บทความวิชาการ

รังสียูวี: เทคโนโลยีใหม่สำหรับอุตสาหกรรมน้ำผลไม้
Ultraviolet Radiation: An Emerging Technology for Juice Industry

กิติพงศ์ อัศตรกุล*
Kitipong Assatarakul*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญต่อการดูแลสุขภาพมากขึ้น ส่งผลให้ผู้บริโภคเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ มีคุณภาพ และปลอดภัยเพิ่มยิ่งขึ้น กระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน (thermal processing) เป็นกระบวนการดั้งเดิมที่สำคัญในการฆ่าเชื้อและทำให้อาหารปลอดภัยต่อผู้บริโภคและยังเป็นวิธีที่ใช้มาจนถึงปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนนั้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการต่างๆ รวมถึงการสูญเสียลักษณะทางประสาทสัมผัสที่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์อาหารบางประเภท ดังนั้นกระบวนการแปรรูปอาหารโดยไม่ใช้ความร้อน (non-thermal processing) ซึ่งมีนิยามว่า “กระบวนการแปรรูปอาหารใดๆ ก็ตาม นอกเหนือจากกระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน ที่ใช้ผลิตอาหารเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย รวมทั้งยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่สามารถส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น กระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูง (high pressure) และกระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้รังสียูวี (ultraviolet radiation) เป็นต้น” จึงเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารโดยเฉพาะน้ำผลไม้และเครื่องดื่มให้มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภคในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา การใช้รังสียูวีในกระบวนการผลิตอาหารนั้นได้มีการศึกษาอย่างมากในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา โดยรังสียูวีนั้นสามารถยับยั้งการเจริญทั้งจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย และยังสามารถป้องกันการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน ดังนั้นในบทความนี้จะกล่าวถึง หลักการทำงานของเครื่องฉายรังสียูวี แหล่งกำเนิดรังสียูวี กลไกในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ผลของรังสียูวีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ สมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยรังสียูวี พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมในกระบวนการผลิต (process control parameter) และความสำคัญของกระบวนการผลิตอาหารโดยใช้รังสียูวีต่ออุตสาหกรรมน้ำผลไม้ของไทย

หลักการทำงานของเครื่องฉายรังสียูวี

รังสียูวีถูกจัดเป็นส่วนหนึ่งของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วง 100-400 nm โดยทั่วไปรังสียูวีสามารถแบ่งประเภทออกได้ 4 ประเภทตามความยาวคลื่นคือ รังสียูวีเอ (UV-A) รังสียูวีบี (UV-B) รังสียูวีซี (UV-C) และรังสียูวีสุญญากาศ (vacuum-UV) รังสียูวีเอซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 315-400 นาโนเมตร เป็นรังสีที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของผิวหนังของคน รังสียูวีบีซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 280-315 nm เป็นรังสีที่มีผลต่อการไหม้และการเป็นมะเร็งผิวหนังของคน ในขณะที่รังสียูวีซี ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 200-280 nm เป็นรังสีที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และรังสียูวีสุญญากาศ ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 100-200 nm เป็นรังสีที่สามารถถูกดูดซับได้ด้วยวัตถุเกือบทุกชนิด โดยรังสียูวีสุญญากาศจำเป็นต้องเคลื่อนที่ในสภาวะสุญญากาศเท่านั้น รังสียูวีจากแสงแดดจากดวงอาทิตย์เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 300 นาโนเมตร เนื่องจากความสามารถในการดูดซับของชั้นโอโซนที่สามารถดูดซับรังสียูวีที่มีความยาวคลื่นต่ำ [17]

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

กลไกการสร้างรังสียูวี (UV light generation) และแหล่งกำเนิดรังสียูวี

อะตอมและอิออนสามารถปลดปล่อยโฟตอน (photon) จากแสงเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนสภาวะจากสภาวะพลังงานสูง (high energy state, E_2) ไปยังสภาวะพลังงานต่ำ (low energy state, E_1) โดยโฟตอนแต่ละตัวมีพลังงาน (E) ตามสมการที่ 1

$E (J) = E_2-E_1 = hc/\lambda$ ⟵ สมการที่ 1

โดยที่ h = ค่าคงที่แพลงค์ (Planck's constant) = $6.23x10^{-34}$ J.s

c = ความเร็วแสง = 2.998x108 m/s

λ = ความยาวคลื่นของรังสี (nm)

ระดับพลังงานของอะตอมหรืออิออนนั้นเป็นลักษณะเฉพาะขึ้นอยู่กับจำนวนโปรตอน อิเล็กตรอน และนิวตรอนในอะตอมหรืออิออนนั้นๆ ในธาตุบางชนิดความแตกต่างระหว่างสภาวะพลังงานสามารถปลดปล่อยโฟตอนที่มีความยาวคลื่นในช่วงของรังสียูวีได้

รังสีสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก คือ รังสีชนิดก่ออิออน (ionizing radiation) และรังสีชนิดไม่ก่ออิออน (non-ionizing radiation) โดยรังสีชนิดก่ออิออน คือ รังสีใดๆ ก็ตามที่เมื่อเดินทางผ่านตัวกลางหรืออากาศแล้วสามารถทำให้ตัวกลางเกิดการแตกตัวเป็นอิออน เช่น รังสีแกมมา รังสีบีตา และรังสีแอลฟา เป็นต้น ในขณะที่รังสีใดๆ ก็ตามที่เมื่อผ่านตัวกลางแล้วไม่ทำให้ตัวกลางแตกตัว คือรังสีชนิดไม่ก่ออิออน เช่น รังสียูวี รังสีอินฟราเรด และคลื่นวิทยุ เป็นต้น

หลอดกำเนิดรังสียูวี (UV lamp) ในอุตสาหกรรมอาหารโดยทั่วไปสามารถแบ่งตามความดันไอของปรอทระหว่างหลอดกำเนิดรังสียูวีทำงานออกเป็นหลักๆ 3 ประเภทคือ 1. ความดันต่ำ (low pressure) 2. ความดันต่ำ; ความเข้มแสงสูง (low pressure; high output) และ 3. ความดันปานกลาง (medium pressure) หลอดกำเนิดรังสียูวีประกอบด้วยหลอดที่ทำมาจากแก้วซิลิกา ซึ่งห่อหุ้มชั้น (envelope) อีกชั้นหนึ่งที่บรรจุปรอทและแก๊สเฉื่อย (ปิดผนึกทั้งต้นและปลาย) มีอิเล็กโทรดบริเวณปลายของแต่ละด้านของ envelope (Figure 1) โดยแหล่งพลังงานของหลอดกำเนิดรังสียูวีโดยทั่วไปคือพลังงานจากกระแสไฟฟ้า เครื่องฉายรังสียูวีในอุตสาหกรรมอาหารนั้นประกอบด้วยท่อที่บรรจุหลอดกำเนิดรังสียูวีโดยแยกออกจากตัวอย่างอาหารที่จะมาสัมผัสกับรังสียูวี โดยเครื่องฉายรังสียูวีส่วนใหญ่ประกอบด้วยจอควบคุมซึ่งจะแสดงผลของปริมาณความเข้มของรังสียูวี (UV intensity) และอัตราการไหลของอาหารเหลว (flow rate) [19]

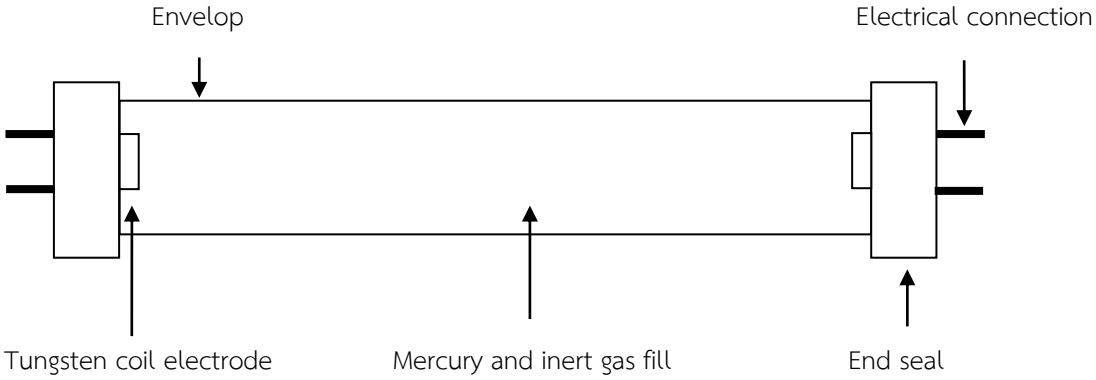

Figure 1 Schematic of UV lamp [17]

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

กลไกการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยรังสียูวี

การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (inactivation) โดยสารเคมีหรือกระบวนการแปรรูปทางอาหารโดยไม่ใช้ความร้อนอาจมีความหมายแตกต่างกัน การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยสารเคมี เช่น คลอรีน และไอโอดีนนั้นหมายถึงการทำลายจุลินทรีย์โดยการทำลายโครงสร้างระดับเซลล์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ เช่น เมตาบอลิสม (metabolism) และชีวสังเคราะห์ (biosynthesis) ในขณะที่การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยรังสียูวี (กระบวนการแปรรูปทางอาหารโดยไม่ใช้ความร้อน) นั้นไม่ได้เป็นการทำลายโครงสร้างระดับเซลล์ของจุลินทรีย์ เพียงแต่เป็นการป้องกันการแพร่พันธุ์ของจุลินทรีย์ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ [12]

รังสียูวี สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยทำลายกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของ DNA ส่งผลให้ DNA ไม่สามารถเกิดกระบวนการจำลองตัวเองได้ (DNA replication) กรดนิวคลีอิกสามารถดูดซับรังสียูวีที่มีความยาวคลื่นในช่วง 200-310 nm รังสียูวีสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยขัดขวางการทำงานของ DNA และ RNA รังสียูวีสามารถสร้างพันธะ pyrimidine dimer ระหว่าง กรดอะมิโนไทมีน (thymine) และกรดอะมิโนไซโตซีน (cytosine) ที่อยู่ติดกันของสาย DNA หรือ RNA เดียวกัน (Figure 2) dimers นี้สามารถป้องกันกระบวนการจำลองตัวเองของ DNA หรือ RNA ส่งผลให้เกิดการยับยั้งขึ้นหรือป้องกันการติดเชื้อจุลินทรีย์ [12, 36] รังสียูวีที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารแบบไม่ใช้ความร้อนนั้น นิยมใช้ความยาวคลื่นที่ 254 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่กรดนิวคลีอิกสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด (maximum adsorption) แม้ว่าจะเกิดความเสียหายที่กรดนิวคลีอิก กระบวนการเมตาบอลิสมในเซลล์ยังดำเนินต่อไป เนื่องจากเอนไซม์ภายในเซลล์จุลินทรีย์สามารถซ่อมแซมตัวเองจากความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ เป็นผลให้จุลินทรีย์สามารถฟื้นตัวได้หลังจากการผ่านการฉายรังสียูวี [10] ดังนั้นการใช้รังสียูวีในการฆ่าเชื้อจึงจำเป็นต้องใช้ความเข้มของรังสียูวีในปริมาณที่มากพอ โดยปริมาณความเข้มของรังสียูวีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์

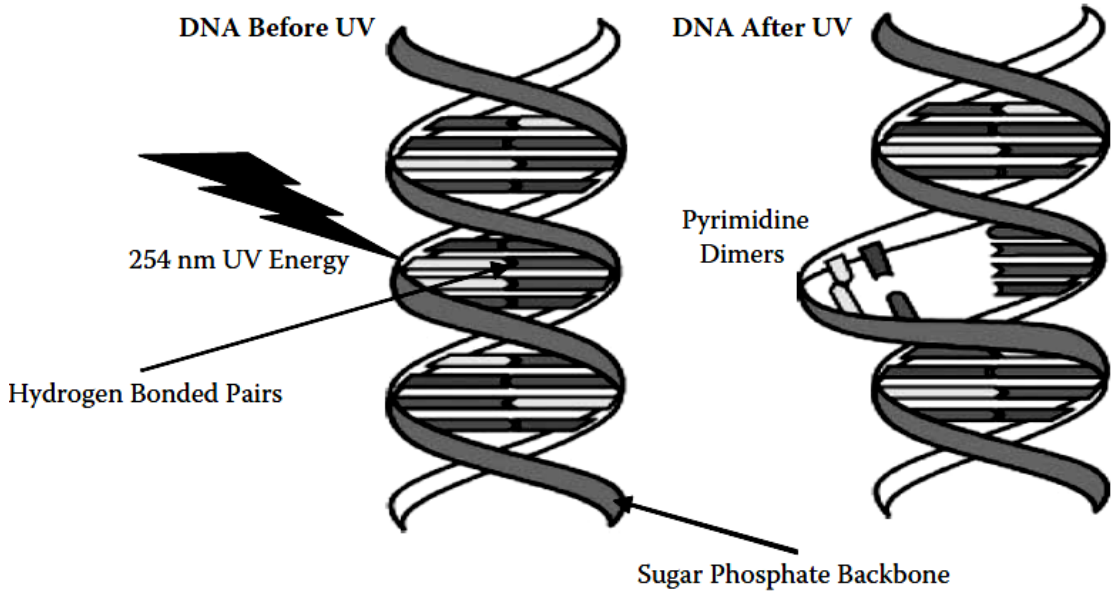

Figure 2 Structure of DNA before and after UV irradiation [17]

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

ผลของรังสียูวีต่อคุณภาพของน้ำผลไม้

การใช้รังสียูวีในกระบวนการแปรรูปอาหารนั้นมีจุดประสงค์หลักเพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารหรือเพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอาหารเป็นพิษต่อผู้บริโภค จุดประสงค์ของการฉายรังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เช่น การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในนม น้ำผลไม้ เครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากเนื้อสัตว์ และการชะลอกระบวนการสุกในผักและผลไม้ [15, 32, 33] เป็นต้น ผลของการฉายรังสียูวีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ 1 ผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ 2 ผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส รวมถึงรสชาติ กลิ่น ลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสซึ่งทดสอบโดยผู้บริโภค และ 3 ผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ รวมทั้ง สี ค่าความเป็นกรด-ด่าง และวิตามิน เป็นต้น

น้ำผลไม้เป็นที่นิยมสำหรับผู้บริโภคในปัจจุบันเนื่องจากเป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นผู้ผลิตจะพยายามใช้กระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำผลไม้น้อยที่สุด เพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการและสามารถเก็บรักษาได้นานมากยิ่งขึ้น รังสียูวีเป็นอีกกระบวนการทางเลือกหนึ่งที่สามารถตอบความต้องการของผู้ผลิตได้ โดยจุดประสงค์หลักของการใช้รังสียูวีในน้ำผลไม้คือเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามรังสียูวีสามารถส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และทางประสาทสัมผัสในน้ำผลไม้ต่างๆ ได้

ผลของรังสียูวีต่อปริมาณจุลินทรีย์

รังสียูวีสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้หลายชนิด (Table 1) รังสียูวีสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้หลายชนิด รวมทั้ง แบคทีเรีย ยีสต์ และรา โดยปริมาณความเข้มรังสียูวีที่ใช้เพื่อให้เกิดการลดปริมาณจุลินทรีย์ที่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ รังสียูวีสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในน้ำผลไม้ต่างๆ ได้ เช่น *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* และ *Listeria monocytogenes* ซึ่งเป็นผลให้สามารถลดการเสี่ยงต่อการเกิดโรคอาหารเป็นพิษ ในขณะที่รังสียูวียังสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้น้ำผลไม้เสื่อมเสียหลายชนิดเช่น ยีสต์ รา *Alicyclobacillus acidoterrestris* และ *Zygosaccharomyces bailii* ซึ่งเป็นผลให้น้ำผลไม้มีอายุการเก็บที่นานขึ้น

Table 1 Microbial inactivation by UV radiation in different fruit juices

Liquid food	UV dose	Test microorganisms	Inactivation (log reduction)	Reference
Apple juice	1377 J/L	*E. coli* K12	7.5	[15]
Carrot juice	6.50 KGy	aerobic bacteria	2	[14]
Guava-pineapple juice	918 J/L	yeast and mold	4.5	[15]
Mango juice	3.53 J/m^2	coliforms	1	[27]
Mango nectar	689 J/L	aerobic bacteria	0.40	[15]
Orange juice	60.15 kJ/L	*E. coli* ATCC 25922	7	[25]
Pineapple juice	10.76 mJ/cm^2	yeast and mold	1.4	[29]
Pitaya juice	nr	*Zygosaccharomyces bailii*	1.8	[23]
Pomegranate juice	34.4 J/mL	*E. coli* ATCC 25922	6	[26]
Star fruit juice	2.16 J/m^2	Aerobic bacteria	2	[6]
Strawberry nectar	1377 J/L	yeast and mold	2.45	[15]
White grape juice	1.31 mW/cm^2	*Alicyclobacillus acidoterrestris*	5.5	[5]

Remark: nr = not reported

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

มีรายงานการศึกษาผลของการฉายรังสียูวี ปริมาณความเข้มช่วง 12.03-48.12 kJ/L เปรียบเทียบกับการให้ความร้อนที่ 90°C เป็นเวลา 2 นาที ของน้ำส้มที่เก็บรักษาที่ 4 และ 10°C พบว่าการเพิ่มความเข้มของรังสียูวีสามารถลดจำนวนของจุลินทรีย์ได้เพิ่มมากขึ้น การฉายรังสียูวีที่ปริมาณความเข้ม 36.09 kJ/L สามารถลดจำนวน total plate count ยีสต์และรา และ *Escherichia coli* ATCC 25922 ได้ 2.8 0.34 และ 5.72 log ตามลำดับ [25] ในขณะที่การฉายรังสียูวีที่ปริมาณความเข้ม 12.47-62.35 J/mL ในน้ำทับทิม สามารถลดปริมาณแบคทีเรียที่ใช้อากาศทั้งหมด ยีสต์และรา และ *E. coli* O157:H7 ได้ 1.8 1.45 และ 6.15 log ตามลำดับ [26] นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้รังสียูวีเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้คั้นสด โดย Jo และ Lee (2012) พบว่าเมื่อปริมาณความเข้มของรังสียูวีเพิ่มขึ้นสามารถลดปริมาณแบคทีเรียที่ใช้อากาศทั้งหมด (total aerobic bacteria) ในน้ำแครอทคั้นสดได้เพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณความเข้มของรังสียูวีสามารถลดปริมาณแบคทีเรียที่ใช้อากาศทั้งหมดได้ 2 log แต่เมื่อเก็บทุกตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 7 วัน ปริมาณแบคทีเรียที่ใช้อากาศทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

ผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ

สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำผลไม้ที่สำคัญมีอยู่หลายสมบัติ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็ง สารประกอบฟีนอลิก กิจกรรมของเอนไซม์ และสี ซึ่งสมบัติต่างๆ ดังกล่าวนั้นส่งผลต่อคุณภาพของน้ำผลไม้ และนำไปสู่การยอมรับของผู้บริโภค Tandon และคณะ (2003) รายงานว่า รังสียูวีที่ปริมาณความเข้ม 14 mJ/cm^2 ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็ง ความขุ่น และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำแอปเปิ้ลไซเดอร์เปลี่ยนแปลงไป โดยการเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่างๆ เป็นผลมาจากการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ระหว่างการเก็บที่ 7°C เป็นเวลา 4 สัปดาห์และ 14 สัปดาห์ ในขณะที่รังสียูวีที่ความเข้ม 36.09 kJ/L ไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็ง และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ระหว่างน้ำส้มที่ผ่านการให้ความร้อน การฉายรังสียูวี และตัวอย่างควบคุม ระหว่างการเก็บที่ 4 และ 10°C [25]

รังสียูวีไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดซิตริก และกรดมาลิก แต่ส่งผลต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกของน้ำส้ม โดยเป็นผลมาจากรังสียูวีสามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำผลไม้ โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำผลไม้ส่งผลให้สมบัติทางชีวภาพ (biological property) ของสารนั้นๆ เปลี่ยนแปลงไป โดยมีรายงานว่ารังสียูวีไม่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidation capacity) ของน้ำส้ม [25]

แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิกประเภทหนึ่งในน้ำผลไม้ที่ส่งผลต่อความสามารถในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการฉายรังสียูวี (12.47-62.35 J/mL) ไม่ส่งผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินและ polymeric color ของตัวอย่างน้ำทับทิม เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ในขณะที่การให้ความร้อน (90°C เวลา 2 นาที) ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินและ polymeric color ของตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยน้ำทับทิมอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสาร copigment ที่มีประสิทธิภาพ และสามารถรักษาเสถียรภาพของแอนโทไซยานินในปฏิกิริยา copigment นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสาร copigment ในระบบที่มีสารแอนโทไซยานินสามารถป้องกันการเกิดการเสียหายของสารแอนโทไซยานินโดยรังสียูวีได้ [3] การใช้ความร้อนและการฉายรังสียูวีไม่ส่งผลต่อความสามารถในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี Trolox equivalent antioxidant capacity และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ของน้ำทับทิมอย่างมี

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

นัยสำคัญ (P>0.05) [25] นอกจากนี้ยังมีรายงานผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำผลไม้คั้นสด โดยมีรายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในน้ำแครอทคั้นสดที่มีการฉายรังสียูวีที่ปริมาณความเข้มรังสียูวีเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากรังสียูวีสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก [14, 30]

คุณลักษณะหนึ่งที่สำคัญต่อคุณภาพน้ำผลไม้คือค่าสี เนื่องจากเป็นสิ่งที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค การใช้รังสียูวีปริมาณความเข้มที่ 5.3 J/cm^2 ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (L a และ b) และดัชนีการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning index) ของน้ำผลไม้ผสมระหว่างน้ำแอปเปิ้ล และน้ำแคนเบอรี่ อย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ high intensity pulse light (HIPL) ที่ระดับปริมาณความเข้ม 3.3 J/cm^2 และ pulse electric field (PEF) ที่สภาวะ 34 kV/cm, 18 Hz, 93 μs [8]

นอกจากนี้ การฉายรังสียูวียังสามารถก่อให้เกิดสารประกอบต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้อีกด้วย Fan และ Geveke (2007) รายงานการฉายรังสียูวีที่ความเข้ม 3.5 J/cm^2 ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มของรังสียูวีที่สามารถลดปริมาณ *E. coli* K12 5 log ในน้ำแอปเปิ้ลไซเดอร์สามารถลดการเกิดสารฟูแรน (furan) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จนมีปริมาณฟูแรนน้อยกว่า 1 ppb แต่อย่างไรก็ตาม การฉายรังสียูวีที่ปริมาณความเข้มมากกว่า 3.5 J/cm^2 สามารถทำให้เกิดการสะสมของสารฟูแรนในน้ำแอปเปิ้ลได้ โดยสามารถตรวจพบสารฟูแรน 14 ppb เมื่อน้ำแอปเปิ้ลไซเดอร์ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณความเข้ม 8.8 J/cm^2 ในขณะที่ไม่พบสารฟูแรนเมื่อน้ำแอปเปิ้ลไซเดอร์ผ่านการฉายรังสียูวีที่ปริมาณความเข้ม 1.8 J/cm^2 สารฟูแรนมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเส้นตรงโดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของสารฟูแรนเท่ากับ 11 ppb/J/cm^2 ในช่วงของความเข้มของการฉายรังสียูวีที่ 3.5-8.8 J/cm^2 คณะผู้วิจัยยังรายงานสารตั้งต้นของการเกิดสารฟูแรนในน้ำแอปเปิ้ลไซเดอร์ ว่าน้ำตาลฟรุกโตสเป็นสารตั้งต้นที่ดีที่สุดในการเกิดสารฟูแรนเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลกลูโคส ในขณะที่น้ำตาลซูโครสและกรดมาลิก (malic acid) ไม่เป็นสาเหตุของการเกิดสารฟูแรนในน้ำแอปเปิ้ลไซเดอร์ [11]

ผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางประสาทสัมผัส

สมบัติทางประสาทสัมผัสเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อการประยุกต์ใช้รังสียูวีในน้ำผลไม้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางประสาทสัมผัส รวมทั้ง สมบัติด้านสี กลิ่น และรส สามารถส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคได้ ซึ่งนำไปสู่การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยทั่วไปปริมาณรังสียูวีที่ใช้ในการลดปริมาณจุลินทรีย์เป้าหมาย (target microorganism) ไม่ส่งผลต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำผลไม้ โดยเฉพาะน้ำผลไม้ที่มีกลิ่นรสที่มีเอกลักษณ์และเข้มข้น เช่น น้ำแอปเปิ้ลไซเดอร์และน้ำส้ม เป็นต้น [25, 31] Tandon และคณะ (2003) ศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำแอปเปิ้ลไซเดอร์ด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีทดสอบความชอบโดยรวม (preference test) และวิธีทดสอบความชอบแบบให้ลำดับ (ranking test) และพบว่าคะแนนของตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) กับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ผ่านความร้อนที่สัปดาห์แรกของการเก็บที่ 7°C แต่ผู้ทดสอบสามารถบอกความแตกต่างของตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวีกับตัวอย่างที่ผ่านความร้อนได้ในสัปดาห์ถัดไป โดยผู้ทดสอบสามารถรับรู้ถึงกลิ่นรสของตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากการหมักของจุลินทรีย์ อันเป็นผลจากความร้อนสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้มากกว่าการฉายรังสียูวี

Pala และ Toklucu (2013) ศึกษาผลของรังสียูวีต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำส้ม โดยใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 30 คนให้คะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสและความความโดยรวมของน้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสียูวี น้ำส้มที่ผ่านการให้ความร้อน และน้ำส้มคั้นสด (ตัวอย่างควบคุม) และพบว่าผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนน้ำส้มคั้นสด มากที่สุด รองลงมา คือ น้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสียูวี (48.12

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

kJ/L) และน้ำส้มที่ผ่านการให้ความร้อน ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี triangle test พบว่าน้ำส้มคั้นสดและน้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสียูวีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ในขณะที่น้ำส้มที่ผ่านการให้ความร้อนและน้ำส้มที่ผ่านการฉายรังสียูวีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) โดยผลที่ได้นี้สอดคล้องกับคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสและคะแนนความชอบโดยรวม [25]

ลักษณะของอาหารเหลวที่ส่งผลต่อการฉายรังสียูวี

ประสิทธิภาพของการฉายรังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์อาหารเหลวนั้นๆ โดยปริมาณความเข้มของรังสียูวีที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเหลวแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน เป็นผลมาจาก ชนิดของเชื้อที่เป็นเป้าหมาย สมบัติการดูดกลืนแสง (absorptive properties) ของผลิตภัณฑ์อาหารเหลว ซึ่งเป็นผลมาจากชนิดและปริมาณของสารแขวนลอยและของแข็งที่ละลายน้ำได้ และองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเหลว นอกจากนี้ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพของการฉายรังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวอีกด้วย

สมบัติการดูดกลืนแสง

สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง (absorption coefficient) คือการวัดอัตราการลดลงของความเข้มของคลื่นกระแสแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านสารที่กำหนด ซึ่งสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงของน้ำกลั่นมีค่าเข้าใกล้0 ในขณะที่การเติมสารอินทรีย์ ธาตุเหล็ก ไนเตรต และธาตุสังกะสีที่ละลายน้ำได้สามารถดูดกลืนแสงยูวีได้ ดังนั้นสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงของน้ำที่มีองค์ประกอบดังที่กล่าวข้างต้นนั้นจะเพิ่มขึ้น [2]

การผ่านของรังสียูวีในน้ำผลไม้นั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากน้ำผลไม้มีองค์ประกอบที่สามารถดูดกลืนแสงได้ เช่น สารอินทรีย์ วิตามิน และสารแขวนลอย เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่น การส่งผ่านของแสงในน้ำแอปเปิ้ลและแอปเปิ้ลไซเดอร์นั้นเป็นไปได้ยากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ เนื่องจากน้ำแอปเปิ้ลและแอปเปิ้ลไซเดอร์มีองค์ประกอบต่างๆ ซึ่งสามารถลดประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำแอปเปิ้ลและแอปเปิ้ลไซเดอร์อันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) สามารถทำให้ความสามารถดูดกลืนแสงของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ลดลงได้ รวมทั้งปริมาณสารแขวนลอยในน้ำยังสามารถส่งผลต่อความสามารถในการดูดกลืนแสงยูวีได้ โดยในปี 2001 Christenen และ Linden ได้รายงานผลของปริมาณสารแขวนลอยในน้ำที่ส่งผลต่อปริมาณรังสียูวีที่สามารถทะลุผ่านตัวอย่างได้ เนื่องจากสารแขวนลอยสามารถดูดกลืนแสง กระจายแสง และแบคทีเรียที่รวมตัวกับสารแขวนลอยที่อยู่บนผิวหน้าของตัวอย่างสามารถบดบังรังสียูวีได้ [9] และสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำผลไม้แต่ละชนิดมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงดังแสดงใน Table 2

Table 2 Physicochemical properties of various types of fruit juices

Juice	pH	°Brix	Viscosity (cP)	Turbidity (NTU)	Absorbance coefficient (cm^{-1})
Apple	3.21	11.35±0.35	5.79±0.46	972±23	25.90±1.10
Carrot	3.75	10.55±1.06	9.87±2.59	3980±453	52.90±0.90
Guava	6.32	9.05±0.21	5.02±1.01	4500±450	45.80±12.60
Orange	3.30	7.37±0.29	51.77±17.81	3759±21	47.90±1.00
Lillikoi	3.01	11.40±0.28	5.55±0.46	1392±503	11.70±2.10
Pineapple	3.96	14.17±0.58	53.20±6.16	4028±256	73.10±1.95
Watermelon	5.19	8.10±0.57	6.72±3.22	8.10±0.57	23.60±1.90

Source: Koutchma, Parisi and Patazca, 2007

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

ความขุ่นของน้ำผลไม้แต่ละชนิดมีค่าที่แตกต่างกัน เช่น แอปเปิ้ลไซเดอร์มีความขุ่นในช่วง 1,000 – 2,400 Nephelometric Turbidity Units (NTU) ซึ่งเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ดูดกลืนแสงของแอปเปิ้ลไซเดอร์มีค่าตั้งแต่ 9.0 – 98 cm^{-2} ในขณะที่น้ำแอปเปิ้ลขนาดของอนุภาค (particle) นั้นมีขนาดเล็ก โดยส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 mm ซึ่งอนุภาคเหล่านี้ไม่ก่อให้เกิด haze และความขุ่นมีค่าน้อยกว่า 2 NTU นักวิจัยส่วนใหญ่เข้าใจว่าความขุ่นส่งผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยรังสียูวี แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าอนุภาคนั้นไม่ได้เป็นตัวดูดซับรังสียูวี ก็จะไม่ส่งผลต่อปริมาณรังสียูวีที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ไม่ว่าจะเป็นการบดบังแสง (shading) หรือการกระจายแสง (scattering) แต่ก็มีข้อยกเว้นก็ต่อเมื่อจุลินทรีย์นั้นๆ สามารถฝังตัว (embed) อยู่ในอนุภาคทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ดูดกลืนแสงปรากฏ (apparent absorption coefficient) เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยอาศัยหลักการการกระจายแสงมากกว่าการดูดกลืนแสง [20]

Unluturk และคณะ (2004) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของแอปเปิ้ลไซเดอร์ที่มีผลต่อการฉายรังสียูวี และรายงานว่าการกระจายตัวของอนุภาคของแอปเปิ้ลไซเดอร์มีลักษณะเป็นแบบไบโมเดล (bimodal distribution) โดยอนุภาคประมาณ 65 – 70% มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 1 – 26 μm และมีค่าเฉลี่ยที่ 7.6 μm ในขณะที่อีก 30 – 35% ของอนุภาคที่เหลือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 30 -592 μm และมีค่าเฉลี่ยที่ 225 μm ดังนั้นอนุภาคของแอปเปิ้ลไซเดอร์จึงมีขนาดมากกว่าความยาวคลื่นของรังสียูวี (254 นาโนเมตร) ซึ่งทำให้เกิดการกระจายแสงมากกว่าการดูดกลืนแสง อันเป็นผลให้ประสิทธิภาพของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง เป็นต้น [34]

Koutchma และคณะ (2002) ศึกษาผลของความเข้มข้นของอนุภาคสารแขวนลอย (suspended particle) ต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงโดยใช้แบบจำลองสารละลายของคาราเมลและอนุภาคแอปเปิ้ลอบแห้ง อนุภาคแอปเปิ้ลอบแห้งถูกเติมลงไปในแบบจำลองสารละลายคาราเมลที่มีความเข้มข้น 0.013% และ 0.40% และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายคาราเมลเพิ่มขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติการกระจายแสงของอนุภาคอนุภาคแอปเปิ้ลอบแห้ง นอกจากนี้ absorption เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากความเข้มข้นของอนุภาคแอปเปิ้ลอบแห้งที่เพิ่มขึ้นและคุณสมบัติการกระจายแสง และคุณสมบัติการกระจายแสงเป็นผลมาจากอนุภาคแอปเปิ้ลอบแห้ง [16]

อุณหภูมิ อุณหภูมิส่งผลต่อ configuration ของกรดนิวคลีอิกและกิจกรรมของเอนไซม์ที่ใช้ระหว่างการซ่อมแซมตัวเอง ดังนั้นปริมาณความเข้มของรังสียูวีเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิระหว่างการฉายรังสียูวีลดลงเมื่อต้องการฉายรังสียูวีเพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เท่ากัน [28]

ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ Koutchma และคณะ (2002) รายงานผลของค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อประสิทธิภาพของรังสียูวีในการลดปริมาณ *E. coli* K12 ในน้ำแอปเปิ้ลและแอปเปิ้ลไซเดอร์ที่มีการเติมคาราเมล 0.13% และมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 3-5 และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 10-20% ผลการทดลองพบว่าปัจจัยเดี่ยวของค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ไม่ส่งผลต่ออัตราการลดลงของ *E. coli* K12 ในขณะที่ปัจจัยร่วมระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ส่งผลต่ออัตราการลดลงของ *E. coli* K12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยต่างๆ สามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพของรังสียูวีในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ [16]

พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมในกระบวนการผลิต

อาหารเหลวสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทที่สามารถใช้รังสียูวีในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งก็คือ

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

ของเหลว อิมัลชัน และของเหลวที่มีส่วนที่เป็นอนุภาคขนาดเล็กผสมอยู่ (liquid with particle) นอกจากนี้แล้วอาหารเหลวยังสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ตามสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางแสง สมบัติทางแสง (optical property) เป็นคุณสมบัติหลักที่สำคัญต่อการผ่านของรังสียูวีซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารเหลว โดยค่า T (transmittance) หรือ %T คำนวณจากอัตราส่วนของปริมาณรังสีที่ผ่านตัวกลางต่อปริมาณรังสีทั้งหมด ซึ่งก็คือค่าการส่งผ่านของแสงในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ถ้า 10% < T < 100% สารละลายหรือตัวกลางจะมีลักษณะโปร่งแสง (transparent) ในขณะที่ ถ้า T มีค่าประมาณ 0% สารละลายหรือตัวกลางนั้นจะมีลักษณะทึบแสง (opaque) และถ้า 0% < T < 10% สารละลายหรือตัวกลางนั้นจะมีลักษณะกึ่งโปร่งแสงกึ่งทึบแสง (semitransparent) โดยทั่วไปอาหารเหลวจะสามารถดูดซับรังสียูวีได้ เช่น น้ำผลไม้สามารถถูกจัดเป็นสารละลายกึ่งโปร่งแสงกึ่งทึบแสงถ้าน้ำผลไม้นั้นมีลักษณะใส และน้ำผลไม้สามารถถูกจัดเป็นสารละลายทึบแสงถ้าน้ำผลไม้นั้นมีส่วนประกอบของสารแขวนลอยต่างๆ องค์ประกอบทางเคมีและความเข้มข้นนั้นของอนุภาคที่ละลายน้ำได้ คุณลักษณะทางแสง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix) อุณหภูมิ และค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity) สามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพของรังสียูวีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ [4, 7, 18, 21, 24]

กฎหมายการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้

ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยองค์การอาหารและยา (FDA) ได้รับรองการใช้รังสียูวีซึ่งเป็นวิธีทางเลือก (alternative method) นอกเหนือจากการพาสเจอไรซ์โดยใช้ความร้อนในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ในปี ค.ศ. 2000 เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย แต่ข้อกำหนดที่สำคัญของการใช้รังสียูวีเป็นวิธีทางเลือกนอกเหนือจากการพาสเจอไรซ์โดยความร้อนนั้นคือ รังสียูวีที่ปริมาณความเข้มนั้นต้องสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคอย่างน้อย 5 log ในน้ำผลไม้ [35] ในขณะที่ประเทศแคนนาดาโดย The Department of Novel Foods, of Health Canada ได้ริเริ่มการทดสอบการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ต่างๆ เช่น น้ำแอปเปิ้ล และแอปเปิ้ลไซเดอร์ ถึงผลความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ ในปี 2004 เครื่องฉายรังสียูวี CiderSure 3500 เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการทดสอบนี้ โดยมีจุดประสงค์ของการทดสอบดังนี้ 1. ประสิทธิภาพของการฉายรังสียูวีโดยเครื่อง CiderSure 3500 ต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ 2. ผลของการฉายรังสียูวีต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ และเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอไรซ์แบบให้ความร้อน และ 3. ความเป็นไปได้ของการเกิดสารพิษเมื่อตัวอย่างผ่านการฉายรังสียูวี [13] ผลการทดสอบต่างๆ พบว่าการฉายรังสีโดยเครื่อง CiderSure 3500 ไม่ก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค แต่การลดปริมาณของจุลินทรีย์ต่างๆ นั้น การฉายรังสียูวีไม่สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์จนหมดได้ ดังนั้นผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนอื่นๆ ระหว่างกระบวนการผลิตเพื่อช่วยป้องกันการเกิดความเสี่ยงของการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ประเทศในสหภาพยุโรป (European Union) จัดการใช้รังสียูวีอยู่ในการฉายรังสี (irradiation) ดังนั้นในกฎหมายการฉายรังสียูวีของแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์อาหารจึงแตกต่างกัน หน่วยงาน National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF) เป็นหน่วยงานที่ดูแลเรื่องการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหาร NACMCF ให้ข้อพิจารณาในการใช้รังสียูวีเพื่อเป็นวิธีทางเลือกของการพาสเจอไรซ์ ดังนี้ 1. จุลินทรีย์ชนิดไหน คือ จุลินทรีย์ก่อโรคที่ทนร้อนมากที่สุด 2. ประสิทธิภาพต่อการลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรค 3. ลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหาร และ 4. จุดประสงค์ของการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหาร [22]

ประเทศไทยมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์อาหารฉายรังสี คือประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง “อาหารฉายรังสี” ประกาศวันที่ 14 กันยายน 2553

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

โดยมีใจความสำคัญต่างๆ ดังนี้ คำจำกัดความ การกำหนดการแสดงฉลากอาหารฉายรังสี อาหารที่จะนำมาฉายรังสี และชนิดของรังสี เป็นต้น ซึ่งในประกาศนี้กำหนดให้รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ และรังสีอิเลกตรอนสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ แต่ยังไม่มีการกำหนดการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหารเหมือนประเทศอื่นๆ [1]

บทสรุป

จากรายงานการวิจัยต่างๆ แสดงให้เห็นว่าการฉายรังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหารเหลว เช่น น้ำผลไม้ สามารถรักษาคุณภาพและเพิ่มความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหาร แต่อย่างไรก็ตามประเทศไทยยังไม่มีประกาศหรือมาตรฐานเรื่องการใช้รังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหาร ประกอบด้วยปัจจุบันมีอุตสาหกรรมน้ำผลไม้และเครื่องดื่มบางชนิดได้นำรังสียูวีมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้บ้างแล้ว ซึ่งเป็นกระบวนการเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย นอกจากนี้ยังขาดความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับชนิดและลักษณะเฉพาะตัวของน้ำผลไม้หรือเครื่องดื่มแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการทำลายจุลินทรีย์และสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ดังนั้นการศึกษาผลของลักษณะของน้ำผลไม้และเครื่องดื่มต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์นั้นๆ จึงมีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำผลไม้และเครื่องดื่มเพื่อเป็นกระบวนการผลิตทางเลือกสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารของไทยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 325 (พ.ศ. 2553) ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 127 ตอนพิเศษ 121 ง (ลงวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2553)

[2] AWWA. 1999. Water quality & Treatment: A Handbook of Community Water Supplies. 5th ed. New York: McGraw-Hill.

[3] Bakowska, A., Kucharska, A.Z. and Oszmianski, J. (2003). The effects of heating. UV irradiation, and storage on stability of the anthocyanin–polyphenol copigment complex. Food Chemistry. 81: 349–355.

[4] Basaran, N., Quintero-Ramos, A., Moake, M.M., Churey, J.J. and Worobo, R.W. (2004). Influence of apple cultivars on inactivation of different strains of *Escherichia coli* O157:H7 in apple cider by UV irradiation. Applied and Environmental Microbiology. 70: 6061–6065.

[5] Baysal, A.H., Molva, C. and Unluturk, S. (2013). UV-C light inactivation and modeling kinetics of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in white grape and apple juices. International Journal of Food Microbiology. 166: 494-498.

[6] Bhat, R., Ameran, S.B., Voon, H.C., Karim, A.A. and Tze, L.M. (2011). Quality attributes of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) juice treated with ultraviolet radiation. Food Chemistry. 127: 641-644.

[7] Bolton, J., Stefan, M., Cushing, R. and Mackey, R. (2001). The importance of water absorbance/transmittance on the efficiency of ultraviolet disinfection reactors. Paper presented at First International Congress of UV Technologies, Washington, DC, June 14–16.

[8] Caminiti, I.M., Noci, F., Munoz, A., Whyte, P., Morgan, D.J., Cronin, D.A. and Lyng, J.G. (2011). Impact of selected combinations of non-thermal processing technologies on the quality of an apple and cranberry juice blend. Food Chemistry. 124: 1387-1392.

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

[9] Christenen, J. and Linden, K. (2001). Ultraviolet disinfection of unfiltered drinking water: Particle impacts. Paper presented at First International Congress on UV technologies, Washington, DC, June 14–16.

[10] Cleaver, J.E. (2003). Photoreactivation. DNA Repair 2: 629-638.

[11] Fan, X. and Geveke, D.J. 2007. Furan formation in sugar solution and apple cider upon ultraviolet treatment. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 55: 7816-7821.

[12] Harm, W., (1980). Biological Effects of Ultraviolet Radiation. Cambridge University Press, New York.

[13] Health Canada. (2004). Ultraviolet light treatment of apple juice/cider using the CiderSure 3500. Novel Food Information. http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/gmf-agm/ appro/dec85_rev_nl3_e.html.

[14] Jo, C. and Lee, K.H. (2012). Comparison of the efficacy of gamma and UV irradiation in sanitization of fresh carrot juice. Radiation Physics and Chemistry. 81: 1079-1081.

[15] Keyser, M., Muller, I.A., Cilliers, F.P., Nel, W. and Gouws, P.A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juices. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 9: 348-354.

[16] Koutchma, T., Englert, R. and Adhikari, C. (2002). The effect of browning and suspended particles on the UV treatment of apple juice/cider. Paper presented at IFT Annual Meeting, Anaheim, CA, June 15–19, 2002. Technical programs abstracts, 228.

[17] Koutchma, T., Forney, L. and Moraru, C. (2009). Ultraviolet light in Food Technology: Principles and Applications. Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton, FL.

[18] Koutchma, T., Keller, S., Parisi, B. and Chirtel, S. (2004). Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 5: 179–189.

[19] Koutchma, T., Parisi, B. and Patazca, E. (2007). Validation of UV coiled tube reactor for fresh juices. Journal of Environmental Engineering and Science. 6: 319-328.

[20] Linden, K. and Darby, L. (1998). Ultraviolet disinfection of marginal effluents: Determining UV absorbance and subsequent estimation of UV intensity. Water Environment Research. 70: 214–223.

[21] Murakami, E., Jackson, L., Madsen, K. and Schickedanz, B. (2006). Factors affecting the ultraviolet inactivation of *Escherichia coli* K12 in apple juice and a model system. Journal of Food Process Engineering. 29: 53–71.

[22] NACMCF (National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods). (2005). Requisite scientific parameters for establishing the equivalence of alternative methods of pasteurization. Journal of Food Protection. 69: 1190–1216.

[23] Ochao-Velasco, C.E. and Beltran, J.A.G. (2013). Short-wave ultraviolet-C light effect on pitaya (*Stenocereus griseus*) juice

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

inoculated with *Zygosaccharomyces bailii*. Journal of Food Engineering. 117: 34-41.

[24] Oteiza, J., Peltzer, M., Gannuzzi, L. and Zaritzky, N. (2005). Antimicrobial efficacy of UV radiation on *Escherichia coli* O157:H7 in fruit juices of different absorptivities. Journal of Food Protection 68: 49–58.

[25] Pala, C.U. and Toklucu, A.K. (2013). Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. Food Science and Technology. 50: 426-431.

[26] Pala, C.U. and Toklucu, A.K. (2011). Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. Journal of Food Composition and Analysis. 24: 790-795.

[27] Santhirasegaram, V., Razali., Z., George, D.S. and Somasundram, C. (2014). Comparison of UV-C treatment and thermal pasteurization on quality of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. Food and Bioproduct Processings. In Press.

[28] Severin, B. F., Suidan, M.T. and Engelbrecht, R.S. 1983. Kinetic modeling of UV disinfection of water. Water Research. 17: 1669–1678.

[29] Shamsudin, R., Adzahan, N.M., Yee, Y.P. and Mansor, A. (2014). Effect of repetitive ultraviolet irradiation on the physic-chemical properties and microbial stability of pineapple juice. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 23: 114-120.

[30] Stevens, C., Khan, V.A., Lu, J.Y., Wilson, C.L., Pusey, L.P. and Kabwe, M.K. (1998). The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. Crop Protection. 17: 129–134.

[31] Tandon, K., Worobo, R.W., Churley, J.J. and Padilla-Zakour, O.I. (2003). Storage quality of pasteurized and UV treated apple cider. Journal of Food Processing and Preservation. 27: 21-35.

[32] Tiecher, A., Arantes de Paula L., Chaves, F.C. and Rombaldi, C.V. (2013). UV-C effect on ethylene, polyamines and the regulation of tomato fruit ripening. Postharvest Biology and Technology. 86: 230-239.

[33] Unluturk, S., Atılgan, M., Baysal, A.H. and Tari, C. (2008). Use of UV-C radiation as a nonthermal process for liquid egg products (LEP). Journal of Food Engineering. 85: 561–568.

[34] Unluturk, S., Koutchma, T. and Arastoopour, H. (2004). Modeling of UV dose distribution in a thin film UV reactor for processing of apple cider. Journal of Food Engineering. 65: 125–136.

[35] USFDA. (2000). Irradiation in the production, processing and handling of food. *Code of Federal Regulations*. Title 21, part 179. *Federal Register*. 65: 71056–71058. U.S. Food and Drug Administration, Washington, DC.

[36] Weber, C., Marchat, L.A., Guillen, N. and López-Camarillo, C. (2009). Effects of DNA damage induced by UV irradiation on gene expression in the protozoan parasite *Entamoeba histolytica*. Molecular and Biochemical Parasitology. 164: 165-169.

*Kitipong.A@chula.ac.th
อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok