

## SECAGEM DE MAÇÃS UTILIZANDO SECAGEM A AR ASSISTIDA POR ULTRA-SOM

F.A.N FERNANDES<sup>1</sup>, S. RODRIGUES<sup>2</sup>, J.V.GARCIA-PEREZ<sup>3</sup> e J.A. CARCEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Química

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará, Departamento de Tecnologia de Alimentos

<sup>3</sup>Universitat Politècnica de Valencia, Departamento de Tecnologia de Alimentos  
e-mail: fabiano@ufc.br

### RESUMO

Este trabalho analisou a influência da secagem de maçãs assistida por ultra-som e sua influência na disponibilidade de vitaminas A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, D e E no produto final. Este estudo permitiu estimar a difusividade efetiva da água nos processos de secagem com e sem aplicação de ultrassom. A difusividade efetiva da água aumentou em até 79% com a aplicação de ultrassom, causando a redução no tempo de secagem em até 35%. Um efeito negativo do processo de secagem foi observado na disponibilidade das vitaminas B<sub>5</sub> e E. Porém a aplicação do ultrassom foi responsável pelo incremento na disponibilidade de vitaminas A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub> e D, liberando a vitamina de sua ligação com a membrana celular, proteínas ou apoenzima.

### 1 INTRODUÇÃO

As atuais tendências da sociedade, incluindo a redução dos níveis de atividade física e o aumento da disponibilidade de produtos alimentares baratos de baixa qualidade nutricional e alto teor calórico, contribuíram para preocupações com relação as dietas atuais nos países desenvolvidos. Os consumidores se tornaram mais conscientes das diferentes dietas e seu impacto sobre a saúde, e as empresas de alimentos e os comerciantes começaram a dedicar mais tempo e esforço para desenvolver produtos mais saudáveis e mais nutritivos.

O processo de secagem reduz o teor de umidade do produto diminuindo o efeito de um dos principais fatores que determinam a taxa de deterioração de vitaminas por várias reações bioquímicas, a atividade de água (Ball, 2006). No entanto, o processo de secagem pode aumentar a perda de vitamina, aumentando a exposição do alimento à alta temperatura durante um período de tempo.

Embora a secagem de produtos vegetais é geralmente realizada em temperaturas amenas para evitar perda de nutrientes e degradação de cor, um longo tempo de exposição acaba deteriorando a qualidade nutricional do produto. Novos processos foram desenvolvidos para encurtar o tempo de secagem, tais como pré-tratamentos assistidos por ultra-som e por microondas (Garcia-Perez et al. 2006; Carcel et al. 2007; Delgado et al 2009; Fernandes et al, 2010).

A secagem convencional é um processo simultâneo de transferência de calor e de massa, acompanhada de mudança de fase, sendo um processo de alto custo. Geralmente, um tipo de pré-tratamento é usado para reduzir o teor de água inicial ou modificar a estrutura do tecido de frutas para reduzir o total de tempo de processamento de secagem. Neste trabalho, a utilização de secagem a ar assistido por ultra-som foi investigado.

Ondas ultra-sônicas podem causar uma série rápida de compressões e expansões, de forma semelhante a uma esponja quando é espremida repetidamente (efeito de esponja). Além disso, o ultra-som produz cavitações que podem ser benéficas para a remoção de umidade fortemente ligada ao sólido.

A biodisponibilidade de vitaminas varia de acordo com a forma química e estado físico no qual a vitamina existe dentro da matriz alimentar. Em alimentos derivados de plantas, as vitaminas do grupo B ocorrem ligadas a coenzimas, geralmente associados com uma apoenzima de proteína ou em sua forma livre. Vitaminas que existem como complexos e estão ligadas com algum outro material na matriz alimentar tem maior dificuldade de digestão e menor absorção pelo intestino em comparação com a forma livre da vitamina (Ball, 2006).

Novas tecnologias para a produção de produtos alimentares devem visar não somente a conservação de alimentos, mas também devem melhorar o conteúdo nutricional do alimento. O processamento de alimentos tem de aumentar o valor nutricional do produto final e no caso de vitaminas devem converter a vitamina em sua forma livre, aumentando sua biodisponibilidade total.

As maçãs são uma das principais frutas consumidas em todo o mundo e fazem também parte em muitos produtos alimentares. As maçãs são boa fonte de vitaminas B2, B3, B5, B6 e também contêm vitaminas A, B1, D e E em quantidades menores.

A secagem de maçãs foi estudada através do processo de secagem assistida por ultra-som. A influência da secagem assistida por ultra-som foi avaliada sobre a difusividade efetiva da água e o teor de vitaminas A, B1, B2, B3, B5, B6, D e E. O aumento da disponibilidade ou a perda de vitaminas no produto desidratado foram discutidos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparação de amostras

Maçãs (*Malus domestica* L. var. Royal Gala) foram compradas no mercado local (Valencia, Espanha). Foram utilizados apenas os frutos com a mesma fase de maturidade. As maçãs foram cortadas em cubos com espessura média de 8,5 mm.

O teor de umidade dos frutos foi determinado por secagem a 60 °C sob vácuo (50 mmHg) até peso constante (24 horas).

### 2.2 Secagem

A secagem das maçãs foi realizada em um secador convectivo assistido por ultra-som (Ortuño et al., 2010). Nesta configuração, um dispositivo ultra-sônico em ar constitui a câmara de secagem, que é composta por um cilindro de alumínio acoplado a um transdutor piezoelétrico (21,7 kHz).

Foram realizados experimentos secando amostras de maçã em quatro velocidades de ar diferentes (1, 2, 3 e 5 m/s) e duas temperaturas (45 e 60 °C) com (75 W; 21 kHz) e sem aplicação de ultra-som. Os experimentos de secagem foram concluídos quando as amostras perderam 80% do seu peso inicial.

A cinética de secagem da maçã foi modelada assumindo a transferência de massa controlada por difusão com o fluxo de líquido dentro da fruta em conformidade com a segunda lei de Fick. O modelo utilizado considera a solução da segunda lei de Fick para amostras em forma cúbicas.

$$\frac{W - W_{eq}}{W_{crit} - W_{eq}} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left(\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 Dt}{4a^2}\right) \quad (1)$$

Dados experimentais foram utilizados para estimar o coeficiente de difusão efetivo do processo de secagem. O parâmetro foi ajustado com um processo de estimativa de parâmetros baseado na minimização da soma dos quadrados dos erros.

### 2.3 Determinação de vitaminas

A concentração de vitaminas A, D e E em maçãs foi determinada espectrofotometricamente. A análise foi baseada em métodos revisados por Jedlicka e Klimes (2005) e Rizzolo e Polesello (1992).

Uma amostra de 1 g de fruta foi homogeneizada com 6 mL de água destilada por 2 min usando um homogeneizador de célula (modelo Ultraturrax IKA T25). Hidróxido de sódio 0,5 M (1 mL) foi adicionado à amostra, que foi transferida 30 min para um banho de água a 70 °C e deixado por 30 min.

Após resfriamento à temperatura ambiente em um banho de gelo, hexano (5 mL) foi adicionado e a mistura foi agitada vigorosamente durante 1 min. O sobrenadante que contém as vitaminas lipossolúveis foi recolhido e analisado por espectrometria a 215, 325 e 254 nm.

Os resultados foram expressos como a ganho/perda de vitamina usando a fruta fresca como referência (base seca).

A concentração de vitaminas do complexo B também foi determinada por espectrometria com base em métodos revisados por Jedlicka e Klimes (2005) e Rizzolo e Polesello (1992). Neste caso, 1 g de fruta foi homogeneizada com 6 mL de água destilada por 2 min usando um homogeneizador de células (modelo Ultraturrax IKA T25). Ácido sulfúrico 0,25 M (1 mL) foi adicionado à amostra, que foi transferida para um banho de água a 70 °C e mantido por 30 min nestas condições.

Após o resfriamento da amostra à temperatura ambiente em um banho de gelo, o pH da mistura foi ajustado a pH 4.5 usando uma solução de hidróxido de sódio 0,5 M. A amostra foi centrifugada a 10000 rpm (8400 × g) por 10 min. O sobrenadante que contém as vitaminas hidrossolúveis foi recolhido e analisado por espectrometria a 215, 254, 265 e 716 nm.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Experimentos de secagem

A maçã apresentou um teor de umidade inicial de  $83.9 \pm 0,5$  g/100 g de fruta fresca (base úmida). Em termos gerais, aplicação de ultra-som reduziu o tempo necessário para a secagem das maçãs.

A vantagem na aplicação do ultra-som aumentou a baixas velocidade de ar e quando temperaturas mais baixas foram utilizadas, como observado comparando a difusividade efetiva de água para cada condição (Tabela 1).

A 45°C e 1 m/s de velocidade do ar, a difusividade efetiva de água para o processo de secagem assistido por ultra-som foi 54% maior do que o processo convencional e a redução de tempo foi de 35%. A 60 °C e 5 m/s ambos os parâmetros foram semelhantes para o processo com aplicação de ultra-som e sem aplicação de ultra-som.

A redução no tempo de secagem observada para maçãs esta dentro do intervalo observado para outras frutas e legumes, como relatado por Carcel et al (2007), García-Pérez et al. (2009), Ozuna et al (2011) e Puig et al (2012).

Tabela 1. Difusividade efetiva de água para cubos de maçã em diferentes temperaturas e velocidades do ar.

Temp. (°C)	Velocidade do ar (m/s)	Difusividade com ultra-som ( $\times 10^9 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ )	Difusividade sem ultra-som ( $\times 10^9 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ )
45	1	0,89 $\pm$ 0,03	0,58 $\pm$ 0,02
	2	1,12 $\pm$ 0,04	0,73 $\pm$ 0,03
	3	1,26 $\pm$ 0,09	0,81 $\pm$ 0,04
	5	1,42 $\pm$ 0,08	1,28 $\pm$ 0,10
60	1	1,32 $\pm$ 0,05	0,91 $\pm$ 0,03
	2	1,61 $\pm$ 0,06	1,12 $\pm$ 0,03
	3	1,73 $\pm$ 0,07	1,55 $\pm$ 0,08
	5	1,89 $\pm$ 0,10	1,89 $\pm$ 0,05

### 3.2 Disponibilidade de vitaminas em maçãs desidratadas

A quantidade relativa de vitaminas nas maçãs submetidas a secagem assistida por ultra-som (em base seca) é apresentada nas Figuras 1 e 2, respectivamente para vitaminas solúveis em água (B1 + B2, B3, B5 e B6) e vitaminas lipossolúveis (A, D e E). A quantidade relativa foi calculada considerando a quantidade de vitamina na maçã in natura como 100%.

A quantidade de vitaminas B1 + B2 aumentou durante a secagem para experimentos com e sem aplicação de ultra-som. Parte da vitamina B2 (riboflavina) é ligada firmemente a uma apoenzima, enquanto a vitamina B1 (tiamina) é normalmente encontrada na forma livre ou fosforilada (Ball, 2006). Os resultados sugerem que a aplicação de ultra-som durante a secagem e o tratamento térmico foram capazes de quebrar a ligação entre a vitamina e a apoenzima, alterando-a para sua forma livre e biodisponível.

O efeito do ultra-som parece ser positivos em baixa temperatura e observou-se uma tendência de aumentar a disponibilidade da vitamina. Em alguns casos, a quantidade de vitaminas B1 + B2 nas amostras secas com aplicação de ultra-som foi ligeiramente maior

do que para a secagem convencional indicando que o ultra-som pode induzir um maior desprendimento de vitaminas de sua ligação com a apoenzima.

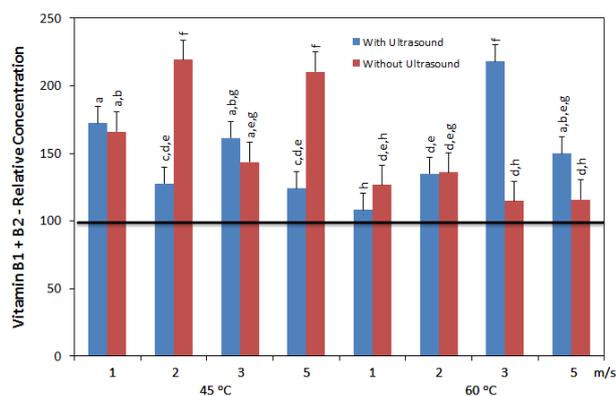
A quantidade de vitamina B3 aumentou após a secagem sem aplicação de ultra-som. A degradação da vitamina B3 foi observada em apenas duas condições operacionais onde foi aplicado ultra-som. A vitamina B3 é quimicamente ligada a nucleotídeos e até 70% de niacina pode ser biologicamente indisponível em alimentos crus (Ghosh et al., 1963; Wall e Carpenter, 1988). Os resultados indicaram que a temperatura e a aplicação de ultra-som durante a secagem podem afetar a vitamina. A quantidade de vitamina B3 foi superior a 45 °C. A aplicação de ultra-som durante a secagem teve um efeito significativo nas experiências efetuadas a 60 °C e as velocidades de ar mais elevadas (3 e 5 m/s) proporcionando uma maior disponibilidade de vitamina B3.

O processo de secagem levou a uma redução na quantidade de vitamina B5 (ácido pantotênico). Apenas a condição de secagem mais rápida com aplicação de ultra-som foi capaz de apresentar um aumento líquido em vitamina B5. Nenhuma tendência óbvia foi observada para o processo convencional. A aplicação de ultra-som durante a secagem a

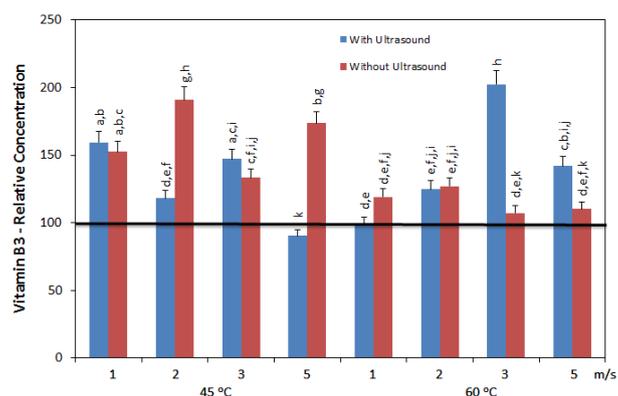
60 °C mostrou um efeito negativo na vitamina B5 em função do tempo de processamento (menor velocidade do ar), com o aumento na perda de vitamina.

A secagem convencional e assistida por ultra-som aumentou a quantidade de vitamina B6 livre, que aumentou para tempos mais longos de processamento. O ultra-som

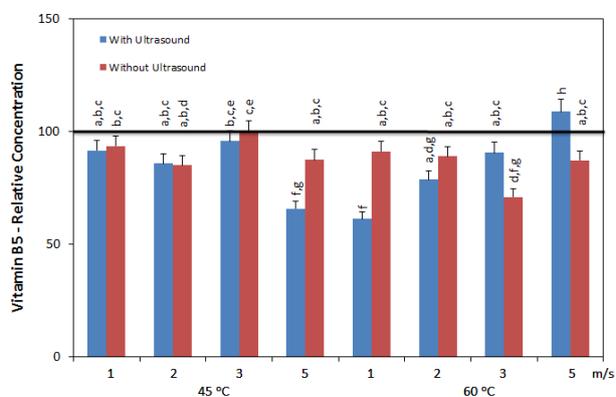
apresentou um efeito positivo e a quantidade de vitamina B6 foi maior nas amostras secas com aplicação de ultra-som. Baixas temperaturas de processamento resultaram em uma maior quantidade de vitamina B6 na maçã seca.



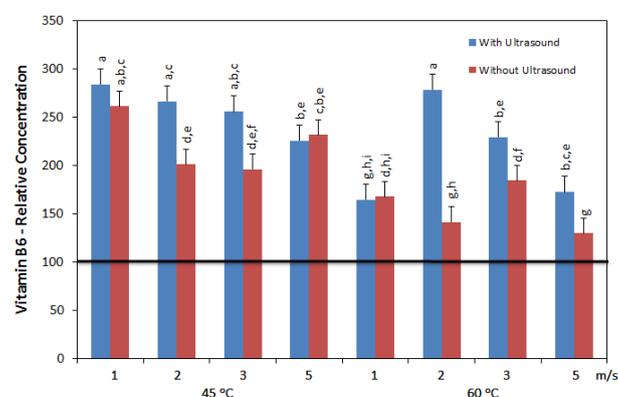
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1. Influência da temperatura, velocidade do ar e aplicação do ultra-som na quantidade de vitaminas B em maçãs. (a) vitaminas B1 + B2; (b) vitamina B3; (c) vitamina B5; e (d) vitamina B6.

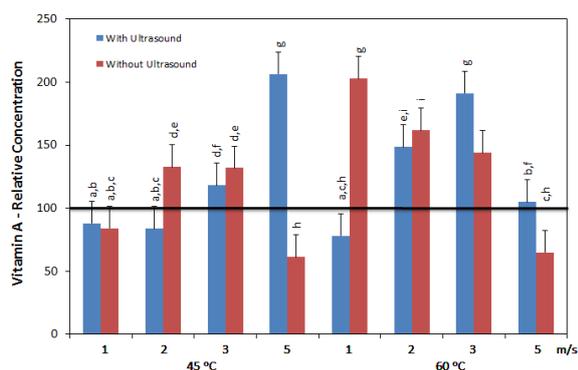
As vitaminas lipossolúveis apresentaram tendências similares dentro deste grupo de vitaminas (A, D e E). O ultra-som teve um efeito positivo no processo de secagem mais curto, mas um efeito negativo

significativo como o aumento no tempo de processamento, levando a perda de vitaminas.

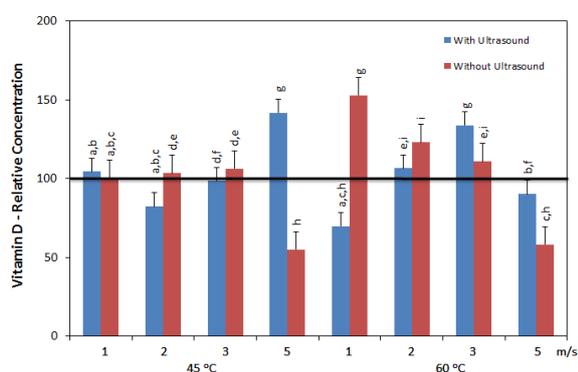
As vitaminas A e D são encontradas geralmente associadas a membrana celular e lipoproteínas. O processamento com ultra-som mostrou boa e rápida resposta para

produzir a forma livre de vitaminas A e D. A retenção da vitamina E foi muito baixa, com média de 51% de retenção. A perda da vitamina E foi maior no processo com aplicação de ultra-som do que no processo convencional. O comportamento de eliminação radical da vitamina E pode

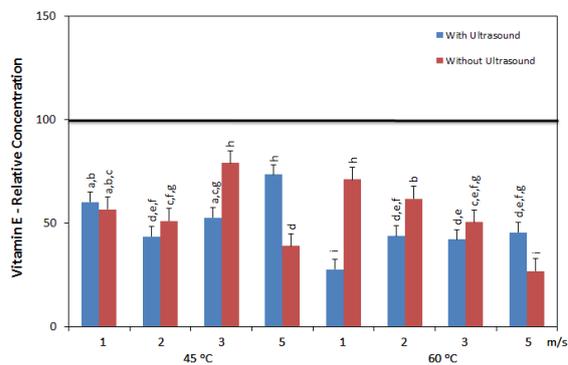
desempenhar um papel em seu consumo durante a secagem, uma vez que a aplicação do ultra-som induz a produção de pequena quantidade de radicais livres, na matriz de frutas, que será atacado pela vitamina E.



(a)



(b)



(c)

Figura 2. Influência da temperatura, velocidade do ar e aplicação de ultra-som na quantidade de vitaminas A (a), D (b) e E (c) em maçãs.

#### 4 CONCLUSÃO

A aplicação de ultra-som aumenta a difusividade efetiva de água em maçãs e reduziu o tempo de secagem. A influência foi mais intensa em baixas velocidades do ar e temperaturas de secagem. A aplicação do ultra-som foi capaz de ajudar a aumentar a disponibilidade da forma livre de vitaminas

A, B1, B2, B3, B6 e D. A degradação da vitamina B5 e E ocorreu em um grau mais elevado. A aplicação do ultra-som permite o uso de temperaturas de secagem mais altas sem comprometer a qualidade nutricional de maçãs secas quanto ao teor de vitamina

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq e do Ministerio de Economía y competitividade da Espanha.

## NOMENCLATURA

a aresta do cubo (m)  
D difusividade efetiva ( $m/s^2$ )  
t tempo (s)  
W umidade em base seca (g/g)  
 $W_{eq}$  umidade de equilíbrio (g/g)  
 $W_{crit}$  umidade crítica (g/g)

## REFERÊNCIAS

- BALL, G.F.M. *Vitamins in Foods: Analysis, Bioavailability, and Stability*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2006.
- CÁRCEL, J.A.; BENEDITO, J.; ROSSELLÓ, C.; MULET, A. Influence of Ultrasound Intensity on Mass Transfer in Apple Immersed in a Sucrose Solution. *Journal of Food Engineering* 78, 472–479, 2007.
- CÁRCEL, J.A.; GARCÍA-PÉREZ, J.V.; RIERA, E.; MULET, A. Influence of High Intensity Ultrasound on Drying Kinetics of Persimmon. *Drying Technology* 25: 185–193, 2007.
- DELGADO, A.E.; ZHENG, L.; SUN, D.W. Influence of Ultrasound on Freezing Rate of Immersion-Frozen Apples. *Food and Bioprocess Technology* 2: 263–270, 2009.
- FERNANDES, F.A.N., RODRIGUES, S.; LAW, C.L.; MUJUMDAR, A.S. Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review. *Food and Bioprocess Technology* 4, 163–185, 2010.
- GARCÍA-PÉREZ, J.V.; CÁRCEL, J.A.; RIERA, E.; MULET, A. Influence of the Applied Acoustic Energy on the Drying of Carrots and Lemon Peel. *Drying Technology* 27: 281–287, 2009.
- GARCIA-PEREZ, J.V.; CÁRCEL, J.A.; FUENTE-BLANCO, S.; RIERA-FRANCO DE SARABIA, E. Ultrasonic Drying of Foodstuff in a Fluidized Bed: Parametric Study. *Ultrasonics* 44 Suppl 1: e539–e543, 2006.
- GHOSH, H.P.; SARKAR, P.K.; GUHA, B.C. Distribution of the Bound Form of Nicotinic Acid in Natural Materials. *The Journal of Nutrition* 79: 451–453, 1963.
- JEDLICKA, A.; KLIMES, J. Determination of Water- and Fat-Soluble Vitamins in Different Matrices Using High-Performance Liquid Chromatography. *Chem. Pap.* 59: 202–222, 2005.
- ORTUÑO, C.; PEREZ-MUNUERA, I.; PUIG, A.; RIERA, E.; GARCÍA-PÉREZ, J.V. Influence of Power Ultrasound Application on Mass Transport and Microstructure of Orange Peel during Hot Air Drying. *Physics Procedia* 3: 153–159, 2010.
- OZUNA, C.; CÁRCEL, J.A.; GARCIA-PEREZ, J.V.; MULET, A. Improvement of Water Transport Mechanisms during Potato Drying by Applying Ultrasound. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 2511–2517, 2011.
- PUIG, A.; PEREZ-MUNUERA, I.; CÁRCEL, J.A.; HERNANDO, I.; GARCIA-PEREZ, J.V. Moisture Loss Kinetics and Microstructural Changes in Eggplant (*Solanum Melongena* L.) during Conventional and Ultrasonically Assisted Convective Drying. *Food and Bioprocess Technology* 90: 624–632, 2012.
- RIZZOLO, A.; POLESELLO, S. Chromatographic Determination of Vitamins



in Foods. *Journal of Chromatography* 624: 103–152, 1992.

WALL, J.S.; CARPENTER, K.J. Variation in Availability of Niacin in Grain Products. *Food Technology* 42: 198–204, 1988.