

玉米毛油酸价及碱炼脱酸对其甘油酯组成 及3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的影响

刘玉兰¹, 张家枫¹, 胡文娜¹, 王月华², 王戩东³

(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 山东三星玉米产业科技有限公司, 山东 邹平 256209;

3. 河北玉星食品有限公司, 河北 宁晋 055550)

摘要: 对不同酸价的玉米毛油进行碱炼脱酸, 并对碱炼前后玉米油中甘一酯、甘二酯、3-氯丙醇酯、缩水甘油酯、维生素 E、植物甾醇含量进行检测, 分析研究毛油酸价及碱炼脱酸对玉米油中甘油酯组成及 3-氯丙醇酯、缩水甘油酯及其他成分的影响。结果表明: 随玉米毛油酸价升高, 甘一酯、甘二酯含量明显升高, 甘三酯含量明显降低, 毛油酸价(KOH)为 3.06~8.70 mg/g 时, 毛油中甘一酯、甘二酯总量为 6.39%~17.40%, 甘三酯含量为 82.60%~93.61%, 3-氯丙醇酯含量为 2.09~3.23 mg/kg, 缩水甘油酯含量为 0.40~0.51 mg/kg。分别对酸价(KOH)4.10、8.70 mg/g 的 2 个玉米毛油样品进行碱炼脱酸后, 甘一酯和甘二酯总量分别降低了 3.34、4.47 个百分点, 3-氯丙醇酯含量明显下降, 但缩水甘油酯含量变化不大, 说明碱炼脱酸过程对降低甘一酯、甘二酯含量的作用有限, 对 3-氯丙醇酯有一定的脱除作用, 但对缩水甘油酯影响很小。此外, 碱炼脱酸过程造成维生素 E 损失率 21.68%~24.53%, 植物甾醇损失率 32.67%~39.99%。

关键词: 玉米油; 碱炼脱酸; 甘一酯; 甘二酯; 3-氯丙醇酯; 缩水甘油酯; 维生素 E; 植物甾醇

中图分类号: TS225.1; TS201.6 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2020)02-0081-05

Effects of crude corn oil acid value and alkali deacidification process on the composition of glycerides, 3-chloropropanol ester and glycidyl ester

LIU Yulan¹, ZHANG Jiafeng¹, HU Wenna¹, WANG Yuehua², WANG Jiandong³

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. Shandong Sanxing Corn Industry Technology Co., Ltd., Zouping 256209, Shandong, China;

3. Hebei Yuxing Food Co., Ltd., Ningjin 055550, Hebei, China)

Abstract: Alkali deacidification of corn oil with different acid values were conducted, and the contents of monoglyceride, diacylglycerol, 3-chloropropanol ester, glycidyl ester, vitamin E, and phytosterol were detected to analyze the effect of crude corn oil acid value and alkali deacidification process on the composition of glycerides, 3-chloropropanol ester and glycidyl ester. The results showed that with the acid value of crude corn oil increasing, the contents of monoglyceride and diacylglycerol increased significantly while the content of triglyceride reduced markedly. When the acid values of the crude oil was 3.06-8.70 mgKOH/g, the total amount of monoglyceride and diacylglycerol was 6.39%-17.40%, the contents of triglyceride, 3-chloropropanol ester and glycidyl ester were 82.60%-93.61%, 2.09-3.23 mg/kg and 0.40-0.51 mg/kg, respectively. After the alkali deacidification of crude oil with acid values of

4.10, 8.70 mgKOH/g, the contents of monoglyceride and diacylglycerol decreased by 3.34 percentage points and 4.47 percentage points respectively, and the content of 3-chloropropanol ester decreased significantly, but the content of glycidyl ester did not change much, indicating that the alkali deacidification process had a cer-

收稿日期: 2019-07-23; 修回日期: 2019-08-18

基金项目: “十三五”国家重点研发计划子课题(2016YFD0401405)

作者简介: 刘玉兰(1957), 女, 教授, 硕士生导师, 研究方向为油料油脂加工技术与产品质量安全(E-mail) liuy17446@163.com。

tain removal effect on the 3-chloropropanol ester, while it had little effect on the reduction of monoglyceride and diacylglycerol contents, so did glycidyl ester. In addition, the alkali deacidification process caused loss of nutrients, and the loss rates of vitamin E and phytosterol were 21.68%–24.53% and 32.67%–39.99% respectively.

Key words: corn oil; alkali deacidification; monoglyceride; diacylglycerol; 3-chloropropanol ester; glycidyl ester; vitamin E; phytosterol

玉米油含有丰富的不饱和脂肪酸和维生素 E、植物甾醇等,是一种营养丰富的食用植物油^[1]。近年我国玉米油产量已持续增长至 128.4 万 t,玉米年度使用总量达到 1.2 亿 t,排在美国之后居世界第二位^[2]。研究发现,3-氯丙醇酯(3-MCPD 酯)和缩水甘油酯(GEs)是近年受到关注的食用植物油中的一类食品安全风险成分^[3-5]。研究表明^[6-9],待精炼油脂品质和油脂精炼条件可能对 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的形成产生重要影响,待精炼油脂中的游离脂肪酸、甘一酯、甘二酯及氯离子均可能是 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯形成的前体物质,这些物质在油脂高温蒸馏脱臭过程中能促使 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的形成。若在油脂高温脱臭之前将这些前体物质脱除也即减少待脱臭油脂中这些物质的含量,将有助于防范和控制脱臭过程中 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的形成^[10]。有研究报道玉米油较其他植物油中 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量偏高^[11-12],这是否与玉米毛油酸价较高有关不得而知,而酸价和甘一酯、甘二酯的含量变化关系以及碱炼脱酸对甘一酯、甘二酯的降低效果均未见相关报道,关于玉米油精炼步骤尤其是碱炼脱酸步骤能否降低 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量的文献几乎没有。为此,本研究从玉米油加工厂采集不同品质的玉米毛油,检测其酸价以及甘一酯、甘二酯、3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量,分析研究玉米毛油酸价与甘一酯、甘二酯及 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量的关系,之后选取高酸价、低酸价的玉米毛油分别进行碱炼脱酸,对碱炼脱酸玉米油中甘一酯、甘二酯、3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量进行检测,分析研究碱炼脱酸对玉米油甘一酯、甘二酯含量以及 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量的影响,同时考察碱炼脱酸对玉米油中维生素 E 和植物甾醇含量的影响,以期对玉米油精炼过程 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的防范和控制提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

3 个玉米毛油样品(样品 1~样品 3,酸价

(KOH)分别为 3.06、4.10、8.70 mg/g),均采集于玉米油加工企业。

1,2-二亚油酸-3-氯丙醇酯(纯度≥97%)、1,2-二月桂酸-3-氯丙醇酯-d5(纯度≥97%)、3-油酸-氯丙醇酯(纯度≥97%)、氘代油酸缩水甘油酯(纯度≥97%)、油酸缩水甘油酯(纯度≥97%),均购于上海安普实验科技股份有限公司;α-β-γ-δ-生育酚(纯度≥98%),α-β-γ-δ-生育三烯酚(纯度≥98%),北京三区生物技术有限公司;5α-胆甾烷醇标准品(纯度≥95%),美国 Sigma 公司。

乙醚、石油醚、无水乙醇、冰乙酸、三氯甲烷、氢氧化钾、碘化钾、溴化钠、硫酸(质量分数 98%)、盐酸、碳酸氢钠、硫酸钠、无水硫酸镁、三氯化硼、乙腈、丙酮均为分析纯;甲醇、异丙醇、正己烷、乙酸乙酯、甲基叔丁基醚、苯基硼酸(纯度≥97%)、乙腈、甲苯、乙酸、环己烷均为色谱纯。超纯水取自市售娃哈哈纯净水。

Trace310-ISQ 气相色谱-质谱联用仪、HP-5MS 气相毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),美国 Thermo Fisher 公司;7990B 气相色谱仪,美国 Agilent 公司;e2695 液相色谱仪、2424 蒸发光散射检测器,美国 Waters 公司;Ultimate SiO₂ 色谱柱(5 μm,4.6 mm×250 mm),月旭科技(上海)股份有限公司;2475 荧光检测器,美国 Waters 公司;MTN-2800W 氮吹浓缩仪,天津奥特赛恩斯仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 玉米毛油的碱炼脱酸

取玉米毛油样品 2、样品 3 分别进行碱炼脱酸,碱炼脱酸的加碱量为依据毛油酸价计算的理论加碱量与油质量 0.2% 的超量碱之和,样品 2 碱炼的碱液质量分数为 6.58%,样品 3 碱炼的碱液质量分数为 8.07%。称取 200 g 左右的玉米毛油于 250 mL 烧杯中,搅拌并加热至 25℃ 左右,缓慢加入称量好的碱液进行中和反应 20 min 左右,待油皂析出时降低搅拌速度,并将油温迅速升至 60℃,保持 10 min 促使皂粒絮凝,以 4 500 r/min 离心 20 min 进行油、

皂分离,分离出的油脂加热至95℃左右,用同温蒸馏水洗涤至中性,之后再进行减压干燥脱除水分,即得到碱炼脱酸油。

1.2.2 玉米油质量指标检测

酸价测定参照 GB 5009.229—2016;过氧化值测定参照 GB 5009.227—2016;磷脂含量测定参照 GB/T 5537—2008;色泽测定参照 GB/T 22460—2008;维生素 E 含量测定参照 GB/T 26635—2011;植物甾醇含量测定参照 GB/T 25223—2010;脂肪酸组成测定参照 GB 5009.168—2016。

1.2.3 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量的测定

参照 GB 5009.191—2016《食品安全国家标准食品中氯丙醇及其脂肪酸酯含量的测定》第三法及文献[13-14],采用酸水解的方法间接测定玉米油中3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量。首先对样品进行酸水解,将3-氯丙醇酯转变为游离态的3-氯丙醇,净化之后进行衍生处理,将3-氯丙醇转化为3-氯丙醇衍生物,进GC-MS检测,以3-氯丙醇和缩水甘油的含量来表示3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的含量。采用同位素内标进行定量。

色谱条件:色谱柱,含5%苯基亚芳基聚合物或5%苯基-甲基聚硅氧烷的弱极性毛细管气相色谱-质谱柱(柱长30 m,内径0.25 μm,膜厚0.25 μm);载气,高纯氦气(纯度≥99.999%),恒流模式,流速为1

mL/min;进样口温度250℃;进样量1 μL,不分流进样;升温程序,50℃保持1 min,以2℃/min升至90℃,再以40℃/min升至270℃,并保持5 min。

质谱条件:离子源,电子轰击源(EI);电离能量70 eV;离子源温度250℃;传输线温度280℃;扫描方式,选择离子监测模式(SIM)。监测离子:3-MCPD衍生物,定量离子 m/z 147,定性离子 m/z 146、196、198;3-MCPD-d5衍生物,定量离子 m/z 150,定性离子 m/z 149、201、203;3-MBPD衍生物,定量离子 m/z 240,定性离子 m/z 147、242;3-MBPD-d5衍生物,定量离子 m/z 245,定性离子 m/z 150、247。

1.2.4 甘一酯、甘二酯含量的测定

参照孟祥河^[15]的方法,采用高效液相色谱-蒸发光散射检测器对玉米油中甘一酯、甘二酯含量进行检测,并计算甘一酯、甘二酯和甘三酯相对含量。

高效液相色谱-蒸发光散射检测器检测条件:Ultimate SiO₂色谱柱(5 μm,4.6 mm×250 mm);柱温40℃;漂移管温度70℃;蒸发器温度60℃;N₂压力172.37 kPa;流动相为正己烷-异丙醇-乙酸(体积比98.9:1:0.1);进样量10 μL。

2 结果与讨论

2.1 不同酸价玉米毛油碱炼脱酸前后的品质比较

对3个玉米毛油及其中2个玉米毛油碱炼脱酸后的主要质量指标进行检测,结果如表1所示。

表1 不同酸价玉米毛油碱炼脱酸前后的质量指标

项目	样品1	样品2		样品3	
	毛油	毛油	脱酸油	毛油	脱酸油
酸价(KOH)/(mg/g)	3.06	4.10	0.13	8.70	0.16
过氧化值/(mmol/kg)	2.64	2.65	1.87	5.43	1.71
磷脂含量/%	0.42	0.81	-	1.37	-
色泽(25.4 mm比色槽)	Y20R4.0	Y20R5.0	Y20R2.0	Y20R7.0	Y30R2.0

注:“-”表示未检测。

由表1可以看出,随3个玉米毛油样品酸价的升高,其过氧化值也随之升高,同时色泽加深,磷脂含量也升高,说明玉米毛油酸价与其综合品质有明显关系,可以反映毛油品质。对样品2和样品3碱炼脱酸后,其酸价(KOH)均降低至0.2 mg/g以下,

同时过氧化值也有所降低,色泽得到明显改善。

2.2 不同酸价玉米毛油碱炼脱酸前后甘油酯组成的变化

对3个玉米毛油及其中2个玉米毛油碱炼脱酸后的甘油酯组成进行测定,结果如表2所示。

表2 不同酸价玉米毛油碱炼脱酸前后的甘油酯组成

项目	样品1	样品2		样品3		%
	毛油	毛油	脱酸油	毛油	脱酸油	
甘一酯	1.16±0.04	1.99±0.02	1.71±0.09	2.44±0.43*	2.34±0.72	
甘二酯	5.24±0.41	8.27±0.34*	5.94±0.08##	13.36±0.37**	9.99±0.02##	
甘三酯	93.61±0.36	89.02±0.36*	92.36±0.02##	82.60±0.80**	87.07±0.70#	

注:相对样品1,*表示差异显著($p < 0.05$),**表示差异极显著($p < 0.01$);各样品脱酸油与其毛油比,#表示差异显著($p < 0.05$),##表示差异极显著($p < 0.01$)。

从表2结合表1可以看出,毛油酸价(KOH)从3.06 mg/g增加至4.10 mg/g时,甘一酯含量几乎没有变化,甘二酯、甘三酯含量变化具有显著性差异($p < 0.05$),毛油酸价(KOH)从3.06 mg/g增加至8.70 mg/g时,甘一酯含量具有显著性差异($p < 0.05$),甘二酯、甘三酯含量变化具有极显著差异($p < 0.01$)。说明随毛油酸价升高,甘一酯含量少许升高、甘二酯含量明显升高,致使甘三酯含量明显降低。酸价最高的毛油样品3中甘三酯含量仅为82.60%,甘一酯、甘二酯总量高达17.40%。这可能与作为玉米胚原料的玉米籽粒的成熟度有关^[16],也可能与玉米胚储存、油脂制取过程中甘三酯的酸败水解有关。因为在油料种子成熟期若甘三酯的合成反应不完全,会造成甘三酯合成中间产物(甘二酯、甘一酯)含量的增多,同时在油脂制取过程若发生甘三酯的水解,就会分步水解形成甘二酯、甘一酯和游离脂肪酸等分解产物。

从表2还可以看出,随碱炼脱酸过程玉米油酸价的降低,甘二酯含量极显著降低($p < 0.01$),甘三酯含量显著或极显著升高($p < 0.05, p < 0.01$),但甘一酯含量的降幅不显著。如样品3经碱炼脱酸后甘二酯、甘一酯总量仅降低了4.47个百分点,样品2中甘二酯、甘一酯总量仅降低了3.34个百分点,这说明碱炼脱酸过程对甘二酯、甘一酯的脱除效果有限。

2.3 不同酸价玉米毛油碱炼脱酸前后3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量

对3个玉米毛油及其中2个毛油碱炼脱酸后3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量进行检测,结果如表3所示。

表3 不同酸价玉米毛油碱炼脱酸前后

项目	3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量 mg/kg				
	样品1		样品2		样品3
	毛油	毛油	脱酸油	毛油	脱酸油
3-氯丙醇酯	2.09	2.96	1.26	3.23	0.34
缩水甘油酯	0.51	0.40	0.29	0.45	0.42

从表3可以看出,3个玉米毛油样品中均检测出3-氯丙醇酯和缩水甘油酯,且3-氯丙醇酯含量均随毛油酸价升高而升高。Bertrand等^[17]认为精炼食用油中3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量与毛油中前体物质的含量密切相关。对照表1、表2可知,随样品1、样品2、样品3毛油酸价的升高,其中磷脂含量、甘二酯、甘一酯含量均呈递增趋势,而这些均被认为是形成3-氯丙醇酯的前体物质。2个玉米毛

油样品在经过碱炼脱酸后,3-氯丙醇酯含量均有明显下降,这可能归于3-氯丙醇酯被皂脚吸附或被水洗脱除。3个玉米毛油样品中缩水甘油酯含量并未随酸价升高而升高,2个碱炼脱酸油中含量也未显示出明显降低。

2.4 不同酸价玉米毛油碱炼脱酸前后营养成分含量

不同酸价玉米毛油碱炼脱酸前后维生素E、植物甾醇组分含量的变化分别见表4和表5。

表4 不同酸价玉米毛油碱炼脱酸

项目	前后维生素E组分含量 mg/100 g				
	样品1		样品2		样品3
	毛油	毛油	脱酸油	毛油	脱酸油
α -生育酚	11.92	12.47	12.88	13.48	10.71
β -生育酚	12.16	12.96	8.28	10.24	4.93
γ -生育酚	39.41	41.56	27.19	36.41	25.29
δ -生育酚	5.18	5.20	4.94	5.41	5.17
α -生育三烯酚	5.13	5.18	5.16	5.95	5.34
($\beta + \gamma$)-生育三烯酚	6.68	6.92	6.70	7.02	6.84
δ -生育三烯酚	3.98	3.98	3.98	4.01	4.00
总量	84.46	88.27	69.13	82.52	62.28

由表4可以看出,3个玉米毛油样品中维生素E含量为82.52~88.27 mg/100 g,较一般植物油中的含量高^[18]。维生素E是一种天然抗氧化剂,玉米油中丰富的维生素E赋予其很好的氧化稳定性和营养价值。玉米油中的维生素E除含有常见的4种生育酚之外,还含有较少见的4种生育三烯酚,玉米毛油中生育三烯酚总量在维生素E中的占比达到18.70%~20.58%。经碱炼脱酸,玉米油中维生素E有一定程度的损失(毛油样品2、毛油样品3中的损失率分别为21.68%、24.53%)。这与陈历水等^[19]的研究结果基本一致。

表5 不同酸价玉米毛油碱炼脱酸

项目	前后植物甾醇含量 mg/100 g				
	样品1		样品2		样品3
	毛油	毛油	脱酸油	毛油	脱酸油
菜油甾醇	158.2	210.8	138.2	266.9	145.4
豆甾醇	60.6	80.1	55.4	125.7	55.8
谷甾醇	580.6	733.1	542.9	787.1	546.7
谷甾烷醇	180.2	283.6	143.9	314.7	148.9
总量	979.6	1307.6	880.4	1494.4	896.8

植物甾醇是一种天然活性物质,具有抑制胆固醇的吸收、预防动脉粥样硬化等心血管疾病、保护皮肤等功能。从表5可以看出,3个玉米毛油样品的植物甾醇含量为979.6~1494.4 mg/100 g,相比于菜籽油、花生油、大豆油等油脂,有更高的植物甾醇

含量,但低于稻米油^[20]。其中谷甾醇含量最高,豆甾醇含量最少。碱炼脱酸过程会造成植物甾醇含量的大幅降低,样品2、样品3的植物甾醇损失率分别为32.67%、39.99%。因此,为避免植物甾醇的损失,碱炼过程应尽可能采用淡碱或其他优化的工艺条件。

3 结论

通过对3个不同酸价玉米毛油样品的检测可知,毛油中甘一酯、甘二酯含量随毛油酸价的升高而明显升高,甘三酯含量明显降低,毛油酸价(KOH)为3.06~8.70 mg/g时,毛油中甘一酯和甘二酯总量为6.39%~17.40%,甘三酯含量为82.60%~93.61%,3-氯丙醇酯含量为2.09~3.23 mg/kg,缩水甘油酯含量为0.40~0.51 mg/kg。分别对酸价(KOH)4.10、8.70 mg/g的2个玉米毛油进行碱炼脱酸后,甘一酯和甘二酯总量分别降低了3.34、4.47个百分点,3-氯丙醇酯含量有所降低,但缩水甘油酯的含量变化不大。说明碱炼脱酸过程对降低甘一酯、甘二酯含量的作用有限,对3-氯丙醇酯有一定的脱除作用,但对缩水甘油酯的影响很小。此外,碱炼脱酸过程造成维生素E损失率21.68%~24.53%,植物甾醇损失率32.67%~39.99%。研究结果提示对于酸价较高的玉米毛油因其含有较高含量的甘一酯和甘二酯,且碱炼脱酸过程难以将其有效脱除,这些3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的前体物质若随待脱臭油脂进入高温蒸馏脱臭系统,就会促使3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的形成,造成成品玉米油中3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量明显升高。为防范和控制这种风险,应关注基于甘一酯、甘二酯脱除的玉米油精炼工艺技术的研发。

参考文献:

[1] 宋晓寒,王会. 玉米油的营养功能及提取工艺[J]. 食品安全导刊,2018(21):135-136.
[2] 荆琪. 玉米油精炼工艺优化[D]. 北京:北京化工大学,2016.
[3] 黎永乐,李苑雯,柏文良,等. 深圳市售食用植物油中氯丙醇酯污染水平调查与分析[J]. 广东化工,2015,42(9):73-74.
[4] 宁柠,王卫飞,李道明,等. 食用油脂中缩水甘油酯的风险评估研究[J]. 中国油脂,2016,41(1):1-6.
[5] 向晓玲,赵波,李春松,等. 食用油中3-氯丙醇酯的研究进展[J]. 中国油脂,2017,42(7):59-64.

[6] 吴少明,傅武胜,杨贵芝. 食用植物油中脂肪酸氯丙醇酯形成机制的研究进展[J]. 食品科学,2014,35(1):266-270.
[7] 周红茹. 油脂中3-氯-1,2-丙二醇及其酯的分布、检测与其在热加工和精炼过程中的变化规律[D]. 江苏无锡:江南大学,2015.
[8] 王璐阳,刘玉兰,马宇翔,等. 油脂脱臭过程氯离子含量对3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的影响[J]. 食品科学,2018,39(20):320-325.
[9] 任我行,刘玉兰,马宇翔,等. 玉米油脱臭条件对3-氯丙醇酯和缩水甘油酯影响的研究[J]. 中国油脂,2018,43(4):57-60.
[10] FREUDENSTEIN A, WEKING J, MATTHÄUS B. Influence of precursors on the formation of 3-MCPD and glycidyl esters in a model oil under simulated deodorization conditions[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2013, 115(3):286-294.
[11] 卢跃鹏,金绍明,江小明,等. 部分省份食用植物油中脂肪酸氯丙醇酯含量水平调查分析[J]. 中国油脂,2015,40(11):79-84.
[12] 刘国琴,尹诗琴,汪学德. 气相色谱-质谱联用法测定食用油脂中的缩水甘油酯[J]. 现代食品科技,2016,32(5):289-294.
[13] 苗雨田,杨悠悠,王浩,等. 气相色谱-质谱法测定食用油中3-氯丙醇酯[J]. 中国粮油学报,2016,31(11):135-139.
[14] 任我行. 油脂精炼过程3-MCPD酯和缩水甘油酯的控制与脱除研究[D]. 郑州:河南工业大学,2018.
[15] 孟祥河. 功能性甘油二酯的酶促酯化合成及其减肥功能的研究[D]. 江苏无锡:江南大学,2004.
[16] 刘玉兰. 油脂制取与加工工艺学[M]. 北京:科学出版社,2009.
[17] BERTRAND M, PUDEL F, FEHLING P, et al. Strategies for the reduction of 3-MCPD esters and related compounds in vegetable oils[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2011, 113(3):380-386.
[18] 温运启,刘玉兰,王璐阳,等. 不同食用植物油中维生素E组分及其含量研究[J]. 中国油脂,2017,42(3):35-39.
[19] 陈历水,房子舒,安骏,等. 玉米油中主要营养因子在精炼与储存过程中的变化[J]. 中国油脂,2017,42(8):58-62.
[20] 薛莉. 食用植物油特质营养成分组成与分布研究[D]. 北京:中国农业科学院,2018.