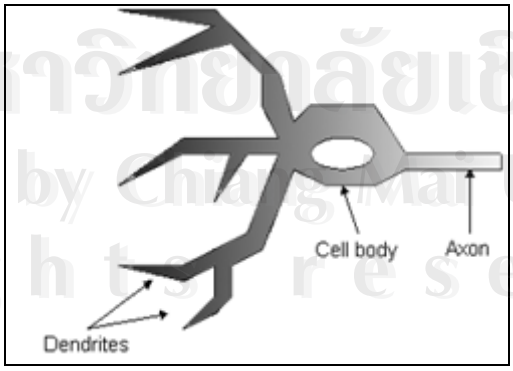
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ความสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) หรือที่มักจะเรียกสั้น ๆ ว่า ข่ายงานประสาท (neural network หรือ neural net) คือ โมเดลทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำแบบรูป(pattern recognition) และการอุปมานความรู้ (knowledge deduction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (bioelectric network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ “นิวรอน” (neurons) และ จุดประสานประสาท (synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า "เดนไดรท์" (dendrite) ซึ่งเป็น input และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า "แอคซอน" (axon) ซึ่งเป็นเหมือน output ของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่นิวเคลียสซึ่งจะเป็นตัวตัดสินว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอนิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอคซอนของมัน

ตามโมเดลนี้ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท จนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน



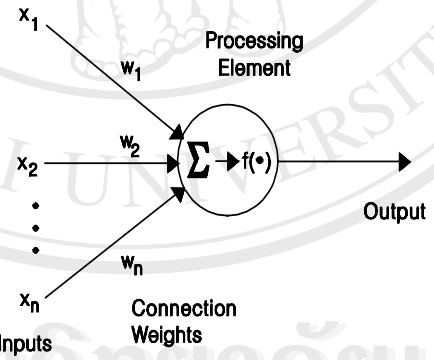
รูปที่ 2.1 Model ของ Neuron ในสมองมนุษย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยนักวิจัยส่วนใหญ่ในปัจจุบันเห็นตรงกันว่าข่ายงานประสาทเทียมมีโครงสร้างแตกต่างจากข่ายงานในสมอง แต่ก็ยังเหมือนสมอง ในแง่ที่ว่าข่ายงานประสาทเทียม คือการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย ๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของข่ายงาน เมื่อพิจารณาขนาดแล้วสมองมีขนาดใหญ่กว่าข่ายงานประสาทเทียมอย่างมาก รวมทั้งเซลล์ประสาทยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของข่ายงาน อย่างไรก็ดีหน้าที่สำคัญของสมอง เช่น การเรียนรู้ยังคงสามารถถูกจำลองขึ้นอย่างง่ายด้วยโครงข่ายประสาทนี้

2.2 หลักการทำงานของเซลล์ประสาทเทียม (Artificial Neuron)

เซลล์ประสาทเทียม เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 สัญญาณขาเข้า (input) จะถูกรวบรวมผ่านส่วนเส้นเชื่อมต่อ (connection) ที่เลียนแบบเดนไดรท์เข้าสู่ส่วนประมวลผล (processing element) ที่ทำงานเลียนแบบโซมา เส้นเชื่อมต่อแต่ละเส้นจะมีค่าน้ำหนัก (connection weight) ซึ่งเทียบได้กับการเพิ่มหรือลดระดับความแรงของสัญญาณกระแสประสาทของไซแนปส์ ส่วนประมวลผลจะรับผลรวมของสัญญาณขาเข้าและตรวจสอบกับ activation function ที่กำหนด เพื่อกำหนดสัญญาณขาออก (output) ซึ่งสัญญาณขาออกจะถูกส่งต่อไปยังเซลล์ประสาทเทียมอื่นๆต่อไป (พิชญา, 2548)



รูปที่ 2.2 เซลล์ประสาทเทียม (Bumroonggit, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการทำงานของเซลล์ประสาทเทียมสามารถอธิบายได้โดย

$$I = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \cdots + w_n x_n$$

$$O = f(I)$$

โดย I เป็นค่าผลรวมของสัญญาณขาเข้า

w เป็นค่าน้ำหนักของเส้นเชื่อมต่อ

x เป็นค่าสัญญาณขาเข้า

O เป็นค่าสัญญาณขาออก

$f(I)$ เป็น activation function

Activation function ของส่วนประมวลผลหรือเซลล์ประสาทเทียมนั้น สามารถกำหนดได้โดยฟังก์ชันหลายรูปแบบ แต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้ฟังก์ชันต่อไปนี้

(1) ฟังก์ชันแบบเชิงเส้น (Linear Activation Function)

$$f(I) = K \cdot I$$

โดย K เป็นค่าคงที่

(2) ฟังก์ชันแบบขั้น (Step Activation Function)

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

$$f(I) = 0 \quad otherwise$$

โดย T เป็นค่า threshold คงที่

(3) Sigmoid Activation Function

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

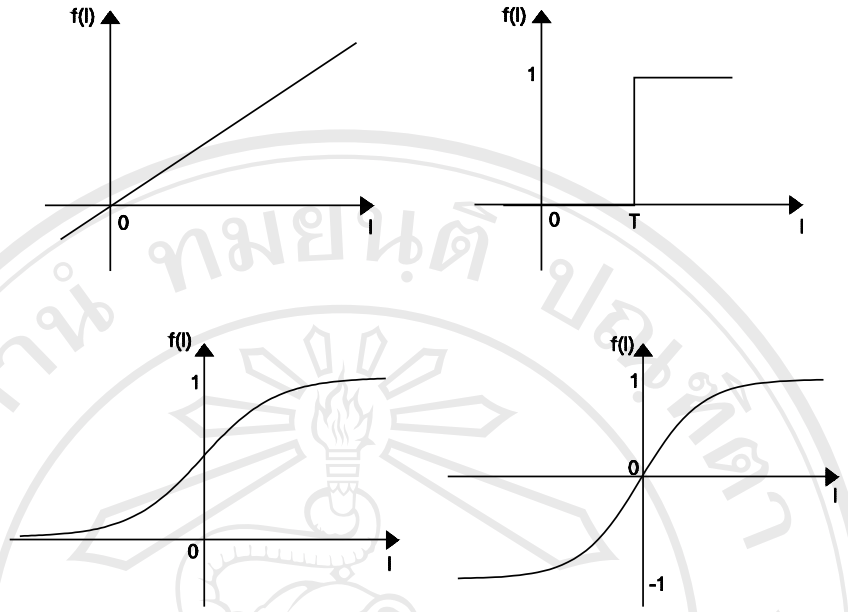
(4) Hyperbolic tangent activation function

$$f(I) = \tanh(I)$$

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

ในจำนวนฟังก์ชันเหล่านี้ sigmoid activation function มักจะถูกเลือกใช้เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multi-layered artificial neural network) เนื่องจากข้อดีในแง่ของการมีรูปทรงแบบตัว S ซึ่งทำให้มีความต่อเนื่องของความเปลี่ยนแปลงดีกว่าฟังก์ชันแบบขั้น (step activation function)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 Activation functions (Bumroonggit, 1995)

(a) Linear function (b) Step function

(c) Sigmoid function (d) Hyperbolic tangent function

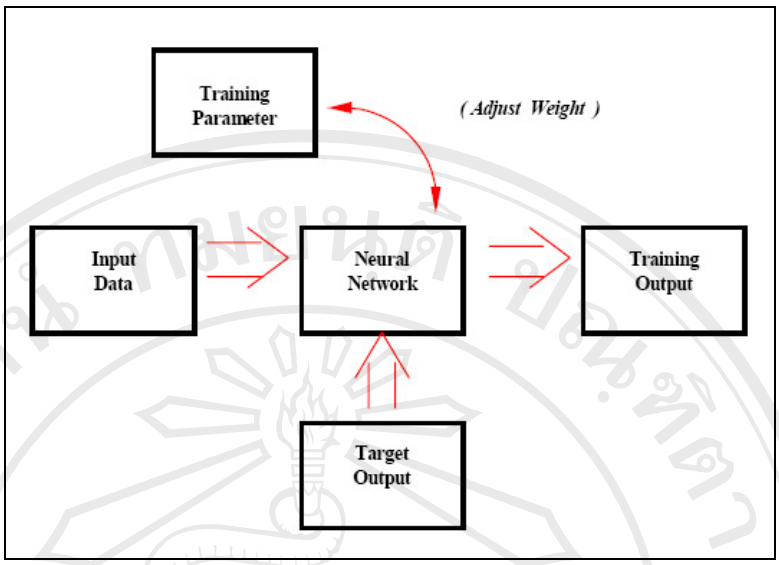
จะเห็นว่าโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์ประสาทเทียมนั้น อาจจะไม่สามารถจำลองให้มีความละเอียดอ่อนหรือซับซ้อนได้เท่ากับเซลล์ประสาทจริงๆ แต่จากการค้นคว้าและวิจัยพัฒนาที่ผ่านมา พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถแสดงคุณลักษณะในด้านการเรียนรู้ในรูปแบบที่เทียบเคียงกับระบบการเรียนรู้ของมนุษย์ได้ (พิชญา, 2548)

2.3 การเรียนรู้สำหรับ Neural Network

2.3.1 Supervised Learning (การเรียนรู้แบบมีการสอน)

เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้วงจรข่ายปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใช้สอนวงจรข่ายจะมีคำตอบไว้คอยตรวจดูว่าวงจรข่ายให้คำตอบที่ถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูกวงจรข่ายก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น (เปรียบเทียบกับคน เหมือนกับการสอนนักเรียนโดยมีครูผู้สอนคอยแนะนำ)

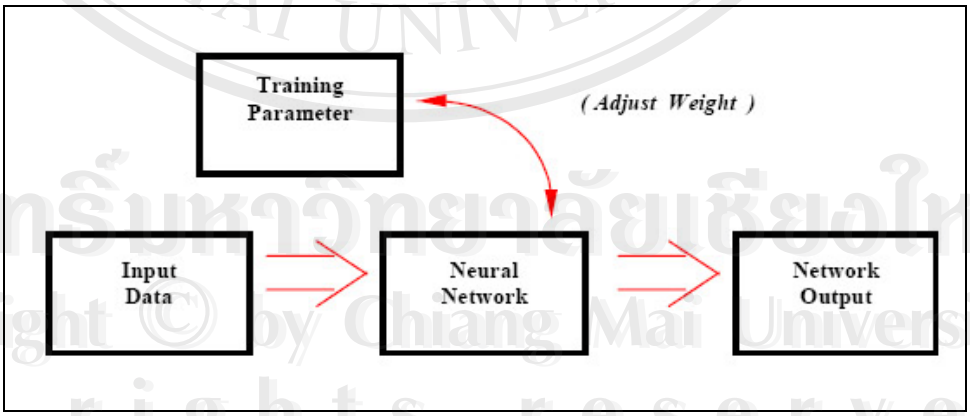
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.4 การเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning)

2.3.2 Unsupervised Learning (การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน)

เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด วงจรข่ายจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้ วงจรข่ายจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้ (เปรียบเทียบกับคน เช่น การที่สามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของมันได้เองโดยไม่มีใครสอน)



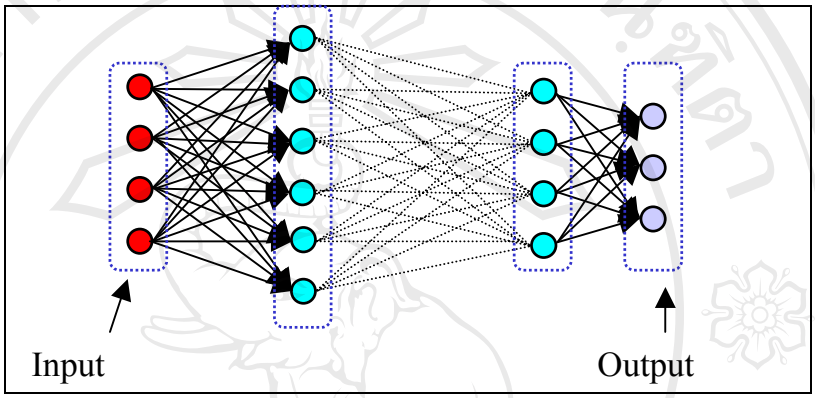
รูปที่ 2.5 การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 สถาปัตยกรรมโครงข่าย (Network Architecture)

2.4.1 Feedforward network

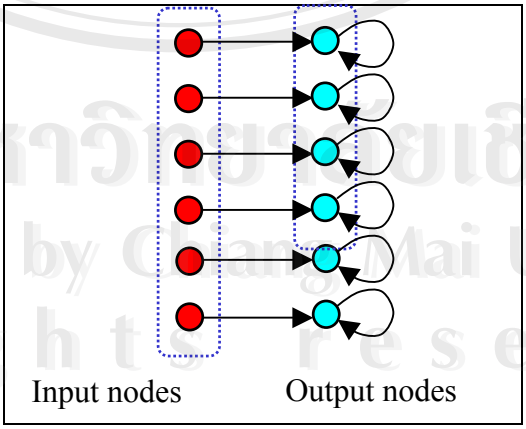
ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่ายจะถูกส่งไปในทิศทางเดียวจาก Input nodes ส่งต่อมาเรื่อย ๆ จนถึง output nodes โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล หรือแม้แต่ Nodes ใน layer เดียวกันก็ไม่มีการเชื่อมต่อกัน



รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมของ Feedforward network

2.4.2 Feedback network

ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่าย จะมีการป้อนกลับเข้าไปยังวงจรข่ายหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งได้คำตอบออกมา (บางทีเรียกว่า Recurrent network)



รูปที่ 2.7 สถาปัตยกรรมของ Feedback network

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3 Network Layer

พื้นฐานสามัญที่สำคัญของ Artificial Neural Network ประกอบไปด้วย 3 ส่วน หรือ 3 layer ได้แก่ ชั้นของ input units ที่ถูกเชื่อมต่อกับชั้นของ hidden units ซึ่งเชื่อมต่อกับชั้นของ output units

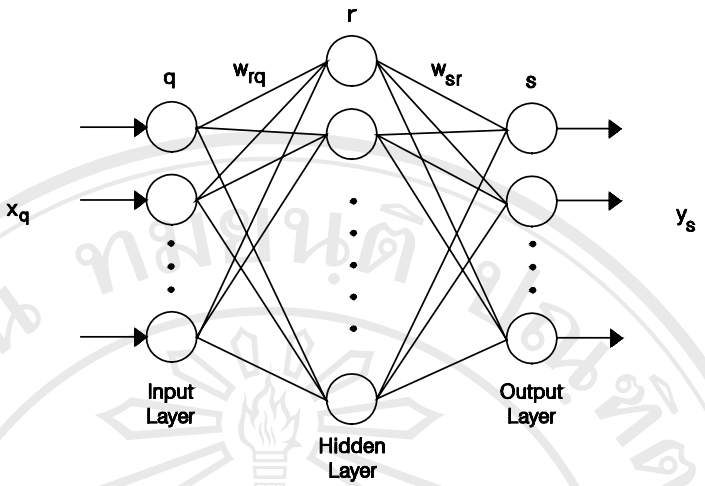
โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นเป็นโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นประกอบไปด้วยชั้นของหน่วยประสาทเทียม (layer) ซึ่งในแต่ละชั้นจะมีหน่วยประสาทเทียมจำนวนหลายๆหน่วยต่ออยู่ด้วยกัน โดยทั่วไปชั้นของหน่วยประสาทเทียมในโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

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

โครงข่ายประสาทเทียมมี input layer และ output layer อย่างละหนึ่งชั้น ในขณะที่ชั้น hidden layer อาจจะมีจำนวนมากกว่าหนึ่งชั้นก็ได้ สำหรับจำนวนของหน่วยประสาทเทียมในชั้น input layer และ output layer ก็ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ใช้ในการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมและผลลัพท์ที่ต้องการได้รับจากโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนจำนวนชั้นของ hidden layer และจำนวนของหน่วยประสาทเทียมในชั้น hidden layer นั้นขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา ปริมาณข้อมูลที่ใช้ ซึ่งการกำหนดจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทเทียมในชั้น hidden layer แต่ละชั้น ก็ยังไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัว แต่จากการวิจัยพบว่าหากจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทเทียมมีน้อยเกินไป โครงข่ายประสาทเทียมก็อาจไม่สามารถตอบปัญหาได้อย่างถูกต้องเท่าที่ควร หรืออาจไม่สามารถเรียนรู้ได้ตามที่ต้องการ ในทางกลับกัน หากจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทเทียมมีมากเกินไป โครงข่ายประสาทเทียมมีแนวโน้มที่จะ “จำ” ตัวอย่างที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ มากกว่าที่จะเรียนรู้ลักษณะรูปแบบของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งทำให้ไม่สามารถตอบปัญหาได้ดีเท่าที่ควรเช่นกัน นอกจากนั้นยังจะมีผลให้กระบวนการเรียนรู้จะต้องใช้เวลานานขึ้นอีกด้วย ในการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไปมักจะใช้จำนวนชั้น hidden layer ประมาณ 1 หรือ 2 ชั้นก็พอเพียงในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนมากๆได้ ส่วนจำนวนหน่วยประสาทเทียมในชั้น hidden layer เป็นการประมาณและทดลองในรูปแบบของ trial and error เป็นส่วนใหญ่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.8 โครงข่ายประสาทเทียม (Bumroonggit, 1995)

ในรูปแสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่ประกอบไปด้วยชั้นประสาทเทียมจำนวน 3 ชั้นด้วยกัน กล่าวคือ 1) ชั้น input layer หรือชั้น q 2) ชั้น hidden layer หรือชั้น r 3) ชั้น output layer หรือชั้น s ชั้นประสาทเทียมแต่ละชั้นมีการเชื่อมต่อถึงกันอย่างเต็มรูปแบบ (fully interconnected) หมายถึงว่าหน่วยประสาทเทียมแต่ละหน่วยในชั้นหนึ่งๆ เชื่อมต่อกับหน่วยประสาทเทียมอื่นๆทุกหน่วยในชั้นก่อนหน้าและชั้นถัดไป แต่ไม่ต่อกับหน่วยประสาทเทียมในชั้นเดียวกัน ในขณะเดียวกันเส้นเชื่อมต่อก็มีค่าน้ำหนักของแต่ละเส้น (connection weight) ที่ทำหน้าที่ปรับระดับของข้อมูลที่ผ่านมาด้วยการคูณ ค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมที่แสดงในที่นี้จะเรียกว่า w_{rq} และ w_{sr} ซึ่งค่าน้ำหนักของเส้นเชื่อมต่อเหล่านี้จะถูกปรับเปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

ข้อมูลขาเข้าจะถูกรับเข้ามายังโครงข่ายประสาทเทียมผ่านทาง input layer โดยที่หน่วยประสาทเทียมในชั้น input layer นี้ทำหน้าที่เป็นตัวกระจายข้อมูลไปสู่หน่วยประสาทเทียมในชั้น hidden layer ส่วนหน่วยประสาทเทียมแต่ละหน่วยในชั้น hidden layer และชั้น output layer จะรวบรวมข้อมูลที่ผ่านการปรับระดับโดยเส้นเชื่อมต่อแต่ละเส้น และนำมาตรวจสอบกับ activation function เพื่อคำนวณหาผลลัพท์ ในที่นี้ผลลัพท์ของหน่วยประสาทเทียมในชั้น hidden layer จะถูกส่งต่อไปยัง output layer ในขณะที่ผลลัพท์ของ output layer ก็เป็นผลลัพท์หรือค่าคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียมนั่นเอง สำหรับชั้น hidden layer หรือชั้น r ในที่นี้ สามารถคำนวณค่าข้อมูลขาเข้าของแต่ละหน่วยประสาทเทียมได้โดย

$$I_r = \sum_q w_{rq}\, x_q \qquad r = 1,2,...,N_r$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

และสำหรับชั้น output layer หรือชั้น s ในที่นี้ สามารถคำนวณค่าข้อมูลขาเข้าของแต่ละหน่วยประสาทเทียมได้โดย

$$I_s = \sum_r w_{sr} O_r \qquad s = 1,2,..., N_s$$

โดย x_q เป็นค่าข้อมูลขาเข้าของหน่วยประสาทเทียมในชั้น 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

ซึ่งผลลัพท์หรือข้อมูลขาออกของหน่วยประสาทเทียมในชั้น r หรือ O_r สามารถคำนวณหาได้จาก

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

และผลลัพท์หรือข้อมูลขาออกของหน่วยประสาทเทียมในชั้น s หรือ y_s สามารถคำนวณหาได้จาก

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

การเรียนรู้โดยใช้วิธี Backpropagation Algorithm

กระบวนการเรียนรู้โดยใช้วิธี backpropagation algorithm เป็นการเรียนรู้แบบหนึ่งที่จัดอยู่ในแบบ supervised learning ซึ่งมีการแสดงทั้งข้อมูลขาเข้า และผลลัพท์ที่เป็นเป้าหมายให้โครงข่ายประสาทเทียมได้ทราบ จากข้อมูลขาเข้าที่ได้รับ โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการประมวลหาค่าผลลัพท์ออกมา หลังจากนั้นค่าความผิดพลาดระหว่างผลลัพท์ที่ได้กับผลลัพท์ที่เป็นเป้าหมายจะถูก “แพร่” ย้อนกลับเข้ามาในโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการปรับค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อ จนกระทั่งค่าความผิดพลาดลดน้อยลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด

ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้ ค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อถูกกำหนดโดยการสุ่มแบบ random โดยใช้ค่าน้อยๆ เมื่อได้รับข้อมูลคู่หนึ่งจากชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ โครงข่ายประสาทเทียมก็จะทำการประมวลผลจนได้ค่าผลลัพท์ y_s ออกมา ซึ่งค่าผลลัพท์ดังกล่าวเป็นผลจากค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อในขณะนั้น ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้น output layer หรือ δ_S ถูกคำนวณได้โดย

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้น hidden layer หรือ δ_r จะถูกคำนวณได้เช่นกัน

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

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

t_s เป็นค่าผลลัพท์ที่เป็นเป้าหมาย

สมมุติให้เลือก sigmoid activation function ที่ได้รับการใช้อย่างค่อนข้างแพร่หลายในโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้น

$$f'(I_s) = \theta f(I_s)(1 - f(I_s))$$

$$= \theta y_s (1 - y_s)$$

และ

$$f'(I_r) = \theta f(I_r)(1 - f(I_r))$$

$$= \theta O_r (1 - O_r)$$

ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้น output layer และชั้น hidden layer ก็สามารถเขียนได้โดย

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

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

ด้วยค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้ข้างต้น ค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อในชั้น output layer ก็จะถูกปรับเปลี่ยนไปโดย

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

โดยที่

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในขณะเดียวกัน ค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อในชั้น hidden layer ก็สามารถปรับเปลี่ยนไปโดย

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

โดยที่

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

ทั้งนี้ค่า η คืออัตราการเรียนรู้ (learning rate) ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดขั้นของการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละรอบของการเรียนรู้ โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หาก η มีค่ามากๆ การเรียนรู้จะดำเนินไปอย่างรวดเร็ว แต่ก็จะทำให้มีโอกาสข้ามผ่านจุดต่ำสุดของค่าผิดพลาดได้ง่าย ในขณะที่หาก η มีค่าน้อยๆ การเรียนรู้จะดำเนินไปอย่างละเอียด แต่จะใช้เวลานานขึ้น ส่วน β คือ smoothing factor มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เช่นกัน ซึ่งเป็นค่าที่ช่วยกำหนดระดับความสำคัญของการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อในรอบที่ผ่านมาก่อนหน้า เปรียบเทียบได้กับโมเมนตัมของการปรับเปลี่ยน นั่นคือเมื่อโครงข่ายประสาทเทียมได้ค่าการปรับเปลี่ยนจากการเรียนรู้ในรอบปัจจุบัน ก็ยังคงไม่ละทิ้งการเรียนรู้ในรอบที่ผ่านมาก่อนหน้าเสียทั้งหมด ทั้งหมดนี้เป็นแนวคิดที่จำลองมาจากกระบวนการเรียนรู้ของมนุษย์นั่นเอง

เมื่อการเรียนรู้รอบหนึ่งผ่านไป ข้อมูลคู่ถัดไปจากชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ก็จะถูกแสดงให้กับโครงข่ายประสาทเทียมอีก การคำนวณและปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักเส้นเชื่อมต่อก็จะเกิดขึ้นอีก กระบวนการเรียนรู้นี้จะดำเนินไปซ้ำเป็นรอบๆ จนถึงจำนวนรอบการเรียนรู้ที่กำหนดไว้ หรือเมื่อค่าความผิดพลาดที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเรียนรู้ลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด ความผิดพลาดที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเรียนรู้มักคำนวณได้โดย

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

โดย N_T เป็นจำนวนข้อมูลในชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (พิชญา, 2548)

Architecture of layer สามารถจำแนกสถาปัตยกรรมของชั้น (layer) ออกเป็น 2 ประเภทคือ single-layer และ multi-layer

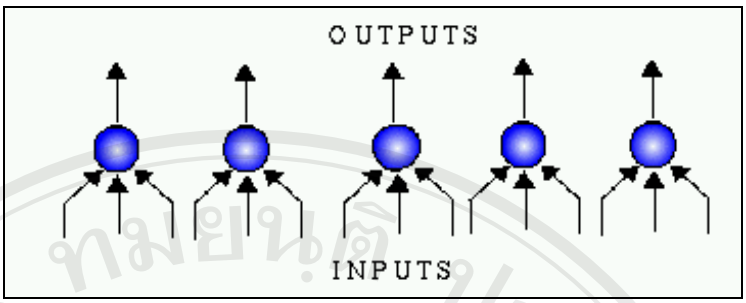
1) Single-layer perceptron เครือข่ายใยประสาทที่ประกอบด้วยชั้นเพียงชั้นเดียว จำนวน input nodes ขึ้นอยู่กับจำนวน components ของ input data และ Activation function ขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลของ output เช่น ถ้า output ที่ต้องการเป็น “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” เราต้องใช้ threshold function

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

หรือถ้า output เป็นค่าตัวเลขที่ต่อเนื่อง เราต้องใช้ continuous function เช่น sigmoid function

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.9 Single-layer perceptron

2) Multi-layer perceptron เครือข่ายใยประสาทจะประกอบด้วยหลายชั้นโดยในแต่ละชั้นประกอบด้วยโหนด (nodes) หรือเปรียบได้กับตัวเซลล์ประสาท(neurons) ค่าน้ำหนักของเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดของแต่ละชั้น(เมทริก W), ค่า bias vector (b) และค่า output vector (a) โดย m เป็นตัวเลขบอกลำดับชั้นกำกับไว้ด้านบน เมื่อ p เป็น input vector การคำนวณค่า output สำหรับเครือข่ายใยประสาทที่มี M ชั้นเป็นดังสมการ

$$a^{m+1} = f^{m+1}(W^{m+1}a^{m} + b^{m+1})$$

เมื่อ m = 0, 2, …, M-1

$$a^{0} = p$$

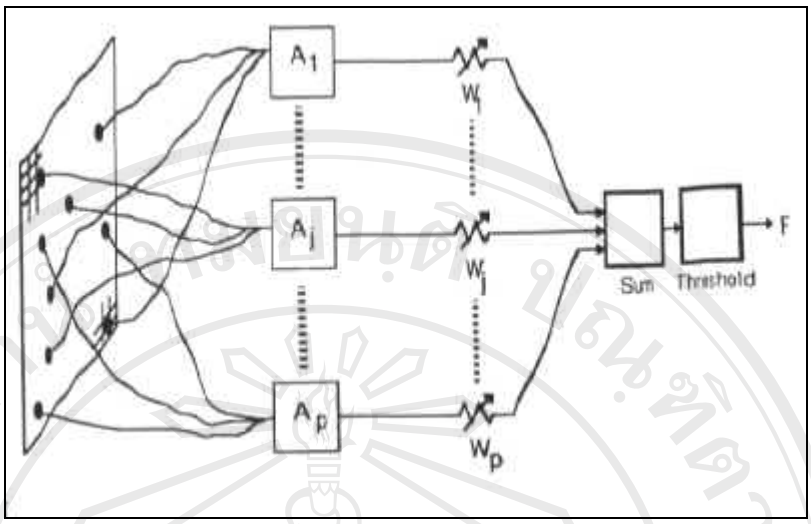
$$a = a^{m}$$

และ f เป็น transfer function

2.4.4 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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของ Perceptrons

ในปี ค.ศ.1969 Minskey และ Papert ได้เขียนหนังสืออธิบายเกี่ยวกับขอบเขตของ single-layer perceptrons ผลกระทบที่ได้รับจากหนังสือเล่มนั้นร้ายแรง เป็นเหตุให้นักวิจัยสาขา neural network สูญเสียผลประโยชน์ เนื่องจากหนังสือสามารถถ่ายทอดออกมาได้ดี และแสดงข้อมูลในเชิงคำนวณว่า single-layer persepteons ไม่สามารถที่จะสร้างรูปแบบการจดจำพื้นฐาน (basic pattern recognition operation) ได้ เช่น การกำหนดความคล้ายคลึงของรูปร่าง หรือกำหนดว่ารูปร่างใดสัมพันธ์กันหรือไม่ แต่สิ่งที่นักวิจัยไม่รู้จนกระทั่งยุค 80s คือ การได้รับการฝึกฝนที่ถูกต้อง ซึ่ง multi-layer perceptrons สามารถดำเนินการแก้ไขสิ่งเหล่านี้ได้

2.5 การประยุกต์ใช้งาน Artificial Neural Network

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในงานที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ในทางอุตสาหกรรมเกษตรนั้นมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากระบบที่มีความซับซ้อนความสัมพันธ์ของปัจจัยหรือตัวแปรต่าง ๆ ในระบบเป็นแบบไม่เป็นเส้นตรง (non-linearity) รวมถึงความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรจำนวนมากและยากที่จะควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้การสร้างแบบจำลองในทางคณิตศาสตร์โดยเฉพาะงานทางด้านวิศวกรรมอาหารเป็นไปด้วยความยุ่งยากและต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหานาน ทำให้ไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในการทำงานจริง การใช้โครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาประยุกต์ช่วยทำให้การสร้างแบบจำลองในทางคณิตศาสตร์ ดังกล่าว เป็นไปได้ง่ายขึ้นและมีความถูกต้องมากขึ้น (พิชญา, 2548) ซึ่ง Mohammad (2004) ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์องค์ประกอบทั้งหมดของ trans-isomer ซึ่งได้แก่ กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก และกรดไลโนเลนิก ในระหว่างเกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

hydrogenation ในน้ำมันพืช โดยมีตัวแปรเป็นข้อมูลขาเข้า คือ อุณหภูมิ แรงดันไฮโดรเจน ความเข้มข้นของสารตั้งต้น อัตราการผสม ปริมาณไอโอดีน และองค์ประกอบเริ่มต้นของไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกทดสอบและประเมินค่าโดยการใช้ตัวเลขการทดลองชุดใหญ่จาก pilot-plant hydrogenation และมีการนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการทางคณิตศาสตร์ พบว่าการพยากรณ์โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความเหมาะสมกว่า

โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ 2 ปัจจัยที่มีความสำคัญในการใช้แรงดันสูงในกระบวนการแปรรูปอาหาร (high-pressure food processing) ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างภายหลังการใช้แรงดัน และระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน re-equilibration ในระบบแรงดันสูง โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกทดสอบด้วยการปรับข้อมูลเหล่านี้ คือ การเปลี่ยนแปลงแรงดัน การเพิ่มอัตราแรงดัน การกำหนดจุดอุณหภูมิ และอุณหภูมิรอบๆ พบว่าหลังจากที่มีการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมนั้นให้ประโยชน์ในการออกแบบ และมีการใช้แรงดันสูงในกระบวนการอาหารในโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Torrecilla *et.al.*, 2004) นอกจากนี้ยังได้มีการพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งและการละลายของอาหาร ซึ่ง Oddone *et al.* (2004 อ้างโดย พิชญา, 2548) ได้นำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ด้วยการใช้ฟังก์ชัน adaptive K-means clustering algorithm ในการทำนาย โดยปกติการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งและการละลายของอาหาร เป็นแบบจำลองที่ค่อนข้างซับซ้อนและเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อให้สามารถทำนายเวลาโดยครอบคลุมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันในสภาวะแตกต่างกัน จึงเป็นเรื่องค่อนข้างยาก นอกจากนั้นการที่จะพัฒนาแบบจำลอง รวมทั้งยังจำเป็นต้องใช้ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของอาหารซึ่งทำให้แบบจำลองที่ได้ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยาก โดยได้มีการใช้ปัจจัยด้านรูปร่าง (shape factor) เลขไบออท (biot number) ขนาด อุณหภูมิตั้งต้น-สุดท้าย และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมเป็นข้อมูลขาเข้า โดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 572 ชุด ในการฝึกสอนและทดสอบความถูกต้อง ซึ่งพบว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งและการละลายของอาหาร ให้ความถูกต้องสูงโดยมีค่า average absolute error น้อยกว่า 2% และให้ความแม่นยำมากกว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดที่มีอยู่

ในงานวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ซึ่งความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้มีความหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นผู้ใช้ประเภทอุตสาหกรรม ประเภทธุรกิจทั่วไป หรือประเภทที่อยู่อาศัย ผู้ใช้แต่ละประเภทมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าและความต้องการแตกต่างกัน รวมทั้งปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ไฟฟ้า เช่น ช่วงเวลาของการใช้ในแต่ละช่วงของวัน หรือในแต่ละวันของสัปดาห์ หรือขึ้นอยู่กับสภาพอากาศของพื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นวันที่ร้อนอบอ้าว หรืออาจจะเป็นวันที่อากาศหนาวเย็น หรือฝนตกมืดครึ้ม เป็นต้น ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะและปัจจัยเหล่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นี้กับความต้องการไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน การค้นหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม หรือกำหนดขั้นตอนฟังก์ชันการคำนวณมีความยุ่งยากมาก โครงข่ายประสาทเทียมจึงได้รับความสนใจและนำมาประยุกต์ใช้ ในการพยายามหาความสัมพันธ์ดังกล่าวจากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในอดีต และสามารถพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าเป็นรายชั่วโมงได้เป็นอย่างดี (Daneshdoost *et al*., 1998; Mantharngkul, 1998; Senjyu *et al*., 2002 อ้างโดย พิชญา, 2548)

Sriviroolchai (1998) ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โดยนำข้อมูลตัวอักษรที่ได้จากการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ที่ความละเอียด 600 จุดต่อตารางนิ้ว แล้วนำถ่ายเอกสาร แล้วค่อยสแกนเข้าเครื่องที่ความละเอียด 200 จุดต่อตารางนิ้ว จำนวนทั้งสิ้น 6,528 ตัวอักษร มีความถูกต้องเฉลี่ย 96.84%

Kijsirikul *et al.* (1998) กล่าวว่า การรู้จำตัวอักษรภาษาไทยด้วยการรวมโปรแกรมทางตรรก (inductive logic programming) กับเครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โดยนำรูปภาพตัวอักษรที่นำมาใช้ผ่านกระบวนการลดทอนสัญญาณรบกวน และความหนาของเส้น มาเปลี่ยนเป็นเวคเตอร์ทรี (vector tree) ของข้อมูลตัวอักษร ดังนี้ "ตัวอักษร(A, B, C, D, E, F)" ความหมายตัวแปลเช่น A คือ ระดับของตัวอักษร B คือ อัตราส่วนระหว่างความกว้างและสูง ฯลฯ ข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 1,078 ตัว นำไปรู้จำ ผลที่ได้เทียบกับกับทฤษฎีการเรียนรู้แบบฟัซซี่ลอจิร่วมกับทฤษฎีของซินแทคติค ได้ว่าการรวมโปรแกรมทางตรรกกับเครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าคือ 92.55% ต่อ 87.62%

ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมมีจุดเด่นด้านการเรียนรู้จากข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียมมีการปรับแต่งความรู้ที่ซ่อนอยู่ภายในเครือข่ายที่มีการต่อเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น มีการส่งผ่านข้อมูลที่จะประมวลผลจาก input ไปยัง output แบบขนาน การประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่ถึงอย่างไรก็ตาม โครงข่ายประสาทเทียมก็มีจุดด้อยในด้านการตีความหาเหตุผล โครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถให้เหตุผลได้ว่าเพราะเหตุใดจึงมีข้อสรุปออกมาดังที่ปรากฏที่ output ของโครงข่าย จุดด้อยข้อนี้เป็นที่รู้จักกันดีในนาม “black box” หรือกล่องดำ (ชนินทร์, 2543)

แบบข่ายงานระบบประสาท (Neural Network) เนื่องจากความสามารถในการจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบที่มีความซับซ้อนจากข้อมูลที่ป้อนให้เรียนรู้ การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทจึงเป็นทางเลือกใหม่ในการควบคุม ซึ่งมีผู้นำมาประยุกต์ใช้งานหลายประเภท ได้แก่

1) งานการจดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน เช่น ลายมือ ลายเซนต์ ตัวอักษร รูปหน้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2) งานการประมาณค่าฟังก์ชันหรือการประมาณความสัมพันธ์ (มี inputs และ outputs แต่ไม่ทราบว่า inputs กับ outputs มีความสัมพันธ์กันอย่างไร)

3) งานที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ (วงจรข่ายนิวรอลสามารถปรับตัวเองได้)

4) งานจัดหมวดหมู่และแยกแยะสิ่งของ

5) งานทำนาย เช่นพยากรณ์อากาศ พยากรณ์หุ้น

6) การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทควบคุมกระบวนการทางเคมีโดยวิธีพยากรณ์แบบจำลอง (model predictive control)

7) การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทแบบแพร่กระจายกลับในการทำนายพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวอาคาร

8) การใช้ข่ายงานระบบประสาทในการหาไซโครเมตริกชาร์ท การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทควบคุมระบบ HVAC

2.6 ความสำคัญของส้ม

ส้มเป็นผลไม้สากลที่คนทั่วโลกรู้จัก และรับประทานส้มกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะส้มเขียวหวานซึ่งเป็นผลไม้ที่คนไทยรู้จักดีและเป็นที่นิยมบริโภคกันทั่วไป ตลอดจนอาจกล่าวได้ว่าเป็นผลไม้จำพวกส้มที่มีคนไทยบริโภคมากที่สุด ทั้งในรูปผลสดและน้ำผลไม้ เนื่องจากบริโภคสะดวก มีคุณค่าทางอาหารสูง และยังราคาไม่แพงนัก มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป (จริงแท้, 2544) ส้มเขียวหวานยังเป็นสินค้าส่งออก ทำรายได้ให้กับประเทศไทยหลายร้อยล้านบาท เป็นสินค้าเกษตรชนิดหนึ่งในจำนวน 30 รายการ ที่อยู่ในส่วนของแผนการพัฒนาการเกษตรในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 8 (2540-2544) และเป็นผลไม้ 1 ใน 10 รายการที่กรมส่งเสริมการเกษตรให้ความสำคัญสูงสุดในแง่ไม้ผลเศรษฐกิจของประเทศ (รวี, 2541)

ในปัจจุบันแหล่งผลิตส้มคุณภาพสูงอยู่ทางภาคเหนือ โดยเฉพาะส้มสายพันธุ์สายน้ำผึ้งนิยมปลูกกันเป็นจำนวนมาก พื้นที่เพาะปลูกส้มสายพันธุ์สายน้ำผึ้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและแพร่หลาย ซึ่งในระบบการจำหน่ายมีการขนส่งส้มจากภาคเหนือไปยังตลาดกลางค้าส่งที่กรุงเทพมหานครโดยทางรถบรรทุกก่อนที่จะมีการกระจายไปจำหน่ายยังภาคอื่นๆของประเทศต่อไป ผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะส้มที่ได้รับการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวมาอย่างดี ผ่านทั้งขบวนการเก็บเกี่ยว การบรรจุใส่ในภาชนะบรรจุที่ทำมาจากกระดาษหรือพลาสติก แต่เมื่อขนส่งไปจุดขายปรากฏว่าผลส้มได้รับความเสียหายขายไม่ได้ราคา และทำให้ส้มมีคุณภาพที่ไม่ดี ไม่เป็นที่ต้องการแก่ผู้บริโภค (อนุชา, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวส้ม มีปัญหาที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การเก็บรักษาให้ผลิตผลมีคุณภาพดี และเก็บผลิตผลไว้ได้นาน มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในผลน้อยที่สุด เพราะผลผลิตที่มีคุณภาพต่ำมักเสื่อมคุณภาพได้ง่าย นอกจากนี้ การเก็บรักษาผลิตผลไว้นานๆ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก คุณค่าทางอาหารลดลง เช่น วิตามินซี ปริมาณกรด ปริมาณแป้งหรือน้ำตาล เนื่องจากถูกใช้ในการหายใจ (จริงแท้, 2541) อีกทั้งในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสำคัญกับคุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ได้รับ เพื่อจะให้ร่างกายได้สิ่งที่ดี และจำเป็นต่อการดำรงชีวิต

2.7 พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์ของส้มเขียวหวาน

ส้มเป็นผลไม้ที่มีพันธุ์หลากหลาย สามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

2.7.1 กลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา (Oranges group: *Citrus sinesis*)

ส้มกลุ่มนี้นิยมปลูกเพื่อรับประทานสดหรือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูป เช่น น้ำส้มบรรจุกระป๋อง ส่วนเปลือกใช้ทำแยมผิวส้ม (marmalade) เป็นต้น ลักษณะของส้มกลุ่มนี้คือ เปลือกไม่ล่อนออกจากเนื้อ กลีบส้มแต่ละกลีบติดกันแน่น ทำให้การแกะเปลือกออกจากเนื้อและการแยกกลีบออกจากกันทำได้ยาก ส้มกลุ่มนี้สามารถแบ่งกลุ่มย่อยได้ดังนี้

1) ส้มที่มีรสหวาน (Sweet orange: *C. sinensis*) เช่น ชามูติ (Shamouti) วาเลนเซีย (Valencia) และส้มเนเวล (Navel orange) ได้แก่ พันธุ์วอชิงตันเนเวล ในประเทศไทยส้มกลุ่มนี้ได้แก่ ส้มตราหรือส้มเช้ง

2) ส้มที่มีรสเปรี้ยวหรือรสออกขม (Sour or bitter orange: *C. aurantium*) มีถิ่นกำเนิดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย เป็นส้มที่มีรสเปรี้ยวจัด ขนาดผลโต มีเมล็ดมาก สามารถนำมาแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้น แยมผิวส้ม น้ำมันหอมระเหย

2.7.2 กลุ่มส้มจีนและส้มเขียวหวาน (Mandarins and Tangerines: *Citrus reticulata*)

ส้มกลุ่มนี้มีถิ่นกำเนิดทางประเทศจีน ปลูกกันมากในประเทศแถบเอเชียตะวันออกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น จีน ญี่ปุ่น ไต้หวัน ไทย เป็นต้น โดยมีลักษณะสำคัญคือ เปลือกอ่อนและล่อน แกะออกง่าย กลีบส้มสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย ส้มจีนและส้มเขียวหวานมีลักษณะแตกต่างกันคือ ส้มจีน (mandarin) ผลโตกว่าส้มเขียวหวาน (tangerine) เปลือกค่อนข้างหนาและขรุขระกว่า ไส้ผลกลวง ผลและเนื้อมีสีเข้ม มีหลายสายพันธุ์ ได้แก่ ซัทซูมา (Satsuma) คิง (King) ส่วนส้ม Common ได้แก่ พอนแกน (Pongan) แดนซี่ (Dancy) และฟรีมองต์ (Fremont) เป็นต้น

ส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata* Blanco.) มีชื่อสามัญว่า tangerine จัดเป็นผลไม้เขตกึ่งร้อน (subtropical fruit) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศจีน ต่อมาได้แพร่กระจายไปยังยุโรป และทวีปอเมริกา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เหนือและใต้ สามารถปลูกได้ทั้งในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน สำหรับประเทศไทยพันธุ์ส้มเขียวหวานที่ปลูก ได้แก่

1) ส้มเขียวหวานชนิดเปลือกค่อนข้างหนา มักเรียกว่าส้มบางมด ซึ่งผลมีขนาดใหญ่ รูปร่างมีผลนูนเล็กน้อย น้ำหนักผลดี มีรสหวานปานกลาง ไม่หวานแหลมนัก เดิมปลูกกันมากบริเวณตำบลบางมด เขตราษฎร์บูรณะ และเขตบางขุนเทียน ส้มเขียวหวานในแหล่งปลูกนี้มีชื่อเสียงในด้านคุณภาพ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และมักเรียกว่า ส้มบางมด ระยะต่อมาจากสภาพสวนบริเวณบางมดที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งปัญหาในด้านน้ำเค็ม น้ำเสีย และอื่นๆ ทำให้พื้นที่การปลูกส้มเขียวหวานกระจายออกไปโดยทั่ว เช่น พื้นที่ในจังหวัดปทุมธานีซึ่งเป็นเขตการชลประทานที่สมบูรณ์แบบมากที่สุด นอกจากนี้ ยังแพร่ไปปลูกในแหล่งอื่นอีกด้วย เช่น น่าน แพร่ จันทบุรี ตราด และเชียงใหม่ เป็นต้น

2) ส้มเขียวหวานพันธุ์แหลมทอง เป็นส้มที่มีลำต้นขนาดใหญ่ ผลผลิตปานกลาง ขนาดผลปานกลาง มีรสหวานดี ถึงแม้ผลส้มยังไม่ถึงอายุ รสไม่เปรี้ยวมาก มีการปลูกกันมากบริเวณท่าสนุน วัดเพลง จังหวัดราชบุรี ปัจจุบันปลูกกันน้อยมาก เนื่องจากผลผลิตต่อต้นต่ำกว่าส้มเขียวหวานธรรมดา

3) ส้มฟรีมองต์ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Fremont เป็นลูกผสมของส้มคลีเมนไทน์ (Clementine) จัดอยู่ในกลุ่มส้มแมนดาริน (Mandarin) มีรายงานว่านำเข้ามาปลูกในประเทศไทยประมาณ 20 ปี โดยปลูกกันมากในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ และอีกหลายแห่งในจังหวัดแพร่ และน่าน

4) ส้มโชกุนหรือส้มสายน้ำผึ้งเดิมทีเป็นส้มบางมด แต่ถูกพัฒนาสายพันธุ์ให้สามารถนำไปปลูกได้ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย จึงทำให้มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแหล่งที่ปลูก เช่น ส้มโชกุน หรือเพชรยะลา เป็นส้มที่มีการเพาะปลูกในจังหวัดยะลา และได้ชื่อว่า ส้มโชกุน เพราะผลส้มนี้มีคุณภาพดีกว่าส้มเขียวหวานหลายๆด้าน ซึ่งคุณโก่งหยู เจ้าของสวนเทียบความยิ่งใหญ่ของส้มพันธุ์นี้ท่ากับโชกุน แต่กรมวิชาการไม่เห็นด้วยกับชื่อนี้ โดยให้เหตุผลว่าส้มพันธุ์นี้เกิดในประเทศไทย จึงควรมีชื่อเป็นไทยมากกว่า จึงมีการประกวดตั้งชื่อส้มพันธุ์นี้ที่จังหวัดยะลาได้ชื่อใหม่ว่า ส้มเพชรยะลา อันเป็นเกียรติแก่จังหวัดยะลาที่เป็นแหล่งผลิต อย่างไรก็ตามชื่อใหม่นี้ก็ไม่เป็นที่แพร่หลายเท่ากับชื่อ ส้มโชกุน ที่เรียกกันมาก่อนหน้านี้ แต่สวนส้มธนาธร อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ บอกว่าได้นำเมล็ดส้มโชกุนมาจากยะลา แล้วมาเพาะเมล็ดเป็นต้นพันธุ์ใหม่ จึงให้ชื่อว่า “ส้มสายน้ำผึ้ง” ความจริงนั้นก็เป็นพันธุ์เดียวกัน (พานิชย์, 2542: เปรมปรี, 2544)

5) ส้มธนาธร เป็นส้มพันธุ์ที่นำมาจากประเทศอิสราเอล รสชาติดี ปลูกที่อำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.3 กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุ้ท (Pormeloes and Grapefruits group)

ส้มทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะลักษณะลำต้นและทรงพุ่ม แตกต่างกันที่ลำต้นของส้มโอใหญ่กว่าและแข็งแรงกว่าเกรฟฟรุ้ท ซึ่งมีขนาดทรงพุ่มที่เล็กกว่า จึงสามารถแบ่งเป็นดังนี้

1) ส้มโอ (Pomelo: *C. grandis*) เป็นส้มที่มีผลโตกว่ากลุ่มอื่นๆ รูปร่างทรงผลมีหลายลักษณะ เช่น ทรงกลม ทรงแป้น มีจุก และไม่มีจุก เปลือกหนา แต่ทั้งเปลือกและกลีบสามารถแยกออกจากกันได้ง่ายกว่ากลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา ลักษณะเนื้อภายในมีหลายสี เช่น สีขาว สีชมพู และสีทับทิม เป็นต้น

2) เกรฟฟรุ้ท (Grapefruit: *C. Paradisi* Macfadyen) ลักษณะคล้ายส้มโอแต่ผลเล็กกว่า ทรงผลมีลักษณะกลมแป้น เปลือกบาง กลีบไม่แยกจากกัน มีทั้งพันธุ์ที่มีเมล็ดและไม่มีเมล็ด เนื้อภายในมีทั้งสีขาวและสีชมพู

2.7.4 กลุ่มมะนาว (Common Acid Members group)

ได้แก่ ซิตรอน (citron: *C. medica*) มะนาวฝรั่ง (Lemon: *C. limon*) และมะนาวไทย (Lime: *C. aurantifolia*) เป็นต้น

1) ซิตรอน (Citron: *C. medica* L.) มีถิ่นกำเนิดทาอินเดียตะวันออกเฉียงเหนือ ผลมีเปลือกหนา ถุงน้ำหวาน (juice sac) มีจำนวนน้อย รสเปรี้ยวจัด และมีเมล็ดมาก นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น เปลือกแช่อิ่ม

2) มะนาวฝรั่ง (Lemon: *C. limon* L. Burn f.) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกของประเทศอินเดีย ปัจจุบันเลมอนมีความสำคัญในตลาดโลกค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในประเทศอเมริกาผลิตได้ประมาณครึ่งหนึ่งของผลผลิตทั้งหมด อิตาลีผลิตได้ 40 เปอร์เซ็นต์ และสเปนสามารถผลิตได้ 5 เปอร์เซ็นต์

3) มะนาวไทย (Lime: *Citrus aurantifolia*) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย พม่า และไทย ตลอดจนประเทศมาเลเซีย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ มะนาวที่มีรสเปรี้ยวและรสหวานเนื่องจากมีปริมาณกรดน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลส้ม

ดัชนีการเก็บเกี่ยวที่ดีควรเป็นดัชนีที่นำมาตรวจสอบผลส้มได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ไม่ต้องทำลายผลผลิต ใช้อุปกรณ์ที่สามารถทำให้เก็บเกี่ยวได้รวดเร็วและราคาไม่แพง โดยพิจารณาจาก

1) การนับอายุ จากระยะออกดอกถึงดอกบานประมาณ 1 เดือน และจากระยะดอกบานถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 8-9 เดือน ในส้มพันธุ์ฟรีมองต์ (มงคล, 2526) สำหรับส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมีอายุ

ประมาณ 10-11 เดือน ส่วนส้มเขียวหวานสายพันธุ์อื่นจะอยู่ที่ประมาณ 10 เดือน โดยเริ่มออกดอกในเดือนกุมภาพันธ์และเก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคม (นิวัตร์, 2538)

2) การวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น ความต้านทานแรงกดของผล (Baldwin, 1993) ความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.9 (g/cm^3) และปริมาณน้ำคั้นประมาณ 46-50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผล (Anonymous, 2003)

3) การวัดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยใช้เครื่องมือและวิธีการต่างๆ เช่น การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) ด้วยเครื่อง Refractometer มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ (^oBrix) ซึ่งปริมาณ TSS ของส้มที่แก่จัดพร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ควรอยู่ที่ 10-12 ^oBrix และการหาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) โดยมีวิธีการอ่านค่าสัดส่วน TSS/TA เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ปฏิบัติกัน ซึ่งอัตราส่วนที่จัดว่าส้มแก่แล้วควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 6.5 หรือจากการหาปริมาณน้ำคั้นของน้ำส้ม โดยชั่งน้ำหนักผลส้มแล้วบีบหรือคั้นเอาน้ำออก และนำกากออกมาชั่งใหม่อีกครั้ง แล้วคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักผลทั้งหมด น้ำส้มที่ได้จากผลส้มที่แก่พอดีจะได้ปริมาณน้ำคั้นร้อยละ 50 ของน้ำหนักผล (ดนัย, 2545)

2.8.1 วิธีการเก็บเกี่ยวส้ม

1) การใช้แรงงานคน โดยทั่วไปการเก็บเกี่ยวส้มใช้แรงงานมนุษย์ โดยปลิดขั้วผลหรือใช้กรรไกรตัดก้าน แล้วจึงตัดก้านออกไม่ให้เหลือติดอยู่เพราะจะทำให้ก้านนั้นทิ่มแทงผลส้มอื่นได้ ซึ่งทำให้เกิดแผลสด ภาชนะที่ใช้ใส่ผลส้มเป็นตะกร้าหรือถุงย่ามผ้าใบชนิดหนา หรือเป็นการตัดผลส้มใส่ในถุงย่ามผ้าใบซึ่งผูกติดไปกับเกษตรกรก่อน จากนั้นจึงลำเลียงไปใส่ในตะกร้า (ดนัย, 2545)

2) การใช้เครื่องทุ่นแรง ส่วนใหญ่พบในต่างประเทศ เช่น ออสเตรเลีย อิสราเอล และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น โดยใช้เครื่องเขย่ากิ่ง เครื่องเป่า และการใช้สารเคมีฉีดพ่นให้ผลร่วง เป็นต้น

วิธีการเก็บเกี่ยวผลผลิตส้มในประเทศไทยที่พบคือ การใช้แรงงานคน โดยใช้การปลิดขั้วผลหรือใช้กรรไกรตัด ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กับผลส้มสายน้ำผึ้ง การปลิดผลด้วยมือเปล่าจะเก็บเกี่ยวผลได้เร็วขึ้น แต่มีผลเสียหายมากกว่าการใช้กรรไกรตัด ภาชนะที่ใช้ใส่ผลส้มเป็นตะกร้าหรือถุงย่ามผ้าใบชนิดหนา สำหรับผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งจะใช้กรรไกรตัดขั้วผลส้ม แล้วบรรจุลงในถุงย่ามผ้าใบซึ่งผูกติดไปกับเกษตรกรก่อน จากนั้นจึงลำเลียงไปใส่ในตะกร้า วิธีนี้เป็นวิธีที่ทำให้ผลผลิตไม่เกิดความเสียหาย และสามารถวางจำหน่ายได้ยาวนานกว่าการใช้มือปลิดขั้วผล (เปรมปรี, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของส้ม

คุณภาพของส้มขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในการผลิต ซึ่งส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางแคมีของผลส้ม โดยลักษณะและคุณสมบัติต่างๆ ของผลส้มนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งในการใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลส้ม (วัฒนา, 2528) กล่าวคือ

2.9.1 ขนาดของผลส้ม

ขนาดของผลส้มที่เก็บเกี่ยวมาอาจมีขนาดแตกต่างกันได้ โดยปัจจัยที่ทำให้ขนาดผลแตกต่างกัน ได้แก่

1) การบำรุงต้น ต้นส้มที่ได้รับการดูแลอย่างดี ได้รับน้ำและอาหารเพียงพอในระยะที่เหมาะสม ย่อมให้ผลที่ได้ขนาดตามมาตรฐานหรือขนาดใหญ่

2) จำนวนผลที่ติดอยู่บนต้น ถ้าจำนวนผลมากหรือส้มติดผลดก จำนวนผลส้มในต้นนั้นทั้งหมดจะมีขนาดเล็กกว่าปกติและคุณภาพด้อยลง เนื่องจากอาหารที่ผลิตได้ไม่เพียงพอที่จะไปเลี้ยงผลส้มบนต้นได้อย่างทั่วถึงและเพียงพอ ดังนั้นอาจจำเป็นต้องปลิดผลส้มบนต้นออกบ้าง เพื่อให้จำนวนที่เหลืออยู่พอดีที่ต้นจะสามารถเลี้ยงได้และผลมีคุณภาพดี หรืออาจเลือกใช้วิธีบำรุงต้นให้มากขึ้นโดยไม่ต้องปลิดผลออก

3) จำนวนใบ จำนวนใบและจำนวนผลมีส่วนสัมพันธ์กัน ถ้ามีใบน้อยเกินไปต้นส้มจะสร้างอาหารมาเลี้ยงผลไม่เพียงพอ ทำให้ผลมีขนาดเล็กกว่าปกติ คุณภาพของผลด้อยลง ยิ่งผลส้มมีขนาดใหญ่ก็ยิ่งต้องการจำนวนใบมากขึ้น

Ketsa (1988) กล่าวว่า เมื่อขนาดผลส้มมีขนาดเพิ่มขึ้นปริมาณ TSS และปริมาณกรดทั้งหมด (total acids) จะลดลงโดยปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลงเร็วกว่า TSS ดังนั้นผลขนาดใหญ่จะมีรสหวานกว่าผลขนาดเล็ก การที่ปริมาณ TSS และปริมาณกรดทั้งหมดลดลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเจือจางของปริมาณน้ำส้มซึ่งมีมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อคุณภาพของส้ม (Ting and Attaway, 1971)

2.9.2 สีของผิวและสีของเนื้อผล

สังเกตได้ว่าส้มที่วางจำหน่ายนั้นมีสีแตกต่างกัน ทั้งที่เป็นส้มพันธุ์เดียวกัน เช่น ส้มเขียวหวานที่ปลูกทางภาคเหนือ ผิวผลจะมีสีส้มจัดถึงแดง ส่วนส้มเขียวหวานที่ปลูกทางภาคกลางผิวผลจะมีสีเขียว เขียวอมเหลือง หรือเหลืองอ่อน ซึ่งสีผิวและสีเนื้อของส้มจะแสดงความแก่อ่อน กล่าวคือ ส้มที่มีสีเข้มมักเป็นส้มที่แก่จัดและมีความบริบูรณ์ของผลสูงกว่าส้มที่มีสีอ่อนกว่า สีผิวและสีเนื้อยังส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของลักษณะที่ปรากฏของผลิตผล การที่สีของผลและสีของเนื้อผลแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ แต่ที่เด่นชัดคือปัจจัยที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศเป็นสำคัญ ถ้าอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันกับกลางคืนแตกต่างกันมาก สีของผลส้มก็จะยิ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เข้มขึ้น โดยเฉพาะในตอนที่ผลส้มแก่อุณหภูมิเป็นตัวกระตุ้นให้สีเข้มขึ้น เช่น ส้มที่ปลูกทางภาคเหนือมีสีเข้มกว่าส้มที่ปลูกในภาคกลาง หรือส้มที่แก่ในช่วงอากาศหนาวมีสีเข้มกว่าส้มที่แก่ในอากาศร้อนทั้งที่เป็นต้นเดียวกันหรือปลูกในที่เดียวกัน (วัฒนา, 2528) และอีกประการหนึ่ง อาจเกิดจากการดูแลรักษา เนื่องจากในผลไม้ตระกูลส้ม สีของเปลือกส้มและเนื้อเป็นผลมาจากรงควัตถุต่างๆ ร่วมกัน ได้แก่ คลอโรฟิลด์ แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน โดยในช่วงระยะแรกเซลล์ที่ผลส้มมีระดับของคลอโรฟิลด์มาก ต่อมาเมื่อเข้าสู่ช่วงท้ายของระยะที่ 2 ในการเจริญของผลส้ม คลอโรฟิลด์จะเริ่มสลายตัวไป สีของแคโรทีนอยด์จึงปรากฏให้เห็น (Davis and Albrigo, 1994) แต่หากได้รับธาตุอาหารบางชนิดในปริมาณที่มากจนเกินไป เช่น แมกนีเซียม หรือสังกะสี ก็จะส่งผลต่อการพัฒนาของสีผิวได้

2.9.3 ปริมาณน้ำตาลและกรดในผล

เมื่อผลส้มเริ่มแก่จะมีการสร้างน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ขณะที่ปริมาณกรดจะลดลง (Kimball, 1984) ปริมาณน้ำตาลในผลมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การบำรุงรักษาต้น ถ้าต้นสมบูรณ์แข็งแรงได้รับอาหารและน้ำในอัตราที่เหมาะสมจะมีปริมาณน้ำตาลมาก อายุผลก็เช่นเดียวกัน ถ้าปล่อยให้ผลอยู่บนต้นนาน ๆ ความหวานหรือปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น และปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการสร้างน้ำตาลในผลส้ม คือ อุณหภูมิในช่วงที่ผลเริ่มแก่ ถ้ามีอุณหภูมิสูงผลส้มจะสร้างน้ำตาลได้มาก ยิ่งมีช่วงอุณหภูมิสูงติดต่อกันนาน จะทำให้ผลส้มมีน้ำตาลมากขึ้นหรือหวานขึ้น ส่วนปริมาณกรดในผลส้มจะมีปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น การบำรุงรักษาต้นส้ม อายุของผลส้ม และความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลากลางวันกับกลางคืน ถ้าอุณหภูมิแตกต่างกันมาก ปริมาณกรดในผลจะยิ่งมาก (วัฒนา, 2528) ผลส้มเขียวหวานอายุ 39 สัปดาห์มีอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรดเท่ากับ 8.0 ผลมีรสเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อยผู้ชิมไม่ชอบ แต่เมื่อผลมีอายุมากขึ้น อัตราส่วนดังกล่าวจะเพิ่มขึ้น ทำให้ผลมีรสหวานขึ้น เปรี้ยวน้อยลง ผู้ชิมชอบมากขึ้น (มนตรี, 2527)

ปริมาณน้ำตาลและกรดในผลส้มเป็นตัวกำหนดรสชาติของผลส้ม ผลส้มที่มีรสชาติดีปริมาณของน้ำตาลและกรดต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนระหว่าง 10-12 ถือได้ว่ารสชาติมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค (Baldwin, 1993)

2.9.4 ความหนาของเปลือก

ส้มที่ปลูกในแหล่งต่าง ๆ กันจะมีความหนาของเปลือกไม่เท่ากันทั้งที่เป็นส้มพันธุ์เดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแหล่งปลูกต่างๆ นั้นแตกต่างกัน ส้มที่ปลูกในที่ซึ่งความชื้นในอากาศน้อยหรือความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ส้มจะปรับตัวโดยสร้างเปลือกให้หนาเพื่อป้องกันการคายน้ำจากผล ทำให้เกิดช่องว่างมากระหว่างผิวเปลือกนอกกับเนื้อในเพื่อช่วยรักษาความชื้นไว้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในทางตรงกันข้ามถ้าปลูกส้มในที่ความชื้นของอากาศสูง เปลือกส้มจะบางเพราะมีการคายน้ำน้อย ในกรณีของส้มสายน้ำผึ้งที่เก็บเกี่ยวมาแล้วควรมีลักษณะเปลือกที่บาง เนื่องจากลักษณะของเปลือกที่บางจะทำให้เกิดการคายน้ำจากผลได้เร็วกว่าส้มที่มีเปลือกหนา ซึ่งการคายน้ำของผลส้มจะส่งผลต่อความเข้มข้นของปริมาณ TSS ที่เพิ่มขึ้น และปริมาณ TA ที่ลดลง ทำให้รสชาติของส้มดีขึ้น (อัฐพล, 2548)

นอกจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลส้มแล้ว สาเหตุอีกประการหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลส้ม คือ ความผิดปกติทางสรีรวิทยา ซึ่งเกิดจากการขาดธาตุอาหารบางชนิด อาการผิดปกติทางสรีรนี้มีผลต่อคุณภาพผลในขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน เช่น การเกิดอาการผลฟ่ามภายในผล ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อแข็ง แห้ง เป็นไตสีขาวขุ่น ไม่มีน้ำ อาการฟ่ามนี้เกิดขึ้นภายในผลจึงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงตรวจสอบได้ยากมาก และเมื่อนำมาเก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่าย อาการฟ่ามก็จะมีเพิ่มขึ้น จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพในการเก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่ายสูญเสียไป อาการผิดปกติทางสรีรวิทยานี้บางอาการมีผลต่อขั้นตอนการขนส่ง เช่น อาการผลพอง ซึ่งอาการนี้จะมีลักษณะเนื้อผลและเปลือกแยกออกจากกันอย่างชัดเจน ทำให้เกิดการเสียหายได้หากผลิตผลนั้นเกิดการกระแทก หรือเบียดเสียดกันในระหว่างการขนส่ง นอกจากนี้ยังมีอาการผิดปกติที่เกิดจากการดูแลที่ไม่เหมาะสม เช่น อาการผลแตก ซึ่งเกิดจากการได้รับธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่งมากหรือน้อยเกินไป ทำให้เกิดการเจริญของผลไม่สมดุลกัน (เปรมปรี, 2544) จึงทำให้เนื้อผลมีการเจริญที่เร็วกว่าส่วนเปลือกซึ่งมีการเจริญที่ช้ากว่า ส่งผลให้เปลือกส้มเป็นรอยปริแตก อาการผลแตกจึงมีผลต่อการบริโภคของผู้บริโภคในด้านลักษณะที่ปรากฏภายนอก อาจทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับได้

2.10 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ตระกูลส้มที่สำคัญ

2.10.1 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ตระกูลส้มมักพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลเกิดขึ้น โดยสีเขียวจะหายไปแล้วปรากฏสีเหลืองหรือแดงขึ้นมาแทน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์กลายเป็นสารที่ไม่มีสี ซึ่งอาจเป็นการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase ดังที่พบว่า เมื่อใช้เอทิลีนเร่งการสลายสีเขียวของเปลือกส้ม มีการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ตัวนี้ควบคู่กัน ทำให้เห็นสีเหลืองของรงควัตถุแคโรทีนอยด์ซึ่งมีอยู่แล้วแต่ถูกเขียวข่มอยู่ให้ปรากฏชัดออกมาพร้อมกับการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ขึ้นด้วย (Gross, 1981) ซึ่ง Gross (1981) กล่าวว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของเปลือกส้มเขียวหวาน (tangerine) เพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก และส้มที่เก็บเกี่ยวขณะที่มีสีเขียวอยู่และเก็บรักษาที่ 20 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำกว่าผลที่ปล่อยให้สุกบน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ ระหว่างการสุกสามารถเกิดขึ้นได้กับทั้งผลที่ติดอยู่บนต้นและผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว (Eliati *et al.,* 1975) นอกจากนี้ Gross (1981) กล่าวว่า เอทิลีนเป็นตัวเร่งการสลายของคลอโรฟิลล์และสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ และการใช้เอทิลีนจะเร่งการเกิดแคโรทีนอยด์ได้เร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ และทำให้สีผิวของผลไม้สม่ำเสมอขึ้น (Young and John, 1972) การขจัดสีเขียวเป็นวิธีการที่นิยมใช้กับส้มมาก เนื่องจากผลส้มเมื่อแก่และสามารถเก็บเกี่ยวได้แล้ว แต่หากสีผิวยังเขียวอยู่มาก ถึงแม้จะมีรสชาติและองค์ประกอบภายในเหมาะสมก็ตาม หากแต่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคซึ่งคิดว่าผลยังไม่สุก (Cohen, 1978) ทำให้จำเป็นต้องขจัดสีเขียวออกเพื่อให้ผิวมีสีเหลืองสวยงาม การขจัดสีเขียวในผลไม้ตระกูลส้มเป็นการกำจัดคลอโรฟิลล์ออกจากเปลือก ซึ่งการขจัดสีเขียวนั้นไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพภายในของส้ม (Kader, 1985) การขจัดสีเขียวโดยใช้ก๊าซเอทิลีนที่ใช้ผันแปรตามพันธุ์ และสภาพของผลไม้ขณะเก็บเกี่ยว (ดนัย และนิธิยา, 2535) นอกจากนี้ ระยะความแก่ของผลมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการขจัดสีเขียวอีกด้วย (Vakis, 1975)

2.10.2 การสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลขณะที่มีการเก็บรักษา (สายชล, 2528) โดยมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก คุณภาพของผล และทำให้รูปร่างเปลี่ยนไป (ดนัย, 2534) โดยทั่วไปถ้าหากมีการสูญเสียน้ำเพียงร้อยละ 5-10 ของน้ำหนักทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง รสชาติไม่ดี (Peleg, 1985) ซึ่งตรงกับคำกล่าวของ Wardowski *et al.* (1986) ว่าการคายน้ำที่มากกว่าร้อยละ 5 นอกจากทำให้ผลเหี่ยวและเสียรูปทรง ยังทำให้เปลือกผลบาง ปอกรับประทานยากและวางจำหน่ายไม่ได้ ทั้งๆที่คุณภาพภายในยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ชูชาติ (2537) กล่าวว่า ในผลไม้ตระกูลส้ม การสูญเสียน้ำเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยว Grierson and Wardowski (1978) สรุปว่าในขณะที่ส้มมีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 5 ทำให้ผลเหี่ยวและไม่สามารถวางจำหน่ายได้ จากการทดลองของ Sonsrivichai *et al.* (1992) พบว่า ส้มเขียวหวานที่เก็บรักษาที่สภาพอุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{o}C$) มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 8-10 ภายใน 1 สัปดาห์และปรากฏอาการเหี่ยวให้เห็น การสูญเสียน้ำของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้นของอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ (ดนัย, 2534) และปัจจัยภายในของผลิตผลเอง เช่น ลักษณะโครงสร้างของพืช สารเคลือบผิว รูปร่าง โครงสร้างผิวเปลือก และขนาดของผล (สายชล, 2528) สำหรับส้มเขียวหวาน Ketsa (1990) รายงานว่า การสูญเสียน้ำหนักมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร แต่ตรงข้ามกับขนาดของผล นั่นคือการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นกับผลที่มีขนาดเล็กมากกว่าผลที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความหนาของเปลือก โดยผลที่มีเปลือกหนามีการสูญเสียน้ำมากกว่าผลที่มีเปลือกบาง เนื่องจากผลที่มีเปลือกหนาจะมีจำนวนปากใบ (stomata) มากกว่า ขณะเดียวกันผลที่มีเปลือกบาง มีชั้นของ flavedo ที่หนากว่า ทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดีกว่า

2.10.3 อัตราการหายใจ

ส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric เป็นชนิดบ่มไม่สุก ไม่สามารถสุกได้เมื่อเก็บเกี่ยวมาจากต้นแล้ว ที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่ำ (Vines *et al.,* 1963) ดังนั้นการเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการหายใจ (Phan *et al.,* 1975) และการผลิตเอทิลีน (Leshem *et al.,* 1986) จึงเกิดขึ้นน้อย ส้มมีอัตราการหายใจหลังการเก็บเกี่ยวต่ำ คือ ประมาณ 10-15 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมงที่ 20 องศาเซลเซียส และสังเคราะห์แก๊สเอทิลีนได้น้อย คือ น้อยกว่า 0.1 ลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แต่ในการขนส่งส้มเป็นระยะเวลานานเอทิลีนซึ่งสะสมในบรรยากาศจะทำให้ผลส้มอ่อนแอต่อการเน่าเสีย การหายใจของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานของสารอาหาร คือ คาร์โบไฮเดรต ให้ไปอยู่ในรูปพลังงานเคมี คือ adenosine triphosphate (ATP) เพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทำให้เซลล์สามารถดำรงอยู่ได้ ดังนั้น อายุการเก็บรักษารวมทั้งคุณภาพของผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ (สายชล, 2528; จริงแท้, 2538; ดนัย, 2540)

2.11 การขนส่งผักและผลไม้ในประเทศไทย

การขนส่งผักและผลไม้ในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นการขนส่งโดยทางรถยนต์ เพราะเส้นทางคมนาคมทางรถยนต์คล่องตัว สะดวก และทั่วถึง แต่การเลือกใช้พาหนะยังขึ้นกับชนิดของผลิตผล แหล่งผลิต และที่ตั้งของตลาดกลางด้วย สำหรับผักและผลไม้ที่มีแหล่งปลูกตามชานเมืองใหญ่ ๆ เช่น บริเวณรอบกรุงเทพมหานคร ถ้าเป็นบริเวณที่มีคลองหรือแม่น้ำเชื่อมโยงกับกรุงเทพฯ การขนส่งมักทำโดยทางเรือเพราะสามารถขนส่งได้ถึงบริเวณปากคลองตลาด หรือตลาดมหานาค การขนส่งมักใช้เวลาสั้น และไม่ต้องประสบปัญหาจราจรติดขัด ส่วนที่อยู่ไกลออกไปใช้การขนส่งทางรถยนต์ ผักและผลไม้หลายชนิดมีแหล่งปลูกในเขตจังหวัดนครปฐมและราชบุรี มีเส้นทางน้ำมากมายก็ใช้การขนส่งทางเรือด้วย โดยลำเลียงจากแปลงปลูกไปยังตลาดกลางในท้องถิ่น เช่น ดำเนินสะดวก หรือบ้านแพ้ว จากนั้นจึงขนส่งโดยทางรถยนต์ไปยังตลาดขายส่งอื่นๆ สำหรับผักและผลไม้ที่มีเขตการเพาะปลูกจำเพาะ เช่น กะหล่ำปลี หอม และกระเทียม ทางภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ ลิ้นจี่ ลำไย ทางภาคเหนือ เงาะ ทุเรียน มังคุด ทางภาคตะวันออกและภาคใต้ วิธีการขนส่งทางรถยนต์เพราะทำได้รวดเร็ว สามารถเข้าถึงแหล่งปลูกและส่งได้ถึงลูกค้าโดยตรง สำหรับการขนส่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางรถไฟนั้นค่อนข้างมีน้อย เช่น การขนส่งลำไยจากภาคเหนือไปยังกรุงเทพมหานคร เพราะเส้นทางรถไฟในประเทศไทยมีค่อนข้างจำกัด และไม่สามารถขนส่งให้ถึงลูกค้าโดยตรง

สำหรับการขนส่งทางอากาศภายในประเทศมีน้อยมากหรือไม่มีเลย ทั้งนี้นอกจากค่าใช้จ่ายสูงแล้ว ยังมีปัญหาในการนำของเข้าและออกจากสนามบินซึ่งมักยุ่งยาก ล่าช้า และผลิตผลไม่ได้รับการดูแลเป็นพิเศษต่างไปจากสินค้าอื่น ยิ่งไปกว่านั้นการขนส่งทางรถยนต์ก็ใช้เวลาไม่มาก การขนส่งทางเครื่องบินจึงไม่ได้ทำให้ได้ผลิตผลมีคุณภาพดีกว่าการขนส่งทางรถยนต์ (จริงแท้, 2544)

2.12 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเสียหายและการสูญเสียในการขนส่งผลิตผล

2.12.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เพราะอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการต่างๆ ภายในผลิตผล และยังมีผลต่อปัจจัยอื่นๆ ภายนอกด้วย ที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ภายในผลิตผลจะเกิดได้เร็วขึ้น ทำให้ผลิตผลเสียหายได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิต่ำทำให้ผลิตผลสามารถเก็บรักษาสภาพเดิมไว้ได้นานกว่า แต่ในบางกรณีอุณหภูมิต่ำก็อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ โดยเฉพาะกับผลิตผลในเขตร้อนอาจเกิดอาการผิดปกติที่เรียกกันว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ขึ้นได้ (จริงแท้, 2544 ข)

2.12.2 ความชื้น

ความชื้นในอากาศ หมายถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของไอน้ำในอากาศ ปริมาณน้ำในอากาศผันแปรได้จากศูนย์ถึงมากที่สุด เมื่ออากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำซึ่งผันแปรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน ความชื้นของอากาศที่อยู่รอบๆ ผลิตผลมีผลต่อการสูญเสียน้ำ คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตผล (ดนัย, 2534) การควบคุมการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้คือการทำให้อากาศรอบๆ ผักและผลไม้มีความสามารถน้อยในการที่จะรับเอาไอน้ำที่ระเหยมาจากเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ โดยการลดอุณหภูมิให้ต่ำลงหรือการเพิ่มความชื้นเข้าไปในอากาศ นั่นคือการลดความแตกต่างความดันไอน้ำระหว่างอากาศกับผิวของผักและผลไม้ หรือการใช้วัสดุที่ป้องกันการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้ (สายชล, 2528)

2.12.3 ระยะเวลา

ในการขนส่งผลิตผลที่ใช้ระยะเวลานาน ทำให้ส้มได้รับความเสียหายทั้งทางคุณภาพและปริมาณ นอกจากนั้นการขนส่งในขณะที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลายาวนาน อาจทำให้ส้มเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้น เป็นผลให้ส้มเกิดกลิ่นที่ผิดปกติ (off-flavor) ทำให้ผู้บริโภคได้รับประทานส้มที่มีรสชาติเปลี่ยนไปจากเดิม (Mitra, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.12.4 การสั่นสะเทือนและเสียดสี

การสั่นสะเทือนและเสียดสีมีผลโดยตรงกับความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลิตผลในระหว่างการขนส่ง การสั่นสะเทือนและเสียดสีขึ้นอยู่กับสภาพของถนน สภาพของยานพาหนะ และความเร็วของรถในระหว่างการขนส่ง การขนส่งระยะทางไกลๆ พบว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ทำให้ผลไม้เกิดการยุบตัวลงจึงเกิดช่องว่างของภาชนะบรรจุ ช่องว่างบริเวณด้านบนของภาชนะบรรจุที่เกิดขึ้นในระหว่างการยุบตัวนี้ ทำให้ผลไม้กระดอนและกระแทกกับผนังของภาชนะบรรจุ ซึ่งทำให้ผลไม้เกิดความเสียหาย (Peleg, 1985) Nicholus (1986) แนะนำว่า รถบรรทุก 10 ล้อควรใช้ความเร็วไม่เกิน 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในการขนส่งผลิตผล

2.12.5 ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุมีผลกับคุณภาพของผลิตผลในระหว่างการขนส่ง โดยลักษณะของภาชนะบรรจุที่ดีจะต้องสามารถรองรับผลิตผลให้อยู่เป็นหน่วยเดียวกัน เพื่อความสะดวกในการขนย้ายหรือเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการตกกระทบ การบีบอัด การสั่นสะเทือน และจากการผันแปรของอุณหภูมิและความชื้น ตลอดจนศัตรูพืช เช่น แมลงหรือสัตว์อื่นๆ เป็นต้น (จริงแท้, 2544)

ภาชนะบรรจุที่มีความสำคัญมากที่สุดได้แก่ ภาชนะบรรจุสำหรับการขนส่ง เพราะนอกจากใช้บรรจุผลิตผลอยู่เป็นเวลานานแล้ว ยังใช้เป็นภาชนะบรรจุในการวางจำหน่ายได้อีกด้วย ดังนั้นจึงต้องพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้ในแง่ของความแข็งแรงทนทานต่อการตกกระทบ การเรียงซ้อน และการสั่นสะเทือนเป็นสำคัญ (อนุชา, 2547)

2.13 ความเสียหายในการขนส่ง

ความเสียหายจากการสั่นสะเทือนของรถบรรทุกเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบการบรรจุ เมื่อทำการบรรจุผลไม้ลงในภาชนะบรรจุแล้ว ควรให้ผลไม้มีการเคลื่อนที่น้อยที่สุดในการขนส่งระยะทางไกล ๆ นอกจากการกระทบกระเทือนและการอัดตัวแล้ว การที่ผลผลิตภายในภาชนะบรรจุไม่อยู่กับที่ เคลื่อนไหวไปมาตามแรงสั่นสะเทือนของพาหนะ สำหรับผลไม้ที่มีเปลือกแข็งแรงไม่เป็นปัญหา แต่สำหรับผลไม้ที่มีผิวบอบบางจะทำให้เกิดรอยถลอกเกิดขึ้น ดูไม่สวยงามและทำให้ราคาลดลง (จริงแท้, 2538)

ดนัย (2534) ได้สรุปความเสียหายในการขนส่งไว้ว่า

2.13.1 ความเสียหายจากการกระทบกระแทก ซึ่งเกิดจากการร่วงหล่นของภาชนะบรรจุแล้วเกิดการกระทบกระเทือนข้างใน การใช้วัสดุกันกระทบ เช่น ฟองน้ำ หรือโฟม อาจช่วยลดความเสียหายได้บ้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.13.2 ความเสียหายจากการกดทับ ความเสียหายประเภทนี้เกิดเนื่องจากวิธีการบรรจุที่ไม่เหมาะสม และคุณภาพของภาชนะบรรจุไม่แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของภาชนะที่วางเรียงซ้อนกันได้ ดังนั้นภาชนะบรรจุจะต้องมีความแข็งแรง เหมาะสมกับขนาดและน้ำหนักของผลิตผล

2.13.3 ความเสียหายจากการสั่นสะเทือนและเสียดสี เกิดขึ้นกับผลิตผลที่มีผิวบาง การใช้ถาดรองเป็นชั้น ๆ ช่วยลดความเสียหายได้

2.13.4 ความเสียหายจากอุณหภูมิ ภาชนะบรรจุที่มีการระบายอากาศไม่ดี ทำให้เกิดการสะสมความร้อนขึ้นภายใน ทำให้ผลผลิตเสื่อมเสียเร็ว ภาชนะบรรจุจึงควรมีการระบายอากาศที่ดี

2.13.5 ความเสียหายจากความชื้น ในการใช้ภาชนะบรรจุที่เป็นกระดาษหรือไม้ที่แห้งนั้น ผลิตผลอาจสูญเสียน้ำให้กับภาชนะบรรจุได้ ซึ่งกรณีที่ภาชนะบรรจุเป็นกระดาษจะทำให้ความแข็งแรงลดลง การใช้แผ่นพลาสติกรองในภาชนะบรรจุก่อนการบรรจุผลิตผล จะช่วยลดปัญหานี้ได้ นอกจากนั้นความชื้นภายในบรรยากาศยังทำให้เกิดความเสียหาย ในทำนองเดียวกันในการเคลือบภาชนะบรรจุที่เป็นกระดาษด้วย wax ช่วยลดปัญหานี้ได้เช่นกัน

2.14 ยานพาหนะสำหรับขนส่งผักและผลไม้ระหว่างผู้ขายส่งไปสู่ผู้ขายปลีกในระยะทางไกล

เนื่องจากการประกอบการขนส่งสินค้าเป็นการประกอบการเสรี รูปแบบของการขนส่งภายในประเทศจึงมีมากมายหลายแบบ สำหรับรถยนต์บรรทุกมีตั้งแต่รถกระบะสี่ล้อ (รถปิ๊กอัพ) ไปจนถึงรถบรรทุกสิบล้อ รถยนต์บรรทุกเหล่านี้มีขนาดพื้นที่การบรรทุกและน้ำหนักการบรรทุกดังตารางที่ 2.1 (อนุชา, 2547)

ตารางที่ 2.1 ขนาดและน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกต่างๆในประเทศ

ชนิด	พื้นที่บรรทุกรวมผนังด้านข้าง (ซ.ม.)		น้ำหนักบรรทุก
	กว้าง	ยาว	(กก.)
รถกระบะสี่ล้อ	169	559	1,210
รถบรรทุกหกล้อ	169-199	302-497	2,840-6,045
รถบรรทุกสิบล้อ	236-241	580-707	14,100-15,325

ที่มา : บริษัท ไทยฮีโนมอเตอร์เซลล์ จำกัด

บริษัท ตรีเพชรอีซูซุเซลล์ จำกัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved