روش های نوین نگهداری مواد غذایی

1

زمان نگهداری مواد غذایی

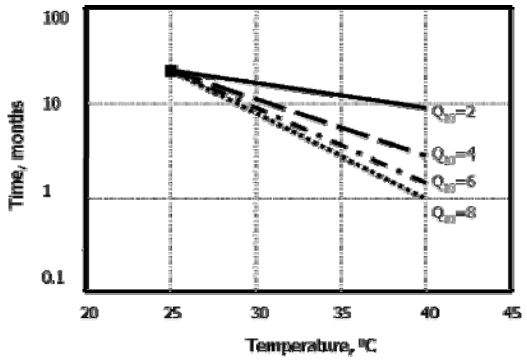
- ✓ زمان ماندگاری (Shelf Life) چیست؟
- ✓ عوامل فساد مواد غذایی
  - ❖ فساد میکروبی
  - ❖ فساد شیمیایی
  - ❖ فساد بیوشیمیایی
  - ❖ فساد فیزیکی

2

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

زمان نگهداری مواد غذایی (ادامه)

- ✓ اثر دما
- ✓ رابطه بین دما و سرعت واکنش

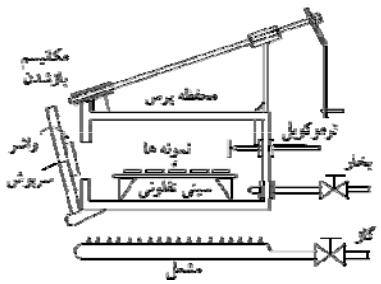


3

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

خشک کن پفکی انفجاری (Explosion- Puff dryer)

- ✓ دسترسی به ویژگیهای مطلوب محصول حاصل از روش تصعیدی
- ✓ سیب، زغال اخته و موز
- ✓ صرفه جویی در مصرف بخار به میزان ٤٤٪

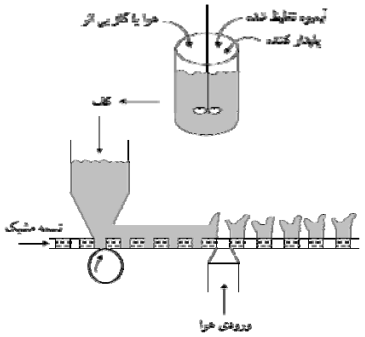


4

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

خشک کن کف پوشی (Foam-mat Dryer)

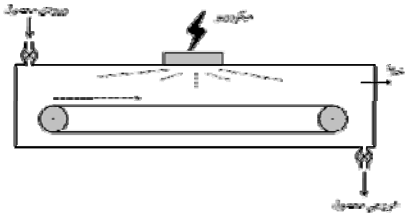
- ✓ خشک کردن محصولات غذایی حساس (آبمیوه های غلیظ شده، پوره‌ها و پالپ میوه‌ها)
- ✓ پایدارکننده: صمغ‌ها و امولسیون کننده‌های گوناگون مانند گلیسرول مونواستئارات و پروپیلن گلیکول مونواستئارات
- ✓ آب گوجه فرنگی، پرتقال، انگور، سیب و آناناس



روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

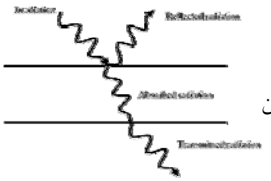
خشک کن مایکروویو

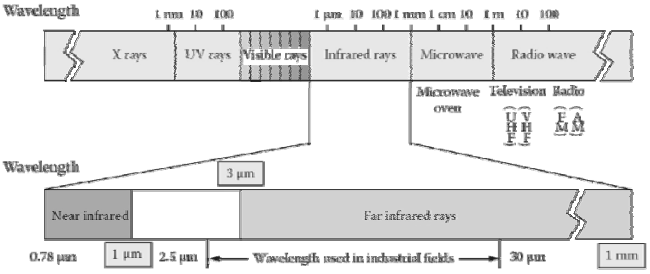
- ✓ چیپس سیب زمینی، نخود فرنگی، پیاز، لوبیا و آب سبزی های غلیظ شده
- ✓ استفاده از چرخش هوای داغ یا خلأ



اشعه مادون قرمز (Infrared)

- ✓ دارای فرکانس زیر نور مرئی
- ✓ سه حالت در اثر برخورد اشعه به مواد غذایی
- ✓ امواج بلند (۳۰ میکرومتر): زمان کمتر نسبت به روشهای متداول
- ✓ امواج متوسط (۳ میکرومتر): خشک کردن، تنوری کردن و پختن
- ✓ امواج کوتاه (۱ میکرومتر): خشک کردن، تنوری کردن و پختن





7

اشعه مادون قرمز (ادامه)

$$Q = \varepsilon \sigma A T^4$$

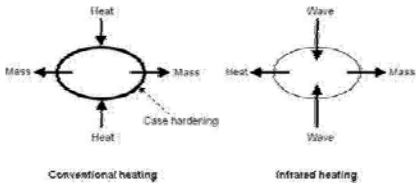
Material	Emissivity
Burnt toast	1.00
Dough	0.85
Water	0.955
Ice	0.97
Lean beef	0.74
Beef fat	0.78
White paper	0.9
Painted metal or wood	0.9
Unpolished metal	0.7–0.25
Polished metal	< 0.05

From Earle (1983) and Lewis (1990)

8

اشعه مادون قرمز (ادامه)

- ✓ عمق نفوذ چند میلی متری
- ✓ اثری مشابه با مایکروویو و امواج فرکانس بالا در مواد غذایی کم ضخامت
- ✓ کاربردها
  - خشک کردن مواد غذایی با رطوبت پایین (برش های نان، حبوبات و چای)
  - خشک کردن ماهی و سبزیجات
  - خشک کردن ماکارونی و برنج
  - حرارت دادن آرد
  - سرخ کردن گوشت (مرحله گرمادهی اولیه)
  - برشته کردن غلات و کاکائو
  - بو دادن قهوه
  - تنوری کردن پیتزا، بیسکوئیت و نان
  - رفع انجماد مواد غذایی



اشعه مادون قرمز (ادامه)

- ✓ تجهیزات مورد استفاده
- ❖ آون
- ❖ رادیاتورها

گرم شونده با گاز (موج بلند)

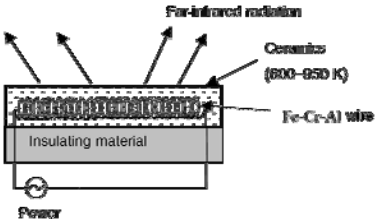
گرم شونده با جریان الکتریکی

هیترهای فلزی مسطح/لوله ای (موج بلند)

هیترهای سرامیکی (موج بلند)

هیترهای لوله کوارتزی (موج متوسط)

هیترهای هالوژنی (موج کوتاه)



اشعه مادون قرمز (ادامه)

مشخصات نشرکننده های مادون قرمز

Parameter	Halogen lamp	Quartz tube	Ceramic element
Heated element	Tungsten filament	Nichrome wire	Fe-Cr-Al wire
Type of wave/intensity	Short wave, high intensity	Medium wave, medium intensity	Medium/long wave, medium/low intensity
Operating temperature (°C)	2200–1600	980–760	700–200
Colour of light	Bright white	Cherry red	No visible light
Peak energy wavelength (μm)	1.15–1.6	2.3–2.8	3.2–6
Radiant heat (%)	72–86	40–60	20–50
Convective heat (%)	28–14	60–40	80–50
Heat up/cool down time	1 s	30 s	5 min
Maximum intensity (kW m^{-2})	70–1800	15–120	15–60

Adapted from Jackson and Welch (1998)

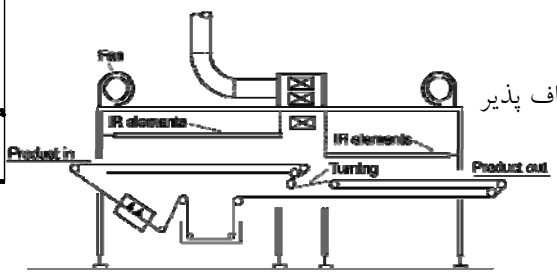
11

اشعه مادون قرمز (ادامه)

✓ کارایی بسیار موثر نسبت به سایر روش ها برای فرآورده های نانوایی

✓ **مزایا:**

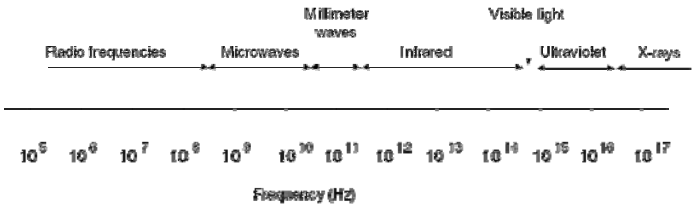
- انتقال حرارت بالا و موثر
- کاهش زمان پخت
- آون های کم حجم و انعطاف پذیر
- تنظیم و کنترل سریع
- قیمت نسبتاً ارزان



12

گرمادهی الکتریکی (امواج الکترومغناطیس)

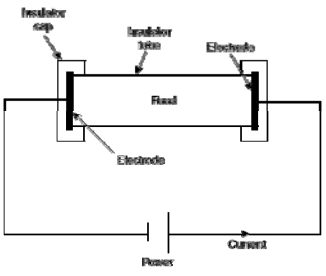
- ✓ انتقال مستقیم انرژی از منبع الکترومغناطیس به مادهٔ غذایی: استفاده زیاد از انرژی
- ✓ سه ناحیهٔ فرکانسی برای گرمادهی مواد غذایی در صنعت
  - ▪ ۶۰/۵۰ Hz: مقاومت الکتریکی
  - ▪ ۶۰-۱۰ MHz: فرکانس بالا (رادیویی)
  - ▪ ۳-۱ GHz: مایکروویو



13

مقاومت الکتریکی (Ohmic Heating)

- ✓ ماده غذایی بخشی از مدار الکتریکی است که از آن جریان متناوب عبور می کند.
- ✓ گرما در ذرات جامد سریع تر از بخش مایع ایجاد می شود.
- ✓ بازدهی حرارت دهی بالاتر از روش مایکروویو و عدم محدودیت در عمق نفوذ

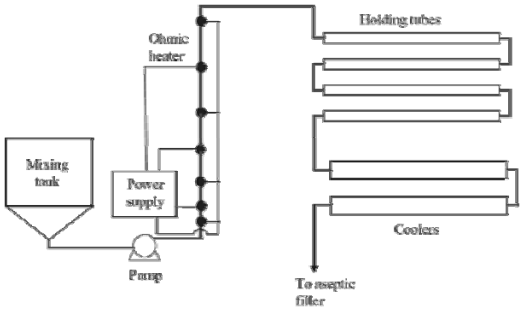


14

مقاومت الکتریکی (ادامه)

✓ تجهیزات:

- بخش گرم کن (ستون حرارت دهی اهمیک)
- منبع تامین برق سه فاز
- لوله های انتقال دهندهٔ ولتاژ
- لوله های نگهدارنده
- قسمت خنک کننده
- قسمت بسته بندی اسپتیک



15

مقاومت الکتریکی (ادامه)

✓ مزایا:

- دست یابی به درجه حرارت بالا در ذرات در مقایسه با مایعات در مخلوط ذرات-مایع
- راندمان انرژی بالا (تبدیل ۹۰٪ از انرژی به گرما)
- سهولت کنترل فرایند
- کاهش هزینه های نگهداری
- کاهش خطر رسوب در سطح انتقال گرما و سوختن فرآورده های غذایی
- حفظ بهتر مواد مغذی و ویتامین ها
- ایمن و بی خطر بودن از لحاظ محیط زیست
- یکنواختی بالاتر در حرارت دهی به مادهٔ غذایی نسبت به روش مایکروویو

16

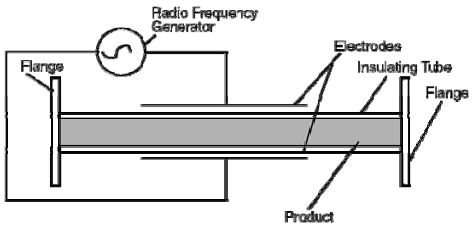
مقاومت الکتریکی (ادامه)

- ✓ کاربردها:
  - فرآوری اسپتیک غذاهای آماده جهت نگهداری و توزیع در دمای محیط
  - پاستوریزه کردن محصولات غذایی حاوی ذرات جامد به منظور داغ پُرکردن
  - گرمایش مقدماتی محصولات پیش از استریلیزه کردن در قوطی
  - تولید بهداشتی غذاهای آماده برای نگهداری و توزیع در دماهای یخچالی
- ✓ معایب:
  - نیاز به قابل پمپ بودن محصول

17

فرکانس بالا (رادیویی)

- ✓ گرمایش در قسمت مگاهرتز از طیف الکترومغناطیس
- ✓ فرکانس های کاربرد صنعتی (۱۲، ۱۳، ۲۷ و ۵۶ مگاهرتز)
- ✓ ترکیبی از حرارت دهی دوقطبی و مقاومت الکتریکی

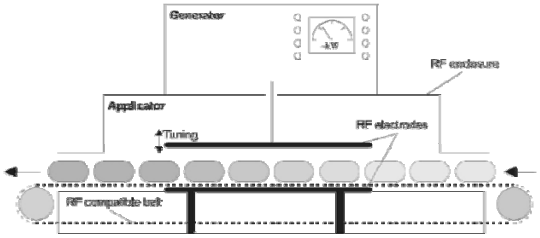


18

فرکانس بالا (ادامه)

✓ تجهیزات:

- الکترودها
- منبع انرژی
- تقویت کننده



19

فرکانس بالا (ادامه)

✓ کاربردها:

- مراحل پس از پخت بیسکوئیت، غلات و مواد خمیری
- رفع انجماد (گوشت و ماهی): قابل مقایسه با روش مایکروویو
- خشک کردن مواد غذایی (سیب زمینی سرخ شده)

✓ مزایا:

- دانش و کنترل آسان تر، هزینه سرمایه گذاری کمتر، ساختار ساده تر و عمق نفوذ بیشتر نسبت به روش مایکروویو
- عدم نیاز به تماس الکترود با مادهٔ غذایی (بر خلاف روش مقاومت): قابل کاربرد برای مواد جامد

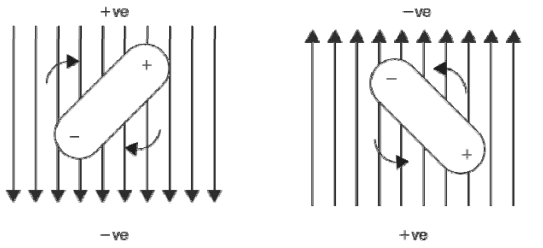
✓ معایب:

- گران تر بودن تجهیزات و هزینه عملیاتی نسبت به روش مقاومت الکتریکی

20

مایکروویو

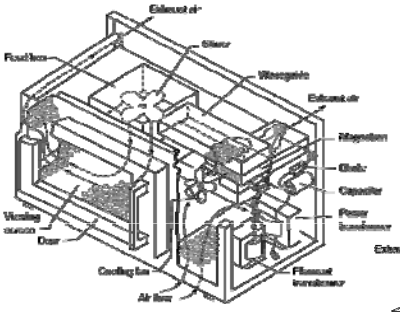
- ✓ فرکانس های ۳۰۰GHz–۳۰۰MHz از طیف الکترومغناطیس
- ✓ ۹۱۵ MHz (۳٤ cm) و ۲٤٥۰MHz (۱۲cm)
- ✓ همسو کردن دو قطبی ها با میدان
- ✓ دریافت انرژی مشابه بخش های داخلی و خارجی
- ✓ عمق نفوذ محدود (۲cm–۱)

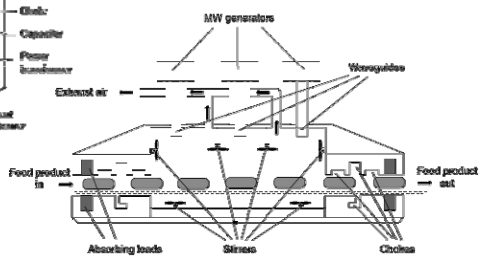


21

مایکروویو (ادامه)

- ✓ منبع تغذیه: دریافت انرژی الکتریکی و تبدیل آن به ولتاژ بالا
- ✓ مگنترون (Magnetron): نشر انرژی تشعشی با بسامد بالا
- ✓ انتقال دهنده امواج (هادی موج)
- ✓ فن
- ✓ محفظه آون یا تونل



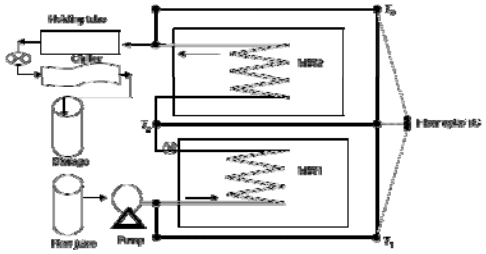


22

مایکروویو (ادامه)

✓ کاربردها:

- تسریع در پختن (کیک، نان و شیرینی) و کاهش میزان جذب چربی
- تسریع در خشک کردن (غلات، محصولات خمیری، پیاز و چیپس سیب زمینی)
- تسریع در رفع انجماد
- پاستوریزه و استریلیزه کردن (شیر، آب میوه ها، ماست و ...)



23

مایکروویو (ادامه)

✓ مزایا:

- سرعت گرمادهی بالا
- صرفه جویی در زمان
- گرمادهی حجمی به جای گرمادهی سطحی

✓ معایب:

- دشوار بودن کنترل یکنواختی گرمادهی
- خطر آسیب به کارکنان در صورت نشت
- هزینهٔ بالای انرژی به کار گرفته شده

24

فشار بالا (High-pressure)

- ✓ استفاده از فشار بالا: ۸۰۰۰–۳۰۰۰ بار
- ✓ اولین بار در دهه ۹۰ برای پاستوریزه کردن غذاهای اسیدی
- ✓ پیشرفت کند کاربردی بودن آن
- ✓ میوه جات، آب مرکبات، مرباها، سس ها، ماست و گوشت

25

فشار بالا (ادامه)

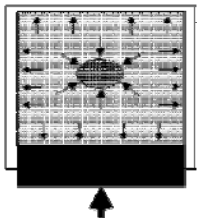
Country/product	Processing conditions	Role of HHP
Japan		
Fruit-based products (jams, sauces, purées, yoghurts	400 MPa, 10–30 min, 20 °C	Pasteurisation, improved gelation, faster sugar penetration, limited residual pectin methylesterase activity
Grapefruit juice,	200 MPa, 10–15 min, 5 °C	Reduced bitterness
Sugared fruits for ice cream/sorbets	50–200 MPa	Faster sugar penetration and water removal
Raw pork ham	250 MPa, 3 hours, 20 °C	Faster maturation, (reduced from 2 weeks to 3 hours), faster tenderisation by endogenous proteases, improved water retention and shelf-life
Fish sausages, terrines and 'pudding'	400 MPa	Gelation, microbial reduction, improved gel texture
Rice wine	–	Yeast inactivated to stop fermentation without heating
Rice cake, hypoallergenic precooked rice	400–600 MPa, 10 min, 45 or 70 °C	Microbial reduction, fresh taste/flavour, enhanced rice porosity and salt extraction of allergenic proteins
Europe		
Fruit juices	400 MPa, room temperature	Inactivation of microflora (up to 10^6 CFU/g), partial inactivation of pectin methylesterase
Sliced processed ham	400 MPa, few min, room temperature	–
Squeezed orange juice	500 MPa, room temperature	Yeast and enzyme inactivation, retained natural taste
USA		
Avocado paste (guacamole, salsa)	700 MPa, 10–15 min, 20 °C	Microbial inactivation and polyphenol oxidase inactivation
Oysters	300–400 MPa, 10 min, room temperature	Microbial inactivation, raw taste/flavour retained, shape and size retained

26

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

فشار بالا (ادامه)

- ✓ عدم وابستگی به زمان و جرم برخلاف روش حرارتی و زمان کوتاه فرایند

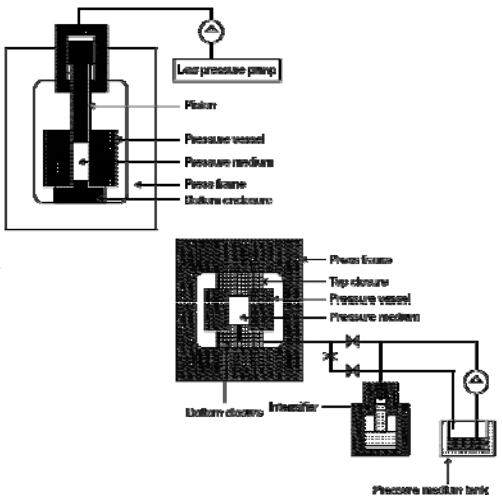


- ✓ مکانیسم از بین رفتن میکروارگانیسم ها: نفوذ پذیری غشاء سلولی و تغییر ساختار
- ✓ غیر فعال شدن سلولهای رویشی در فشار ۳۰۰۰ بار
- ✓ اسپورها: فشار ۶۰۰۰ بار و درجه حرارت ۷۰-۶۰ درجه سانتیگراد
- ✓ موثرتر بودن فشار پالسی یا نوسانی نسبت به فشار مداوم
- ✓ غیر فعال شدن برخی از آنزیم ها در فشار ۳۰۰۰ بار

27

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

فشار بالا (ادامه)



- ✓ تجهیزات:
  - محفظه فشار و درپوش آن
  - سیستم تولید فشار
    - روش مستقیم
    - روش غیر مستقیم
  - سیستم کنترل درجه حرارت
  - سیستم حمل و نقل مواد

28

فشار بالا (ادامه)

- ✓ فرآوری مواد غذایی بسته بندی شده (کم بودن یا فقدان .H.S)
  - مزایا: تمیز کردن آسان، خطر آلودگی ثانویه پایین و قابل کاربرد برای تمام مواد غذایی
  - معایب: انعطاف پذیری پایین در انتخاب ظرف
- ✓ فرآوری مواد غذایی قبل از بسته بندی
  - مزایا: انتقال ساده تر و قابلیت انعطاف پذیری بیشتر در انتخاب ظرف
  - معایب: قابل کاربرد برای مواد غذایی قابل پمپ و نیاز به بسته بندی اسپتیک

❖ معایب روش فشار بالا

- هزینه سرمایه گذاری و تولید بالا
- مشکل فنی نصب لوله های مقاوم به فشار بالا

29

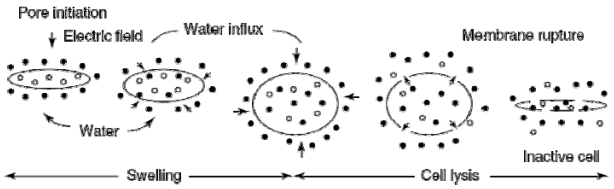
فشار بالا (ادامه)

- ✓ کاربردها:
  - برنج پیش پز شده برای آماده سازی با مایکروویو
  - افزایش سرعت جذب آب و کاهش زمان پخت لوبیا
  - بلانچ کردن سبزیها
  - ترد کردن گوشت
  - رفع انجماد (بسیار سریع و بدون تغییر دما)
  - حذف طعم پخته از گوشت ها

30

پالس الکتریکی (Pulsed electric)

- ✓ استفاده از میدان الکتریکی با قدرت ۱۵–۳۰ kv/cm
- ✓ استفاده از میدان الکتریکی با پالس کوتاه (۱۰۰–۱ میکروثانیه)



- ✓ مکانیسم نابود شدن میکروارگانیسم ها
  - تشکیل خلل و فرج در غشاء های سلولی و در نهایت پاره شدن سلول ها
  - فرآورده های الکترولیز و رادیکال های آزاد حاصل از مادهٔ غذایی
  - نقصان در فرایندهای متابولیک سلولی
  - گرمای بوجود آمده در اثر تغییر شکل انرژی القایی

31

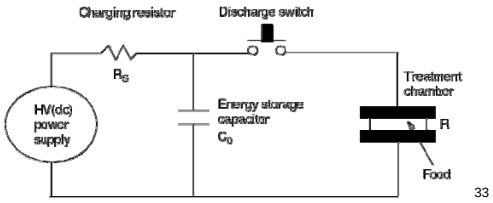
Micro-organism	Log reduction (*D*)	Process conditions				Media
		Field intensity ($kV\ cm^{-1}$)	Temp-erature (°C)	No. of pulses	Duration of pulses (μs)	
Bacillus subtilis spores ATCC 9372	5.3	3.3 V μm^{-1}, 4.3 Hz, exponential decay	<5.5	30	2	Pea soup
Escherichia coli	3	28.6	42.8	23	100	Milk
Escherichia coli	3.5	5.0 V μm^{-1}, square wave	<30	48	2	Skim milk
Escherichia coli	6	25.8	37	100	4	Liquid egg
Listeria innocua	2.6	50 at 3.5 Hz, exponential decay	15–28	100	2	Raw skim milk (0.2% milkfat)
Listeria monocytogenes	3.0–4.0	30 at 1700 Hz, bipolar pulses	10–50	400	1.5	Pasteurised whole milk (3.5% milkfat), 2% milk (2% milkfat), skim milk (0.2%)
Pseudomonas fluorescens	2.7	50 at 4.0 Hz, exponential decay	15–28	30	2	Raw skim milk (0.2% milkfat)
Saccharomyces cerevisiae	4.0	1.2 V μm^{-1}, exponential decay	4–10	6	90	Apple juice
Salmonella dublin	3.0	15–40	10–50	–	12–127	Skim milk
Salmonella dublin	3	36.7	63	40	100	Milk
Yersinia enterocolitica	6.0–7.0	75	2–3	150–200	500–1300 ns	NaCl solution pH = 7.0
Natural microflora	3	33.6–35.7	42–65	35	1–100	Orange juice
Natural microflora	≈5	6.7	45–50	5	20	Orange juice

32

پالس الکتریکی (ادامه)

- ✓ عدم تاثیر بر روی اسپورها و اثر محدود بر فعالیت آنزیم ها
- ✓ یک فرایند کاملاً غیر حرارتی نیست

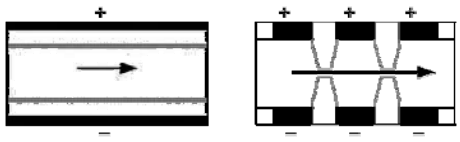
enzymes	% reduction in activity	Process conditions				Media
		Field intensity ($kV\,cm^{-1}$)	Temp-erature (°C)	No. of pulses	Duration of pulses (μs)	
Alkaline phosphatase	65	18–22	22–49	70	0.7–0.8	Raw milk, 2% milk, non-fat milk
Lipase, glucose oxidase	70–85	13–87, instant charge reversal pulses	–	30	2	Buffer solutions
Amylase, peroxidase, phenol oxidase	30–40					

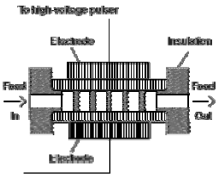


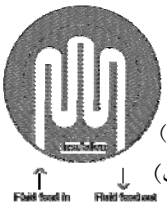
33

پالس الکتریکی (ادامه)

- ✓ تجهیزات:







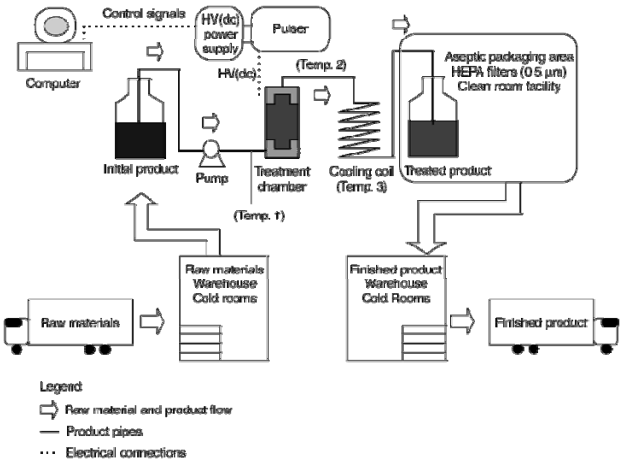
- منبع مستقیم ولتاژ بالا (تولید کنندهٔ پالس)
- یک ردیف خازن
- کلید برای تخلیه انرژی ذخیره شده
- محفظه واکنش

محفظه ثابت (کارهای آزمایشگاهی) و مداوم (صنعت)

- پروب ها (ولتاژ، جریان برق و درجه حرارت)
- خنک کنندهٔ محفظه
- تجهیزات بسته بندی اسپتیک

34

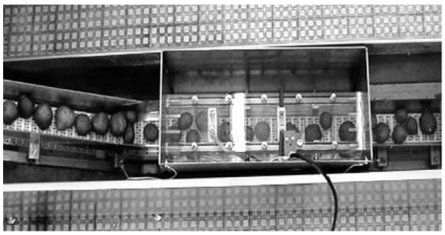
پالس الکتریکی (ادامه)



پالس الکتریکی (ادامه)

✓ کاربردها:

- پاستوریزه کردن شیر بدون چربی (۱۴-۱۰ روز): عدم کاربرد وسیع
- پاستوریزه کردن تخم مرغ مایع کامل (٤ هفته)
- فرآوری عصاره پرتقال (٦ هفته)
- فرآوری عصارهٔ سیب (٤-۳ هفته در ٤ درجهٔ سانتیگراد)
- فرآوری سیب زمینی



پالس الکتریکی (ادامه)

✓ معایب:

- عدم کاربرد برای مواد غذایی حساس به تجزیه دی الکتریک (مایعات)
- عدم کاربرد برای مواد غذایی حاوی کف
- هزینه سرمایه گذاری بالا نسبت به سیستم های متداول گرمادهی (۲ برابر)

✓ مزایا:

- مصرف انرژی کمتر (تا ۹۰٪ در آب سیب)

37

تشعشع (Irradiation)

- انتشار و پراکنش انرژی در فضا
- اهمیت اشعه الکترومغناطیس در مواد غذایی

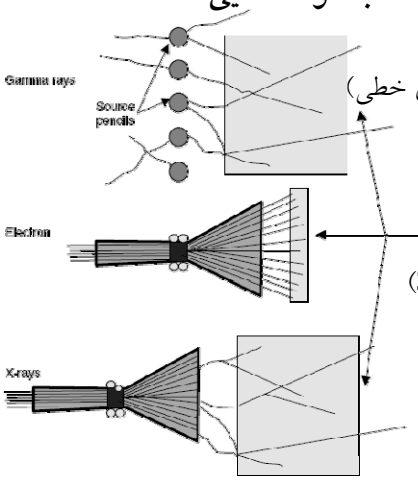
Regions	Quantity in tons	Percentage, %
"Asia and Oceania"	183.309	45
"America"	116.400	29
"Africa, Ukraine and Israel"	90.035	22
"Europe"	15.060	4
Total	404.804	100

Food items	Quantity in tons	Percentage, %
"Spices and dry vegetables"	186.000	45
"Garlic and potato"	88.000	22
"Grains and fruits"	82.000	20
"Meat and seafood"	33.000	8
"Others"	17.000	4
Total	406.000	100

38

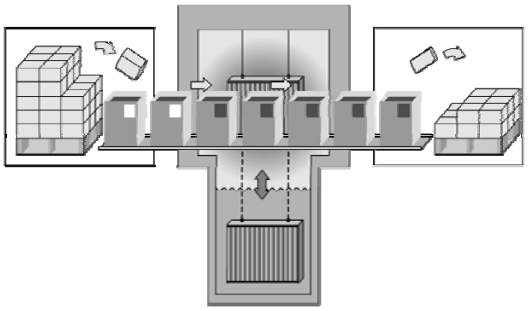
تشعشع (ادامه)

- ✓ **تکنیک های رایج در تاباندن اشعه به مواد غذایی**
  - اشعه گاما (کبالت ٦٠ و سزیم ١٣٧)
  - پرتوهای الکترونی (شتاب دهنده های خطی)
  - پرتو X
- ✓ **انواع تشعشع یونیزه**
  - Radappertization (30-40 KGy)
  - Radicidation (2.5-10 KGy)
  - Radurization (0.8-2.5 KGy)



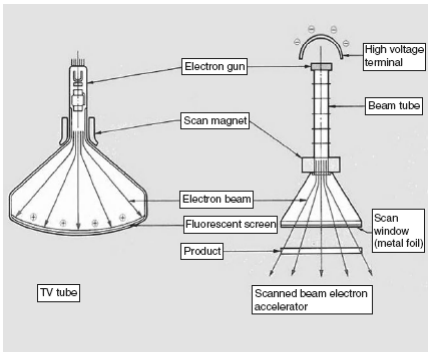
39

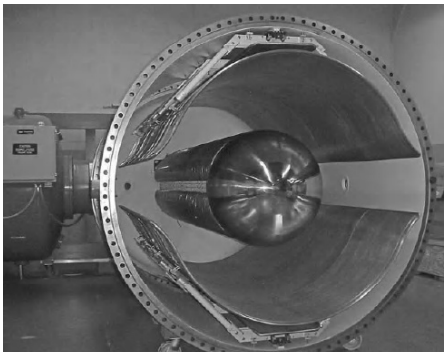
تشعشع (ادامه)



40

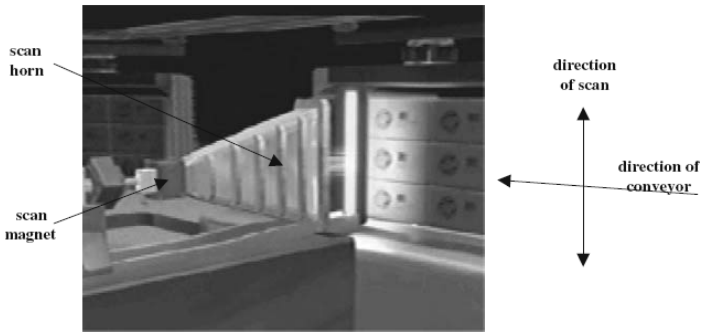
تشعشع (ادامه)





41

تشعشع (ادامه)



42

تشعشع (ادامه)

Application	Dose range (kGy)	Examples of foods
Low dose (up to 1 kGy):		
Inhibition of sprouting	0.05–0.2	Potatoes, garlic, onions, root ginger, yam
Disinfestation (e.g. arthropods)	0.1–0.5	Fruits, grains, flours, cocoa beans, dry foods (e.g. fruits, meats, fish)
Delay ripening	0.2–1.0	Fresh fruits and vegetables
Inactivation/control of parasites	0.3–1.0	Pork meat, fresh fish
Medium dose (1–10 kGy):		
Extension of shelf-life	1–3	Strawberries, fresh fish and meat at 0–4 °C, mushrooms
Destruction of parasites	1–8	Meats
Control of moulds	2–5	Extended storage of fresh fruit
Destruction of pathogens and spoilage micro-organisms	2.5–10	Spices, raw or frozen poultry, meat, shrimps
High dose (>10 kGy):		
Sterilisation of foods	7–10	Herbs, spices, meat, poultry, seafoods
Decontamination of food additives	10–50	Enzyme preparations, natural gums
Sterilisation of packaging materials	10–25	Wine corks
Sterilised hospital diets	30–50	Ready meals

43

تشعشع (ادامه)

Microorganism	D_{10}* (kGy)
Pathogenic bacteria:	
Aeromonas hydrophila	0.04–3.40
Bacillus cereus (vegetative cell)	0.02–0.58
B. cereus (spores)	1.25–4.00
Campylobacter jejuni	0.08–0.32
Clostridium botulinum (spores)	0.41–3.20
C. perfringens (vegetative cell)	0.29–0.85
Escherichia coli	0.23–0.45
E. coli O157:H7	0.24–0.47
Listeria innocua	0.638
Listeria monocytogenes	0.25–0.77
L. monocytogenes (NADC 2045 Scott A)	0.447
L. monocytogenes (NADC 3518)	0.372
Salmonella	0.37–0.80
S. typhimurium	0.371–0.697
Staphylococcus aureus	0.26–0.45
Yersinia enterocolitica	0.04–0.39
Vibrio	0.08–0.44
V. parahaemolyticus	0.03–0.04
Spoilage bacteria	
Clostridium sporogenes	2.30–10.90
Micrococcus radiodurans	12.70–14.10
Moraxella phenylpyruvica	0.63–0.88
Pseudomonas putida	0.08–0.11
Sporolactobacillius inllinus (spores)	2.10–2.58
S. inulinus (vegetative cells)	0.35–0.53
Streptococcus faecalis	0.65–0.70
Viruses	2.02–8.10

D_{10}* = radiation dose required to eliminate 90% of a microbial population (one logarithmic cycle reduction).

44

تشعشع (ادامه)

✓ تیمارهای قبل از اشعه دادن:

- انتخاب مواد غذایی
- تمیز کردن مواد غذایی
- بسته بندی مواد غذایی
- آنزیم بری یا فرایند حرارتی

✓ کاربردهای اشعه:

- استریل کردن ادویه ها
- ممانعت از جوانه زنی سیب زمینی و پیاز
- از بین بردن حشرات (غلات، میوه ها، آرد و مواد غذایی خشک)
- نگهداری طولانی مدت میوه جات با کنترل کپک ها
- تخریب پاتوژن ها در میگو، گوشت قرمز و طیور منجمد

45

روش های نوین نگهداری مواد غذایی

تشعشع (ادامه)

Comparison of vitamin contents of heat sterilised and irradiated (58 kGy at 25°C) chicken meat

Vitamin	Vitamin concentration (mg/kg dry weight)[a]		
	Frozen control	Heat sterilised	γ-irradiated
Thiamin HCl	2.31	1.53[b]	1.57[b]
Riboflavin	4.32	4.60	4.46
Pyridoxine	7.26	7.62	5.32
Nicotinic acid	212.9	213.9	197.9
Pantothenic acid	24.0	21.8	23.5
Biotin	0.093	0.097	0.098
Folic acid	0.83	1.22	1.26
Vitamin A	2716	2340	2270
Vitamin D	375.1	342.8	354.0
Vitamin K	1.29	1.01	0.81
Vitamin B_{12}	0.008	0.016[c]	0.014[c]

46

تشعشع (ادامه)

✓ معایب:

- هزینهٔ سرمایه گذاری بالا
- ایجاد تغییرات در مواد غذایی:
- ایجاد تغییرات حسی در فرآورده های دریایی و گوشت به علت حساسیت پروتئین های غذایی آنها به اشعه
- نرم شدگی و تغییر رنگ برخی میوه ها
- طعم نامطلوب در شیر
- عدم دید مثبت مصرف کنندگان به مواد غذایی فرآوری شده با اشعه

47

تشعشع (ادامه)

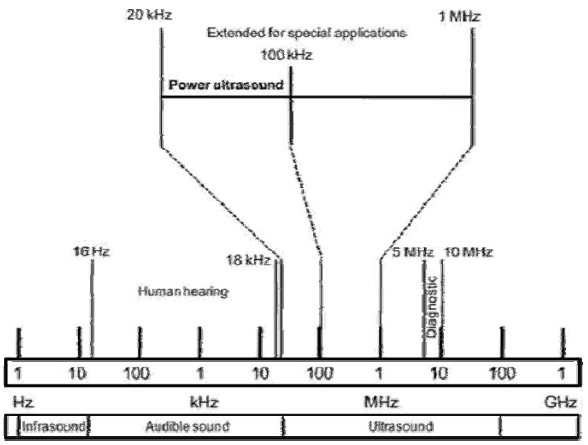
Application	Dose range (kGy)	Examples of foods	Countries with commercial processing
Sterilisation	7–10	Herbs, spices	Belgium, Canada, Croatia, Czech Republic, Denmark, Finland, Israel, Korea (Rep.), Mexico, South Africa, USA, Vietnam
	Up to 50	Long-term ambient storage of meat (outside permitted dose)	None
Sterilisation of packaging materials	10–25	Wine corks	Hungary
Destruction of pathogens	2.5–10	Spices, frozen poultry, meat, shrimps	Belgium, Canada, Croatia, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Iran, Netherlands, South Africa, Thailand, Vietnam
Control of moulds	2–5	Extended storage of fresh fruit	China, South Africa, USA
Extension of chill life from 5 days to 1 month	2–5	Soft fruit, fresh fish and meat at 0–4°C	China, France, Netherlands, South Africa, USA
Inactivation/control of parasites	0.1–6	Pork	–
Disinfestation	0.1–2	Fruit, grain, flour, cocoa beans, dry foods	Argentina, Brazil, Chile, China
Inhibition of sprouting	0.1–0.2	Potatoes, garlic, onions	Algeria, Bangladesh, China, Cuba

48

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

فراصوت (Ultrasound)

- ✓ امواجی نظیر امواج صدا با فرکانس بالاتر از دامنهٔ شنوایی انسان (۱۸KHz–(۵)۵۰۰MHz)
- ✓ LIU
- ✓ HIU



49

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

فراصوت (ادامه)

■ LIU:

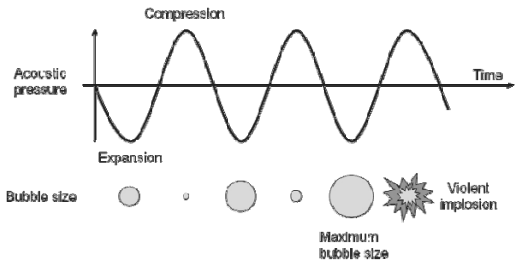
- تشخیص مواد خارجی
- اندازه گیری درجه حرارت
- تشخیص تعداد و مقدار یک ماده
- تعیین ضخامت
- تعیین ترکیب
- اندازه گیری سرعت جریان مواد

50

فراصوت (ادامه)

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

- ✓ HIU:
- ✓ ایجاد حفرگی (Cavitation) در مایعات: تخریب ساختار سلولی



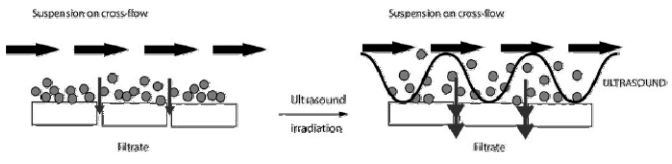
51

فراصوت (ادامه)

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

- ■ HIU:

- رفع گرفتگی صافی ها

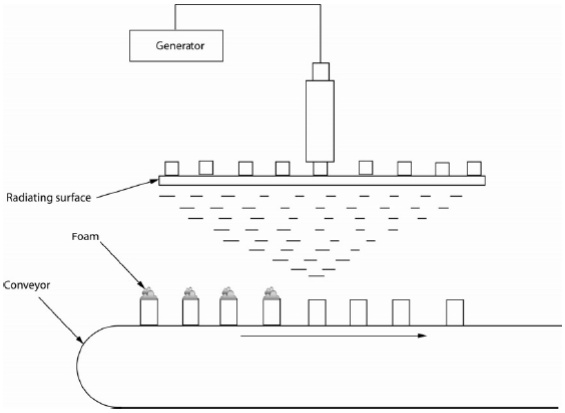


52

فراصوت (ادامه)

■ HIU:

- کف زدایی

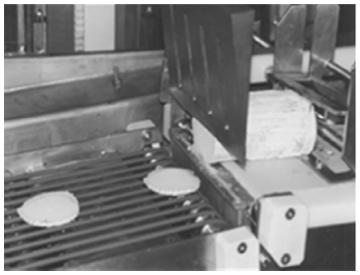


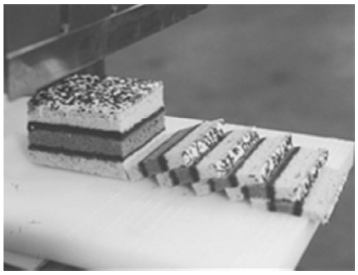
53

فراصوت (ادامه)

■ HIU:

- برش زدن محصول



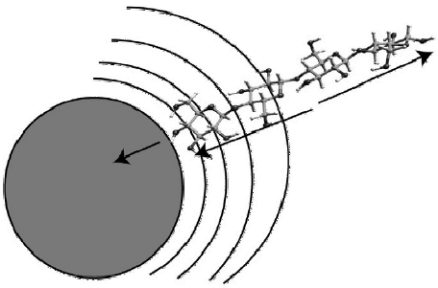


54

فراصوت (ادامه)

■ HIU:

- پلیمرزدایی

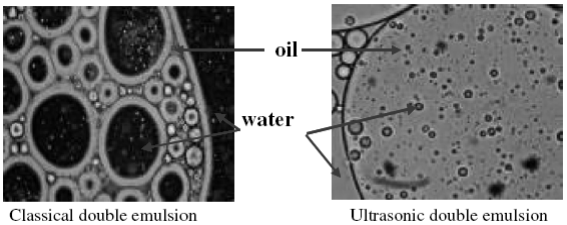


55

فراصوت (ادامه)

■ HIU:

- تولید امولسیون و هموژن سازی



Classical double emulsion — Ultrasonic double emulsion

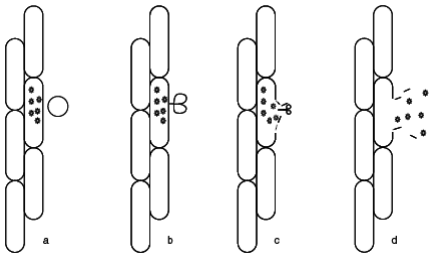
56

فراصوت (ادامه)

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

■ HIU:

- استخراج مواد



57

فراصوت (ادامه)

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

✓ پاستوریزه و استریلیزه کردن مواد همراه با دما (Thermosonication)

✓ استفاده از فشار (Mano-thermo-sonication)

- ایجاد حفرگی در دماهای بالاتر
- ۱۰ برابر گرمادهی فراصوتی غیر فشاری

58

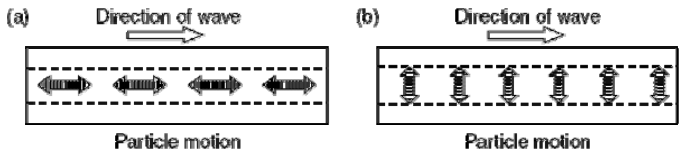
فراصوت (ادامه)

(HIU)

Application	Description
Anti-microbial Effects	Microbial destruction, microbial removal from surfaces
Heat transfer	Increase the rate of freezing, thawing, and cooking
Mass transfer	Increase the rate of mass transfer in drying (solid, liquid, and osmotic drying), brining, membrane separation, dewatering, and bed filtration
Meat processing	Meat tenderisation
Homogenization, emulsification and encapsulation	Homogenise and emulsify milk, mayonnaise
Fermentation and aging	Increase rate of fermentation and aging (e.g., wine)
Crystallization	Control of nucleation and crystal growth
Cutting	Cut fresh and frozen food products, including composite or multilayer foods
Defoaming, defrothing, and degassing	Defoam carbonated drinks, beer and other liquids during canning; defoam microbial fermenters; remove dissolved gasses from liquids
Cell disruption and extraction	Enhance extraction of compounds (e.g., enzymes, proteins, fruit juices, essential oils)
Enzyme activity and protein denaturation	Enzyme inactivation; protein denaturation; enhance enzyme activity
Polymerisation and depolymerisation	Polymerisation and depolymerisation of polymers

59

فراصوت (ادامه)



(a) longitudinal waves, (b) transverse (shear) waves

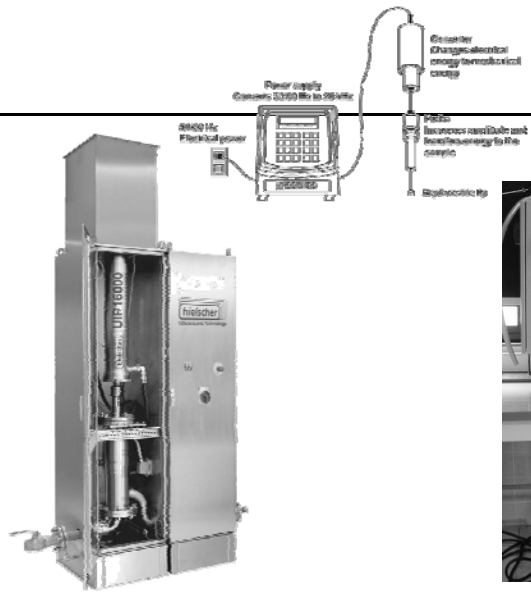
60

فراصوت (ادامه)

Material	Wave Type	State	Velocity (m/s)
Air	Longitudinal	Gas, 20°C	344
Aluminum	Longitudinal	—	6374
	Transverse	—	3111
Water	Longitudinal	Water vapor	500
		Water, 25°C	1498
		Ice	3760
	Transverse	Ice	2000
Orange juice [69]	Longitudinal	Liquid, 20°C	1540
		Frozen, −20°C	3310
Beef (direction of ultrasound signal either parallel or perpendicular to muscle fiber orientation) [101]	Longitudinal	Warm, 37°C	
		Perpendicular	1595
		Parallel	1605
		Chilled, 0°C	
		Perpendicular	1525
		Parallel	1531
		Frozen, −9°C	
		Perpendicular	2870
		Parallel	2930
Fat content of meat mixtures [8]	Longitudinal	100% Lean meat	1543
		50% Lean meat/50% fat	1584
		100% Fat	1617
Olive oil [102]	Longitudinal	Liquid, 60°C	1490
		Solid, −30°C	1990

61

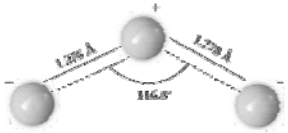
فراصوت (ادامه)



62

کاربرد ازن در صنایع غذایی (Ozone)

- ✓ (CAS No. 10028-15-6)
- ✓ گاز بی رنگ، بوی تند، بسیار خورنده و سمی
- ✓ بسیار ناپایدار، ۲۰-۳۰ دقیقه (در حالت محلول در آب مقطر ۲۰°C) و ۱۲ ساعت در هوا در همان دما
- ✓ عدم وجود بقایای شیمیایی برخلاف سایر ضدعفونی کننده ها (کلر، ید و ...)
- ✓ به عنوان یک روش غیرحرارتی



Oxidizing agent	Oxidation potential (mV)
Ozone	2.07
Permanganate	1.67
Chlorine dioxide	1.50
Hypochlorus acid	1.49
Chlorine gas	1.36

63

کاربرد ازن در صنایع غذایی (ادامه)

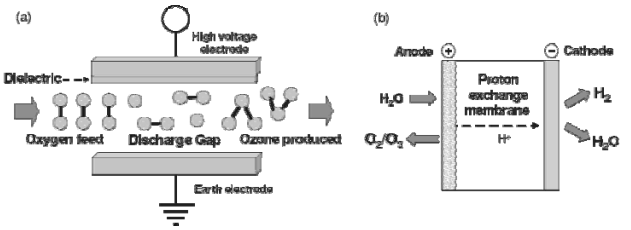
Physical properties	Value
Boiling point, °C	−111.9
Density, kg/m^3	2.14
Heat of formation, kJ/mole	144.7
Melting point, °C	−192.7
Molecular weight, g/mole	47.9982
Oxidation strength, V	2.075
Solubility in water, ppm (at 20°C)	3
Specific gravity	1.658

- ✓ ویژگی های مهم اکسیژن آزاد:
  - اثر سمی روی میکروارگانیسم ها
  - اکسید کردن تعداد زیادی از ترکیبات شیمیایی (تبدیل به مواد غیرسمی)

64

کاربرد ازن در صنایع غذایی (ادامه)

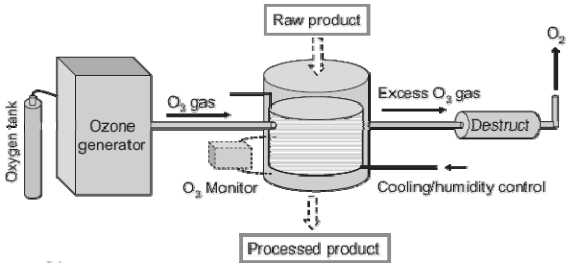
- ✓ تولید ازن برای کاربردهای صنعتی در محل استفاده
- ✓ روش های تولید ازن: شیمیایی، فتوشیمیایی، حرارتی، الکترولیت، الکتروشیمی و ....
- ✓ تولید غلظت پایین ازن (۰/۰۳ ppm): واکنش اکسیژن با لامپ UV (۱۸۵ نانومتر)
- ✓ برای تولید مقادیر زیاد ازن در مقیاس صنعتی:
  - سیستم های تخلیه الکتریکی (تخلیه کرونا-شکل a): ۱۶٪
  - روش الکتروشیمیایی: الکترولیز آب به اتم های هیدروژن و اکسیژن (شکل b): ۱۴-۱۲٪



65

کاربرد ازن در صنایع غذایی (ادامه)

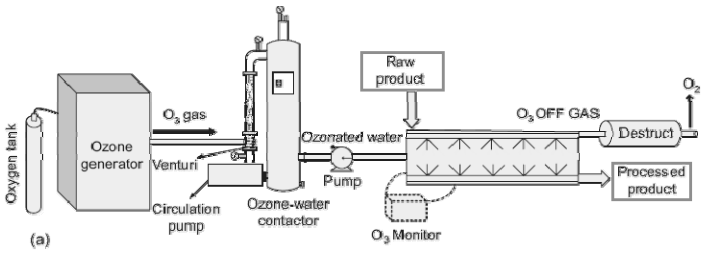
- ✓ ازن گازی: ضدعفونی کردن انبارها
  - جلوگیری از گسترش باکتری، مخمر و کپک در سطح مواد غذایی
  - کنترل حشرات
  - تجزیه مایکوتوکسین
  - حذف بوهای نامطلوب تولید شده توسط باکتری ها
  - حذف شیمیایی گاز اتیلن برای کندکردن فرایند رسیدن محصولات



66

کاربرد ازن در صنایع غذایی (ادامه)

- ✓ ازن آبی:
  - ضدعفونی کردن سطوح تجهیزات بسته بندی
  - ضدعفونی کردن آب در سیستم های شستشو
  - مجاری و مخازن تخلیه
  - شستشوی پس از برداشت محصولات برای کنترل آلودگی با پاتوژن ها و ...



67

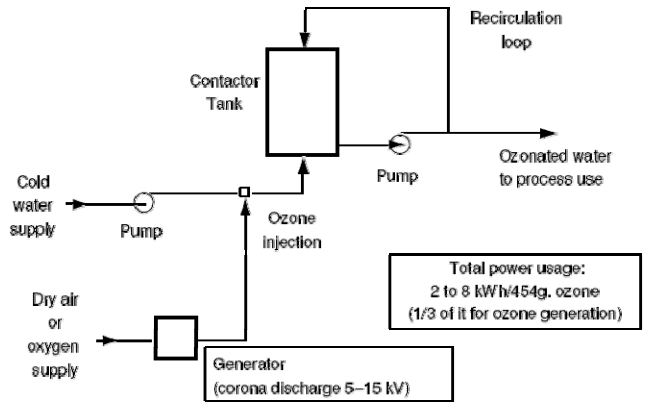
کاربرد ازن در صنایع غذایی (ادامه)

- ✓ کاربرد گسترده ازن برای تولید آب بطری شده بهداشتی
- ✓ تحت تاثیربودن انحلال پذیری ازن در آب
- ✓ انحلال پذیری ازن در آب ۱۳ برابر اکسیژن (محدوده دمایی ۰ °C تا ۳۰)

Temperature (°C)	Solubility(liter ozone/liter water)
0	0.640
15	0.456
27	0.270
40	0.112
60	0.000

68

کاربرد ازن در صنایع غذایی (ادامه)



69

✓ اثر ازن روی میکروارگانیسم ها

Bacteria	Inactivation ($\log_{10}$ CFU units)	Treatment Conditions: Time (minutes)	Treatment Conditions: Concentration (mg/L)	Medium/Food	References
Escherichia coli	4.0	1.67	0.23–0.26	Water	Farooq and Akhlaque (1983)
E. coli O157:H7	~3.7	3	21–25	On apple surface	Achen and Yousef (2001)
	~4.6	3	21–25	In stem/calyx	
Listeria monocytogenes	0.7 to ~7.0	0.5	0.2 to 1.8	Water (pH at 5.9)	Kim and Yousef (2000)
Shigella sonnei	5.6	1	2.2	In water	Selma et al. (2007)
S. sonnei	1.8	5	5	In shredded lettuce	
Yersinia enterocolitica	4.6	1	1.4	Water	Selma et al. (2006)
	6.2	1	1.9	Water	
	1.6	1	5	Potato surface	
Salmonella enteritidis	1.0	0.25	8% (wt/wt)	Broiler carcass	Ramirez et al. (1994)
Salmonella enteritidis	0.6 to ~4.0	0.5	0.5 to 6.5	Water	Dave (1999)
Salmonella typhimurium	4.3	1.67	0.23–0.26	Water	Farooq and Akhlaque (1983)
Bacillus cereus	>2.0	5	0.12	Water	Broadwater et al. (1973)
B. cereus (spores)	>2.0	5	2.29	Water	
B. cereus	6.1	1	11	Spore suspension	Khadre and Yousef (2001b)
B. stearothermophilus	1.3	1	11	Aqueous ozone mix	
Legionella pneumophila	>4.5	20	0.32	Water	Edelstein et al. (1982)
Fecal streptocci	>2.0	19	2.2	Raw waste water	Joret et al. (1982)

70

روش های نوین نگهداری مواد غذایی

✓ اثر ازن روی میکروارگانیسم ها (ادامه)

		Treatment Conditions			
Fungi	Inoculation (log cfu/ml)	Time (minutes)	Concentration (mg/L)	Medium/Food	Reference
Aspergillus flavus (conidia)	1.0	1.72	1.74	Buffer (pH 7.0)	Dunlap et al. (1999)
	1.0	1.34	1.74	Buffer (pH 3.3)	
A. parasiticus (conidia)	1.0	2.05	1.74	Buffer (pH 7.0)	
	1.0	1.71	1.74	Buffer (pH 3.3)	
A. niger (spores)	<1.0	5.0	0.05	Water	Restaino et al. (1995)
Candida guegenicii	2.7	1.67	0.23–0.26	Water	Farooq and Akhtegue (1983)
C. tropicalis	2.0	0.33–0.65	0.62–1.0	Water	Kawamura et al. (1982)
C. albicans	>4.5	Immediate	0.05	Water	Restaino et al. (1995)
Zygosaccharomyces bailii	>4.5	Immediate	0.05	Water	Restaino et al. (1995)

71

روش های نوین نگهداری مواد غذایی

کاربرد ازن در صنایع غذایی (ادامه)

✓ تامین آب فاقد آلودگی میکروبی و شیمیایی برای آبکشی نهایی ظروف بسته بندی، بطری ها و سیستم های CIP

- از بین بردن باکتری ها، قارچ ها و بیوفیلم ها
- کاهش مصرف آب
- حذف کلیه محلول های ضدعفونی ، اعم از پرسیدین ، آب اکسیژنه ، کلر و ....
- حذف آب داغ و افزایش عمر فیتینگ ها
- کاهش مصرف انرژی
- کاهش زمان
- تولید و بهره وری مداوم در محل و عدم نیاز به خرید و نگهداری مواد

72

کاربرد ازن در صنایع غذایی (ادامه)

- ✓ تصفیه فاضلاب صنایع غذایی
- ✓ ضد عفونی کامیون های حامل مواد غذایی
- ✓ نگهداری گوشت، مرغ، ماهی و سایر مواد فاسد شدنی با یخ ازن دار
- ✓ استریلیزه کردن یخچال های صنعتی
- ✓ افزایش تاریخ مصرف و زمان ماندگاری مواد غذایی با استفاده از ازن در زمان بسته بندی به جای ازت
- ✓ اسپری دستی ازن برای ضدعفونی کردن دستکش، پیشبند، چکمه و تیغه های چاقو در حین کار

73

منابع

1) Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (Eds.). (2012). **Advances in fruit processing technologies**. CRC Press.
2) Tewari, G., & Juneja, V. (Eds.). (2008). **Advances in thermal and non-thermal food preservation**. John Wiley & Sons.
3) Doona, C. J. (Ed.). (2010). **Case studies in novel food processing technologies**: innovations in processing, packaging, and predictive modelling. Elsevier.
4) Sun, D. W. (2014). **Emerging technologies for food processing**. Elsevier.
5) Tucker, G. S. (Ed.). (2008). **Food biodeterioration and preservation**. John Wiley & Sons.
6) Zeuthen, P., & Bøgh-Sørensen, L. (Eds.). (2003). **Food preservation techniques**. Elsevier.

74

منابع (ادامه)

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

7) Berk, Z. (2008). **Food process engineering and technology**. Academic press.
8) Jun, S., & Irudayaraj, J. M. (2008). **Food processing operations modeling: design and analysis**. **Secound edition**. CRC press.
9) Fellows, P. J. (2009). **Food processing technology: principles and practice. 3th edition.** Elsevier.
10) Ramaswamy, H. S., & Marcotte, M. (2005). **Food processing: principles and applications**. CRC Press.
11) Rahman, M. S. (2Ed.). (2007). **Handbook of food preservation**. CRC press.
12) Rahman, S., & Ahmed, J. (Eds.). (2012). **Handbook of food process design**. John Wiley & Sons.
13) Smith, P. G. (2011). **Introduction to food process engineering.2Ed**. Springer.

75

منابع (ادامه)

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

14) Ohlsson, T., & Bengtsson, N. (2002). **Minimal processing technologies in the food industry**. Woodhead Publishing.
15) Gould, G. W. (2012). **New methods of food preservation**. Springer Science & Business Media.
16) Zhang, H. Q., Barbosa-CÃ, G. V., Balasubramaniam, V. B., Dunne, C. P., Farkas, D. F., & Yuan, J. T. (Eds.). (2011). **Nonthermal processing technologies for food**. John Wiley & Sons.
17) Ortega-Rivas, E. (2012). **Non-thermal food Engineering operations**. Springer Science & Business Media.
18) Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Usha R. Pothakamury, Enrique Palou, Barry G. Swanson (2003). **Nonthermal Preservation of Foods**. Marcel Dekker.
19) Ahmed, J., Ramaswamy, H. S., Kasapis, S., & Boye, J. I. (2016). **Novel food processing: effects on rheological and functional properties**. CRC Press.

76

منابع (ادامه)

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

20) Barbosa-Cánovas, G. V., Tapia, M. S., & Cano, M. P. (2004). **Novel food processing technologies**. CRC press.

21) Cullen, P. J., Tiwari, B. K., & Valdramidis, V. (2011). **Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods**. Academic Press.

22) Devahastin, S. (2010). P**hysicochemical aspects of Food Engineering and processing**. CRC Press.

23) Bhat, R., Alias, A. K., & Paliyath, G. (2012). **Progress in food preservation**. John Wiley & Sons.

24) Sun, D. W. (2012). **Thermal food processing: new technologies and quality issues**. CRC Press.

25) Richardson, P. (2001). **Thermal technologies in food processing**. Taylor & Francis.

26) Koutchma, T. N., Forney, L. J., & Moraru, C. I. (2009). **Ultraviolet light in food technology: principles and applications**. CRC press.

77

منابع (ادامه)

روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی

27) Sahu, J. K. (2014). **Introduction to advanced food process engineering**. CRC Press.

78