

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20240164

网络首发日期: 2025-10-27; 网络首发地址: <http://link.cnki.net/urlid/12.1355.N.20251027.1125.001>

大豆油脱臭工艺优化与馏出物中维生素 E 损耗规律研究

于伟洋¹, 于晓莉¹, 胡乃珺¹, 王亮², 牛师威², 乔丽萍^{1,3}

(1. 天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457; 2. 京粮(天津)粮油工业有限公司, 天津 300450;
3. 天津市粮油学会, 天津 300457)

摘要: 探究脱臭馏出物中维生素 E 含量变化规律, 不仅可以保障成品油的品质, 还可以调控大豆油精炼附加值。本研究结合关键参数和工厂实际, 通过研究脱臭温度、汽提量、大豆油脱臭馏出物(SODD2)循环温度等参数对脱臭馏出物中维生素 E 含量变化的影响规律, 采用单因素实验及正交实验方法, 筛选最佳工艺参数。结果表明: 脱臭是维生素 E 精炼损耗的主要工段, 其损失率约为 21.93%; 馏出物 SODD1 和 SODD2 中维生素 E 的含量分别达到 15 724.70 mg/100 g 和 3 801.38 mg/100 g。脱臭馏出物中维生素 E 的含量随着脱臭温度、汽提量和 SODD2 循环温度的升高而增加, 且提出率呈现相似趋势。综合分析, 条件采用脱臭温度 250 °C、汽提量 0.8%、SODD2 循环温度 55 °C 时, 脱臭馏出物中维生素 E 的总含量达到 25.70%, 且优化后的提出率为 13.52%, 较优化前提升了 3.31%。研究结果可为油脂精炼保质增效提供一定参考。

关键词: 大豆油; 脱臭; 馏出物; 维生素 E; 优化

中图分类号: TS224.6

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2026)02-0023-06

Optimization of Deodorization Process for Soybean Oil and Study of Vitamin E Loss in Distillate

YU Weiyang¹, YU Xiaoli¹, HU Naijun¹, WANG Liang², NIU Shiwei², QIAO Liping^{1,3}

(1. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;
2. Jingliang(Tianjin) Grain & Oil Industry Co., Ltd., Tianjin 300450, China;
3. Tianjin Cereals and Oils Association, Tianjin 300457, China)

Abstract: Investigating the changes in vitamin E content in deodorized distillate can not only ensure the quality of finished oil, but also regulate the added value of soybean oil refining. This study combined key parameters and actual factory conditions, and studied the effects of parameters such as deodorization temperature, stripping capacity, and circulating temperature of soybean oil deodorized distillate(SODD2) on the changes in vitamin E content in deodorized distillate. Single factor and orthogonal experiments were conducted to screen the optimal process parameters. The results indicated that deodorization was the main stage of vitamin E refining loss, with a loss rate of approximately 21.93%. The vitamin E content in the distillate SODD1 and SODD2 reached 15 724.70 mg/100 g and 3 801.38 mg/100 g, respectively. The content of vitamin E in the deodorized distillate increased with the increase of deodorizing temperature, stripping capacity, and SODD2 cycle temperature, and the extraction rate showed a similar trend. Through comprehensive analysis, under the conditions of deodorization temperature of 250 °C, stripping capacity of 0.8%, and SODD2 cycle temperature of 55 °C, the total content of vitamin E in the deodorized distillate reached 25.70%, and the optimized extraction rate was 13.52%, an increase of 3.31% compared to before optimization. These research findings provide valuable insights for improving the quality and efficiency of oil refining.

收稿日期: 2024-08-22; 修回日期: 2024-10-29

基金项目: 中国博士后科学基金项目(2022M712375)

作者简介: 于伟洋(1998—), 女, 山东临沂人, 硕士研究生; 通信作者: 乔丽萍, 正高级工程师, qiao369@126.com

Key words: soybean oil; deodorization; distillate; Vitamin E; optimization

引文格式:

于伟洋,于晓莉,胡乃珺,等.大豆油脱臭工艺优化与馏出物中维生素 E 损耗规律研究[J].天津科技大学学报,2026,41(2):23-28.

YU W Y, YU X L, HU N J, et al. Optimization of deodorization process for soybean oil and study of vitamin E loss in distillate[J]. Journal of Tianjin university of science and technology, 2026, 41(2):23-28.

天然维生素 E(vitamin E, VE),又名生育酚,是一种透明、无臭无味的淡黄色脂溶性维生素^[1]。维生素 E 在食品工业上常用作绿色抗氧化剂和营养增强剂^[2-3],因其还具有提升机体免疫力等多种生物功能而发挥良好的医用价值^[4]。在动物饲料中添加维生素 E 也可促进动物生长,提高肉的品质^[5]。天然维生素 E 具有抗皱防衰的作用,可应用于护肤品中^[5]。随着经济的增长及油脂工业的日益发展,大豆油精炼加工规模逐步加大,精炼副产物的产量也随之增大。大豆油在精炼脱臭时除产出符合国家相关质量标准的成品油外,同时在脱臭塔中通过冷凝捕集获得的各种臭味组分等精炼副产物,称为大豆油脱臭馏出物(soybean oil deodorizer distillate, SODD)^[6-7]。脱臭馏出物是大豆油提取天然维生素 E 的主要来源^[8-9],若将其适当提取利用,不仅能提高其附加值,还能降低生产消耗,减少碳排放,达到降本增效的目的^[10]。

本研究结合生产实际,在油脂精炼的过程中采用单温脱臭双段式捕集工艺,首先以精炼工段油及脱臭馏出物为原料,测定精炼各工段油及馏出物中维生素 E 的含量,确定影响维生素 E 产出的因素并进行分析;采用单因素实验方法研究脱臭温度、汽提量、SODD2 循环温度等参数对脱臭馏出物中维生素 E 含量变化的影响规律,筛选确定最佳工艺参数,以期为大豆油精准适度加工及脱臭馏出物中维生素 E 的综合利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

大豆原油、脱胶油、脱酸油、脱色油、脱臭油、脱臭馏出物(SODD1、SODD2)取自同一条精炼生产线,由京粮(天津)粮油工业有限公司提供,原料豆产自巴西。无水乙醇,分析纯,天津市津东天正精细化学试剂厂;无水甲醇,色谱纯,天津市康科德科技有限公司;异丙醇,色谱纯,天津市津科精细化工研究所; α -生育酚(纯度 $\geq 96\%$)、 δ -生育酚(纯

度 $\geq 96\%$)、 γ -生育酚(纯度 $\geq 96\%$),美国 Sigma 公司。

C18 色谱柱、C18 保护柱,北京迪科马科技有限公司;注射器,江西丰临医用器械有限公司;0.22 μm 有机过滤器,天津市科艺隆实验设备有限公司;2 mL 进样瓶,海门市顺奇实验器材经营部;脱臭塔、脂肪酸捕集器、进油缓冲罐,比利时迪斯美(Desmet)公司;脂肪酸循环泵,天津市金丰泰机械泵业有限公司;脂肪酸冷却换热器,基伊埃板式热交换设备(上海)有限公司;脂肪酸冷却换热器水循环系统,格兰富水泵(上海)有限公司;蒸汽过热器,中国华能无锡电热器材有限公司;高温油换热器,浙江焦耳科技有限责任公司;脱臭进料泵,苏尔寿泵业有限公司;安捷伦 1260 infinity II 高效液相色谱系统,安捷伦科技有限公司;超声清洗机,宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.2 实验方法

大豆原油在精炼车间中经加酸脱胶、中和脱胶、吸附脱色等工序后流入脱臭塔进行脱臭处理。收集油脂加工厂精炼车间中单温脱臭精炼条件下的大豆原油、脱胶油、脱酸油、脱色油、脱臭油、脱臭馏出物(SODD1、SODD2)样品各 500 mL,装入棕色样品瓶,共计 6 批次 42 个样品。基于脱臭温度 255 $^{\circ}\text{C}$ 、汽提量 0.7%、SODD2 循环温度 45 $^{\circ}\text{C}$ 这 3 项常规参数,在其他因素恒定、工艺步骤相同的前提下,对其进行变量控制,分析脱臭温度(245、250、255 $^{\circ}\text{C}$)、汽提量(0.6%、0.7%、0.8%)、SODD2 循环温度(40、45、50、55 $^{\circ}\text{C}$)对脱臭馏出物维生素 E 含量的影响。为确保实验结果的准确性,每个脱臭参数设置稳定 6 d,每 3 d 取样 1 次,每个参数下的样品取样 2 批次,共计 22 批次 154 个样品。

1.2.1 维生素 E 测定前处理条件

准确称取 0.500 0 g 油样置于 25.00 mL 容量瓶中,用无水乙醇稀释定容,用超声清洗机振荡 2 min 至样品充分溶解,摇匀。准确吸取 1.00 mL 提取液,用 0.22 μm 有机过滤器过滤备用。

1.2.2 色谱条件

色谱柱为 C18 柱 (250 mm × 4.6 mm × 5 μm), 流动相为甲醇-异丙醇溶液 (甲醇与异丙醇的体积比为 92 : 8), 柱温 30 °C, 流量 1.00 mL/min, 紫外检测波长 295 nm, 进样量 5 μL。

1.3 维生素 E 含量的相关计算

精炼工段依次为原油、脱胶、脱酸、脱色、脱臭, SODD 产出量由两种馏出物储存罐的流量计测得。维生素 E 精炼总损耗率 (A)、维生素 E 各工段损耗率 (X)、馏出物维生素 E 捕集量 (C)、馏出物维生素 E 提出率 (D) 分别按照式 (1)~式 (4) 计算。

$$A = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (1)$$

$$X = \frac{x-y}{x} \times 100\% \quad (2)$$

$$C = Ee + Ff \quad (3)$$

$$D = \frac{C}{e+f} \times 100\% \quad (4)$$

式中: E 、 F 分别为 SODD1、SODD2 中维生素 E 的含量; a 、 b 分别为原油、脱臭油中维生素 E 的含量; x 、 y 分别为前工段油、后工段油中维生素 E 的含量; e 、 f 分别为 SODD1、SODD2 的产出量。

1.4 数据处理

数据采用 Excel 2024 进行处理, 结合 SPSS 23.0 软件分析, 结果以“平均值 ± 标准差”表示, 图表中的

不同字母表示组间具有显著差异 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 大豆油精炼过程中维生素 E 含量的变化规律

大豆油中维生素 E 含量以 γ -生育酚为主, 其次为 δ -生育酚和 α -生育酚, 基本不含生育三烯酚, β -生育酚也只有 0.92 mg/100 g, 约占总含量的 0.89%^[11-13]。大豆油精炼过程中可以有效去除磷脂、游离脂肪酸、色素、真菌毒素、农药残留、缩水甘油酯、三氯丙醇酯等影响油脂品质的物质, 维生素 E 等微量营养成分也会随之受到影响^[14]。大豆油精炼过程中维生素 E 含量变化见表 1。由表 1 可知, 维生素 E 含量在大豆油精炼过程中整体呈下降趋势, 尤其在脱臭工段变化最为显著。大豆精炼总损耗率为 22.73%, 脱臭油损耗率为 21.93%。脱臭馏出物经脂肪酸捕集后, SODD1 和 SODD2 中维生素 E 平均含量分别达到 15 724.70 mg/100 g 和 3 801.38 mg/100 g。维生素 E 受到脱臭温度、蒸汽、真空度、脂肪酸循环等工艺参数的影响^[15], 主要在脱臭塔底部高温捕集时与甾醇、中性油等富集形成 SODD1, 小部分随着水蒸气逃逸后, 经低温捕集回收得到 SODD2^[10]。因此, 脱臭是维生素 E 精炼损耗的主要工段, 通过调整合适的脱臭工艺参数加以改善, 可为后续研究奠定基础。

表 1 大豆油精炼过程中维生素 E 含量变化

Tab. 1 Changes in vitamin E content during soybean oil refining process

不同工段油脂	原油	脱胶油	脱酸油	脱色油	脱臭油	SODD1	SODD2
维生素 E 含量/(mg/100 g)	111.83 ± 2.01	111.18 ± 1.90	108.94 ± 2.14	110.67 ± 3.60	86.40 ± 5.20	15 724.70 ± 557.41	3 801.38 ± 219.52

2.2 脱臭条件对脱臭馏出物中维生素 E 含量的影响

2.2.1 脱臭温度

结合前期结果和工厂实际可调控范围, 研究脱臭温度 245 ~ 255 °C 对脱臭馏出物中维生素 E 含量的影响, 结果如图 1 所示, 其中 T-SODD 表示脱臭总馏出物。由图 1 可知, 随着脱臭温度的升高, 脱臭馏出物中维生素 E 的含量呈现先上升后趋于平缓的趋势。这是由于温度越高, 脂肪酸、维生素 E 等各种臭味组分的蒸汽压力随之增大, 越容易汽化挥发, 从而使蒸馏脱臭过程也更加容易进行^[16]。当温度由 245 °C 升高到 250 °C 时, 维生素 E 总含量从占脱臭馏出物的 14.81% 增至 18.78%, 继续升温维生素 E 含量仅缓慢增加了 0.89%。脱臭馏出物中维生素 E 提出率也显示出相似的变化, 245 °C 时维生素 E 提出率为 6.51%,

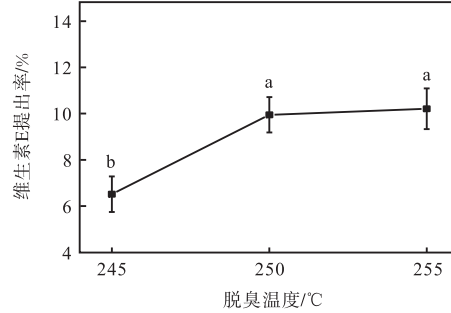
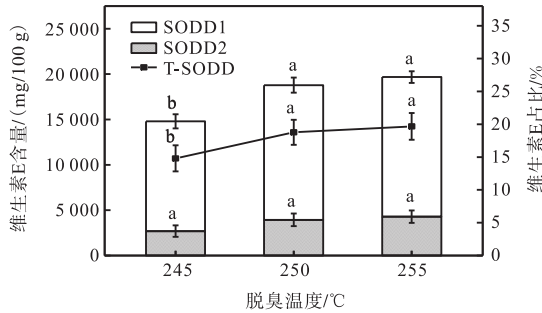
在 250 °C 升至 255 °C 时, 提出率仅增加了 0.26%, 达到 10.21%, 其中占比较大的 SSOD1 中维生素 E 含量的变化逐渐趋于平缓。这可能是由于过高的温度引起了油脂和生育酚的加剧分解, 增大了中性油的损耗, 使维生素 E 的损失逐渐增加, 维生素 E 在接近底部第一次高温捕集的 SSOD1 中积累较少; 同时臭味组分的蒸气压较大, 一部分维生素 E 被蒸气夹带到 SODD2 才再次被捕集, 因此 SODD2 中维生素 E 含量持续增加。但是, 其他研究^[17]发现, 脱臭温度过高容易产生三氯丙醇酯、多环芳烃等有害物质。因此, 脱臭温度选择 250 °C 较为适宜。

2.2.2 汽提量

油脂在脱臭塔中呈薄层状, 汽提蒸汽以逆流的形式与油脂接触, 从而使油脂的薄膜被破坏, 呈现翻腾

状态,同时蒸发出油脂水解产生的气态脂肪酸,气态脂肪酸在脱臭塔上层被捕集,翻腾程度影响着馏出物的捕集效果,从而影响维生素 E 的含量^[18]。汽提量对脱臭馏出物中维生素 E 含量和维生素 E 提出率的影响如图 2 所示。由图 2 可知,在汽提量为 0.6% ~ 0.8%时,汽提量与维生素 E 含量呈正相关,由 19.16%

上升至 21.70%,同时提出率增加 0.96%。这可能是在汽提量过低时,油脂翻腾程度低,气-液相界面的比表面积较小,不利于内部各臭味组分的挥发,导致维生素 E 含量低;当汽提量增大后,油脂搅拌速率增大,使油脂剧烈翻腾而与水蒸气充分混合,促进各组分挥发。因此,汽提量选取 0.8%。



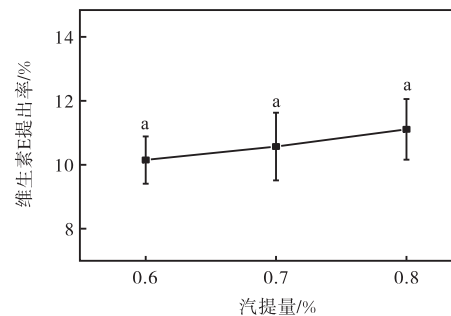
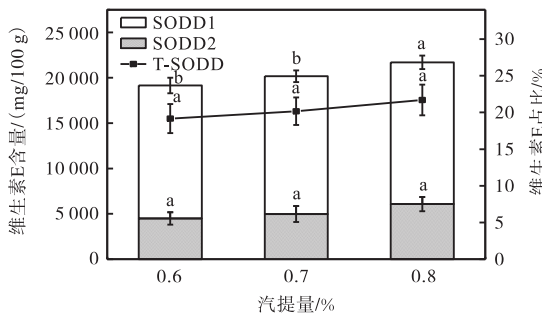
(a) 脱臭温度对脱臭馏出物中维生素 E 含量的影响

(b) 脱臭温度对脱臭馏出物中维生素 E 提出率的影响

注:不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

图 1 脱臭温度对脱臭馏出物中维生素 E 含量和维生素 E 提出率的影响

Fig. 1 Effects of deodorization temperature on vitamin E content and extraction rate in deodorizer distillate



(a) 汽提量对脱臭馏出物中维生素 E 含量的影响

(b) 汽提量对脱臭馏出物中维生素 E 提出率的影响

注:不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

图 2 汽提量对脱臭馏出物中维生素 E 含量和维生素 E 提出率的影响

Fig. 2 Effects of stripping capacity on the content and extraction rate of vitamin E in deodorizer distillate

2.2.3 SODD2 循环温度

当 SODD2 捕集温度低于 40 °C 时,脂肪酸容易凝固成颗粒贴在管壁上,降低系统真空度,而温度高于 60 °C 会造成真空负荷过大^[19]。SODD2 循环温度对脱臭馏出物中维生素 E 含量和维生素 E 提出率的影响如图 3 所示。在 40 ~ 55 °C 范围内,随着 SODD2 循环温度的升高,两种馏出物中维生素 E 含量整体呈升高趋势。当循环温度为 40 ~ 55 °C 时,维生素 E 含量共增加了 8.56%,维生素 E 含量先由 16.79% 升高到 20.12%,后缓慢升至 20.50%,而 55 °C 时明显提升至 25.53%。这可能是由于 SODD2 循环温度越低,脂肪酸循环量越多,顶部填料上产生的覆盖面积越大,气态脂肪酸越容易被捕集,脂肪酸相对含量高,维生素 E 占比小,含量较低;反之高温时维生素 E 占

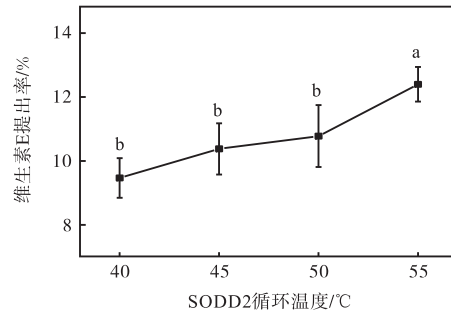
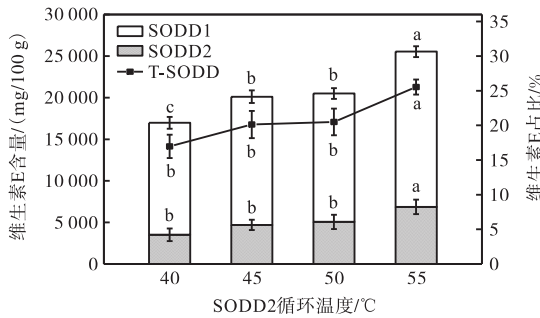
比大则含量高,或许因为第二次捕集过程中脂肪酸温度较高,部分脂肪酸直接从脱臭塔上层逸出到真空中,而不会向下被冷凝、捕集,造成部分脂肪酸损失。综合来看,馏出物中维生素 E 的捕集速率明显大于脂肪酸的损失速率,并在 55 °C 时维生素 E 提出率达到 12.4% 的最大值。因此,SODD2 循环温度选择 55 °C。

2.3 正交实验设计优化脱臭工艺条件

在单因素实验的基础上,采用 $L_9(3^3)$ 正交实验考察脱臭温度(A)、汽提量(B)、SODD2 循环温度(C)对脱臭馏出物中维生素 E 含量的影响,结果见表 2。通过比较极差(R)可知各因素对馏出物维生素 E 含量的影响:脱臭温度对 SODD1、脱臭总馏出物及维生素 E 实际提出率的影响最大,其次为汽提量,SODD2

循环温度对其影响最小;3个参数对SODD2的作用程度稍有不同,为A>C>B。这可能是由于SODD1在馏出物中占比相对较大,受到脱臭温度的影响最大,其在系统中所占的组分蒸气压的大小在一定程度上直接决定维生素E提取量。比较各因素均值(k),得到最佳理论脱臭条件A₃B₃C₃,即脱臭温度255℃、汽提量0.8%、SODD2循环温度55℃。在此条件下,脱

臭馏出物中维生素E总含量达到26.26%,维生素E提出率达到14.57%。然而,表2中A₃和A₂的维生素E提出率k值仅相差1.12%,综合实际能耗、经济效益及高温有害物等因素,推荐实际脱臭条件为A₂B₃C₃,即脱臭温度250℃、汽提量0.8%、SODD2循环温度55℃。



(a) SODD2 循环温度对脱臭馏出物中维生素 E 含量的影响

(b) SODD2 循环温度对脱臭馏出物中维生素 E 提出率的影响

注:不同字母表示组间差异显著(P<0.05)。

图3 SODD2 循环温度对脱臭馏出物中维生素 E 含量和维生素 E 提出率的影响

Fig. 3 Effects of SODD2 cycle temperature on vitamin E content and extraction rate in deodorizer distillate

表2 正交实验结果

Tab. 2 Results of orthogonal experiment

实验号	A/°C	B/%	C/°C	SODD1-VE/%	SODD2-VE/%	T-SODD-VE/%	维生素 E 提出率/%
1	245	0.6	45	9.95	2.44	12.39	6.48
2	245	0.7	55	12.56	3.18	15.74	7.52
3	245	0.8	50	12.99	3.32	16.31	8.31
4	250	0.6	55	14.19	5.83	20.02	11.69
5	250	0.7	50	15.41	5.81	21.22	11.97
6	250	0.8	45	16.34	4.48	20.82	12.11
7	255	0.6	50	15.35	5.23	20.58	12.15
8	255	0.7	45	15.72	3.90	19.62	12.39
9	255	0.8	55	17.62	8.64	26.26	14.57
SODD1-VE	k ₁	11.83	13.16	14.00			
	k ₂	15.31	14.56	14.58			
	k ₃	16.23	15.65	14.79			
	R	4.40	2.49	0.79			
SODD2-VE	k ₁	2.98	4.50	3.61			
	k ₂	5.37	4.30	4.79			
	k ₃	5.92	5.48	5.88			
	R	2.94	1.18	2.28			
T-SODD-VE	k ₁	14.81	17.66	17.61			
	k ₂	20.69	18.86	19.37			
	k ₃	22.15	21.13	20.67			
	R	7.34	3.47	3.06			
VE 提出率	k ₁	7.44	10.11	10.33			
	k ₂	11.92	10.63	10.81			
	k ₃	13.04	11.66	11.26			
	R	5.60	1.56	0.93			

注:T-SODD-VE 表示脱臭总馏出物中维生素 E 含量,SODD1-VE 表示 SODD1 中维生素 E 含量,SODD2-VE 表示 SODD2 中维生素 E 含量。

2.4 验证实验

条件优化前后大豆油脱臭馏出物质量指标见表

3. 通过结果对比发现,实际推荐参数(A₂B₃C₃)条件下馏出物中维生素 E 总含量为 25.70%,与优化前

($A_3B_1C_1$) 相比提升了 6.08%, 与理论最佳条件 ($A_3B_3C_3$) 仅相差 0.56%; 综合馏出物实际产出量后, 实际推荐参数的维生素 E 实际提出率为 13.52%, 优化提升了 3.31%, 与理论最佳结果相差 1.05%。综合能耗、经济效益及高温有害物等实际情况, 实际推荐参数脱臭温度 250 °C、汽提量 0.8%、SODD2 循环温

度 55 °C 更符合实际生产需求。另外, 两种脱臭馏出物经优化后的酸价皆降低, SODD1 的过氧化值基本维持在 0.027 g/100 g ~ 0.029 g/100 g 之间, SODD2 过氧化值稍有下降。这可能与脱臭工艺优化后脂肪酸捕集量减少, 部分脂肪酸及过氧化产物等臭味组分被蒸气裹挟进入真空废水有关。

表 3 条件优化前后大豆油脱臭馏出物质量指标

Tab. 3 Quality indexes of soybean oil deodorizer distillate before and after condition optimization

脱臭条件	馏出物	酸价/(mg/g)	过氧化值/(g/100 g)	VE 含量/(mg/100 g)	VE 占比/%	VE 提出率/%
优化前 ($A_3B_1C_1$)	SODD1	36.544 ± 5.04	0.028 ± 0.004	15 724.70 ± 557.41	19.53	10.21
	SODD2	105.80 ± 4.66	0.024 ± 0.002	3 801.38 ± 219.52		
理论最佳 ($A_3B_3C_3$)	SODD1	28.33 ± 0.99	0.027 ± 0.001	17 618.23 ± 459.13	26.26	14.57
	SODD2	101.73 ± 3.32	0.017 ± 0.001	8 639.97 ± 373.08		
实际推荐 ($A_2B_3C_3$)	SODD1	33.44 ± 1.93	0.029 ± 0.003	17 339.33 ± 505.79	25.70	13.52
	SODD2	100.01 ± 4.31	0.019 ± 0.003	8 360.76 ± 354.81		

对优化条件后 ($A_2B_3C_3$) 的脱臭油进行理化指标测定, 结果见表 4。脱臭油中维生素 E 含量由 86.40 mg/100 g 降至 75.48 mg/100 g, 与优化前相比降低了 12.64%, 这与维生素 E 总体含量基本恒定、在脱臭过程中更大一部分维生素 E 被捕集到馏出物中有关。优化后脱臭油澄清、口感好、基本无气味, 呈现透亮的淡黄色, 酸价和过氧化值分别为 0.07 mg/g 和 0.011 g/100 g, 水分及挥发物含量为 0.01%, 不溶性杂质含量为 0.01%, 烟点达到 212 °C, 未检出溶剂残留, 并且对其进行 0 °C 储藏 5.5 h 的冷冻实验, 发现脱臭油仍澄清、透明, 符合一级大豆油的国家质量标准^[20]。

表 4 条件优化后脱臭油理化指标

Tab. 4 Physicochemical indexes of deodorized oil after optimization

项目	理化结果	质量指标
透明度 (20 °C)	澄清、透明	澄清、透明
气味、滋味	无异味, 口感好	无异味, 口感好
色泽	淡黄色	淡黄色至浅黄色
酸价/(mg/g)	0.07 ± 0.02	≤ 0.50
过氧化值/(g/100 g)	0.011 ± 0.001	≤ 0.14
水分及挥发物含量/%	0.01 ± 0.00	≤ 0.10
不溶性杂质含量/%	0.01 ± 0.00	≤ 0.05
烟点/°C	212.00 ± 1.00	≥ 190
VE 含量/(mg/100 g)	75.48 ± 0.53	—
冷冻实验	澄清、透明	澄清、透明
溶剂残留量/(mg/kg)	未检出	不得检出

注: —表示不检测; 本质量指标参考大豆油 GB/T 1535—2017, 此脱臭油符合成品大豆油的国家食品安全标准, 可供人类食用。

3 结论

在大豆油精炼过程中如何最大程度地降低和消除有害因子、保障油脂品质和货架期的同时, 适度捕

集维生素 E 等开发价值较高营养成分, 是油脂加工业研究的热点。本研究结合关键参数和工厂实际, 研究脱臭温度、汽提量、SODD2 循环温度等参数对脱臭馏出物中维生素 E 含量的变化规律, 探究其对维生素 E 含量的影响, 综合分析, 采用脱臭温度 250 °C、汽提量 0.8%、SODD2 循环温度 55 °C 条件时, 脱臭馏出物中维生素 E 总含量达到 25.70%, 且优化后的提出率为 13.52%, 较优化前提升了 3.31%, 研究结果可为油脂精炼保质增效提供一定参考。

参考文献:

- [1] KUNDU S, SARKAR D. A year away to 100th year of vitamin E synthesis[J]. Journal of heterocyclic chemistry, 2021, 58(9): 1741–1748.
- [2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品添加剂 维生素 E: GB 1886.233—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [3] 付琳. 物源性抗氧化剂在食品保存中的角色与机制分析[J]. 现代食品, 2023, 29(22): 86–88.
- [4] LEE G Y, HAN S N. The role of vitamin E in immunity[J]. Nutrients, 2018, 10: 1614.
- [5] 蒋竹英. 维生素 E 的营养与生理作用研究进展[J]. 当代畜牧, 2023(8): 25–26.
- [6] SHERAZI H S T, MAHESAR S A, SIRAJUDDIN N. Vegetable oil deodorizer distillate: a rich source of the natural bioactive components[J]. Journal of oleo science, 2016, 65(12): 957–966.
- [7] HA T Y, KO S N, LEE S M, et al. Changes in nutraceutical lipid components of rice at different degrees of milling[J]. European journal of lipid science and technology, 2006, 108(3): 175–181.

(下转第 39 页)

- of the blends[J]. International journal of biological macromolecules, 2024, 254: 127827.
- [22] LI Y, HE Z, TU Y, et al. Understanding synchronous regulating effects of starch-protein interactions on starch digestion and retrogradation under thermal shear processing[J]. Carbohydrate polymers, 2024, 329: 121767.
- [23] ZHANG R, HUANG R, CAI Z, et al. Effect of annealing treatment on physicochemical properties, rheology and *in vitro* digestion of potato starch-galactomannan complexes[J]. Food hydrocolloids, 2024, 152: 109963.
- [24] WANG Y, GUO J, WANG C, et al. Effects of konjac glucomannan and freezing on thermal properties, rheology, digestibility and microstructure of starch isolated from wheat dough[J]. LWT-Food science and technology, 2023, 177: 114588.
- [25] WEDAMULLA N E, FAN M, CHOI Y J, et al. Combined effect of heating temperature and content of pectin on the textural properties, rheology, and 3D printability of potato starch gel[J]. International journal of biological macromolecules, 2023, 253: 127129.
- [26] CHEN S, QIN L, CHEN T, et al. Modification of starch by polysaccharides in pasting, rheology, texture and *in vitro* digestion: a review[J]. International journal of biological macromolecules, 2022, 207: 81–89.
- [27] LIU L, HU X, ZOU L. Wheat polysaccharides and gluten effect on water migration and structure in noodle doughs: an ^1H LF-NMR study[J]. Journal of cereal science, 2023, 110: 103628.
- [28] IGLESIAS-CARRES L, RACINE K C, CHADWICK S, et al. Mechanism of off-color formation in potato chips fried in oil systems containing ascorbic acid as a stabilizer[J]. LWT-Food science and technology, 2023, 179: 114682.
- [29] DOS SANTOS T P R, FRANCO C M L, LEONEL M. Gelatinized sweet potato starches obtained at different preheating temperatures in a spray dryer[J]. International journal of biological macromolecules, 2020, 149: 1339–1346.
- [30] RAHIMI J, NGADI M. Effects of pre-heating temperature and formulation on porosity, moisture content, and fat content of fried batters[J]. Journal of food measurement and characterization, 2016, 10(3): 569–575.
- [31] 孙江艳, 刘义凤, 刘磊, 等. 食品感官评价的技术手段与应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(24): 359–366.
- [32] 张璐, 熊双丽, 李安林, 等. 油炸温度和时间对小酥肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(7): 68–75.

责任编辑: 郎婧

(上接第 28 页)

- [8] 施学东, 陈黎. 植物油精炼副产物的综合利用及深加工[J]. 福建化工, 2001(3): 3–9.
- [9] 李江生. 植物油脱臭馏出物中双相萃取天然维生素 E[D]. 上海: 华东理工大学, 2018.
- [10] 王兴国, 金青哲, 白长军, 等. 大豆油精准适度加工关键新技术开发与示范[J]. 中国油脂, 2015, 40(9): 7–12.
- [11] MEI F, WANG H, ZHANG Y, et al. Fast detection of adulteration of aromatic peanut oils based on alpha-tocopherol and gamma-tocopherol contents and ratio[J]. LWT-Food science and technology, 2021, 143: 111168.
- [12] 顾强, 石晶, 袁大炜, 等. 常见植物油中 8 种生育酚和生育三烯酚含量分析[J]. 食品工业, 2017, 38(2): 304–307.
- [13] 杜喜利, 张峻铭, 马芮萍, 等. 不同种类植物油中维生素 E 组成分析[J]. 现代食品, 2023, 29(22): 168–170.
- [14] 王瑛瑶, 魏翠平, 段章群, 等. 精炼对大豆油和菜籽油中主要微量成分的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(10): 47–50.
- [15] 崔宝贵. 利用软塔脱臭精炼玉米胚芽油的新工艺[J]. 粮食与食品工业, 2005, 12(2): 7–8.
- [16] JAMOSSI B, JABLAOUI C, HAJRI A K, et al. Deodorization process of vegetal soybean oil using thermomechanical multi-flash autovaporization (MFA) [J]. LWT-Food science and technology, 2022, 167: 113823.
- [17] COLONIA B S O, DE MELO-PEREIRA G V, DE CARVALHO J C, et al. Deodorization of algae biomass to overcome off-flavors and odor issues for developing new food products: innovations, trends, and applications[J]. Food chemistry advances, 2023, 2: 100270.
- [18] YU D, DONG T, ZHANG L, et al. Effects of different deodorization methods on the oxidation of sterol components in rice bran oil[J]. Food chemistry, 2023, 404: 134568.
- [19] 左青. 巴西大豆油精炼技术的研究[J]. 粮食与食品工业, 2015, 22(3): 14–18.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 大豆油: GB/T 1535—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

责任编辑: 郎婧