

Tecnologias Pós-Colheita em Frutas e Hortaliças

Marcos David Ferreira
Editor Técnico

Embrapa



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Instrumentação

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Tecnologias Pós-Colheita em Frutas e Hortaliças

Editor Técnico

Marcos David Ferreira

Embrapa Instrumentação

São Carlos, SP

2011

Capítulo 4

Uma Abordagem Multiescala da Respiração em Frutas e Hortaliças

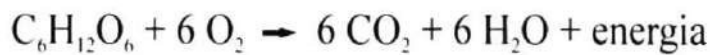
José Dalton Cruz Pessoa

1. Introdução

Este capítulo traz uma abordagem multiescala da respiração, começando com as reações bioquímicas e concluindo com sua dependência aos tratamentos pós-colheita em frutas e hortaliças. O texto é bastante sintético; evitou-se a complexidade das rotas bioquímicas e procurou-se apresentar os principais conceitos para a compreensão do processo. No entanto são indicadas referências que podem ajudar o leitor a aprofundar-se no assunto e, para facilitar a leitura foi adicionado um pequeno glossário no final do capítulo.

2. Processos bioquímicos

A respiração é uma forma de os organismos conseguirem energia a partir de um substrato que, por sua vez, foi obtido a partir do alimento ingerido. A energia produzida é armazenada nas moléculas de ATP, para que o organismo a utilize na síntese de metabólitos, no reparo dos tecidos, etc. É um processo composto por, pelo menos, 50 reações catabólicas catalisadas por diferentes enzimas dentro da célula, ocorrendo, portanto, em meio aquoso e pH neutro. No processo de quebra do substrato, também são fornecidas cadeias de carbono para outras rotas, responsáveis pelo metabolismo de substâncias essenciais, como aminoácidos, pigmentos, etc. Todo o processo de respiração pode ser equacionado na forma:



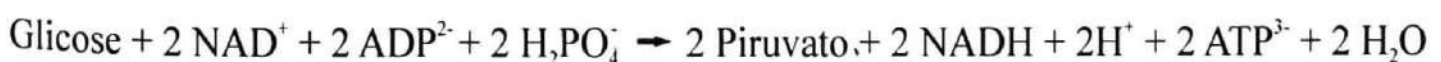
A respiração (aeróbica) é composta por 3 processos: Glicólise, Ciclo de Krebs e Sistema de Transporte de Elétrons (STE). Quando uma hexose é oxidada na glicólise, são produzidos 2 ATP + 2 NADH, mas, como cada molécula de NADH oxidada pelo STE produz 2 ATP, o processo de glicólise fornece ao organismo 6 ATP. Os 2 piruvatos resultantes da glicólise são transportados para as mitocôndrias, onde ocorre o ciclo de Krebs para a produção de 2 ATP + 8 NADH + 2 Ubiquinol. Neste caso, a oxidação do NADH pelo STE produz 3 ATP, e a oxidação de cada ubiquinol produz 2 ATP, levando a um saldo energético de 30 ATP (2 + 3x8 + 4). Somando tudo, são gerados 36 ATP durante a respiração. Isso é muito ou é pouco? Vejamos sob outro ponto de vista: Se a hexose for uma glicose, sua completa oxidação poderia fornecer 2870kJ/mol. Considerando que a energia disponível em cada ATP é de 31,8kJ, todo o processo de respiração disponibilizou ao organismo 1140kJ (36 x 31,8) por glicose, o que representa um rendimento de apenas 40% (100 x 1140/2870). A maior parte da energia foi dissipada na forma de calor, mas o rendimento também é afetado pela perda de reagentes através das membranas e pelo custo de mover o ácido pirúvico e o ADP para dentro da matriz mitocondrial.

Mesmo essa estimativa de eficiência deve ser considerada com resguardo, pois a atividade respiratória depende do tipo de célula, da sua localização na planta, da taxa de crescimento do organismo e da temperatura.

2.1 Glicólise

A glicólise é um processo catabólico de dez reações que converte um substrato em piruvato na presença de oxigênio. Além da formação de ATP e NADH, durante o processo são gerados dez compostos intermediários, alguns dos quais importantes em outras rotas metabólicas, como o fosfato di-hidroxiacetona (DHAP) utilizado na formação de gorduras, o ácido pirúvico para a formação de etanol, entre outros.

O substrato mais comum da glicólise é a glicose, mas a célula pode usar também amidos, frutanas, sucrose e outros açúcares, além de gorduras, ácidos orgânicos e até mesmo proteínas. Todas as etapas da glicólise ocorrem no citosol, mas várias de suas reações ocorrem também no cloroplasto e em outros plastídeos. A Equação a seguir representa o processo da glicólise, mas o leitor pode consultar, em Salisbury e Ross (1992) p. 271, um diagrama do processo.

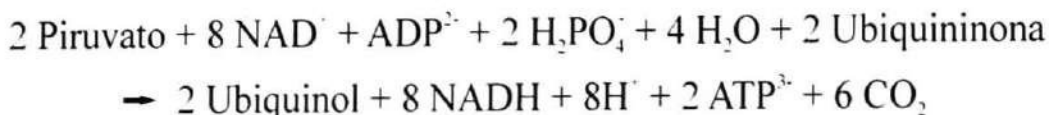


Os 2 piruvatos produzidos no citosol pela glicólise são transportados à matriz mitocondrial para alimentar o Ciclo de Krebs.

2.2 Ciclo de Krebs

Enquanto a primeira etapa da respiração tem um início definido (uma hexose) e um produto definido (o piruvato), o diagrama representativo de Krebs¹ é um ciclo realimentado pela glicólise, que reduz a ubiquinona em ubiquinol, que por sua vez é oxidada novamente no STE para reutilização.

O diagrama do ciclo de Krebs pode ser consultado em Salisbury e Ross (1992) p. 275, mas uma representação mais simples do processo pode ser vista na equação a seguir:



que nos permite deduzir as funções primárias do Ciclo de Krebs: i) redução do NAD⁺ e da ubiquinona para NADH e ubiquinol (doadores de elétrons), que posteriormente serão oxidados para produção de ATP; ii) produção direta de ATP; iii) formação de cadeias de carbono que serão usadas em outras rotas para síntese de aminoácidos, e, a partir destes, em moléculas maiores.

2.3 Sistema de transporte de elétrons

As mitocôndrias contêm uma membrana externa e uma membrana interna retorcida formando cinco compartimentos: o espaço entre a membrana externa e a interna; a crista, espaço em forma de 'U' criado pelas dobras da membrana interna; a matriz, espaço circundado pela membrana interna; e o espaço dentro das membranas que são formadas por uma dupla camada fosfolipídica. O Sistema de Transporte de Elétrons ocorre em torno da membrana interna com a função de oxidar os 2 NADH produzidos na glicólise, os 8 NADH e o Ubiquinol produzidos no Ciclo de Krebs, para a obtenção dos ATP.

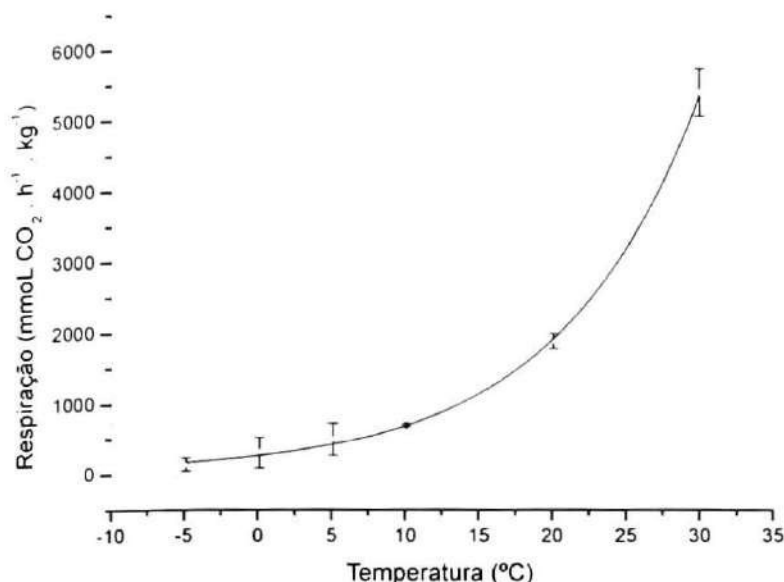
Apesar da respiração utilizar oxigênio, um bom acceptor de elétrons, nem o NADH nem o ubiquinol reagem diretamente com ela para a formação de H₂O, que só é possível graças ao complexo de reações que formam o STE.

3. A pós-colheita

Antes do tomate, da pera ou da couve serem colhidos, uma grande quantidade de energia livre foi capturada do sol, a origem de energia que permite a vida como a conhecemos na terra. A planta utiliza essa energia para seu próprio crescimento e reprodução, o que requer, entre outras coisas, a estocagem de substratos para a respiração dos hortifrúteis, que continuam vivos mesmo após a colheita. Esses fluxos de energia e suas limitações são explicados pela termodinâmica, particularmente útil para se calcular a energia liberada nas reações bioquímicas (a Energia Livre de Gibbs) como as que descrevemos aqui. Em Nobel (2009), no capítulo sobre Bioenergética, por exemplo, o leitor pode observar que a energia dissipada ou absorvida em uma reação bioquímica no equilíbrio depende diretamente da temperatura.

Essa relação é observada em escala macroscópica nas medidas de respiração, como a do fruto do açaizeiro (*Euterpe oleracea* mart.) (Figura 1). Observe que os pontos experimentais foram ajustados por uma equação de Arrhenius, também dependente da temperatura. A equação relaciona a respiração do fruto (R) (mmol CO₂ h⁻¹ kg⁻¹) com a temperatura (T) (graus K) e a energia de ativação (Ea) (kJ.mol⁻¹).; ' R_0 ' e ' A ' são constantes (mmol CO₂ h⁻¹ kg⁻¹) e dependem das condições experimentais; e Rc é a constante universal dos gases (8,31 x 10⁻³ kJ mol⁻¹ K⁻¹).

¹ ou ciclo do ácido cítrico



$$R = R_o + Ae^{\left(\frac{-E_a}{R_c(T-273)}\right)}$$

Equação de Arrhenius

Figura 1: Respiração do fruto do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart) em seis temperaturas. Os pontos foram ajustados por uma equação de Arrhenius

Além da temperatura que regula a velocidade das reações, a respiração depende da disponibilidade de fósforo (KNOWLES et al., 2001) e do teor de água na planta ou no órgão (CASTELÓ et al., 2006). A concentração relativa de O₂ e CO₂ na atmosfera afeta as taxas de respiração desses gases (ANGÓS et al., 2008) e a atividade da PPO (polifenoloxidase) (EAST et al., 2009). Pelo menos em algumas espécies, o tratamento com CaCl₂ reduz a taxa respiratória aumentando o tempo de prateleira (BOTELHO et al., 2002).

Portanto, a respiração é um processo complexo e sensível a vários fatores. Encontrar as condições que reduzem sua intensidade é condição fundamental para dispormos de hortifrutis mais adequados ao consumo, por mais tempo.

4. Pequeno glossário

Ácido Pirúvico - CH₃COCOOH

ATP - Adenosina trifosfato, formada a partir de ADP

ADP - Adenosina difosfato

Hexose - Monossacarídeo com 6 carbonos e fórmula química C₆H₁₂O₆. Classificada em dois grupos: aldohexose (com um aldeído na posição 1) e a ketohexose (com uma cetona na posição 2). A glicose é uma aldohexose.

NAD+ - Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo. É uma coenzima encontrada nas células.

NADH - NAD+ reduzida

Número de oxidação (uma definição simples, porém imprecisa) – é a carga que teria um átomo central se todos os demais a ele ligados por compartilhamento de elétrons fossem removidos (IUPAC, 1997).

Oxidação - é a perda de elétrons, ou seja, o aumento do número de oxidação de um átomo, molécula ou íon.

Piruvato - íon do ácido pirúvico (CH₃COCOO⁻). É um importante elemento de conexão em diversas rotas metabólicas

Redox - reações onde o número de oxidação é alterado

Redução - é o ganho de elétrons, ou seja, o decréscimo do número de oxidação de um átomo, molécula ou íon.

Respiração anaeróbica - é bem menos eficiente que a aeróbica, gerando 2 ATP para cada molécula de glicólise.

Reações catabólicas - são reações exotérmicas de quebra de uma molécula em unidades menores

Ubiquinona - também conhecida como CoQ10 (coenzima Q10), é formada por uma 1,4-benzoquinona ligada a uma cadeia com 10 unidades de terpenos.

Ubiquinol - é a forma completamente reduzida da coenzima Q10.

Referências

ANGÓS, I.; VÍRSEDA, P.; FERNÁNDEZ, T. Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O₂/CO₂ atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 48, p. 422-430, 2008.

BOTELHO, R. V.; SOUZA, N. L. de, PERES, N. A. R. Qualidade pós-colheita de goiabas 'Branca de Kumagai' tratadas com cloreto de cálcio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 24, n. 1, p. 63-67, 2002.

CASTELLÓ, M. L.; FITO, P. J.; CHIRALT, A. Effect of osmotic dehydration and vacuum impregnation on respiration rate of cut strawberries. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 39, p. 1171-1179, 2006.

EAST, A. R.; TREJO ARAYA, X. I.; HERTOOG, M. L. A. T. M.; NICHOLSON, S. E.; MAWSON, A. J. The effect of controlled atmospheres on respiration and rate of quality change in 'Unique' feijoa fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 53, p. 66-71, 2009.

IUPAC. **Compendium of Chemical Terminology**: the gold book. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1997. Disponível em: <<http://goldbook.iupac.org/>>. Acesso em: 06 jul. 2011. Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson.

KNOWLES, L.; TRIMBLE, M. R.; KNOWLES, N. R. Phosphorus status affects postharvest respiration, membrane permeability and lipid chemistry of European seedless cucumber fruit (*Cucumis sativus* L.). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, p. 179-188, 2001.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. 4th ed. Amsterdam: Elsevier, 2009.