

淀粉吸附剂脱除浓香花生油中塑化剂 DEHP 的研究

黄会娜¹, 王林林², 周 帅², 张余权², 史海明², 易智伟¹

(1. 益海嘉里(青岛)风味食品应用创新中心有限公司, 山东 青岛 266000;

2. 丰益(上海)生物技术研发中心有限公司, 上海 200137)

摘要:旨在为浓香花生油的品质提升和安全生产提供科学指导,以4种市售淀粉(普通淀粉、乙酰化二淀粉磷酸酯、羟丙基二淀粉磷酸酯、醋酸酯淀粉)为吸附剂,浓香花生油中邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯(DEHP)脱除率为衡量指标,研究了淀粉吸附剂种类、添加量、添加位置、添加方式及浓香花生油添加量对浓香花生油中DEHP的脱除效果,并考察了淀粉吸附剂对浓香花生油品质的影响。结果表明:4种市售淀粉吸附剂对DEHP的脱除能力大小依次为醋酸酯淀粉>羟丙基二淀粉磷酸酯>乙酰化二淀粉磷酸酯>普通淀粉;采用在烘炒前添加醋酸酯淀粉吸附剂至花生仁中的吸附脱除方法,在浓香花生油添加量1%、醋酸酯淀粉添加量2%的条件下,DEHP的脱除率为35.4%;在烘炒前添加醋酸酯淀粉吸附剂DEHP的脱除效果好于烘炒后添加的,且直接将醋酸酯淀粉吸附剂添加于浓香花生油中无明显DEHP脱除效果;醋酸酯淀粉对浓香花生油酸值、过氧化值、色泽、透明度及风味无明显影响。综上,在花生仁烘炒前添加醋酸酯淀粉吸附剂,可以减少浓香花生油中DEHP含量,从而保证浓香花生油的产品品质。

关键词:浓香花生油;塑化剂;DEHP;淀粉吸附剂;脱除率

中图分类号:TS225.1; TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)08-0082-06

Removal of plasticizer DEHP from fragrant peanut oil by starch adsorbent

HUANG Huina¹, WANG Linlin², ZHOU Shuai², ZHANG Yuquan²,
SHI Haiming², YI Zhiwei¹

(1. Yihai Kerry (Qingdao) Flavored Food Application Innovation Center Co., Ltd., Qingdao 266000, Shandong, China; 2. Wilmar (Shanghai) Biotechnology Research & Development Center Co., Ltd., Shanghai 200137, China)

Abstract: In order to provide scientific guidance for the quality improvement and safe production of fragrant peanut oil, four kinds of commercially available starches (common starch, acetylated distarch phosphate, hydroxypropyl distarch phosphate, and starch acetate) were used as adsorbents, the removal rate of di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) from fragrant peanut oil was used as an index, and the effects of type, addition amount, addition position, addition method of starch adsorbent and addition amount of fragrant peanut oil on the DEHP removal from fragrant peanut oil were investigated, and the effects of starch adsorbent on the quality of fragrant peanut oil were also examined. The results showed

收稿日期:2023-08-29;修回日期:2024-04-24

基金项目:上海市2021年度“科技创新行动计划”启明星项目(21QB1400200)

作者简介:黄会娜(1993),女,工程师,硕士,研究方向为油脂加工技术与质量安全(E-mail) huanghuina@cn.wilmar-intl.com。

通信作者:易智伟,高级工程师(E-mail) yizhiwei@cn.wilmar-intl.com。

that four kinds of commercially available starch adsorbents were able to remove DEHP in the following order: starch acetate > hydroxypropyl distarch phosphate > acetylated distarch phosphate > common starch; the adsorption and removal method of adding starch acetate adsorbent to peanut kernels before roasting was used, and the removal rate of DEHP was 35.4% under the

conditions of 1% of fragrant peanut oil and 2% of starch acetate addition. The DEHP removal effect of adding starch acetate adsorbent before roasting was better than that of adding it after roasting, and there was no obvious DEHP removal effect of adding starch acetate adsorbent directly to fragrant peanut oil. There was no obvious effect of starch acetate on the acid value, peroxide value, colour, transparency and flavour of the fragrant peanut oil. In conclusion, the addition of starch acetate adsorbent to peanut kernel before roasting can reduce the content of DEHP in fragrant peanut oil, and ensure the product quality of fragrant peanut oil.

Key words: fragrant peanut oil; plasticizer; DEHP; starch adsorbent; removal rate

邻苯二甲酸酯类塑化剂(PAEs)是一种全球广泛存在的环境污染物^[1],不仅存在于大气、水体和土壤中^[2-4],而且在植物油料和食用植物油中也被普遍检出。PAEs的急性毒性较低,但长期接触PAEs或食用PAEs污染的食品,轻则会引起生殖系统异常,重则可能致畸、致癌^[5-7]。近年来发生的PAEs超标事件引发了人们对PAEs的进一步关注和思考。考虑到PAEs的广泛分布性及其对人体的潜在危害性,2011年我国将其列入“优先控制污染物名单”。邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯(DEHP)是PAEs的一种,其在食用油中检出率及含量均较高^[8],且其毒性及吸附脱除难度大于邻苯二甲酸二丁酯(DBP)^[8-9]。按照国家市场监督管理总局国市监食生〔2019〕214号文件规定油脂类食品中DEHP的最大残留量为1.5 mg/kg。

目前对精炼植物油中PAEs的脱除已经有广泛的研究,通过活性炭吸附^[10]、高温脱臭^[11]、分子蒸馏^[12]等方法都能有效降低精炼植物油中PAEs含量。而关于浓香植物油中PAEs的脱除方法却鲜有报道,这是由于目前PAEs脱除方法中所用的吸附剂吸附及高温、高真空等工艺条件均对油脂风味有显著影响。浓香花生油因其愉悦的风味深受消费者喜爱,但由于花生原料容易受种植方式、环境、加工方式、接触材料及储藏方式等因素的影响,导致有些浓香花生油中危害物超标,严重影响其品质安全^[13-14]。市场抽检结果也发现了花生油中PAEs超标的问题^[15]。因此,近年来浓香花生油中PAEs含量及通过工艺降低花生及花生油中PAEs含量的研究备受关注。

淀粉作为一种植物来源的高分子材料,具有价格低廉、来源丰富、可再生及可生物降解等优点,其经过化学^[16]、物理、生物或机械处理^[17]以及交联反应^[18]等方法改性后,热稳定性增强,亲脂性和亲水性也较强。改性淀粉的重要用途之一是作为吸附

剂,常用于吸附重金属离子、染料^[19-21],此外,淀粉吸附剂对多环芳烃^[22]、茶多酚^[23]、苯酚^[24]及蛋白质类生物大分子药物^[25]等有一定的吸附效果,且对食品风味没有明显影响^[26]。因此,本文选用市面上广泛使用的4种淀粉(普通淀粉、乙酰化二淀粉磷酸酯、羟丙基二淀粉磷酸酯、醋酸酯淀粉)作为吸附剂开展DEHP吸附试验,研究淀粉在不同吸附条件下对DEHP脱除效果的影响,以期在传统浓香花生油加工工艺的基础上开发出一种新的吸附方法,并为浓香花生油的品质提升和安全生产提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

花生仁(DEHP含量为1.98 mg/kg),购自农贸市场;浓香花生油(DEHP含量低于检出限0.2 mg/kg),购自商超;普通淀粉,杭州普罗星淀粉有限公司;羟丙基二淀粉磷酸酯,厚满生物科技(上海)有限公司;醋酸酯淀粉,江苏长晶生物工程有限公司;乙酰化二淀粉磷酸酯,河南蓝驰生物科技有限公司。

正己烷、乙腈、丙酮(色谱级),美国生物VBS公司;DEHP,美国Sigma公司;玻璃PSA固相萃取柱(1 g,6 mL),上海安谱科学仪器有限公司。

1.1.2 仪器与设备

CBR 101 咖啡烘焙机,韩国Gene Cafe公司;FL-S2017榨油机,十八油坊;F34-EH循环水浴锅,德国Julabo公司;Trace 1310-ISQ 7000气相色谱-质谱联用仪,美国Thermo Fisher公司。

1.2 试验方法

1.2.1 DEHP的吸附脱除试验

1.2.1.1 花生仁烘炒前后吸附脱除

称取500 g花生仁于2 L烧杯中,加入一定质量的浓香花生油包被混匀,再加入一定质量的淀粉吸附剂,搅拌1 h后,在150℃条件下烘炒20 min,趁热

压榨,再进行过滤,得到花生仁烘炒前吸附脱除油样;按上述步骤,先对花生仁进行烘炒,然后加浓香花生油和淀粉吸附剂吸附脱除后再进行榨油得到花生仁烘炒后吸附脱除油样;以不加浓香花生油和淀粉吸附剂,花生仁直接烘炒压榨得到的原油为对照油样。对所得油样中的 DEHP 含量进行测定,并计算 DEHP 脱除率。

1.2.1.2 花生油吸附脱除

称取 100 g 对照油样于三口烧瓶中,加热搅拌至 $(100 \pm 1)^\circ\text{C}$,加入 0.5% ~ 5% 的淀粉吸附剂(以对照油样质量计),继续搅拌 30 min,过滤,对所得油样中的 DEHP 含量进行测定,并计算 DEHP 脱除率。

1.2.2 成品花生油的制备

对压榨花生原油进行脱胶处理以得到成品油。称取 200 g 花生原油于烧杯中,添加 0.3% 的水(以花生油质量计)搅拌均匀,于循环水浴锅中降温至 18°C 后,养晶 4 h,过滤得到成品油。

1.2.3 DEHP 含量的测定

采用气相色谱-质谱法测定花生油中 DEHP 的含量。参考 GB 5009.271—2016《食品安全国家标准 食品中邻苯二甲酸酯的测定》第二法对油脂样品进行前处理。

气相色谱条件:HP-5MS 气相毛细管色谱柱 $(30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m})$,载气为高纯氮,载气流速 1 mL/min ;进样口温度 300°C ;升温程序为初始温度 60°C 保持 1 min,然后以 20°C/min 升至 220°C ,保持 1 min,再以 5°C/min 升至 280°C ,保持 4 min;进样量 $1\text{ }\mu\text{L}$;不分流进样。质谱条件:EI 离子源,电离能量 70 eV,离子源温度 300°C ,传输线温度 300°C ,溶剂延迟 6 min,全扫描定性,离子扫描(SIM)定量^[27-28]。

1.2.4 酸值、过氧化值、色泽、透明度的测定

酸值测定参照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值测定参照 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》;色泽测定参照 GB/T 22460—2008《动植物油脂 罗维朋色泽的测定》;透明度测定参照 GB/T 5525—2008《植物油脂 透明度、气味、滋味鉴定法》。

1.2.5 风味感官评价

感官评价小组由经过风味感官评价培训且具有 1 年以上油脂风味评价经验的 24 名成员组成。评价方法参照 GB/T 12311—2012《感官分析方法 三点检验》。

1.2.6 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据的统计分析及作图,试验结果均为 3 次试验的平均值,数据表示为“平均值 \pm 标准偏差”。

2 结果与分析

2.1 淀粉吸附剂的初筛

按照 1.2.1.1 花生仁烘炒前吸附脱除的方法,在不用花生油包被,吸附剂添加量 2% (以花生仁质量计)的条件下,考察不同淀粉吸附剂对浓香花生油中 DEHP 吸附脱除效果的影响,结果见图 1。

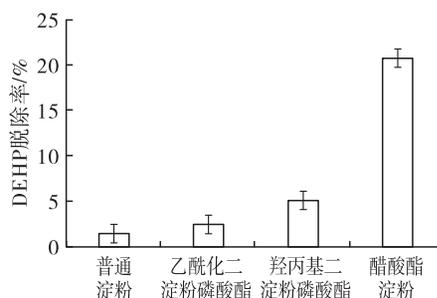


图 1 淀粉吸附剂种类对 DEHP 吸附脱除效果的影响

由图 1 可以看出,在相同的吸附条件下,不同的淀粉吸附剂脱除 DEHP 的效果有较大差异。普通淀粉、乙酰化二淀粉磷酸酯、羟丙基二淀粉磷酸酯对 DEHP 的脱除效果均较差,分别为 1.5%、2.5%、5.1%,醋酸酯淀粉对 DEHP 的脱除效果最好,脱除率达到 20.7%,因此选择醋酸酯淀粉作为脱除 DEHP 的吸附剂。

2.2 吸附条件对浓香花生油中 DEHP 脱除效果的影响

2.2.1 浓香花生油添加量

按照 1.2.1.1 花生仁烘炒前吸附脱除的方法,在醋酸酯淀粉吸附剂添加量 2% (以花生仁质量计)的条件下,分别加入不同质量的浓香花生油(DEHP 含量低于检出限 0.2 mg/kg),考察浓香花生油添加量(以花生仁质量计)对 DEHP 吸附脱除效果的影响,结果如图 2 所示。

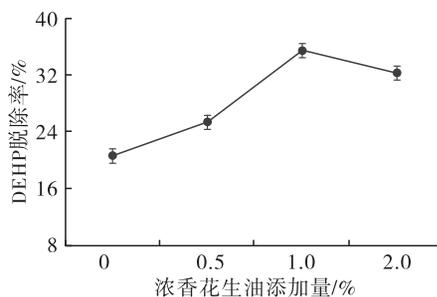


图 2 浓香花生油添加量对 DEHP 吸附脱除效果的影响

由图 2 可知,花生仁在浓香花生油包被的情况下,DEHP 的脱除效果更好,且花生油添加量为 1%

时的效果最好,DEHP脱除率为35.4%。这可能是因为花生油包被的情况下,醋酸酯淀粉的亲水亲脂性使其能够充分地附着在花生仁表面^[29],在花生仁压榨的过程中油脂与醋酸酯淀粉的结合更加充分,但浓香花生油添加过多则造成醋酸酯淀粉被油脂稀释,无法与花生仁表面充分接触,造成DEHP脱除效果降低。因此,选择浓香花生油添加量为1%。

2.2.2 淀粉吸附剂种类

按照1.2.1.1花生仁烘炒前吸附脱除的方法,在淀粉吸附剂添加量2%、浓香花生油添加量1%的条件下,考察淀粉吸附剂种类对DEHP吸附脱除效果的影响,结果见图3。

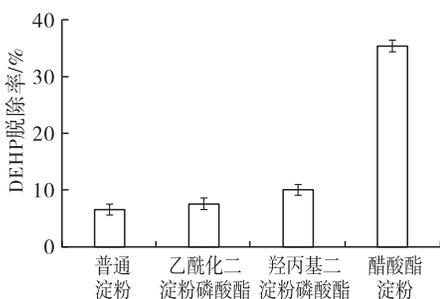


图3 淀粉吸附剂种类对DEHP吸附脱除效果的影响

由图3可知,不同的淀粉吸附剂脱除DEHP的效果有明显差异。普通淀粉、乙酰化二淀粉磷酸酯、羟丙基二淀粉磷酸酯对DEHP的脱除率分别为6.6%、7.6%、10.1%,相较没有花生油包被的条件下(见图1)脱除率均有所升高,但脱除效果仍较差。醋酸酯淀粉在花生油包被的情况下对DEHP的脱除效果最好,为35.4%。因此,选择醋酸酯淀粉作为脱除DEHP的吸附剂。

2.2.3 醋酸酯淀粉添加量

按照1.2.1.1花生仁烘炒前吸附脱除的方法,在浓香花生油添加量1%的条件下,考察醋酸酯淀粉添加量对DEHP吸附脱除效果的影响,结果见图4。

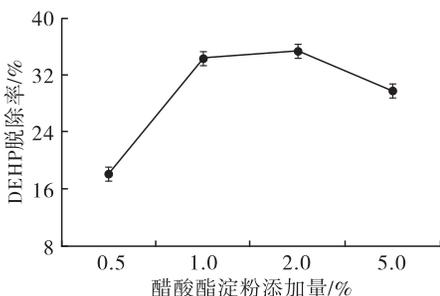


图4 醋酸酯淀粉添加量对DEHP吸附脱除效果的影响

由图4可知,随着醋酸酯淀粉添加量的增加,DEHP的脱除率呈先增加后略降低的趋势,当添加量为2%时DEHP脱除效果最好,脱除率达到

35.4%,当添加量增加到5%时,DEHP脱除率降低至29.8%。因此,选择醋酸酯淀粉添加量为2%。

2.2.4 醋酸酯淀粉的添加位置

按照1.2.1.1方法分别对烘炒前、烘炒后的花生仁添加2%醋酸酯淀粉吸附剂,在浓香花生油添加量1%的条件下,考察醋酸酯淀粉添加位置对DEHP吸附脱除效果的影响,结果如表1所示。

表1 醋酸酯淀粉添加位置对DEHP吸附脱除效果的影响

添加位置	DEHP含量/(mg/kg)	DEHP脱除率/%
对照	1.98 ± 0.05	
烘炒前	1.28 ± 0.03	35.4 ± 1.6
烘炒后	1.72 ± 0.04	13.3 ± 1.8

由表1可知,花生仁烘炒后添加醋酸酯淀粉,DEHP脱除率仅为13.3%,而烘炒前添加醋酸酯淀粉,DEHP脱除率为35.4%。因此,选择在花生仁烘炒前添加醋酸酯淀粉。

2.2.5 醋酸酯淀粉的添加方式

按照1.2.1.2方法,考察醋酸酯淀粉吸附剂与花生油直接接触对DEHP吸附脱除效果的影响,结果如表2所示。

表2 花生油中直接添加醋酸酯淀粉对DEHP吸附脱除效果的影响

醋酸酯淀粉添加量/%	DEHP含量/(mg/kg)
对照	1.98 ± 0.05
0.5	1.97 ± 0.05
1	2.02 ± 0.06
2	2.01 ± 0.06
5	1.98 ± 0.05

由表2可知,当醋酸酯淀粉添加到花生油中进行吸附反应时,过滤后花生油的DEHP含量与对照相比无明显变化,说明醋酸酯淀粉与花生油的简单混合并不能脱除油中的DEHP,这表明醋酸酯淀粉脱除DEHP的机制并不是简单的吸附作用。Park等^[30]研究表明,淀粉在挤压过程中会发生交联等作用,机械挤压有利于淀粉形成孔洞结构^[17],且多孔淀粉孔隙率与温度呈正相关。这也解释了表1中花生仁烘炒前加醋酸酯淀粉比烘炒后加对DEHP吸附效果更好的原因,烘炒前加醋酸酯淀粉,醋酸酯淀粉经高温烘炒、压榨机挤压使其有一定程度的交联化及多孔化,从而增强了醋酸酯淀粉的吸附效果^[17-18]。

综上,采用在烘炒前添加醋酸酯淀粉吸附剂至花生仁中的吸附脱除方法,在浓香花生油添加量1%、醋酸酯淀粉添加量2%的条件下,DEHP脱除率为35.4%;在花生仁烘炒前添加醋酸酯淀粉吸附剂

DEHP 脱除效果好于烘炒后添加的,且直接将醋酸酯淀粉吸附剂添加于花生油中无明显脱除效果。

2.3 淀粉吸附剂对浓香花生油品质的影响

将对照油样和花生仁烘炒前吸附脱除油样(烘炒前添加 1% 浓香花生油、2% 醋酸酯淀粉)按照

1.2.2 的方法进行脱胶,分别得到对照成品油、淀粉吸附剂脱除成品油,对成品油的品质进行分析。

2.3.1 酸值、过氧化值、色泽和透明度

成品油的酸值、过氧化值、色泽和透明度测定结果如表 3 所示。

表 3 成品油的酸值、过氧化值、色泽和透明度

样品	酸值(KOH)/(mg/g)	过氧化值/(mmol/kg)	色泽	透明度
对照成品油	0.52 ± 0.02	0.60 ± 0.04	Y18, R1.8	澄清、透明
淀粉吸附剂脱除成品油	0.50 ± 0.02	0.65 ± 0.04	Y17, R1.8	澄清、透明

由表 3 可知:添加醋酸酯淀粉吸附剂处理后的成品油酸值(KOH)为 0.50 mg/g,与对照样品相比无明显差异,且未超过 GB/T 1534—2017 中一级压榨成品油花生油的限量要求(≤ 1.5 mg/g);2 种油样的过氧化值、色泽、透明度也无明显差异,且均未超过 GB/T 1534—2017 的限量要求。

2.3.2 风味感官评价

经统计,24 位评价员中正确答案数为 9,参照 GB/T 12311—2012《感官分析方法 三点检验》,当评价人数为 24 时,判定两个样品有显著性差异的最小正确答案数为 13(在 0.05 显著性水平上)。可见,对照成品油、淀粉吸附剂脱除成品油的風味没有显著性差异。

3 结论

本文考察了不同吸附条件对浓香花生油中 DEHP 的脱除效果,并考察了淀粉吸附剂对浓香花生油品质的影响。结果表明:采用在烘炒前添加醋酸酯淀粉吸附剂至花生仁中的吸附脱除方法,在浓香花生油添加量 1%、醋酸酯淀粉添加量 2% 的条件下,DEHP 脱除率为 35.4%;在花生仁烘炒前添加醋酸酯淀粉吸附剂 DEHP 的脱除效果好于烘炒后添加的,且直接将醋酸酯淀粉吸附剂添加于花生油中无明显脱除效果;醋酸酯淀粉对浓香花生油酸值、过氧化值、色泽、透明度及风味无明显影响。该脱除方法是基于传统浓香花生油加工工序进行的,操作简单,容易工业化生产,且不需要投入大量成本对现有设备及管道等进行改造,即可有效降低浓香花生油中 DEHP 含量;所使用的醋酸酯淀粉是一种绿色可再生、安全无毒的吸附剂。因此,本研究为风味油脂质量的提升和安全生产提供了一种新的技术手段。

参考文献:

[1] 韩瑞丽, 杨克英, 袁婷兰, 等. 花生油中塑化剂污染的来源分析及管控方法[J]. 中国油脂, 2020, 45(3): 80-84.
[2] 杨博磊, 张晨曦, 王刚, 等. 花生及花生油中危害物污

染调查[J]. 花生学报, 2020, 49(2): 49-53.
[3] CHEN L, ZHAO Y, LI L, et al. Exposure assessment of phthalates in non-occupational populations in China[J]. Sci Total Environ, 2012, 427/428: 60-69.
[4] 关卉, 王金生, 万洪富, 等. 雷州半岛典型区域土壤邻苯二甲酸酯(PAEs)污染研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 622-628.
[5] ARCADI F A, COSTA C, IMPERATORE C, et al. Oral toxicity of bis(2-ethylhexyl) phthalate during pregnancy and suckling in the long-evans rat[J]. Food Chem Toxicol, 1998, 36(11): 963-970.
[6] XU C K, WANG X H, TANG S B. Effects of di-(2-ethylhexyl) phthalate on rat ovarian function[J]. J Med Biochem, 2011, 30(4): 309-316.
[7] SVECHNIKOV K, SVECHNIKOVA I, SÖDER O. Inhibitory effects of mono-ethylhexyl phthalate on steroidogenesis in immature and adult rat Leydig cells *in vitro*[J]. Reprod Toxicol, 2008, 25(4): 485-490.
[8] 李琳. 常见饮料和食用油中邻苯二甲酸酯类塑化剂的检测与分析[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2014.
[9] 任琳, 秦忠雪, 何玲等. 四川省植物性食用油中邻苯二甲酸酯类的污染状况和暴露评估[J]. 现代预防医学, 2020, 47(22): 4076-4079.
[10] 张明明, 刘玉兰, 杨金强, 等. 油脂中邻苯二甲酸酯类塑化剂的吸附脱除研究[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(5): 32-36.
[11] 陈莉. 食用植物油中邻苯二甲酸酯类塑化剂(PAEs)的脱除研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2019.
[12] 李长风, 冉春霞, 谭思远, 等. 分子蒸馏脱除核桃油中塑化剂工艺优化[J]. 中国油脂, 2022, 47(5): 78-81, 87.
[13] 胡爱鹏, 刘玉兰, 陈莉, 等. 原料及制油工艺对花生毛油中塑化剂含量的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1): 250-257.
[14] KONG S, JI Y, LIU L, et al. Diversities of phthalate esters in suburban agricultural soils and wasteland soil appeared with urbanization in China[J]. Environ Pollut, 2012, 170: 161-168.

(下转第 119 页)

- oxidation stability of serum and milk, and immune function of dairy cows[J]. *Asian – Australas J Anim Sci*, 2019, 32(9): 1363 – 1372.
- [46] PARK B K, SHIN J, SON G, et al. Effects of full fat oil seeds on milking performance, milk composition and milk quality in lactating Holstein cows[J]. *J Anim Feed Sci*, 2023, 32(2): 189 – 197.
- [47] PAG A I, RADU D G, DRGNESECU D, et al. Flaxseed cake: A sustainable source of antioxidant and antibacterial extracts [J]. *Cell Chem Technol*, 2014, 48 (3/4): 265 – 273.
- [48] HANO C, CORBIN C, DROUET S, et al. The lignan (+) – secoisolariciresinol extracted from flax hulls is an effective protectant of linseed oil and its emulsion against oxidative damage[J/OL]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2017, 119(8): 219 [2023 – 12 – 21]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600219>.
- [49] ÖZCANM M, USLU N. Investigation of changes in some chemical properties, bioactive compounds, antioxidant activity, phenolic and fatty acid profiles of flaxseed and oils [J/OL]. *Food Process Preserv*, 2022, 46 (11): 17091 [2023 – 12 – 21]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17091>.
- [50] DZUVOR C K O, TAYLOR J T, ACQUAH C, et al. Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed [J/OL]. *Molecules*, 2018, 23 (10): 2444 [2023 – 12 – 21]. <https://doi.org/10.3390/molecules23102444>.
- [51] ZHANG S, CHEN Y, MCCLEMENTS D J, et al. Composition, processing, and quality control of whole flaxseed products used to fortify foods [J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2023, 22(1): 587 – 614.
- [52] YU X, DUAN Z Q, QIN X P, et al. Elucidation of the structure, antioxidant, and interfacial properties of flaxseed proteins tailored by microwave treatment [J]. *J Integr Agric*, 2023, 22(5): 1574 – 1589.
- [53] ZHANG S, CHEN H, GENG F, et al. Solvent – free encapsulation of β – carotene in natural flaxseed oil bodies induced via tepidity – physical field treatment: Formation, characteristic and stability [J/OL]. *Food Hydrocolloid*, 2023, 144: 108913 [2023 – 12 – 21]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108913>.
-
- (上接第86页)
- [15] 赵纪莹, 王娜娜, 董宇. 河南省市售食用植物油中邻苯二甲酸酯类塑化剂污染状况调查[J]. *现代预防医学*, 2020, 47(4): 608 – 611.
- [16] 陈翠兰. 酶解与化学改性协同制备新型淀粉基吸附材料[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [17] 尧梅香, 荣利远, 王诚远, 等. 多孔淀粉的制备及其在食品领域的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(20): 440 – 448.
- [18] 李菊娣, 李薇, 马宏飞, 等. 交联淀粉对孔雀石绿吸附性能研究[J]. *应用化工*, 2021, 50(10): 2687 – 2690, 2705.
- [19] 封润田. 化学改性天然原料吸附剂制备及对铅铜离子吸附性能研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2022.
- [20] JUNLAPONG K, MAIJAN P, CHAIBUNDIT C, et al. Effective adsorption of methylene blue by biodegradable superabsorbent cassava starch – based hydrogel [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 158: 258 – 264.
- [21] XIE Y, ZHANG B, LI M N, et al. Effects of cross – linking with sodium trimetaphosphate on structural and adsorptive properties of porous wheat starches [J]. *Food Chem*, 2019, 289: 187 – 194.
- [22] LI W, LIU X, WANG Y N, et al. Analyzing the evolution of membrane fouling via a novel method based on 3D optical coherence tomography imaging [J]. *Environ Sci Technol*, 2016, 50(13): 6930 – 6939.
- [23] 李华, 康丹辉, 陆启玉. 马铃薯淀粉改性及其吸附茶多酚的条件优化[J]. *中国食品添加剂*, 2019, 30(5): 62 – 69.
- [24] LI W, SU X, PALAZZOLO A, et al. Reverse osmosis membrane, seawater desalination with vibration assisted reduced inorganic fouling [J]. *Desalination*, 2017, 417: 102 – 114.
- [25] 刘佳. 淀粉基口服结肠靶向生物粘附给药系统粘附行为及药效学研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [26] 高雪琴, 袁玉超, 刘胜利, 等. 不同类型木薯变性淀粉对猪肉饼品质影响的对比研究[J]. *现代牧业*, 2017, 1(3): 28 – 33.
- [27] 张明明, 刘玉兰, 马宇翔, 等. 固相萃取 – 气相色谱 – 质谱法测定食用油中7种邻苯二甲酸酯类塑化剂[J]. *中国油脂*, 2015, 40(2): 56 – 60.
- [28] SHI L K, ZHANG M M, LIU Y L. Concentration and survey of phthalic acid esters in edible vegetable oils and oilseeds by gas chromatography – mass spectrometry in China [J]. *Food Control*, 2016, 68: 118 – 123.
- [29] 王小军, 张玲娟, 苏海岩. 变性淀粉在裹粉中的应用 [J]. *现代食品*, 2018(9): 179 – 181.
- [30] PARK S H, LAMSAL B P, BALASUBRAMANIAM V M. Principles of food processing [M]//CLARK S, LAMSAI B, JUNG S. *Food processing: Principles and applications*. 2nd ed. New Jersey: Wiley Blackwell, 2014: 1 – 15.