

硅酸镁对高酸值油茶籽油的吸附效果

田潇潇¹, 罗凡¹, 杜孟浩¹, 郭少海¹, 方学智¹, 罗力军², 严朝阳², 崔旭²

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 杭州 311400; 2. 绍兴上虞洁华化工有限公司, 浙江 绍兴 312000)

摘要:通过测定油茶籽油的酸值、过氧化值和色值,研究了硅酸镁对高酸值油茶籽油吸附效果的影响。结果表明:随着吸附时间的延长,油茶籽油的酸值呈明显下降趋势;硅酸镁对油茶籽油过氧化值有一定的降低作用;硅酸镁对脱除油茶籽油中黄色素十分有效,也可以脱除红色素;硅酸镁最佳吸附工艺条件为硅酸镁添加量1.5%、吸附温度80℃、吸附时间20 min,在此吸附条件下,油茶籽油的酸值、色值 a^* 、色值 b^* 降低率分别为8.52%、13.77%和40.88%。

关键词:油茶籽油;硅酸镁;色值;酸值;过氧化值

中图分类号:TS225.1;TS224 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)03-0018-05

Adsorption effects of magnesium silicate on oil – tea camellia seed oil with high acid value

TIAN Xiaoxiao¹, LUO Fan¹, DU Menghao¹, GUO Shaohai¹, FANG Xuezhi¹, LUO Lijun², YAN Zhaoyang², CUI Xu²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China;

2. Shaoxing Shangyu Jiehua Chemical Co., Ltd., Shaoxing 312000, Zhejiang, China)

Abstract:The adsorption effects of magnesium silicate on high acid value oil – tea camellia seed oil were discussed by measuring acid value, peroxide value and color value of oil – tea camellia seed oil. The results showed that the acid value of oil – tea camellia seed oil decreased obviously with the prolonging of adsorption time. Magnesium silicate could decrease the peroxide value of oil – tea camellia seed oil. Magnesium silicate could remove yellow pigment from oil – tea camellia seed oil effectively, as well as red pigment. The optimal adsorption conditions of magnesium silicate were obtained as follows: magnesium silicate dosage 1.5%, adsorption temperature 80℃, adsorption time 20 min. Under these conditions, the reduction rates of the acid value, color value a^* and b^* of oil – tea camellia seed oil were 8.52%, 13.77% and 40.88% respectively.

Key words:oil – tea camellia seed oil; magnesium silicate; color value; acid value; peroxide value

浸出油茶籽毛油色泽较深,带有收敛性的苦涩味,这与其中含有少量茶皂素及其他杂质有关,因此对浸出油茶籽毛油的脱色脱酸处理难度较大^[1]。由于油茶籽油的不饱和脂肪酸含量高,在贮藏过程

中容易发生酸败,因此需对其进行精炼加工,以改善油茶籽油的感官、口感和品质,还能延长货架期^[2-3]。油茶籽油精炼过程主要包括脱胶、脱酸、脱色和脱臭^[4-6]。

目前在油茶籽油的脱色工艺中,大多采用活性炭、活性白土等吸附剂^[7]。庞文胜等^[8]在油茶籽油精炼工艺中采用活性炭和活性白土将相对分子质量较大的色素吸附,从而达到脱色的目的。

硅酸镁是一种纯白色食品级六水合硅酸盐吸附剂,符合我国食品安全标准^[9],其主要成分是三硅酸镁,可以去除色素物质、游离脂肪酸以及过氧化

收稿日期:2020-05-13;修回日期:2020-11-18

基金项目:浙江省科技重点研发计划(2017C02003);硅酸镁(滤油粉)精制山茶油工艺优化及效益评估(2020330101000721)

作者简介:田潇潇(1993),女,硕士研究生,研究方向为可食用林产品加工与利用(E-mail)Txx3717@163.com。

通信作者:方学智,高级工程师(E-mail)fxzhn@caf.ac.cn。

物^[10]。姜敏等^[11]研究表明,经硅酸镁处理后的煎炸油变得透明,酸值、碘值都有所降低,但过氧化值升高。

本课题组之前研究了硅酸镁对低酸值油茶籽油的吸附效果,结果发现,硅酸镁能明显降低油茶籽油的酸值和过氧化值,不仅能提高油茶籽油的亮度,对脱除油茶籽油中的黄色色素十分有效,还能脱除绿色色素。而硅酸镁作为吸附剂对较高酸值(酸值(KOH) > 5.00 mg/g)油茶籽油进行加工处理鲜见报道。本文以硅酸镁作为吸附剂,在不同硅酸镁添加量、吸附温度、吸附时间条件下对高酸值油茶籽油进行吸附处理,通过测定其酸值、过氧化值和色值的变化,研究硅酸镁作为吸附剂在较高酸值油茶籽油精炼过程中的作用,为油茶籽油精炼工艺提供新思路 and 科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

浸出油茶籽毛油(酸值(KOH)7.98 mg/g,色泽 L^* 为29.91,色泽 a^* 为6.10,色泽 b^* 为49.66),浙江久晟油茶科技股份有限公司;硅酸镁(劲俏150),浙江省绍兴上虞洁华化工有限公司;乙醚、异丙醇、三氯甲烷、冰乙酸等均为分析纯。

Konica Minolta CM-3600A 分光测色计。

1.2 实验方法

1.2.1 浸出油茶籽毛油的硅酸镁吸附工艺

添加一定量硅酸镁于100 g浸出油茶籽毛油中,在一定温度下加热搅拌一段时间,过滤得到油茶籽油样品。

1.2.2 油茶籽油理化指标的测定

酸值的测定参考 GB 5009.229—2016,过氧化值的测定参考 GB 5009.227—2016,色值的测定参考文献[12]。

1.2.3 数据处理

各项指标重复测定3次,采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 20.0 进行数据处理和分析,采用 Origin 8.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 硅酸镁吸附对油茶籽油酸值的影响

2.1.1 吸附时间的影响

在吸附温度100℃、硅酸镁添加量1.0%条件下,研究吸附时间对油茶籽油酸值的影响,结果见表1。

由表1可以看出:随着吸附时间的延长,油茶籽油酸值呈明显下降趋势,这是因为硅酸镁的空穴和孔道处于空闲状态,可将油茶籽油中的游离脂肪酸

吸附到硅酸镁的孔道中^[13];当吸附时间超过40 min时,硅酸镁对游离脂肪酸的吸附能力达到饱和状态,而硅酸镁的活性也有所损失,故脱酸效果越来越差。因此,选择吸附时间为40 min。

表1 吸附时间对油茶籽油酸值的影响

吸附时间/min	酸值(KOH)/(mg/g)
0	7.98
20	7.68
40	7.60
60	7.64

2.1.2 吸附温度的影响

在吸附时间40 min、硅酸镁添加量1.0%条件下,研究吸附温度对油茶籽油酸值的影响,结果见表2。

表2 吸附温度对油茶籽油酸值的影响

吸附温度/℃	酸值(KOH)/(mg/g)
80	7.71
100	7.60
120	7.35

由表2可以看出:随着吸附温度的升高,油茶籽油的酸值呈现降低趋势,这是因为低温下,油茶籽油的黏度较大,导致游离脂肪酸与硅酸镁接触的机会较少,而随着吸附温度的升高,游离脂肪酸更容易进入硅酸镁的空穴和孔道中^[14],因此酸值降低;而当吸附温度过高时(120℃),油脂氧化速度也随之增加,导致油茶籽油质量变差^[13]。因此,选择吸附温度为100℃。

2.1.3 硅酸镁添加量的影响

在吸附温度100℃、吸附时间40 min条件下,研究硅酸镁添加量对油茶籽油酸值的影响,结果见表3。

表3 硅酸镁添加量对油茶籽油酸值的影响

硅酸镁添加量/%	酸值(KOH)/(mg/g)
0	8.04
0.5	7.88
1.0	7.60
1.5	7.33

由表3可以看出,随着硅酸镁添加量的增多,油茶籽油酸值明显下降。硅酸镁添加量为1.5%时,油茶籽油酸值最低。因此,选择硅酸镁添加量为1.5%。

2.2 硅酸镁吸附对油茶籽油过氧化值的影响(见表4)

由表4可以看出,随着吸附时间的延长和吸附

温度的升高,经硅酸镁吸附后油茶籽油的过氧化值总体呈现不同程度的升高。这可能是因为油茶籽油品质较差,过氧化物及杂质较多,硅酸镁对油茶籽油中的色素、过氧化物等中间产物的吸附与对油茶籽油中不饱和键的催化氧化作用同时进行,因而使油

茶籽油进一步被氧化^[7]。但添加硅酸镁油茶籽油的过氧化值上升程度低于无添加硅酸镁油茶籽油的,说明硅酸镁对油茶籽油中的氢过氧化物有一定的吸附作用。

表4 硅酸镁吸附对浸出油茶籽油过氧化值的影响

吸附时间/min	无添加硅酸镁油茶籽油的过氧化值/(mmol/kg)			添加0.5%硅酸镁油茶籽油的过氧化值/(mmol/kg)		
	80℃	100℃	120℃	80℃	100℃	120℃
0	4.03 ± 0.02c	4.03 ± 0.01c	4.03 ± 0.03c	4.03 ± 0.04a	4.03 ± 0.05a	4.03 ± 0.06a
20	14.14 ± 0.08b	15.12 ± 0.04a	13.38 ± 0.01a	3.46 ± 0.01b	4.41 ± 0.05a	4.01 ± 0.01a
40	14.72 ± 0.01b	15.02 ± 0.03a	12.67 ± 0.08b	4.12 ± 0.07a	3.77 ± 0.06b	4.24 ± 0.01a
60	17.62 ± 0.07a	12.60 ± 0.01b	12.82 ± 0.01b	4.06 ± 0.01a	3.55 ± 0.01b	3.85 ± 0.05b
吸附时间/min	添加1.0%硅酸镁油茶籽油的过氧化值/(mmol/kg)			添加1.5%硅酸镁油茶籽油的过氧化值/(mmol/kg)		
	80℃	100℃	120℃	80℃	100℃	120℃
0	4.03 ± 0.14a	4.03 ± 0.12c	4.03 ± 0.30c	4.03 ± 0.03b	4.03 ± 0.05a	4.03 ± 0.04b
20	4.44 ± 0.08a	4.97 ± 0.04c	6.78 ± 0.17b	4.94 ± 0.06b	4.52 ± 0.04a	4.05 ± 0.23b
40	4.07 ± 0.05a	6.47 ± 0.01b	7.22 ± 0.10a	4.90 ± 0.03b	4.73 ± 0.06a	4.71 ± 0.37b
60	4.14 ± 0.19a	7.18 ± 0.16a	7.78 ± 0.01a	5.49 ± 0.01a	4.47 ± 0.08a	5.03 ± 0.02a

注:所有数据均为“均值 ± 标准偏差”(n=3)。显著性水平为5%,每列不同字母表示差异显著。

2.3 硅酸镁吸附对油茶籽油色值的影响

2.3.1 吸附时间的影响

在吸附温度120℃、硅酸镁添加量0.5%条件下,研究吸附时间对油茶籽油色值的影响,结果见表5。

表5 吸附时间对油茶籽油色值的影响

吸附时间/min	L^*	a^*	b^*
0	29.91	6.10	49.66
20	19.04	6.32	31.60
40	19.22	6.48	31.90
60	19.00	6.60	31.54

注: L^* 值反映颜色的明亮程度,0表示黑色,100表示白色; a^* 值反映红绿值, $a^* > 0$ 表示颜色偏红; b^* 为黄蓝值, $b^* > 0$ 表示颜色偏黄。下同

由表5可以看出,随着吸附时间的延长,油茶籽油色值 L^* 呈现明显下降趋势,说明硅酸镁不能有效提高油茶籽油明亮程度,这可能是因为该油茶籽油色泽较深,酸值较高,且含有较多的脂溶性杂质及过氧化物。当吸附时间超过20min后,色值 L^* 趋向平缓。随着吸附时间的延长,油茶籽油色值 a^* 明显上升,当吸附时间为60min时达到最大值。由此可见,0.5%硅酸镁不能有效去除油茶籽油中的红色素。随着吸附时间的延长,油茶籽油色值 b^* 呈现明显下降趋势,说明硅酸镁能有效去除油茶籽油中的黄色素,这是因为硅酸镁的空穴和孔道处于空闲状态,能较快地吸附油茶籽油中的色素物质。吸附时间为20min时,绝大部分的色素已经被吸附,达到

吸附平衡。

2.3.2 吸附温度的影响

在吸附时间20min、硅酸镁添加量0.5%条件下,研究吸附温度对油茶籽油色值的影响,结果见表6。

表6 吸附温度对油茶籽油色值的影响

吸附温度/℃	L^*	a^*	b^*
80	20.06	5.98	33.29
100	18.37	6.25	30.47
120	19.04	6.32	31.60

由表6可以看出:色值 L^* 随吸附温度上升先下降后趋于平缓,吸附温度为100℃时,色值 L^* 最小;色值 a^* 随吸附温度的升高呈上升的趋势;色值 b^* 随吸附温度的升高先降低后趋于平缓,吸附温度为100℃时 b^* 最低。在吸附温度较低的情况下,以物理吸附为主,且油茶籽油的黏度较大,导致色素与硅酸镁的接触机会较低,从而脱色效果不明显,而在较高的吸附温度下,硅酸镁的化学吸附作用增强,硅酸镁超微凹凸表面的原子受力不对称而具有表面自由能,因而具有吸附色素而降低自由能的倾向,同时色素的游动速度和频率同时增加,致使色素和硅酸镁的接触机会增多,化学吸附和物理吸附同步进行,因此脱色效果较好,但化学吸附是放热反应,当温度升高到一定程度时,其吸附量反而降低^[15-16]。由此可见,硅酸镁能有效去除油茶籽油的黄色素,最佳吸附温度为100℃。

2.3.3 硅酸镁添加量的影响

在吸附温度 80℃、吸附时间 20 min 条件下,研究硅酸镁添加量对油茶籽油色值的影响,结果见表 7。

表 7 硅酸镁添加量对油茶籽油色值的影响

硅酸镁添加量/%	L^*	a^*	b^*
0	27.45	6.32	45.62
0.5	20.06	5.98	33.29
1.0	18.89	5.81	31.33
1.5	17.69	5.26	29.36

由表 7 可以看出,色值 L^* 随着硅酸镁添加量的增多呈现下降趋势,说明硅酸镁不能有效提高浸出油茶籽油的明亮程度,此外这也与浸出油茶籽油的品质有一定关系,浸出油茶籽油在贮藏、加工过程中的化学变化生成的非天然色素,如脂肪酸与铁离子作用生成的脂肪酸铁溶入油茶籽油中,会加深油色,此外糖类及蛋白质的分解会使油茶籽油呈棕褐色。色值 a^* 和色值 b^* 随硅酸镁添加量的增多均呈现下降趋势。考虑生产成本,选择最佳硅酸镁添加量为 1.0%。

2.4 正交优化实验

根据单因素实验结果,以吸附时间(A)、吸附温度(B)、硅酸镁添加量(C)为考察因素,以吸附效率为考察指标,设计 $L_9(3^4)$ 正交实验优化硅酸镁对油茶籽油的吸附工艺条件。正交实验因素水平见表 8,正交实验设计及结果见表 9。

表 8 正交实验因素水平

水平	A 吸附时间/min	B 吸附温度/℃	C 硅酸镁添加量/%
1	20	80	0.5
2	40	100	1.0
3	60	120	1.5

表 9 正交实验设计及结果

实验号	A	B	C	吸附效率/%
1	1	1	1	3.69
2	1	2	2	9.79
3	1	3	3	23.87
4	2	1	2	14.14
5	2	2	3	16.36
6	2	3	1	-5.48
7	3	1	3	24.70
8	3	2	1	-4.13
9	3	3	2	9.83
k_1	12.45	14.18	-1.97	
k_2	8.34	7.34	11.25	
k_3	10.13	9.41	21.64	
R	4.11	6.84	23.61	

注:吸附效率 = 酸值降低率 - L^* 值升高率 + a^* 值降低率 + b^* 值降低率。

由表 9 可以看出,影响硅酸镁吸附的主次因素为硅酸镁添加量 > 吸附温度 > 吸附时间,最佳因素水平组合为 $A_1B_1C_3$,即硅酸镁添加量为 1.5%、吸附温度为 80℃、吸附时间为 20 min。在最佳工艺条件下进行验证实验,油茶籽油酸值、色值 a^* 、色值 b^* 降低率分别为 8.52%、13.77% 和 40.88%,此时油茶籽油的酸值(KOH)为 7.30 mg/g,色值 a^* 为 5.26,色值 b^* 为 29.36。

3 结论

通过测定油茶籽油的酸值、过氧化值和色值,探讨了硅酸镁对高酸值油茶籽油(酸值(KOH)7.98 mg/g)吸附效果的影响。结果表明,随着吸附时间的延长,油茶籽油的酸值呈现明显下降趋势。相比于无添加硅酸镁的油茶籽油,硅酸镁对油茶籽油过氧化值有一定的降低作用。硅酸镁对去除油茶籽油中黄色素十分有效,且随着硅酸镁添加量的增加,其吸附效果有所增强。但硅酸镁对油茶籽油的明亮程度作用不明显,这可能是因为油茶籽油的酸值太高,且含有较多的杂质及过氧化物。

硅酸镁吸附油茶籽油的最佳工艺条件为硅酸镁添加量 1.5%、吸附温度 80℃、吸附时间 20 min,在此工艺条件下,油茶籽油的酸值、色值 a^* 、色值 b^* 降低率分别为 8.52%、13.77% 和 40.88%。

硅酸镁吸附能有效去除油茶籽油中的黄色素,同时降低油茶籽油的酸值,但对高酸值油茶籽油进行脱酸脱过氧化物处理比较困难,因此碱炼步骤不可省略,后续可以进行多次吸附处理工艺,或增加硅酸镁用量(3%~5%),或添加助脱色剂,或联合水蒸气蒸馏脱酸辅助处理。

参考文献:

- [1] LEE S Y, JUNG M Y, YOON S H. Optimization of the refining process of camellia seed oil for edible purposes [J]. Food Sci Technol, 2015, 23(1): 65-73.
- [2] 张莉,陈乃富,汪四赞,等. 茶油精加工工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(22): 10684-10687.
- [3] 邓龙,邓泽元,胡蒋宁,等. 油茶籽油加工过程中理化性质和营养品质的变化[J]. 食品科学, 2015, 36(23): 111-115.
- [4] ICYER N C, DURAK M Z. Ultrasound-assisted bleaching of canola oil: improve the bleaching process by central composite design [J]. LWT - Food Sci Technol, 2018, 97: 640-647.
- [5] AACHARY A A, LIANG J B, HYDAMAKA A, et al. A new ultrasound-assisted bleaching technique for impacting chlorophyll content of cold-pressed hempseed oil [J]. LWT - Food Sci Technol, 2016, 72: 439-446.

(下转第 27 页)

乙酰胺和阿魏酸酐酰胺纯度分别为 97.05% 和 94.55%。将合成的两种抗氧化剂与现有抗氧化剂在煎炸油中的抗氧化效果进行比较,结果表明,两种阿魏酸酰胺类物质的抗氧化效果均优于迷迭香提取物、谷维素、BHT、混合生育酚和茶多酚棕榈酸酯,这对于油脂抗氧化稳定性的研究具有重要意义。

参考文献:

- [1] 杨宏黎. 脂肪酶催化制备中碳链结构脂和阿魏酰结构磷脂[D]. 辽宁 大连: 大连理工大学, 2014.
- [2] TANIGUCHI H, NOMURA E, HOSODA A, et al. Thermally stable ferulic acid derivatives: US689520 [P]. 2005-05-10.
- [3] 张晋芳. 两种阿魏酸酰胺化合物的制备及其在煎炸过程中抗氧化能力的评估[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2018.
- [4] YANG Y, SONG Z G, LIU Z Q. Synthesis and antioxidant capacities of hydroxyl derivatives of cinnamoylphenethylamine in protecting DNA and scavenging radicals[J]. *Free Radical Res*, 2011, 45(4): 445-453.
- [5] 杨丽丽, 黄鹏, 汪电雷, 等. 白藜芦醇乙酰阿魏酸酯的合成[J]. *广州化工*, 2013, 41(17): 68-69.
- [6] 熊兴泉, 范观铭, 朱荣俊, 等. 酰胺类化合物的高效合成研究[J]. *化学进展*, 2016, 28(4): 497-506.
- [7] NEFF W E, WARNER K, ELLER F. Effect of γ -tocopherol on formation of nonvolatile lipid degradation products during frying of potato chips in triolein[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2003, 80(8): 801-806.
- [8] GERTZ C, KLOSTERMANN S, KOCHHAR S P. Testing and comparing oxidative stability of vegetable oils and fats at frying temperature[J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2000, 102(8/9): 543-551.
- [9] WINKLER - MOSER J K, RENNICK K A, PALMQUIST D A, et al. Comparison of the impact of γ -oryzanol and corn steryl ferulates on the polymerization of soybean oil during frying[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2012, 89(2): 243-252.
- [10] 罗嗣良, 陆仲华, 周宝兰. 谷维素对油脂的抗氧化性及其应用研究[J]. *中国油脂*, 1987, 12(2): 13-26.
- [11] ROSSELL J B. *Frying: improving quality* [M]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001: 304-306.
- [12] ERKAN N, AYRANCI G, AYRANCI E. Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol [J]. *Food Chem*, 2008, 110(1): 76-82.
- [13] 陈家玉. 迷迭香提取物抗鱼油氧化酸败及其抗自由基活性的研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2015.
- [14] ALADEDUNYE F A, PRZYBYLSKI R. Rapid assessment of frying performance using small size samples of oils/fats [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2011, 88(12): 1867-1873.
- [15] 肖明. 阿魏酸酯的合成及其抗氧化活性研究[D]. 西安: 西北大学, 2013.
- [16] NORMAND L, NAM E, PRZYBYLSKI R. Effect of tocopherols on the frying stability of regular and modified canola oils[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2001, 78(4): 369-373.
- [17] LEONG X F, MOHD NAJIB M N, DAS S, et al. Intake of repeatedly heated palm oil causes elevation in blood pressure with impaired vasorelaxation in rats[J]. *Tohoku J Exp Med*, 2009, 219(1): 71-78.
- [18] different indicators of Maillard reaction with whey proteins and different carbohydrates under adverse storage conditions[J]. *Food Chem*, 2017, 215: 410-416.
- [19] MARRAKCHI F, KRIAA K, HADRICH B, et al. Experimental investigation of processing parameters and effects of degumming, neutralization and bleaching on lampante virgin olive oil's quality [J]. *Food Bioprod Process*, 2015, 94: 124-135.
- [20] 林剑阳. 油茶籽油精炼工艺的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [21] 钟海雁, 王承南, 谢碧霞, 等. 茶油色泽测定及脱色工艺的研究[J]. *中南林学院学报*, 2000, 20(4): 25-29.
- [22] 陈珊, 何庭玉. 茶油的精制方法及应用[J]. *林产化工通讯*, 2005(6): 39-42.
- [23] SILVA S M, SAMPAIO K A, CERIANI R, et al. Effect of type of bleaching earth on the final color of refined palm oil [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2014, 59(2): 1-7.
- [24] ZSCHAU W. Bleaching of edible fats and oils[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2001, 103(8): 505-508.
- [25] 庞文胜, 毛洗荣. 茶油精炼工艺初探[J]. *林业科技开发*, 2004, 18(1): 54-55.
- [26] GB 1886.62-2015, 食品安全国家标准 食品添加剂 硅酸镁[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [27] KHAN M A, RAHMAN M M, HABIB M A, et al. Influences of magnesium tri-silicate on the physical, mechanical, and degradable properties of ultraviolet (UV) radiation cured plain board surface[J]. *J Polym Environ*, 2004, 12(4): 219-229.
- [28] 姜敏, 葛红光, 史娟, 等. 滤油粉对煎炸油处理效果的评价[J]. *中国油脂*, 2013, 38(1): 94-96.
- [29] LEIVA G E, GABRIELA B N, MALEC L S. A study of

(上接第 21 页)