เทคโนโลยีและวิธีการยืดอายุผักและผลไม้ของสหรัฐอเมริกา

ในปัจจุบัน สหรัฐอเมริกา ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและวิธีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่หลากหลาย เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ รักษาคุณภาพ ลดความสูญเสีย และสร้างความปลอดภัยด้านอาหาร ตัวอย่างเช่น การเก็บเกี่ยวในช่วงเช้าตรู่ เนื่องจากผลผลิตมีอุณหภูมิต่ำ จึงช่วยลดการเสื่อมคุณภาพ รักษาความสด ยืดอายุการเก็บรักษา และลดค่าใช้จ่ายด้านการทำความเย็น ทั้งนี้ หากชะลอการทำความเย็นเพียง 1 ชั่วโมง อาจทำให้อายุการเก็บสั้นลงได้ถึง 1 วัน นอกจากวิธีการปฏิบัติดังกล่าว ยังมีเทคโนโลยีอีกมากมายที่ถูกนำมาใช้จริง รวมถึงเทคโนโลยีที่อยู่ระหว่างการทดลองและพัฒนา ซึ่งสรุปได้ดังนี้

เทคโนโลยีและวิธีการที่สหรัฐฯ ให้ในการยืดอายุผักและผลไม้

1. **ระบบห่วงโซ่ความเย็น (Cold Chain Management)**

ระบบห่วงโซ่ความเย็นถือเป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยยืดอายุและรักษาคุณภาพของผักและผลไม้ โดยมุ่งเน้นการควบคุมอุณหภูมิต่ำและคงที่ตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวจนถึงผู้บริโภค การควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสม ช่วยลดอัตราการหายใจของพืช ผักและผลไม้ ชะลอการเสื่อมคุณภาพ ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และลดการสูญเสียน้ำและสารอาหาร โดยเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

- Forced-air cooling: ใช้พัดลมเป่าลมเย็นผ่านผลผลิต เหมาะสำหรับผลไม้ที่บอบบางและมีความชื้นสูง เช่น องุ่น สตรอว์เบอร์รี และบลูเบอร์รี ช่วยลดอุณหภูมิได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ
- Hydrocooling: ใช้น้ำเย็นไหลผ่านผลผลิต เหมาะกับเชอร์รี ข้าวโพดหวาน และบร็อกโคลี วิธีนี้ช่วยลดอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยล้างสิ่งสกปรกบางส่วนออกไปด้วย
- Vacuum cooling: ลดความดันอากาศในห้องเก็บเพื่อให้น้ำในผลผลิตระเหยออก ส่งผลให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว เหมาะกับผักใบที่มีเนื้อพรุนและผิวสัมผัสกว้าง เช่น ผักกาดหอม และผักโขม
- Icing: ใช้น้ำแข็งสัมผัสโดยตรงกับผลผลิตเพื่อเร่งการลดอุณหภูมิ เหมาะกับผักที่มีลำต้นขนาดใหญ่และทนความชื้นได้ เช่น บร็อกโคลี และเซเลอรี

2. การควบคุมก๊าซและบรรยากาศ (Atmosphere Management)

การควบคุมก๊าซและบรรยากาศเป็นเทคโนโลยีสำคัญที่ช่วยยืดอายุผักและผลไม้ โดยการปรับระดับก๊าซ เช่น ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งจะช่วยชะลอกระบวนการหายใจและการสุกของผักผลไม้ รักษาความสดและคุณค่าทางโภชนาการให้นานยิ่งขึ้น แนวทางปฏิบัติที่ใช้ในสหรัฐฯ สรุปได้ ดังนี้

- **1-MCP (1-methylcyclopropene)** เป็นสารที่จับกับตัวรับเอทิลีนในผลไม้ ทำให้ผลผลิต “ไม่ตอบสนอง” ต่อเอทิลีนซึ่งเป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นการสุกและการเสื่อมคุณภาพ ส่งผลให้ผลไม้สุกช้าลงและคงความกรอบได้นาน ตัวอย่างเชิงพาณิชย์ ได้แก่ SmartFresh (ใช้กับแอปเปิลและลูกแพร์) และ Hazel 100 (ใช้กับอะโวคาโดและมะม่วง)

ผลลัพธ์: ยืดอายุการเก็บและการขนส่ง ลดความสูญเสีย และคงความสดของผลไม้ให้ผู้บริโภคได้นานขึ้น

- **Modified Atmosphere Packaging (MAP)** เป็นเทคนิคการบรรจุที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนก๊าซในบรรจุภัณฑ์ โดยมักลดปริมาณออกซิเจนและเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อชะลอการหายใจและการเจริญของจุลินทรีย์ ใช้ได้ดีกับผลไม้ที่มีความบอบบาง เช่น สตรอว์เบอร์รี และราสป์เบอร์รี

ผลลัพธ์: ลดการเน่าเสียและยืดอายุการเก็บรักษาในห่วงโซ่อาหารค้าปลีกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- **Controlled Atmosphere (CA) Storage** เป็นการเก็บรักษาผลผลิตในห้องที่ควบคุมบรรยากาศอย่างเคร่งครัด โดยมีการปรับระดับออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิให้เหมาะสมและคงที่อย่างแม่นยำ เทคนิคนี้เหมาะสำหรับผลไม้ที่สามารถเก็บรักษาได้นาน เช่น แอปเปิล ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 6–9 เดือน โดยไม่ทำให้สูญเสียคุณภาพด้านรสชาติและเนื้อสัมผัส

ผลลัพธ์: ให้สามารถเก็บผลไม้เพื่อจำหน่ายนอกฤดูกาลได้อย่างต่อเนื่อง สร้างเสถียรภาพของอุปทานและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางการตลาด

3. การเคลือบผิวที่รับประทานได้ (Edible Coatings)

การเคลือบผิวที่รับประทานได้เป็นเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ช่วยยืดอายุและรักษาคุณภาพของผลไม้ โดยมีหลักการทำงานดังนี้:

- ล็อกความสดและลดการสูญเสียน้ำ: เคลือบผิวสร้างชั้นฟิล์มบางๆ บนผลไม้ ช่วยจำกัดการระเหยของน้ำ ทำให้ผักและผลไม้คงความชุ่มชื้นได้นานขึ้น
- ควบคุมการแลกเปลี่ยนก๊าซ: ฟิล์มเคลือบช่วยจำกัดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้กระบวนการหายใจช้าลง และชะลอการสุก
- ป้องกันออกซิเดชันและเชื้อจุลินทรีย์: บางสูตรเคลือบผิวสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค

ตัวอย่างเชิงพาณิชย์:

- Apeel™ ได้รับสถานะ GRAS (Generally Recognized As Safe) จาก U.S. FDA ผลิตจากโมโนและไดกลีเซอไรด์ของพืช ใช้งานได้กับผลไม้หลายชนิด เช่น
  - อะโวคาโด: ยืดอายุการเก็บได้เกือบสองเท่า
  - มะนาว และส้ม: เพิ่มความทนทานในการเก็บและขนส่ง

สรุป: การเคลือบผิวที่รับประทานได้เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุผักและผลไม้สด ลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว และสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่น เช่น ระบบห่วงโซ่ความเย็น (Cold Chain) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด

4. การใช้เทคโนโลยีฆ่าเชื้อแบบไม่ใช้ความร้อน (Mild Nonthermal Treatments)

เทคโนโลยีฆ่าเชื้อแบบไม่ใช้ความร้อนถือเป็นมาตรการสำคัญในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพของผักและผลไม้สด โดยเน้นการทำลายจุลินทรีย์และเชื้อโรคโดยไม่ทำลายเนื้อเยื่อของผลผลิต ทำให้สามารถรักษาสี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รายละเอียดเทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้งาน:

1. โอโซน (O_3): ฆ่าเชื้อราและลดโรคหลังการเก็บเกี่ยว เช่น องุ่น และสตรอว์เบอร์รี
   - ใช้เพื่อยับยั้งเชื้อราและลดการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว
   - ตัวอย่างผลไม้: เบอร์รี และองุ่น
   - หลักการทำงาน: โอโซนทำปฏิกิริยากับเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้เซลล์ตาย

- ผลลัพธ์: ลดความสูญเสียหลังเก็บเกี่ยวและป้องกันโรคเน่า

2. คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2):
   - ใช้สำหรับฆ่าเชื้อก่อโรคในผักและผลไม้
   - ตัวอย่างผลไม้: เห็ด และเบอร์รี
   - หลักการทำงาน: คลอรีนไดออกไซด์ออกซิไดซ์โปรตีนและเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้
   - ผลลัพธ์: ลดการปนเปื้อนและยืดอายุการเก็บรักษา
3. รังสี UV-C:
   - ใช้เพื่อฆ่าเชื้อบนผิวและกระตุ้นการสร้างสารป้องกันธรรมชาติในผลไม้
   - ตัวอย่างผลไม้: มะเขือเทศ, แอปเปิล
   - หลักการทำงาน: รังสี UV-C ทำลาย DNA ของจุลินทรีย์และกระตุ้นการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในเนื้อเยื่อ
   - ผลลัพธ์: ลดการเน่าเสียและยืดอายุผลไม้

สรุป: เทคโนโลยีฆ่าเชื้อแบบไม่ใช้ความร้อนเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงในการรักษาคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่น เช่น ระบบห่วงโซ่ความเย็น (Cold Chain) หรือการเคลือบผิวที่รับประทานได้ (Edible Coatings) เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษา ลดความสูญเสีย และรักษามาตรฐานคุณภาพสำหรับตลาดทั้งในประเทศและส่งออก

5. การฉายรังสีอาหาร (Food Irradiation)

การฉายรังสีอาหารเป็นเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ใช้รังสีพลังงานสูง เช่น γ-ray (Cobalt-60) Electron Beam (E-beam) และ X-ray เพื่อยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และแมลงศัตรูพืช ป้องกันการงอกของพืชตระกูล Allium เช่น หัวหอมและกระเทียม ยืดอายุการเก็บรักษาโดยไม่ทำลายคุณภาพสี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ เทคโนโลยีนี้ได้รับการรับรองจาก U.S. FDA ตามข้อกำหนด 21 CFR §179.26

การใช้งานเชิงพาณิชย์ นิยมใช้กับ

- ผลไม้เบอร์รีและผลไม้รสเปรี้ยว: สตรอว์เบอร์รี และส้ม
- ผลไม้เมืองร้อนสำหรับส่งออก: มะม่วง ฝรั่ง และลิ้นจี่
- พืชตระกูล Allium: หัวหอมและกระเทียม

ข้อดี:

- ยืดอายุการเก็บรักษาโดยไม่ต้องใช้สารเคมี

- ลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรค
- เหมาะสำหรับผลไม้เมืองร้อนที่ต้องขนส่งไกล

ข้อจำกัด:

- ต้องใช้สถานที่และเครื่องมือเฉพาะทาง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง
- ผู้บริโภคบางกลุ่มยังมีความกังวลด้านความปลอดภัยและการรับประทานอาหารฉายรังสี

สรุป: การฉายรังสีอาหารเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการส่งออกผลไม้ระยะไกล และสามารถใช้ร่วมกับ Cold Chain หรือ Edible Coatings เพื่อเพิ่มคุณภาพและความปลอดภัยของสินค้า

6. **เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะและระบบตรวจติดตามแบบเรียลไทม์ (Smart Packaging & IoT)**

เทคโนโลยี Smart Packaging ผสานกับ IoT (Internet of Things) เป็นระบบบรรจุภัณฑ์ที่สามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แบบเรียลไทม์ และส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์เพื่อประเมินอายุการเก็บจริงและแจ้งเตือนการเสื่อมสภาพของผักและผลไม้ ถือเป็นนวัตกรรมสำคัญในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการรักษาคุณภาพ ลดการสูญเสีย และเพิ่มความปลอดภัยของผักและผลไม้สด โดยมุ่งเน้นการตรวจวัดสภาพแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องและส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปยังระบบจัดการโลจิสติกส์ โดยเทคโนโลยีหลักที่ใช้ ได้แก่:

- Time-Temperature Indicators (TTIs): แสดงประวัติอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ตลอดห่วงโซ่การกระจายสินค้า ทำให้สามารถประเมินอายุการเก็บจริงได้อย่างแม่นยำ
- Gas/Freshness Indicators: ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ เช่น ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อระบุความสดและความเสื่อมสภาพของผลผลิต
- IoT Integration: ส่งข้อมูลเรียลไทม์ไปยังระบบคลาวด์ ช่วยให้ผู้จัดการซัพพลายเชนสามารถคาดการณ์อายุการเก็บจริง (Remaining Shelf Life) และปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลักษณะการใช้งานและข้อดี:

- ตรวจวัด อุณหภูมิ ความชื้น และระดับก๊าซ ภายในบรรจุภัณฑ์แบบเรียลไทม์
- ส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์เพื่อประเมิน Remaining Shelf Life และแจ้งเตือนการเสื่อมสภาพ
- ลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว และปรับปรุงการบริหารปริมาณและคลังสินค้า
- เหมาะสำหรับผลไม้ส่งออกระยะไกล เช่น แอปเปิล องุ่น และบลูเบอร์รี
- การใช้งานเต็มรูปแบบยังอยู่ระหว่างการพัฒนา

สถานะปัจจุบัน: มีการใช้งานบางส่วนในเชิงอุตสาหกรรม การใช้งานเต็มรูปแบบยังอยู่ระหว่างการพัฒนาและทดลอง

สรุป: เทคโนโลยี Smart Packaging & IoT มีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและการขนส่งทำให้สามารถรักษาคุณภาพสินค้า ลดความสูญเสีย และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ในห่วงโซ่อุปทานผักและผลไม้สด

7. **เทคโนโลยีพลาสมาเย็นและน้ำกระตุ้นด้วยพลาสมา (Cold Plasma & Plasma-Activated Water)**

เทคโนโลยีพลาสมาเย็นและน้ำกระตุ้นด้วยพลาสมาเป็นเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ใช้ประจุพลาสมาพลังงานสูง ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเชื้อรา โดยไม่ทำลายโครงสร้างเนื้อเยื่อหรือคุณภาพของผักและผลไม้

ลักษณะการใช้งานและข้อดี:

- เหมาะสำหรับ ผักใบและผลไม้เบอร์รี ที่มีความบอบบาง เช่น ผักกาดหอม สตรอว์เบอร์รี และราสป์เบอร์รี
- ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และลดความเสี่ยงต่อการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยว

สถานะปัจจุบัน: อยู่ระหว่างการทดลองเชิงพาณิชย์ ยังไม่ได้มีการใช้งานในระดับอุตสาหกรรมอย่างเต็มรูปแบบ

สรุป: เทคโนโลยีพลาสมาเย็นและน้ำกระตุ้นด้วยพลาสมา มีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บรักษาผักและผลไม้สด หากนำมาประยุกต์ร่วมกับ ระบบ Cold Chain และเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวอื่นๆ สามารถช่วยลดความสูญเสีย เพิ่มความปลอดภัย และยกระดับคุณภาพของสินค้าเพื่อการส่งออกและตลาดภายในประเทศ

8. **เทคโนโลยีฟิล์มชีวภาพและนาโน (Bio- & Nano-Coatings)**

เทคโนโลยีฟิล์มชีวภาพและนาโนใช้วัสดุชีวภาพ เช่น ไคโตซาน (Chitosan) เพคติน (Pectin) และโปรตีน ร่วมกับนาโนเทคโนโลยี เพื่อสร้างฟิล์มเคลือบผิวผลไม้และผักหลังการเก็บเกี่ยว

ลักษณะการใช้งานและข้อดี:

- ลดการสูญเสียน้ำ ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ยับยั้งการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรีย
- เหมาะสำหรับผลไม้บอบบาง เช่น สตรอว์เบอร์รี บลูเบอร์รี และราสป์เบอร์รี
- ใช้ร่วมกับ Cold Chain MAP หรือ Edible Coatings เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษา (Shelf life) ได้ยาวนานขึ้น
- ช่วยลดความสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว และเพิ่มคุณภาพสินค้าในการจัดจำหน่าย

สรุป: ฟิล์มชีวภาพและนาโนถือเป็นเทคโนโลยีเชิงนวัตกรรมที่มีศักยภาพสูงในการ รักษาความสด เพิ่มอายุการเก็บและเสริมมาตรฐานคุณภาพผลไม้สำหรับตลาดส่งออกและตลาดภายในประเทศ

9. เทคโนโลยีผลไม้ดัดแปลงพันธุกรรม (GMO/CRISPR Fruits)

ผลไม้ดัดแปลงพันธุกรรมเป็นเทคโนโลยีล้ำสมัยที่ใช้เครื่องมือพันธุวิศวกรรมเช่น CRISPR-Cas9 เพื่อปรับเปลี่ยนลักษณะทางพันธุกรรมของผลไม้ โดยสามารถควบคุมกระบวนการสุก การเกิดสีน้ำตาลหลังการตัด และความต้านทานต่อเชื้อโรค ซึ่งมีผลต่อการยืดอายุและคุณภาพของผลไม้ ตัวอย่างเชิงพาณิชย์ ได้แก่ แอปเปิลArctic® (ไม่เกิดสีน้ำตาลหลังถูกตัด) และผลไม้ GMO อื่น ๆ ที่พัฒนาความต้านทานต่อโรคหรือความแห้งเหี่ยว

ข้อดี:

- ยืดอายุการเก็บรักษาและลดความสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว (Postharvest Loss)
- เพิ่มความคงคุณภาพสำหรับตลาดส่งออกและตลาดที่ต้องการผลไม้คุณภาพสูง

ข้อจำกัด:

- การใช้งานขึ้นอยู่กับ กฎระเบียบ GMO ของแต่ละประเทศ
- ผู้บริโภคบางกลุ่มยังมีความกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัยและจริยธรรม
- จำเป็นต้องติดตามและประเมินการยอมรับของตลาดอย่างต่อเนื่อง

สรุป: ผลไม้ดัดแปลงพันธุกรรมเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและขยายตลาดส่งออก แต่การประยุกต์ใช้งานต้องพิจารณากฎระเบียบและความยอมรับของผู้บริโภคอย่างรอบคอบ

ตารางสรุปเทคโนโลยีที่ใช้ในการยืดอายุผักและผลไม้ของสหรัฐฯ

เทคโนโลยี	ตัวอย่าง/วิธีการ	ตัวอย่างผัก/ผลไม้	ผลลัพธ์/ข้อดี	ข้อจำกัด/ข้อสังเกต
Cold Chain Management	Forced-air cooling Hydrocooling Vacuum cooling Icing	องุ่น ผักใบ เบอร์รี	ลดอัตราการหายใจของพืช ชะลอการเสื่อมคุณภาพ ยับยั้งเชื้อราและจุลินทรีย์ ลดการสูญเสียน้ำและสารอาหาร	ต้องลงทุนระบบทำความเย็นและควบคุมอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง
Atmosphere Management	1-MCP (Smart Fresh Hazel100) MAP CA Storage	แอปเปิล ลูกแพร์ มะม่วง อะโวคาโด สตรอว์เบอร์รี ราสป์เบอร์รี	ชะลอการสุกและการหายใจของผลไม้ ยืดอายุการเก็บ ลดความสูญเสีย รักษารสชาติและคุณค่าทางโภชนาการ	ต้องใช้เทคโนโลยีและบรรจุภัณฑ์เฉพาะบางชนิด ค่าใช้จ่ายสูง

Edible Coatings	Apeel™	อะโวคาโด มะนาว ส้ม	ลดการสูญเสียน้ำ ชะลอการหายใจ ป้องกันออกซิเดชัน ยับยั้งเชื้อรา	ต้องใช้สูตรที่ได้รับการอนุมัติ (GRAS) และเหมาะกับผลไม้บางชนิด
Mild Nonthermal Treatments	โอโซน คลอรีนไดออกไซด์ UV-C	องุ่น สตรอว์เบอร์รี เห็ด มะเขือเทศ แอปเปิล	ฆ่าเชื้อ ลดโรคหลังเก็บเกี่ยว กระตุ้นสารป้องกันธรรมชาติ	ต้องควบคุมปริมาณและเวลาในการใช้ ป้องกันความเสียหายต่อเนื้อเยื่อ
Food Irradiation	γ-ray E-beam X-ray	เบอร์รี ส้ม มะม่วง ฝรั่ง ลิ้นจี่ หัวหอม	ฆ่าเชื้อ ยับยั้งการงอก ป้องกันแมลง ยืดอายุสินค้าโดยไม่ใช้สารเคมี	ต้องลงทุนสถานที่เฉพาะ ผู้บริโภคบางกลุ่มกังวลเรื่องความปลอดภัย
Smart Packaging & IoT	TTIs Gas/Freshness Indicators Real-time IoT monitoring	แอปเปิล องุ่น บลูเบอร์รี	ตรวจสอบอุณหภูมิ ความสด และก๊าซแบบเรียลไทม์ ลดความสูญเสีย ปรับปรุงโลจิสติกส์	การใช้งานเต็มรูปแบบยังอยู่ระหว่างพัฒนา ค่าอุปกรณ์สูง
Cold Plasma & Plasma-Activated Water	ประจุพลาสมาพลังงานสูง	ผักใบ สตรอว์เบอร์รี ราสป์เบอร์รี	ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อราโดยไม่ทำลายเนื้อเยื่อ ยืดอายุผลไม้	อยู่ระหว่างทดลองเชิงพาณิชย์ ต้องลงทุนอุปกรณ์เฉพาะ
Bio- & Nano-Coatings	ไคโตซาน เพคติน โปรตีน + นาโน	สตรอว์เบอร์รี บลูเบอร์รี ราสป์เบอร์รี	ลดการสูญเสียน้ำ ป้องกันออกซิเดชัน ยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรีย	เหมาะกับผลไม้เบอร์รีบางชนิด ต้องใช้ร่วมเทคโนโลยีอื่นเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด
GMO / CRISPR Fruits	แอปเปิล Arctic®, ผลไม้ GMO ต้านโรคหรือชะลอสุก	Arctic® Apple มะม่วง GMO	ยืดอายุ ลดความสูญเสีย คงคุณภาพผลไม้สำหรับตลาดส่งออก	ขึ้นกับกฎระเบียบ GMO และการยอมรับผู้บริโภค ต้องติดตามตลาดอย่างต่อเนื่อง

ที่มา:

https://vric.ucdavis.edu/pdf/postharvest_organic_handling.pdf
https://ucanr.edu/sites/default/files/2020-11/339682.pdf
https://content.ces.ncsu.edu/introduction-to-the-postharvest-engineering-for-fresh-fruits-and-vegetables/3a-forced-air-cooling
https://www.canr.msu.edu/news/options-for-sourcing-1-mcp?utm
https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/ppls/071297-00002-20160112.pdf
https://extension.usu.edu/vegetableguide/production/postharvest-handling

https://extension.psu.edu/keeping-produce-fresh-best-practices-for-producers
https://www.fao.org/4/i0782e/i0782e01.pdf
https://postharvesttechnologies.com/optimizing-post-harvest-quality-the-critical-role-of-pre-cooling-and-cold-storage-in-the-u-s-produce-sector
https://www.researchgate.net/publication/364690662_A_REVIEW_ON_POST-HARVEST_PRECOOLING_METHODS_OF_FRUITS_AND_VEGETABLES
https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=356971
https://postharvest.ucdavis.edu/postharvest-facilities/storage/controlled-atmosphere-storage
https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14620316.2000.11511231
https://www.fda.gov/food/generally-recognized-safe-gras/gras-notice-inventory
https://postharvest.ucdavis.edu/commodities-content/edible-coatings-and-films
https://www.mdpi.com/2304-8158/10/2/279
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521422004033?

ฝ่ายเกษตร ประจำสถานกงสุลใหญ่ ณ นครลอสแอนเจลิส
กันยายน 2568