

เทคโนโลยีแปรรูปสมัยใหม่ สำหรับผักและผลไม้

ผศ.สมักร รักแม่

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แนวโน้ม ทิศทางตลาด

! ความต้องการตลาดและแรงกดดันทางกฎหมาย

มาตรฐานการตรวจสอบ

มาตรการขึ้นทะเบียนสวนและส่งออกผลไม้

การกวดขันเข้มงวดเชิงคุณภาพและความปลอดภัย

การตรวจสอบปนเปื้อนและเคมีตกค้าง

ข้อกำหนดห้ามตรวจพบสารสีย้อมเคมี (เช่น Basic Yellow 2) และโลหะหนักอย่างแคดเมียม ทำให้วิธีการสุ่มแบบเดิมไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

ข้อกำหนดในระดับสากล

ผู้บริโภคที่มีกำลังซื้อ หรือประเทศคู่ค้า กำหนดเกณฑ์เพิ่มเติม ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น Clean label, PPWR, สารเคมีตกค้าง



โอกาสทางการตลาดใหม่

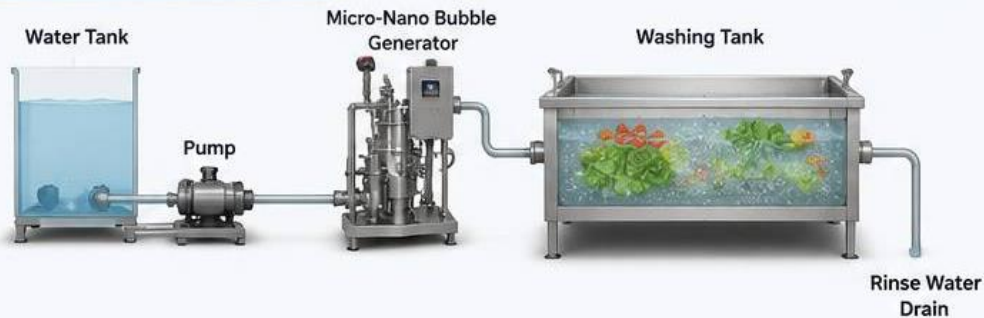


ความท้าทายด้านอายุการเก็บรักษา

Nano Bubble /Ozone Technology

Micro-Nano Bubble System for Washing Fruits and Vegetables

ระบบการทำงาน (System Overview)



หลักการทำงาน (Working Principle)

1 การสร้างฟองน้ำ (Bubble Generation)



น้ำถูกบีบผ่านเครื่องกำเนิด ทำให้เกิดการดูดอากาศและเกิดไมโครนาโนฟองน้ำ

Water is sheared and air is drawn in to generate micro-nano bubbles.

2 การกระจายฟองน้ำ (Bubble Dispersion)



ฟองน้ำกระจายตัวทั่วน้ำในถังล้าง

Bubbles are dispersed throughout the washing tank.

3 การทำความสะอาด (Cleaning Action)



ฟองน้ำเกาะและแทรกซึมสิ่งสกปรกบนผิวผักผลไม้

Bubbles attach to dirt and penetrate into surface irregularities.

4 การกำจัดสิ่งสกปรก (Detachment)



ฟองน้ำแตกตัวหรือหลุดออก พาสิ่งสกปรกออกจากผิว

Bubbles collapse or detach, lifting dirt away from the surface.

5 การชะล้างและพาออก (Rinsing & Removal)



สิ่งสกปรกถูกชะล้างออกไปพร้อมกระแสน้ำ

Dirt is removed by water flow and discharged from the system.

ประโยชน์ (Benefits)

- ✓ ทำความสะอาดได้ล้ำลึก ลดการปนเปื้อนจุลินทรีย์
Deep cleaning and microbial reduction
- ✓ ลดการใช้สารเคมี เหมาะสำหรับผักผลไม้สด
Reduce chemical usage
- ✓ รักษาคุณภาพ สี กลิ่น และอายุการเก็บรักษา
Maintain quality and extend shelf life
- ✓ ประหยัดน้ำและพลังงาน
Save water and energy
- ✓ ปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
Safe and environmentally friendly

การใช้งาน (Applications)



ผักใบ
Leafy Vegetables



ผลไม้
Fruits



ผักตัดแต่ง
Cut Vegetables



ผลไม้เบอร์รี่
Berries

ผลการล้าง (Washing Performance)

น้ำปกติ
Tap Water



คลอรีน 50 ppm
Chlorine 50 ppm



ไมโครนาโนฟองน้ำ
Micro-Nano Bubbles



ขนาดและลักษณะของฟองน้ำ (Bubble Size & Characteristics)

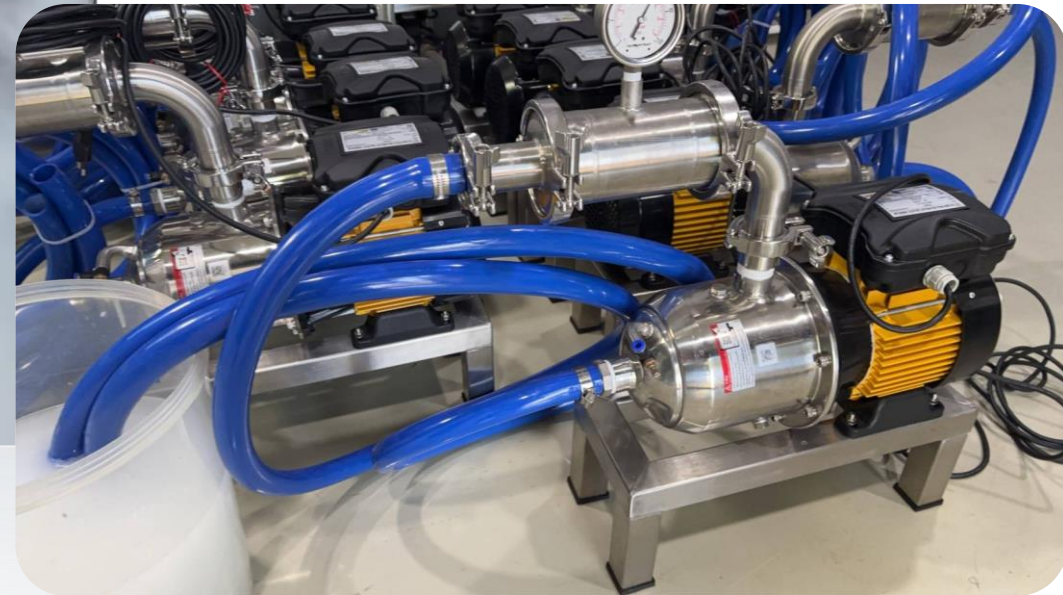
ขนาดเปรียบเทียบ (Size Comparison)



คุณสมบัติ (Characteristics)

- มีขนาดเล็กมาก ลอยตัวอยู่ในน้ำได้นาน
- เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและการถ่ายเทมวล
- แทรกซึมและทำความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- เกิดประจุไฟฟ้าบนผิวฟองน้ำ ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์
- เพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำ (DO)
- ปลอดภัย ไม่ตกค้าง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

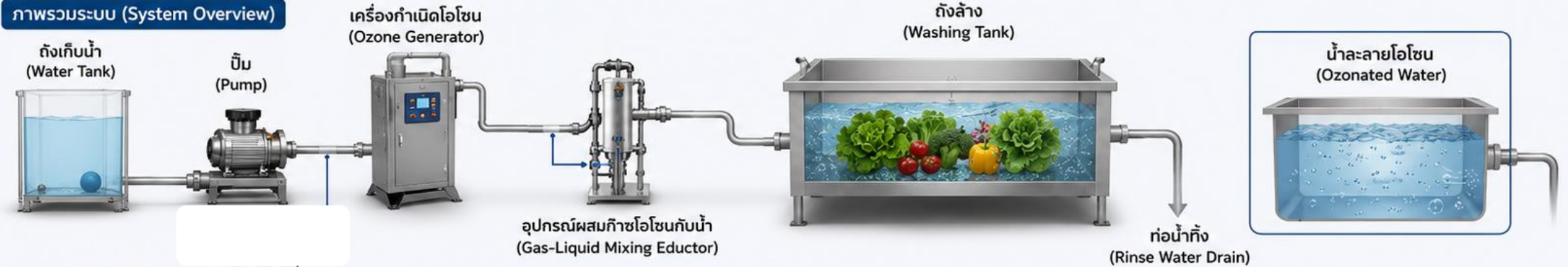




ระบบโอโซนสำหรับการล้างผักและผลไม้

Ozone System for Washing Fruits and Vegetables

ภาพรวมระบบ (System Overview)



หลักการทำงาน (Working Principle)



ประโยชน์ (Benefits)

- ✓ ลดจุลินทรีย์บนพื้นผิว
- ✓ ลดสารตกค้างบางชนิด
- ✓ ช่วยคงคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา
- ✓ ไม่ทิ้งสารฆ่าเชื้อตกค้าง

การใช้งาน (Applications)



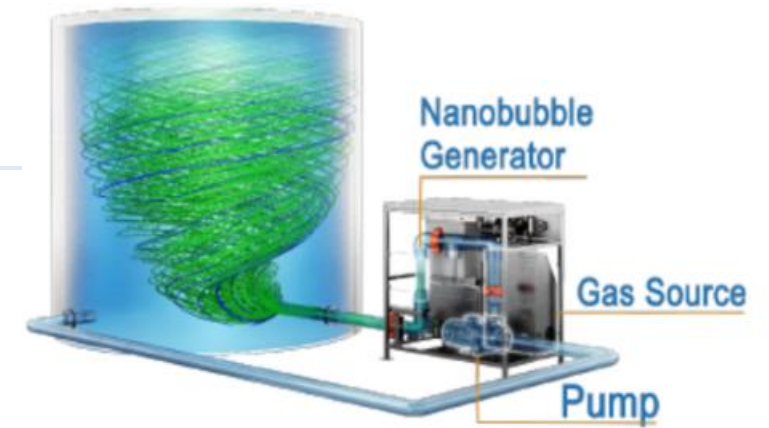
ประสิทธิภาพการล้าง (Washing Performance)

	น้ำประปา (Tap Water)	คลอรีน (50-100 ppm)	โอโซน (0.5-2 ppm)
ลดจุลินทรีย์	ต่ำ ★☆☆	สูง ★★★	สูง ★★★
ลดสารตกค้างบางชนิด	ต่ำ ★☆☆	ปานกลาง ★★☆☆	สูง ★★★
สารฆ่าเชื้อตกค้าง	ไม่มี ✓	มี ✗	ไม่มี ✓
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	ต่ำ 🌿	ปานกลาง 🍂	ต่ำ 🌿

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร เวลาในการสัมผัส คุณภาพน้ำ และชนิดของผักหรือผลไม้

๕ การประยุกต์ใช้งานในไลน์ล้างอุตสาหกรรม

รูปแบบระบบกำเนิดฟอง (Generator Options) ใช้หัวฉีด Venturi ผสานการเติมก๊าซอื่นๆ เช่น โอโซนสำหรับการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ และไนตริกออกไซด์หรือไนโตรเจนเพื่อชะลอการสุก



การประหยัดน้ำและพลังงานหมุนเวียน ระบบกรองและหมุนเวียนน้ำ (Recycling Loop) ประหยัดน้ำ ลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียสะสม





Ozone Technology

💧 การประยุกต์ใช้ในรูปแบบน้ำไอโซน (Aqueous)

ระบบล้างทำความสะอาด ระบบน้ำวนล้างผักผลไม้ เพื่อ
ทำลายสปอร์เชื้อราและแบคทีเรียขณะไหลเคลื่อนผ่าน
สายพาน

ควบคุมการปนเปื้อนข้าม (Cross-contamination) ป้องกัน
เชื้อจุลินทรีย์ ช่วยรักษาคุณภาพผลผลิตได้ดีกว่าระบบล้าง
ทั่วไป

สลายสารพิษเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ปฏิกริยา
ออกซิเดชันเชิงลึกสลายพันธะเคมีที่เป็นอันตรายของยาฆ่า
แมลงตกค้างที่ฝังอยู่บนผิวผักผลไม้ได้ดี





Cold Plasma Technology

เทคโนโลยีโคลด์พลาสมา (Cold Plasma)

สำหรับการแปรรูปผักและผลไม้

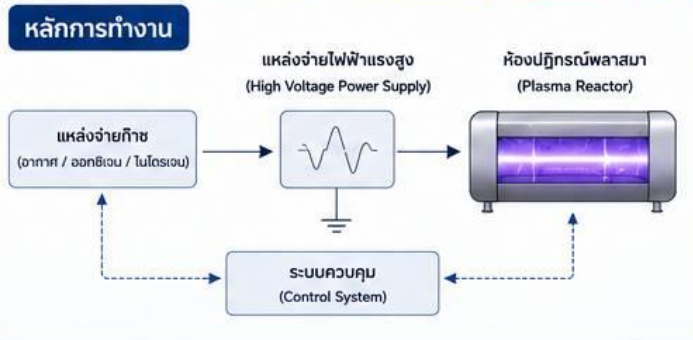
สะอาด ปลอดภัย ยืดอายุการเก็บรักษา คงคุณภาพ



- ### จุดเด่นของโคลด์พลาสมา
- ✓ ไม่ใช้ความร้อน อุณหภูมิต่ำ ใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง
 - ✓ ยับยั้งจุลินทรีย์ เชื้อรา และไวรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ
 - ✓ ลดสารตกค้างและการใช้สารเคมี
 - ✓ คงคุณภาพ สี กลิ่น รสสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ
 - ✓ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

โคลด์พลาสมาคืออะไร?

โคลด์พลาสมา คือ ก๊าซที่ถูกทำให้แตกตัวด้วยพลังงานกลายเป็นพลาสมา ที่อุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง ประกอบด้วย ออนุภาคมีประจุ อิเล็กตรอน ไอออน อนุภาคลิอิสระ และโมเลกุลเป็นกลาง ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับพื้นผิววัตถุ โดยไม่ก่อให้เกิดความร้อนหรือความเสียหาย



วิธีการสร้างพลาสมา

Dielectric Barrier Discharge (DBD) เหมาะสำหรับผิววัตถุและระบบต่อเนื่อง	Atmospheric Pressure Plasma Jet (APPJ) พลาสมาเจ็ตสำหรับพื้นผิว/จุดเฉพาะ	Plasma in Liquid (P-L) ใช้กับของเหลวหรือน้ำ	Plasma Activated Water (PAW) น้ำที่ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมาละลายสารออกฤทธิ์
--	---	---	---

ชนิดของสารออกฤทธิ์ในโคลด์พลาสมา

สารออกฤทธิ์หลักที่พบได้ทั่วไป

$\cdot O$	$\cdot OH$	O_3	H_2O_2	NO NO_2	UV รังสีอัลตราไวโอเลต (UV)	e^- , ions
อะตอมออกซิเจน	ไฮดรอกซิลเรดิคัล	โอโซน	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	ไนตริกออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์		อิเล็กตรอนและไอออน

สารออกฤทธิ์เหล่านี้ทำงานร่วมกันในการยับยั้งจุลินทรีย์ ออกซิเดชัน และปรับสภาพพื้นผิวโดยไม่ทำลายคุณภาพของวัตถุดิบ



การประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้

- ยับยั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัสบนพื้นผิว
- ยืดอายุการเก็บรักษา ลดการเน่าเสีย
- รักษาคุณภาพสี เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ
- เพิ่มประสิทธิภาพการล้าง ลดการใช้สารเคมี
- ลดการเกิดสีน้ำตาลและการออกซิเดชัน
- ปรับสภาพพื้นผิว เพื่อเพิ่มการยึดเกาะของสารเคลือบหรือการอบแห้ง



ตัวอย่างประสิทธิผลของโคลด์พลาสมา

เป้าหมาย	ระดับการลดลง	ผลลัพธ์
E. coli O157:H7	> 3 – 5 log CFU	ยับยั้งได้อย่างมีนัยสำคัญ
Salmonella spp.	> 3 – 5 log CFU	ยับยั้งได้อย่างมีนัยสำคัญ
Listeria monocytogenes	> 2 – 4 log CFU	ยับยั้งได้อย่างมีนัยสำคัญ
จำนวนจุลินทรีย์รวม	1 – 3 log CFU	ลดการเน่าเสีย ยืดอายุการเก็บรักษา
สารตกค้างจากยาฆ่าแมลง	10 – 50%	ลดการตกค้าง / ช่วยให้ปลอดภัย

หมายเหตุ: ผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบ สภาวะพลาสมา และระยะเวลาในการบำบัด

ข้อดีของโคลด์พลาสมา

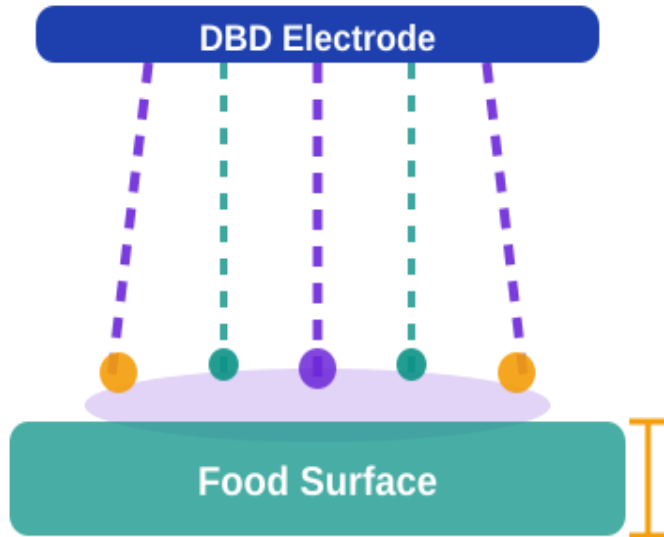
- ไม่ใช้ความร้อน ไม่ทำให้ผลผลิตผลสุกหรือเหี่ยว
- ไม่ทิ้งสารตกค้างอันตราย
- ใช้ก๊าซ/อากาศ/ไอน้ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- ติดตั้งในสายการผลิตได้ง่าย
- ช่วยเพิ่มกระบวนการผลิตสะอาด ปลอดภัย และยั่งยืน

ตัวอย่างการใช้งาน

 ผักสดพร้อมบริโภค	 ผลไม้สดตัดแต่ง
 ผลไม้เบอร์รี่	 ผักผลไม้อบแห้ง / แช่เยือกแข็ง

3 FORMS OF COLD PLASMA FOR FOOD INDUSTRY

MODE 1 — Gas-Phase Plasma

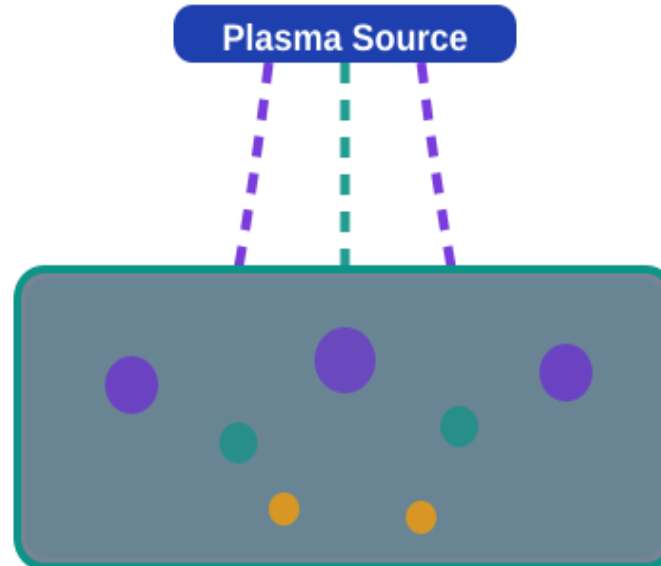


Reactive species: O_3 , NO_x

How: DBD (Dielectric Barrier Discharge) discharges reactive species directly onto food surface

Best for: Dry products: spices, grains, meat, packaging film surface sterilisation

MODE 2 — Plasma-Activated Water (PAW)

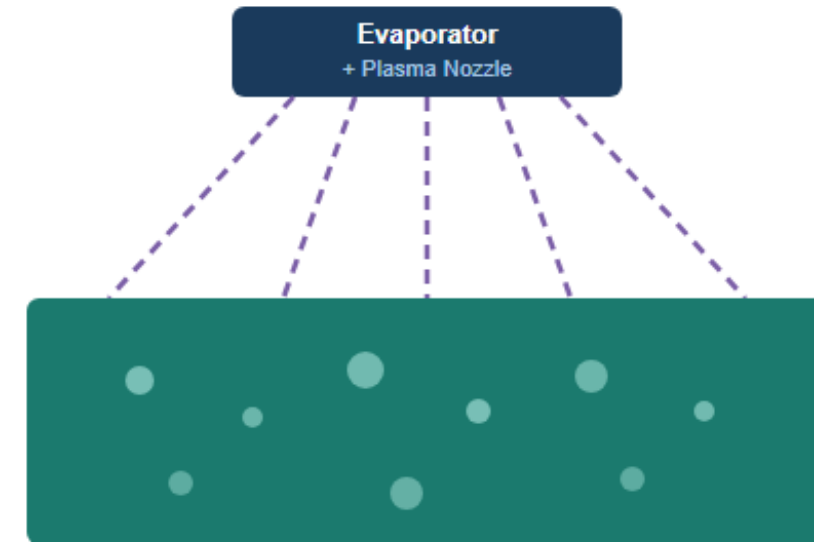


Reactive species: O_3 , H_2O_2 , NO_2^- , NO_3^-

How: Plasma discharge passed into water — H_2O_2 , NO_2^- , O_3 dissolve and remain active

Best for: Washing & sanitising fresh produce, seafood, liquid food — replaces chlorine wash

MODE 3 — Plasma-Activated Water Vapor (PAWV)



Reactive species: H_2O_2 , O_3 , NO_x

How: Water is evaporated, mixed with plasma gas stream — reactive mist is sprayed or nebulised

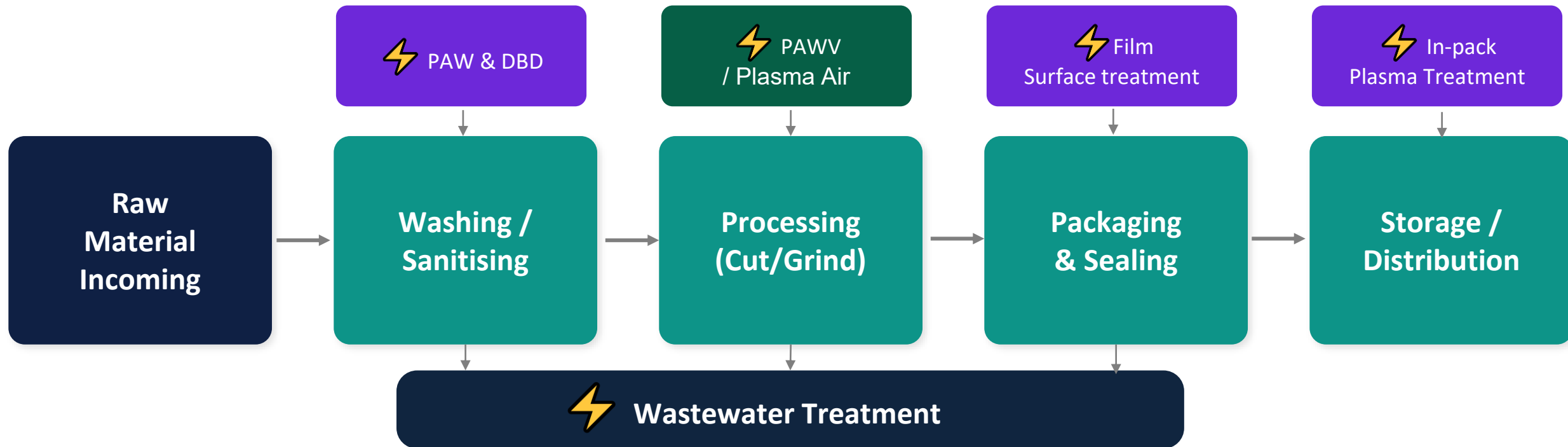
Best for: Sterilizing equipment surfaces, fruit, packaging lines

● Surface (< 1 mm)

● Object washing

● Room / facility / equipment / product

Where Does Plasma Fit In The Food Production Line?



5 clear integration points — no need to redesign the whole line.

Washing/sanitising: Drop-in PAW generator or DBD tunnel — replaces chlorine dosing system

Processing area: PAWV nozzle sterilises equipment surfaces and between batches

Packaging: Inline film-treatment module before sealing

Storage: Plasma-dosed headspace inside modified atmosphere pack

Wastewater: Plasma decomposes chlorine by-products before discharge

MARKET SEGMENTS — WHERE COLD PLASMA CREATES VALUE

 Spice, Grain & Dried Herbs	 Fresh Produce & Salad Greens	 Meat, Poultry & Seafood	 Bakery & Packaged Food	 Liquid Food (Juice / Dairy)
★★★★★ ● Sterilise surface pathogens ● Degrade mycotoxin & pesticide residue ● Kill insects across all life stages 	★★★★☆ ● Remove pesticide residue from surface ● Inhibit browning enzymes ● Extend shelf life — replaces chlorine wash, Water Saving 	★★★★☆ ● Surface pathogen reduction (up to 5 log) ● Extend shelf life ● No heat — preserves texture and colour 	★★★★☆ ● Inhibit surface mould growth ● In-package sterilisation after sealing ● Reduces need for chemical preservatives 	★★★★☆ ● Inactivate enzymes — prevents browning ● Microbial reduction without heat ● Preserves colour, flavour and nutrition 

LIMITATIONS & REAL-WORLD CHALLENGES



Engineering Challenges



Surface-only reach

Effective mainly within the outer surface layer.



Uniformity at scale

DBD dose varies across industrial-width conveyors



Wet surface products

Water absorbs reactive species before they reach pathogens



Ozone off-gassing

DBD produces O₃ — enclosed spaces need ventilation



Scale-up remains a challenge

cost, power supply and electrode geometry
all need re-engineering



Commercial & Regulatory Challenges



No global standard yet

Each export market requires its own equivalence dossier



High upfront capital

Costly equipment & power infrastructure



Sensory risk at high dose

Lipid oxidation in fatty foods — must re-validate per product



Operator skills gap

High-voltage systems need electrical safety training

การยับยั้งเอนไซม์ในผักผลไม้หั่นสด

การแก้ปัญหากลุ่มเอนไซม์สร้างสีน้ำตาล เอนไซม์ Polyphenol Oxidase (PPO) และ Peroxidase (POD) ปัญหาสำคัญของการตัดแต่งผักผลไม้สด ทำให้ขอบเนื้อเปลี่ยนสีคล้ำ และเน่าเสียเร็ว

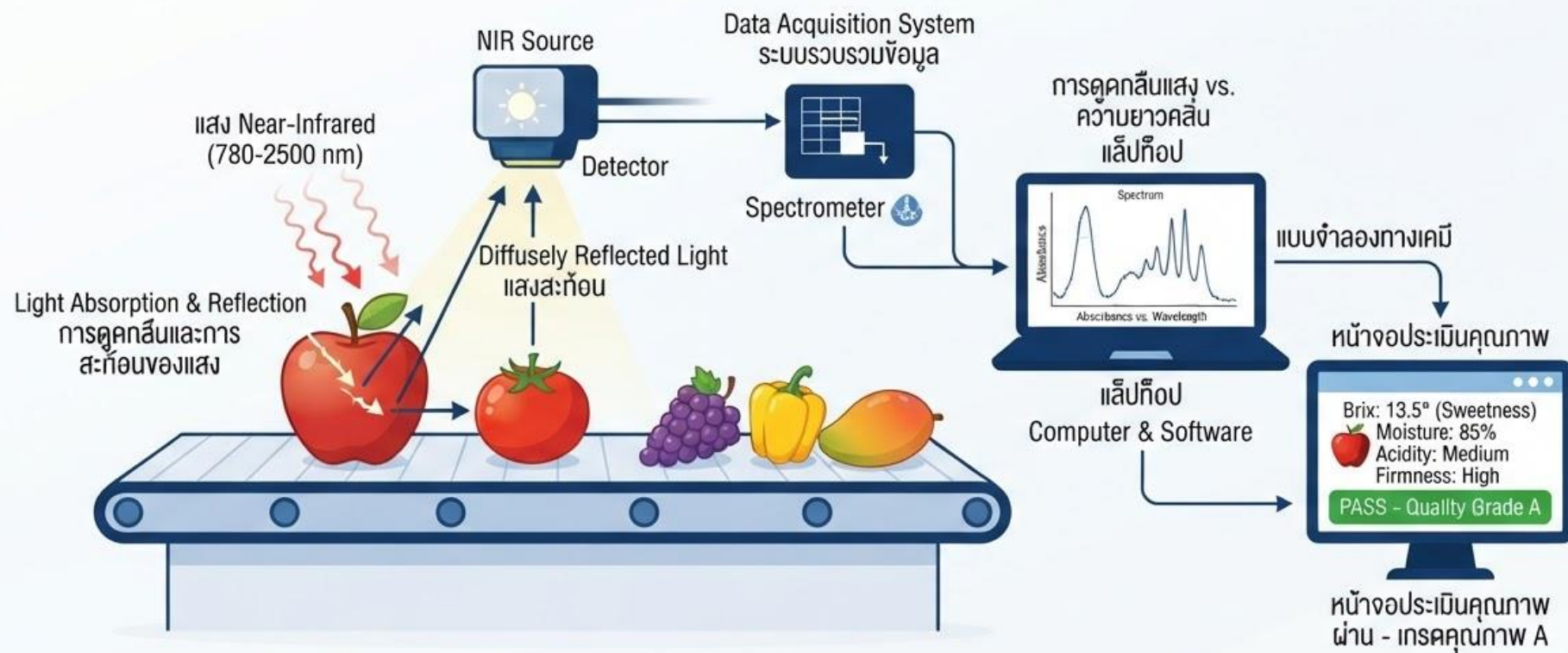
กลไกการสลายตัวของโครงสร้างโปรตีน สารอนุมูล ROS ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับกรดอะมิโนของเอนไซม์ ส่งผลให้เอนไซม์สูญเสียสภาพและหยุดการทำงาน

ทดแทนการล้างสารเคมีฆ่าไฟต์ ช่วยแก้ปัญหการใช้สารต้านการเกิดสีน้ำตาลทางเคมีอย่างสารฆ่าไฟต์หรือกรดแอสคอร์บิกในปริมาณสูง

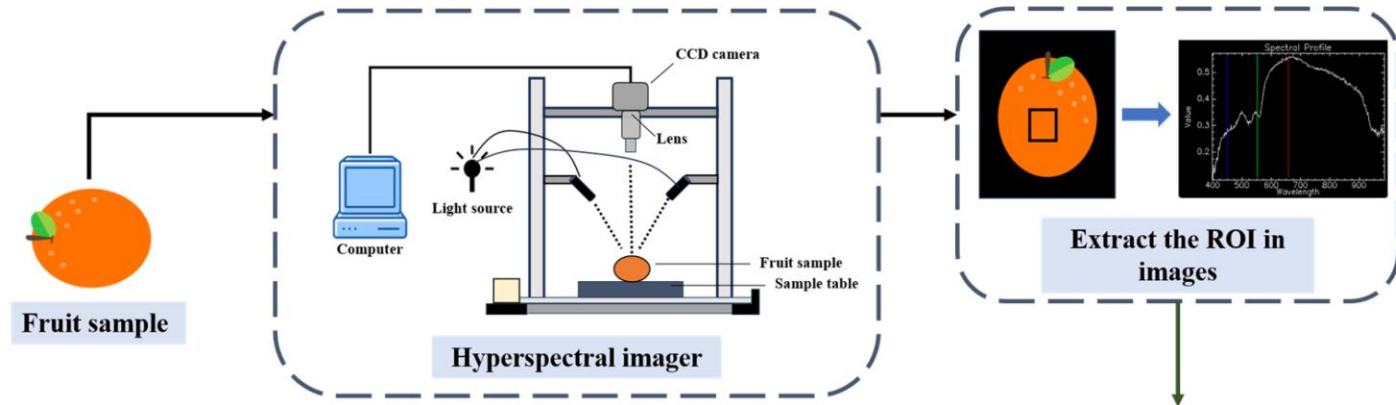
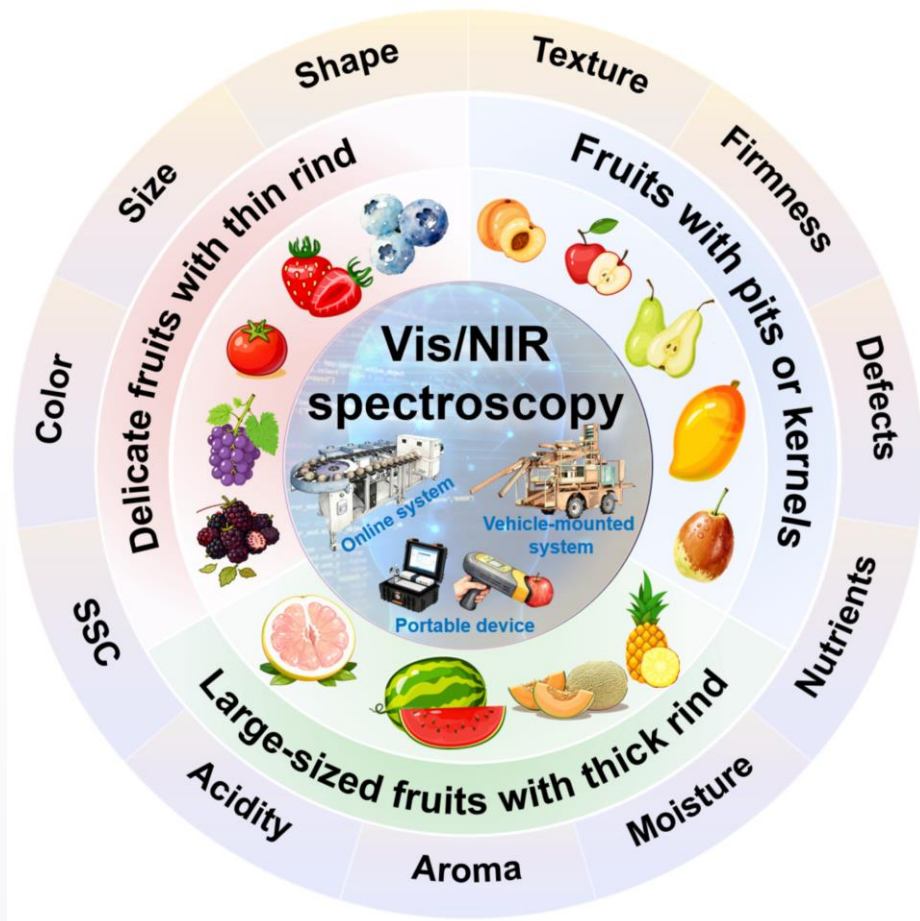


Smart NIR Spectroscopy Sorting

หลักการทำงานของระบบ NIR ตรวจสอบคุณภาพผักและผลไม้

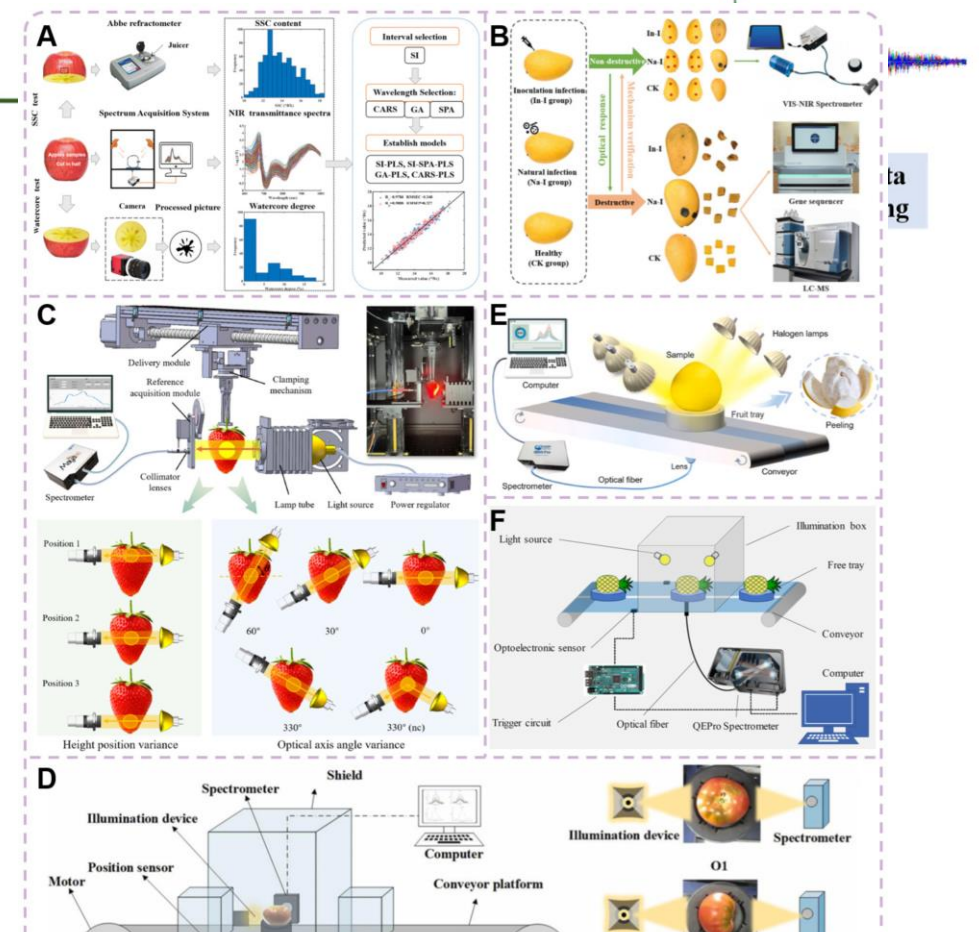


เทคโนโลยี NIR



Model verification

Final outcome

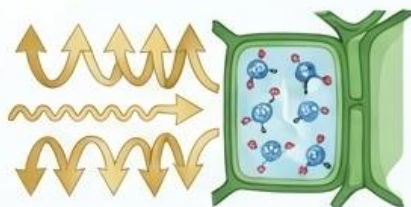


งานวิจัย



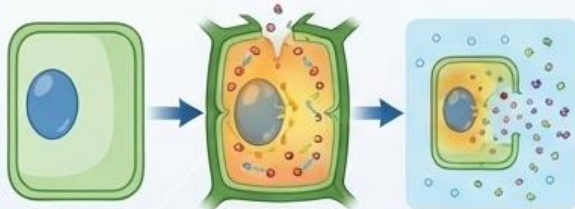
หลักการและกลไกการสกัด

การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ



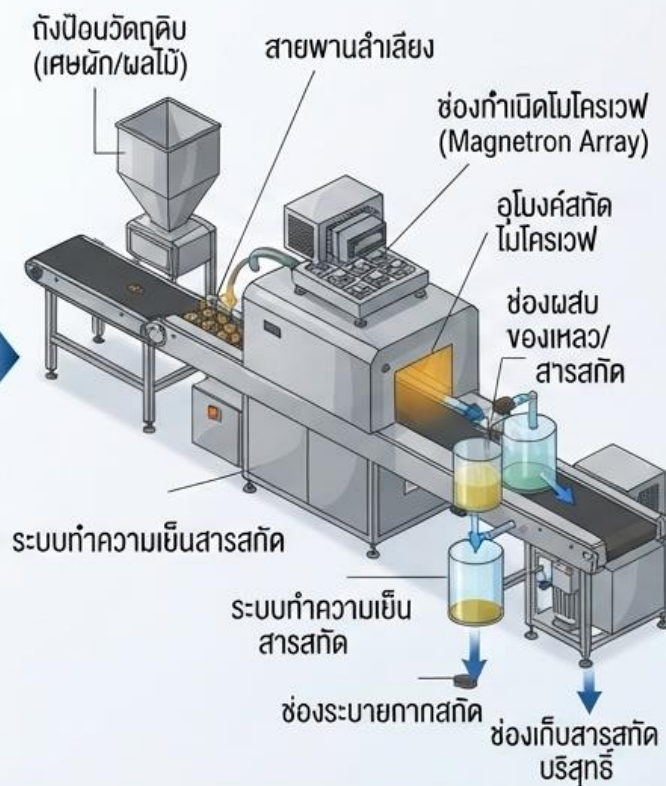
ไมโครเวฟทำให้โมเลกุลมีขั้ว (เช่น น้ำ) สั่นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดความร้อนภายในอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ

การแตกตัวของเซลล์และการปลดปล่อยสาร



ความร้อนและความดันภายในเซลล์ทำให้น้ำในเซลล์แตกออก (Cell Rupture) ปลดปล่อยสารสำคัญออกมาสู่ตัวทำละลาย

ระบบการสกัดด้วยไมโครเวฟ



การประยุกต์ใช้และประโยชน์

สารสำคัญที่สกัดได้

โพลีฟีนอล (Polyphenols):
ต้านอนุมูลอิสระ

เพกติน (Pectin):
สารเพิ่มความหนืด

แคโรทีนอยด์ (Carotenoids):
สีธรรมชาติ

น้ำมันหอมระเหย (Essential Oils):
กลิ่น/รส

ข้อดีของเทคโนโลยี

- 🕒 ใช้เวลาสกัดสั้นลง
- 🧪 ลดการใช้ตัวทำละลาย
- 📈 ได้ผลผลิตและคุณภาพสูงขึ้น
- 🌿 เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

การใช้งานจริง



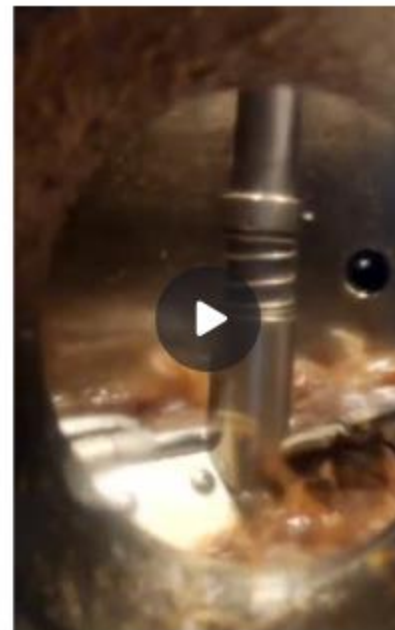
อาหารเสริม (Supplements)



เครื่องสำอาง (Cosmetics)



สารเติมแต่งอาหาร (Food Additives)



ความคุ้มค่าในการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม

A: Nano Bubble/Ozone

ต้นทุน OPEX: ต่ำ (เน้นเฉพาะปั๊มน้ำแรงดันสูงและหัวรีไซเคิล)

จุดเด่นการเงิน: ลดการเปลี่ยนน้ำบ่อยครั้ง ช่วยประหยัดน้ำ

B: Cold Plasma

ต้นทุน OPEX: ต่ำมาก (พลังงานไฟฟ้าต่ำ ปราศจากการใช้สารเคมี)

จุดเด่นการเงิน: ยืดอายุการขนส่งบนเรือ ลดการตีกลับและอัตราของเสีย

C: Smart NIR

ต้นทุน OPEX: ปานกลาง (ค่าบริการซอฟต์แวร์และการปรับตั้งโมเดล)

จุดเด่นการเงิน: สามารถเพิ่มมูลค่าราคาขายของผลไม้เพิ่มขึ้นได้

ขอบคุณครับ