

大豆原油酶法脱胶

李杉杉¹, 程倩^{2,3}, 谢亮^{2,3}, 薛飞燕¹, 王风艳^{2,3}, 王满意^{2,3}

(1. 北京农学院 生物与资源环境学院, 北京 102206; 2. 中粮营养健康研究院有限公司 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 老年营养食品研究北京市工程实验室, 北京 102209; 3. 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心, 南京 210023)

摘要:为促进酶法脱胶的产业化应用,分别采用 PLA₁ 单酶脱胶和 PLC 联用 PLA₁ 双酶脱胶对 7 个批次大豆原油进行脱胶,测定油脂得率、油脚出率、脱胶油磷含量及酸值,并与传统水化法进行比较,考察大豆原油酶法脱胶的效果。结果表明:酶法脱胶油脂得率显著提升,利用 PLA₁ 单酶脱胶和 PLC 联用 PLA₁ 双酶脱胶其油脂得率较水化脱胶分别提升了 0.86、1.41 百分点,且双酶脱胶较单酶脱胶油脂得率也有明显提升,平均提升 0.55 百分点;酶法脱胶可以将大豆油的磷含量降至 10 mg/kg 以下,甚至可降至 5 mg/kg 左右;酶法脱胶的油脚出率较水化脱胶明显降低,单酶脱胶和双酶脱胶分别降低了 0.72 百分点和 1.22 百分点,且双酶脱胶较单酶脱胶油脚出率平均降低了 0.49 百分点;酶法脱胶的酸值(KOH)较传统水化法均有所升高,单酶脱胶和双酶脱胶分别提升了 0.63 mg/g 和 0.61 mg/g,双酶脱胶与单酶脱胶相比没有显著差异。酶法脱胶显著提高了油脂得率,脱胶油磷含量降至 10 mg/kg 以下,可以直接与物理精炼工艺联合使用。

关键词:酶法脱胶;磷脂酶;大豆原油;油脂得率;磷含量

中图分类号:TS224.6;Q814.9 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)09-0030-05

Enzymatic degumming of crude soybean oil

LI Shanshan¹, CHENG Qian^{2,3}, XIE Liang^{2,3}, XUE Feiyan¹,
WANG Fengyan^{2,3}, WANG Manyi^{2,3}

(1. College of Bioscience and Resources Environment, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. Beijing Engineering Laboratory of Geriatric Nutrition Food Research, Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, COFCO Nutrition & Health Research Institute, Beijing 102209, China; 3. Jiangsu Province Center of Cooperative Innovation for Modern Grain Circulation and Security, Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to promote the industrial application of enzymatic degumming, seven batches of crude soybean oil were degummed using PLA₁ single enzyme and PLC combined with PLA₁ double enzyme, and the oil yield, oil sediment yield, phosphorus content and acid value of degummed oil were determined and compared with the traditional hydration method to investigate the effect of enzymatic degumming of crude soybean oil. The results showed that enzymatic degumming significantly improved the oil yield, and the increase of oil yield was 0.86 and 1.41 percentage points when using PLA₁ single enzyme degumming and PLC combined with PLA₁ double enzyme degumming respectively compared with hydration degumming, and the double enzyme degumming also showed a significant increase in oil yield compared with single enzyme degumming, with an average increase of 0.55 percentage points. The enzymatic

degumming could reduce the phosphorus content of soybean oil to less than 10 mg/kg, and even to about 5 mg/kg. The oil sediment yield of enzymatic degumming was significantly lower than that of hydration method, the single and double enzyme degumming decreased by 0.72 and 1.22 percentage

收稿日期:2021-06-17;修回日期:2022-03-16

作者简介:李杉杉(1996),女,在读硕士,研究方向为细胞培养与代谢工程(E-mail)1527449903@qq.com。

通信作者:程倩,工程师,博士(E-mail)chengqian@cofco.com;薛飞燕,副教授,博士(E-mail)feiyanyue@bua.edu.cn。

points respectively, and the oil sediment yield of double enzyme degumming decreased by 0.49 percentage points on average compared with single enzyme degumming. The acid values of the enzymatic degumming were both elevated compared with the traditional hydration method, by 0.63 mgKOH/g and 0.61 mgKOH/g for single and double enzyme degumming respectively, with no significant difference between double and single enzyme degumming. Enzymatic degumming can significantly improve the oil yield and reduce the phosphorus content in degummed oil to less than 10 mg/kg. Enzymatic degumming can be directly combined with physical refining process.

Key words: enzymatic degumming; phospholipase; crude soybean oil; oil yield; phosphorus content

大豆原油中一般含有 1.2% ~ 3.2% 的磷脂^[1], 磷脂的存在对后续加工工段具有不良影响, 还容易引起成品油的回色、回味, 降低油脂储藏的稳定性^[2-5]。因此, 实际生产中通过脱胶将大豆油中磷含量降至 10 mg/kg 以下。

传统食用植物油脱胶的方法有水化法或酸法^[6], 但这两种方法后期需要配合化学精炼, 不仅易造成中性油的损失, 还由于酸碱等生产辅料投入大导致废水排放较多。近年来, 酶法脱胶凭借其油脂得率高、酸碱添加量少、废水排放少、反应条件温和等优势, 在我国油脂行业得到了快速的推广应用^[7-10]。酶法脱胶是在磷脂酶的作用下, 将非水化磷脂水解, 以提高其亲水性, 从而达到脱胶效果。磷脂酶根据作用位点不同分为 PLA₁、PLA₂、PLB、PLC、PLD 等。PLA₁、PLA₂ 可分别水解 sn-1 和 sn-2 位的脂肪酸, 生成亲水性强的溶血磷脂和游离脂肪酸; PLB 可同时作用于 sn-1 和 sn-2 位, 生成亲水性更强的甘油酰磷脂和游离脂肪酸; PLC 能特异性作用于 sn-3 位上的甘油磷酸酯键, 生成亲油性甘油二酯(DAG)和含磷基团, 不生成游离脂肪酸; PLD 水解磷脂后的产物为亲水性较弱的磷脂酸, 起不到脱胶的作用^[5,11-13]。其中 PLA₁ 和 PLC 在我国应用最广泛。

目前, 围绕 PLA₁ 和 PLC 两种酶制剂已经开展部分研究, 但多限于对油脂得率的比较研究, 缺少系统的分析。Barton^[14] 研究发现, 利用 PLC 进行酶法脱胶, 磷含量每降 500 mg/kg, 油脂得率可以提高 1%; 汪增乾^[7]、卢萧竹^[15] 等利用 PLA₁ 分别对菜籽油、山茶油进行脱胶处理发现, 油脂得率较水化法均提升了约 1 个百分点; 徐振山等^[10] 利用 PLC 对大豆油进行中试实验发现, 油脂得率可提升 1.34 个百分点。

基于不同种类磷脂酶的作用原理, 本文选择 PLA₁ 和 PLC 两种磷脂酶, 采用 PLA₁ 单酶脱胶和 PLC

联用 PLA₁ 双酶脱胶两种脱胶方式对 7 个批次大豆原油进行脱胶处理, 并从油脂得率提升情况、脱胶油磷含量、脱胶油酸值等方面探讨酶法脱胶对大豆原油脱胶效果的影响, 旨在为酶法脱胶的产业化应用提供理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

大豆原油, 中粮营养健康研究院有限公司; PLA₁ (Lecitase Ultra[®]), 诺维信(中国)生物技术有限公司; PLC (Purifine[®]), 帝斯曼(中国)有限公司; 柠檬酸、氢氧化钠及其他试剂均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 去离子水, 实验室自制。

RCT basic package 磁力搅拌器, 德国 IKA 集团(中国)有限公司; L535-1 低速离心机, 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; BSA6202S 电子分析天平, 德国赛多利斯(中国)仪器公司; 915 KF Ti-Touch 精灵一代一体式卡尔费休滴定仪, 瑞士万通(中国)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 水化脱胶

准确称取 200 g 大豆原油于 500 mL 三口烧瓶中, 在磁力搅拌器上加热至 85 °C, 加入 3% 的去离子水, 在 500 r/min 的机械搅拌下反应 30 min。反应结束后趁热于 4 000 r/min 离心 10 min。取上层油样烘干, 得水化脱胶大豆油。

1.2.2 PLA₁ 单酶脱胶

准确称取 200 g 大豆原油于 500 mL 三口烧瓶中, 在磁力搅拌器上加热至 50 °C, 加入占原油质量 0.065% 的柠檬酸(质量分数 45%), 于 500 r/min 的机械搅拌下反应 30 min, 将去离子水总添加量补齐至 3%, 加入 0.013 5% NaOH 反应 30 min, 再调节 pH 至 4 左右, 加入 50 mg/kg PLA₁ 继续反应 2 h, 升温至 80 °C 维持 5 min。反应结束后以 4 000 r/min 离心 10 min。取上层油样烘干, 得单酶脱胶大豆油。

1.2.3 PLC 联用 PLA₁ 双酶脱胶

准确称取 200 g 大豆原油于 500 mL 三口烧瓶中,在磁力搅拌器上加热至 50 ℃,加入 3% 的去离子水,再加入 200 mg/kg PLC,于 500 r/min 的机械搅拌下反应 2 h,加入占原油质量 0.062% 的柠檬酸(质量分数 45%)反应 30 min,加入 0.013 5% NaOH 反应 30 min,再加入 50 mg/kg PLA₁ 继续反应 4 h,升温至 80 ℃ 维持 5 min。反应结束后以 4 000 r/min 离心 10 min。取上层油样烘干,得双酶脱胶大豆油。

1.2.4 油脂得率的计算

$$x = \frac{m_1 \times (1 - w - \frac{V_A}{200})}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中: x 为油脂得率; m_1 为未干燥脱胶油质量, g; m_2 为原油质量, g; w 为未干燥脱胶油中含水率; V_A 为脱胶油酸值(KOH), mg/g。

1.2.5 油脚出率的计算

分别将 1.2.1 ~ 1.2.3 离心所得油脚称量质量(m_3),按式(2)计算油脚出率(y)。

$$y = \frac{m_3}{m_2} \times 100\% \quad (2)$$

1.2.6 非水化磷含量的测定

称取 25 g 大豆原油于 100 mL 烧杯中,在磁力搅拌器上加热至 80 ℃,加入 10% 80 ℃ 去离子水,在 300 r/min 下搅拌 20 min 后,以 4 000 r/min 离心 10 min,取上层油样烘干,测定磷含量。

1.2.7 磷含量及酸值的测定

磷含量的测定参照 GB/T 5537—2008《粮油检验 磷脂含量的测定》中的钼蓝比色法;酸值的测定参照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》。

1.2.8 数据统计及分析

本实验所有数据均为 3 次重复实验获得,结果以“平均值 ± 标准差”表示。采用 GraphPad Prism 8.0.1 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 大豆原油的理化指标

大豆原油的品质,如总磷含量、非水化磷含量、酸值等,往往受产地、气候条件、储存条件、生产工艺等因素影响。据报道,不同地区大豆制取的原油在磷含量上存在显著差异^[16-19]。我国进口大豆主要来自巴西、美国,因此本实验采用了来自巴西和美国的 7 个批次大豆原油,其常规理化指标见表 1。

表 1 大豆原油常规理化指标

样品编号	大豆来源	总磷含量/(mg/kg)	非水化磷含量/(mg/kg)	非水化磷含量占比/%	酸值(KOH)/(mg/g)
1	巴西	233.96 ± 10.58	60.03 ± 1.99	25.66	3.69
2	巴西	505.32 ± 8.14	54.57 ± 0.87	10.80	2.50
3	美国	416.76 ± 14.91	64.72 ± 0.99	15.53	1.85
4	美国	443.11 ± 4.74	96.88 ± 1.49	21.86	1.77
5	美国	404.09 ± 11.94	100.24 ± 2.44	24.81	2.00
6	美国	234.33 ± 10.31	33.01 ± 0.44	14.09	1.06
7	美国	401.76 ± 1.26	55.05 ± 0.57	13.70	1.81

由表 1 可看出:在总磷含量方面,美国大豆原油总磷含量主要在 400 ~ 500 mg/kg 范围内,仅有 1 个批次的大豆原油总磷含量为 234.33 mg/kg;2 批次巴西大豆原油总磷含量相差较大,分别为 233.96 mg/kg 和 505.32 mg/kg。在非水化磷含量方面,美国大豆原油非水化磷含量最高为 100.24 mg/kg,占比达 24.81%,最低为 33.01 mg/kg,占比仅为 14.09%;2 批次巴西大豆原油的非水化磷含量在 60 mg/kg 左右,非水化磷含量占比为 10.80% ~ 25.66%。在酸值方面,巴西大豆原油的酸值普遍高于美国大豆原油。2 批次巴西大豆原油酸值(KOH)分别为 2.50 mg/g 和 3.69 mg/g,5 批次美国大豆原油酸值(KOH)均小于或等于 2.00 mg/g,平均仅为 1.70 mg/g。

2.2 油脂得率

油脂得率的显著提升是酶法脱胶最典型的优势,是衡量该方法是否值得推广应用的重要依据之一。7 个批次大豆原油单酶、双酶与水化脱胶油脂得率见表 2。

由表 2 可看出,与水化脱胶相比,酶法脱胶的油脂得率有显著提升($p < 0.01$),单酶和双酶脱胶油脂得率分别平均提升了 0.86 个百分点和 1.41 百分点。磷脂具有较好的乳化作用,在水化脱胶的过程中,会导致部分中性油随同磷脂一起被脱除。而磷脂酶可以将乳化性较强的磷脂水解为更为亲水的溶血磷脂或亲油性甘油二酯,从而减少了因乳化而损失的中性油^[12]。因此,酶法脱胶的油脂得率较水化脱胶有显著提升。

另外,实验结果还表明,双酶脱胶较单酶脱胶油脂得率也有显著提升($p < 0.01$),平均高出0.55百分点。这与PLC的特性密切相关。在双酶脱胶过程中,PLC可以先将PC、PE两种磷脂组分解为甘油二酯与相应的含磷基团,其中甘油二酯可作为油脂的一部分在后续加工过程中被保留下来;剩余磷脂则被PLA₁水解为溶血磷脂和脂肪酸,在后期的加工过程中被去除。而单酶脱胶过程中所有的磷脂被

PLA₁全部水解为溶血磷脂和游离脂肪酸,并在下游加工过程中被去除。因此,双酶脱胶较单酶脱胶油脂得率更高。蒋晓菲^[5]采用实验室自制PLC与PLA₁联用对3批磷含量203.8~752.8 mg/kg的大豆原油进行脱胶,较PLA₁单酶脱胶油脂得率平均提升0.27百分点,其结果趋势与本研究结果相一致,而本研究油脂得率提升更明显,可能和原油磷脂含量及组分有关。

表2 3种脱胶方式对油脂得率的影响

样品编号	油脂得率/%			较水化脱胶油脂得率提升百分点		双酶脱胶较单酶脱胶油脂得率提升百分点
	水化脱胶	单酶脱胶	双酶脱胶	单酶脱胶	双酶脱胶	
1	96.43 ± 0.22a	97.08 ± 0.10b	97.53 ± 0.06c	0.65 ± 0.27	1.10 ± 0.06	0.45 ± 0.17
2	94.91 ± 0.18a	96.04 ± 0.09b	96.60 ± 0.08c	1.13 ± 0.28	1.69 ± 0.08	0.56 ± 0.19
3	95.69 ± 0.11a	96.68 ± 0.17b	96.93 ± 0.13b	0.99 ± 0.07	1.24 ± 0.13	0.25 ± 0.03
4	95.68 ± 0.02a	96.52 ± 0.03b	96.97 ± 0.17c	0.84 ± 0.04	1.29 ± 0.18	0.45 ± 0.14
5	95.79 ± 0.08a	96.69 ± 0.13b	97.15 ± 0.02c	0.89 ± 0.18	1.36 ± 0.02	0.47 ± 0.17
6	96.16 ± 0.08a	96.70 ± 0.10b	97.58 ± 0.16c	0.54 ± 0.18	1.42 ± 0.16	0.88 ± 0.26
7	95.05 ± 0.05a	96.01 ± 0.03b	96.79 ± 0.12c	0.97 ± 0.08	1.75 ± 0.12	0.78 ± 0.09
平均	95.67 ± 0.51a	96.53 ± 0.36b	97.08 ± 0.35c	0.86 ± 0.26	1.41 ± 0.61	0.55 ± 0.28

注:不同字母代表同样品不同方法间差异显著。下同

2.3 脱胶油磷含量

3种脱胶方式对脱胶油磷含量的影响见图1。

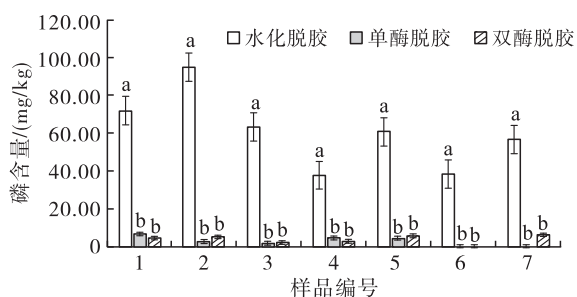


图1 3种脱胶方式对脱胶油磷含量的影响

由图1可看出,水化脱胶油的磷含量因大豆原油品质差异呈现出较大差异,而单酶脱胶和双酶脱胶均可以使脱胶油磷含量降至10 mg/kg以下,甚至

可以降至5 mg/kg以下,符合后期物理精炼工艺脱胶油磷含量低于10 mg/kg的要求。结果表明,在该条件下,单酶脱胶和双酶脱胶均可以将大豆原油中的磷脂充分水解。本研究没有出现俞乐^[17]报道的脱胶油磷含量难以降至10 mg/kg的情况,可能与实验所用大豆原油的非水化磷含量、反应条件等有关。

2.4 油脚出率

酶法脱胶油脂得率提升的主要来源之一为减少油脚带走的中性油损失。酶法脱胶在水解磷脂的同时,也降低了由于乳化作用导致的中性油损失,从而导致了其油脚与传统水化法有所不同。因此,本研究从油脚出率这一指标对不同的脱胶方式进行了评估,结果见表3。

表3 3种脱胶方式对油脚出率的影响

样品编号	油脚出率/%			较水化脱胶油脚出率减少百分点		双酶脱胶较单酶脱胶油脚出率减少百分点
	水化脱胶	单酶脱胶	双酶脱胶	单酶脱胶	双酶脱胶	
1	4.33 ± 0.13a	3.78 ± 0.42b	3.53 ± 0.02b	0.55 ± 0.29	0.80 ± 0.18	0.25 ± 0.50
2	6.02 ± 0.16a	5.00 ± 0.20b	4.48 ± 0.28b	1.02 ± 0.37	1.54 ± 0.07	0.53 ± 0.53
3	5.53 ± 0.12a	4.62 ± 0.19b	4.10 ± 0.20b	0.91 ± 0.31	1.43 ± 0.05	0.52 ± 0.38
4	5.67 ± 0.02a	4.55 ± 0.23b	4.23 ± 0.02b	1.12 ± 0.25	1.44 ± 0.00	0.32 ± 0.13
5	5.48 ± 0.08a	4.45 ± 0.14b	3.75 ± 0.05b	1.03 ± 0.22	1.73 ± 0.13	0.70 ± 0.10
6	4.75 ± 0.05b	4.88 ± 0.03a	4.60 ± 0.15b	-0.13 ± 0.02	0.15 ± 0.10	0.28 ± 0.13
7	5.90 ± 0.05a	5.38 ± 0.03b	4.50 ± 0.05b	0.52 ± 0.02	1.40 ± 0.10	0.88 ± 0.08
平均	5.39 ± 0.58a	4.67 ± 0.51b	4.17 ± 0.40b	0.72 ± 0.46	1.22 ± 0.53	0.49 ± 0.40

由表 3 可看出,3 种脱胶方式油脚出率大小顺序为双酶脱胶 < 单酶脱胶 < 水化脱胶。与传统水化脱胶相比,单酶脱胶和双酶脱胶油脚出率分别减少 0.72 个百分点和 1.22 个百分点,双酶脱胶较单酶脱胶又减少了 0.49 百分点。该结果与 2.2 中油脂得率提升的规律和结果相对应。油脚出率的结果从减少油脂损失的角度证明了酶法脱胶能够显著提高油脂得率,即油脚出率越低,油脂得率越高。

2.5 酸值

3 种脱胶方式对脱胶油酸值的影响见图 2。

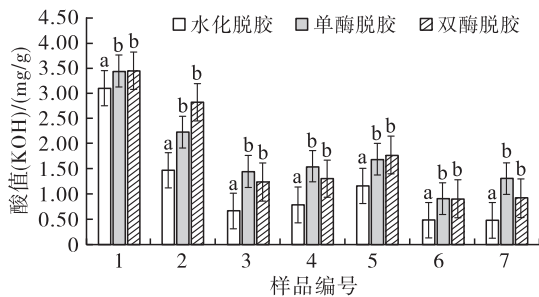


图 2 3 种脱胶方式对脱胶油酸值的影响

由图 2 可看出,两种酶法较传统水化法的脱胶油酸值均有显著提升($p < 0.05$),其中单酶脱胶和双酶脱胶油脂酸值(KOH)分别增加了 0.63 mg/g 和 0.61 mg/g。这与酶法脱胶中 PLA₁ 的水解产物之一为游离脂肪酸有关。另外,实验结果还表明,双酶脱胶与单酶脱胶的酸值差异并不显著。理论上,双酶脱胶较单酶脱胶工艺,PLA₁ 单酶脱胶水解磷脂的量更少,因此生成的游离脂肪酸也应更少,酸值应相对更低。但实验结果表明两种酶法脱胶方式所得脱胶油酸值相差不显著。这可能与双酶脱胶时间较长有关,在较长的反应过程中,部分溶血磷脂、甘油三酯等发生了进一步水解,从而导致双酶脱胶油的酸值与单酶脱胶油的酸值没有呈现出显著性差异。

3 结论

本文探讨了单酶脱胶和双酶脱胶对不同批次大豆原油脱胶效果的影响。结果表明,在油脂得率方面,酶法脱胶较水化脱胶存在显著优势,双酶脱胶较单酶脱胶存在明显优势,油脚出率的结果也间接证明了酶法脱胶的油脂损失较少。酶法脱胶油的磷含量可降至 10 mg/kg 以下,表明酶法脱胶可以直接与物理精炼工艺联合使用。

参考文献:

[1] 卢行芳,卢荣. 天然磷脂产品的加工及应用[M]. 北京: 化学工业出版社,2004:19-33.

- [2] 赵军. 脱胶效果对油脂精炼影响[J]. 粮食与油脂,2002(6):40-42.
- [3] 沈彩英. 精炼大豆油返色研究[J]. 中国油脂,2008,33(11):17-20.
- [4] 若文靓. 大豆油回味产生机理的研究[D]. 天津:天津科技大学,2011.
- [5] 蒋晓菲. 磷脂对食用油品质的影响及酶法脱胶技术的研究[D]. 江苏 无锡:江南大学,2015.
- [6] 何东平,闫子鹏. 油脂精炼与加工工艺学[M]. 北京:化学工业出版社,2005:19-33.
- [7] 汪增乾,包李林,熊巍林,等. 四级浓香菜籽油酶法脱胶工艺条件优化[J]. 中国油脂,2019,44(7):28-31.
- [8] 叶展,冉玉兵,胡传荣,等. 菜籽油磷脂酶 C 脱胶工艺优化及效果分析[J]. 食品与发酵工业,2015,41(11):87-92.
- [9] 刘瑞利,张传许,沈益烈,等. 磷脂酶在浓香菜籽油脱胶中的应用研究[J]. 黄冈师范学院学报,2016,36(3):47-49,54.
- [10] 徐振山,郑有涛,刘宝珍. 磷脂酶 C 在大豆油脱胶中的应用实践[J]. 中国油脂,2017,42(11):152-153.
- [11] JIANG F, WANG J, KALEEM I, et al. Degumming of vegetable oils by a novel phospholipase B from *Pseudomonas fluorescens* BIT-18[J]. Bioresour Technol, 2011, 102(17): 8052-8056.
- [12] 詹逸舒. 产磷脂酶 C 菌株的筛选及其酶学性质的研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2010.
- [13] GRAMATIKOVA S, HAZLEWOOD G, LAM D, et al. Phospholipases, nucleic acids encoding them and methods for making and using them: US2005108789A1 [P]. 2005-05-19.
- [14] BARTON N R. A new process for degumming: the use of phospholipase C to improve yields during refining of high phosphorus vegetable oils [C]//The 99th AOCs Annual Meeting & Expo. Seattle: AOCs, 2008.
- [15] 卢萧竹. 磷脂酶 A₁ 对山茶油脱胶及脱胶产物乳化性能的研究[D]. 广州:华南理工大学,2016.
- [16] 俞乐,黄健花,王兴国,等. 大豆毛油磷脂组成对磷脂酶 A₁ 深度脱胶的影响[J]. 中国油脂,2018,43(12):18-21.
- [17] 俞乐. 大豆毛油磷脂组成的快速预估及其对酶法脱胶的影响[D]. 江苏 无锡:江南大学,2016.
- [18] 杨亚济. 大豆油酶法脱胶应用实践[J]. 中国油脂,2016,41(8):107-109.
- [19] 裘爱泳,张绪媛,刘晔,等. 大豆油酶催化脱胶初探[J]. 中国油脂,1999,24(4):17-20.