

中链甘油三酯微胶囊的体外释放及对小鼠脂质代谢的影响

王凤新, 邓波, 熊华*, 窦晓凤

(南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西 南昌 330047)

摘要: 采用喷雾干燥技术制备中链甘油三酯微胶囊, 将中链甘油三酯固态化, 方便食品添加和储运; 以人工胃液模拟体外释放, 初步研究了中链甘油三酯微胶囊的缓释特性; 并以基础合成饲料、长链甘油三酯微胶囊高脂饲料(长链甘油三酯供能占总能量30%左右)和中链甘油三酯微胶囊高脂饲料(中链甘油三酯供能占总能量30%左右)分别饲喂小鼠, 并观察5周内小鼠健康状况和体质量、血清甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量、饲料消耗量的变化, 研究中链甘油三酯对小鼠脂质代谢的影响。结果表明, 中链甘油三酯微胶囊在人工胃液中可缓慢释放6h, 能够缓解中链甘油三酯一次性摄入量超标引起的腹痛腹泻问题, 膳食中添加中链甘油三酯微胶囊后, 能降低体内TC和LDL-C的含量, 中链甘油三酯微胶囊的高脂膳食具有预防肥胖、减少体质量增长和体脂累积、减轻肝脏脂肪沉积的作用, 且其抑制体质量增长的机制与减少能量摄入量无关。

关键词: 中链甘油三酯; 微胶囊; 体外释放; 脂质代谢

Release Characteristics *in vitro* of Medium-chain Triglyceride Microcapsules and Its Effect on Lipid Metabolism in Mice

WANG Feng-xin, DENG Bo, XIONG Hua*, DOU Xiao-feng

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: Medium-chain triglycerides (MCTs) were microencapsulated by spray-drying method with the purpose of solidification, which makes it convenient to add and store MCTs. In the present study, artificial gastric fluid was used to preliminarily investigate release characteristics *in vitro* of MCT microcapsules. Net basic synthetic diet, long-chain triglyceride (LCT) microcapsule-supplemented diet (the energy of LCTs accounting for about 30% of total energy) and MCT microcapsule-supplemented diet ((the energy of MCTs accounting for about 30% of total energy) were separately used to feed mice for 5 consecutive weeks. The changes in health status, body weight, the levels of serum triglyceride (TG), total cholesterol (TC), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) and food intake of mice were observed during the period to understand the effect of MCT microcapsules on lipid metabolism in mice. The results showed that the release of MCT microcapsules in artificial gastric fluid could last 6 h so that abdominal pain and diarrhea caused by excessive intake of MCTs at one time could be relieved. The contents of TC and LDL-C in mice were reduced by supplementing MCT microcapsules in basic synthetic diet and meanwhile, the functions to prevent obesity, reduce body weight gain and fat accumulation and attenuate fat deposition in the liver. Furthermore, the mechanisms of inhibition of body weight gain were independent on reduced energy intake.

Key words: medium-chain triglycerides; microcapsule; release *in vitro*; lipid metabolism

中图分类号: TS201.4; TS22

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)17-0339-05

中链甘油三酯(medium-chain triglyceride, MCT)通常指的是以中碳链脂肪酸(medium chain fatty acid,

MCFA)为主要成分所构成的甘油三酯, 其消化吸收速度快, 摄入后, 在胃和十二指肠内被脂肪酶分解成甘油

收稿日期: 2011-06-20

基金项目: 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室目标导向项目(SKLF-MB-201005)

作者简介: 王凤新(1978—), 男, 硕士研究生, 研究方向为营养与食品卫生。E-mail: 13755278669@139.com

* 通信作者: 熊华(1957—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为蛋白质、微胶囊与功能性食品。

E-mail: huaxiong100@yahoo.com.cn

和中链脂肪酸(MCFA),其水解速度是长链甘油三酯(long-chain triglyceride, LCT)的6倍^[1],MCFA在肝脏内迅速高效地被分解产生能量,其代谢速度是普通长链脂肪酸的10倍,因而很难再形成脂肪,不会造成人体肥胖^[2]。

中链甘油三酯常温下为液态,其经微胶囊化后,可从液态转变为具有分散性的固体粉末,有利于加工和储运。MCT作为一种优质油脂虽然有着诸多优点,但其局限性在于人体一次性摄入量超标会发生腹痛或腹泻现象^[3]。将MCT微胶囊化,可使其在消化系统中缓慢释放,避免腹泻和腹痛问题。此外,MCT虽有预防肥胖的作用,但还应以膳食平衡为基础,若对MCT摄入量过高,无法完全消耗,未消耗的能量就会转变成脂肪在体内累积,不仅达不到减轻体质量的效果,而且还会使体质量增加,甚至还有引发高胆固醇血症和高甘油三酯血症的风险^[4]。

喷雾干燥法是油性液体物料微胶囊化的常用方法^[5],本研究采用喷雾干燥技术,将MCT微胶囊化制成粉末油脂,扩大其在食品领域的应用;以人工胃液模拟体外释放,考查微胶囊的缓释特性;并将MCT微胶囊添加到饲料中(脂肪供能约占总能量的30%)喂养小鼠,探讨中链甘油三酯微胶囊对小鼠体内脂质代谢的影响。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

LCT(大豆油)微胶囊粉末油脂(油脂含量40%) 市购;健康雄性昆明小鼠30只(体质量30g左右) 南昌大学动物部。

中链甘油三酯(纯度大于99%) 德国Berg+Schmidt公司;麦芽糊精(DE值20)、酪蛋白、硬脂酰乳酸钠、单甘酯(食品级) 河南宜信达化工有限公司;石油醚、无水乙醚、正己烷、盐酸、NaCl、H₃PO₄、NaOH等分析纯常规化学试剂 天津市大茂化学试剂厂;胃蛋白酶 诺维信公司(中国)。

1.2 仪器与设备

GYB30-6S型高压均质机 上海东华高压均质机厂;QZP-8型移动式高速离心喷雾干燥机 无锡市林州干燥机厂;RH basic 1型磁力搅拌器 德国IKA公司;RE-52AA型旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;DHG-9070A型电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;BS 224S型电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;UV-2450紫外分光光度计 日本岛津公司;TDL-5-A台式离心机 上海安亭科学仪器厂;BECKMAN42型自动化分析仪 美国贝克曼公司。

1.3 方法

1.3.1 MCT微胶囊的制备^[6]

以麦芽糊精和酪蛋白为壁材,中链甘油三酯为芯材,单甘酯和硬脂酰乳酸钠为乳化剂制备微胶囊。

制备过程:称取一定量的麦芽糊精溶解在50~60℃的蒸馏水中,保持溶液温度为60℃,恒温搅拌30min后,缓缓加入预先在60℃融化混合的乳化剂和中链甘油三酯,继续搅拌20min后,30MPa压力均质,在进风温度180~185℃、出风温度90~100℃喷雾干燥条件下制备粉末油脂,经筛分,得到成品。

1.3.2 MCT微胶囊常规指标测定

水分:GB5497—85《粮食、油料检验水分测定》方法,105℃烘干2~3h,称量至质量恒定。

密度:将微胶囊倒入带刻度的量筒中,计算单位体积微胶囊的质量^[7]。

溶解度测定:在50mL烧杯中,放入5g样品,加入25~30℃的水38mL,将其移至50mL离心管,离心10min后弃上清液;再加入25~30℃的水38mL,分数次溶解样品,晃动离心管,使沉淀悬浮在管中后离心10min,弃上清液,再用少量水将沉淀混合倒入称量皿中,置于沸水浴上蒸干水分后105℃烘干至恒质量^[8]。

$$\text{溶解度}/\% = 100 - \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{(1 - \bar{\omega}) \times m} \quad (1)$$

式中: m 为样品质量/g; m_1 为称量皿和不溶物质量/g; m_2 为称量皿质量/g; $\bar{\omega}$ 为样品含水量/%。

含油率测定^[9]:准确称取质量为 m_1 (2g左右)的微胶囊,用无水乙醚作溶剂,微胶囊破碎后,采用索氏提取法测定微胶囊总油的质量 m_2 。

$$\text{含油率}/\% = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

含油率平行测定3次。

灰分的测定:GB/T 5009.4—2003《食品中灰分的测定》,灼烧至质量恒定法。

蛋白质测定:GB/T 5009.5—2003《食品中蛋白质的测定》,凯氏定氮法。

1.3.3 模拟体外胃溶实验

以正己烷为溶剂,配制不同浓度的MCT,用紫外-可见分光光度计测定各浓度溶液在 $\lambda=220\text{nm}$ 处的吸光度,根据吸光度对浓度作图,得到中链甘油三酯浓度与吸光度的标准曲线。

称取10g胃蛋白酶于1000mL的烧杯中,加水900mL,搅拌,调节pH值至1.2左右,加入2g NaCl,搅拌,转移至1000mL容量瓶中,定容配制成人工胃液。量取100mL人工胃液置于100mL三角瓶中,加入1g微胶囊,三角瓶置于37℃恒温水浴中,100r/min的速率搅

拌(模拟肠胃蠕动状态),分别于30、60、90、120、150、180、210、240min时刻对胃液进行过滤,用正己烷萃取滤液中的溶出物,同时滤渣移入到等量的空白释放介质中继续释放。测定释放液的吸光度,根据标准曲线方程计算出对应MCT的浓度并计算芯材累积释放率^[10]。

$$\text{芯材累积释放率}/\% = \frac{\text{释放液中的MCT量}}{\text{1g微胶囊中MCT量}} \times 100 \quad (3)$$

1.3.4 小鼠体内代谢实验

1.3.4.1 动物分组^[11]

将购买的昆明小鼠适应性喂养1周后,随机分为基础对照组10只,饲以基础饲料;LCT微胶囊组10只,饲以LCT供能占总能量30%左右的高脂饲料;MCT微胶囊组10只,以含MCT供能占总能量30%左右的高脂饲料饲养。

饲养环境:温度:(21±2)℃,相对湿度:50%~80%,光照:AM7:00~PM7:00。

小鼠按组别不同采取同室分笼饲养。实验期间自由摄食和饮水,共饲喂5周。

1.3.4.2 饲料组成

基础对照组:选用纯合成饲料,在合成饲料配方AIN-93G的基础上,添加15%的大豆油微胶囊。

LCT微胶囊组饲料:参考合成饲料配方AIN-93G,添加40%的大豆油微胶囊。

MCT微胶囊组饲料:参考合成饲料配方AIN-93G,添加37.5%的MCT微胶囊,并添加2.5%的大豆油微胶囊以避免必需脂肪酸的缺乏。饲料具体配方见表1。

表1 饲料成分表
Table 1 Diet ingredients

组成	基础对照组	LCT微胶囊组	MCT微胶囊组
酪蛋白/(g/100g饲料)	20	20	20
淀粉/(g/100g饲料)	57.5	32.5	32.5
纤维素/(g/100g饲料)	5	5	5
LCT微胶囊/(g/100g饲料)	12.5	37.5	2.5
MCT微胶囊/(g/100g饲料)	0	0	35
矿物质/(g/100g饲料)	4	4	4
维生素/(g/100g饲料)	1	1	1
总能量/(kJ/100g)	1710	1924	1906

1.3.4.3 动物处死和样品采集

每周记录一次各小鼠的体质量,每天记录每组的总饲料消耗量。3组小鼠在第5周的最后一天禁食(不禁水)12h,然后摘眼球取血,血液在2000r/min离心10min后收集血清,血清置于-20℃冰箱内保存待测。立即解剖取血处死小鼠,并观察主要脏器。

1.3.4.4 血脂测定

采用BECKMAN42型自动化分析仪测定样品中总胆固醇(TC)、血清甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量以及低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量。

2 结果与分析

2.1 MCT微胶囊常规指标

对制得的中链甘油三酯微胶囊的常规指标测定结果见表2。产品的水分含量为2.92%、灰分含量为1.54%,均符合微胶囊产品的要求。溶解度在95%以上,说明溶解性良好。含油率为40.2%,达到了后续要求,可以用于小鼠实验,也说明制备方法可行。

表2 中链甘油三酯微胶囊的常规指标
Table 2 Routine physicochemical indexes of MCT microcapsules

水分/%	密度/(g/cm ³)	溶解度/%	含油率/%	灰分/%	蛋白质/%
2.92	0.39	95.8	40.2	1.54	2.89

2.2 体外释放

微胶囊在体外的累积释放量是用来描述微胶囊的释放性能的主要表征,释放介质一般采用人工肠液、人工胃液、生理盐水等^[12]。本实验采用pH1.2的人工胃液研究中链甘油三酯微胶囊的体外释放特性,结果见图1。

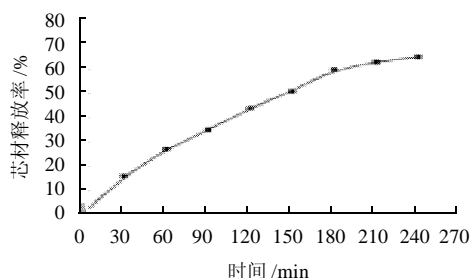


图1 中链甘油三酯微胶囊在人工胃液中的释放曲线

Fig.1 Release curve of MCT microcapsules in artificial gastric fluid

从图1可见,在最初的30min,芯材累积释放率较高,达15%以上,这可能是附着在微胶囊表面的中链甘油三酯被释放到介质中的结果,这个现象称为突释。在之后释放过程中,芯材释放速度减慢,在180min之后,芯材的释放速度开始变得很小。微胶囊在人工胃液中240min约释放65%。

经观察,中链甘油三酯微胶囊在人工胃液中3h后仍保持较完整的颗粒,6h后才全部崩解。在模拟胃液环境中能够存在较长时间,具有良好的缓释性。

2.3 小鼠一般体征

实验期间各组小鼠大小便正常,饮食和饮水正常,

活动自如,无异常姿态,毛有光泽。实验结束时解剖观察小鼠心、肺、肝、脾、胃、肠等脏器,未发现病变。

2.4 各组小鼠饲料消耗量

由于每组10只小鼠是饲养在同一笼子内,故每日的饲料摄入量为10只小鼠的合计。各组小鼠日饲料消耗量在一周内的均值见表3。在整个实验过程中,各组小鼠的日饲料消耗量变化不大。从实验开始到结束,对照组每日饲料摄入量都大于MCT微胶囊组和LCT微胶囊组,MCT微胶囊组和LCT微胶囊组各周的饲料总消耗量相差不大,但均小于对照组。

表3 对照组、LCT微胶囊组和MCT微胶囊组每日饲料消耗量比较($\bar{x} \pm s, n=7$)

Table 3 Daily diet intake of each mouse group ($\bar{x} \pm s, n=7$)

时间	日饲料消耗量/g		
	对照组	LCT微胶囊组	MCT微胶囊组
第1周	41.0 \pm 1.3	36.2 \pm 0.9	36.7 \pm 1.1
第2周	42.6 \pm 1.0	39.1 \pm 1.2	38.4 \pm 1.4
第3周	43.4 \pm 1.7	39.6 \pm 0.8	37.0 \pm 0.9
第4周	44.2 \pm 2.1	38.1 \pm 1.1	36.6 \pm 0.9
第5周	43.1 \pm 1.4	38.7 \pm 1.0	37.6 \pm 1.2

2.5 能量摄入量

饲料消耗量与单位饲料所含能量的乘积即为小鼠的能量摄入量。根据饲料组成及消耗量推算出的各组小鼠的每日能量摄入量如表4。在自由摄食情况下,3组小鼠每日能量摄入量无显著差异,均能满足小鼠的正常生理代谢需要。

表4 对照组、LCT微胶囊组和MCT微胶囊组每日能量摄入量比较($\bar{x} \pm s, n=7$)

Table 4 Daily energy intake of each mouse group ($\bar{x} \pm s, n=7$)

时间	日能量摄入量/kJ		
	对照组	LCT微胶囊组	MCT微胶囊组
第1周	701.1 \pm 22.2	696.5 \pm 17.3	699.5 \pm 21.0
第2周	728.5 \pm 17.1	752.3 \pm 23.1	731.9 \pm 24.8
第3周	742.1 \pm 29.0	761.9 \pm 15.4	705.2 \pm 17.2
第4周	755.8 \pm 36.0	733.0 \pm 21.2	697.6 \pm 26.7
第5周	737.0 \pm 23.9	744.6 \pm 19.2	716.7 \pm 22.9

2.6 体质量变化

对照组、LCT微胶囊组和MCT微胶囊组3组动物的每周体质量、体质量变化趋势以及5周后的体质量增长量见图2。0周时即实验开始阶段,3组小鼠的体质量并无差别,从第4周开始,LCT微胶囊组小鼠的体质量显著高于基础对照组($P < 0.05$)和MCT微胶囊组($P < 0.05$),

MCT微胶囊组和对照组的体质量没有显著差异。第5周时即实验结束阶段3组小鼠平均体质量分别为:对照组(42.2 \pm 1.7)g、MCT微胶囊组(42.9 \pm 1.2)g、LCT微胶囊组(47.1 \pm 1.9)g。实验结束时3组小鼠的体质量增长量分别为:对照组(10.7 \pm 1.1)g、MCT微胶囊组(11.1 \pm 1.0)g、LCT微胶囊组(15.3 \pm 1.7)g,MCT微胶囊组和对照组没有显著差异,而LCT微胶囊组体质量增长量显著高于MCT微胶囊组和对照组。

结果表明,中等水平的MCT高脂膳食能够减少体脂的聚积,达到预防肥胖的效果。综合图2、表3和表4可知,MCT微胶囊组小鼠与LCT微胶囊组小鼠在能量摄入量无显著差异的情况下,后者的体质量增长量明显高于前者,MCT微胶囊组高脂膳食预防小鼠肥胖的机制不是减少能量摄入量而应是增加能量消耗量,与相关文献^[13]报道一致。而LCT微胶囊组的高脂膳食诱导肥胖与其改变了动物体内能量代谢调节机制有关,使能量储存显著高于能量消耗,造成体质量和体脂的快速增长,与Nosaka等^[14]及Kasai等^[15]的研究结果一致,可以认为中链甘油三酯在体内的能量代谢不受微胶囊化影响。

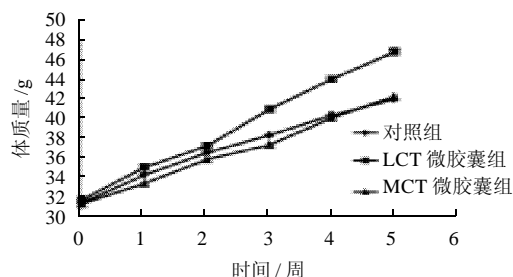


图2 各组小鼠体质量变化趋势

Fig.2 Weekly body weight gain of each mouse group

2.7 血脂水平变化

表5 各组小鼠血清TG、TC、HDL-C和LDL-C的比较

($\bar{x} \pm s, n=10$)

Table 5 Serum indexes of each mouse group ($\bar{x} \pm s, n=10$)

指标	对照组	LCT微胶囊组	MCT微胶囊组
TG浓度/(mmol/L)	0.37 \pm 0.23	0.39 \pm 0.31	0.37 \pm 0.18
TC浓度/(mmol/L)	2.95 \pm 0.26	3.73 \pm 0.11 ^{AB}	3.04 \pm 0.19
HDL-C浓度/(mmol/L)	2.59 \pm 0.16	3.13 \pm 0.08 ^{ab}	2.41 \pm 0.13
LDL-C浓度/(mmol/L)	0.57 \pm 0.03	1.46 \pm 0.09 ^{AB}	0.62 \pm 0.05
HDL-C/LDL-C	4.54 \pm 0.03	2.14 \pm 0.09 ^{AB}	3.89 \pm 0.03

注: a和A.分别表示LCT微胶囊组与对照组比较,差异显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$); b和B.分别表示LCT微胶囊组与MCT微胶囊组比较差异显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)。

表5为各组实验小鼠血清TG、TC、LDL-C、HDL-C及HDL-C/LDL-C的情况。MCT微胶囊组血清TG与LCT微胶囊组没有明显差异,LCT微胶囊组TG与对照组无

明显差异。LCT 微胶囊组血清 TC 显著高于对照组和 MCT 微胶囊组($P < 0.01$), 对照组和 MCT 微胶囊组间无明显差异。LCT 微胶囊组血清 HDL-C 较 MCT 微胶囊组($P < 0.05$)和对照组($P < 0.05$)均升高, LCT 微胶囊组血清 LDL-C 也显著高于 MCT 微胶囊组($P < 0.01$)和对照组($P < 0.01$), MCT 微胶囊组血清 LDL-C 与对照组无明显差异。MCT 微胶囊组 HDL-C/LDL-C 明显高于 LCT 微胶囊组($P < 0.01$), 与对照组间无显著差异。说明 MCT 微胶囊高脂膳食与 LCT 微胶囊高脂膳食相比能显著降低小鼠体内的 TG 含量、HDL-C 以及 LDL-C 的水平。

3 结 论

MCT 微胶囊结构在人工胃液中经过 6h 才完全崩解, 具有良好的缓释性, 能够缓解中链甘油三酯一次性摄入量超标引起的腹痛、腹泻问题。

MCT 微胶囊的高脂膳食能够预防肥胖, 减少体质量增长和体脂累积, 同时减少肝脏脂肪的沉积, 可作为减肥食品优选的粉末油脂添加。

肥胖常常会伴随有血脂代谢紊乱, 是许多肥胖相关疾病发生的危险因素。动物实验表明饮食中添加 MCT 微胶囊后, 有降低体内总胆固醇含量、高密度脂蛋白胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平的功效, 具体的作用机制有待进一步研究。Hill 等^[16]的研究显示, 向 10 名正常体质量的研究对象提供连续 6d 含 MCT 的饮食, 研究对象的空腹血清甘油三酯水平升高明显, 与本实验结果相同, 但也有研究表明 MCT 有降低血清甘油三酯的作用^[17], 目前研究结果不同的原因主要在于 MCT 的用量差异, MCT 的用量过高会使得其消耗不完全, 因此血清甘油三酯水平仍会升高, 故本实验中所用 MCT 微胶囊的用量还需做进一步调整。

MCT 微胶囊组小鼠的能量摄入量同 LCT 微胶囊组没有显著差异, 表明 MCT 抑制体质量增长的机制与减少能量摄入量无关, 可能与通过外周或中枢机制影响能量代谢相关。

参考文献:

- [1] JOHNSON R C, COTTER R. Metabolism of medium-chain triglyceride lipid emulsion[J]. *Nutrition International*, 1986, 2: 150.
- [2] ST-ONGE M P, BOURQUE C, JONES P J H, et al. Medium-versus long-chain triglycerides for 27 days increases fat oxidation and energy expenditure without resulting in changes in body composition in overweight women[J]. *International Journal of Obesity*, 2003, 27: 95-102.
- [3] MARTEN B, PFEUFFER M, SCHREZENMEIR J. Medium-chain triglycerides[J]. *International Dairy Journal*, 2006, 16: 1374-1382.
- [4] TRAUL K A, DRIEDGER A, INGLE D L, et al. Review of the toxicologic properties of medium-chain triglycerides[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2000, 38: 79-98.
- [5] 吴琼英, 马海乐, 李国文. 脂类及脂溶性物质的微胶囊技术[J]. *粮油加工与食品机械*, 2000(5): 4-6.
- [6] 邓波, 史苏华, 熊华, 等. 响应面分析法优化中链甘油三酯微胶囊的制备[J]. *中国油脂*, 2011, 36(2): 30-33.
- [7] 孔保华, 郑冬梅, 林淑英, 等. 鱼油微胶囊技术的研究[J]. *食品工业科技*, 1999, 20(5): 8-10.
- [8] 孙新虎. 番茄红素微胶囊包埋的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2004: 6.
- [9] 孙兰萍, 马龙, 张斌, 等. 杏仁油微胶囊制备工艺的优化[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(9): 253-257.
- [10] 向云峰, 文玲. 大蒜油微囊制备工艺的实验研究[J]. *食品工业*, 1995(5): 29-31.
- [11] 王娜, 张建新, 叶萌祺, 等. 蜂胶超微粉对高血脂小鼠脂质代谢的作用[J]. *营养学报*, 2010, 32(1): 52-54.
- [12] 包德才, 张琼钢, 刘袖洞, 等. 含 VE 微胶囊的制备及其控制释放性能研究[J]. *物理化学学报*, 2004, 20(2): 178-181.
- [13] ST-ONGE M P, ROSS R, PARSONS W D, et al. Medium-chain triglycerides increase energy expenditure and decrease adiposity in overweight men[J]. *Obes Res*, 2003, 11: 395-402.
- [14] NOSAKA N, MAKI H, SUZUKI Y, et al. Effects of margarine containing medium-chain triacylglycerols on body fat reduction in humans[J]. *J Atheroscler Thromb*, 2003, 10(5): 290-298.
- [15] KASAI M, NOSAKA N, MAKI H, et al. Effect of dietary medium and long-chain triacylglycerols (MLCT) on accumulation of body fat in healthy humans[J]. *Asia Pac J Clin Nutr*, 2003, 12(2): 151-160.
- [16] HILL J O, PETERS J C, YANG D, et al. Thermogenesis in humans during overfeeding with medium-chain triglycerides[J]. *Metabolism*, 1989, 38(7): 641-648.
- [17] SCHLOTZER E, KANNING U. Elimination and tolerance of a new parenteral lipid emulsion(SMOF)-a double-blind cross-over study in healthy male volunteers[J]. *Ann Nutr Metab*, 2004, 48(4): 263-268.