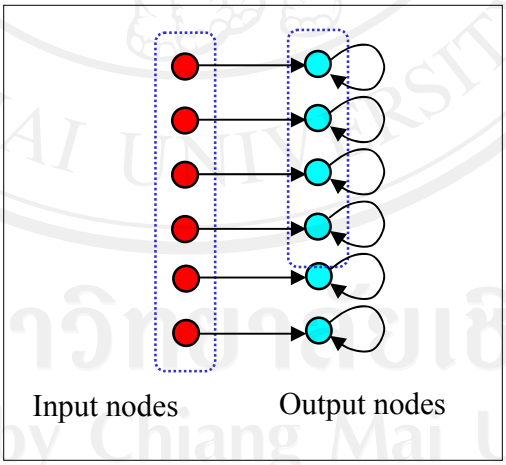


ภาพที่ 2.11 แสดงสถาปัตยกรรมของ Feedforward network

ที่มา: http://www.google.com.[Doc] Artificial Neural Network [online], 2 เมษายน 2552

ข. Feedback network

ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่าย จะมีการป้อนกลับเข้าไปยังวงจรข่ายหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งได้คำตอบออกมา (บางทีเรียกว่า recurrent network)



ภาพที่ 2.12 แสดงสถาปัตยกรรมของ Feedback network

ที่มา: http://www.google.com.[Doc] Artificial Neural Network [online], 2 เมษายน 2552

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค. Network Layer

พื้นฐานสามัญที่สำคัญของ Artificial Neural Network ประกอบไปด้วย 3 ส่วน หรือ 3 layer ได้แก่ ชั้นของ input units ที่ถูกเชื่อมต่อกับชั้นของ hidden units ซึ่งเชื่อมต่อกับชั้นของ output units (ระบบออนไลน์: report_neural20% network [1] doc.)

โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Multi-Layered Artificial Neural Network)

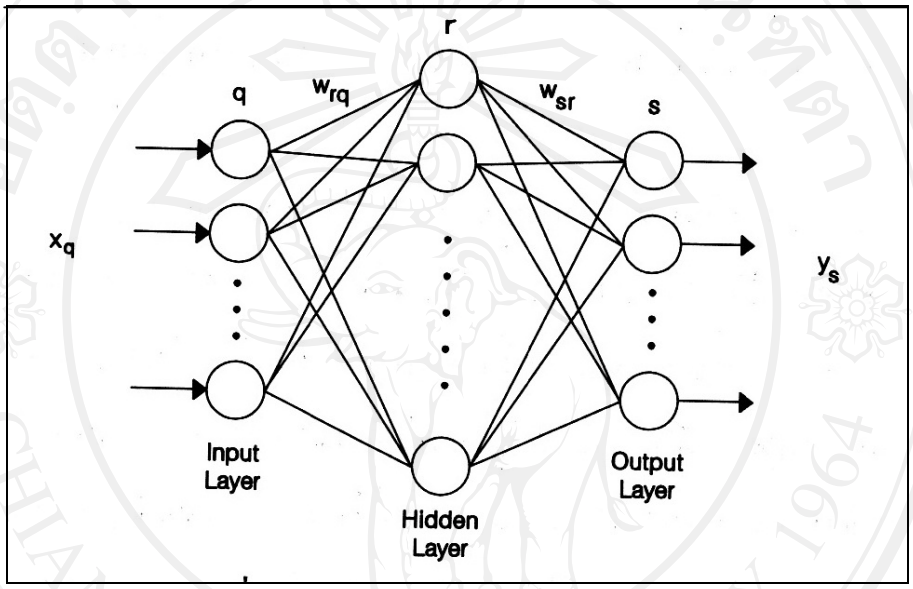
โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นเป็นโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นจะประกอบด้วยชั้นของหน่วยประสาทเทียม (layer) ซึ่งในแต่ละชั้นจะมีหน่วยประสาทเทียมจำนวนหลาย ๆ หน่วยต่ออยู่ด้วยกัน โดยทั่วไปชั้นของหน่วยประสาทเทียมในโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. Input layer เป็นชั้นของหน่วยประสาทเทียมที่รับข้อมูลขาเข้า
2. Hidden layer เป็นชั้นของหน่วยประสาทที่อยู่ภายในโครงข่ายประสาทเทียมระหว่าง input layer และ output layer ชั้นของหน่วยประสาทเทียมนี้จะไม่มีการเชื่อมต่อกับข้อมูลภายนอกโดยตรง
3. Output layer เป็นชั้นของหน่วยประสาทเทียมชั้นสุดท้ายที่ส่งข้อมูลออกไปยังภายนอก

โครงข่ายประสาทเทียมจะมี input layer และ output layer อย่างละหนึ่งชั้น ในขณะที่ชั้น hidden layer อาจจะมีจำนวนมากกว่าหนึ่งชั้นได้ สำหรับจำนวนของหน่วยประสาทเทียมในชั้น input layer และ output layer จะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ใช้ในการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมและผลลัพธ์ที่ต้องการได้รับจากโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนจำนวนชั้นของ hidden layer และจำนวนของหน่วยประสาทเทียมในชั้น hidden layer นั้นจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา ปริมาณข้อมูลที่ใช้ซึ่งการกำหนดจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทในชั้น hidden layer แต่ละชั้น ยังไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัว แต่จากการวิจัยพบว่า หากจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทเทียมมีน้อยเกินไป โครงข่ายประสาทเทียมอาจจะไม่สามารถตอบปัญหาได้อย่างถูกต้องเท่าที่ควร หรืออาจจะไม่สามารถเรียนรู้ได้ตามที่ต้องการ ในทางกลับกันหากจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทเทียมมีมากเกินไป โครงข่ายประสาทเทียมมีแนวโน้มที่จะ “จำ” ตัวอย่างที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ มากกว่าที่จะเรียนรู้ลักษณะรูปแบบของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถตอบปัญหาได้ดีเท่าที่ควรเช่นกัน นอกจากนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยังจะมีผลทำให้กระบวนการการเรียนรู้จะต้องใช้เวลานานขึ้นอีกด้วย ในการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไปมักจะใช้จำนวนชั้น hidden layer ประมาณ 1 หรือ 2 ชั้น จะพอเพียงในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนมาก ๆ ได้ ส่วนจำนวนหน่วยประสาทเทียมในชั้น hidden layer จะเป็นการประมาณและทดลองในรูปแบบของ train and error เป็นส่วนใหญ่ (พิชญา, 2448)



ภาพที่ 2.13 แสดงโครงข่ายประสาทเทียม
ที่มา: *Bumroonggit,* G., 1995

พิชญา (2548) กล่าวว่า จากภาพที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่ประกอบไปด้วยชั้นประสาทเทียมจำนวน 3 ชั้นด้วยกัน ได้แก่ 1) ชั้น input layer หรือชั้น q 2) ชั้น hidden layer หรือชั้น r และ 3) ชั้น output layer หรือชั้น s ชั้นประสาทเทียมแต่ละชั้นมีการเชื่อมต่อถึงกันอย่างเต็มรูปแบบ (fully interconneted) ซึ่งหมายถึง หน่วยประสาทเทียมแต่ละหน่วยในชั้นหนึ่ง ๆ จะเชื่อมต่อกับหน่วยประสาทเทียมอื่น ๆ ทุกหน่วยในชั้นก่อนหน้าและชั้นถัดไป แต่จะไม่ต่อกับหน่วยประสาทเทียมในชั้นเดียวกัน ในขณะเดียวกันเส้นเชื่อมต่อจะมีค่าน้ำหนักของแต่ละเส้น (connection weight) ที่ทำหน้าที่ปรับระดับของข้อมูลที่ผ่านมาด้วยการคูณ ค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมที่แสดงในที่นี้จะเรียกว่า w_{rq} และ w_{sr} ซึ่งค่าน้ำหนักของเส้นเชื่อมต่อเหล่านี้จะถูกปรับเปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อมูลขาเข้าจะถูกรับเข้ามายังโครงข่ายประสาทเทียมผ่านทาง input layer โดยที่หน่วยประสาทเทียมในชั้น input layer นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกระจายข้อมูลไปสู่หน่วยประสาทเทียมในชั้น hidden layer และชั้น output layer จะรวบรวมข้อมูลที่ผ่านการปรับระดับโดยเส้นเชื่อมต่อแต่ละเส้น และนำมาตรวจสอบกับ activation function เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ ในที่นี้ผลลัพธ์ของหน่วยประสาทเทียมในชั้น hidden layer จะถูกส่งต่อไปยัง output layer ในขณะที่ผลลัพธ์ของ output layer จะเป็นผลลัพธ์หรือค่าคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับชั้น hidden layer หรือชั้น r สามารถคำนวณหาค่าข้อมูลขาข้าวของแต่ละหน่วยประสาทเทียมได้โดย

$$I_r = \sum_q W_{rq} X_q \qquad r = 1,2,...,N_r$$

และสำหรับชั้น output layer หรือชั้น s สามารถคำนวณหาค่าข้อมูลขาเข้าของแต่ละหน่วยประสาทเทียมได้โดย

$$I_r = \sum_r w_{sr} O_r \qquad r = 1,2,...,N_r$$

โดย X_q เป็นค่าข้อมูลขาข้าวของหน่วยประสาทเทียมในชั้น q

w_{rq} เป็นค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อระหว่างชั้น q และ r

w_{sr} เป็นค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อระหว่างชั้น r และ s

N_r เป็นจำนวนหน่วยประสาทเทียมในชั้น r

N_s เป็นจำนวนหน่วยประสาทเทียมในชั้น s

O_r เป็นค่าข้อมูลขาออกของหน่วยประสาทเทียมในชั้น r

ผลลัพธ์หรือข้อมูลขาออกของหน่วยประสาทเทียมในชั้น r หรือ O_r สามารถคำนวณหาได้จาก

$$O_r = f(I_r) \qquad r = 1,2,...,N_r$$

และผลลัพธ์หรือข้อมูลขาออกของหน่วยประสาทเทียมในชั้น s หรือ y_s สามารถคำนวณหาได้จาก

$$y_s = f(I_s) \qquad r = 1,2,...,N_s$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเรียนรู้โดยใช้วิธี Backpropagation Algroithm (พิชญา, 2548)

กระบวนการเรียนรู้โดยใช้วิธี Backpropagation Algroithm เป็นการเรียนรู้แบบหนึ่งที่จัดอยู่ในแบบ supervised learning ซึ่งจะมีการแสดงทั้งข้อมูลขาเข้า และผลลัพธ์ที่เป็นเป้าหมายให้โครงข่ายประสาทเทียมได้ทราบ จากข้อมูลขาเข้าที่ได้รับโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการประมวลหาค่าผลลัพธ์ออกมา หลังจากนั้นค่าความผิดพลาดระหว่างผลลัพธ์ที่ได้กับผลลัพธ์ที่เป็นเป้าหมายจะถูก "แพร่" ย้อนกลับเข้ามาในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ในการปรับค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อจนกระทั่งค่าความผิดพลาดลดน้อยลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด

ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้ ค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อจะถูกกำหนดโดยการสุ่มแบบ random โดยใช้ค่าน้อย ๆ เมื่อได้รับข้อมูลคู่หนึ่งจากชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการประมวลผลจนได้ค่าผลลัพธ์ y_s ออกมา ซึ่งค่าผลลัพธ์ดังกล่าวจะเป็นผลจากค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อในขณะนั้น ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้น output layer หรือ δ_s จะถูกคำนวณได้โดย

$$\delta_s = f'(I_s)(t_s - y_s) \qquad s = 1,2,\ldots,N_s$$

ส่วนค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้น hidden layer หรือ δ_r จะถูกคำนวณได้เช่นกัน

$$\delta_r = f'(I_r)\sum_s \delta_s w_{sr} \qquad r = 1,2,\ldots,N_r$$

โดยที่ $f'()$ เป็นอนุพันธ์ชั้นที่หนึ่งของ activation function เมื่อเทียบกับ I

t_s เป็นค่าผลลัพธ์ที่มีเป้าหมาย

สมมุติให้เลือก sigmoid activation function ที่ได้รับการใช้งานอย่างค่อนข้างแพร่หลายในโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้น

$$f'(I_s) = \theta f(I_s)(1 - f(I_s))$$
$$= \theta y_s(1-y_s)$$
$$f'(I_r) = \theta f(I_r)(1 - f(I_r))$$
$$= \theta O_r(1-O_r)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้น output layer และชั้น hidden layer จะสามารถเขียนได้โดย

$$\delta_s = \theta y_s (1-y_s)(t_s - y_s) \qquad s = 1,2,\ldots,N_s$$

$$\delta_r = \theta O_s (1-O_r) \sum_s \delta_s w_{sr} \qquad r = 1,2,\ldots,N_r$$

ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้ข้างต้น ค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อในชั้น output layer จะถูกปรับเปลี่ยนไปโดย

$$w_{sr}^{new} = w_{sr}^{old} + \Delta w_{sr}^{nwe}$$

โดยที่

$$\Delta w_{sr}^{new} = (1-\beta)\eta\delta_s O_r + \beta\Delta w_{sr}^{old}$$

ในขณะเดียวกัน ค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อในชั้น hidden layer สามารถปรับเปลี่ยนไปโดย

$$w_{rq}^{new} = w_{rq}^{old} + \Delta w_{rq}^{new}$$

โดยที่

$$\Delta w_{rq}^{new} = (1-\beta)\eta\delta_r x_q + \beta\Delta w_{rq}^{old}$$

ทั้งนี้ค่า η คือ อัตราการเรียนรู้ (learning rate) ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดขั้นของการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละรอบของการเรียนรู้ โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หาก η มีค่ามาก ๆ การเรียนรู้จะดำเนินการไปอย่างรวดเร็ว แต่จะทำให้มีโอกาสข้ามผ่านจุดต่ำสุดของค่าผิดพลาดได้ง่าย ในขณะที่หาก η มีค่าน้อย ๆ การเรียนรู้จะดำเนินไปอย่างละเอียด แต่จะใช้เวลานานขึ้น ส่วน β คือ smoothing factor มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เช่นกัน ซึ่งเป็นค่าที่ช่วยกำหนดระดับความสำคัญของการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อในรอบที่ผ่านมาก่อนหน้าเปรียบเทียบได้กับโมเมนตัมของการเปลี่ยนแปลง นั่นคือ เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมได้ค่าการปรับเปลี่ยนจากการเรียนรู้ในรอบปัจจุบัน จะยังคงไม่ละทิ้งการเรียนรู้ในรอบที่ผ่านมาก่อนหน้าเสียทั้งหมด ทั้งนี้เป็นแนวคิดที่จำลองมาจาก กระบวนการเรียนรู้ของมนุษย์ เมื่อการเรียนรู้รอบหนึ่งผ่านไป ข้อมูลคู่ถัดไปจากชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้จะถูกแสดงให้กับโครงข่ายประสาทเทียมอีก การคำนวณและการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อจะเกิดขึ้นอีก กระบวนการเรียนรู้นี้จะดำเนินซ้ำไปเป็นรอบๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จนถึงจำนวนรอบการเรียนรู้ที่กำหนดไว้ หรือเมื่อค่าความผิดพลาดที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเรียนรู้ลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนดความผิดพลาดที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเรียนรู้มักจะคำนวณได้โดย

$$MSE = \frac{1}{N_T}\sum_{N_r}\sum_{s}(t_s - y_s)^2$$

โดยที่ N_T เป็นจำนวนข้อมูลในชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้

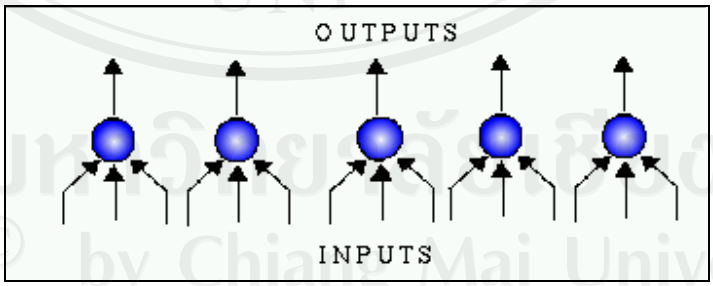
Architecture of Layer สามารถจำแนกสถาปัตยกรรมของชั้น (layer) ออกเป็น 2 ประเภท คือ single-layer และ multi-layer (ระบบออนไลน์:http://www.google.com.[Doc] Artificial Neural Network)

- Single-layer perceptron เครือข่ายใยประสาทที่ประกอบด้วยชั้นเพียงชั้นเดียว จำนวน input nodes ขึ้นอยู่กับจำนวน components ของ input data และ Activation function ขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลของ Output เช่น ถ้า output ที่ต้องการเป็น “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” เราจะต้องใช้ Threshold function

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq T \\ 0 & \text{if } x < T \end{cases}$$

หรือถ้า output เป็นค่าตัวเลขที่ต่อเนื่อง เราต้องใช้ continuous function เช่น Sigmoid function

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\alpha x}}$$



ภาพที่ 2.14 แสดง single-layer perceptron

ที่มา: http://www.google.com.[Doc] Artificial Neural Network [online], 2 เมษายน 2552

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- Multi-layer perceptron เครือข่ายใยประสาทจะประกอบด้วยหลายชั้นโดยในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยโหนด (nodes) หรือเปรียบได้กับตัวเซลล์ประสาท(neurons) ค่าน้ำหนักของเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดของแต่ละชั้น(เมทริก W), ค่า bias vector (b) และค่า output vector (a) โดย m เป็นตัวเลขบอกลำดับชั้นกำกับไว้ด้านบน เมื่อ p เป็น input vector การคำนวณค่าเอาต์พุตสำหรับเครือข่ายใยประสาทที่มี M ชั้นจะเป็นดังสมการ

เมื่อ $m = 0, 2, \ldots, M-1$

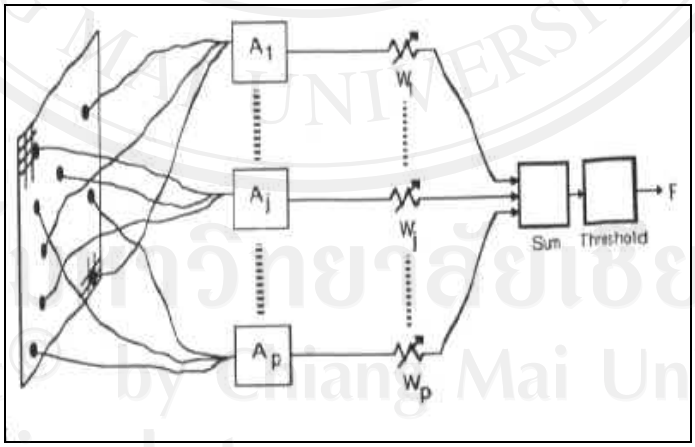
$$a^0 = p$$

$$a = a^m$$

และ f เป็น transfer function

Perceptrons

ในยุค 60s งานส่วนใหญ่ของข่ายงานได้รับการวิพากษ์วิจารย์ในหัวข้อเรื่อง Perceptrons ซึ่งค้นพบโดย Frank Rosenblatt โดย perceptron ซึ่งกลายเป็น MCP model (neuron with weighted inputs) พร้อมกับส่วนต่อเติม จากรูปในส่วน A1,A2,Aj,Ap เรียกว่า association units การทำงานเพื่อคัดเลือกสิ่งที่แตกต่างออกมาจากรูปภาพที่รับเข้าไป โดย perceptrons สามารถคัดลอกความคิดพื้นฐานภายในของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม หลัก ๆ แล้วจะใช้ในรูปแบบ recognition และสามารถขยายให้มีความสามารถสูงกว่านี้



ภาพที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของ perceptrons

ที่มา: http://www.google.com.[Doc] Artificial Neural Network [online], 2 เมษายน 2552

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในปี ค.ศ.1969 Minskey และ Papert ได้เขียนหนังสืออธิบายเกี่ยวกับขอบเขตของ single-layer perceptrons ผลกระทบที่ได้รับจากหนังสือเล่มนั้นร้ายแรง เป็นเหตุให้นักวิจัยสาขา neural network สูญเสียผลประโยชน์ เนื่องจากหนังสือสามารถถ่ายทอดออกมาได้ดี และแสดงข้อมูลในเชิงคำนวนว่า single-layer persepteons ไม่สามารถที่จะสร้างรูปแบบการจดจำพื้นฐาน (basic pattern recognition operation) ได้ เช่น การกำหนดความคล้ายคลึงของรูปร่าง หรือกำหนดว่ารูปร่างใดสัมพันธ์กันหรือไม่ แต่สิ่งที่นักวิจัยไม่รู้จนกระทั่งยุค 80s คือ การได้รับการฝึกฝนที่ถูกต้อง ซึ่ง multi-layer perceptrons สามารถดำเนินการแก้ไขสิ่งเหล่านี้ได้ (ระบบออนไลน์: report_neural20% network [1] doc.)

2.18.6 การประยุกต์ใช้งาน Artificial Neural Network

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในงานที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ทางด้านอุตสาหกรรมเกษตรนั้นมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ (ธัญนั้นท์, 2549) ส่วนมากมักจะเกี่ยวข้องกับการทดลอง, ข้อมูลทางสถิติจำนวนมาก รวมทั้งความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรจำนวนมากซึ่งมักจะมีความซับซ้อน รวมไปถึงความไม่แน่นอน ความผิดพลาด หรือความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล ทำให้การใช้แบบจำลองหรือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหามีความยุ่งยาก ปรับเปลี่ยนตามข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงได้ไม่ดีเท่าที่ควร ส่วนใหญ่แล้วการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในอุตสาหกรรมเกษตรมักจะเป็นเรื่องเกี่ยวกับการแยกประเภท (classification) และการพยากรณ์ (forecasting) เป็นส่วนใหญ่ มักจะเป็นเรื่องเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพ (quality control), การเปรียบเทียบ (benchmaketing), การระบุลักษณะ (characterizing) และการตรวจสอบ (detection) (พิชญา, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 แสดงการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในอุตสาหกรรมเกษตร (พิชญา, 2548)

การประยุกต์ใช้งาน	ตัวอย่าง
1. ด้านการแยกประเภท ● การควบคุมคุณภาพ ● การแยกผลิตภัณฑ์	- การตรวจสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส(sensory characteristic) ของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส, รสชาติ กลิ่นและสี - การบ่งบอกชนิด ผู้ผลิต และปีที่ผลิตได้ของผลิตภัณฑ์ เช่น การทำนายอายุการเก็บรักษาของนม, การตรวจหาการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์เนื้อในถุงสุญญากาศ
2. ด้านการพยากรณ์ (prediction)	- ทำนายอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อ, พยากรณ์เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิภายในอาคาร

ในการศึกษาค้นคว้าทางด้านงานวิจัยต่าง ๆ ในปัจจุบันนี้ จะมีตัวแปรหลายตัวที่มีความเกี่ยวข้องหรือมีความสัมพันธ์กันจึงทำให้เกิดความซับซ้อน ดังนั้นจึงมีการศึกษาค้นคว้าทางด้านโครงข่ายประสาทเทียมมากยิ่งขึ้น ซึ่ง ธัญนันท์ (2549) ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์คุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งหลังการขนส่งทางรถบรรทุกได้อย่างแม่นยำกว่า การทำนายโดยวิธีการวิเคราะห์รีเกรสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีค่าอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 30.17 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ Mohammad (2004) ได้ทำการศึกษาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์องค์ประกอบทั้งหมดของ trans-isomer ซึ่งได้แก่ กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิก ในระหว่างการเกิด hydrogenation ซึ่งมีปัจจัยขาเข้า คือ อุณหภูมิ, แรงดันไฮโดรเจน, ความเข้มข้นของสารตั้งต้น, อัตราการผสม, ปริมาณไอโอดีน และองค์ประกอบเริ่มต้นของไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกทดสอบ และประเมินค่าโดยการใช้ตัวเลขการทดลองชุดใหญ่จาก pilot-plant hydrogenation และมีการนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการทางคณิตศาสตร์ ก็ได้พบว่า การพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความเหมาะสมมากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ 2 ปัจจัย ที่มีความสำคัญในการใช้แรงดันสูงในกระบวนการแปรรูปอาหาร (high-pressure food processing) ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างหลังการใช้แรงดัน และระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน re-equilibration ในระบบแรงดันสูง โดยทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมด้วยการปรับข้อมูลเหล่านี้ คือ การเปลี่ยนแปลงแรงดัน, การเพิ่มอัตราแรงดัน, การกำหนดจุดอุณหภูมิ และอุณหภูมิรอบ ๆ พบว่า หลังจากที่มีการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมนั้นให้ประโยชน์ในการออกแบบ และมีการใช้แรงดันสูงในกระบวนการอาหารในโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงการควบคุมทางด้านจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ของผลิตภัณฑ์ด้วย (Torrecilla et al., 2004) ซึ่งได้สอดคล้องกับการทดลองของ Oddone et al. (2004 อ้างอิงโดย พิชญา, 2548) โดยการพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งและการละลายของอาหารได้นำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน adaptive K-means clustering algorithm ในการทำนาย โดยปกติการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งและการละลายของอาหารเป็นแบบจำลองที่ค่อนข้างซับซ้อนและเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อให้สามารถทำนายเวลาโดยครอบคลุมสำหรับผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน จึงเป็นเรื่องค่อนข้างยาก นอกจากนั้นการที่จะพัฒนาแบบจำลองรวมทั้งยังจำเป็นต้องใช้ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของอาหารซึ่งทำให้แบบจำลองที่ได้ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยาก โดยได้มีการใช้ปัจจัยด้านรูปร่าง (shape factor), เลขไบออท (biot number), ขนาด, อุณหภูมิตั้งต้น-สุดท้าย และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมเป็นข้อมูลขาเข้า โดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 572 ชุด ในการฝึกสอนและทดสอบความถูกต้อง ซึ่งพบว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งและการละลายของอาหาร ให้ความถูกต้องสูงโดยมีค่า average absolute error น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ และให้ความแม่นยำมากกว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดที่มีอยู่

ในการวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ซึ่งความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้มีความหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นผู้ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ประเภทธุรกิจทั่วไป หรือประเภทที่อยู่อาศัย ผู้ใช้แต่ละประเภทมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าและความต้องการที่แตกต่างกัน รวมทั้งปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ไฟฟ้า เช่น ช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้า เช่น ช่วงเวลาการใช้ในแต่ละช่วงของวัน หรือในแต่ละวันของสัปดาห์ หรือขึ้นอยู่กับสภาพอากาศของพื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นวันที่ร้อนอบอ้าว หรืออาจจะเป็นวันที่อากาศหนาวเย็น หรือฝนตกมืดครึ้ม เป็นต้น ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะระหว่างลักษณะและปัจจัยเหล่านี้กับความต้องการไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน การค้นหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม หรือกำหนดขั้นตอนฟังก์ชันการคำนวณมีความยุ่งยากมาก โครงข่ายประสาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เทียมจึงได้รับความสนใจและนำมาประยุกต์ใช้ ในการพยากรณ์หาความสัมพันธ์ดังกล่าวจากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในอดีต และสามารถพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าเป็นรายชั่วโมงได้เป็นอย่างดี (Daneshdoost et al., 1998; Mantharngkul, 1998; Senjyu et al., 2002 อ้างอิงโดย พิชญา, 2548)

ใน ปี ค.ศ. 2006 Zhou, R., and Li, Y. (2006) ได้ศึกษาการพยากรณ์ความแน่นเนื้อของ Huanghua pears โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม พบว่า ข้อมูลที่ใช้เป็นปัจจัยขาเข้า คือ Seven co-occurrence matrix-derived และ one run-length matrix TA โดยทำการทดลองทั้งหมด 7 รูปแบบ (model) และทำการพัฒนารูปแบบของ model จนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม โดยใช้ hidden layer 17 neurons พบว่า รูปแบบนี้ สามารถพยากรณ์ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (MAE) ของความแน่นเนื้อของ Huanghua pears โดยมีค่าเท่ากับ 0.539 และค่า R (correlation) มีค่าเท่ากับ 0.969 ซึ่งในการพยากรณ์ความแน่นเนื้อโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมนี้จะทำการทดลองควบคู่ไปกับการสังเกตลักษณะภายในของ Huanghua pears และในขณะที่ Lertworasirkul.S et al., (2007) ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณความชื้น และค่า water activity ของมันสำประหลังกึ่งสำเร็จรูปจากกระบวนการผ่านความร้อน โดยใช้วิธีในการพยากรณ์แบบ MFNN-NARE (Multilayer Feedforward Neural Network in the form of Nonlinear-Auto-Regressive with Exogenous) พบว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ การใช้ hidden layer จำนวน 9 nodes โดยให้ค่า mean squared error (MSE) เท่ากับ 0.0034 และ ให้ค่า coefficient of determination (R^2) เท่ากับ 0.9910 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่า MSE ที่ต่ำ และมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มาก จึงถือว่าเป็น model ที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์หาปริมาณความชื้น และค่า water activity ของมันสำประหลังกึ่งสำเร็จรูปได้ดี

ดังนั้น โครงข่ายประสาทเทียมมีจุดเด่นด้านการเรียนรู้จากข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียมมีการปรับแต่งความรู้ที่ซ่อนอยู่ภายในเครือข่ายที่มีการต่อเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น มีการส่งผ่านข้อมูลที่จะมาประมวลผลจาก input ไปยัง output แบบขนาน การประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว (ชนินทร์, 2543 อ้างอิงโดย ธัญนันท์ , 2549) แต่อย่างไรก็ตาม แบบข่ายงานระบบประสาท (neural network) เป็นระบบที่มีความซับซ้อนจากข้อมูลที่ป้อนให้เรียนรู้ การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทจึงเป็นทางเลือกใหม่ในการควบคุม ซึ่งมีผู้นำมาประยุกต์ใช้งานหลายประเภท (ธัญนันท์ , 2549) ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. งานการจดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน เช่น ลายมือ ลายเซ็น ตัวอักษร และรูปหน้า

2. งานการประมาณค่าฟังก์ชันหรือการประมาณความสัมพันธ์ (มี input และ output แต่ไม่ทราบค่าว่า inputs กับ outputs มีความสัมพันธ์อย่างไร)

3. งานที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ (วงจรข่ายนิวรอลสามารถปรับตัวเองได้)

4. งานจัดหมวดหมู่และแยกแยะสิ่งของ

5. งานทำนาย เช่น พยากรณ์อากาศ พยากรณ์หุ้น

6. การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทควบคุมกระบวนการทางเคมีโดยวิธีพยากรณ์แบบจำลอง (model predictive control)

7. การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทแบบแพร่กระจายกลับในการทำนายพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวอาคาร

8. การใช้ข่ายงานระบบประสาทในการหาไซโครเมตริกชาร์ท การประยุกต์ใช้ค่ายงานระบบประสาทควบคุมระบบ HVAC (ระบบออนไลน์: http://www.google.com.[Doc] Artificial Neural Network)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved