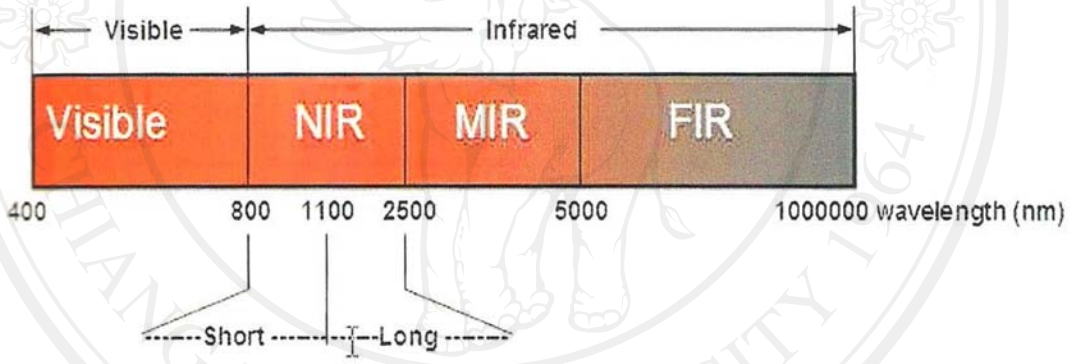
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy: NIRS)

คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด (near infrared: NIR) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (visible) และช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดย่านกลาง (middle infrared: MIR) เป็นคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 800-2500 นาโนเมตร สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงคลื่น คือ คลื่นสั้นมีความยาวคลื่นระหว่าง 800-1100 นาโนเมตร และคลื่นยาวมีความยาวคลื่นระหว่าง 1100-2500 นาโนเมตร (Osborne *et al*., 1993b) พลังงานของคลื่นแสง NIR จะอยู่ในช่วง



ภาพที่ 2.1 ช่วงสเปกตรัมของคลื่นแสงอินฟราเรด

ที่สอดคล้องกับการสั่น (vibration) ของพันธะภายในโมเลกุล หากการสั่นของพันธะใดเกิดที่ความถี่ตรงกับความถี่ของคลื่นแสง NIR จะเกิดการดูดกลืนขึ้น (Osborne *et al*., 1993b) ซึ่งการดูดกลืนแสง NIR ใช้มากในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของสารประกอบอินทรีย์ในผลิตผลต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 การสั่นของโมเลกุล (Molecule vibration)

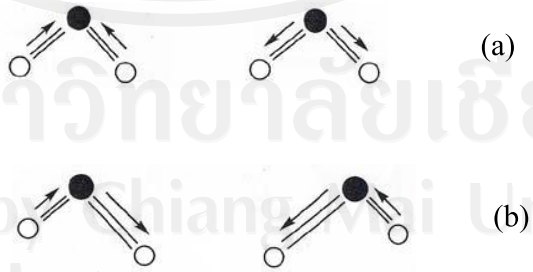
เทคนิค NIRS เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยอาศัยคุณสมบัติการดูดกลืนแสง พลังงานของคลื่นแสง NIR ที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างจะถูกดูดกลืนโดยองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างนั้น โดยโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง NIR จะเป็นสารอินทรีย์ที่มีอะตอมของไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H ที่เป็นองค์ประกอบของ แป้ง น้ำหรือน้ำตาล, N-H เป็นองค์ประกอบของโปรตีนหรือ C-H ที่เป็นองค์ประกอบในไขมัน (lipid) เป็นต้น เมื่อโมเลกุลดูดกลืนแสง NIR ที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะ โมเลกุลก็จะถูกกระตุ้นจากสภาวะพื้น (ground state) ไปสู่สภาวะกระตุ้น (excited state) กลายเป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงขึ้นทำให้เกิดการสั่น (vibration) หรือการหมุน (rotation) ของโมเลกุล

การสั่นของโมเลกุลแบบพื้นฐาน (fundamental vibration) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ (เย็นหทัย, 2549; สมเดช, 2547) คือ

2.2.1 การสั่นแบบยืดหด (stretching vibration) ของพันธะโมเลกุลเป็นการสั่นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวของพันธะโมเลกุลระหว่างอะตอม จะทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมยาวขึ้นหรือสั้นลงซึ่งมี 2 รูปแบบ ดังภาพที่ 2.2 (a) และ (b) คือ

2.2.1.1 การยืดแบบสมมาตร (symmetric) คือ พันธะระหว่างโมเลกุลทั้ง 2 ยืดออกหรือยืดเข้าเท่าๆ กัน ดังภาพที่ 2.2 (a)

2.2.1.2 การยืดแบบอสมมาตร (asymmetric) คือ พันธะระหว่างโมเลกุลทั้ง 2 ยืดออกหรือยืดเข้าไม่เท่ากัน ดังภาพที่ 2.2 (b)



ภาพที่ 2.2 การสั่นแบบการยืด (a) symmetric และ (b) asymmetric (เย็นหทัย, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

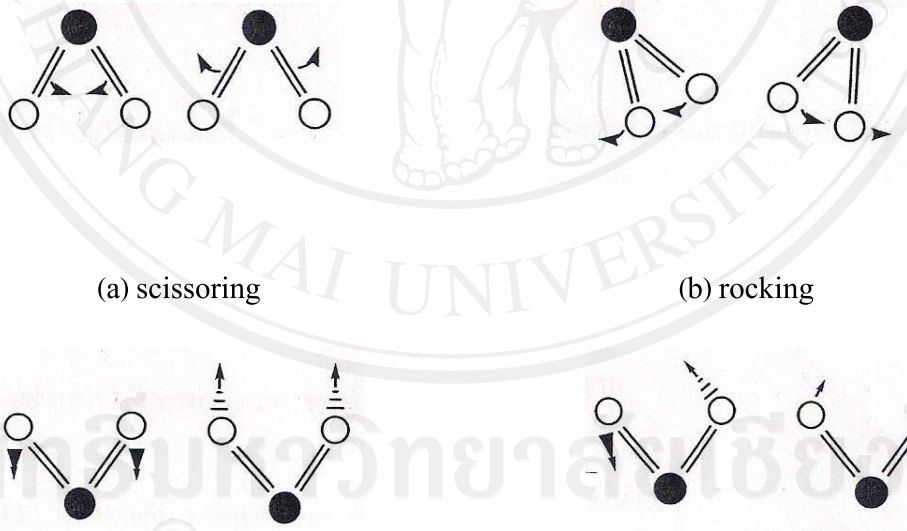
2.2.2 การสั่นแบบงอ (bending vibration) หรือการผิดรูป (deformation) เป็นการสั่นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมุมของพันธะโมเลกุลระหว่างอะตอม จะทำให้มุมระหว่างอะตอมกว้างออกหรือลดลง รูปแบบการสั่นแบบงอ ได้แก่

2.2.2.1 การงอแบบกรรไกร (scissoring) เป็นการเคลื่อนที่ของอะตอมทั้ง 2 เข้ามาหากันหรือออกจากกัน เป็นแบบสมมาตรและอยู่ในระนาบ (in plane bending) ดังภาพที่ 2.3 (a)

2.2.2.2 การงอแบบโคลง (rocking) เป็นการเคลื่อนที่ของอะตอมทั้ง 2 ไปทางด้านใดด้านหนึ่งจึงเป็นแบบไม่สมมาตรและอยู่ในระนาบ ดังภาพที่ 2.3 (b)

2.2.2.3 การงอแบบกระดิก (wagging) เป็นการเคลื่อนที่ของอะตอมทั้ง 2 ไปข้างหน้าหรือข้างหลังพร้อมๆ กันเกิดนอกระนาบ (out of plane bending) และเป็นแบบสมมาตร ดังภาพที่ 2.3 (c)

2.2.2.4 การงอแบบบิด (twisting) เกิดจากอะตอมหนึ่งเคลื่อนที่ไปข้างหน้าส่วนอีกอะตอมหนึ่งเคลื่อนที่ไปข้างหลัง จึงเป็นแบบอสมมาตรและอยู่นอกระนาบ ดังภาพที่ 2.3 (d)



(a) scissoring (b) rocking

(c) wagging (d) twisting

ภาพที่ 2.3 การสั่นแบบการงอ (a) scissoring, (b) rocking, (c) wagging และ (d) twisting (เย็นหทัย, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การคำนวณรูปแบบการสั่นพื้นฐาน (fundamental vibration) ตามทฤษฎีโมเลกุลคำนวณได้ดังนี้

<u>โมเลกุลที่มีโครงสร้างไม่เป็นเส้นตรง</u> (nonlinear molecule) ที่มี N อะตอม

รูปแบบของการสั่นพื้นฐาน = 3N – 6

เช่น H_2O = 3(3) - 6 = 3

ดังนั้น H_2O จะมีรูปแบบของการสั่นพื้นฐาน 3 แบบ ดังภาพที่ 2.4

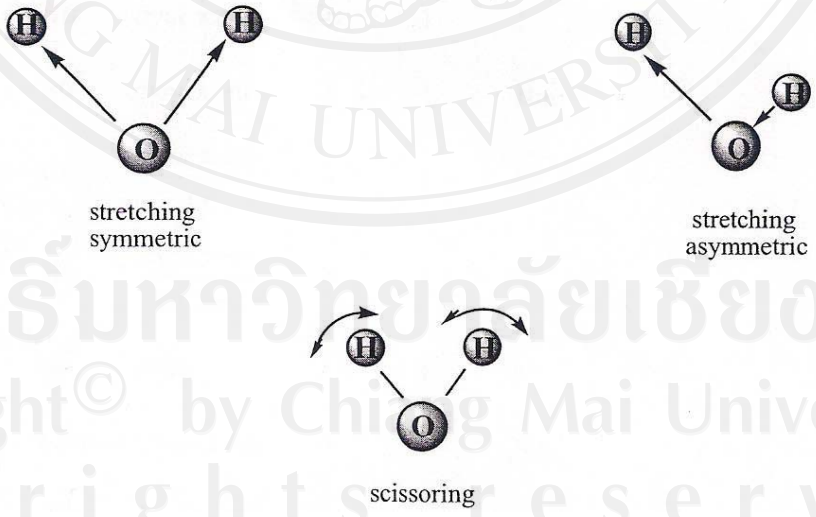
<u>โมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง</u> (linear molecule) ที่มี N อะตอม

รูปแบบของการสั่นพื้นฐาน = 3N-5

เช่น CO_2 = 3(3) – 5 = 4

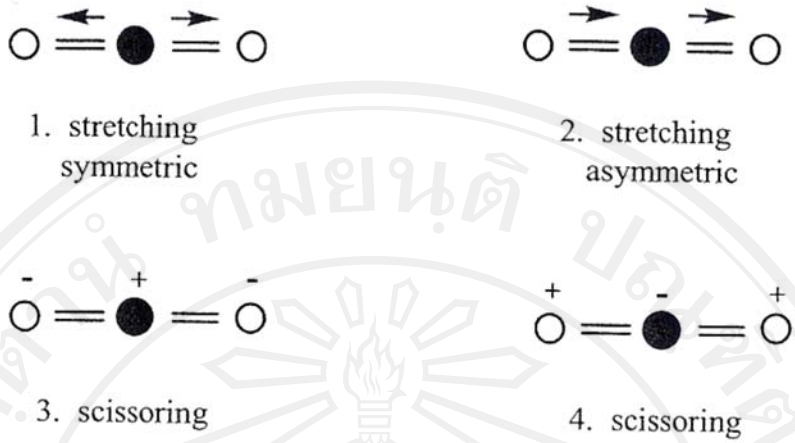
ดังนั้น CO_2 จะมีรูปแบบของการสั่นพื้นฐาน 4 แบบ ดังภาพที่ 2.5

การสั่นของพันธะโมเลกุลที่ดูดกลืนแสง NIR นั้นนอกจากมีการสั่นแบบพื้นฐานแล้ว ยังพบว่ามีการสั่นแบบโอเวอร์โทน (overtone vibration) และการสั่นแบบคอมบิเนชั่น (combination vibration) ด้วย ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (Pasikatan *et al*., 2001; Robert *et al*., 1996)



ภาพที่ 2.4 รูปแบบของการสั่นพื้นฐานของโมเลกุลของน้ำ (เย็นหทัย, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.5 รูปแบบของการสั่นพื้นฐานของโมเลกุลของ CO_2 (1) stretching symmetric, (2) stretching asymmetric, (3) scissoring และ (4) scissoring (เย็นหทัย, 2549)

2.3 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer and Lambert's law) (นินนาท์, 2546)

1. กฎของเบียร์ (Beer's law) ซึ่งกล่าวว่า แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว ความเข้มของแสงที่ตัวกลางดูดกลืนจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารที่เป็นตัวกลาง หรืออาจกล่าวได้ว่าความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสาร

2. กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) ซึ่งกล่าวว่า แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว ความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับความหนาของตัวกลาง

เมื่อรวมกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต จะกล่าวได้ว่า ความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและความหนาของสารละลายที่ลำแสงผ่านสามารถแสดงความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$A = \log [I_0 / I] = \epsilon bc = \log (1/R)$$

A = ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)

I_0 = ความเข้มข้นของแสงก่อนส่องผ่านตัวอย่าง

I = ความเข้มข้นของแสงหลังส่องผ่านตัวอย่าง

ϵ = แอบซอร์ปทิวิตี (molar absorptivity) เป็นค่าคงที่ของแต่ละสาร

b = ความหนาของเซลล์ (cm)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

c = ความเข้มข้นของสารละลาย

R = แสงที่สะท้อนออกมาจากตัวอย่าง

โดยทั่วไปการใช้ NIRS คือ การวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ เพื่อหาความเข้มข้นของตัวอย่างหรือสารที่ดูดกลืนแสง NIR จึงสามารถจัดเรียงสมการได้ใหม่เป็น

$$c = A / \epsilon b = \log (1/R) \epsilon b$$

ค่า ϵ และ b เป็นค่าคงที่ในกรณีวัดสารละลาย หากวัดของแข็งที่ขนาดอนุภาคค่า b จะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคเฉลี่ย เนื่องจากแสงเดินทางผ่านเข้าไปในตัวอย่างด้วยระยะทางไม่คงที่ ดังนั้น ตัวอย่างลักษณะนี้จึงมีความซับซ้อนกว่าและไม่เป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต อย่างไรก็ตาม การควบคุมให้ b มีค่าคงที่ก็คือ การควบคุม หรือคัดขนาดให้ตัวอย่างที่ใช้มีความสม่ำเสมอเพื่อลดอิทธิพลที่เกิดขึ้น (ศุมาพร, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 หลักการทำงานของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Near infrared spectrophotometer) (Siesler *et al*., 2002)

เครื่อง NIR ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังภาพที่ 2.6 และมีหน้าที่ต่างกัน ดังนี้

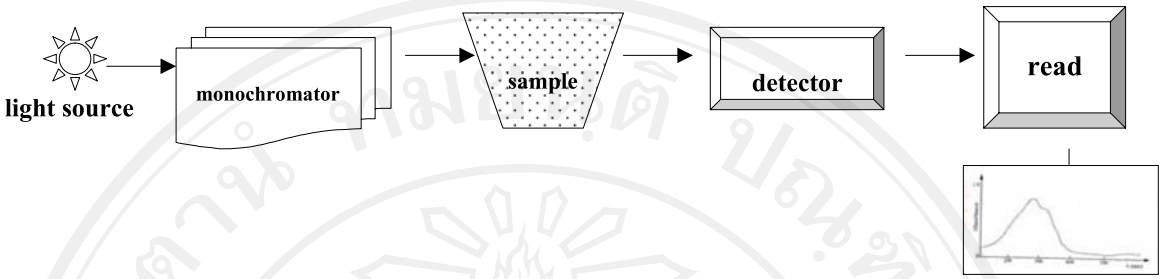
1. แหล่งกำเนิดแสง (light or radiation source) ชนิดของแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ เช่น tungsten halogen ซึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงช่วงวิสิเบิล (visible) และแสงอุลตาไวโอเลต (ultraviolet light) ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 2.5 ไมโครเมตร(μm) ดังนั้น จึงมักจะใช้เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแสงของ NIR ด้วย

2. โมโนโครมาเตอร์ (monochromator) เป็นอุปกรณ์แยกความยาวคลื่นแสงออกเป็นแต่ละความยาวคลื่น ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ต้องไม่ดูดกลืนแสงในช่วง NIR ที่นิยมใช้ คือ ปริซึม (prisms) ซึ่งทำได้จาก NaCl หรือ KBr และเกรตติง(grating) ซึ่งทำได้จากแผ่นแก้วหรือวัสดุโปร่งใสที่ขีดผิวหน้าให้เป็นร่องหรือแผ่นแก้วที่เคลือบด้วยโลหะหรือฟิล์มโลหะที่ขัดเงาให้เป็นร่อง ในปัจจุบันนิยมใช้เกรตติง (grating) มากกว่าปริซึม (prisms) เพราะเกรตติง(grating) สามารถแยกสเปกตรัมออกจากกันได้มากกว่า นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิยังมีผลต่อการทำงานของเกรตติง (grating) น้อยกว่าปริซึม (prisms) โดยแสงที่ผ่านเกรตตริง (grating) และมีความยาวคลื่นตามต้องการแล้วจะถูกส่งผ่านมายังตัวอย่าง เมื่อแสงผ่านตัวอย่างแล้วก็จะถูกส่งผ่านต่อไปยังอุปกรณ์สำหรับตรวจวัด (detector)

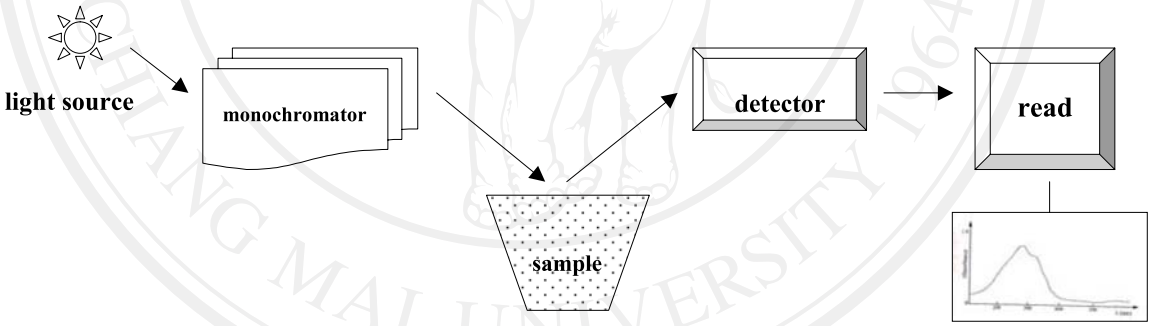
3. อุปกรณ์สำหรับตรวจวัด (detector) จะทำหน้าที่บันทึกปริมาณแสงที่ตัวอย่างดูดกลืนและแปลงผลเป็นสัญญาณส่งเข้าสู่ส่วนประมวลผล (read out) สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ทำ detector มี 2 ชนิดที่นิยม คือ ซิลิกา (silica type) ซึ่งมักจะใช้กับเครื่องอินฟราเรดที่ให้ความยาวคลื่นในช่วงของวิสิเบิล (visible) หรือช่วงแสงที่มองเห็นได้และ NIR อีกชนิด คือ เลด ซัลไฟด์ (lead sulfide :PbS) ซึ่ง จะใช้กับความยาวคลื่น ช่วง 1100-2600 นาโนเมตร (Givens *et al*., 1997)

4. การอ่านสัญญาณ (read out) โปรแกรมจะประมวลผลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ได้ เช่น สเปกตรัมคือ ปริมาณแสงที่ตัวอย่างดูดกลืนไว้ที่ความยาวคลื่นต่างๆ แล้วบันทึกผลด้วยคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(a) transmittance



(b) reflectance

ภาพที่ 2.6 หลักการทำงานของเครื่อง NIR (a) transmittance และ (b) reflectance

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของตัวอย่างกับแสง NIR (Kawano, 2002)

เมื่อเครื่อง NIR ให้แสง NIR ส่องผ่านไปยังตัวอย่างจะเกิดปฏิสัมพันธ์กับตัวอย่างได้หลายแบบ ดังนี้

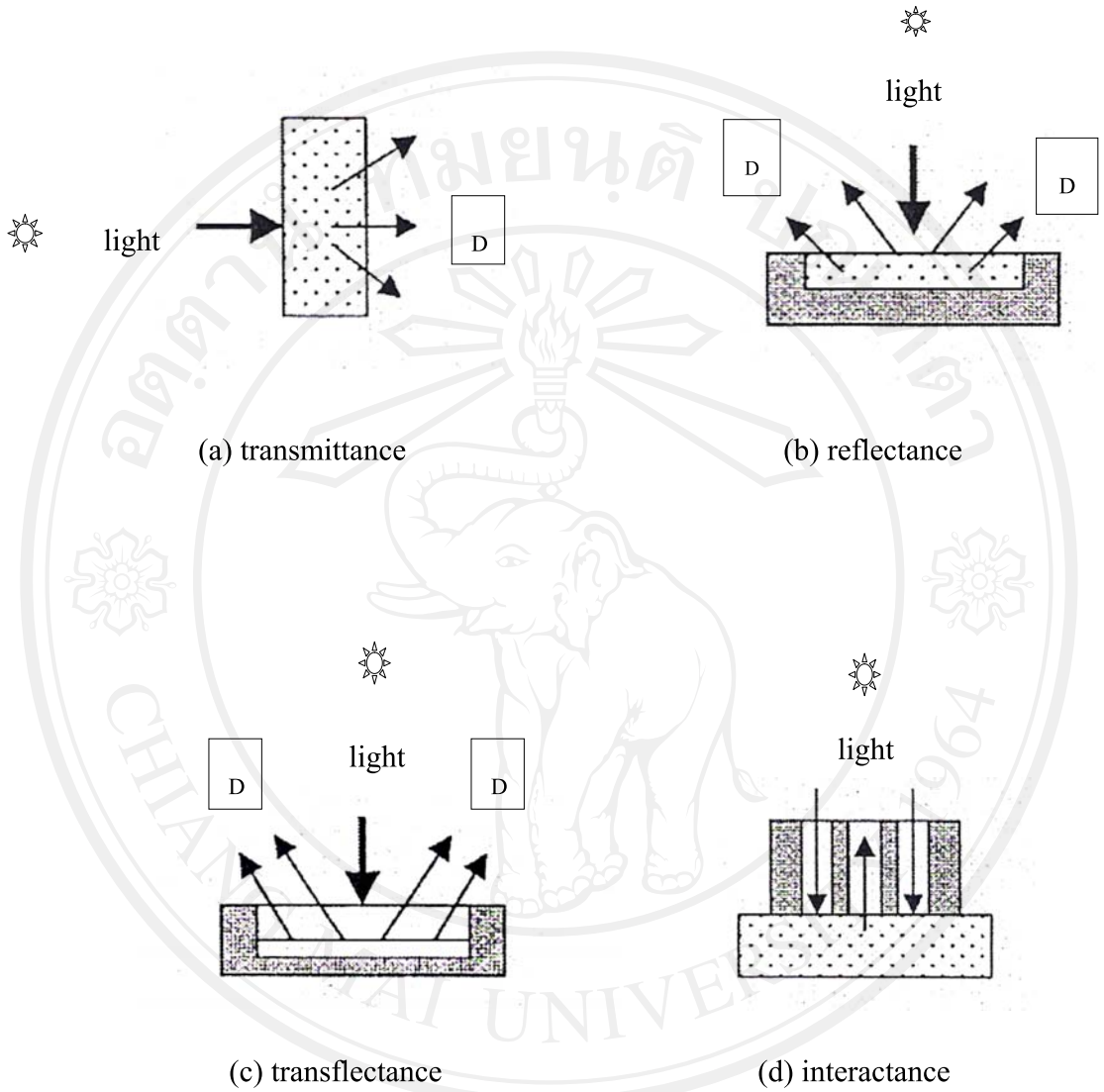
1. transmittance แหล่งกำเนิดแสง NIR ให้แสง NIR ตกกระทบที่ผิวตัวอย่างด้านหนึ่งและส่องผ่านตัวอย่าง โดยที่ detector จะวัดปริมาณแสงที่ส่องผ่านออกมาจากตัวอย่างในด้านตรงกันข้าม ดังภาพที่ 2.7 (a)

2. reflectance แหล่งกำเนิดแสง NIR ให้แสง NIR ตกกระทบที่ผิวของตัวอย่างและอาจแพร่กระจายในปริมาณหนึ่งก่อน โดยที่ detector จะวัดปริมาณแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากผิวของตัวอย่าง ดังภาพที่ 2.7 (b) และนิยมใช้การวัดแบบ reflectance กับเมล็ดพืชหรือเมล็ดพันธุ์ (Williams and Sobering, 1993)

3. transflectance แหล่งกำเนิดแสง NIR ให้แสง NIR ตกกระทบที่ผิวของตัวอย่างและส่องผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบวัตถุที่ไม่ดูดกลืนแสง (เช่น แผ่นเซรามิก, ทอง หรืออลูมิเนียม) ที่อยู่ด้านล่างตัวอย่างแล้วเกิดการสะท้อนกลับผ่านตัวอย่างมายัง detector โดยที่ detector จะทำการบันทึกการดูดกลืนแสงทั้งในขณะที่แสงส่องลงไปด้านล่างและขณะที่แสงสะท้อนกลับมายัง detector ดังภาพที่ 2.7 (c)

4. interactance กระบวนการนี้เกิด ในกรณีที่ใช้หัววัดใยแก้วนำแสง (fiber optics probe) แสงจะออกมาจากส่วนวงแหวนด้านนอกของหัววัดมาตกกระทบตัวอย่าง และแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างจะถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลางของใยแก้วนำแสง ดังภาพที่ 2.7 (d)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



D = detector

ภาพที่ 2.7 รูปแบบที่วัตถุเกิดปฏิสัมพันธ์กับแสง NIR (a) transmittance (b) reflectance (c) transflectance และ (d) interactance

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (factors affecting NIR spectroscopy analysis)

2.6.1 การสุ่มและการเตรียมตัวอย่าง (sampling and sample preparation)

การสุ่มตัวอย่างมีความสำคัญมากที่จะทำให้ได้สมการทำนายที่ดี ตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการควรเป็นตัวแทนที่ดีของตัวอย่างในอนาคต ในกรณีของผลิตผลทางการเกษตรตัวอย่างควรต้องมีความหลากหลายในเรื่องของพันธุ์ พื้นที่การผลิต ฤดูเพาะปลูกและระยะสุกแก่ ค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ศึกษาควรจะมีค่าครอบคลุมค่าสูงสุดและต่ำสุด (Kawano, 2002)

การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ด้วย NIRS อาจไม่จำเป็นในบางผลิตผลเพราะอาจสามารถวัดทั้งผลได้แต่อาจมีการเตรียมตัวอย่างบ้างกับตัวอย่างบางชนิด เช่น การบด (grinding) การตัด (cutting) รวมถึงการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่าง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง

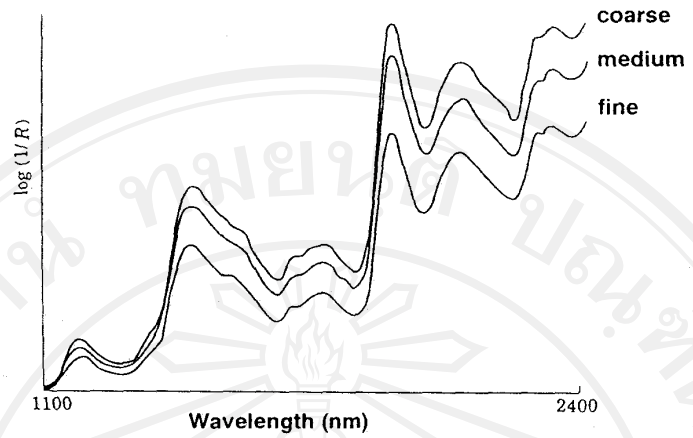
2.6.1.1 อุณหภูมิของตัวอย่าง (sample temperature) ตัวอย่างที่มีขนาดและรูปร่างเดียวกันแต่อุณหภูมิในตัวอย่างแตกต่างกันก็อาจทำให้ได้ข้อมูลสเปกตรัมที่ต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิของตัวอย่างมีผลโดยตรงต่อโมเลกุลของน้ำ ซึ่งความแตกต่างของสเปกตรัมนี้อาจจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน แต่จะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของสมการ (Blanco and Valdés, 2004) ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ควรคงที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่จะใช้ในการวิเคราะห์ในอนาคต

2.6.1.2 การบรรจุ (packing) ตัวอย่างในเซลล์บรรจุที่มีการอัดตัวแน่นมาก ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างตัวอย่างน้อย มีการสะท้อนกลับของแสงมาก ค่าการดูดกลืนแสงของเส้นสเปกตรัมจะมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่มีการอัดตัวน้อย (William and Norris, 2001)

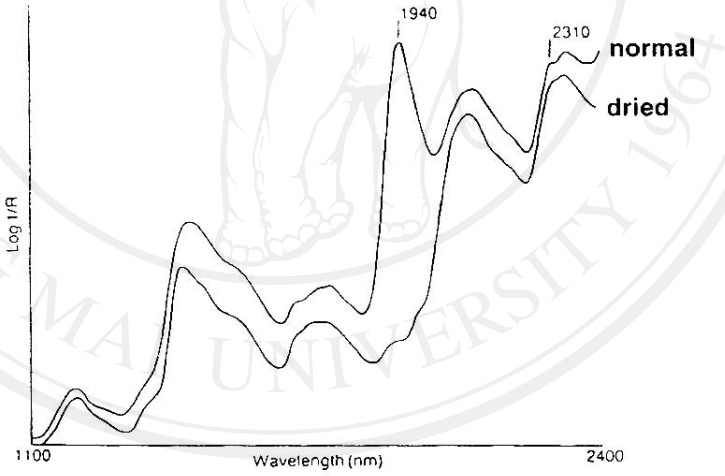
2.6.1.3 ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง (particle size) ตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน จะทำให้ได้ข้อมูลสเปกตรัมที่แตกต่างกันด้วย โดยตัวอย่างขนาดเล็กสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่าตัวอย่างขนาดใหญ่ ดังนั้นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กจึงมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ ดังภาพที่ 2.8 (Osborne *et al.,* 1993a; Paulsen *et al*., 2003)

2.6.1.4 ความชื้น (moisture) ตัวอย่างที่มีความชื้นสูงจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำ ดังภาพที่ 2.9 จะเห็นว่าตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำ จะมีค่าการดูดกลืนแสงของน้ำต่ำที่ความยาวคลื่น 1940 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่โมเลกุลของน้ำมีการดูดกลืนแสงที่ชัดเจน ตรงกันข้ามกับตัวอย่างที่มีความชื้นสูงจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงมากกว่าตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำ (Osborne *et al.,* 1993a)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.8 ผลของขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันของตัวอย่าง (Osborne, 1993b)



ภาพที่ 2.9 ผลของความชื้นที่แตกต่างกันของตัวอย่าง (Osborne, 1993b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 การเลือกความยาวคลื่น (Wavelength selection)

เนื่องจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR จะมีสเปกตรัมที่ซ้อนทับกันและมีพีกที่กว้าง ดังนั้น ความแม่นยำของสมการทำนายนอกจากขึ้นอยู่กับการเตรียมตัวอย่างแล้ว ยังขึ้นอยู่กับการเลือกความยาวคลื่นด้วย โดยส่วนมากนั้นพบว่าการใช้ความยาวคลื่นทั้งสเปกตรัม (full spectrum) จะให้ความแม่นยำของสมการดีกว่าการใช้ความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียวหรือบางช่วงของสเปกตรัม ในการสร้างสมการทำนายด้วย multiple linear regression (MLR) การเลือกความยาวคลื่นจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อสมการทำนายแต่จะมีผลกระทบน้อยเมื่อใช้ partial least square regression (PLSR) แต่อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยหลายชิ้นที่แสดงให้เห็นว่าการสร้างสมการทำนายด้วย PLSR นั้นช่วงของความยาวคลื่นที่เลือกก็มีผลต่อความแม่นยำของสมการ (Osborne *et al.,* 1993b) ในการสร้างสมการด้วย PLSR กับตัวอย่างที่มีความชื้นสูง เช่น ผักและผลไม้ ซึ่งปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำตาลมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติในการดูดกลืนคลื่นแสง NIR ได้ดี จึงพบพีกที่ชัดเจนกว่าพีกของน้ำตาล (sugar) การเลือกความยาวคลื่นจึงอาจเกิดความผิดพลาดได้บ่อย มีการทดลองพบว่าการเลือกความยาวคลื่น 950 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นเป็นความยาวคลื่นแรกของสมการทำนายปริมาณน้ำตาล ทำให้มีค่าความแตกต่างเฉลี่ย (bias) สูงกว่าการเลือกความยาวคลื่น 906 นาโนเมตรซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับน้ำตาล (Kawano, 2002)

2.6.3 การวิเคราะห์ค่าเคมี (Chemical analysis)

เนื่องจาก NIRS เป็นวิธีการวิเคราะห์แบบใช้ความสัมพันธ์ลำดับที่ 2 (secondary relation) ข้อมูลการวิเคราะห์ทางเคมีจึงมีผลกระทบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย NIRS นอกจากนี้การใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ทางเคมีนาน อาจทำให้องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจส่งผลต่อความแม่นยำของข้อมูลวิเคราะห์ทางเคมี ทำให้มีความแปรปรวนสูง

2.7 การแปลงข้อมูลสเปกตรัม (Spectral pretreatment)

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสเปกตรัมอาทิ อุณหภูมิ ขนาดตัวอย่าง การบรรจุตัวอย่าง ความแตกต่างที่เป็นผลมาจากความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีความแตกต่างกันอันเป็นผลจากการกระเจิงแสง (scattering) และนอกจากนี้สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรด (NIR) เป็นสเปกตรัมที่มีการซ้อนทับกันของพีก (overlapping) ซึ่งส่งผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น (Bokobza, 1998) ดังนั้นจึงต้องแปลงข้อมูลสเปกตรัมเพื่อลดอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้สมการทำนายมีความแม่นยำมากขึ้น วิธีการแปลงข้อมูลสเปกตรัมที่ดีที่สุด คือ วิธีที่ทำให้ได้สมการทำนายที่มีความสามารถทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างได้ใกล้เคียงที่สุด ทำได้โดยการทดลองใช้แต่ละวิธีจนกว่าจะได้วิธีการทำนายที่มีความแม่นยำที่สุด โดยต้องเข้าใจความหมายและคำนึงถึงข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีให้ชัดเจน (Hruschka, 2001) วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการแปลงข้อมูลสเปกตรัม ได้แก่

1. multiplicative scatter correction (MSC) สเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงย่าน NIR แบบ diffuse reflectance และแบบ transmittance มักเกิดการกระเจิงแสง ซึ่งการกระเจิงแสงโดยทั่วไปจะทำให้ความชันโดยรวมของสเปกตรัมเปลี่ยนไป จึงมีการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า MSC คือการแปลงข้อมูลสเปกตรัมโดยการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัม เพื่อลดผลกระทบแบบ Multiplicative ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดจากการใช้ตัวอย่างชนิดเดียวกัน แต่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ก็จะส่งผลให้เกิดการกระเจิงแสงทำให้ได้สเปกตรัมดังตัวอย่างที่กล่าวไว้ใน ภาพที่ 2.8 MSC เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการลดค่าความผิดพลาด (error) จากอิทธิพลของการกระเจิงแสง วิธีการ คือ การหาสเปกตรัมเฉลี่ยของการทดลองนั้น จากนั้นหาค่าคงที่ค่าหนึ่งมาลบออกจากสเปกตรัมในแต่ละตัวอย่าง เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับสเปกตรัมเฉลี่ยหรือเพื่อเป็นการลดการเลื่อนตัวของสเปกตรัมออกจากสเปกตรัมเฉลี่ย และต้องหาค่าคงที่ค่าหนึ่งมาหารค่าการดูดกลืนแสง หรือค่า Log (1/R) (R=Reflectance) ของทุกๆ จุดของตัวอย่างเพื่อปรับความชันของสเปกตรัมที่เปลี่ยนไปหรือก็คือการปรับค่า Log (1/R) ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อให้มีค่าตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย (อนุพันธ์, 2545) ซึ่งการแปลงสเปกตรัมด้วยวิธี MSC จะให้รูปร่างสเปกตรัมไม่แตกต่างจากเดิมแต่จะมีความเรียบกว่า ดังภาพที่ 2.10 มีการทดลองที่ใช้ NIRS แบบ reflectance หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดพืช โดยใช้วิธี MSC ในการแปลงข้อมูลสเปกตรัมก่อนการสร้างสมการเพื่อลดผลกระทบจากการกระเจิงแสง พบว่า มีค่าความผิดพลาดของสมการต่ำกว่าสมการของสเปกตรัมดั้งเดิม (original spectrum) (Barnes *et al*., 1993)

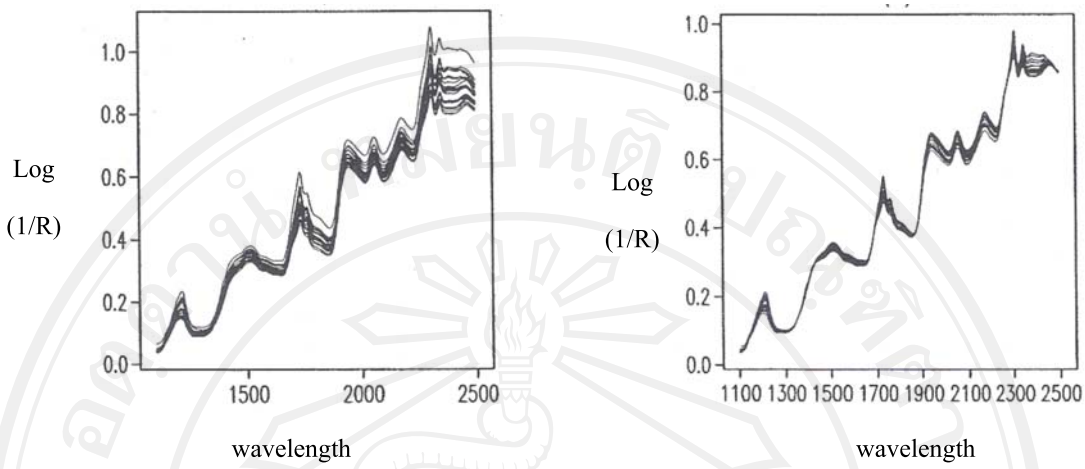
2. smoothing เป็นการแปลงข้อมูลสเปกตรัมที่นิยมใช้มากวิธีหนึ่ง เป็นวิธีการที่ง่าย มักจะใช้กับข้อมูลที่สัญญาณรบกวน (noise) มากทำให้สเปกตรัมไม่เรียบ เป็นวิธีการที่ทำได้โดยการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average) โดยมีการแทนค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การดูดกลืนแสงในช่วงหนึ่งความยาวคลื่น แล้วคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ซึ่งสามารถลดปัญหาของสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสง (signal to noise) โดยจะได้สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมดั้งเดิม แต่จะเรียบสม่ำเสมอมากกว่า (Siesler *et al*., 2002) ดังภาพที่ 2.11

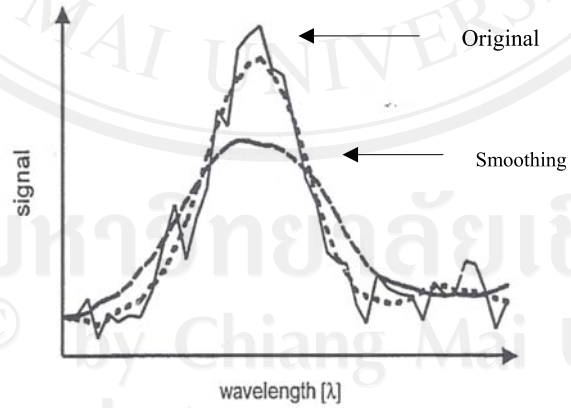
3. derivative การทำอนุพันธ์เป็นการหาความชันของเส้นสเปกตรัม เพื่อแก้ปัญหาพีกที่มีฐานกว้าง (broad peak) เนื่องจากการซ้อนทับกันของพีกและอิทธิพลจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัม (base line shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง เมื่อแสงตกกระทบที่ตัวอย่างทำให้แสงเปลี่ยนทิศทาง การบรรจุที่แตกต่างกัน รวมทั้งความชื้นภายในตัวอย่างที่แตกต่างกันมีผลต่อการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น (λ) ต่างๆ (William and Norris, 2001) การแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 1 (first derivative) เป็นการหาความชันของทั้งสเปกตรัม หมายถึง การหาอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวคลื่น $[(A_{\lambda 2} - A_{\lambda 1})/(\lambda_2 - \lambda_1)]$ (ธีรศักดิ์ และวนิดา, 2550) สามารถลดปัญหาการเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ของค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมแต่ยังมีฐานกว้าง จึงไม่สามารถแยกพีกออกจากกันอย่างชัดเจนได้ อีกทั้งวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1 ให้ผลเป็นค่าความชันของสเปกตรัมแต่ละความยาวคลื่นซึ่งทำให้แปลความหมายได้ยาก แต่การแปลงข้อมูลด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 2 (second derivative) เป็นการนำอนุพันธ์อันดับที่ 1 มาหาความชันอีกครั้งและเป็นที่นิยมมากกว่า (Siesler *et al.,* 2002) เพราะสามารถแยกพีกที่มีการซ้อนทับกันออกจากกันได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการทำอนุพันธ์ลำดับที่สูงขึ้นทำให้ความกว้างของพีกแคบลง สามารถลดผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมมีขนาดเพิ่มขึ้นตลอดช่วงความยาวคลื่นตามแกน Y ทำให้ทราบตำแหน่งความยาวคลื่นที่ชัดเจนขึ้นแต่สเปกตรัมมีลักษณะหัวกลับลงมาด้านล่าง ดังภาพที่ 2.12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



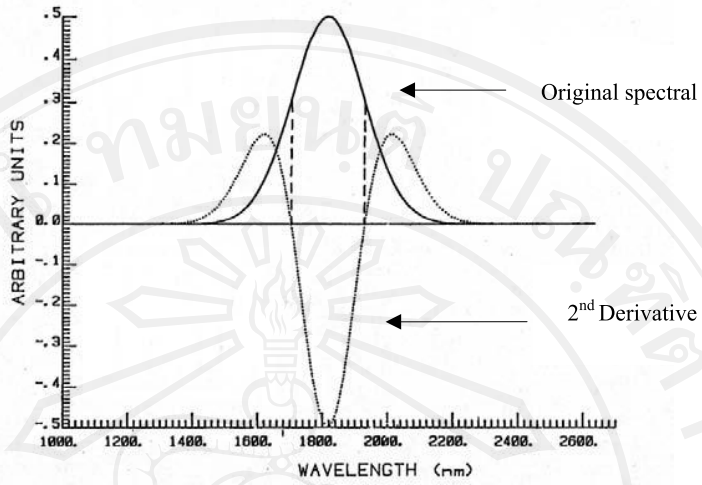
(a) original spectrum (b) spectrum treated with MSC

ภาพที่ 2.10 ความแตกต่างเมื่อแปลงด้วย MSC (a) original spectrum และ (b) spectrum treated with MSC (Dhanoa *et al*., 1994)



ภาพที่ 2.11 การแปลงสเปกตรัมด้วย smoothing (Siesler *et al.,* 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.12 การแปลงสเปกตรัมด้วย second derivative (Osborne *et al*., 1993b)

นอกจากนี้ยังมีวิธีการแปลงสเปกตรัมที่นิยมใช้อีกหลายวิธี เช่น standard normal variate (SNV) ซึ่งจะมีวิธีการคล้ายกับ MSC แต่ SNV จะทำการแปลงเฉพาะสเปกตรัมและเฉพาะความยาวคลื่นที่ได้รับผลกระทบจากการกระเจิงแสง ซึ่งการหาค่า SNV เพื่อมาลดการกระเจิงแสงของสเปกตรัมนั้น ทำได้โดยการลบค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนั้นๆ ด้วยค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นนั้นและหารด้วยค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Barnes *et al*., 1993)

2.8 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis)

โดยส่วนมากพบว่ามีการนำ NIRS มาใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตผลซึ่งถือเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณ แต่ยังพบว่ามีการนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วย จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า NIRS สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพของผลิตผลได้ เช่น NIRS สามารถใช้เพื่อตรวจสอบระดับการสี (degree of milling) (Choi *et al*., 2000a) ตรวจสอบคุณภาพข้าวสารในแต่ละขั้นตอนการผลิต และทำนายคุณภาพการหุงต้มของข้าวกล้องได้ (Wu and Shi, 2007) รวมทั้งมีการใช้ NIRS ตรวจสอบคุณภาพของมอลล์ที่ได้จากฤดูกาลที่ต่างกัน (Nielsen and Munck,2000; Seregély, 2000) Min (2002) พบว่า สามารถใช้ในการตรวจสอบคุณภาพความงอกของเมล็ดพันธุ์บางชนิดได้ เช่น แรดิชและแตงโม Osborne *et al*. (1993a) และ Krzanowski (1995) ใช้ NIR

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพื่อจำแนกกลุ่มข้าวพันธุ์บาสมาติออกจากข้าวพันธุ์อื่น พบว่า Principal components ลำดับที่ 2 (PC2) และ principal components ลำดับที่ 3 (PC3) สามารถแยกกลุ่มข้าวบาสมาติและข้าวพันธุ์อื่นได้อย่างชัดเจน

เทคนิคทางสถิติที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพจากสเปกตรัมที่ได้จากการวัดด้วย NIR มีหลายวิธี เช่น วิธี Discriminant analysis ที่จะช่วยในการจำแนกกลุ่มตัวอย่างที่มี 2 กลุ่มและมีจำนวนตัวแปร 2 ตัว เช่น กำหนดให้ค่าการดูดกลืนแสง Log (1/R) ที่ความยาวคลื่นต่างๆ เป็นตัวแปรอิสระ(X) ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณและกำหนดให้ตัวแปรตาม (Y) เช่น ขนาดอนุภาคหรือพันธุ์ของตัวอย่างเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม วิธีนี้นอกจากจะสามารถจำแนกกลุ่มตัวอย่างได้แล้วยังสามารถบอกได้ว่าตัวแปรตามตัวใดที่สามารถจำแนกกลุ่มตัวอย่างได้ดีที่สุด หรือการใช้เทคนิค Canonical correlation analysis (Robert *et al*., 1996) และนอกจากนี้พบว่าวิธีการวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลัก (principal component analysis: PCA) ถือเป็นวิธีทางสถิติวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพของตัวอย่างร่วมกับข้อมูลที่ได้จาก NIRS (Evans *et al*., 1993b)

2.8.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis: PCA)

ข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมด้วย NIR จะมีข้อมูลจำนวนมาก PCA เป็นเทคนิคที่อาศัยการลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) โดยไม่จำเป็นต้องทำการปรับแต่งสเปกตรัมก่อน (Evans *et al*., 1993a) ด้วยการสร้างองค์ประกอบหลักหรือตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า Principal components (PC) PC ที่ถูกสร้างขึ้นเป็นการสร้างโดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลเดิม แล้วนำความสัมพันธ์จากข้อมูลมาสร้าง PC โดยที่ PC ลำดับแรก (PC1) จะสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้มากที่สุด (Osborne *et al*.,1993a) และโดยส่วนมากแล้ว PC1 จะสัมพันธ์กับความแปรปรวนที่มาจากขนาดหรือรูปร่างของตัวอย่าง ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเคมีที่จะมีความสัมพันธ์กับ PC ที่อยู่ในลำดับที่สูงขึ้น (Robert *et al*., 1996) PC ลำดับถัดมา (PC_2,… PC_n) จะอธิบายความสัมพันธ์ที่ทำให้เกิดความแปรปรวนภายในข้อมูลลดน้อยลงตามลำดับ จำนวน PC ที่สร้างขึ้นใหม่จะมีจำนวนเท่าใดขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของข้อมูลเดิม คือ ถ้าข้อมูลเดิมมีความสัมพันธ์กันมาก จำนวน PC ที่สร้างขึ้นใหม่ก็จะมีน้อย แต่ถ้าข้อมูลชุดนั้นมีความแปรปรวนมาก จำนวน PC ที่สร้างขึ้นใหม่ก็จะมีจำนวนมาก โดยที่ PC ที่สร้างขึ้นนี้จะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (Osborne *et al*.,1993a) ข้อดีของการใช้เทคนิค PCA คือ สามารถลดจำตัวแปรอิสระโดยใช้ข้อมูลทั้งสเปกตรัมและไม่ต้องใช้ค่าทางเคมี (Robert *et al*., 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9 **การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis)**

การวิเคราะห์เชิงปริมาณต้องมีการสร้างสมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (calibration equation development) โดยกลุ่มตัวอย่างที่จะใช้ในการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างข้อมูลวิเคราะห์ทางเคมีกับข้อมูลสเปกตรัม จะต้องมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์อย่างพอเพียงทั้งตัวอย่างในปัจจุบันและตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ในอนาคต โดยปริมาณองค์ประกอบทางเคมีจะต้องมีค่าครอบคลุมปริมาณทั้งต่ำสุดและสูงสุดของตัวอย่าง ต้องมีการสุ่มตัวอย่างที่เพียงพอและเป็นตัวแทนที่ดี เพื่อลดค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดลอง (Hruschka, 2001) และวิธีมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ก็มีผลต่อความแม่นยำของ NIR ด้วย (พรรณทิพย์, 2548 ; Kawano, 2002) วิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้ NIRS แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1.) การสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (Calibration equation)

การสร้างสมการเทียบสามารถทำได้ 2 วิธี

1.1) Wavelength selected method เป็นวิธีการที่ต้องเลือกข้อมูลที่ความยาวคลื่นหนึ่งๆ ที่มีความสัมพันธ์กับค่าวิเคราะห์ทางเคมี โดยการพิจารณาจากข้อมูลทางสถิติ

1.1.1) Single linear regression (SLR) เป็นการสร้างสมการที่ประกอบด้วยตัวแปรสองชนิดที่มีความสัมพันธ์กัน คือ ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) SLR เป็นการเลือกพิจารณาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียว (single wavelength) แต่เนื่องจากตัวอย่างประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย NIRS จึงไม่สามารถใช้ความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียวได้ จึงต้องใช้ข้อมูลจากหลายความยาวคลื่น (multiple wavelengths) เพื่อทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของผลิตผล สมการ SLR สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Y = b_0 + b_1 X$$

เมื่อ Y = ค่าองค์ประกอบทางเคมี

X = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับค่าทางเคมี

b_0 = ค่าคงที่ ณ จุดตัดแกน Y เมื่อ X มีค่าเท่ากับ 0

b_1 = ค่าคงที่การถดถอย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.1.2) Multiple linear regression (MLR) เป็นการประเมินค่าตัวแปรตาม (Y) โดยการใช้ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่าหนึ่งตัวที่ได้จากการเลือกความยาวคลื่นมากกว่าหนึ่งความยาวคลื่นมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ในการคัดเลือกตัวแปรอิสระหรือความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่นทั้งหมดมาสร้างสมการอาจได้ข้อมูลที่ไม่ครอบคลุมมากพอ จึงทำให้ได้ค่าจากการทำนายสูงหรือต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี (Osborne *et al.,* 1993b)

$$C = K_0+K_1 A_1+K_2 A_2+\ldots+K_n A_n$$

เมื่อ C = ค่าองค์ประกอบทางเคมี

$A_1, A_2,\ldots,A_n$ = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นตำแหน่งที่ n

$K_0, K_1,\ldots,K_n$ = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ความยาวคลื่นตำแหน่งที่ n

1.2) Full spectrum method_ เนื่องจากการพิจารณาเลือกความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบที่ศึกษานั้นค่อนข้างทำได้ยาก เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย การใช้ข้อมูลจากความยาวคลื่นทั้งหมดในสเปกตรัม (full spectrum) หรือในช่วงความยาวคลื่นที่สนใจ มาสร้างสมการเป็นการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม โดยทำการลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) และสร้างตัวแปรกลุ่มใหม่ขึ้นมา วิธีทางสถิติที่นิยมใช้ ได้แก่

1.2.1) Principal component regression (PCR) เป็นการวิเคราะห์ผล โดยทำการลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) ด้วยการแบ่งกลุ่มตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรใหม่หรือองค์ประกอบที่เรียกว่าแฟกเตอร์ (Factor score; F) หรือ principal component (PC) แล้วจึงนำค่าแฟกเตอร์ไปสร้างสมการเชิงถดถอย ก่อนนำมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (Y) ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์มาตรฐานเพื่อสร้างสมการทำนายตัวแปรตาม(Y)

1.2.2) Partial least square regression (PLSR) เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) เช่นเดียวกันกับ PCR แต่จะแตกต่างกันตรงที่ในช่วงจัดกลุ่มการลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) โดยการสร้างแฟกเตอร์นั้นจะมีการนำข้อมูลตัวแปรตาม (Y) เข้ามารวมในการสร้างแฟกเตอร์ ซึ่งช่วงความยาวคลื่นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ (loading weight; W) แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากวิธีทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เคมีที่นำมาหาความสัมพันธ์กัน ทำให้สมการที่สร้างขึ้นสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้

$$C = K_0+K_1 F_1+K_2 F_2+\ldots+K_n F_n$$

เมื่อ C = ค่าองค์ประกอบทางเคมี

$F_1, F_2, F3_{\ldots}, F_n$ = ค่าตัวแปรใหม่ที่ตำแหน่ง n ตัวแปร

$K_0, K_1, K_2, \ldots, K_n$ = ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่ง n ตัวแปร

2.) การทดสอบสมการ(Validation method)

เมื่อได้สมการแล้วจะต้องนำสมการที่ได้มาทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของสมการว่าสามารถใช้ประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใดวิธีที่นิยมมี 2 วิธี

2.1) Full Cross Validation

วิธีนี้ตัวอย่างที่นำมาทดสอบเป็นตัวอย่างชุดเดียวกันกับกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการมีวิธีการคือ

ขั้นตอนที่ 1 ตัดตัวอย่างที่หนึ่งออกไปจากกลุ่มแล้วนำตัวอย่างที่เหลือมาสร้างสมการ เมื่อได้สมการแล้วนำตัวอย่างที่ 1ที่ตัดออกไปตอนแรกมาทดสอบสมการ

ขั้นตอนที่ 2 ตัดตัวอย่างตัวที่ 2 ออกไป นำตัวอย่างที่ 1 กลับเข้ามาในกลุ่มสร้างสมการรวมกับตัวอย่างอื่นๆ ที่เหลือเพื่อสร้างสมการ เมื่อได้สมการนำตัวอย่างที่ 2 มาทดสอบสมการ ทำซ้ำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งทดสอบสมการครบทุกตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างแต่ละตัวจะถูกตัดออก 1 ครั้งเท่ากัน

การทดสอบในลักษณะนี้เป็นการทดสอบภายใน (internal validation) ซึ่งวัดผลโดยการดูค่า Root mean square error of cross validation (RMSECV) เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการประเมินด้วยสมการที่สร้างขึ้นกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ ถ้ามีความแตกต่างน้อยแสดงว่าสมการมีประสิทธิภาพให้ค่าที่สามารถยอมรับได้และมักใช้กับตัวอย่างที่มีจำนวนน้อย

2.2) Prediction Testing เป็นการทดสอบโดยการนำกลุ่มตัวอย่างชุดใหม่ (test set) มาทดสอบค่าจากสมการที่ได้ โดยตัวอย่างชุดใหม่ที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่าง การวัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สเปกตรัม ปัจจัยต่างๆในระหว่างวิเคราะห์และการแปลงข้อมูลสเปกตรัมต้องเหมือนกับกลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการสร้างสมการ การทดสอบลักษณะนี้เรียกว่า การทดสอบภายนอก (external validation) และพิจารณาความแม่นยำจากค่าทางสถิติ

2.10 การประยุกต์ใช้ NIRS กับข้าว, เมล็ดธัญพืชและผลิตผลทางการเกษตร

จากคุณสมบัติของเทคนิค NIRS ที่สามารถตรวจวัดคุณสมบัติของผลิตผลทางการเกษตรแบบไม่ทำลายผลิตผล ทำให้ปัจจุบันมีการนำเทคนิคนี้มาใช้งานอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะการตรวจคุณภาพเมล็ดธัญพืช ซึ่งสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดธัญพืช เช่น ความชื้น โปรตีน ไขมัน และปริมาณอะไมโลส มีความสำคัญต่อการกำหนดราคาและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ดังนั้นวิธีการตรวจสอบคุณภาพที่มีมาตรฐานจะสามารถช่วยในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคและเป็นวิธีการที่เป็นมาตรฐานในการซื้อขายทางการค้า

2.10.1 ข้าว เป็นธัญพืชที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ในเมล็ดข้าวประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ โปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งประกอบด้วยอะไมโลส (amylose) และอะไมโล-เพกติน (amylopectin) การตรวจสอบองค์ประกอบเหล่านี้ยังอาศัยวิธีทางเคมีซึ่งมีความซับซ้อน ปัจจุบันพบว่ามีการตรวจสอบองค์ประกอบเหล่านี้ด้วยเทคนิค NIRS เพิ่มมากขึ้น เช่น ณัฐกานต์ และคณะ (2547) ใช้เทคนิค NIRS เพื่อวัดปริมาณอะไมโลสในข้าว พบว่า สมการมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประเมิน (SEC) และความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.98, 0.91% และ 1.22% ตามลำดับ และใช้เทคนิคเดียวกันในการวัดปริมาณโปรตีน พบว่า R, SEC และ SEP เท่ากับ 0.89, 0.12% และ 0.13% ตามลำดับ ขณะที่ศิราพร และคณะ (2550ก) ตรวจสอบปริมาณโปรตีนในข้าวสาร 5 พันธุ์ ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร พบว่า มีค่า R, SEC และ SEP เท่ากับ 0.95, 0.15% และ 0.19% ตามลำดับ จารุวรรณ และคณะ (2552) พบว่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับสร้างสมการประเมินค่าอะไมโลสอยู่ในช่วง 800-2000 นาโนเมตร ได้สมการที่มีค่า R เท่ากับ 0.98, 0.84 และ 0.88 ค่า SEP เท่ากับ 3.85 %, 2.79 % และ 1.99 % ของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวสาร ตามลำดับ นอกจากนี้ Delwiche *et al*. (1995) ได้ศึกษาเทคนิค NIR reflectance ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2498 นาโนเมตร โดยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี PLSR ในการหาปริมาณอะไมโลสและโปรตีนของข้าวเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางเคมีด้วย Colorimetric ในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.95 และ SEP เท่ากับ 1.04 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยวิธี combustion พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 และ SEP เท่ากับ 0.1 % และได้ศึกษาหาปริมาณอะไมโลสและโปรตีนโดยใช้ช่วงแสงที่มองเห็นได้ (visible) ถึงช่วงแสง NIR (400-2498 นาโนเมตร) พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.89 และ SEP เท่ากับ 1.3 % สำหรับสมการหาอะไมโลสและในการหาปริมาณโปรตีนให้ค่า R^2 และ SEP เท่ากับ 0.97 และ 0.13 % ตามลำดับ (Delwiche *et al*.,1996) ปาริชาติ และคณะ (2549) หาปริมาณความชื้นในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วย NIRS ช่วงความยาวคลื่น 1400 – 1900 นาโนเมตร พบว่าสมการมีค่า R, SEC และ SEP เท่ากับ 0.93, 0.18 % และ 0.14 % ตามลำดับ ขณะที่รณฤทธิ์ และคณะ (2549) พบว่า เทคนิค NIRS แบบการส่องผ่าน มีความแม่นยำในการวิเคราะห์หาความชื้นของข้าวเปลือกทีละเมล็ดได้อย่างแม่นยำโดยให้ค่า SEP เท่ากับ 0.27 % นอกจากนั้นยังมีการใช้ NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร เพื่อหาปริมาณอะไมโลสในเมล็ดข้าว (%), น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก (มิลลิกรัม) และเมล็ดข้าวสาร (มิลลิกรัม) โดยวิเคราะห์จากเมล็ดข้าวเพียงเมล็ดเดียว พบว่า มีค่า R^2 0.85, 0.71 และ 0.67 ตามลำดับ และมีค่า SEP เป็น 2.82 %, 1.09 % และ 1.30 % ตามลำดับ (Wu and Shi .2003)

2.10.2 เมล็ดธัญพืชอื่นๆ เช่น ถั่วเหลือง และข้าวโพดก็เป็นพืชที่มีการใช้เทคนิค NIRS ในการวัดคุณภาพ จากงานวิจัยที่ผ่านมา วรินทร และคณะ (2551, 2552) ตรวจสอบปริมาณความชื้นและโปรตีนของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองระหว่างเก็บรักษา 6 เดือน ด้วยเทคนิค NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับการวัดความชื้นด้วยวิธี hot air oven และสร้างสมการด้วยเทคนิค PLSR พบว่า สมการมีค่า R, SEC และ SEP เท่ากับ 0.94, 0.30 % และ 0.36 % ตามลำดับ และได้ค่าสมการทำนายปริมาณโปรตีนที่มีค่า R, SEC และ SEP เท่ากับ 0.94, 1.34 % และ 1.36 % ตามลำดับและยังมีการตรวจสอบปริมาณอะไมโลสในข้าวโพดด้วย NIRS แบบการส่องผ่านได้สมการที่มีค่า R และ SEP เท่ากับ 0.94 และ 3.5 % ตามลำดับ (Campbell *et al*. 1997) ขณะที่ Fertig *et al*. (2004) พบว่า ปริมาณอะไมโลสในแป้งที่ผลิตขึ้นในแต่ละครั้งจะมีปริมาณไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการปลูกและระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.10.3 การประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรด ในการวัดปริมาณอะไมโลส

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสสามารถทำได้หลายวิธีและ NIRS ก็เป็นอีกวิธีที่มีการนำมาใช้ในการตรวจวัดปริมาณอะไมโลสกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.1 การประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดตรวจวัดปริมาณอะไมโลส

ผลิตผล	รูปแบบการวัด	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	ค่า R หรือ R^2	อ้างอิง
ข้าว	reflectance	1100-2500	R= 0.98	ณัฐกานต์ (2547)
ข้าว	reflectance	1100-2500	R= 0.96	ศิราพร (2551)
ข้าว	reflectance	1100-2498	R^2= 0.96	Delwiche *et al.* (1995)
ข้าว	reflectance	400-2498	R^2= 0.89	Delwiche *et al.* (1996)
ข้าว	transmittance	833-1050	R^2= 0.74	Shimizu *et al.* (1999)
ข้าว	reflectance	1100-2500	R^2= 0.85	Wu and Shi (2003)
ข้าวเปลือก	-	-	R= 0.98	Bangwaek *et al.* (2009)
ข้าวกล้อง	-	-	R= 0.84	Bangwaek *et al.* (2009)
ข้าวสาร	-	-	R= 0.88	Bangwaek *et al.* (2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 การประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดตรวจวัดปริมาณอะไมโลส (ต่อ)

ผลิตผล	รูปแบบการวัด	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	ค่า R หรือ R^2	อ้างอิง
ข้าวโพด	transmittance	700-1100	R = 0.96	Champbell *et al.* (1999)
มันฝรั่ง	transmittance	700-1100	R =0.93	Chen *et al*. (2004)
แป้ง (starch)	reflectance	1100-2500	R = 0.99	Fertig *et al*. (2004)

2.11 ข้อดีของการใช้เทคนิค NIR

1. เป็นการตรวจสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ทำให้ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ เป็นการประหยัดต้นทุน
2. ได้ผลการตรวจสอบที่แม่นยำและแน่นอน ซึ่งขึ้นอยู่กับสมการที่สร้างขึ้นด้วย อีกทั้งสามารถควบคุมการผลิตได้อย่างใกล้ชิด เริ่มตั้งแต่เป็นวัตถุดิบจนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้าย
3. สะดวกต่อการใช้งานและง่ายต่อการเตรียมตัวอย่างถึงแม้จะมีบ้างแต่ก็ไม่ยุ่งยากขึ้นอยู่กับลักษณะตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ
4. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมทำให้ลดต้นทุนในการดูแลรักษาสภาพแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางเคมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.11 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105) เป็นข้าวไวต่อช่วงแสง จัดอยู่ในกลุ่มของข้าวเจ้าหอม ข้าวเปลือกเรียวยาวสีฟาง เมล็ดข้าวสารใส แกร่ง คุณภาพการสีดี คุณภาพการหุงต้มดี อ่อนนุ่ม เนื่องจากเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (งามชื่น, 2547) มีกลิ่นหอม เนื่องจากมีสารระเหยที่ให้ความหอมคือ 2-Acetyl-1-pyrroline (2AP) โดยมีลักษณะของกลิ่นหอมคล้ายใบเตย และเป็นสารระเหยที่มีจุดเดือดต่ำมาก เป็นสาเหตุให้ข้าวสารที่เก็บไว้นานๆ จะมีความหอมลดลง พื้นที่แนะนำให้ปลูกคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือตอนบน

2.12 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ข้าวเจ้าชัยนาท 1 เป็นข้าวนาสวนไม่ไวต่อช่วงแสง เมล็ดข้าวเปลือกยาวเรียวสีฟาง คุณภาพการขัดสีดี ได้เมล็ดข้าวสารใส ท้องไข่น้อย ทำข้าว 100 % ได้ ข้าวสุกมีลักษณะร่วนและแข็ง เนื่องจากเป็นข้าวที่มีอะไมโลสสูง (งามชื่น, 2547) จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับข้าวเสาไห้ สามารถนำไปแปรรูปเป็นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ และขนมจีนได้ ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพเมล็ดดีอีกทั้งมีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว โรคใบหงิกและค่อนข้างต้านทานโรคไหม้ ปลูกได้ในทุกเขตชลประทาน จึงเป็นพันธุ์ที่แนะนำให้เกษตรกรปลูกเพื่อแก้ปัญหาการทำลายของโรคและแมลงที่สำคัญดังกล่าว

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ชื่อพันธุ์ข้าว	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%)						
	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ขาวดอกมะลิ 105	7.67	1.41	0.67	0.50	89.76	18.70	81.50
ชัยนาท 1	8.55	2.63	0.33	0.36	88.13	29.64	70.36

ที่มา: ชนินันท์ (2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายกัน คือ รูปร่างที่จัดอยู่ในประเภทข้าวที่มีรูปร่างเมล็ดเรียวยาว นอกจากนี้จากตารางที่ 2.2 จะพบว่าปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เช่น ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่คุณสมบัติทางเคมีที่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด คือ ปริมาณอะไมโลส ซึ่งกล่าวได้ว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีอะไมโลสต่ำและข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส-สูง (อรอนงค์, 2547) นอกจากปริมาณอะไมโลสที่ต่างกันแล้วยังพบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีรูปแบบของไอโซไซม์ที่แตกต่างกันด้วย (กนกวรรณ, 2548)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณอะไมโลสของข้าวทั้ง 2 พันธุ์จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ชื่อพันธุ์ข้าว	ปริมาณอะไมโลส (%)	อ้างอิง
ข้าวดอกมะลิ 105	18.7	ชนินันท์ (2542)
ข้าวดอกมะลิ 105	12.17	เอกสงวน (2544), งามชื่น (2547)
ข้าวดอกมะลิ 105	12.27-15.00	วิสุณี (2546)
ข้าวดอกมะลิ 105	13.1-14.68	พัสกร (2546)
ข้าวดอกมะลิ 105	19.36	ปารณีย์และคณะ (2547)
ข้าวดอกมะลิ 105	12-17	อรอนงค์ (2547)
ข้าวดอกมะลิ 105	14.96-19.57	ปรียา (2548)
ข้าวดอกมะลิ 105	17.35	นริศรา (2548)
ข้าวดอกมะลิ 105	17.79	หยาดฝน (2548)
ข้าวดอกมะลิ 105	15.64	สิริรัตน์และปริศนา (2548)
ข้าวดอกมะลิ 105	14.96-20.58	ศิริธร (2550)
ข้าวดอกมะลิ 105	13.88-17.04	ศิราพร (2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 ปริมาณอะไมโลสของข้าวทั้ง 2 พันธุ์จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา (ต่อ)

ชื่อพันธุ์ข้าว	ปริมาณอะไมโลส (%)	อ้างอิง
ชัยนาท 1	29.64	ชนินันท์ (2542)
ชัยนาท 1	27-30	อรอนงค์ (2547)
ชัยนาท 1	31.63	หยาดฝน (2548)
ชัยนาท 1	31.26	นริศรา (2548)
ชัยนาท 1	27-33.09	ศิราพร (2550)
ชัยนาท 1	32.78	สิริกาญจน์และคณะ (2551)
ชัยนาท 1	35.2	Yoenyongbuhagal and Noomhorm (2002)

จากงานวิจัยที่ผ่านมากล่าวได้ว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 12-20.58 เปอร์เซ็นต์และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 26 – 35.2 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.3)

2.13 คุณภาพข้าว (rice quality)

2.13.1 คุณภาพทางกายภาพของข้าว

คุณภาพทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติต่างๆ ของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็น หรือชั่ง ตวง และวัดได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด สีข้าวเปลือก สีข้าวกล้อง ขนาดและรูปร่างเมล็ด นอกจากนี้ยังรวมถึงความชื้นของเมล็ดข้าวด้วย คุณภาพเมล็ดทางกายภาพส่วนใหญ่นำมาใช้ประเมินราคาข้าวที่ซื้อขายกันในท้องตลาด โดยเฉพาะคุณภาพการขัดสีเป็นคุณภาพทางกายภาพที่สำคัญ เนื่องจากผู้บริโภคนิยมข้าวที่ผ่านการสีเป็นข้าวสารที่มีเมล็ดข้าวหักน้อย (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546)

ปัจจุบันการผลิตข้าวนอกจากจะคำนึงถึงผลผลิตแล้วยังต้องคำนึงถึงคุณภาพเมล็ดด้วย คุณภาพของข้าวถูกควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ได้แก่ การเก็บเกี่ยวและการเก็บ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รักษา (กัญญา, 2547) ปริมาณน้ำ อุณหภูมิ และการจัดการที่ได้รับในระหว่างการเจริญเติบโต (Koutroubas *et al*., 2004) การแข่งขันด้านการค้าในตลาดโลกคุณภาพข้าวจะเป็นตัวกำหนดราคาข้าว ซึ่งการกำหนดมาตรฐานข้าวเพื่อการส่งออกของประเทศค้าข้าว มักใช้คุณสมบัติเมล็ดทางกายภาพในการจำแนกเกรดข้าว เนื่องจากมีความรวดเร็วและตรวจสอบได้ง่าย ซึ่งอาศัยลักษณะที่มองเห็นหรือชั่ง ตวง วัด (กัญญา, 2545) คุณภาพที่ให้ความสนใจในปัจจุบัน คือ ลักษณะปรากฏ (appearance quality) คุณภาพการสี (milling quality) คุณภาพทางด้านโภชนาการ (nutritive quality) และคุณภาพการหุงต้ม (cooking quality) คุณภาพใดจะมีความสำคัญขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน (Koutroubas *et al*., 2004)

2.13.1.1น้ำหนักเมล็ด (grain weight)

น้ำหนักเมล็ดเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมโดยพันธุกรรมและแปรปรวนไปตามสภาพแวดล้อม เช่น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย ความชื้นและสภาพภูมิอากาศ จากการตรวจสอบน้ำหนักข้าวเปลือก 100 เมล็ดของข้าวไทยพันธุ์ต่างๆ จำนวน 344 พันธุ์ พบว่ามีน้ำหนักแปรปรวนระหว่าง 1.62 – 4.17 กรัม/100 เมล็ด ส่วนข้าวพันธุ์ที่รัฐบาลส่งเสริมจะมีน้ำหนัก 100 เมล็ด ระหว่าง 2.25-3.67 กรัม น้ำหนักเมล็ดสามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ คือ

-น้ำหนักต่อปริมาตร เช่น ประเมินเป็น กรัมต่อลิตร หรือ กิโลกรัมต่อถัง

-น้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด เช่น ประเมินเป็น น้ำหนัก 100 เมล็ด หรือ น้ำหนัก 1000 เมล็ด

2.13.1.2 ขนาดรูปร่างเมล็ด (grain dimension)

ขนาดรูปร่างเมล็ด ได้แก่ ความยาว (length) ความกว้าง (width) ความหนา (thickness) และรูปร่าง (shape) ของเมล็ด ขนาดและรูปร่างเมล็ดของพันธุ์ข้าวเป็นลักษณะประจำพันธุ์ มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพพื้นที่ปลูก เช่น ข้าว indica มีเมล็ดยาว รูปร่างเรียว ข้าว japonica มีเมล็ดสั้น รูปร่างป้อม เป็นต้น พบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความยาวของเมล็ดเท่ากัน คือ 7.4 มิลลิเมตร (อรอนงค์, 2547) Koutroubas *et al*.(2004) พบว่า ขนาดของเมล็ดมีความสัมพันธ์กับความยาวของรวงข้าว (panicle length) ด้วย การที่จะจำแนกว่าเป็นข้าวเมล็ดยาวหรือเมล็ดสั้นจะดูจากอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ด (USDA, 1995 อ้างโดย นริศรา, 2548) โดยถือว่าข้าวสารที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ดมากกว่า 3.0 ถือว่าเป็นข้าวเมล็ดยาว (ตารางที่ 2.4-2.5) พบว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวเมล็ดยาว (นริศรา, 2548 ; ศิราพร, 2551) ดังนั้นถ้าพิจารณาจากขนาดของเมล็ดหากเป็นข้าวที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกันจะใช้แยกข้าวปนไม่ได้ สำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS กับเมล็ดข้าว พบว่า ขนาดของตัวอย่างเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและมีผลต่อสเปกตรัม ในการสร้างสมการทั้งตัวอย่างที่เป็นเมล็ดและตัวอย่างที่เป็นผงควรมีขนาดสม่ำเสมอกัน ตัวอย่างที่ต้องผ่านการบดก็ควรควบคุมประสิทธิภาพของเครื่องบดให้คงที่เพื่อให้ทุกตัวอย่างมีความสม่ำเสมอกัน (รณฤทธิ์, 2552)

ตารางที่ 2.4 ลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพข้าวสุกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

พันธุ์ข้าว	ความยาว (มม.)	รูปร่างเมล็ด	ปริมาณอะไมโลส (%)	อุณหภูมิแป้งสุก	คุณภาพข้าวสุก
ขาวดอกมะลิ 105	7.4	เรียวยาว	12-17	ต่ำ	นุ่มและเหนียว
ชัยนาท 1	7.4	เรียวยาว	27-30	ต่ำ-ปานกลาง	ร่วนแข็ง

ที่มา : อรอนงค์ (2547)

ตารางที่ 2.5 การจำแนกรูปร่างเมล็ดโดยใช้สัดส่วนความยาว/ความกว้าง

รูปร่างของเมล็ด	ความยาว/ความกว้าง
เรียว	มากกว่า 3.0
ปานกลาง	2.0-3.0
ป้อม	น้อยกว่า 2.0

ที่มา : USDA (1995 ; อ้างโดย นริศรา, 2548)

คุณภาพอื่นๆของข้าวที่นิยมตรวจสอบร่วมด้วยในปัจจุบัน อาทิ คุณภาพการหุงต้มซึ่งตรวจวัดได้จากลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุกหรือจากเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก เช่น การยืดตัวของเมล็ดข้าว (grain elongation) ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างหุงต้มเมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นลักษณะพิเศษของข้าวบางพันธุ์ ซึ่งจะทำให้เมล็ดข้าวสุกมีความยาวเพิ่มมากขึ้นและหากเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะทำให้ข้าวหุงขึ้นหม้อมากยิ่งขึ้น หรือการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตรวจสอบการขยายปริมาตร (volume expansion) ของข้าวสุก นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบคุณภาพการอุ้มน้ำของข้าวสุก (water absorption) เพื่อคำนวณหาผลต่างของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของข้าวสุกกับข้าวสาร (อรอนงค์, 2547)

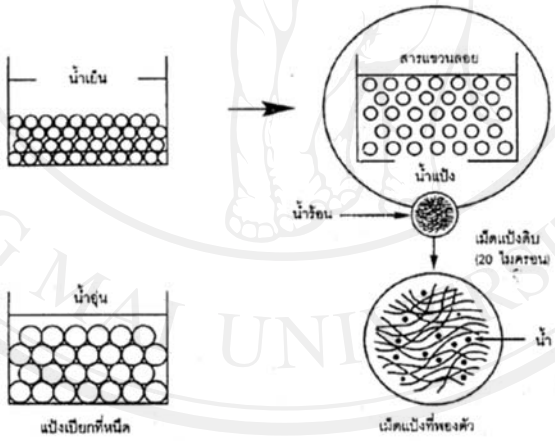
2.14 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของแป้งสามารถใช้เป็นข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพเพราะมีอิทธิพลต่อความรู้สึกของผู้บริโภค (สุคนธ์ชื่นและวรรณวิบูลย์, 2546) ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค ปริมาณอะไมโลส ปริมาณอะไมโลเพกตินและอุณหภูมิ โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่พันธะไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (micelles) ดังนั้นการเรียงตัวลักษณะนี้จึงทำให้เม็ดแป้งละลายน้ำในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลงเม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น ดังภาพที่ 2.13 เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืดปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า การเกิดเจลาติ-ไนซ์ (gelatinization) อุณหภูมิที่น้ำแป้งเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความหนืดเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งจากมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่งจะมีอุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช ความหนืดสูงสุดของแป้งในระหว่างเจลาติไนซ์จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของแป้ง แป้งมันฝรั่งจะมีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูงกว่าพืชชนิดอื่น และมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืด (thickening power) สูง ในขณะที่แป้งข้าวโพดและแป้งสาลีความหนืดสูงสุดมีค่าต่ำ เนื่องจากเม็ดแป้งมีกำลังการพองตัวปานกลาง (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546) เม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่หรือมีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีค่าการพองตัวและมีค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) สูง ซึ่งเป็นผลจากความสัมพันธ์ของปริมาณอะไมโลส ไขมันและการพองตัวของเม็ดแป้ง (Li *et al.,* 2008) นอกจากนี้ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์จะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณไขมัน ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินภายในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

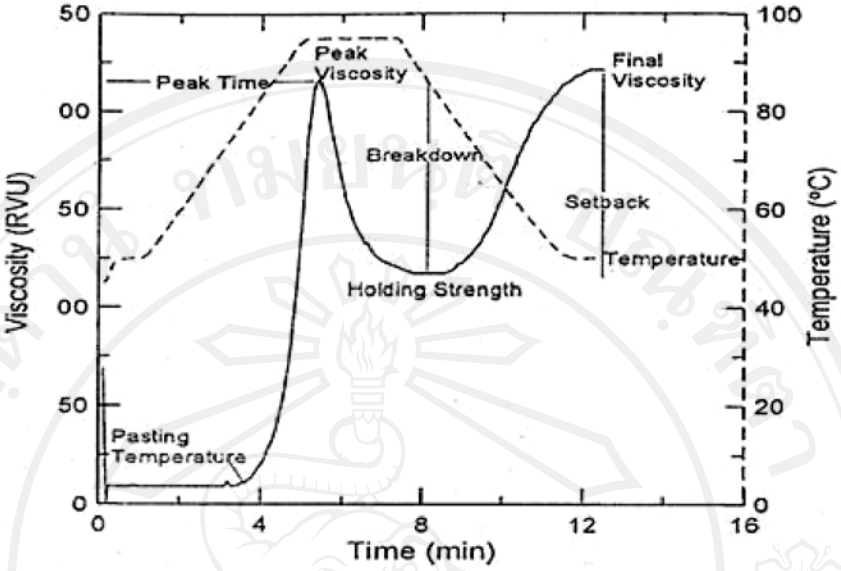
กันทำให้เม็ดแป้งมีขนาดต่างกัน (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546) การวิเคราะห์ความหนืดนั้นมีหลายวิธีที่ใช้ และการวิเคราะห์ความหนืดด้วย RVA ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนามาเพื่อติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้งวิธีหนึ่ง คุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิทั้งการทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ควบคู่ไปกับความสามารถในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้สามารถหาค่าความหนืดได้ภายในเวลา 13 (ภาพที่ 2.14) นาที เนื่องจากมีกลไกในการส่งผ่านความร้อนที่ดีและใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย

นอกจากนี้พบว่า การวิเคราะห์ความหนืดด้วย RVA สามารถใช้เป็นดัชนีแยกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บริสุทธิ์ ออกจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1ได้ (นริศรา, 2548)



ภาพที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงภายในเม็ดแป้งระหว่างการหุงต้ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
(ที่มา : Newport Scientific Pty, Ltd., 1995)

ค่าที่เครื่องแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ในหน่วย RVU หรือ cP (1 RVU= 12 cP) ดังนี้

pasting temperature : อุณหภูมิที่ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ภายในเวลา 20 วินาทีมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

peak viscosity : ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งสุกเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้งจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP

final viscosity : ค่าความหนืดสุดท้ายของการทดลองมีหน่วยเป็น RVU หรือ cP

breakdown : ความแตกต่างระหว่าง peak viscosity กับ holding strength

setback : ความแตกต่างระหว่าง final viscosity กับ peak viscosity

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

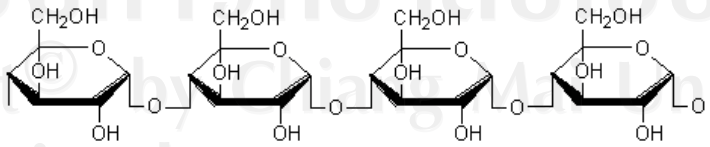
2.15 คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมี หมายถึง คุณสมบัติและส่วนประกอบต่างๆ ของเมล็ดที่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม โดยมีผลทำให้ข้าวสุกนั้นนุ่ม เหนียว หรือร่วนขึ้นหม้อและมีผลต่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งคุณภาพของเมล็ดทางเคมี ได้แก่ ชนิดและปริมาณของแป้ง (strach) โปรตีน (protein) ไขมัน (lipid) และกลิ่นหอม (aromatic) เป็นต้น (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546)

การที่ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีคุณภาพข้าวสวยแตกต่างกัน เนื่องจากในส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) มีโปรตีนประมาณ 5-14 % และแป้งเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ประมาณ 84-93 % โดยน้ำหนักแห้ง ในส่วนของแป้งข้าวยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด (งามชื่น, 2547) คือ อะไมโลส และอะไมโลเพกติน แป้งข้าวมีอะไมโลเพกติน (amylopectin) เป็นองค์ประกอบหลักและมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบรอง อะไมโลเพกตินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพของข้าวสวยแตกต่างกัน (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546) จึงทำให้เกิดเป็นปัญหาการปนกันระหว่างข้าวต่างพันธุ์หรือต่างชนิดของคุณภาพข้าวสุก การปนกันของข้าวต่างคุณภาพในอัตราส่วนที่ไม่แน่นอนย่อมก่อความยุ่งยากให้กับผู้บริโภคที่มีความนิยมข้าวสวยคุณภาพต่างกัน ข้าวหอมมะลิซึ่งผู้ซื้อคาดหวังที่จะได้ข้าวที่มีข้าวสุกนุ่มเหนียวและกลิ่นหอม การปนกับข้าวประเภทอื่นนอกจากทำให้คุณภาพข้าวสวยเปลี่ยนไปแล้ว ยังมีผลให้กลิ่นหอมลดน้อยลงซึ่งปัญหานี้ย่อมทำให้ผู้บริโภคขาดความเชื่อถือ

2.15.1 อะไมโลส (amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา -1,4 (α-1,4) (ภาพที่ 2.15) แป้งจากธัญพืช เช่น



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างของอะไมโลส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 28% แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคูมีปริมาณอะไมโลสต่ำประมาณ 20% แป้งข้าวเหนียว (waxy starch) ไม่มีอะไมโลสเลยและแป้งข้าวโพดอะไมโลเมส (amylomaize) มีอะไมโลสสูงมากถึง 80% น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน ซึ่งอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป ในแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีขนาดโมเลกุลของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวสาลีซึ่งมีขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชั่น (retrogradation) ลดลง ในธรรมชาติอะไมโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก

2.15.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

ภายในเม็ดแป้ง (starch granule) จะประกอบไปด้วยพอลิเมอร์กลูแคน 2 ชนิดผสมกัน คือ อะไมโลส และอะไมโลเพกติน ซึ่งแป้งแต่ละชนิดก็จะมีสัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน และน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้สมบัติของแป้งที่ได้จากพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน และทำให้มีความสามารถในการทำหน้าที่ (functionality) แตกต่างกันด้วย (นิธิยา, 2551) และมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแป้ง วิธีการวิเคราะห์ที่สำคัญ ได้แก่

การทำให้เกิดสี (colorimetric method) อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน สารประกอบเหล่านี้จะไม่ละลายน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ วิธีนี้อาศัยคุณสมบัติของอะไมโลสในการจับกับไอโอดีน แล้วได้สารประกอบสีน้ำเงินซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส วัดสีที่เกิดขึ้นได้ด้วย spectrophotometer เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด แต่วิธีนี้ใช้เวลามากและต้องเตรียมกราฟมาตรฐาน นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธี Differential Scanning Calorimeter ซึ่งวิธีนี้จะคำนวณค่าปริมาณอะไมโลสจากพลังงานที่ใช้ในการละลายสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไขมัน ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งถูกให้ความร้อนในสภาพที่มีไขมันมากเกินพอเพื่อให้อะไมโลสในแป้งทั้งหมดจับกับไขมัน พลังงานที่ใช้ในการละลายจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้จากพื้นที่ใต้กราฟของพีกที่เกิดขึ้น วิธีนี้สะดวกและรวดเร็ว ให้ผลการทดลองที่ถูกต้องสำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546)

วิธีการที่ถือว่ามีความแม่นยำมากที่สุดในปัจจุบันที่จะตรวจสอบการปนพันธุ์ข้าว คือ การตรวจสอบดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาวิธีการสกัดดีเอ็นเอจากเมล็ดข้าวสารแต่ละเมล็ดมาตรวจสอบพันธุ์แท้ของข้าวแต่ละชนิด ก็จะทำให้ทราบว่ามีการปนของข้าวหรือไม่ และปนด้วยพันธุ์อะไร ซึ่งการใช้เทคนิคนี้จะสามารถแบ่งข้าวเป็นกลุ่มข้าวตามปริมาณอะไมโลสในข้าวสารสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มข้าวที่มีอะไมโลสสูง อะไมโลสปานกลางและอะไมโลสต่ำ (ตารางที่ 2.6) (สมพงษ์และอภิชาต, 2544) แต่ก็ยังเป็นเทคนิคที่ใช้ได้เฉพาะกับผู้ที่มีความชำนาญเนื่องจากเป็นวิธีที่ซับซ้อนและยังมีข้อเสียในเรื่องค่าใช้จ่ายที่สูง นอกจากนี้แม้ว่าการตรวจสอบด้วย DNA จะมีความแม่นยำที่สูงแต่การใช้วิธีการตรวจสอบ DNA สำหรับตรวจสอบการปลอมปนของข้าวสารจะแตกต่างจากการตรวจสอบการปนในขั้นตอนของเมล็ดพันธุ์ เพราะเมล็ดพันธุ์สามารถนำมาเพาะให้งอกได้ แล้วจึงนำส่วนใบหรือรากไปสกัด DNA เพื่อใช้ในการตรวจสอบ และสามารถใช้วิธีการทำลายพิมพ์ DNA ของข้าวไทยมาตรวจสอบได้ทันทีโดยไม่ต้องปรับปรุงเทคนิคต่างๆ แต่ในข้าวสารที่ผ่านการขัดสีแล้วไม่สามารถเพาะให้งอกได้ ดังนั้นการสกัด DNA จึงต้องสกัดจากเมล็ดข้าวสารโดยตรง ซึ่งในเซลล์ข้าวสารมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนั้นก็มีโปรตีนและเอ็นไซม์ต่างๆ ที่ละลายน้ำได้ดีพอๆ กับ DNA ซึ่งในข้าวสารจะมีน้อยมาก ทำให้การแยก DNA ออกจากสารอื่นๆที่มักตกตะกอนมาพร้อมกับ DNA เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ฉะนั้น การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ยังต้องมีการศึกษาหาวิธีการสกัดที่เหมาะสมและต้องได้ปริมาณ DNA เพียงพอที่จะนำไปใช้ตรวจสอบได้ (Cobelli *et al*., 2008; ณัฐหทัย และหทัยรัตน์, ไม่ระบุปีที่ตีพิมพ์)

ตารางที่ 2.6 การแบ่งประเภทข้าวเจ้าตามปริมาณอะไมโลสในข้าวสาร

ข้าวเจ้า	ปริมาณอะไมโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวอะไมโลสต่ำ	10-19	เหนียวนุ่ม
ข้าวอะไมโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง
ข้าวอะไมโลสสูง	26-34	ร่วนแข็ง

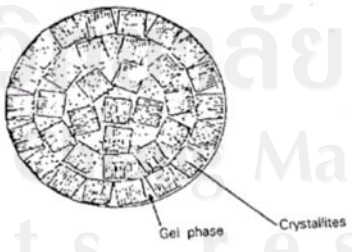
ที่มา: งามชื่น (2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.16 โครงสร้างและลักษณะของเม็ดแป้ง (starch granule)

แป้งที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง (starch granule) ขนาดเล็ก ที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดของแหล่งที่มา (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546; Jayakody and Hoover, 2008) จึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ชนิดของแป้ง (starch) ได้ เม็ดแป้งเกิดจากการรวมตัวของแป้งที่พืชเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ แป้งที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีโครงสร้างทางเคมีในโมเลกุลแตกต่างกัน เม็ดแป้งมีขนาดรูปร่างและสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน เช่น เม็ดแป้งจากมันฝรั่งมีรูปร่างเป็นวงรีคล้ายไข่ พองตัวได้ง่ายและมีความหนืดสูง เม็ดแป้งจากข้าวโพด มีขนาดเล็ก มีทั้งรูปร่างกลมและเหลี่ยม เม็ดแป้งจากข้าวสาลีมีรูปร่างกลมแบน (นิธิยา, 2551) สำหรับเม็ดแป้งของข้าวเจ้ามีรูปร่างเป็นเหลี่ยมหรือกลม มีขนาดค่อนข้างเล็กขนาดประมาณ 3-5 μm (ปรียา, 2548 ; Fitzgerald, 2004) ซึ่งนับว่าเล็กที่สุดในกลุ่มธัญพืช (อรอนงค์, 2547) แต่ส่วนมากนั้นเม็ดแป้งจะมีลักษณะเป็นทรงกลม (Tang *et al.,* 2006)

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystallite) และส่วนอสัณฐาน (amorphous หรือ gel phase) ส่วนสายโซ่สั้นของอะไมโลเพกตินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (double helices) ซึ่งบางส่วนจะเกิดโครงสร้างที่เป็นผลึก (ภาพที่ 2.16) ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะไมโลสและสายโซ่กิ่งของอะไมโลเพกติน (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550) ลักษณะของเม็ดแป้งอาจจะได้รับความสนใจน้อยในงานวิจัย เนื่องจากไม่สามารถใช้บอกถึงผลกระทบต่อคุณภาพของแป้งได้ชัดเจนนัก ต้องอาศัยข้อมูลอื่นด้วย (Fitzgerald, 2004)



ภาพที่ 2.16 บริเวณส่วนผลึกและส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.17 มาตรฐานการส่งออกข้าวหอมมะลิไทย (กระทรวงพาณิชย์, 2549)

ข้าวหอมมะลิไทย

หมายถึง เฉพาะข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ กข 15 เท่านั้น

ชนิดและชั้น

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้าวขาวและข้าวกล้อง

ข้อกำหนดมาตรฐาน

- มีข้าวหอมมะลิไทยไม่น้อยกว่าร้อยละ 92.0
- มีความชื้นไม่เกิน 14 %
- เป็นข้าวเมล็ดยาว มีความขาว
- ไม่มีแมลงยังมีชีวิตอยู่

ขนาดเมล็ด

- ความยาวเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 7.0 มิลลิเมตร
- อัตราส่วนความยาวเฉลี่ยต่อความกว้างเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหัก ต้องไม่ต่ำกว่า 3.2 : 1

มีคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

- มีปริมาณอะไมโลสไม่ต่ำกว่าร้อยละ 13 และไม่เกินร้อยละ 18 ที่ระดับความชื้นร้อยละ 14
- มีค่าการสลายเมล็ดข้าวในด่าง ระดับ 6-7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved