

## 大豆油生产加工中色泽控制措施

左青<sup>1</sup>, 吕瑞<sup>2</sup>, 徐宏闯<sup>2</sup>, 程水银<sup>2</sup>, 陈友军<sup>2</sup>, 何远平<sup>2</sup>, 左晖<sup>3</sup>

(1. 江苏丰尚油脂工程技术有限公司, 江苏扬州 225127; 2. 中储粮油脂有限公司, 广东东莞 523147;  
3. 广州星坤机械有限公司, 广州 510460)

**摘要:**一些大豆油含特殊杂质和色素,在脱色过程中白土用量过高,成品油氧化稳定性差。为了防控大豆油制取和精炼过程中色泽加深,降低白土用量,可采取不同的措施:预处理过程中调整参数让部分色素固化,浸出过程中采取多级过滤,降低蒸发和汽提温度,改造汽提塔结构以减少加工色素;精炼过程依据小样实验取得毛油品质数据调整操作参数,对部分脱色设备进行改造。生产精炼包装油按酸价(KOH)0.05 mg/g,色泽 Y5~6/R0.5~0.6;散装油酸价(KOH)0.07~0.08 mg/g,色泽 Y7/R0.7。储备大豆油和酸价(KOH)2~3 mg/g 毛油的脱色白土消耗量在原 17~24 kg/t 的基础上平均降低 30%,包装油的货架期也明显延长。

**关键词:**大豆油;白土消耗量;天然色素;加工色素;储藏色素

中图分类号:TS224;TS225.1 文献标识码:B 文章编号:1003-7969(2020)05-0138-05

## Controlling measurements of color during soybean oil production

ZUO Qing<sup>1</sup>, LÜ Rui<sup>2</sup>, XU Hongchuang<sup>2</sup>, CHENG Shuiyin<sup>2</sup>,  
CHEN Youjun<sup>2</sup>, HE Yuanping<sup>2</sup>, ZUO Hui<sup>3</sup>

(1. Jiangsu FAMSUN Oil & Fats Engineering Co., Ltd., Yangzhou 225127, Jiangsu, China;  
2. Sino-Grain Oils and Fats Co., Ltd., Dongguan 523147, Guangdong, China;  
3. Guangzhou Xinmas Co., Ltd., Guangzhou 510460, China)

**Abstract:** Some soybean oils contain special impurities and pigments, resulting in excessively high amount of clay during bleaching and poor oxidation stability of the finished oil. In order to prevent the deepening of the color during the preparation and refining of soybean oil, and reduce the amount of clay, different measures could be adopted, such as adjusting the parameters during the pretreatment process of soybean to cure partial pigments, reducing the processing pigments during solvent extraction by adopting multi-stage filtration, decreasing the evaporation and stripping temperature and modifying the structure of the stripping tower, adjusting the operating parameters according to the crude oil quality obtained from the small sample experiments, and modifying some bleaching equipment. The finished oil standard were acid value 0.05 mgKOH/g and color Y5-6/R0.5-0.6 for packaging oil, and acid value 0.07-0.08 mgKOH/g and color Y7/R0.7 for bulking oil. Consumption of decolorized clay for soybean oil and 2-3 mgKOH/g crude oil decreased by an average of 30% on the basis of 17-24 kg/t. The life-shelf of the packaged oil obviously prolonged.

**Key words:** soybean oil; consumption of clay; natural pigment; processing pigment; stored pigment

毛油品质不同,其杂质、酸价、过氧化值、水分等都会影响油脂的色泽变化。广东珠江三角洲油厂的

白土消耗量普遍在 17~24 kg/t,油脂脱色过程中白土用量过高会导致油脂结构发生异构化,油脂中反式酸增加<sup>[1]</sup>,成品油的氧化稳定性下降,油脂出现返色现象。分析认为,大豆毛油中的色素可分为天然色素、加工色素和储藏色素。在大豆制油和精炼过程中采取不同的措施,对浸出蒸发过程的温度和

收稿日期:2019-07-30

作者简介:左青(1958),男,高级工程师,主要从事油脂企业的生产技术管理工作(E-mail)zuoqing\_bj@163.com。

真空度进行调整,改造部分脱色设备,可降低白土消耗量,以最低的生产成本脱除油脂中的色素,提高成品油的氧化稳定性。

## 1 植物油中的色素来源

植物油中的色素主要来源于天然色素、加工色素、储藏色素。

### 1.1 天然色素

油脂中的天然色素主要有叶绿素、叶黄素和胡萝卜素等。由于这些色素的存在,使油脂呈现不同的色泽,如叶绿素使油脂呈绿色,叶黄素使油脂呈黄色,胡萝卜素使油脂呈红色。这些脂溶性色素大多是在油脂制取过程中进入油中的。

### 1.2 加工色素

油脂中的一些色素是在油脂加工过程中形成的。油脂在加工过程中受到机械、水分、氧气和高温等的作用,蛋白质、糖与其他成分发生复杂的物理化学变化,产生聚合、氧化、水解反应,生成醛、酮、低级脂肪酸、氧化降解物、过氧化物、环氧化物和分子聚合物。

磷脂和金属离子在大豆油中的含量与在储藏和加工中着色呈正相关<sup>[2]</sup>。大豆磷脂氧化稳定性差,氧化后呈棕色。金属离子是氧化诱发剂,金属离子主要是指 $Fe^{2+}$ , $Fe^{2+}$ 大于等于0.2 mg/kg,促进油脂氧化,产生加工色素。金属离子的活性 $Cu > Fe > Cr, Cb, Zn, Pb > Ca, Mg > Al$ 。在Cu和Fe离子含量分别超过0.01 mg/kg和0.1 mg/kg时,可促进油脂氧化,大豆油含磷量大于25 mg/kg后,铁离子浓度会升高,氧化稳定性变差。

高温和金属离子使油中的回色物质生育酚氧化生成二聚体和生育醌。在大豆油中 $\gamma$ -生育酚和 $\gamma$ -生育酚二聚体( $\gamma$ -TED)总量大于550 mg/kg,不会发生返色返酸<sup>[3]</sup>。叶绿素在高温转变成叶黄素红色变体,游离脂肪酸(FFA)和铁离子生成深色铁皂。残留磷脂在大豆油脱臭后发生磷脂的吡咯化(4,5-环氧基-2-庚烯醛和多个含氨基磷脂反应生成聚合物吡咯磷脂),这是碳氮反应,产生非酶性褐变,引起回色<sup>[4]</sup>。

### 1.3 储藏色素

油料在储存期变质,蛋白质、糖类、磷脂及胶质水解色素,色素带正电荷悬浮在油中。油脂长期储存,油内杂质成为晶核、形成微量结晶。油脂在储藏罐与铁接触,随着温度上升氧化物的生成加快。油脂的色泽随着储存时间延长而加深<sup>[5]</sup>。

## 2 大豆油加工过程中色泽加深的防控措施

### 2.1 预处理过程控制

#### 2.1.1 调质塔

磷脂与蛋白质、糖类、色素等结合,正常情况下结合磷脂比游离磷脂含量多。考虑大豆蛋白变性温度大于等于80℃,按照原粮大豆水分在10%~13%,加热层用0.1 MPa蒸汽,出料温度在65~70℃、出塔大豆含水10.5%左右,滞留时间40 min。大豆从顶部落料到第一层,受热,温度从环境温度升高至45℃,大豆内部水分从中心向表面传质并凝聚,落到下一层100~120℃热风,表面水分被吹走,落到第二层调质层加热,水分继续从中心向表面传质并凝聚,到热风层表面的水分被吹走。在水分传质中磷脂吸水膨胀,浸出后留在粕中。这种加热、热风吹、加热、热风吹循环越多,大豆水分降低越多,同时磷脂吸水的时间越长。大豆在调质塔滞留35 min、出料温度55℃,与大豆滞留40 min、出料温度70℃相比,油中含磷量明显增加。所以推荐大豆滞留时间40 min、出料温度70℃,热风的开启度根据进料出料水分来定。

#### 2.1.2 高水分膨化

采取高水分膨化把磷脂钝化留在豆粕中。膨化料熟化有三要素,即温度、压力和水分。如果进膨化机的坯片水分在10%,要达到膨化料水分在12%,在膨化机中加20 kg/t含水蒸汽(镇江中储粮),膨化机的出料温度在115~120℃,出料水分在12%。高含水蒸汽进入坯片,在螺旋挤压3.0 MPa下深度润湿,瞬时料坯熟化,细胞膜被破坏,磷脂和油脂游离出来,在高水分下,被释放的磷脂吸水膨胀聚集,黏连色素一起结团成乙醚不溶物留在豆粕中。浸出毛油含磷量从850~900 mg/kg下降到550~600 mg/kg,浸出毛油色泽明显变浅。

### 2.2 浸出过程控制

在浸出的蒸发汽提过程中,降低温度,减少加工色素。

#### 2.2.1 浸出毛油过滤

一般设计的串联旋液分离器,设计喷嘴口径小,混合油含杂量波动时出现堵塞;设计喷嘴口径大,固体杂质进入蒸发系统,在受热时产生焦炭化,在传热管表面结膜,影响混合油升膜。因此,设计一道旋液分离器、罐式过滤器、二道管道丝网过滤器,减少混合油中固体杂质含量。

#### 2.2.2 蒸发系统

在操作中第一蒸发器出口混合油浓度在70%~75%,按照多相液体的分气压原理,二蒸温度要调高

到 115℃ 左右,高浓度混合油在二蒸的油-油换热器和蒸发器滞留时间过长,容易结垢,导致传热效率下降,再提升温度,汽提塔的温度也要在 115~120℃。生育酚在第二蒸发器和汽提塔高温下部分氧化为苯并二氢吡喃色素,还有油脂结膜时间长结垢产生高温色素。在蒸发系统,把第一蒸发器和第二蒸发器分两个真空系统,在操作中第一蒸发器出油温度调整到 60~62℃、真空度 39~40 kPa,第二蒸发器出油温度 93~95℃、真空度 34~35 kPa,汽提塔出油温度 95℃、真空度 35 kPa,浸出油含溶在 30~50 mg/kg,油色泽明显偏浅。

### 2.2.3 汽提塔选用

采用斜板孔板式汽提塔和筛板式汽提塔。

斜板孔板式汽提塔:油从顶部落下,流淌平稳,不积磷脂,在壳体上两层侧面开清洗孔,2个月清理1次。

筛板式汽提塔:设计7层筛板使油和蒸汽充分接触;直接蒸汽从底部进入产生气泡部分用于最终汽提。从干燥器的蒸汽喷射泵排出的蒸汽进入汽提塔油液面上面进行二次利用。

通过使用观察这两种汽提塔出油含溶量:控制出油温度 95℃,含溶小于 50 mg/kg;控制出油温度 105℃,含溶小于 20 mg/kg。两种汽提塔对混合油的温度要求比碟盘式汽提塔低 15℃左右,节约蒸汽用量,毛油色泽浅。

### 2.3 精炼过程控制

根据市场要求控制成品包装油酸价(KOH) 0.05 mg/g,色泽 R0.5~0.6;控制散装油酸价(KOH) 0.07~0.08 mg/g,色泽 R0.7。生产过程中发现:精炼成品油含磷量超过 20 mg/kg时,在3d内色泽R值增加0.2~0.3;将巴西大豆油和美国大豆油按2:1混合,色泽在Y6/R0.6,精炼油返酸小于0.02 mg/g。

#### 2.3.1 酸炼碱炼脱酸脱磷

磷脂和 FFA 在脱色中会糊住白土表面吸附点,高含磷、高酸价、高残皂、高絮凝物油脂脱色效率低。磷脂在碱炼过程中夺碱能力大于 FFA,反应生成不溶于油脂的盐,与初生的皂粒相互吸附凝聚成较大的皂团被分离脱除。酸炼混合器要用强力混合器,添加 75% 磷酸,低浓度酸比高浓度酸更能提高接触面积而提升混合效果,脱除磷脂钙、镁盐。

皂脚的存在表面吸附现象以及可对酚类发色基团的破坏,浓度低的碱液因反应生成的皂脚表面亲和力受水膜的影响,对发色基团的作用弱,脱色能力差,但过高浓度的碱液形成的皂脚表面积过小,影响色素的吸附,只有适宜的碱液浓度才有好的脱色效

果。皂粒吸附油中部分色素,在升温条件下,不会解吸返回油中,因此掌握加碱浓度、加碱量、初温和终温,碱炼可降低色泽 30%。

NaOH 降低油脂过氧化值优于 KOH 和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,可显著降低油脂的酸价和过氧化值。在碱炼脱酸过程中,皂脚吸附  $\text{Fe}^{2+}$  和磷脂的结合物及加工降解色素一起进离心机分离。对于储备和热损率高的大豆油,采取碱脱胶脱酸比水化脱胶效果好,脱磷效率与碱液的浓度和超碱量呈正比,大豆毛油叶绿素含量在 1 000~1 500  $\mu\text{g/L}$ ,碱炼可以脱除 25% 叶绿素和 50% 的加工色素。在有条件的情况下,和美国大豆油混合精炼效果好。

在反应过程中出现油-皂粒呈明显分离时,加热破坏分散(皂粒)的状态,释放皂粒的表面亲和力,吸附色素等杂质,促进皂粒进一步絮凝。为了避免皂粒的胶溶和被吸附组分的解吸,加热到操作终温越快越好,升温速度按 1℃/min。

#### (1) 酸炼碱炼直接浸出油

酸炼碱炼主要操作参数:酸炼凝聚时间 40~60 min,加碱浓度根据不同酸价的毛油进行确定,油碱混合在 80~85℃,碱炼反应时间 6~15 min,出第一台离心机油的酸价(KOH)在 0.1~0.2 mg/g。碱炼油用 3% 左右热软水水洗,添加柠檬酸螯合金属离子,选用水水洗保证无金属离子,一次水洗可脱皂 90%,二次水洗可进一步脱皂 90%。控制中和干燥油酸价(KOH) 0.15 mg/g、残皂量 41.0 mg/kg、含磷量 9.50 mg/kg、含水 0.1%。

#### (2) 酸炼碱炼储备大豆油

储备油多数是美国大豆油、阿根廷大豆油和国产大豆油,很少有巴西大豆油。酸价(KOH)在 2~2.5 mg/g,过氧化值高,含磷量在 120~200 mg/kg,280℃加热试验,如果析出物少,在升高温度时显示红色,精炼相对容易,如果析出物多,发黑,则精炼较难。

碱炼中碱液质量分数 14%~18%,超量碱 15%~20%,中和温度 65~70℃,进离心机的油温 85℃,要求出第一台离心机油的酸价(KOH)在 0.03~0.05 mg/g,皂脚有刺激性气味。水洗阶段,加水量 10%~15%。

针对品质差的毛油(FFA 超过 3%),采取低温两次碱炼工艺,主要操作要求如下:

(1) 添加磷酸:加 0.05%~0.2% 食用级磷酸(75%~85%),油温 70~80℃,进入强力混合器,进酸反应罐滞留 15~20 min。

(2) 低温碱炼:把酸炼油降温到 40~50℃添加

碱液,碱液质量分数14%~18%,超量碱15%~20%,碱液温度等同油温,添加量按酸价计算,进入多效混合器,混合油进碱反应罐,滞留40~60 min,反应后进换热器加热到85~90℃,进入离心机分离。

在一次碱炼油中添加质量分数为6%~8%碱液,添加量按酸价计算,碱液温度等同油温,进混合器,进二次碱反应罐,滞留15~20 min,进离心机分离。

(3)水洗:在油中加10%~15%软水,水温高于油温5℃,进混合器、滞留罐,洗涤后进离心机分离,油中含水0.3%~0.5%,真空干燥后油含水小于等于0.1%。

碱炼油酸价(KOH)0.03~0.05 mg/g,含皂量小于等于50 mg/kg,含磷量小于等于10 mg/kg。

### 2.3.2 脱色

#### 2.3.2.1 脱色剂

(1)活性白土:对叶绿素和胶体杂质大分子团如蛋白质、磷脂、黏液吸附能力强,对基本红和极性原子具有更强的吸附性,对小分子色素吸附作用弱。对储藏色素和加工色素,脱色率低,如储存2年以上脱胶油、储存5年以上大豆油,脱色效果差。活性白土吸油性强,为30%~50%,残油量取决于过滤机的操作和活性白土的性能,对易氧化和聚合的油脂,残油量偏高。另外活性白土的活性高,容易使油脂水解,脱色油酸价增加,一般加1%活性白土,脱色油的酸价(KOH)增加0.01 mg/g,造成油脂的水解和氧化,油脂返色,催化油脂氧化及异构化。

(2)活性炭:吸附复杂结构的高分子物质,吸附油中的红色素和绿色素,吸附大分子的多环芳烃、残留农药,吸油率较高,脱色后过滤慢。

(3)凹凸棒土:吸附小分子色素,精炼油氧化稳定性好,脱色时间短,吸油率低,过滤性能差,要求选粒度相对大的。用低活性脱色剂采取两步脱色技术。凹凸棒土吸附能力:吸附皂素>吸附色素>吸附磷脂。

(4)硅藻土:多作为助滤剂。凹凸棒土、硅藻土的脱色率小于活性白土的50%。

#### 2.3.2.2 操作

待脱色油品质要求:残磷量小于等于5 mg/kg,水分低于0.5%,残皂量50 mg/kg。白土粒度控制为200目筛通过率大于等于90%,10 μm以下越少越好。

在油脂加热前添加活性白土,能抑制加热油脂变深,防止色素氧化降低和活性白土的亲和力。脱

色时主要注意的问题:

(1)温度:在真空下操作,活性白土在75~85℃脱红色;在50~130℃脱黄色;胡萝卜素对热不稳定,在150~170℃产生热脱色。注意在高温下延长脱色时间会引起油脂回色。

低温下油脂黏度变大,活性白土吸附色素较弱。高温会固化色素、产生新色素及聚合、异构,同时加快解吸,脱色率下降,油耗增加,高温下油脂与吸附剂接触时间的延长可能产生脂肪酸双键共轭化,产生0.1%~0.2%的共轭脂肪酸,带来异味。另外在高温下,活性白土中的水分蒸发,会使膨润土或蒙脱土晶格瓦解,丧失部分活性表面。

脱色温度升高,油的酸价增加,温度对脱色油的酸价影响有一临界点,温度超过临界点以上,FFA上升幅度大。在100~105℃、30 min,120℃、5 min,油脂色泽回升、酸价上升,油脂氧化,有白土味。脱色温度过高和时间过长会引起油的返色返酸。

对于正常生产的大豆油脱色采取105~112℃,对于储备油采取100~110℃。

(2)时间:在25 min吸附剂饱和后,再延长时间,油脂氧化速度加快,超过吸附速度,油脂色泽回升,酸价上升。

(3)搅拌:吸附脱色时搅拌叶的长短、速度、数量设计要保证油脂与吸附剂建立动态的均匀接触和吸附平衡,避免局部接触时间长或局部静态。在负压下,激烈地混合,但不应引起油脂飞溅。

白土预混合罐搅拌是关键,蒸汽喷汽是直线型,存在死角,不能构成湍流;机械搅拌叶的长度要足够长,四周内壁能形成湍流。机械搅拌要配置优质的机械密封,混合强度要高,避免非均相混合。

(4)添加比例:随着活性白土用量的增加,油中的活性白土浓度达到饱和,吸附剂颗粒相互影响,脱色率变化变小。精炼巴西大豆油,活性白土与凹凸棒土比例为1:2或活性白土、助滤剂、凹凸棒土比例为1:1:2。精炼美国大豆油用凹凸棒土。热损率15%的巴西大豆油,活性白土与凹凸棒土比例为1:1。精炼国储油(5年),活性白土与凹凸棒土比例为4:1或5:1,精炼国储油(2年),活性白土与凹凸棒土比例为2:1,根据小样化验确定添加活性炭0.1%~0.5%。吸附剂添加的比例从成本、返色返酸考虑。选择脱色剂取决于成本、活性、油残留和废白土处理。

#### (5)脱色工艺

采取复脱色工艺:先把待脱色油通过脱色过滤器(网上挂满经过过滤的含油白土),进行预脱色同

时脱除残皂、磷脂等黏液物,一般能降低脱色剂 2 ~ 3 kg/t(以活性白土计)。

采取两段逆流脱色:比一次性加活性白土节省 15% ~ 40% 的用量。

采取压滤脱色:吸附剂有效浓度高,接近逆流脱色。

### 2.3.2.3 调整脱色设备

脱色罐体积大搅拌强度不够,考虑做一台预混合罐,采取狭长分隔室结构,以机械搅拌和蒸汽搅拌相结合。油脂在脱色罐内折流溢流,实行“先进先出”,按脱色要求添加脱色剂,控制温度 80 ~ 95 °C、时间 5 ~ 10 min,进入脱色罐滞留 10 ~ 20 min 后过滤。

脱色罐本体内设置有分油盘,靠进油口设置,沿轴向设置若干导流板,倾斜向下设置,导流板沿轴向交错布置,上方导流板出口位于下方导流板之上,导流板倾斜角 5° ~ 10°。设计分油盘进油管的长度 5 ~ 10 cm 为宜,分油管为一个进口,2 ~ 4 个支管出口,避免放置油堆砌和喷射,再由若干分层设置的导流板对油导流,以延长时间。脱色罐选取三层,底部为锥底,避免油在底部和出油管道沉积和短路。

设置脱色油暂存罐,其容积能够保证过滤器在切换时不会产生溢罐和未脱色油直接进入脱色罐,保持进过滤器待脱色油过滤速度稳定,减少过滤器切换时进油流量的波动。

### 2.3.3 脱臭

一般选用填料塔和板式塔组合,脱臭温度 245 ~ 255 °C,时间 88 min,捕集器捕集温度 45 °C。但是对于储备油的脱臭温度采用 255 ~ 260 °C,时间 90 min,捕集器捕集温度 40 ~ 42 °C,这样反式酸严重超标。为避免反式酸超标,碱炼时增加超量碱,脱臭时降低温度,为 245 °C,延长脱臭时间,控制反式酸增加。

脱臭时,胡萝卜素等因高温分解成小分子挥发而脱除,但是脱臭可能产生新色素和色素固化。

## 3 大豆油加工过程中色泽加深的防控结果

在预处理车间调整调质塔和膨化机的操作,在浸出车间改进混合油过滤系统,增加过滤器,降低第二蒸发器和汽提塔的温度,提高真空度,改进汽提塔的结构,减少加工色素。在碱炼中利用不同皂粒吸附加工色素和储藏色素可起到更好的效果,而活性白土脱除加工色素和储藏色素能力比脱除天然色素能力弱,在脱色中白土添加量增加较多,又会引起油脂脂肪酸不稳定造成返色返酸。在脱臭过程后段

适当延长脱色时间 15 ~ 20 min 有很好的热脱色效果,如果时间过长油脂氧化稳定性下降,脱臭温度超过 250 °C 后产生反式酸。

针对不同来源的大豆油做小样实验,检测含磷量、酸价、叶绿素含量、过氧化值、280 °C 加热试验,针对性进行工艺参数细化调整。2019 年上半年将白土添加量在前 2 ~ 3 年的基础上平均下降 3% ~ 4%。把储备大豆油和酸价(KOH)2 ~ 3 mg/g 毛油的脱色白土消耗量在 17 ~ 24 kg/t 的基础上平均降低 30%,包装油的货架期也明显延长。

精炼各工序叶绿素脱除程度:中和 25%,脱色(0.25%白土)75%、(0.75%白土)90%,脱臭少量。精炼油叶绿素含量在 10 ~ 20 ng/kg,呈黄色,如果达到 50 ng/kg,油呈绿、灰色。精炼阶段控制大豆油脱色程度:中和 R7 ~ 8;脱色 R2 ~ 2.3;脱臭 R0.3 ~ 0.6。

精炼大豆油的色泽(Y6/R0.6)、酸价(KOH)0.05 ~ 0.06 mg/g 下降到色泽(Y5/R0.5)、酸价(KOH)0.05 mg/g,白土添加量提升 0.8%。色泽控制在(Y6/R0.6)达到包装油不返酸返色为准。散装油酸价(KOH)0.07 ~ 0.08 mg/g,色泽 Y7/R0.7。

## 4 结 语

活性白土脱色给工厂带来污染,废白土易燃,造成环境污染,是环保和安监部门强制性管理的重点,也是精炼车间安全和清洁生产薄弱的地方。如何减少白土消耗量和寻找替代白土脱色方法是行业内热议的话题。纳米混合器应用在酸炼和碱炼时可以减少磷酸用量、碱用量、白土用量,提高碱炼油得率,目前我国已经有几家精炼油厂安装等待调试,山东博兴香驰油厂在调试,还没有达到预期效果,具体调试结果还有待观测。

**致谢:**感谢汇福粮油集团王波博士的支持!

### 参考文献:

- [1] 刘元法,王兴国. 油脂脱色过程对反式酸形成不饱和度的影响[J]. 中国油脂,2007,32(12):13-16.
- [2] 左青. 大豆色拉油返色原因初探及对策[J]. 中国油脂,2000,25(6):79-81.
- [3] 张余权,金青哲,王兴国. 油脂回色机理及影响因素研究进展[J]. 中国油脂,2014,39(5):15-18.
- [4] 左青,吕瑞,徐宏闯,等. 精炼大豆油返色返酸防止措施[J]. 中国油脂,2019,44(5):30-32,62.
- [5] 李万振,杨浩辰,宋立鸿,等. 浅析精炼一级大豆油回色影响因素[J]. 粮食与食品加工业,2018,25(3):10-12.