เข้าใจศัพท์...ก็ get A เคมีอาหาร by ครูชมบี

ตอนที่ 2 Water Activity, Aw (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชมภูนุช เผื่อนพิภพ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

น้ำ (water)

- น้ำเป็นสื่อความร้อนที่ดี น้ำเป็นตัวนำความร้อนที่ดี และเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนไปสู่อาหารที่สัมผัสกับน้ำแบบการพาความร้อน
- น้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วอย่างแรง จึงสามารถจับไอออนต่างๆ ในสารละลายได้ โดยโมเลกุลของสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จำนวนมากจะละลายในน้ำได้ดี เพราะมีหมู่ที่มีขั้วมาก ทำให้การดึงดูดกันระหว่างโมเลกุลของสารกับโมเลกุลของน้ำจึงมีมากขึ้น เช่น การละลายของน้ำตาลในน้ำ (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2553)

- น้ำเป็นตัวกลางให้สารเคมีต่างๆ ทำปฏิกิริยากัน เช่น การละลายสารเคมีต่างๆ ในน้ำ เพื่อให้สารมาใกล้กันและทำปฏิกิริยากัน เช่น กรดและเบส สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ในน้ำ ส่วนผสมของขนมปังเมื่อใส่ผงฟูลงไปในน้ำจึงทำให้กรดและเบสที่มีอยู่ในผงฟูเกิดการแตกตัว ทำปฏิกิริยาให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งจะช่วยให้ขนมปังขึ้นฟู หรือปฏิกิริยา hydrolysis ของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน

- น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี หรืออาจเรียกว่า ตัวทำละลายไอออนไนซ์ (Ionixing solvent) หรือตัวทำละลายแบบมีขั้ว เพราะน้ำสามารถละลายสารประกอบ อิเล็กโตรวาเลนท์ (electrovalent) ได้ เช่น กรดและเกลือ เป็นต้น

- น้ำสามารถละลายสารประกอบโควาเลนท์ (covalent compound) ได้ เช่น น้ำตาล และยูเรีย เป็นต้น ความสามารถนี้ทำให้น้ำมีความสำคัญต่อร่างกายของคน และสัตว์มาก เพราะเมื่อสารเหล่านั้นถูกย่อยให้เป็นโมเลกุลมีขั้วขนาดเล็กๆ เช่น น้ำตาล กรดแอมิโน เป็นต้น โมเลกุลขนาดเล็กเหล่านี้จะละลายได้ดีในน้ำหรือของเหลวในร่างกาย และมีการเคลื่อนที่ภายในร่างกายในรูปของสารละลาย (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2553)

- ความร้อนจำเพาะ (specific heat) ของน้ำ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่น้ำ 1 กรัม ดูดเข้าไปหรือปล่อยออกมาเพื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส
- ความร้อนแฝง (latent heat) ของน้ำ หมายถึง ความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งเปลี่ยนสถานะโดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง
- ความตึงผิว (surface tension) ของน้ำ หมายถึง ความคงทนของผิวน้ำต่อแรงที่มากระทำหรือแรงที่ใช้รักษารูปทรงของหยดน้ำไว้

การเกิดคอลลอยด์ สารประกอบหลายชนิดในอาหารจะถูกแพร่กระจายในน้ำเกิดเป็นคอลลอยด์ เช่น โปรตีนซึ่งเป็นสารอาหารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และมีพื้นที่ผิวมาก มีขนาดของอนุภาคอยู่ระหว่าง 0.001 ถึง 0.1 ไมโครเมตร ไม่สามารถเกิดเป็นสารละลายได้ แต่จะเกิดเป็นคอลลอยด์แพร่กระจายในน้ำ

ปัจจัยที่ทำให้คอลลอยด์แพร่กระจายได้ คือ การมีชั้นของโมเลกุลของน้ำมาล้อมรอบผิวของอนุภาคคอลลอยด์ และการเกิดแรงผลักกันระหว่างประจุที่เหมือนกันของอนุภาค ทำให้มันแยกห่างจากกัน เช่น เคซีน (โปรตีนในน้ำนม)จะแพร่กระจายอยู่ในน้ำรูปของคอลลอยด์ เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2553)

การเกิดโด (dough) องค์ประกอบของอาหารอาจรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่อมีการเติมน้ำลงไปในอาหาร ส่วนประกอบของอาหารจะไม่แพร่กระจาย เช่น ในการทำขนมปัง แป้งและโปรตีนที่มีอยู่ในส่วนผสมของแป้งจะถูกเติมน้ำเพื่อผสมกับส่วนอื่นๆ ถ้าเติมน้ำลงไปในแป้ง ส่วนผสมจะไม่สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นโดได้ (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2553)

- การเกิดเจลาติไนซ์ (gelatinization) แป้งจะไม่ละลายในน้ำเย็น ทั้งนี้เพราะที่ผิวหน้าของเม็ดแป้งมีการเรียงตัวกันของอนุภาคของแป้งอย่างเป็นระเบียบ และหนาแน่น แต่ถ้าน้ำแป้งได้รับความร้อน น้ำจะแพร่ผ่านผนังของเม็ดแป้งเข้าไป ทำให้เม็ดแป้งพองตัวขึ้นเป็น 5 เท่า

- เม็ดแป้งจะมีการขยายตัว และเบียดตัวกันมากขึ้น ในที่สุดน้ำแป้งจะเปลี่ยนเป็นของเหลวข้น เรียกว่า โซล (sol) และจะกลายเป็นเจลเมื่ออุณหภูมิลดลง กระบวนการเกิดเจลนี้ เรียกว่า เจลาติไนเซชัน (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2553)

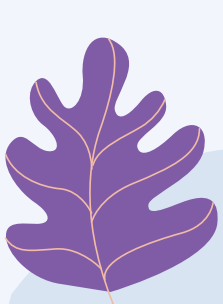
- การเกิดเจลในแยมและเยลลี่ เจลเป็นอาหารที่มีลักษณะของแข็งแขวนลอยอยู่ในส่วนของน้ำ ซึ่งน้ำเป็นตัวทำละลายที่สำคัญในอาหาร ประเภทเจล การทำเจลในระยะแรกจะมีปริมาณน้ำมาก และจะลดลงเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดเป็นโซล

และด้วยปริมาณความชื้นที่จำกัด โซลจะเปลี่ยนเป็นเจลในลักษณะเป็นวุ้นแข็ง ในทางตรงกันข้ามเจลสามารถรับน้ำได้อีก ถ้าหากมีความร้อน และความดันสูงขึ้น นอกจากนี้การบ่มเจลนี้ไว้ที่อุณหภูมิต่ำอาจเกิดการเยิ้ม (syneresis) ขึ้นได้ (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2553)

ความชื้น (moisture content) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำที่มีในอาหารชนิดนั้นๆ เป็นสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร

- ความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage) โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ มีผลต่ออายุการเก็บรักษา (shelf life) อาหารที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงจะเป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่าย (perishable food)

- ความชื้นมีผลต่อความปลอดภัยทางอาหาร (food safety) อาหารที่มีน้ำสูงเหมาะกับการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) และการสร้างสารพิษ (toxin) ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ รวมถึงการสร้างสารพิษของรา (mycotoxin) เช่น aflatoxin และ patulin ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค



- ความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงความร้อนของอาหารด้านต่างๆ เช่น จุดหลอมเหลว จุดเดือด การนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ
- ความชื้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของอาหาร ได้แก่ เนื้อสัมผัส (texture) เช่น ความกรอบ ความหนืด (viscosity) การเกาะติดกันเป็นก้อน (caking)

- ความชื้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่มีผลกระทบทางลบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษา เช่น
    - ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction),
    - ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation)

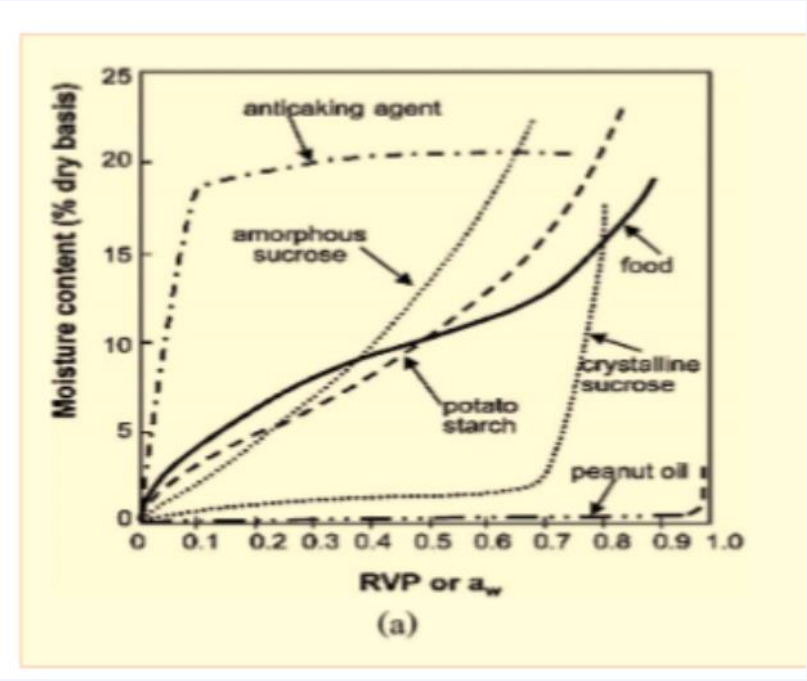
การแสดงค่าความชื้นของอาหาร

ปริมาณความชื้น นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์มี 2 รูปแบบคือ

1. ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน หน่วยเปอร์เซ็นต์

การแสดงค่าความชื้นของอาหาร

2. ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ หน่วยเปอร์เซ็นต์ หรือจำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g H_2O/ g solid)



ความสัมพันธ์ระหว่าง Aw และความชื้นของอาหาร ณ อุณหภูมิที่กำหนด สามารถเขียนแสดงออกมาเป็นกราฟที่เรียกว่า Moisture sorption isotherm

- เมื่อนำอาหารมาเก็บไว้โดยให้สัมผัสกับบรรยากาศ ปริมาณความชื้นในอาหารอาจเพิ่มหรือลดก็ได้ “การถ่ายเทความชื้น (sorption)” (ณรงค์, 2538)

- ถ้าบรรยากาศที่อยู่รอบๆ อาหารมีความดันไอสูงกว่าความดันไอของอาหาร ความชื้นของอาหารจะเพิ่มขึ้น
- ถ้าบรรยากาศที่อยู่รอบๆ อาหารมีความดันไอต่ำกว่าความดันไอของอาหาร ความชื้นของอาหารจะลดลง

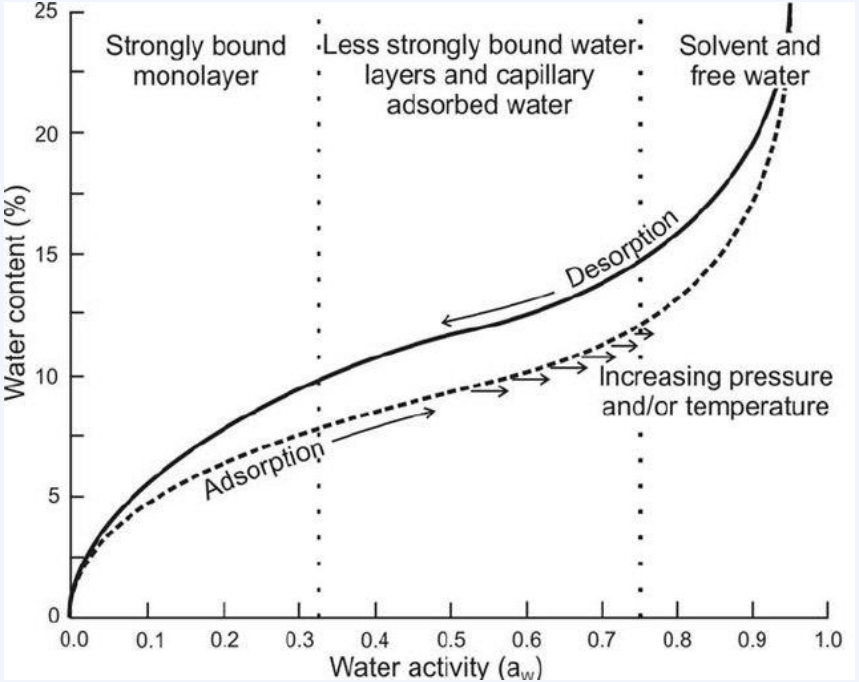
- การถ่ายเทความชื้นจะสิ้นสุดเมื่อความดันไอของบรรยากาศเท่ากับความดันไอของอาหาร
    - ความชื้นของอาหารจุดนี้ “ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)
    - ความชื้นของบรรยากาศจุดนี้ “ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (equilibrium relative humidity, ERH)

- ถ้าอาหารมีความชื้นเพิ่มขึ้น แสดงว่าน้ำจากบรรยากาศได้แทรกตัวเข้าไปในอาหาร (hygroscopic/ adsorption) ผลของการแทรกตัวของน้ำทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่อยู่โดยรอบๆ อาหารลดลง (กรณีอาหารอยู่ในภาชนะปิดสนิท) แต่ถ้าตั้งไว้ในสภาวะอากาศเปิด ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่อยู่โดยรอบๆ จะไม่เปลี่ยนแปลง

ถ้าอาหารมีความชื้นลดลง แสดงว่าน้ำจากอาหารได้แยกตัวและออกไปสู่บรรยากาศแวดล้อม (desorption) ผลของการแยกตัวของน้ำทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่อยู่โดยรอบๆ อาหารเพิ่มขึ้น (กรณีอาหารอยู่ในภาชนะปิดสนิท) แต่ถ้าตั้งไว้ในสภาวะอากาศเปิด ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่อยู่โดยรอบๆ จะไม่เปลี่ยนแปลง (ณรงค์, 2538)

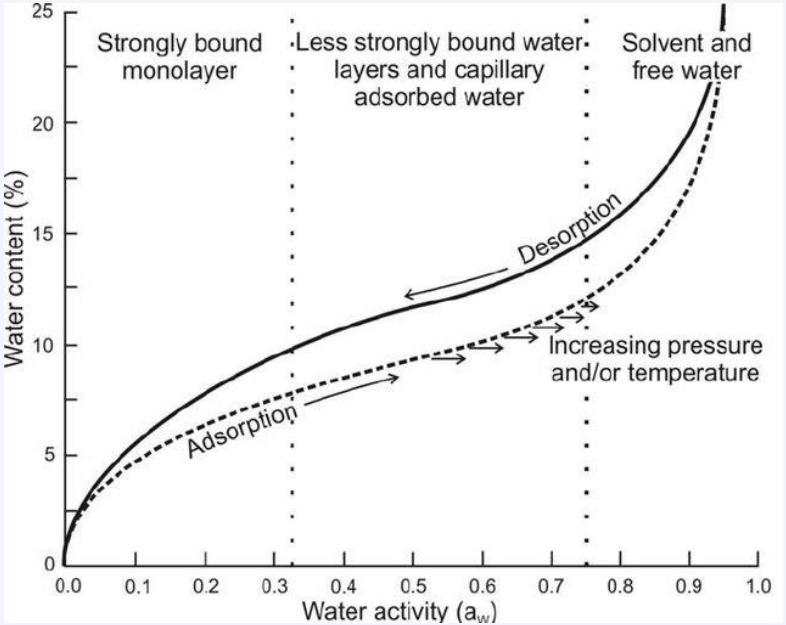
- การถ่ายเทความชื้น อาหารเป็นตัวดูดซับ (sorbent) และน้ำเป็นตัวถูกดูดซับ (sorbate) ความชื้นสมดุลของอาหารแต่ละชนิดจะได้จากกราฟความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content curve) เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่จุดสมดุล “กราฟการถ่ายเทความชื้นที่อุณหภูมิคงที่ (sorption isotherm)” หรือ “กราฟการถ่ายเทความชื้น” หรือ “กราฟความชื้นสมดุล”

Moisture sorption isotherm



https://www.researchgate.net/publication/47930642_Role_of_Excipients_in_Moisture_Sorption_and_Physical_Stability_of_Solid_Pharmaceutical_Formulations/figures?lo=1

Moisture sorption isotherm



https://www.researchgate.net/publication/47930642_Role_of_Excipients_in_Moisture_Sorption_and_Physical_Stability_of_Solid_Pharmaceutical_Formulations/figures?lo=1

- โดยทั่วไปจะมีรูปร่างแบบ Sigmoid curve
- แบ่งออกเป็น 3 zone ตามปริมาณความชื้น หรือตามน้ำที่เกาะติดอาหาร

- zone A (เส้นกราฟชัน) แสดงถึง monolayer / molecular water ซึ่งเป็นน้ำที่เกิดพันธะไฮโดรเจนอย่างแข็งแรงกับโมเลกุลของสารในผลิตภัณฑ์อาหาร และยากแก่การระเหยออก ไม่สามารถกำจัดออกด้วยความร้อนปกติ ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีต่างๆ และจุลินทรีย์ก็ไม่สามารถนำไปใช้ได้, Aw 0-0.25

- zone B (เส้นกราฟค่อนข้างราบ) แสดงถึง multilayer / multi molecular water ซึ่งมีลักษณะการจัดเรียงตัวเป็นชั้นของโมเลกุลของน้ำที่ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (พันธะไม่แข็งแรงมากนัก) น้ำในชั้นนี้จะอยู่ติดกับ monolayer water มีคุณสมบัติเป็นตัวกระจาย จุลินทรีย์ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ แต่เริ่มมีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี, Aw 0.3-0.8

- zone C (เส้นกราฟชันมาก) แสดงถึงน้ำอิสระในอาหาร ซึ่งโมเลกุลของนี้ในชั้นนี้ถูกทำให้ระเหยออกจากอาหารได้ง่าย จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ และมีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี เรียกน้ำส่วนนี้ว่า “capillary water, Aw 0.8-1.0

- กราฟเป็นรูปคล้ายตัว J
- ในอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงจนน้ำตาลตกผลึก หรืออาหารที่มีโมเลกุลที่ละลายน้ำได้น้อย หรืออาหารที่มีเกลือในปริมาณสูง แต่มีพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ในปริมาณต่ำ พบได้ในผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ลูกกวาด แยม เป็นต้น เมื่อความชื้นในภาวะแวดล้อมมีค่าต่ำ อาหารกลุ่มนี้จะดูดความชื้นได้ช้า

แต่เมื่อความชื้น ในภาวะแวดล้อมมีค่าสูงถึงค่าหนึ่ง อาหารกลุ่มนี้จะสามารถดูดความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ลักษณะทางกายภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงจนก่อให้เกิดการไม่ยอมรับของผู้บริโภค หรือเกิดการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (สิทธิโชค และเกียรติศักดิ์, 2557)

วิธีการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในเซลล์ปิดที่ภายในบรรจุตัวอย่างอาหารอยู่ โดยหลักการของการแพร่ จะต้องมีโมเลกุลน้ำบางโมเลกุลทำลายพันธะต่างๆ เพื่อแพร่สู่บรรยากาศที่อยู่เหนือตัวอย่างอาหาร ในขณะที่จะมีโมเลกุลน้ำในอากาศบางโมเลกุลแพร่เข้าสู่ตัวอย่างอาหารเช่นเดียวกัน

เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะ "สมดุล" ซึ่งเป็นภาวะที่การแพร่ของโมเลกุลน้ำเกิดขึ้นเท่ากันทั้งในส่วนของอาหารและบรรยากาศเหนืออาหาร จึงวัดค่า Aw

ดังนั้นการวัดค่า Aw ของตัวอย่างอาหารก็คือ การวัดความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของบรรยากาศเหนือตัวอย่างอาหาร

การวัดความชื้นของอาหาร

- การใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ (infrared and microwave radiation) เป็นการใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ เพื่อระเหยน้ำในตัวอย่างอาหารที่ได้จากการบดตัวอย่างอาหารหรือวัตถุดิบที่จะวิเคราะห์ ในการวิเคราะห์อย่าใช้มือสัมผัส หรือหยิบจับเพื่อกันลดการปนความชื้นจากภายนอก

- ข้อดี คือ สะดวก ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน ให้ผลการวัดถูกต้อง ขนาดเครื่องไม่เปลืองพื้นที่
- ข้อเสีย คือ อุปกรณ์และเครื่องมือมีราคาแพง การวัดแต่ละครั้งใช้เวลานาน

สวัสดี