USO DA ENERGIA NUCLEAR NA PRESERVAÇÃO DE ALIMENTOS

IRRADIAÇÃO DE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS

Profa. Dra. MARTA H. F. SPOTO
ESALQ/USP

Para que irradiar frutas e hortaliças?

- Inibição de brotamento
- Quarentena e desinfestação de insetos
- Retardar amadurecimento e senescência
- Pasteurização
- Esterilização

Principais razões para perdas no armazenamento

- Brotamento;
- Murchamento devido à perda de umidade;
- Doenças ou podridões de armazenamento.

FUNDAMENTO DA RADIOINIBIÇÃO DO BROTAMENTO

Bases morfológicas e histológicas

❖Colheita Fase Inicial: bulbos e tubérculos no período de Dormência;
❖Final do Período: divisão celular ativa e alongamento dos meristemas (pontos de crescimento);

- Irradiação no período de dormência: alterações morfológicas e histológicas nas gemas $\Rightarrow$ deformação e necrose durante o armazenamento.

FUNDAMENTO DA RADIOINIBIÇÃO DO BROTAMENTO

Base bioquímica

❖Inibição da síntese dos ácidos nucléicos e nucleotídeos nos tecidos meristemáticos;
❖Alteração na síntese das auxinas (hormônios de crescimento);
❖Aberrações cromossômicas nas células dos tecidos meristemáticos.

FUNDAMENTO DA RADIOINIBIÇÃO DO BROTAMENTO

1. Inibição da síntese dos ácidos nucléicos e nucleotídeos nos tecidos meristemáticos

- **Processo normal de brotação**: se inicia no fim do período de dormência, com maior concentração de ácidos nucléicos (DNA e RNA).
- **Final do período de dormência**: acúmulo de de energia no tecido meristemático através de compostos fosforilados, ADP e ATP – importantes na síntese de ácidos nucléicos e outras reações que requerem divisão celular e alongamento.

FUNDAMENTO DA RADIOINIBIÇÃO DO BROTAMENTO

- **Irradiação com doses > 0,05 kGy** - ↓ sínteses dos ácidos nucléicos; alteração na sua composição; indução da sua degradação nos tecidos meristemáticos (responsáveis pela divisão celular e alongamento – brotamento);

- **Interrupção da síntese de ATP pela irradiação** – interrupção da respiração e do processo de fosforilação → desperdício de energia; ↓ sínteses dos ácidos nucléicos e de outras substâncias necessárias ao crescimento de brotos;

FUNDAMENTO DA RADIOINIBIÇÃO DO BROTAMENTO

•Alteração na síntese das auxinas

➢Auxina = hormônio vegetal regulador de crescimento – promove o crescimento estimulando o processo de alongamento celular;
➢A síntese de auxina é muito sensível à irradiação.

•Aberrações cromossômicas nas células dos tecidos meristemáticos

➢ Irradiação – indução da oxidação das enzimas polifenóis para forma de ortoquinonas, ativamente absorvidas pelo núcleo celular = inibição da síntese de DNA e da divisão celular - ocorrência de **ABERRAÇÕES CROMOSSÔMICAS** (ação mutagênica).

MUDANÇAS NO METABOLISMO APÓS A IRRADIAÇÃO

A) RESPIRAÇÃO

Aumento da respiração → aumento da hidrólise de amido

A respiração do broto diminui com o aumento da dose:

- 10 kR – diminuição de 10% da respiração dos tecidos do broto;
- 150 kR – diminuição de 40% da respiração dos tecidos do broto.

B) ENZIMAS OXIDATIVAS E OUTRAS ENZIMAS ATIVAS

- A irradiação não causa mudanças significativas nas enzimas oxidativas (polifenoloxidase, citocromoxidase) em brotos amassados ou massa de tecidos;

- A atividade da polifenoloxidase e peroxidase na mitocôndria de brotos diminui, devido a mudanças na sua estrutura (mitocôndria).

C) METABOLISMO DE ÁCIDOS NUCLÉICOS E NUCLEOTÍDEOS

- Brotação = intensa síntese de DNA e RNA;
- Uso da irradiação para inibir a brotação = mudança na estrutura anatômica do broto, alteração no conteúdo e na distribuição dos ácidos nucléicos nos tecidos;
- Retardo na síntese e na divisão celular, mudanças na composição e indução da degradação de ácidos nucléicos.

CONDIÇÕES PARA A IRRADIAÇÃO

Baixas doses de radiação são utilizadas para inibir brotamentos em batata, inhame, cebola, alho, gengibre, etc.

Doses entre 0,05 – 0,15 kGy

Os produtos devem estar no estágio de dormência, isto é, antes do início do processo germinativo

Os produtos devem estar em perfeitas condições, sem danos físicos → cura e suberização

1. INIBIÇÃO DE BROTAMENTOS

FATORES QUE CONTROLAM OS EFEITOS DO PROCESSO

- Condições da matéria prima
- Época de Irradiação
- Dose de irradiação
- Taxa de dose
- Variedade
- Condições de armazenamento

FATORES QUE AFETAM O CONTROLE DO BROTAMENTO PELA IRRADIAÇÃO

1. Condições de matéria-prima

Pré-requisitos:

- **Boa qualidade do ponto de vista sanitário;**
- **Firmeza;**
- **Maturação adequada;**
- **Estar seca;**
- **Sem feridas.**

FATORES QUE AFETAM O CONTROLE DO BROTAMENTO PELA IRRADIAÇÃO

2. Época de irradiação

- O efeito da inibição de brotos em bulbos e tubérculos é maior durante o período de dormência;
- **BATATA:** período de dormência: 45 – 100 dias; levemente afetada pela temperatura de armazenamento e significativamente pela variedade.
- **CEBOLA:** período de dormência: 30 – 60 dias, podendo ser aumentado para 3 a 4 meses, quando armazenadas à temperatura de refrigeração.
- **ALHO:** período de dormência – 50 dias.

FATORES QUE AFETAM O CONTROLE DO BROTAMENTO PELA IRRADIAÇÃO

- **3. Doses de radiação**

• batatas: doses mínimas 0,03 kGy

• cebolas: 0,05 - 0,3 kGy; dose máxima ≈ 0,15 kGy - não produz efeitos colaterais.

Exs:

- Algumas variedades de batatas: doses ≈ 0,20 kGy, aumentam o escurecimento e ficam doces;
- Em cebolas: doses > 0,25 kGy, podem aumentar o apodrecimento e o amolecimento do produto;
- Segundo o Comitê misto de Peritos da FAO/OMS/OIEA - doses até 0,15 kGy são as recomendadas para as batatas e cebolas.

FATORES QUE AFETAM O CONTROLE DO BROTAMENTO PELA IRRADIAÇÃO

- **4. Intensidade ou velocidade da dose**
- - Quanto maior a velocidade de dose, maior a efetividade da irradiação.
- **5. Variedade**
- - A efetividade da irradiação como inibidora do brotamento em bulbos e tubérculos depende, em grande parte, da variedade escolhida;
- - Somente devem ser irradiadas as variedades aptas para armazenamento prolongado;
- - Para cada variedade, deve-se estudar nas condições locais, os parâmetros do processo de irradiação e as condições de armazenamento, considerando-se o destino que se dará ao produto (consumo *in natura*/processamento).

FATORES QUE AFETAM O CONTROLE DO BROTAMENTO PELA IRRADIAÇÃO

- **6. Condições de armazenamento**

- **Bulbos/Tubérculos =** órgãos complexos (≠s tipos de tecidos) → condições de armazenamento (T; U; composição atmosférica), afetam o comportamento destes produtos;
- Temperatura → influencia na composição química e nas propriedades organolépticas destes produtos;
- Batata irradiada à baixa T → processamento industrial - ↑ açúcares;
- Manejo anterior à irradiação - feridas/danos mecânicos sofridos na colheita e manipulação, podem ser determinantes no êxito do tratamento;
- A cura em cebolas e alhos auxilia na efetividade da irradiação.

EFEITO DA RADIAÇÃO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

1. Perda de peso

- **EFEITO NOTÓRIO:** menor perda de peso pelos bulbos e tubérculos; redução na desidratação e maior firmeza;

Exs.:

- Trabalho do CENA com cebola, verificou que após 180 dias, cebolas irradiadas perderam 13% ao passo que o controle perdeu 32,2%;
- Em batata, a irradiação causa a inibição da formação de clorofila e solaninas, o que é bom para o consumidor.

EFEITO DA RADIAÇÃO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

3. Podridão de armazenamento e habilidade de cicatrizar feridas

- Durante o armazenamento, tubérculos e bulbos estão suscetíveis à infeções por microrganismos, principalmente pelo desenvolvimento de podridões e deterioração;
- O processo de cura, anterior à irradiação, é importante para se evitar a incidência de podridões;
- As variedades diferem quanto à suscetibilidade ao desenvolvimento de podridões de armazenamento após a irradiação.

EFEITO DA RADIAÇÃO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

4. Inibição da formação de clorofila e solaninas

- Inibição da formação de clorofila e solaninas nas camadas superficiais de tubérculos armazenados a $T < T_{ambiente} \rightarrow \downarrow$ perdas ao se descascá-los (vantagem para a indústria de batatas descascadas).

EFEITO DA RADIAÇÃO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

5. Escurecimento

- **CEBOLAS IRRADIADAS:** escurecimento do broto interno (não deprecia comercialmente), devido à injúria ou morte celular dos pontos de crescimento;
- **BATATAS IRRADIADAS:** escurecimento da parte central, a qual tende a aumentar com o aumento da dose no armazenamento em batatas cultivadas com uso intenso de fertilizantes nitrogenados;
  - Escurecimento de batata crua: f(local e condição de cultivo; variedade; maturidade; dose de radiação; taxa de dose).

EFEITO DA RADIAÇÃO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

6. Qualidade organoléptica

- Doses baixas aplicadas em bulbos e tubérculos, não produzem alterações na cor, textura e sabor, nem produzem sabores estranhos;

Ex.: batatas irradiadas e processadas, não apresentaram mudanças nas qualidades organolépticas.

- Poucas alterações encontradas estão relacionadas com a perda das qualidades adstringentes e características lacrimogênicas das cebolas.

2. DESINFESTAÇÃO DE INSETOS

ALIMENTO	DOSE DE RADIAÇÃO	OBJETIVO
GRÃOS, FRUTAS, LEGUMES E OUTROS ALIMENTOS SUJEITOS A O ATAQUE DE INSETOS -	0,1 a 1kGy	Desinfestação Mata os insetos ou impede sua reprodução através da esterilização. Pode substituir os tratamentos feitos com produtos químicos fumigantes QUARENTENA

PRODUTOS INDUSTRIALIZADOS

- Grãos
- Cereais
- Farinhas
- Condimentos
- Macarrão
- Bolachas
- Leite em pó
- Suplementos alimentares
- Chocolate (pó, barra, etc)
- Barra de cereais
- Ração animal
- Sopa em pó
- Balas
- Chás (Fito-ervas)
- Frutas secas
- Sementes para aves
- Etc.

EFEITOS DA RADIAÇÃO

Efeitos gerais:

- mortalidade
- diminuição do ciclo de vida
- interrupção do desenvolvimento
- redução da fecundidade
- esterilidade

A sensibilidade dos insetos a esse efeitos variam consideravelmente com relação a:

- ✓ espécies
- ✓ sexo
- ✓ estágio morfológico
- ✓ idade de um estágio em particular

DOSES DE RADIAÇÃO IONIZANTE:

radiação gama, raios-X ou elétrons acelerados

Besouros: a partir de 100 Gy até 500 Gy

Traças: a partir de 300 Gy até 1000 Gy

Ácaros: a partir de 250 Gy até 1000 Gy

Cuidado especial: embalagens para evitar re-infestação

CONTROLE QUARENTENÁRIO

O que é quarentena?

- É a limitação da liberdade de movimento de pessoas, animais ou vegetais que estiveram expostos por uma doença contagiosa, com o intuito de evitar transmissões subseqüentes de doenças em áreas livres

Exemplos de Quarentena

- 1º relato: Veneza 1374
- Febre aftosa
- Vaca louca
- Manejo de pragas

Quarentena de Frutas

- Ácaros em uva
- Mariposas em maçãs e mangas
- Mosca das frutas

Importância da Mosca das Frutas

- Problema quarentenário sério no Brasil
- Bastante agressiva, muitas perdas
- Muitos hospedeiros
- Vários países livres da praga
- EUA gastaram muitos milhões de dólares para erradicar a mosca da fruta

Nível de Controle

- Probit 9
- 99,997% de controle
- 3 em 100000 indivíduos

Tratamentos Quarentenários

- Brometo de Metila
  - Melhor custo benefício
  - Proibição nos EUA, 2000. Mundo desenvolvido, 2005. Em, desenvolvimento, 2015.
- Dupla imersão em água quente ou tratamento com vapor
  - Imersão:de 60 a 90 min + 30 para resfriamento.
  - Vapor: 4 horas de tratamento + 30 min para resfriamento
  - Controle nem sempre 100%
  - Modificação da qualidade organolética
- Refrigeração
  - 10 a 12 dias a 1ou 2º C
  - Poucos frutos resistem a esta temperatura
- Irradiação

Irradiação como Tratamento Quarentenário

- Foi primeiramente sugerido por Koidsumi em 1930 a aplicação de Raios-X como tratamento quarentenário
- Muito eficaz
- Relativamente rápido
- Prático
- Retenção da qualidade do produto

Dose de Aplicação

Segundo Federal Register (2002)

Irradiation for Fruit Flies and Seed Weevils in Imported Fruits and Vegetables

Scientific name	Common name	Dose (gray)
Bactrocera dorsalis	Oriental fruit fly	250
Ceratitis capitata	Mediterranean fruit fly	225
Bactrocera cucurbitae	Melon fly	210
Anastrepha fraterculus	South American fruit fly	150
Anastrepha suspensa	Caribbean fruit fly	150
Anastrepha ludens	Mexican fruit fly	150
Anastrepha obliqua	West Indian fruit fly	150
Anastrepha serpentina	Sapote fruit fly	150
Bactrocera tryoni	Queensland fruit fly	150
Bactrocera jarvisi	(No common name)	150
Bactrocera latifrons	Malaysian fruit fly	150
Sternochetus mangiferae	Mango seed weevil	300

- Importante:
  - Sempre haverá variação da dose num determinado volume de aplicação.
  - Quanto maior o volume de aplicação, maior a variação de dose
  - Num pallet irradiado podemos ter de 2 a 3 vezes a variação de dose

(Moy & Wong, 2002)

Table 2 – Shipments of Hawaiian tropical fruits to the U.S. markets(1) employing gamma irradiation(2) as a quarantine treatment (April 1995 to May 2000)

Fruit	Quantity(3), kg	No. of shipments(4)/yr	
Papaya	309,220	6	(1995)
Rambutan	65,810	16	(1996)
Litchi	19,830	37	(1997)
Atemoya	7,620	125	(1998)
Star Fruit	1,030	21	(March, 1999)
Banana	173		
Orange	91		
Melon	20		
Total	403,794		

(1) Market distribution in the states of Illinois, Indiana, Ohio, Minnesota, Michigan, Iowa, New York, Massachusetts, New Jersey, Pennsylvania, Florida, Texas, California, Washington, Oregon, Washington DC, Hawaii

(2) Fruits treated at the Steris-Isomedrix Co-60 irradiators in Morton Grove, IL (O'Hare Airport); Libertyville, IL (O'Hare Airport); and Whippany, NJ (Newark Airport).

(3) Quantities for a five-year period, April 1995 to May, 2000.

(4)One to four LD3 containers per air shipment. Counting of individual shipments were discontinued when shipments became fully commercial after March, 1999.

3. RETARDO DA MATURAÇÃO E SENESCÊNCIA

ALIMENTO	DOSE DE RADIAÇÃO	OBJETIVO
BANANA, MAMÃO, MANGA, GOIABA, ABACATE, TOMATE, CITRUS, ABACAXI, MAÇÃ, PÊSSEGO, FIGO, UVA E OUTROS	ATÉ 1,0 kGy	Aumento na vida útil

RETARDO NO AMADURECIMENTO E SENESCÊNCIA

- As frutas podem ser classificadas em 2 grandes grupos, de acordo com o seu comportamento respiratório:

- **Frutas climatéricas:** após a colheita apresentam lento declínio na taxa de produção de CO_2 e no consumo de O_2, para um mínimo chamado "MÍNIMO CLIMATÉRICO", antes do início do amadurecimento.

  - Quando o amadurecimento começa, a taxa respiratória aumenta rapidamente e é acompanhada das seguintes mudanças:

  PIGMENTOS: mudança do verde para o amarelo ou vermelho;

  TEXTURA: mudança de textura e amolecimento devido à ação de enzimas hidrolíticas juntamente com a celulase, a poligalacturonase e a pectinametilesterase, que atacam a parede celular e a lamela média.

RETARDO NO AMADURECIMENTO E SENESCÊNCIA

COMPONENTES AROMÁTICOS: síntese dos componentes aromáticos voláteis típicos (ésteres, aldeídos e cetonas).

AÇÚCARES: aumento no conteúdo de açúcares devido à hidrólise do amido.

ADSTRINGÊNCIA: polimerização do amido de polifenóis de baixo peso molecular em formas insolúveis.

TAXA DE PRODUÇÃO DE ETILENO: após o mínimo pré-climatérico, a taxa respiratória evolui até atingir o "máximo climatérico", que é acompanhado de aumento na produção de etileno. O tempo requerido para atingir esse máximo e a intensidade de respiração, depende da maturidade da fruta na colheita e da temperatura de armazenamento.

RETARDO NO AMADURECIMENTO E SENESCÊNCIA

SENESCÊNCIA: ocorre tanto em frutas climatéricas quanto não climatéricas, à medida que envelhecem no armazenamento pós-colheita. Seu início pode ser retardado pelo uso da irradiação.

• A aplicação do tratamento de irradiação, com o fim de retardar o amadurecimento, deve ser feita imediatamente antes do pico de máxima produção de etileno.

• Deste modo, produz-se retardo no pico climatérico, o qual coincide com o ponto ótimo de amadurecimento.

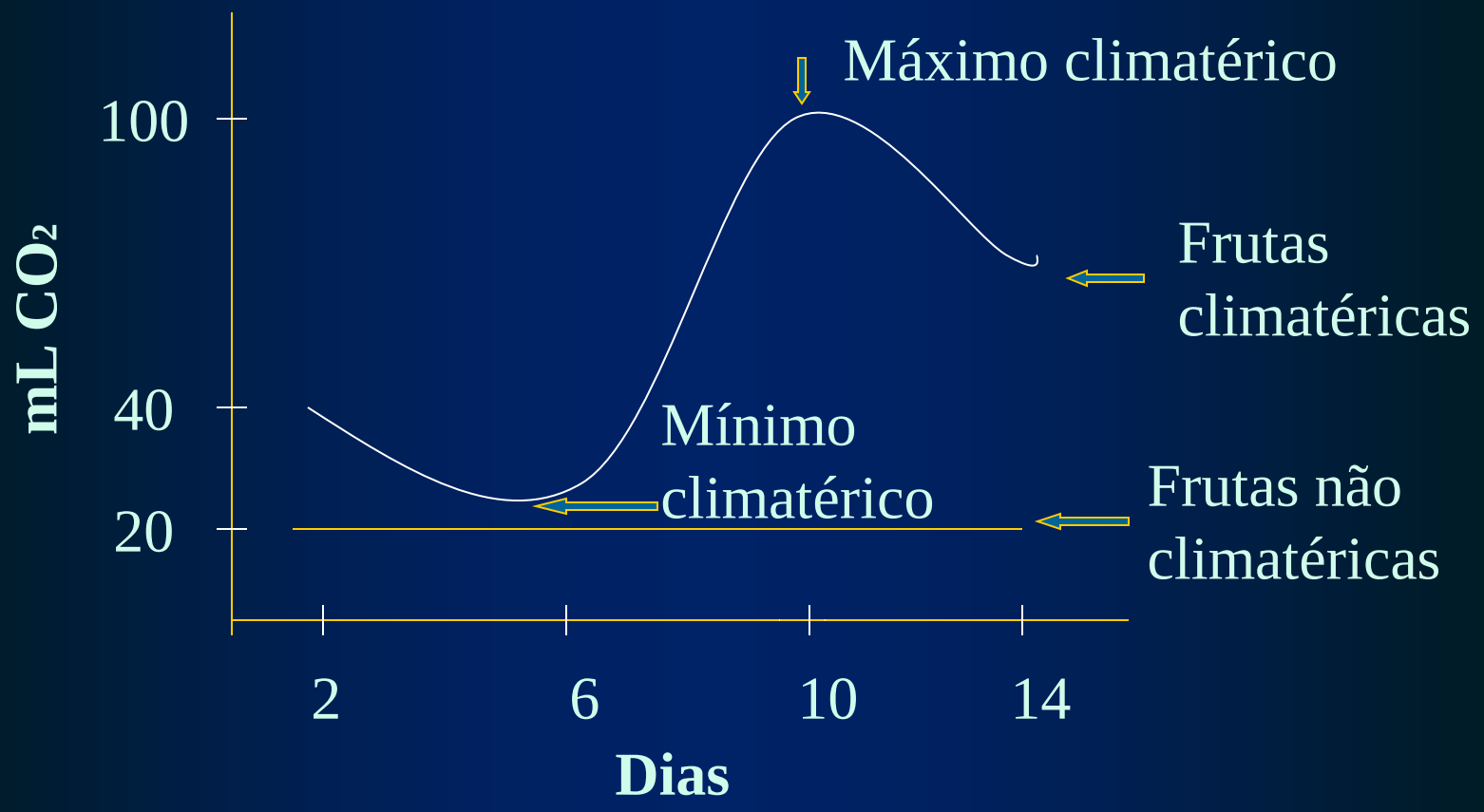
• O retardo no amadurecimento de depende da:

- espécie de fruta;

- dose empregada.

• De maneira geral, a dose máxima aplicada às frutas e hortaliças é aquela que é capaz de manter as características organolépticas e preservar os nutrientes.

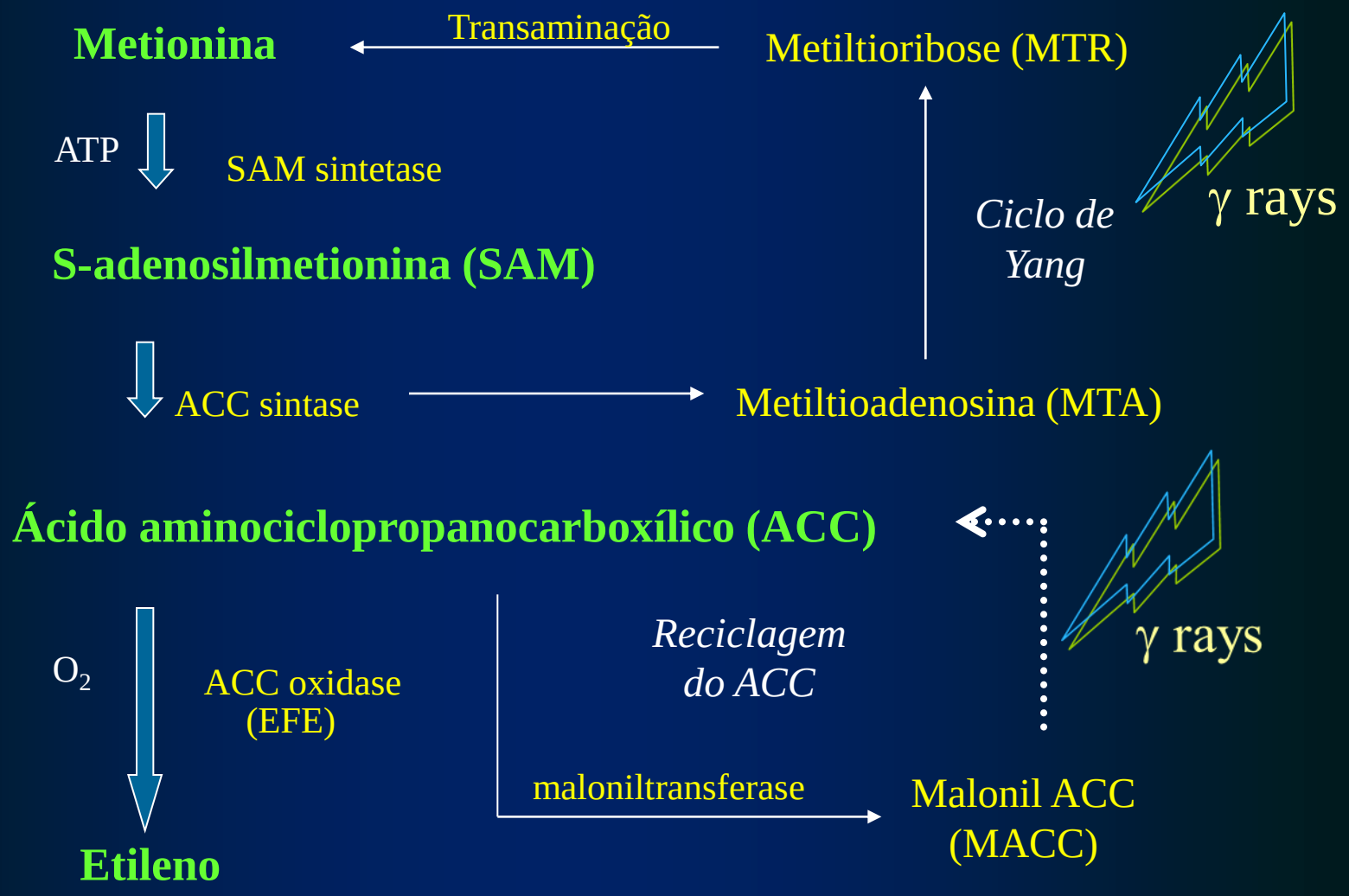
Frutas climatéricas e não climatéricas



ATUAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA

- **Inibição da respiração e produção de etileno**
- **Dano ao núcleo celular**
  - Dificulta a expressão gênica de precursores do etileno e metabólitos em geral;
  - Afeta a autocatálise do etileno.
- **Dano nas membranas da mitocôndria**
  - Local da respiração (Ciclo de Krebs e Cadeia de Transporte de elétrons)
- **Dano na membrana plasmática**
  - Receptor de etileno

BIOSSÍNTESE DO ETILENO



MECANISMO DE AÇÃO DO ETILENO

FATORES QUE AFETAM A EFICÁCIA DA IRRADIAÇÃO

- **Espécie**
  - Muito eficaz para mamão;
  - Abacate é muito sensível.
- **Variedade**
  - Manga (Haden mais resistente que Palmer) e banana (Banana-maçã mais resistente que Nanica)
- **Grau de maturação**
- **Estado fisiológico do fruto**
  - Estresse - danos mecânicos, perda de umidade, temperatura de armazenamento;
  - Época, horário e local da colheita;
  - Local de crescimento do fruto na planta – insolação, dreno de metabólitos.

4. PASTEURIZAÇÃO A FRIO

ALIMENTO	DOSE DE RADIAÇÃO	OBJETIVO
SUCOS DE FRUTAS, MASSAS FRESCAS, FRUTAS E LEGUMES MINIMAMENTE PROCESSADOS	0,1 a 10 kGy **Tratam. combinados:** **Armazen. (0° a 3°C)** **Desidratação** **Baixa atividade de água**	Retardar a decomposição por microrganismos Elimina e /ou reduz o número de microrganismos patogênicos ou putrefativos

RADURIZAÇÃO/RADIOPASTEURIZAÇÃO

Exposição de frutas ou hortaliças a doses limitadas de radiação ionizante para causar uma redução no processo de apodrecimento e nas doenças causadas por microrganismos.

Objetivo: controlar podridões e doenças pós-colheita que afetam frutas ou hortaliças, sem no entanto, prejudicar suas qualidades sensoriais.

- Apodrecimento de frutas e hortaliças $\rightarrow$ resultado da infecção por fungos filamentosos, leveduras e bacterias.

PROBLEMAS RADIOLÓGICOS E OS RELACIONADOS À RADURIZAÇÃO

- Aplicação da radiação ionizante em frutas e hortaliças no nível de dose pasteurizante é um meio de prolongar a vida útil destes produtos;

- Níveis de dose que controlam o crescimento fúngico são maiores que os usados para controlar o amadurecimento de frutas ou inibir o brotamento de tubérculos;

-

-Tais problemas estão geralmente relacionados com:

- resposta fisiológica do produto irradiado;
- doses requeridas para alcançar os efeitos desejados;
- outros fatores inter-relacionados.

3. PARÂMETROS RELACIONADOS ÀS DOSES REQUERIDAS PARA O CONTROLE DO CRESCIMENTO FÚNGICO EM FRUTAS E HORTALIÇAS

A. Condições pós-colheita e pré-tratamento de frutas e hortaliças

- *R. stolonifer* pode ser efetivamente controlado com T < 10°C;
- *B. cinerea* continua a crescer, em menor proporção, em T ≈ 0°C;
- A colonização de *B. cinerea* na pré-colheita, o fungo pode se desenvolver rapidamente, apesar de se utilizar de refrigeração adequada.
- Frutas e hortaliças diferem quanto à suscetibilidade ao ataque de microrganismos devido:
  - incapacidade do fungo sintetizar enzimas necessárias para minimizar a patogenicidade no tecido hospedeiro vivo;
  - especificidade hospedeiro-patógeno ser dependente da resistência do hospedeiro, a qual pode ser bioquímica, mecânica ou física.

3. PARÂMETROS RELACIONADOS ÀS DOSES REQUERIDAS PARA O CONTROLE DO CRESCIMENTO FÚNGICO EM FRUTAS E HORTALIÇAS

B. Condições ambientais ao redor de frutas e hortaliças

- A intensidade de ocorrência de doenças em pós-colheita está estritamente relacionada às condições ambientais;
- Condições de alta UR é favorável à germinação do esporo;
- Baixa UR de frutas e hortaliças: redução na ocorrência de doenças e favorecimento da desidratação e do murchamento;
- $T_{ambiental}$ = principal fator que influencia na germinação e no crescimento dos esporos;
- Se as frutas ou hortaliças tolerassem 0°C, grande parte das podridões seriam evitadas;
- Controle dificultado de infecções em frutas e hortaliças lesionadas por fungo na colheita.

3. PARÂMETROS RELACIONADOS ÀS DOSES REQUERIDAS PARA O CONTROLE DO CRESCIMENTO FÚNGICO EM FRUTAS E HORTALIÇAS

C. Sensibilidade de fungos causadores de doenças

- A efetividade da radiação ionizante no controle de doenças fúngicas de frutas e hortaliças depende da sensibilidade relativa do hospedeiro e do fungo à irradiação;
- A resistência do fungo ao dano da radiação é determinada geneticamente: fungos diplóides são mais resistentes, devido à presença de uma segunda série de cromossomos; esporos com multinucleotídeos podem sobreviver à irradiação se um núcleo escapar da inativação;
- A sensibilidade aparente de uma espécie de fungo à radiação depende da quantidade ou do tamanho do "tecido" fúngico presente.

3. PARÂMETROS RELACIONADOS ÀS DOSES REQUERIDAS PARA O CONTROLE DO CRESCIMENTO FÚNGICO EM FRUTAS E HORTALIÇAS

D. Efeitos técnicos desejados

- A vida de prateleira de frutas e hortaliças difere de acordo com o tipo, condições de armazenamento e de transporte;
- A dose aplicada depende do destino que se dará ao produto.

E. Outros fatores

Taxa de dose

- A variação da taxa de dose a ser aplicada ou o seu parcelamento, produz efeitos diferentes em frutas e hortaliças irradiadas;
- Doses aplicadas rapidamente alcançam maior efeito radiobiológico (tempo curto para recuperação e reparos).

3. PARÂMETROS RELACIONADOS ÀS DOSES REQUERIDAS PARA O CONTROLE DO CRESCIMENTO FÚNGICO EM FRUTAS E HORTALIÇAS

Atmosfera no local de radiação

- Presença ou ausência de O_2 no local da irradiação, resulta em diferentes graus de efetividade e de doses para inibir o crescimento fúngico;
- A formação de H_2O_2 na presença de $O_2 \rightarrow$ dano ao fungo, $\uparrow$ letalidade;
- A renovação contínua do ar do local minimiza estes efeitos.

Proteção do hospedeiro

- Irradiação *in vivo* de fungos e bactérias não é tão efetiva quanto a irradiação *in vitro* para um mesmo nível de dose.

4.3. Tratamentos combinados

A. Com calor

Ex: Pêssegos

- Aquecidos em água a 49°C/7 min. + irradiação com 0,75; 1,5 e 2,25 kGy → não apodreceram;
- Controle → 53% de apodrecimento
- Somente aquecidos (49°C/7 min.) → 4,4% de apodrecimento;
- Somente irradiados - 1,5 kGy → 2,2% de apodrecimento
  - 2,2 kGy → 8,9% de apodrecimento

4.3. Tratamentos combinados

B. Com produtos químicos

Ex:

- Um banho em 100 ppm de Aureofungin ou Captan + 2,0 kGy, protege 80 a 85% das maçãs armazenadas a 21°C por 3 dias.

C. Atmosfera modificada

D. Cálcio

5. ESTERILIZAÇÃO

ALIMENTO	DOSE DE RADIAÇÃO	OBJETIVO
ALIMENTOS PRONTOS PARA CONSUMO COMO: CONSERVAS DE HORTALIÇAS.	20 – 70 kGy	Esterilização. O produto após tratamento pode ser armazenado à temperatura ambiente

Fatores que afetam a qualidade do produto irradiado

- Tratamentos pós-colheita conservam mas não melhoram a qualidade inicial do produto
- Importante garantir produto de qualidade para irradiação
- Contaminação inicial de microrganismos baixa
- Estado fisiológico antes da irradiação
  - danos mecânicos, perda de umidade, temperatura de armazenamento
  - Época, horário e local da colheita
- Armazenamento e transporte após irradiação

Limitações de ordem prática

- Variação de dose
  - Sempre haverá variação da dose num determinado volume de aplicação.
  - Quanto maior o volume de aplicação, maior a variação de dose
  - Num pallet irradiado podemos ter de 2 a 3 vezes a variação de dose

- Aumento da sensibilidade ao frio
  - Recomendação da ICGFI para temperatura mínima de segurança para:
    - Manga 11 - 13ºC
    - Banana 13 - 15ºC
    - Mamão 15 - 16ºC
- Injúrias pelo frio e irradiação têm as mesmas características fisiológicas
- Tratamento para evitar o dano
  - Aguardar 12 horas após a irradiação para armazenar sob refrigeração
  - Tratamentos térmicos (calor) diminuem a incidência