



乳清分离蛋白成膜工艺的研究

梁 翠, 于国萍*

(东北农业大学食品学院, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘 要:以乳清分离蛋白(WPI)为主料,通过添加甘油(增塑剂)和半胱氨酸(还原剂),制备乳清分离蛋白膜。同时,对其制备工艺与性能进行了详细分析与测定,从而确定了成膜最佳工艺为:乳清分离蛋白含量为8%,增塑剂添加量为4%,还原剂的添加量为0.6mmol/L。在此工艺条件下测定乳清分离蛋白膜性能:厚度 $0.101 \pm 0.013\text{mm}$,透明度 0.055 ± 0.005 ,抗拉强度 $1165.2 \pm 20.8\text{g}$,断裂伸长率 $70.06\% \pm 1.62\%$,透 H_2O 性 $17.13 \pm 0.63\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$,透 O_2 性 $3.60 \pm 0.08\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$,透 CO_2 性 $445.56 \pm 5.26\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$ 。

关键词:可食性膜,乳清分离蛋白,增塑剂,还原剂

Study on filming technology of whey protein isolate

LIANG Cui, YU Guo-ping*

(College of Food Science, Northeast Agriculture University, Harbin 150030, China)

Abstract: Taking whey protein isolate (WPI) as main material, whey protein isolate films were prepared by appending glycerin (plasticizer) and cysteine (reducing agents). At the same time, the preparation technologies and performance were analyzed and measured detailedly, and the optimal technologies were confirmed: the content of WPI was 8%, the content of glycerin was 4%, and the content of cysteine was 0.6mmol/L. In this technological conditions, the performance of whey protein isolate film was measured: the thickness was $0.101 \pm 0.013\text{mm}$, the transparency degree was 0.055 ± 0.005 , the tensile strength was $1165.2 \pm 20.8\text{g}$, the elongation ratio of break was $70.06\% \pm 1.62\%$, the permeability of H_2O was $17.13 \pm 0.63\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$, the permeability of O_2 was $3.60 \pm 0.08\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$, and the permeability of CO_2 was $445.56 \pm 5.26\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$.

Key words: edible film; whey protein isolate; plasticizer; reducing agents

中图分类号: TS201.2⁺1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2010)06-0279-04

随着人们环保意识的增强,食品塑料包装废弃物污染是世界性环保难题,蛋白质可食性膜的研究引起了人们的关注。目前国内对以蛋白质为基质的可食性膜的研究大多集中在大豆蛋白上,而对于乳清蛋白这种高生理活性高营养价值的优质蛋白质膜的研究不多^[1]。由于人们对高营养含量的干酪需求不断增多,全世界每年都有上亿吨作为干酪副产品的乳清等待利用和处理^[2]。乳清经过特殊工艺浓缩精制出乳清蛋白,乳清蛋白的效价比(PER值)为3.6,仅次于鸡蛋清的PER(3.8)。科学研究证明,乳清蛋白不仅易于被消化吸收,乳清蛋白的必需氨基酸组成完全符合或超出AFO/WHO的要求^[3]。乳清蛋白中还含有大量的功能性成分,这些物质均具有一定的生物活性,对人体是非常重要的^[4]。因此制备可食性乳清分离蛋白膜不仅能减少环境污染,利于乳清的回收利用,还有益于人们的健康。本文利用乳清分离蛋白为原料,在一定条件下,加入增塑剂、还原剂等发生反应,制备可食性蛋白膜,为乳清的利用和可食性包材发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

乳清分离蛋白粉 新西兰,实测原料成分如下:蛋白93.53%、水分4.80%、灰分1.46%;甘油、L-半胱氨酸、硝酸镁、亚油酸、无水氯化钙等均为分析纯。

电子分析天平(0.001g) 北京赛多利斯仪器系统有限公司;JJ-1型增力电动搅拌器 余姚市东方电工仪器厂;电热恒温鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;螺旋测微器(0.001mm) 哈尔滨量具刃具厂;TA.XT.Plus质构仪 Stable Micro System Ltd;自制玻璃板。

1.2 实验方法

1.2.1 成膜工艺 准确称量一定量的乳清分离蛋白(WPI),分别加入甘油、还原剂半胱氨酸,溶于80mL蒸馏水,用电动搅拌器搅拌10min,将混合液用蒸馏水定容于100mL容量瓶中,在80℃水浴20min^[5],取出冷却至室温,涂膜。将涂膜的玻璃板放在室温条件下干燥24h,再将其放入预先装有硝酸镁饱和溶液(相对湿度RH50%)的干燥器中均衡48h,揭膜,测试膜的性能。

收稿日期:2009-10-15 * 通讯联系人

作者简介:梁翠(1984-),女,硕士研究生,研究方向:食品科学。

表1 WPI 浓度对膜性能的影响

WPI (%)	厚度 (mm)	透明度 (OD 值)	抗拉强度 (g)	断裂伸长率 (%)	透 H ₂ O 性 (g/m ² ·h)	透 O ₂ 性 (g/m ² ·d)	透 CO ₂ 性 (g/m ² ·d)
4			溶液过于稀薄,均衡后无法揭膜				
6	0.070 ± 0.004 ^a	0.044 ± 0.003	382.2 ± 10.1 ^c	61.46 ± 3.19 ^a	16.73 ± 1.10 ^a	4.23 ± 0.04 ^b	482.90 ± 1.10 ^b
8	0.104 ± 0.003 ^b	0.042 ± 0.002	786.7 ± 9.2 ^b	52.46 ± 2.46 ^b	17.85 ± 0.45 ^{ab}	4.01 ± 0.18 ^{ab}	457.82 ± 1.93 ^a
10	0.127 ± 0.006 ^c	0.038 ± 0.002	919.0 ± 18.1 ^a	40.66 ± 1.10 ^c	19.44 ± 0.85 ^b	3.72 ± 0.13 ^a	446.13 ± 0.18 ^a
12			膜大部分由最长对角线为 6.5~7.5cm 小块组成				
14			整张膜由最长对角线为 1.0~2.5cm 小块组成				
16			在 80℃ 水浴 20min 后溶液变为凝胶,无法涂膜				

注:a,b,c 表示膜同一性能的差异性($p \leq 0.05$),相同字母表示没有显著差异,不同字母表示有显著差异,表2、表3同。

实验数据均为以平均值 ± 标准差表示($n \geq 3$)。采用 SAS.8.1 程序对实验结果进行方差分析($p = 0.05$),对差异极显著进行多重比较。

1.2.2 膜性质测定

1.2.2.1 膜厚 用螺旋测微器(0.001mm)在被测膜上随机取 8 点测定,取平均值,膜厚单位为 mm。

1.2.2.2 透明度测定^[6] 将膜裁成条状(1cm × 4.5cm),紧贴于比色皿的一侧,在 600nm 波长下测定其吸光值,以空白比色皿作为对照,通过吸光值的大小表示膜透明度的程度。

1.2.2.3 抗拉强度和断裂伸长率^[7] 将膜裁切成 2.0 × 5.0cm 的长条,用质构仪测定,初始夹距设定为 50mm,拉伸速度为 5mm/s,有效拉伸距离为 100mm,记录膜破裂时的抗拉力和膜受到张力至断裂时的膜长,用膜长增加量除以膜的原长得到膜的断裂伸长率。

1.2.2.4 透 H₂O 性测定^[8] 选取已知瓶口面积的 50mL 锥形瓶,内加 5g 无水 CaCl₂ 粉末,用乳清分离蛋白膜密封,通过瓶重的增加量计算 H₂O 的透过量。

1.2.2.5 透 O₂ 性的测定^[9] 在 50mL 锥形瓶中装 2mL 亚油酸,锥形瓶口用乳清分离蛋白膜覆盖,扎紧后用石蜡密封。置于空气中,每 12h 称重一次,持续一周,通过瓶重的增加量计算 O₂ 的透过量。

1.2.2.6 透 CO₂ 性的测定^[9] 在 50mL 锥形瓶中装 5mL KOH 饱和溶液,锥形瓶口用乳清分离蛋白膜覆盖,扎紧后用石蜡密封。置于空气中,每 12h 称重一次,持续一周,通过瓶重的增加量计算 CO₂ 的透过量。

1.2.3 各因素对乳清分离蛋白成膜工艺的影响 分别考察 WPI 浓度(W/V,4%、6%、8%、10%、12%、14%、16%)、甘油添加量(W/V,1%、2%、3%、4%、5%、6%)、还原剂半胱氨酸含量(0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、1.0mmol/L)对膜性能的影响,从而确定各因素的影响程度及适用范围。

2 结果与分析

2.1 WPI 浓度对膜性能的影响

按照 1.2.1 工艺,在加入 4% 甘油、不添加还原剂的条件下,考察不同乳清分离蛋白浓度对膜性能的影响,主要膜性能指标见表 1。

结果表明:当 WPI 浓度为 4%、12%、14%、16% 时,不易形成完整膜;WPI 浓度从 6%~10% 时,形成完整膜。通过单因素方差分析,随着 WPI 浓度增加,

透明度虽略有提高但差异不显著,膜透 H₂O 性差异显著,膜厚度、抗拉强度、断裂伸长率、透 O₂ 性和透 CO₂ 性差异极显著。对差异显著项进行多重比较,膜厚度、抗拉强度和断裂伸长率在 6%、8% 与 10% 两两之间均有显著差异,膜厚度的显著增加是由于组成膜的 WPI 含量增多,抗拉强度的显著增大由于 WPI 含量增加使得分子间相互作用增大。但是由于 WPI 含量增加,多肽链之间刚性、僵硬的直接作用增多^[10],使膜变脆,断裂伸长率显著下降。透 H₂O 性 6% 与 10% 间有显著差异,透 H₂O 性逐渐增加可能由于膜本身的吸水性,甘油是亲水小分子,膜越厚吸水越多。膜透 O₂ 性在 6% 与 10% 间有显著差异,透 CO₂ 性在 6% 与 8%、10% 间有显著差异。透 O₂ 性和透 CO₂ 性显著降低是由于膜中 WPI 浓度增加和甘油相对减少,使得分子间交联作用增多,增强了膜的的网络结构,阻隔 O₂ 和 CO₂ 通过。

当 WPI 浓度为 8% 时,膜具有的透 H₂O 性和透 CO₂ 性与最低的透过性无显著差异,同时具有较好的厚度,抗拉强度和断裂伸长率。综合膜各项性能指标,选 8% WPI 继续实验。

2.2 增塑剂添加量对膜性能的影响

按照 1.2.1 工艺,在取 8% 乳清分离蛋白、不添加还原剂的条件下,考察不同甘油添加量对膜性能的影响,主要膜性能指标见表 2。

结果表明:当甘油添加量为 1%~3% 时,只能形成小块膜,不能交联成完整膜;当甘油添加量为 4%~9% 时形成完整膜,随着甘油量的增加,膜各项性能差异均极显著,进行多重比较:膜厚度显著增厚,在 4%~5%、6%~8% 与 9% 两两之间差异显著,膜厚度增加是由于成膜液中甘油(分子质量 92.07)含量增加,而水(分子质量 18.00)含量相应减小。透明度随甘油含量增加而增大,在 4%~5% 与 9% 间差异显著,这可能是因为甘油的增塑效果明显,赋予膜更多的自由空间,因而透明度高。抗拉强度显著降低,在 4%~5%、6%、7%、8% 与 9% 两两之间差异显著。断裂伸长率先增大后减小,在 4%~5%、6% 与 7%~9% 两两之间差异显著。甘油是一种较小的亲水分子,它通过与蛋白质多肽链形成氢键介入多聚物分子链的连接,稀释弱化多肽链之间刚性、僵硬的直接作用,使得蛋白质分子间的相互作用力减弱,从而抗拉强度显著降低。但是甘油的加入同时促进蛋白质分子链节间相互作用,提高了其柔性^[10]。但过多的甘油使膜基质间的空隙过大,膜过于柔软^[11-12]。透 H₂O

表2 甘油含量对膜性能的影响

甘油 (%)	厚度 (mm)	透明度 (OD 值)	抗拉强度 (g)	断裂伸长率 (%)	透 H ₂ O 性 (g/m ² · h)	透 O ₂ 性 (g/m ² · d)	透 CO ₂ 性 (g/m ² · d)
1	形成最长对角线为 0.1~1.0cm 小块膜						
2	形成最长对角线为 5.0~7.0cm 长条膜块,中间穿插着最长对角线为 1.0cm 半月形膜						
3	有最长对角线为 4.0~7.0cm 多边形模块出现,其他部分为最长对角线为 2.0~3.0cm 小块膜						
4	0.109 ± 0.012 ^a	0.047 ± 0.003 ^c	826.0 ± 11.9 ^a	50.66 ± 3.24 ^c	20.04 ± 1.08 ^a	3.90 ± 0.16 ^a	452.86 ± 8.90 ^a
5	0.112 ± 0.006 ^a	0.044 ± 0.003 ^c	798.0 ± 20.9 ^a	64.45 ± 1.70 ^c	22.32 ± 0.39 ^b	4.56 ± 0.02 ^b	463.63 ± 6.89 ^{ab}
6	0.128 ± 0.004 ^b	0.039 ± 0.005 ^{bc}	644.9 ± 16.0 ^b	126.96 ± 3.85 ^a	23.40 ± 0.43 ^{bc}	5.07 ± 0.22 ^b	477.15 ± 8.06 ^{abc}
7	0.131 ± 0.004 ^b	0.033 ± 0.004 ^{ab}	490.6 ± 9.0 ^c	106.56 ± 11.10 ^b	24.24 ± 0.30 ^{cd}	6.12 ± 0.24 ^c	482.74 ± 12.07 ^{bc}
8	0.136 ± 0.006 ^b	0.031 ± 0.001 ^{ab}	378.1 ± 5.9 ^d	97.85 ± 4.69 ^b	24.93 ± 0.31 ^{cd}	7.04 ± 0.14 ^d	497.37 ± 9.68 ^c
9	0.144 ± 0.005 ^c	0.027 ± 0.003 ^a	291.7 ± 5.2 ^e	98.91 ± 2.05 ^b	25.36 ± 0.37 ^d	7.97 ± 0.25 ^e	498.91 ± 5.36 ^c

表3 还原剂的浓度对膜性能的影响

还原剂 (mmol/L)	厚度 (mm)	透明度 (OD 值)	抗拉强度 (g)	断裂伸长率 (%)	透 H ₂ O 性 (g/m ² · h)	透 O ₂ 性 (g/m ² · d)	透 CO ₂ 性 (g/m ² · d)
0	0.105 ± 0.009	0.041 ± 0.003 ^a	818.5 ± 9.4 ^c	50.66 ± 2.20 ^c	18.84 ± 0.45 ^c	3.74 ± 0.10 ^{abc}	459.24 ± 4.55 ^{bcd}
0.1	0.106 ± 0.007	0.043 ± 0.002 ^a	899.6 ± 12.9 ^d	51.11 ± 3.55 ^c	18.37 ± 0.34 ^{bc}	3.84 ± 0.12 ^{abc}	477.81 ± 8.10 ^{de}
0.2	0.102 ± 0.010	0.040 ± 0.003 ^a	984.4 ± 9.1 ^c	72.54 ± 5.29 ^b	18.42 ± 0.03 ^{bc}	4.34 ± 0.24 ^d	496.42 ± 10.44 ^e
0.3	0.105 ± 0.009	0.045 ± 0.003 ^{ab}	937.6 ± 14.2 ^{cd}	115.06 ± 7.26 ^a	18.01 ± 0.52 ^{abc}	4.04 ± 0.20 ^{cd}	480.23 ± 10.92 ^{de}
0.4	0.109 ± 0.012	0.047 ± 0.003 ^{ab}	976.8 ± 26.0 ^{cd}	107.13 ± 0.17 ^a	17.68 ± 0.22 ^{ab}	3.91 ± 0.08 ^{bc}	464.67 ± 5.06 ^{cd}
0.5	0.103 ± 0.005	0.051 ± 0.003 ^{ab}	970.0 ± 36.8 ^{cd}	73.36 ± 3.10 ^b	17.53 ± 0.41 ^{ab}	3.76 ± 0.12 ^{abc}	452.40 ± 8.78 ^{abc}
0.6	0.101 ± 0.013	0.055 ± 0.005 ^b	1165.2 ± 20.8 ^a	70.06 ± 1.62 ^b	17.13 ± 0.63 ^a	3.60 ± 0.08 ^{ab}	445.56 ± 5.26 ^{abc}
0.7	0.095 ± 0.013	0.086 ± 0.005 ^c	1108.8 ± 32.6 ^{ab}	48.80 ± 1.04 ^c	17.12 ± 0.14 ^a	3.50 ± 0.10 ^a	437.48 ± 3.82 ^{ab}
0.8	0.104 ± 0.004	0.098 ± 0.006 ^d	1086.2 ± 40.4 ^b	45.04 ± 3.78 ^c	17.03 ± 0.07 ^a	3.64 ± 0.06 ^{abc}	433.52 ± 7.90 ^a
1.0	0.101 ± 0.008	0.107 ± 0.008 ^d	1090.5 ± 25.8 ^{ab}	40.50 ± 1.60 ^c	17.08 ± 0.19 ^a	3.62 ± 0.09 ^{ab}	436.53 ± 5.59 ^{ab}

性显著增加,在 4%、5% 与 9% 两两之间差异显著。膜透 O₂ 性显著增加,在 4%、5%~6%、7%、8% 与 9% 两两之间差异显著。透 CO₂ 性显著增加,在 4% 与 9%~10% 间有显著差异。甘油的增加可增大多聚物分子流动性,促进水分子聚集并增大多聚物结构的自由体积,膜得以有效地延展、稀释和松弛,有助于可食用膜透气性(透 H₂O 性、透 O₂ 性与透 CO₂ 性)的增加^[13]。因此,甘油的含量增大会引起膜透气性增大^[14]。

膜厚度、抗拉强度、透 H₂O 性、透 O₂ 性和透 CO₂ 性在 4% 甘油添加量时都存在最好性能,透明度和断裂伸长率相对较差,但综合考虑,选 4% 甘油继续实验。

2.3 还原剂含量对膜性能的影响

按照 1.2.1 工艺,在取 8% 乳清分离蛋白、加入 4% 甘油条件下,考察不同还原剂含量对膜性能的影响,主要膜性能指标见表 3。

结果表明:还原剂的浓度对膜厚度影响不显著。随着半胱氨酸含量的增加,膜透明度、抗拉强度、断裂伸长率、透 H₂O 性、透 O₂ 性和透 CO₂ 性差异极显著,分别进行多重比较:透明度缓慢降低,当半胱氨酸含量大于 0.6mmol/L,透明度显著降低,形成的膜表面有小颗粒。抗拉强度在 0~0.2mmol/L 间显著增加,0.3~0.5mmol/L 略有增加,在 0.6mmol/L 时达到最大,在 0.6~1.0mmol/L 间无显著差异。断裂伸长率在 0~0.1mmol/L 间略有增大,在 0.1~0.3mmol/L 间显著增大,在 0.3mmol/L 时达到最大值,在 0.4~0.6mmol/L 间显著减小,在 0.6~1.0mmol/L 间无显著差异。透 H₂O 性是缓慢下降的,只有 0mmol/L 与 0.6~1.0mmol/L 间

有显著差异。透 O₂ 性先增大后减小,在 0~0.1mmol/L 间略有增大,0.2~0.3mmol/L 间出现减小,0.3~0.4mmol/L 间略有减小,0.4~1.0mmol/L 间无显著差异。透 CO₂ 性,在 0~0.2mmol/L 间缓慢增大,0.2~1.0mmol/L 间缓慢减小。

在成膜液中添加还原剂半胱氨酸,不仅可以打断分子中的二硫键(—S—S—),使多肽链分子质量降低,有利于暴露内部疏水基团,易形成更多的疏水相互作用,而且它本身带有巯基(—SH),能参与巯基-二硫键的互变反应,促进二硫键重新分布,因此,大量的巯基和疏水基团在随后的涂膜干燥的成膜过程中重新形成分子间二硫键和疏水相互作用,大大增强了膜的网络结构,可明显提高膜的抗拉强度^[15]。降低膜的透气性。同时,还原剂的作用使分子内部疏水基团暴露,增强了分子间疏水相互作用,也使膜的透 H₂O 性能下降^[16];但断裂伸长率有所下降。

当半胱氨酸含量≥0.6mmol/L 时,可能是过量的还原剂阻碍了展开的乳清分离蛋白网络结构的重新形成,因而,膜性能变化不大。当半胱氨酸含量为 0.6mmol/L 时,膜抗拉强度最大。透 H₂O 性最低,透 O₂ 性和透 CO₂ 性与最低项无差异,此时膜的透气性最低即膜的阻气性最高。综合膜各项性能指标,添加 0.6mmol/L 还原剂制作 WPI 膜。与 WPI 浓度单因素实验中 8% WPI 膜相比,此时膜的抗拉强度增加了 48.11%,断裂伸长率增加了 33.55%,透 H₂O 性降低了 4.03%,透 O₂ 性降低了 10.22%,透 CO₂ 性降低了 4.44%。膜的机械性能和阻隔性能增强,膜具有良好的理化指标。

3 结论

通过以上实验,确定乳清分离蛋白成膜最佳工艺为:乳清分离蛋白含量为 8%,增塑剂添加量为 4%,还原剂的添加量为 0.6mmol/L。在最佳条件下得到乳清分离蛋白膜厚度 0.101 ± 0.013 mm,透明度 0.055 ± 0.005 ,抗拉强度 1165.2 ± 20.8 g,断裂伸长率 $70.06\% \pm 1.62\%$,透 H_2O 性 17.13 ± 0.63 g/m² · h,透 O_2 性 3.60 ± 0.08 g/m² · d,透 CO_2 性 445.56 ± 5.26 g/m² · d。该实验为可食性蛋白膜的进一步研究奠定了基础。

参考文献

- [1] 任举,王新保,等.乳清浓缩蛋白可食用膜成膜工艺的研究[J].食品与发酵工业,2008,34(1):55-59.
- [2] 解纯刚.乳清蛋白在食品工业中的应用[J].广州食品工业科技,2000,16(1):15-17.
- [3] 张丹凤.乳清蛋白的营养价值及其应用[J].新疆畜牧业,2006(6):17-19.
- [4] 韩雪,孙冰.乳清蛋白的功能特性及应用[J].中国乳品工业,2003,31(3):28-30.
- [5] McHugh T H, Krochta J M. Permeability properties of edible films[M]. Edible Films and Coatings to Improve Food Quality, eds. 1994:139.
- [6] FANG Y, TUNG M A, BRITT I J, et al. Tensile and barrier properties of edible films made from whey protein[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(1):188-193.

- [7] 汪学荣, 阙建全, 汪水平. 可食性大豆分离蛋白膜的制膜工艺研究[J]. 食品科学, 2008, 29(5):153-158.
- [8] 潘红阳. 大豆蛋白基复合型可食性膜的研究[D]. 江南大学硕士学位论文, 2006.
- [9] 张华江, 迟玉杰, 等. 可食性大豆复合蛋白膜的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(9):73-77.
- [10] 张留城译. 聚合物增塑原理及工艺[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1982.
- [11] CuqB, AynlardC, CuqJL, et al. Edible packaing films based on fish myofibrillar proteins: Formulation and functional properties [J]. J Food Sci, 1995, 60:1369-1374.
- [12] Lieberman E R, Gilbert S G. Gas Permeation of collagen films as affected by cross-linkage, moisture, and plasticizer content[J]. J Polymer Sci, 1973, 42:33-43.
- [13] Miller K S, Krochta J M. Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review [J]. Trends in Food Sci & Tech, 1997(8):228-237.
- [14] Kristo E, Biliaderis C G, Zampraka A. Water vapor barrier and tensile properties of composite caseinat-pullulan films: Biopolymer composition effects and impact of beeswax lamination [J]. Food Chem, 2006, in press.
- [15] 莫文敏, 邹英昭, 曾庆孝. 还原剂影响可食性大豆分离蛋白膜性能的研究[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(11):5-8.
- [16] 陈志周. 可食性大豆分离蛋白膜生产工艺研究[D]. 河北农业大学硕士论文, 2004.

(上接第 114 页)

作为食品行业中的 CLA 载体具有广泛的开发应用前景。

参考文献

- [1] 冯有胜, 丁红梅. 共轭亚油酸的结构与性质[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(4):89-92.
- [2] Vishal P J, Andrew P. Kinetics of Photoirradiation-Induced Synthesis of Soy Oil-Conjugated Linoleic Acid Isomers[J]. Agric Food Chem, 2007, 55(3):889-894.
- [3] Li Y, Watkins B A. Conjugated linoleic acids alter bone fatty acid composition and reduce ex vivo prostaglandin E2 biosynthesis in rats fed n-6 or n-3 fatty acids[J]. Lipids, 1998, 33:417-425.
- [4] Cherl W P, Seck J K, Sook J P, et al. Inclusion Complex of Conjugated Linoleic Acid (CLA) with Cyclodextrins [J]. Agric Food Chem, 2002, 50(10):2977-2983.
- [5] 沈继红, 李光友, 石红旗, 等. 微囊化共轭亚油酸的研究[J]. 高技术通讯, 2002(4):97-99.
- [6] 崔正刚, 殷福珊. 微乳液化技术及应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999:75-79.
- [7] Andrzej L, Ludwik A, Rodney J Bartlett. Relative stability of cytosine tautomers with the coupled cluster method and first-order correlation orbitals[J]. Phys Chem, 1989, 93(10):4001-4005.
- [8] Schechter R S, Bourrel M. Microemulsions and Related Systems[M]. New York: Marcel Dekker, 1998:160-185.

- [9] Charman S A, Charman W N, Rogg M C, et al. Self-emulsifying systems formulation and biological evaluation of an investigative lipophilic compound[J]. Pharm Res, 1992, 9:87-94.
- [10] Stig E F, Guo R A. nonaqueous "microemulsion" system: formamide, sodium dodecyl sulfate, hexanol, and toluene [J]. Langmuir, 1988, 4(4):796-801.
- [11] Stig E F, Ching C Y, Remon G, et al. Ammonia microemulsions and ammonolysis of silicon tetrachloride [J]. Langmuir, 1991, 7(6):1103-1106.
- [12] Palozza P, Muzzalupo R, Trombino S, et al. Solubilization and stabilization of β -carotene in niosomes: delivery to cultured cells[J]. Chemistry and Physics of Lipids, 2006, 139:32-42.
- [13] Lada A, Lang L, Zana R. Relation between electric percolation and rate constant for exchange of material between drop lets in water in oil microemulsions[J]. Phys Chem, 1989, 93(10):4001-4005.
- [14] Schechter R S, Bourrel M. Microemulsions and related systems [M]. New York: Marcel Dekker, 1998:160-185.
- [15] Charman S A, Charman W N, Rogg M C, et al. Self-emulsifying systems formulation and biological evaluation of an investigative lipophilic compound[J]. Pharm Res, 1992, 9:87-94.
- [16] Ruckenstein E. Thermodynamic insights on macroemulsion stability Advances in Colloid and Interface Science [J]. Advances in Colloid and Interface Science, 1999, 79:59-76.