

菜籽油和辛酸酶法合成结构脂质的毒理学评价研究

栾霞,王瑛瑶,郭咪咪

(国家粮食局科学研究院,北京 100037)

摘要:研究菜籽油和辛酸酶法合成的结构脂质(SLs)的食用安全性,为其成为新资源食品原料提供科学依据。通过小鼠的急性毒性试验和遗传毒性试验(Ames试验、小鼠骨髓嗜多染红细胞微核试验及小鼠精子畸形试验),对菜籽油和辛酸酶法合成的SLs的毒性进行评价。结果表明,急性毒性试验中,小鼠对SLs的经口最大耐受量(MTD)大于20.46 g/kg bw,表明该结构脂质属无毒级;遗传毒性试验结果均显示为阴性,表明该结构脂质无遗传毒性。菜籽油和辛酸酶法合成的结构脂质属于无毒级食品且未显示有遗传毒性作用。

关键词:结构脂质;新食品原料;急性毒性试验;遗传毒性试验;安全性

中图分类号:TS 201.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)02-0035-05

Study on the toxicological evaluation of structured lipids synthesized from rapeseed oil and octanoic acid by enzymic method

LUAN Xia, WANG Ying-yao, GUO Mi-mi

(Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037)

Abstract: The edible safety of synthesized structured lipids (SLs) from rapeseed oil and octanoic acid by enzymic method was studied, in order to provide scientific basis for using it as a new resource of food. The toxicity of SLs was evaluated by acute toxicity test and heritage toxicity test of mice (Ames test, micronucleus test of bone marrow PCE cell in mice and sperm shape abnormality test of mice). The results showed that in the acute toxicity test, the oral maximum tolerance dose of SLs was larger than 20.46 g/kg bw, which meant the SLs belonging to non-toxic grade; The results of the heritage toxicity tests were all negative, suggested that there were no genetic toxicity in the structured lipids. The synthesized structured lipids (SLs) from rapeseed oil and octanoic acid by enzymic method belong to non-toxic grade food and do not have genetic toxic effect.

Key words: structured lipids; new food raw material; acute toxicity test; genetic toxicity test; safety

通过改变三酰基甘油骨架上脂肪酸组成及位置分布制得结构脂质(Structured lipids, SLs),可以最大限度地降低脂肪本身潜在的或不合理摄入带来的危害,并最大限度地发挥脂肪的有益作用^[1]。富含中碳链脂肪酸的SLs具有供能速度快、降血脂和减少脂肪在体内堆积的优点,并可以最大限度地发挥油酸在体内的生理功效^[2]。2012年10月,含有中长链脂肪酸的SLs(含中碳链脂肪酸11%)作为新资源食品获得我国卫生部许可,在合理膳食条件下,这

类SLs能显著降低超重高甘油三酯血症患者血中的低密度脂蛋白和血清甘油三酯浓度,可作为纠正高血脂的食用油^[3]。影响SLs体内功效的两个主要因素是SLs中中碳链脂肪酸的含量以及中碳链脂肪酸在甘油骨架上的位置分布。本研究通过特异性脂肪酶催化制备得到中碳链脂肪酸位于甘油三酯sn-1,3位、油酸位于甘油三酯sn-2位的SLs,属于中碳链-长碳链-中碳链型的SLs。对于这类中碳链脂肪酸含量较高且90%以上中碳链脂肪酸位于甘油骨架sn-1,3位的新型健康油脂^[2],国外已有众多制备和安全性评价试验结果报道^[4-9],但国内还没有按照《新食品原料安全性审查管理办法》开展

收稿日期:2014-09-15

基金项目:公益性科研院所基金(ZX1216);国家农业科技成果转化基金(SQ2011EC4490011)

作者简介:栾霞,1963年出生,女,副研究员。

该类产品安全性评价的系统实验数据。因此,在前期研究基础上,按照《新食品原料安全性审查规程》的要求,开展含中碳链脂肪酸的 SLs 的急性毒性试验和遗传毒性试验(Ames 试验、微核试验、精子畸形试验),对 SLs 进行毒理学评价,以期为新型健康油脂系统研发和产业化应用提供支持。

1 材料与方法

1.1 结构脂质

菜籽油和辛酸酶法合成的结构脂质(SLs)为研究组自制,含17%以上中碳链脂肪酸。使用前密封瓶装,室温避光放置。

1.2 实验动物

昆明小鼠110只,SPF级,由山东大学实验动物中心提供。动物生产许可证号为SCXK(鲁)20090001;SPF级实验动物环境设施合格证号为SYXK(鲁)20100011号;动物饲料合格证号为SCXK(鲁)20090014。实验环境温度为 22 ± 2 ℃,相对湿度为 $50\% \pm 10\%$ 。

1.3 仪器

恒温培养箱,Thermo Scientific;恒温水浴锅,常州朗越;低温高速离心机,Beckman Coulter;低温冰箱(-80 ℃),Thermo Electron Corporation;电子天平,Mettler Toledo;匀浆器,上海博通;蒸汽压力锅,合肥华泰;光学显微镜,OLYMPUS。

1.4 试剂和培养基制备

1.4.1 试剂

除特别说明外至少应是化学纯,无诱变性。苦味酸:配制成酒精饱和液;0.5%品红溶液染色剂;二甲基亚砜(DMSO),光谱纯,0.103 MPa 灭菌20 min;2-氨基芴(2-AF)、1,8-二羟蒽醌、敌克松,均溶解在DMSO中;叠氮钠(NaN_3),溶解在水中;其他用到的试剂包括环磷酰胺(CP)、甲醇、氯化钾、Giemsa 染色剂、玉米油等。

1.4.2 顶层琼脂培养基制备

0.5 mmol/L 组氨酸-生物素溶液:D-生物素(相对分子质量244.3)30.5 mg,L-组氨酸盐(相对分子质量191.7)24.0 mg,加蒸馏水至250 mL,0.103 MPa 灭菌20 min,4℃保存。

将琼脂3.0 g、氯化钠2.5 g、蒸馏水500 mL加热溶化后,加入0.5 mmol/L 组氨酸-生物素溶液50 mL,混匀,分装在100 mL三角瓶中,0.103 MPa 灭菌20 min,4℃保存。用时融化分装小试管,每管2 mL,在45℃水浴中保温。

1.4.3 底层培养基配制

40%葡萄糖溶液:称取40 g葡萄糖,加蒸馏水

至100 mL,0.103 MPa 灭菌20 min,4℃保存。

磷酸盐贮备液:磷酸氢钠铵($\text{NaNH}_4\text{HPO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)17.5 g、柠檬酸($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$)10.0 g、磷酸氢二钾(K_2HPO_4)50.0 g、硫酸镁($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)1.0 g,加蒸馏水至100 mL。先将前三种溶解后,再加入硫酸镁,待完全溶解后,分装于锥形瓶中,0.103 MPa 灭菌20 min。

1.5%琼脂培养基:琼脂6.0 g,加蒸馏水至400 mL,融化后0.103 MPa 灭菌20 min。

底层培养基(无菌操作):趁热(80℃)在灭菌琼脂培养基中(400 mL)依次加入磷酸盐贮备液8 mL、40%葡萄糖溶液20 mL,充分混匀,待凉至80℃左右时倒平皿,每皿(ϕ 90 mm)25 mL,37℃培养过夜以除去水分及检查有无污染。

1.4.4 营养肉汤培养基配制

牛肉膏2.5 g、胰胨(或混合蛋白胨)5.0 g、氯化钠2.5 g、磷酸氢二钾1.0 g、蒸馏水500 mL。加热溶解,调pH至7.4,0.103 MPa 灭菌20 min,4℃保存。

1.4.5 大鼠肝S-9的诱导和制备

选健康雄性成年Wistar大鼠,体重150 g左右,周龄约5-6周。将多氯联苯(PCB)诱导剂溶于玉米油中(浓度为200 mg/mL),按500 mg/kg体重无菌操作一次腹腔注射,5 d后断头处死动物,取出肝脏,称重,再用新鲜冰冷的0.15 mol/L氯化钾溶液连续冲洗肝脏数次,以便除去能抑制微粒体酶活性的血红蛋白。每克肝(湿重)加0.1 mol/L氯化钾溶液3 mL,连同烧杯移入冰浴中,用消毒剪刀剪碎肝脏,用玻璃匀浆器(低于4 000 r/min,往复1~2 min)或组织匀浆器(20 000 r/min,1 min)制成肝匀浆。以上操作需注意无菌和局部冷环境。

将制成的肝匀浆在低温(0~4℃)高速离心机上以9 000 g离心10 min,吸出上清液(S-9组分),分装于无菌冷冻管或安瓶中,每安瓶2 mL左右,最好用液氮或干冰速冻后置 -80 ℃低温保存。

1.4.6 S-9辅助因子(混合液试剂)的配制

0.4 mol/L氯化镁溶液:称取3.8 g氯化镁,加蒸馏水溶解并稀释至100 mL。

1.65 mol/L氯化钾溶液:称取12.3 g氯化钾,加蒸馏水溶解并稀释至100 mL。

0.2 mol/L磷酸盐缓冲液(pH 7.4,500 mL): Na_2HPO_4 (14.2 g/500 mL)440 mL, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (13.8 g/500 mL)60 mL,调pH至7.4,0.103 MPa 灭菌20 min。

辅酶-II(氧化型)溶液:准确称取辅酶-II,

用无菌蒸馏水溶解配制成 0.025 mol/L 的溶液,低温保存(-20℃以下)。

葡萄糖-6-磷酸钠盐溶液:称取葡萄糖-6-硫酸钠盐,用无菌蒸馏水溶解配制成 0.05 mol/L,低温保存(-20℃以下)。

10% S-9 混合液的配制(10 mL):临用时配制,磷酸盐缓冲液(0.2 mol/L, pH 7.4) 6.0 mL,氯化钾溶液(1.65 mol/L) 0.2 mL,氯化镁溶液(0.4 mol/L) 0.2 mL,葡萄糖-6-磷酸钠盐溶液(0.05 mol/L) 1.0 mL,辅酶-II 溶液(0.025 mol/L) 1.6 mL,肝 S-9 液 1.0 mL,混匀,置冰浴中待用。

1.5 菌株准备和贮藏

外购鼠伤寒沙门氏菌组氨酸缺陷型 TA97、TA98、TA100、TA102 四株菌株。菌株贮存在加有二甲基亚枫的新鲜细菌培养液中,其体积比为 0.09:1,混合后分装于小试管或菌种管内,经干冰丙酮液(-75℃)或液氮(-196℃)速冻,在-80℃冰箱或-196℃液氮中长期贮存。

从冷冻贮存菌株管中刮取细菌置于三角瓶中,加 5 mL 营养肉汤培养基增菌培养,37℃振荡(100 r/min)培养 10~12 h,活菌数应达 10^9 个/mL($OD_{600} \approx 0.4$)。取出后立即放入 4℃中备用。实验需用当天孵育好的新鲜菌液。

1.6 急性毒性试验

采用最大耐受量(MTD)试验。健康小鼠 20 只,雌雄各半,体重为 18~22 g。小鼠空腹 16 h 后,灌胃 SLs 试样(0.22 mL/10 g bw, 20.46 g/kg bw) 1 次。连续观察 14 d,记录中毒表现及死亡情况。

1.7 遗传毒性试验

1.7.1 Ames 试验

采用经鉴定符合要求的鼠伤寒沙门氏菌组氨酸缺陷型 TA97、TA98、TA100、TA102 四株菌株,采用多氯联苯(PCB)诱导的大鼠肝匀浆(S-9)作为体外代谢活化系统。称取 SLs 试样 1.25 g,用 DMSO 溶解并定容至 25 mL,SLs 溶液浓度为 50 000 $\mu\text{g}/\text{mL}$,混匀。0.103 MPa 灭菌 20 min,存放 4℃冰箱备用。临用前将上述 SLs 溶液按 1:4 依次用 DMSO 稀释成以下浓度 10 000、2 000、400、80 $\mu\text{g}/\text{mL}$,加上 50 000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 则为 5 个不同浓度 SLs 原液。当每个培养皿中添加 0.1 mL 原液时,则试验设为 5 000、1 000、200、40、8 $\mu\text{g}/\text{皿}$ 5 个不同 SLs 剂量,每个剂量做 3 个平行皿。点试验,对照组同时设有阳性物对照组、溶剂对照组和未处理对照组,均包括加 S-9(+S-9)和不加 S-9(-S-9) 2 个系列。阳性诱变剂为加 S-9 时,TA97、TA98、TA100 三种菌株均

用 2-乙酰氨基芴(2-AF),TA102 菌株用 1,8-二羟蒽醌;不加 S-9 时,TA97、TA98、TA102 三种菌株均用敌克松,TA100 菌株用叠氮钠(NaN_3)。叠氮钠溶解在水里,其他溶解在 DMSO 里。

点试验操作:融化顶层培养基分装于无菌小试管,每管 2 mL,在 45℃水浴中保温。在顶层琼脂培养基中加入 0.1 mL 试验菌液和 0.1 mL 受试样品溶液,需要代谢活化时加入 0.5 mL 10% S-9 混合液,混匀后倒入底层培养基平板上,转动平皿使顶层培养基均匀分布在底层培养基上,平放固化,37℃培养 48 h,计数每皿回变菌落数。同时做阳性对照组,即不加受试物,只加标准诱变剂;溶剂对照组不加受试物和诱变剂,加入 0.1 mL DMSO;未处理对照组只在培养基上加菌液,其他操作同上。

结果判定:如果受试样品的回变菌落数是空白回变菌落数的 2 倍以上,并具有剂量-效应关系者则定为阳性。如果试验结果为阴性,则需在相同条件下重复做两次。

1.7.2 小鼠骨髓嗜多染红细胞微核试验

60 只小鼠(体重 25~30 g),随机分为 6 组,每组 10 只,雌雄各半。SLs 剂量分别为 2.50、5.00、10.00 g/kg bw。分别称取受试样 2.50、5.00、10.00 g,用玉米油溶解并定容至 20 mL,灌胃量为 0.20 mL/10 g bw。以 40 mg/kg bw 剂量的 CP 为阳性对照,玉米油为溶剂对照,蒸馏水为阴性对照,间隔 24 h,灌胃 2 次,末次给受试物 6 h 后,处死动物,取胸骨骨髓涂片,甲醇固定,Giemsa 染色,在光学显微镜下,观察 200 个嗜多染红细胞(PCE),同时计数正染红细胞(NCE),计算 PCE/NCE 比值,每只动物计数 1 000 个嗜多染红细胞,微核率以含微核的嗜多染红细胞千分率计,并进行统计学处理。

1.7.3 小鼠精子畸形试验

体重 30~35 g 的性成熟雄性小鼠 30 只,随机分为 6 组,每组 5 只,SLs 剂量分别为 2.50、5.00、10.00 g/kg bw。分别称取受试样 2.50、5.00、10.00 g,用玉米油溶解并定容至 20 mL,灌胃量为 0.20 mL/10 g bw。以 40 mg/kg bw 剂量的 CP 为阳性对照,玉米油为溶剂对照,蒸馏水为阴性对照,每日灌胃,连续 5 d,末次灌胃 30 d 后处死动物,取附睾制片,伊红染色,每组计数 5 只动物,每只动物计数 1 000 个结构完整的精子,计算精子畸形率(以百分率计),并进行统计学处理。

1.8 数据处理

采用 SPSS11.0 统计软件分别对数据进行泊松

分布、秩和检验、One - way ANOVA 分析及 Dunnett 检验, 检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 急性毒性试验

以 20.46 g/kg bw 的剂量给小鼠灌胃 SLs 试样后, 观察 14 d, 2 种性别的小鼠均未见明显的中毒症状, 也无死亡。将受试动物处死后进行解剖检查, 肝脏、脾脏、肾脏、心脏、肺、胃、肠等主要器官均未见明显异常改变。SLs 对 2 种性别小鼠的 MTD 均大于 20.46 g/kg bw。试验结果见表 1。

表 1 SLs 对小鼠的急性毒性试验结果

性 别	数量 / 只	初始体重 /g	7 d 体重 /g	14 d 体重 /g	MTD / (g/kg bw)
雄	10	19.10 ± 0.89	26.00 ± 1.90	32.01 ± 2.85	> 20.46
雌	10	19.46 ± 1.10	24.83 ± 1.32	28.20 ± 1.76	> 20.46

注: 途径为经口, 体重数据为平均值 ± 标准差。

2.2 遗传毒性试验

2.2.1 Ames 试验

SLs 各剂量组回变菌落数以及对鼠伤寒沙门氏菌 TA97、TA98、TA100、TA102 四株试验菌株的双试验(加与不加 S-9)结果见表 2。

表 2 SLs - Ames 试验菌落数

剂量分组 / ($\mu\text{g}/\text{皿}$)	TA97		TA98		TA100		TA102	
	- S-9	+ S-9	- S-9	+ S-9	- S-9	+ S-9	- S-9	+ S-9
第一次试验结果								
5 000	125 ± 12	135 ± 13	34 ± 4	41 ± 4	141 ± 15	145 ± 14	254 ± 24	247 ± 24
1 000	137 ± 11	130 ± 14	38 ± 4	34 ± 4	137 ± 11	141 ± 13	243 ± 18	252 ± 23
200	139 ± 12	133 ± 13	32 ± 4	36 ± 3	133 ± 13	137 ± 14	257 ± 23	250 ± 24
40	133 ± 10	125 ± 9	38 ± 3	33 ± 4	152 ± 10	146 ± 15	249 ± 20	243 ± 26
8	118 ± 9	129 ± 11	41 ± 4	37 ± 2	146 ± 11	150 ± 12	246 ± 25	255 ± 24
未处理对照	122 ± 11	119 ± 14	30 ± 4	35 ± 3	139 ± 11	133 ± 12	251 ± 24	259 ± 24
溶剂对照	128 ± 15	139 ± 10	36 ± 4	31 ± 4	147 ± 13	139 ± 15	261 ± 25	253 ± 24
敌克松 50 $\mu\text{g}/\text{皿}$	1 397 ± 131		1 051 ± 130				2 291 ± 243	
叠氮钠 2.5 $\mu\text{g}/\text{皿}$					2 247 ± 202			
2 - AF 10 $\mu\text{g}/\text{皿}$	1 457 ± 132		1 586 ± 148		1 508 ± 146			
1,8 - 二羟基醌 50 $\mu\text{g}/\text{皿}$							1 265 ± 146	
第二次试验结果								
5 000	131 ± 11	137 ± 14	32 ± 4	35 ± 3	144 ± 12	137 ± 12	252 ± 22	246 ± 23
1 000	127 ± 13	123 ± 12	36 ± 3	39 ± 3	152 ± 14	143 ± 13	257 ± 20	252 ± 26
200	121 ± 14	128 ± 11	42 ± 4	36 ± 2	138 ± 12	145 ± 15	248 ± 18	255 ± 23
40	141 ± 13	136 ± 12	37 ± 3	31 ± 4	146 ± 14	151 ± 11	243 ± 25	249 ± 20
8	124 ± 14	119 ± 14	31 ± 3	41 ± 4	140 ± 13	148 ± 13	250 ± 24	258 ± 22
未处理对照	133 ± 12	125 ± 15	39 ± 4	34 ± 3	134 ± 12	141 ± 13	254 ± 19	260 ± 22
溶剂对照	136 ± 9	130 ± 13	35 ± 3	30 ± 4	142 ± 14	135 ± 15	262 ± 23	256 ± 25
敌克松 50 $\mu\text{g}/\text{皿}$	1 476 ± 123		1 150 ± 127				2 363 ± 224	
叠氮钠 2.5 $\mu\text{g}/\text{皿}$					2 130 ± 235			
2 - AF 10 $\mu\text{g}/\text{皿}$	1 391 ± 155		1 515 ± 133		1 581 ± 164			
1,8 - 二羟基醌 50 $\mu\text{g}/\text{皿}$							1 463 ± 134	

由表 2 可知, SLs 各剂量组的回变菌落数均未超过未处理回变菌落数的 2 倍, 也无剂量-效应关系, 而阳性对照组的回变菌落数均远超过未处理回变菌落数的 2 倍以上, 说明在加与不加 S-9 时该

SLs 样品对鼠伤寒沙门氏菌 TA97、TA98、TA100、TA102 四株试验菌株均未呈现遗传毒性, 即 Ames 试验结果为阴性。

2.2.2 小鼠骨髓嗜多染红细胞微核试验

SLs 对小鼠骨髓微核率的影响结果见表3。由表3可知,受试物各剂量组微核率与阴性对照组比较无显著性差异($P > 0.05$);环磷酰胺组微核率与阴性对照组比较有极显著差异($P < 0.01$)。受试样品各剂量组 PCE/NCE 比值均不低于阴性对照组的20%,各组未见明显细胞毒性。表明自制的结构脂质(SLs)对小鼠骨髓嗜多染红细胞微核率无影响。

表3 SLs 对小鼠骨髓微核率的影响

性别	剂量/(mg/kg)	动物数/只	检查细胞数/个	含微核嗜多染红细胞数	微核细胞率/%	PCE/NCE 比值
雄	10 000	5	5 000	15	3.0 ± 1.2	1.3 ± 0.2
	5 000	5	5 000	14	2.8 ± 0.8	1.3 ± 0.3
	2 500	5	5 000	14	2.8 ± 1.3	1.2 ± 0.3
	溶剂对照	5	5 000	13	2.6 ± 1.5	1.3 ± 0.2
	阴性对照	5	5 000	15	3.0 ± 1.6	1.2 ± 0.2
	40(CP)	5	5 000	173	34.6 ± 5.2*	1.1 ± 0.2
雌	10 000	5	5 000	15	3.0 ± 1.0	1.2 ± 0.3
	5 000	5	5 000	13	2.6 ± 1.1	1.2 ± 0.2
	2 500	5	5 000	14	2.8 ± 1.1	1.2 ± 0.2
	溶剂对照	5	5 000	16	3.2 ± 1.3	1.3 ± 0.2
	阴性对照	5	5 000	15	3.0 ± 1.2	1.2 ± 0.3
	40(CP)	5	5 000	168	33.6 ± 6.3*	1.0 ± 0.2

注: * 表示与阴性对照组比较差异极显著($P < 0.01$)。

2.2.3 小鼠精子畸形实验

SLs 试样对小鼠精子畸形率的影响结果见表4。由表4可知,受试样品各剂量组小鼠精子畸形率与阴性对照组比较无显著差异($P > 0.05$),而环磷酰胺阳性对照组与阴性对照组比较有极显著差异($P < 0.01$),可判断 SLs 小鼠精子畸形实验结果为阴性。表明 SLs 对小鼠精子畸形率无影响。

表4 SLs 对小鼠精子畸形率的影响

剂量/(mg/kg)	动物数/只	受检精子数/个	精子畸形数/个							精子畸形率/%	
			无钩	胖头	香蕉	无定形	尾折叠	双头	双尾		合计
10 000	5	5 000	52	6	6	28	0	0	1	93	1.86 ± 0.34
5 000	5	5 000	49	7	5	27	0	1	0	89	1.78 ± 0.25
2 500	5	5 000	51	4	6	26	0	0	0	87	1.74 ± 0.27
溶剂对照	5	5 000	50	6	5	27	1	1	0	90	1.80 ± 0.32
阴性对照	5	5 000	52	5	4	28	1	0	1	91	1.82 ± 0.37
40(CP)	5	5 000	78	15	13	150	2	2	1	261	5.22 ± 0.58*

注: * 表示与阴性对照组比较差异极显著($P < 0.01$)。

3 结论

根据2003年版《保健食品检验与评价技术规范》,按照《新食品原料申报与受理规定》和《新食品原料安全性审查规程》的要求,对含有中碳链脂肪酸的SLs进行毒理学研究评价。结果表明,两种性别小鼠对含有中碳链脂肪酸的SLs的经口MTD均大于20.46 g/kg bw,根据《保健食品检验与评价技术规范》(2003年版)中的急性毒性分级标准,本试验用SLs属于无毒级;遗传毒性试验中,Ames试验、小鼠骨髓嗜多染红细胞微核试验和小鼠精子畸形试验结果均显示为阴性,表明这种SLs在本试验计量范围内无遗传毒性。

本课题开发的SLs有食品原料的特性且符合营养要求,本文的研究结果进一步证实本产品具有无毒、无害,对人体健康不造成急性、亚急性、亚慢性或者其他潜在性危害的特点,是一类食用安全的保健食品,为这类SLs应用于新资源食品中的安全性评价奠定了理论基础。

参考文献:

- [1]王瑛瑶. 新型功能性油脂——结构脂质的研究现状[J]. 食品研究与开发,2008,29(4):162-164.
- [2]王瑛瑶,魏翠平,栾霞,等. MLM型结构脂质特性及氧化稳定性研究[J]. 中国粮油学报,2013,28(3):49-52.
- [3]张月红,刘英华,王艷,等. 中链脂肪酸食用油降低超重甘油三酯患者血脂和低密度脂蛋白胆固醇水平的研究[J]. 中国食品学报,2010,10(2):20-27.
- [4]Shangde Sun, Sha Zhu, Yanlan Bi. Solvent-free enzymatic synthesis of feruloylated structured lipids by the transesterification of ethyl ferulate with castor oil [J]. Food Chemistry,2014,158:292-295.
- [5]潘向昆,王瑛瑶,魏翠平,等. 响应面法优化填充床反应器固定化酶催化制备 MLM型结构脂质[J]. 中国粮油学报,2012,27(12):101-107.
- [6]Palla C A, Pacheco C, Carrín M E. Production of structured lipids by acidolysis with immobilized Rhizomucor miehei lipases: Selection of suitable reaction conditions[J]. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic,2012,76:106-115.
- [7]Lee K T, Akoh C C. Effects of structured lipid containing omega-3 and medium chain fatty acids on serum lipids and immunological variables in mice[J]. Food Biochemical, 1999(23):197-208.
- [8]Hayes J R, Wilson N H, Pence D H, et al. Williams. Subchronic Toxicity Studies of SALATRIM Structured Triacylglycerols in Rats. 2. Triacylglycerols Composed of Stearate, Acetate, and Propionate [J]. J Agric Food Chem,1994(42):539-551.
- [9]Webb D R, Sanders R A. Caprenin1: Digestion, absorption and rearrangement in thoracic duct-cannulated rats[J]. Journal of American College of Toxicology, 1991(10):325-340. ☉