

滚揉时间和加水量 对重组牛肉品质特性的影响

马芙俊, 孔保华*

(东北农业大学食品学院, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要: 为了改善重组牛肉的品质特征, 采用单因素实验的方法, 研究了滚揉工艺中滚揉时间(1、1.5、2、2.5h)、加水量(4%、6%、8%、10%、12%)对重组牛肉物理性质的影响, 找到最佳的工艺条件。结果显示, 滚揉1h, 加水量为6%为最佳的工艺条件, 经过此滚揉工艺条件的处理, 重组肉粘结强度明显增强, 剪切力下降, 质构改善, 产品的颜色较好, 融化损失率和蒸煮损失率均较低。该实验表明可以通过对滚揉条件的控制提高重组牛肉的品质。

关键词: 滚揉, 工艺条件, 重组牛肉

Effect of tumbling time and applied water quantity on quality of restructured beef

MA Fu-jun, KONG Bao-hua*

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

Abstract: The effect of tumbling time(1, 1.5, 2, 2.5h) and applied water quantity(4%, 6%, 8%, 10%, 12%) on physical property of restructured beef were studied by single factor test to improve the quality characteristics of restructured beef. The results showed that the optimal tumbling time and applied water quantity were 1h and 6%, respectively. Under the processing condition, the binding strength of the restructured beef was reinforced. The shearing force, thawing loss and cooking loss were decreased, also the texture profile analysis and color difference were improved.

Key words: tumbling, processing condition, restructured beef

中图分类号: TS251.5*2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2011)02-0123-04

近年来由于牛肉等肉类价格的不断上涨, 促使人们想方设法能尽可能地利用能利用的所有原料肉, 以此降低成本, 增加效益。牛肉加工过程中产生的剔骨肉、边角料等分割肉, 俗称牛小肉, 由于质量差、难以利用等原因, 不能获得很好的市场价格, 因此利用这些低质肉作为原料, 通过添加粘合剂, 运用适当的加工方法, 来获得重组牛肉就有了广阔的市场前景。在过去人们对重组肉的研究重点多集中在粘合剂的研制上, Dimitrakopoulou 等以食盐与转谷氨酰胺酶为粘合剂, 研究其不同配比及加工温度对重组猪肉 pH、颜色、化学性质、质构特性的影响^[1]。Hong 等在高压下使用 κ -卡拉胶和 δ -葡萄糖内酯作为复合粘合剂, 生产重组猪肉, 并研究了其物理化学性质^[2]。Serrano 使用转谷氨酰胺酶作为粘合剂并添加核桃粉生产出了具有功能性的重组牛排^[3]。Boles

等在预先分割好的、不同粒度大小的牛肉中加入血浆纤维蛋白和海藻酸盐做为粘合剂, 生产出重组小牛排, 并对其理化性质进行了研究^[4]。Carballo 等研究了转谷氨酰胺酶与酪蛋白酸钠共同作为粘合剂使用时对重组猪肉、鸡肉和羊肉的粘合效果的影响^[5]。在我国, 对于重组肉粘合剂的研究也取得了一些成果, 黄莉等人研究了卡拉胶、结冷胶、瓜尔豆胶、亚麻胶等食用胶对重组肉粘合效果的影响^[6]。聂兴龙研究了结冷胶与转谷氨酰胺酶对低脂低盐牛肉凝胶品质的影响^[7]。目前关于滚揉加工工艺对重组牛肉性质影响的研究还比较少, 滚揉不但可以改善重组牛肉的嫩度、颜色等性质, 而且由于滚揉可以提取肉中的盐溶性蛋白作为胶凝剂与转谷氨酰胺酶反应的底物, 从而增强了粘合剂的粘合效果, 达到减少酶用量、节约成本的目的。因此, 本实验对滚揉时间、加水量等工艺条件进行单因素实验, 分析测定重组牛肉的粘合强度、色差、嫩度、融化损失率、蒸煮损失率、质构特性等指标, 优化出适合的滚揉工艺条件, 为重组牛肉的生产提供理论依据。

1 材料与方法

收稿日期: 2010-02-22 * 通讯联系人

作者简介: 马芙俊(1983-)男, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工。

基金项目: 黑龙江省杰出青年基金项目(JC200702); 东北农业大学创新专项基金(2009)。

1.1 材料与设备

冷冻分割牛肉 皓月牛肉,购自好又多超市;转谷氨酰胺酶 出厂酶活力 $100\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$,上海东圣生物科技有限公司生产;酪蛋白酸钠 新西兰生产,购自上海传裕商贸有限公司;食用盐 江苏省盐业有限公司。

BVRJ-60 真空滚揉机 杭州艾博科技工程有限公司;物性测试仪 TA-XT plus 探头 P/50、A/SPR、HDP/BSK、HDP/BSW,英国 Stable Micro System 公司;WSC-S 测色色差计 上海物理光学仪器厂;FA2004 电子分析天平 上海天平仪器厂;成型模具 $15\text{cm} \times 9\text{cm} \times 10\text{cm}$,工厂定制。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的制作 将缓化好的、每块重约 $40 \sim 50\text{g}$ 的分割肉放置在滚揉机中,在 $0 \sim 4^\circ\text{C}$ 以下的冷库中间歇式滚揉,滚揉时加入肉重 0.2% 的食盐,真空度设为 $0.07 \times 10^5\text{Pa}$,滚揉 10min 休息 5min ,转速 $14\text{r}/\text{min}$ 。将滚揉完成的肉取出后切成 $3 \sim 6\text{cm}$ 大小的肉块,加入 1.2% 转谷氨酰胺酶与酪蛋白酸钠组成的粘合剂并混合均匀,混好粘合剂的肉用保鲜膜包好,装入模具中压紧,在 4°C 冰箱中放置 3h ,取出后脱模,放入 -26°C 的冰柜中冷冻 12h 。

1.2.2 单因素实验设计 固定其他工艺条件,对滚揉时间和滚揉加水量进行单因素实验,找到最佳的滚揉工艺条件。

1.2.2.1 滚揉时间的确定 滚揉机的工作环境为 $0 \sim 4^\circ\text{C}$ 的冷库,滚揉时间包括滚揉机工作和休息的时间,即每滚揉 10min 休息 5min ,固定滚揉加水量为 4% ,滚揉真空度为 $0.07 \times 10^5\text{Pa}$,滚揉加盐量为 0.2% ,以滚揉时间为单因素进行实验,分别滚揉 1h 、 1.5h 、 2h 、 2.5h ,按照工艺流程制备肉样。

1.2.2.2 滚揉加水量的确定 固定滚揉时间为 1h ,滚揉真空度为 $0.07 \times 10^5\text{Pa}$,滚揉加盐量为 0.2% ,以滚揉加水量为单因素进行实验,分别加入肉重 4% 、 6% 、 8% 、 10% 、 12% 的水,按照工艺流程制备肉样。

1.3 指标测定

1.3.1 粘结强度的测定 将冷冻后的肉样放在 4°C 缓化,至中心温度为 0°C 时切成 $9\text{cm} \times 2\text{cm} \times 0.5\text{cm}$ 的肉条,即肉条的截面积为 $S = 1\text{cm}^2$ 。使用物性测试仪的 A/SPA 探头测试拉断肉条时所用的最大拉伸力 (F),单位为 g。测试模式为 Tension,测试前速度和测试中速度为 $2\text{mm}/\text{s}$,测试后速度为 $5\text{mm}/\text{s}$ 。用单位截面积上施加的最大拉力表示肉条的粘结强度 (P):

$$P(\text{g}/\text{cm}^2) = F/S$$

1.3.2 解冻损失和蒸煮损失的测定 测定解冻损失 (Thawing Loss, TL) 是按照 Serrano 等^[3]的方法,将肉块切成 $3\text{cm} \times 3\text{cm} \times 2\text{cm}$ 大小,称重 (W_1),放置在 20°C 环境中 15min ,待其完全缓化后,用滤纸吸干表面的水分,再次称重 (W_2)。

$$\text{解冻损失}(\text{TL} \%) = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100\%$$

测定蒸煮损失 (Cooking Loss, CL) 的方法^[3]: 测定解冻损失的肉块放入蒸煮袋中,放于 100°C 水浴

20min ,使中心温度达到 70°C ,取出肉块,在 $20 \sim 22^\circ\text{C}$ 室温下放置 30min ,吸干肉块表面水分,称取重量 (W_3)。

$$\text{蒸煮损失}(\text{CL} \%) = (W_2 - W_3) / W_3 \times 100\%$$

1.3.3 色差分析 将重组好的肉切成 $3\text{cm} \times 3\text{cm} \times 2\text{cm}$ 大小的肉块,生肉和熟肉分别用 WSC-S 色差计测定 L^* 值、 a^* 值与 b^* 值。白板色度值 L^* 为 96.22 , a^* 为 4.20 , b^* 为 15.06 。使用 O/D 测试头,测定肉样的颜色和光泽以及各检测样之间的色度差值。 L^* 表示样品的亮度值,该值越大,产品的亮度越大; a^* 表示样品偏向于红度的程度,该值越大,表示样品颜色越红; b^* 表示偏向于黄度的程度,该值越大,表示样品颜色越黄^[9]。

1.3.4 剪切力的测定 嫩度以剪切力 (kg) 在时间 (s) 上所做的功表示 ($\text{kg} \cdot \text{s}$),剪切力越大,嫩度越小。使用物性测试仪的 HDP/BSK 探头测试生肉的嫩度,用 HDP/BSW 探头测试熟肉的嫩度。参数为: compression 模式,测试前速度和测试速度为 $2\text{mm}/\text{s}$,测试后速度为 $10\text{mm}/\text{s}$,下压距离为 60mm ,触发力 5g 。

1.3.5 质构剖面分析 (Texture Profile Analysis, TPA) 测试 TPA 法可以模拟人的牙齿咀嚼肉块时的质构特征,测试的指标有硬度、弹性和咀嚼性,将测完蒸煮损失的肉样作为测试样品,每组样品做 6 个平行样,参数:测试前速度 $5\text{mm}/\text{s}$ 、测试速度和测试后速度为 $2\text{mm}/\text{s}$,探头采用 P/50。

1.4 统计分析

每个实验重复三次,结果表示为平均数 \pm SD。数据统计分析采用 Statistix 8.1 (分析软件, St Paul, MN) 软件包中 Linear Models 程序进行,差异显著性 ($P < 0.05$) 分析使用 Tukey HSD 程序,采用 sigmaplot 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 滚揉时间对重组肉性质的影响

2.1.1 滚揉时间对重组肉粘结强度、剪切力、TPA 的影响 由表 1 可以看出,滚揉可以增加重组肉的粘结强度,并且随着滚揉时间的延长,粘结强度呈现先增加后减小的趋势,在 1h 和 1.5h 时达到比较高的水平。经过滚揉,生肉和熟肉的剪切力都比没有滚揉的肉样有所下降,生肉剪切力随时间的增加呈现先降低再升高的趋势,并且在 1.5h 时生肉的剪切力最小。熟肉的剪切力要高于生肉,经过滚揉的均显著低于没经过滚揉的肉样 ($P < 0.05$),但是不同滚揉时间的熟肉剪切力之间没有显著的差异 ($P > 0.05$)。滚揉 1h 和 1.5h 的肉样硬度与不滚揉的肉样没有显著的差异 ($P > 0.05$),超过 1.5h 后硬度会明显下降。滚揉时间超过 1.5h 也会使弹性显著地减小 ($P < 0.05$)。重组肉的咀嚼性随着滚揉时间的延长而降低。滚揉提取出肌肉中的盐溶性蛋白,可以作为粘结剂的作用底物,提高了粘结剂的粘结效果,但是滚揉时间过长反而降低了肉块的粘结性和持水性,还会使得咀嚼性进一步降低^[10]。因此滚揉时间以不超过 1.5h 的效果最好,因为此时重组肉的粘结强度最

表1 滚揉时间对重组肉粘结强度、剪切力、TPA 的影响

时间 (h)	粘结强度 (g/cm ²)	生肉剪切力 (kg·s)	熟肉剪切力 (kg·s)	硬度 (g)	弹性	咀嚼性
0	49.00 ± 2.01D	58.72 ± 2.48A	98.99 ± 4.88A	5099 ± 273A	0.91 ± 0.04A	3785.8 ± 157.7A
1.0	72.74 ± 3.35B	38.41 ± 2.00BC	77.56 ± 1.82B	5059 ± 257A	0.92 ± 0.01A	3281.0 ± 148.6B
1.5	79.06 ± 3.03A	31.14 ± 2.24C	82.87 ± 4.63B	5506 ± 286A	0.86 ± 0.01A	2992.5 ± 30.1B
2.0	58.90 ± 2.84C	39.06 ± 2.80B	80.04 ± 4.32B	3416 ± 81B	0.84 ± 0.05B	2081.0 ± 101.7C
2.5	55.74 ± 2.18C	41.77 ± 1.96B	76.38 ± 3.63B	3543 ± 168B	0.86 ± 0.01AB	2329.1 ± 80.20

注 :A、B、C、D 为同一列中,字母相同表示差异不显著,不同则表示差异显著(P < 0.05)。表2、表3 同。

表2 滚揉时间对重组肉解冻损失、蒸煮损失、色差的影响

时间(h)	解冻损失(%)	蒸煮损失(%)	L*	a*	b*
0	1.07 ± 0.03BC	33.86 ± 1.26C	37.53 ± 1.69A	14.78 ± 0.49B	7.30 ± 0.19C
1.0	1.12 ± 0.06B	33.46 ± 1.43C	36.10 ± 1.79A	10.84 ± 0.40C	9.19 ± 0.40B
1.5	0.99 ± 0.05C	39.96 ± 1.34B	35.14 ± 1.25A	11.96 ± 0.39C	9.35 ± 0.42B
2.0	0.97 ± 0.02C	47.06 ± 0.89A	35.92 ± 1.81A	15.11 ± 0.64B	10.72 ± 0.54A
2.5	1.41 ± 0.03A	41.46 ± 1.37B	36.36 ± 1.23A	16.38 ± 0.62A	6.64 ± 0.22C

表3 滚揉加水量对重组肉粘结强度、剪切力、TPA 的影响

加水量 (%)	粘结强度 (g/cm ²)	生肉剪切力 (kg·s)	熟肉剪切力 (kg·s)	硬度 (g)	弹性	咀嚼性
0	48.47 ± 2.01C	58.72 ± 2.48A	89.49 ± 4.88A	5099 ± 273A	0.91 ± 0.04A	3785 ± 157A
4	81.47 ± 4.47A	36.58 ± 1.05C	83.01 ± 1.30B	4780 ± 180AB	0.81 ± 0.01A	2543 ± 95CD
6	77.42 ± 1.81A	24.79 ± 1.24D	79.49 ± 2.26BC	4511 ± 186B	0.80 ± 0.03A	2479 ± 88D
8	55.94 ± 2.28B	28.53 ± 0.72D	74.85 ± 3.63C	4927 ± 83AB	0.83 ± 0.01A	2869 ± 115AB
10	57.17 ± 2.47B	35.40 ± 1.53C	72.96 ± 1.67C	5276 ± 268A	0.87 ± 0.03A	3155 ± 131A
12	55.84 ± 2.17B	42.25 ± 1.52B	58.72 ± 1.68D	5033 ± 156A	0.82 ± 0.03A	2789 ± 102BC

表4 滚揉加水量对重组肉解冻损失、蒸煮损失、色差的影响

加水量(%)	解冻损失(%)	蒸煮损失(%)	L*	a*	b*
0	1.03 ± 0.03BC	43.86 ± 1.26A	37.53 ± 1.69A	14.78 ± 0.49A	7.30 ± 0.19C
4	0.91 ± 0.04C	39.27 ± 1.34B	36.56 ± 1.48A	8.31 ± 0.17D	11.77 ± 0.50B
6	0.97 ± 0.04C	40.40 ± 1.72AB	36.32 ± 1.57A	9.02 ± 0.43C	12.59 ± 0.28A
8	0.93 ± 0.03C	41.80 ± 1.86AB	36.71 ± 1.13A	10.39 ± 0.33B	12.60 ± 0.50A
10	1.10 ± 0.02B	41.79 ± 1.90AB	37.73 ± 1.71A	7.49 ± 0.30E	11.72 ± 0.35B
12	1.29 ± 0.04A	42.83 ± 1.23A	36.87 ± 1.30A	7.37 ± 0.30E	13.11 ± 0.64A

注 :A、B、C、D、E 为同一列中,字母相同表示差异不显著,不同则表示差异显著(P < 0.05)。

大、剪切力更小、嫩度更好,硬度、弹性等更接近于未滚揉的肉样,而且超过 2h 以上的滚揉对降低剪切力就没有明显作用^[11]。

2.1.2 滚揉时间对重组肉解冻损失、蒸煮损失、色差的影响 从表 2 可以看出,经过 1h 滚揉,肉样的解冻损失增加(P < 0.05),1.5h 和 2h 滚揉后解冻损失有所降低,滚揉 2.5h 时解冻损失显著地增加(P < 0.05)。滚揉 1h 与没有滚揉的肉样的蒸煮损失没有显著差异(P > 0.05)。随着滚揉时间的增加,1.5、2、2.5h 肉样的蒸煮损失显著地大于滚揉 1h 的肉样(P < 0.05)。滚揉时间的长短对亮度值 L* 没有显著的影响(P > 0.05)。滚揉 1h 到 1.5h 使 a* 较未滚揉肉样下降,但随着时间的延长 a* 值又逐渐回升。

滚揉 1h 是比较适合的时间,这时的蒸煮损失最小且与未加水处理组相同,并且滚揉时间过长会使肌肉中的氧合肌红蛋白更多地被氧化成为高铁肌红蛋白,使肉色由红色变成不理想的褐色。

2.2 滚揉加水量对重组肉性质的影响

2.2.1 滚揉加水量对重组肉粘结强度、剪切力、TPA 的影响 由表 3 可知,滚揉加水量在 4% 和 6% 时达

到最大的粘结强度,随着加水量的增加,粘结强度明显的下降(P < 0.05)。生肉剪切力随着加水量的增加呈先降低后升高的趋势,在 6% 和 8% 时最小,加水都能使剪切力下降(P < 0.05)。熟肉剪切力随加水量的增加呈现逐渐下降的趋势,并且明显低于未加水的肉样(P < 0.05)。对于硬度,加水量 6% 的肉样硬度下降得最多(P < 0.05),其次是 4% 和 8% 两组,10% 和 12% 两组与未加水处理组相比没有明显变化(P > 0.05)。弹性方面,各组之间没有明显变化(P > 0.05)。咀嚼性方面,10% 加水量与未加水处理组没有明显变化(P > 0.05),其他各组均低于未加水处理组(P < 0.05)。

肉的持水能力是有限的,所以当加水量超过肉的持水能力时,就会稀释肉块表面被提取出的蛋白质浓度,降低重组肉的粘结效果,因此 6% 的加水量是比较适合的。

2.2.2 滚揉加水量对重组肉解冻损失、蒸煮损失、色差的影响 由表 4 可看出,滚揉加水量在 4%、6% 和 8% 时的解冻损失要小于未加水的肉样,而在 10% 和 12% 时肉样的解冻损失增加且大于未加水的肉样

($P < 0.05$)。对于蒸煮损失,加水量 4%、6%、8%、10% 的肉样均小于未加水肉样 ($P < 0.05$),12% 组与未加水的肉样没有显著性差异 ($P > 0.05$)。对亮度值 L^* 来说,各加水量组的 L^* 与未加水处理组没有显著的差异。水的加入使各组肉样的 a^* 值均小于未加水的处理组, b^* 值均高于未加水的处理组 ($P < 0.05$),肉样颜色呈现红度值降低,黄度值升高的趋势。

一方面,肌肉纤维能在滚揉过程中充分膨胀,吸收更多的水分;另一方面,在滚揉过程中,肉中的蛋白质被提取出来增加了肉的保水性,但随着加水量的增加,过多的水分反而会削弱肌肉的持水能力,使得解冻损失和蒸煮损失均呈现先降低后升高的趋势^[12]。

3 结论

不同滚揉时间和加水量对重组肉粘结强度、剪切力、TPA、色差、解冻损失和蒸煮损失均有不同程度的影响,其中滚揉时间 1h、加水量 6% 时重组肉的粘结强度最好,生肉和熟肉的剪切力均最低,改善了肉的嫩度,使得重组肉具有最好的粘结效果。在此工艺条件下生产出的重组肉的硬度和咀嚼性降低,获得了较好的口感和颜色,解冻损失和蒸煮损失都接近或低于处理之前,在一定程度上降低了成本。因此,滚揉 1h、加水量为 6% 是适合的工艺条件。本项目为重组肉的实际生产提供了理论的依据。

参考文献

[1] Dimitrakopoulou M A, Ambrosiadis J A, Zetou F k, et al. Effect of salt and transglutaminase (TG) level and processing conditions on quality characteristics of phosphate-free, cooked,

- restructured pork shoulder [J]. Meat Science 2005, 70: 734-749.
- [2] Hong Geun-Pyo, Ko Se-Hee, Choi Mi-Jung, et al. Effect of glucono-d-lactone and k-carrageenan combined with high pressure treatment on the physico-chemical properties of restructured pork [J]. Meat Science 2008, 79: 236-243.
- [3] Serrano A, Cofrades S, Jimenez-Colmenero F. Transglutaminase as binding agent in fresh restructured beef steak with added walnuts [J]. Food Chemistry 2004, 85: 423-429.
- [4] Boles J A, Shand P J. Effects of raw binder system, meat cut and prior freezing on restructured beef [J]. Meat Science, 1999, 53: 233-239.
- [5] Carballo J, Ayo J, Jimenez F, et al. Microbial transglutaminase and caseinate as cold set binders: Influence of meat species and chilling storage [J]. LWT 2006, 39: 692-699.
- [6] 黄莉,孔保华,马英俊. 粘结剂在冷鲜重组肉中的应用 [J]. 肉类研究 2009, 119(1): 25-28.
- [7] 聂兴龙. 结冷胶与谷氨酰胺转氨酶对低脂低盐牛肉凝胶品质的影响 [D]. 合肥工业大学 2007.
- [8] 周亚军,王淑杰,闫琳娜,等. 重组鹿肉制品的加工特性 [J]. 农业工程学报 2008, 24(9): 268-274.
- [9] 胡长利,郝慧敏,刘文华,等. 不同组分气调包装牛肉冷藏保鲜效果的研究 [J]. 农业工程学报 2007, 23(7): 241-246.
- [10] 王福红,李舫. 实用肉制品加工技术要点 [J]. 肉类工业, 2007, 310(2): 19-21.
- [11] Pietrasik Z, Shand P J. Effect of blade tenderization and tumbling time on the processing characteristics and tenderness of injected cooked roast beef [J]. Meat Science 2004, 66: 871-879.
- [12] Hayes J E, Kenny T A, Ward P, et al. Development of a modified dry curing process for beef [J]. Meat Science 2007, 77: 314-323.

(上接第 122 页)

下保存较为适宜,这样可延缓油的氧化速度。

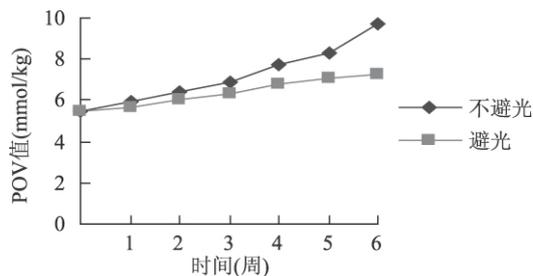


图 6 25°C 时避光保存对大豆润滑油抗氧化性的影响

3 结论

大豆润滑油比化学改性前的大豆油的抗氧化性能好,大豆润滑油在 25°C 下避光保存较为适宜。在不同条件下大豆润滑油的 POV 值有明显差异,随着温度的升高,时间的延长,POV 值和 AV 值都上升,抗氧化性能下降。在食品加工机械温度为 60°C 时,向大豆润滑油中添加 6% 的抗氧化剂 TBHQ,可以达到良好的抗氧化效果,而且保证了无毒性。使用周期预计为六个月。

参考文献

- [1] 邵弘. 大豆油脂制备绿色润滑油前景分析 [J]. 大豆通报, 2008(3): 40-42.
- [2] 白杨,杜继超. 植物油型润滑油研究概况 [J]. 科技创新导报 2009(3): 14-16.
- [3] 白杨,赵灵聪,柴功成,等. 植物油作为绿色润滑基础油的研究进展 [J]. 武汉工业学院学报 2009, 4(2): 49-52.
- [4] Novick N J, Mehta P G, Mcgoldrick P B. Assessment of the biodegradability of mineral oil and synthetic ester based stock using CO₂ ultimate biodegradability tests and CEC-L33-T-82 [J]. Synl Lubr 1996, 13(1): 67-83.
- [5] Odi-Owei Steren. Tribological properties of some vegetable oils and fats [J]. Lubrication Engineering, 1989, 45(11): 685-690.
- [6] Jorsmo M. Vegetable oils as a base for lubricant [J]. Collocological and Economical Aspects of Tribology 1991: 1-9.
- [7] 景恒,陈立功,程鹏,等. 菜籽油酯化制备润滑油基础油的研究 [J]. 能源研究与信息 2004, 16(3): 179-184.