

METABOLISMO E CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS DO ÓLEO 1,3-DIACILGLICEROL

Juliana Ceccon Voll

Graduada em Biologia com Pós-Graduação em Fisiologia Humana: Funcionamento do Organismo Humano no Contexto Interdisciplinar pela Universidade Estadual de Maringá - UEM; Mes-tranda do Programa de Pós-Graduação em Bio-logia Comparada pela Universidade Estadual de Maringá - UEM. E-mail: jpcecon@yahoo.com.br

Márcia do Nascimento Brito

Docente do curso de Especialização em Fisiologia Humana: Funcionamento do Organismo Humano no Contexto Interdisciplinar - Departamento de Ciências Morfofisiológicas da Universidade Estadual de Maringá - UEM. E-mail: mnbrito@uem.br

RESUMO: A obesidade representa uma grande ameaça para a saúde e qualidade de vida das pessoas e se tornou um problema crescente em muitos países, incluindo o Brasil. A obesidade é caracterizada pelo acúmulo de triacilglicerol nos adipócitos e sua principal causa está relacionada ao consumo elevado dessas gorduras ou às dietas hipercalóricas associadas à baixa atividade física. O acúmulo excessivo de triacilglicerol no organismo está associado a muitas doenças graves como síndrome metabólica, arteriosclerose, diabetes melito tipo 2 e hipertensão. Em função deste quadro, muitos estudos estão sendo realizados em países como o Japão e Estados Unidos, com o objetivo de desenvolver e inserir na dieta alimentar gorduras que promovam a redução e/ou prevenção da obesidade. Estes estudos sugerem que o diacilglicerol e o triacilglicerol têm características metabólicas distintas e que o metabolismo do diacilglicerol no organismo pode ser benéfico na prevenção e tratamento da obesidade. O presente artigo tem como objetivo reunir as informações disponíveis na literatura relacionada ao tema em questão, abordando os benefícios do diacilglicerol para o organismo, quais são os mecanismos de absorção, forma com que é metabolizado, bem como chamar a atenção para estudos com esta gordura, visto que no Brasil há cerca de 63 milhões de pessoas com sobrepeso, outros 15 milhões com obesidade leve e 4 quatro milhões de pessoas com obesidade mórbida.

PALAVRAS-CHAVE: Obesidade; Triacilglicerol; 1,3-Diacilglicerol; Metabo-lismo Energético.

METABOLISM AND NUTRITIONAL CHARACTERISTICS OF 1,3-DIACYLGLYCEROL OIL

ABSTRACT: Obesity is a health and life quality threatening feature which has become an increasingly serious issue worldwide and in Brazil. Obesity, characterized by the accumulation of triacylglycerol in the adipocytes, is mainly caused by the intake of high fatty levels or hypercaloric diets associated with low physical activities. Excessive accumulation of triacylglycerol is associated to serious diseases such as metabolic syndrome, arteriosclerosis, type 2 diabetes, and hypertension. Several studies have been undertaken in many countries, especially in Japan and in the United States, to develop and introduce in diets fatty elements that would trigger the decrease and the prevention of obesity. The above investigations suggest that diacylglycerol and triacylglycerol have distinct metabolic characteristics and that diacylglycerol metabolism in the organism may prevent and treat obesity. Current analysis provides available information in the literature which deals with the beneficial effects of diacylglycerol which include absorption mechanisms, the way it is metabolized and focus on studies on this fatty oil. It will be a contribution to health policies in Brazil since some 63 million Brazilian are overweight, 15 million feature slight obesity and 4 million have morbid obesity.

KEYWORDS: Obesity; Triacylglycerol; 1,3-Diacylglycerol; Energy Metabolism.

INTRODUÇÃO

A obesidade é um problema de saúde importante, pois constitui um dos fatores de risco principais para doenças cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2, hipertensão e arteriosclerose, por exemplo. A grande quantidade de gordura (triacilglicerol) na “dieta ocidental” é considerada a principal causa de obesidade (MURASE et al., 2002).

As gorduras aumentam a palatabilidade dos alimentos e, por este motivo, dietas com pouca gordura não são bem toleradas por longo período de tempo. Isso justifica o desenvolvimento de um óleo rico em diacilglicerol (DAG), pois o mesmo é bem aceito por quem está acostumado com o consumo de comidas gordurosas (KAWASHIMA et al., 2008) e ao mesmo tempo previne a obesidade (TAGUCHI et al., 2000). A *Kao Corporation of Japan* introduziu um óleo de cozinha rico em DAG em 1999 (contendo mais de 80% do peso em DAG). O óleo rico em DAG tem a mesma aparência e sabor dos óleos comestíveis convencionais, sendo amarelo claro com um sabor suave (OGAWA; OKUSHIMA; KODAMA, 2001; FLICKINGER; MATSUO, 2003).

Efeitos nutricionais do consumo do óleo rico em DAG na obesidade humana e hiperlipidemia têm sido amplamente investigados, e o mesmo foi reconhecido como FOSHU (do inglês “*Food for Special Health Use*”, que significa “Alimento para uso especial na saúde”) em 1999 no Japão (TAKASE, 2007). O óleo rico em DAG foi também aprovado como GRAS (do inglês “*Generally Recognized as Safe*”, que significa “geralmente reconhecido como seguro”) em 2000 e 2002 nos Estados Unidos. Estudos têm mostrado que uma dieta à base de um óleo rico em DAG apresenta várias vantagens sobre uma dieta com óleos convencionais (FUJII; ALLEN; NESTEL, 2007).

Diferentemente dos óleos comestíveis convencionais, o óleo rico em DAG contém predominantemente DAG e tem uma composição de ácidos graxos essencialmente compostos pelos ácidos oléico (38% em peso), linoléico (54% em peso), e linolênico (5 % em peso) (FLICKINGER; MATSUO, 2003).

É interessante ressaltar que o DAG já vem sendo consumido pelos seres humanos há muito tempo, uma vez que este ocorre de forma natural em vários óleos comestíveis como um componente minoritário, sendo o triacilglicerol (TAG) o componente majoritário. Os óleos comestíveis convencionais podem apresentar até 10% de DAG em peso, este valor pode variar de acordo com o tipo de óleo vegetal. Por exemplo, óleo de semente de algodão e de oliva contém maiores quantidades de DAG do que outros óleos comestíveis comumente utilizados (FLICKINGER; MATSUO, 2003).

O objetivo do presente trabalho é mostrar a importância do DAG através de uma revisão de publicações científicas que estudaram os efeitos benéficos desse alimento, os mecanismos fisiológicos do metabolismo do DAG no organismo, bem como chamar a atenção da sociedade científica e médica sobre o uso do DAG como complemento alimentar e seus efeitos na

melhora dos perfis lipídicos e perda de peso em indivíduos com sobrepeso e obesidade.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 ESTRUTURA QUÍMICA DO DIACILGLICEROL

O DAG pode existir sob duas isoformas, 1,2 (ou 2,3)-diacilglicerol (1,2-DAG) e 1,3-diacilglicerol (1,3-DAG). A isoforma 1,2-DAG é um intermediário metabólico formado no trato digestório após a ingestão de TAG (TAKASE, 2007). Tanto a isoforma 1,2-DAG quanto a 1,3-DAG estão presentes nos óleos comestíveis convencionais. A quantidade de 1,3-DAG é superior devido à migração acil (Figura 1), que ocorre durante o processo de manufatura sob temperaturas elevadas (CROSSLEY et al., 1959) e/ou durante o armazenamento (TAKASE, 2007).

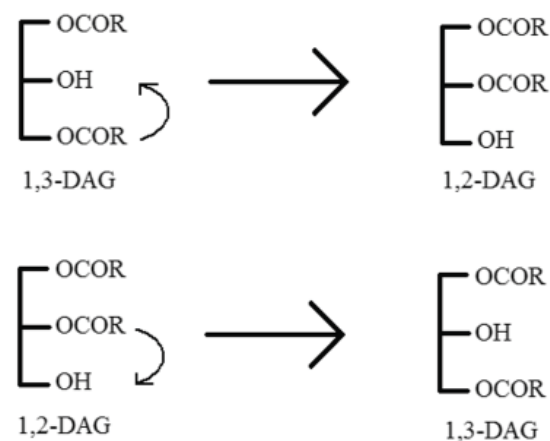


Figura 1 Esquema da migração acil

DAG pode ser sintetizado enzimaticamente através da reação reversa catalisada por uma lipase 1,3-específica. O DAG resultante no equilíbrio consiste essencialmente das espécies 1,3 (devido à migração acil). A razão de 1,3-DAG para 1,2-DAG no óleo rico em DAG é de aproximadamente 7:3. Os efeitos benéficos do óleo rico em DAG são atribuídos à estrutura 1,3 do DAG (TADA, 2004), e isso pode ser bem compreendido após uma comparação entre o metabolismo de digestão do TAG e do 1,3-DAG.

2.2 DIFERENÇAS ENTRE O METABOLISMO DO TRIACILGLICEROL E DIACILGLICEROL

Durante a digestão, TAG é hidrolisado por lipases 1,3-específicas para 1,2-DAG e ácido graxo livre (AGL). 1,3-DAG não é formado por que as lipases liberam apenas ácidos graxos primários, ou seja, nas posições 1 ou 3. Uma ação complementar da lipase no 1,2-DAG leva aos produtos finais 2-monoacilglicerol (2-MAG) e AGL (RUDKOWSKA et al., 2005). Esses são os produtos finais normais da digestão de TAG, os quais são absorvidos pelas células intestinais e posteriormente utilizados para a reconstituição do TAG (WATANABE et al.,

1997). Ainda nas células intestinais, o TAG, através da rota do 2-MAG (rota rápida), é resintetizado a partir de 2-MAG e dois AGL (Figura 2) (YANG; KUKSIS, 1991). As enzimas que trabalham nesta rota são a monoacilglicerol aciltransferase (MGAT) e a diacilglicerol aciltransferase (DGAT) (CAO et al., 2003; CHENG et al., 2003). Após a ressíntese do TAG, este é incorporado em quilomicrons pela proteína microsomal de transferência de triacilgliceróis, os quais são liberados na linfa intestinal e são transportados até a circulação sanguínea (WHITE et al., 1998).

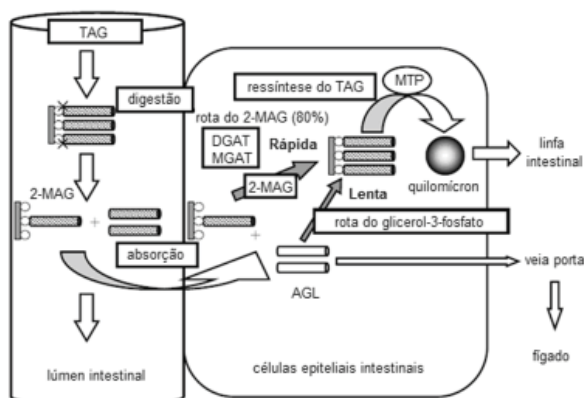


Figura 2 Digestão e absorção do TAG (2-MAG - Monoacilglicerol; DGAT - Diacilglicerol aciltransferase; MGAT - monoacilglicerol aciltransferase; TAG - Triacilglicerol; MTP - proteína microsomal de transferência de triacilgliceróis; AGL - Ácidos graxos Livres). Adaptado de Yanai e colaboradores (2007).

A rota metabólica do óleo rico em DAG é diferente daquela do óleo rico em TAG. Isso ocorre porque o óleo rico em DAG está principalmente na forma de 1,3-DAG (Figura 3). Uma das hipóteses para o metabolismo do 1,3-DAG é que ele é hidrolisado inicialmente para 1-monoacilglicerol (1-MAG) e então glicerol e AGL através da rota do 2-MAG nas células intestinais (WATANABE et al., 1997). TAG não pode ser sintetizado a partir de 1-MAG através da rota do 2-MAG, pois o 1-MAG não pode ser substrato para ambas DGAT e MGAT (CAO et al., 2003; CHENG et al., 2003). O TAG pode ser então sintetizado através da rota do glicerol-3-fosfato (rota lenta), a qual é menos ativa do que a rota do 2-MAG (FRIEDMAN; NYLUND, 1980). O óleo rico em DAG contém também a isoforma 1,2-DAG (>24% em peso). Durante a digestão, o 1,2-DAG deve ser hidrolisado para 2-MAG, a partir do qual o TAG é sintetizado através da rota 2-MAG (TADA, 2004). Acredita-se que a rota metabólica do 1,3-DAG, se comparada à rota metabólica do TAG, resulta em maiores quantidades de ácidos graxos do DAG liberados na circulação portal hepática ao invés de serem incorporados nos quilomicrons (YANG; KUKSIS, 1991; TADA, 2004).

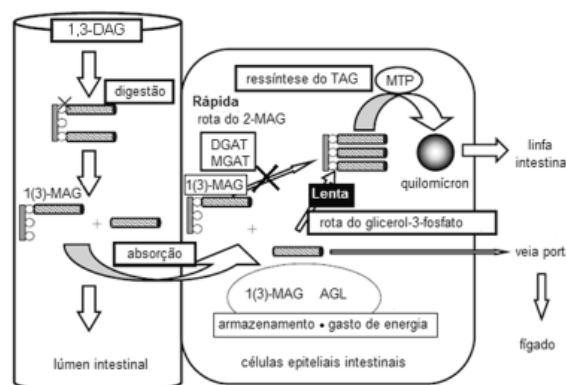


Figura 3 Digestão e absorção do DAG (1,3-DAG - 1,3-Diacilglicerol; 1(3)-MAG - Monoacilglicerol; DGAT - Diacilglicerol aciltransferase; MGAT - monoacilglicerol aciltransferase; TAG - Triacilglicerol; MTP - proteína microsomal de transferência de triacilgliceróis; AGL - Ácidos graxos Livres). Adaptado de Yanai e colaboradores (2007).

2.3 DIGESTIBILIDADE E VALOR CALÓRICO DO DIACILGLICEROL

O DAG é mais hidrofílico e solúvel em água do que o TAG (WATANABE et al., 1997), mas o valor energético do óleo rico em DAG, determinado por cálculos e por bomba calorimétrica, é similar àquele do óleo rico em TAG, correspondendo a 98% do valor relativo ao TAG com a mesma composição de ácidos graxos. Taguchi e colaboradores (2001) estudaram a biodisponibilidade de ambos os óleos 1,3-DAG e TAG, medindo o valor calórico do alimento e digestibilidade em ratos. A digestibilidade aparente foi encontrada como sendo $96,3 \pm 0,4\%$ e $96,3 \pm 0,3\%$ para os óleos DAG e TAG, respectivamente. Valores calóricos avaliados por bomba calorimétrica se mostraram similares para o DAG (38,9 kJ/g) e TAG (39,6 kJ/g).

2.4 PROPRIEDADES BENÉFICAS DO METABOLISMO DO DIACILGLICEROL

O consumo de DAG parece afetar o metabolismo lipídico e glicídico. Esses efeitos incluem redução do TAG plasmático, decréscimo da hiperlipidemia pós-prandial e da hemoglobina A1c, aumento no gasto de energia e redução na obesidade induzida por dieta. Isto em comparação com o consumo de TAG de similar composição de ácidos graxos (TADA, 2004).

Diversos testes clínicos de longo prazo indicam que o consumo de DAG resulta em perda de peso e de gordura corporal em homens e mulheres saudáveis, não obesos e não obesas. Além disso, um estudo revelou que a ingestão do óleo rico em DAG fez decrescer as áreas da gordura abdominal e a concentração de leptina em crianças obesas, sugerindo que o consumo de óleo rico em DAG previne o excesso de adiposidade tanto em crianças como em adultos (MATSUYAMA et al., 2006).

Kawashima e colaboradores (2008) investigaram, em homens e mulheres, durante um ano, os efeitos do consumo *ad libitum* de óleo rico em DAG sobre o peso corporal e o nível

de TAG no sangue. Os autores concluíram que a perda de peso foi maior nos participantes que eram obesos no início do estudo. Os níveis de TAG no sangue decresceram significativamente em indivíduos com hipertrigliceridemia.

Diversos experimentos mostram que uma dieta contendo 1,3-DAG resulta em níveis plasmáticos de TAG menores no estado de jejum e no estado pós-prandial, bem como menor quantidade de TAG em quilomícrons. Os autores associam esses resultados ao metabolismo diferencial do 1,3-DAG. Além disso, a exposição hepática a ácidos graxos pelo aumento da ingestão de DAG e maior quantidade de AGL que vão diretamente para o fígado pode levar a uma maior beta-oxidação hepática quando comparado à ingestão de TAG, e o aumento da beta-oxidação pode levar a um aumento da saciedade (WESTERTERP-PLANTENGA, 2004). A diminuição da ingestão calórica pode induzir a redução de peso e perda de gordura em pessoas que se alimentam de DAG em um longo prazo e em doses suficientes (RUDKOWSKA et al., 2005).

Quando comparado com o consumo de TAG, observou-se que o consumo de longo prazo de DAG fez decrescer a quantidade de gordura corporal (especialmente a gordura visceral) e o peso corporal em grupos de japoneses (com sobrepeso e com peso normal) e também em sujeitos obesos nos Estados Unidos (NAGAO et al., 2000; MAKI et al., 2002). Em um estudo de longo prazo, Katsuragi, Toi e Yasukawa, (1999) reportaram diminuições nas circunferências das cinturas e espessura das dobras cutâneas devido ao consumo de DAG.

Estudos realizados com ratos mostraram que a ingestão do óleo rico em DAG foi eficaz para suprimir a atividade da enzima ácido graxo sintase e elevar a atividade da beta-oxidação, reduzindo a gordura abdominal (KIM et al., 2006). Em outro estudo, um modelo de dieta altamente gordurosa induziu resistência à insulina e obesidade em ratos com deficiência no tecido adiposo marrom. A substituição de longo prazo de TAG por DAG reduziu a resistência à insulina que havia sido induzida pela dieta gordurosa e o acúmulo de gordura no corpo, suprimindo a gliconeogênese hepática e estimulando a oxidação da gordura no músculo esquelético (SAITO; HERNANDEZ-ONO; GINSBERG, 2007).

Murata, Hara e Ide (1994) mostraram que uma infusão intragástrica de uma emulsão contendo DAG com as configurações 1,3, principalmente, comparada com uma emulsão contendo TAG, retardou significativamente o transporte linfático de TAG em quilomícrons em ratos. Resultados similares também foram encontrados com testes em humanos que adotaram uma dieta com óleo rico em DAG (WESTERTERP-PLANTENGA, 2004).

2.5 ASPECTOS DE SEGURANÇA SOBRE O CONSUMO DE DIACILGLICEROL

Diante os vários estudos que comprovam os efeitos benéficos do consumo de um óleo rico em DAG, tornou-se também importante investigar os aspectos de segurança sobre o consumo deste óleo em concentrações mais altas das que as que ocorrem naturalmente nos óleos vegetais convencionais.

Os efeitos tóxicos crônicos potenciais do DAG, quando administrado oralmente por 12 meses, foram avaliados com o

uso de cachorros Beagles. O consumo de DAG em concentrações de até 9,5%, por um ano, não teve efeito no crescimento e desenvolvimento de cachorros normais em comparação ao consumo de TAG (CHENGELIS et al., 2006b). Em ratos, DAG em concentrações alimentares de até 6,0% por 24 meses, não produziu sinais de toxicidade sistêmica e não teve efeito na incidência de achados neoplásicos (CHENGELIS et al., 2006a). A maioria dos estudos que investigaram a toxicidade de alimentação crônica do DAG reportou que o DAG não produz toxicidade sistêmica e não tem efeito na incidência de achados neoplásicos (YANAI et al., 2007).

Yasunaga e colaboradores (2004) estudaram o efeito do alto consumo de óleo rico em DAG em homens e mulheres moderadamente magros. Dois grupos consumiram TAG ou DAG em uma dose de aproximadamente 0,5g/kg de peso corporal por dia como parte de sua dieta, por 12 semanas. Os autores observaram que não houve diferença significativa na ocorrência de sinais clínicos e queixas físicas entre os grupos que consumiram TAG e DAG.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Óleos com elevadas concentrações de DAG, que foram introduzidos como alimento no Japão e nos Estados Unidos entre 1999 e 2003, tem apresentado vários efeitos benéficos em estudos envolvendo animais e seres humanos (saúdáveis, com sobrepeso, obesos e com diabetes). Estes efeitos incluem redução dos níveis séricos de triglicerídeos pós-prandiais, diminuição do peso corporal e de gordura, especialmente da visceral. Os resultados obtidos nestes estudos mostram que as propriedades benéficas do DAG não estão relacionadas com sua composição de ácidos graxos, e sim com a sua estrutura 1,3-DAG, pois, nesta forma, acredita-se que o DAG seja metabolizado diferentemente do TAG durante a digestão, sendo que a rota metabólica do 1,3-DAG, se comparada à rota metabólica do TAG, resulta em maiores quantidades de ácidos graxos do DAG liberados na circulação portal hepática ao invés de serem incorporados nos quilomícrons. O consumo de DAG também se mostrou seguro de acordo com testes realizados com humanos e animais. Portanto, o consumo de um óleo rico em DAG pode trazer vários benefícios à saúde, prevenindo doenças relacionadas ao consumo excessivo de gorduras.

REFERÊNCIAS

CAO, J. et al. Cloning and functional characterization of a mouse intestinal acyl-CoA: monoacylglycerol acyltransferase, MGAT2. *The Journal of Biological Chemistry*, United States, v. 278, p. 13860-13866, 2003.

CHENG, D. et al. Identification of acyl coenzyme A:monoacylglycerol acyltransferase 3, an intestinal specific enzyme implicated in dietary fat absorption. *The Journal of Biological Chemistry*, United States, v. 278, p. 13611-13614, 2003.

- CHENGELIS, C. P. et al. A 24-month dietary carcinogenicity study of DAG (diacylglycerol) in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 44, p. 98-121, 2006a.
- CHENGELIS, C. P. et al. A chronic dietary toxicity study of DAG (diacylglycerol) in Beagle dogs. **Food and Chemical Toxicology**, v. 44, p. 81-97, 2006b.
- CROSSLEY, A. et al. Acyl migration in diglycerides. **Journal of the Chemical Society**, p. 760-764, 1959.
- FLICKINGER, B. D.; MATSUO, N. Nutritional Characteristics of DAG Oil. **Lipids**, Japan, v. 38, n. 2, p. 129-132, 2003.
- FRIEDMAN, H. I.; NYLUND, B. Intestinal fat digestion, absorption, and transport. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 33, p. 1108-1139, 1980.
- FUJII, A.; ALLEN, T. J.; NESTEL, P. J. A 1,3-diacylglycerol-rich oil induces less atherosclerosis and lowers plasma cholesterol in diabetic apoE-deficient mice. **Journal Atherosclerosis**, Melbourne, Austrália and Japan, v. 193, p. 55-61, 2007.
- KATSURAGI, Y.; TOI, T.; YASUKAWA, T. Effects of dietary diacylglycerols on obesity and hyperlipidemia. **Official Journal of the Japanese Society of Human Dry Dock**, v. 14, p. 258-262, 1999.
- KAWASHIMA, H. et al. One-Year Ad Libitum Consumption of Diacylglycerol Oil as Part of a Regular Diet Results in Modest Weight Loss in Comparison with Consumption of a Triacylglycerol Control Oil in Overweight Japanese Subjects. **Journal of the American Dietetic Association**, Japan, v. 108, n. 1, p. 57-66, 2008.
- KIM, H. J. et al. Diacylglycerol-enriched structured lipids containing CLA and capric acid alter body fat mass and lipid metabolism in rats. **Annals of Nutrition and Metabolism**, v. 50, n. 3, p. 219-228, 2006.
- MAKI, K. C. et al. Consumption of diacylglycerol oil as part of a reduced-energy diet enhances loss of body weight and fat in comparison with consumption of a triacylglycerol control oil. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 76, p. 1230-1236, 2002.
- MATSUYAMA, T. et al. Effects of diacylglycerol oil on adiposity in obese children: initial communication. **Journal of Pediatric Endocrinology & Metabolism**, v. 19, p. 795-804, 2006.
- MURASE, T. et al. Anti-obesity effect of dietary diacylglycerol in C57BL/6J mice: dietary diacylglycerol stimulates intestinal lipid metabolism. **Journal of Lipid Research**, Japan, v. 43, p. 1312-1319, 2002.
- MURATA, M.; HARA, K.; IDE, T. Alteration by Diacylglycerols of the Transport and Fatty Acid Composition of Lymph Chylomicrons in Rats. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, v. 58, n. 8, p. 1416-1419, 1994.
- NAGAO, T. et al. Dietary diacylglycerol suppresses accumulation of body fat compared to triacylglycerol in men in a double-blind controlled trial. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 792-797, 2000.
- OGAWA, H.; OKUSHIMA, S.; KODAMA, H. The Cooking Characteristics of Diacylglycerol rich Cooking Oil When Preparing Dishes. **Journal for the Integrated Study of Dietary Habits**, Japan, v. 12, n. 2, p. 100-108, 2001.
- RUDKOWSKA, I. et al. Diacylglycerol: efficacy and mechanism of action of an antiobesity agent. **Obesity Research**, v. 13, p. 1864-1876, 2005.
- SAITO, S.; HERNANDEZ-ONO, A.; GINSBERG, H. N. Dietary 1,3-diacylglycerol protects against diet-induced obesity and insulin resistance. **Metabolism Clinical and Experimental**, New York, v. 56, p. 1566-1575, 2007.
- TADA, N. Physiological actions of diacylglycerol outcome. **Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care**, v. 7, p. 145-149, 2004.
- TAGUCHI, H. et al. Double-blind controlled study on the effects of dietary diacylglycerol on postprandial serum and chylomicron triacylglycerol responses in healthy humans. **Journal of the American College of Nutrition**, New York, v. 19, n. 6, p. 789-796, 2000.
- TAGUCHI, H. et al. Energy value and digestibility of dietary oil containing mainly 1,3-diacylglycerol are similar to those of triacylglycerol. **Lipids**, v. 36, n. 4, p. 379-382, 2001.
- TAKASE, H. Metabolism of diacylglycerol in humans. **Asia Pac J Clin Nutr**, Japan, v. 16, n. 1, p. 398-403, 2007.
- WATANABE, H. et al. Nutritional characterization of diacylglycerols in rats. **J. Jpn Oil Chem Soc**, v. 46, n. 3, p. 301-307, 1997.
- WESTERTERP-PLANTENGA, M. S. Fat intake and energy-balance effects. **Physiology & Behavior**, v. 83, n. 4, p. 579-585, 2004.
- WHITE, D. A. et al. The assembly of triacylglycerol-rich lipoproteins: an essential role for the microsomal triacylglycerol transfer protein. **British journal of nutrition**, v. 80, n. 3, p. 219-229, 1998.
- YANAI, H. et al. Diacylglycerol oil for the metabolic syndrome. **Nutrition Journal**, v. 43, n. 6, p. 1475-2891, 2007.
- YANG, L.Y.; KUKSIS, A. Apparent convergence (at 2-monoacylglycerol level) of phosphatidic acid and 2-monoacylglycerol pathways of synthesis of chylomicron triacylglycerols. **Journal of Lipid Research**, v. 32, p. 1173-1186, 1991.

YASUNAGA, K. et al. Safety aspects regarding the consumption of high-dose dietary diacylglycerol oil in men and women in a double-blind controlled trial in comparison with consumption of a triacylglycerol control oil. **Food and Chemical Toxicology**, v. 42, p. 1419-1429, 2004.

Recebido em: 11 Novembro 2009

Aceito em: 26 Abril 2010