

大豆压榨厂粉尘爆炸隐患及处理措施

左青¹, 张伟春², 章世勇³, 左晖⁴

(1. 江苏丰尚油脂技术工程有限公司, 江苏扬州 225127; 2. 东莞嘉吉粮油有限公司, 广东东莞 523147;
3. 路易达孚(张家港)饲料蛋白有限公司, 江苏张家港 215634; 4. 广州星坤机械有限公司, 广州 510890)

摘要:大豆压榨厂的粉尘主要是有机粉尘,又分为大豆粉尘、含溶剂粉尘、豆粕粉尘,在生产中产生粉尘层和粉尘云,可能引发爆炸。在阐述粉尘及粉尘爆炸相关概念基础上,指出大豆压榨厂积尘区域及潜在火源,并提出相关处理措施,包括划分可燃性粉尘爆炸风控区,设置关键安全装置和运行监控装置,制订火源预防措施和设备粉尘控制措施,防止粉尘层阴燃和粉尘云爆炸,按相关标准设计防火防爆厂房结构,大豆预处理车间设计并使用安全风网等。通过相关处理措施以最大限度地降低大豆压榨厂粉尘爆炸隐患,做到安全生产,保护员工和公司的财产。

关键词:有机粉尘;豆粕粉尘;粉尘爆炸;关键安全装置;安全风网

中图分类号:TS210.8;X928.1 文献标识码:B 文章编号:1003-7969(2023)06-0148-05

Hidden danger of dust explosion and treatment measures in soybean crushing plant

ZUO Qing¹, ZHANG Weichun², ZHANG Shiyong³, ZUO Hui⁴

(1. Jiangsu FAMSUN Oils and Fats Engineering Co., Ltd., Yangzhou 225127, Jiangsu, China; 2. Cargill Grain & Oilseeds (Dongguan) Ltd., Dongguan 523147, Guangdong, China; 3. Louis Dreyfus Commodities (Zhangjiagang) Feedstuff Protein Co., Ltd., Zhangjiagang 215634, Jiangsu, China; 4. Guangzhou Xinmas Co., Ltd., Guangzhou 510890, China)

Abstract: The dusts in the soybean crushing plant are mainly organic dust, and the dusts are also divided into the soybean dust and containing hexane dust and the soybean meal dust. The dust layer and the dust cloud are produced in the production, which may cause explosion. Based on the elaboration of dust and dust explosion related concepts, the dust accumulation areas and potential sources of fire in soybean crushing plants were pointed out, and relevant treatment measures were proposed, including the dividing combustible dust explosion control areas, setting up critical safety devices and running monitoring devices, developing fire prevention measures and equipment dust control measures, preventing dust layer from smoldering and dust cloud explosion, designing fire and explosion-proof plant structures according to relevant standards, and designing and using safety ventilation network in soybean pretreatment workshop, etc. Through relevant measures to minimize the hidden danger of dust explosion in soybean crushing plant, to achieve safe production and protect the property of employees and the company.

Key words: organic dust; soybean meal dust; dust explosion; critical safety device; safety ventilation network

大豆压榨厂的粉尘中有机粉尘含量超过80%,其又分为干式粉尘和湿式粉尘。粉尘层聚集一定厚

度在着火温度下会发生阴燃,在高温高速气流摩擦下会燃烧爆炸。根据大豆加工中的粉尘特性,分析粉尘起火和爆炸的原因,划分粉尘爆燃的危险场所分区,标明关键控制装置,制订防爆预防措施,设计安全除尘风网和工艺风网,能预防堆积粉尘层阴燃、起火和产生粉尘云爆炸,达到国家和地方环保排放

收稿日期:2022-10-09;修回日期:2023-04-01

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

指标和清洁生产等国家强制性要求。本文就大豆压榨厂粉尘爆炸隐患进行阐述,并提出相应的处理措施,以供同行参考。

1 粉尘及粉尘爆炸

国际标准化组织规定,粒径小于 $75\ \mu\text{m}$ 的固体悬浮物定义为粉尘,按照状态将粉尘分为粉尘云和粉尘层,其中以云状形式分散于空间的粉尘为粉尘云,而沉积或附着于建筑或设备表面的粉尘被称为粉尘层。按照燃烧特性将粉尘分为可燃性粉尘和不燃性粉尘,可燃性粉尘为可与助燃气体(主要是空气)发生氧化反应而燃烧的粉尘。可燃颗粒的粒径在 $0.5\sim 15\ \mu\text{m}$,对小于 $1\ \mu\text{m}$ 的颗粒视为气体。

粉尘被点燃发生爆炸需要3个条件,即现场存在可燃性粉尘、氧气、火源。可燃性粉尘在空气中形成粉尘云,含有一定量粒径小于 $400\ \mu\text{m}$ 的可燃性粉尘可能发生爆炸,粒径小于 $50\ \mu\text{m}$ 爆炸烈度明显增加。粉尘爆炸是不完全燃烧,生成大量的CO气体,急速释放能量。粉尘具有沉积性、堆积性,不能用气流喷射式灭火,以免粉尘在扑火气流作用下飞散悬浮形成新的粉尘云,产生二次爆炸,可用喷雾水流灭火。

粮食粉尘的摩擦角在 $41^\circ\sim 67^\circ$ ^[1],长期滞留在管道和设备内成为隐性爆炸源,容易在一次爆炸冲击波引起的气体运动和设备震动下形成弥漫性粉尘,作为二次爆炸的燃料^[1-2]。

2 大豆压榨厂粉尘分类

2.1 大豆粉尘

大豆粉尘中粒径在 $10.2\sim 43.4\ \mu\text{m}$ 范围的含量达63.55%,含17%左右的无机粉尘^[1],有机物含量在40%以上^[1],大豆粉尘的有机成分主要是碳水化合物,即淀粉和纤维素,元素组成为C、H、O、N,这些元素与空气中氧反应燃烧。进口大豆的粉尘中有机物含量高于国产大豆粉尘^[1]。

阿根廷进口大豆粉尘层最低着火温度 $270\ ^\circ\text{C}$ 、粉尘云着火温度 $490\ ^\circ\text{C}$,最小点火能 $20\sim 25\ \text{mJ}$,爆炸下限浓度在 $35\ \text{g}/\text{cm}^3$,最大爆炸压力 $0.79\ \text{MPa}$,最大爆炸压力上升速率 $19.4\ \text{MPa}/\text{s}$ ^[1,3]。

大豆立筒仓内粉尘粒径一般在 $0.1\sim 200\ \mu\text{m}$ ^[4]。大豆立筒仓内的粉尘中粒径不大于 $10\ \mu\text{m}$ 有近20%,粒径不大于 $10\ \mu\text{m}$ 的粉尘长期悬浮在空中,很容易与空气形成溶胶,具有可燃和爆炸风险。

2.2 含溶剂粉尘

含溶剂粉尘,优先考虑溶剂的可燃性和环境气氛。

对含溶剂粉尘,依据粉尘的含溶量和粉尘的自然状态,如果存在足够量的溶剂,就不能形成粉尘

云,这时以易燃性溶剂的性质为主,分析溶剂的易燃易爆性。但在生产过程中,随着温度升高,含溶剂粉尘中溶剂自然蒸发,会产生粉尘云。

2.3 豆粕粉尘

豆粕呈不规则的细颗粒状,飘在空中粉尘的形状和密度都不一致。豆粕含水在12%左右,所以豆粕粉尘相比大豆粉尘,不易炭化、燃烧^[5]。但是豆粕含微量溶剂,溶剂蒸发后可能形成悬浮物。

3 大豆压榨厂积尘区域及火源

3.1 积尘区域

隐藏空间,如设备裂缝、地坑、管道弯处、厂房梁暗阁。

3.2 潜在的火源

(1)热加工、加热设备表面、设备内摩擦撞击、粉碎机内研磨、机械和加工设备摩擦生热、金属夹杂物、动焊。

(2)电火花和静电火花

粉尘在运动中互相碰撞、摩擦、电晕放电及接触带电体,带有一定量的电荷,粉尘带电改变其凝聚性、附着性及稳定性,粉尘的荷电随着温度增高、表面积加大和含水率减小而增大,达到一定值后会静电放电,火花引起火灾和爆炸。

(3)氧化自燃

沉积在加热体表面如照明、电机、设备表面上的粉尘受热与空气发生氧化放热反应,不能及时散热,粉尘层内温度升高引起阴燃,也能转化为明火,成为粉尘爆炸的引火源,容易阴燃的粉尘层厚度为 $10\sim 20\ \text{mm}$,可燃性粉尘在沉积状态还具有自燃的倾向,如设备裂缝、管道拐弯处的粉尘自燃。

4 处理措施

4.1 粉尘爆炸危险场所分区划分

4.1.1 21区

粉碎间、打包间、厂房清理工间、灰库、立筒仓工作塔、敞开式输送廊道(距离粉尘源 $1\ \text{m}$)、地下输送廊道、散装储运平房仓。

4.1.2 20区

立筒仓内、封闭式设备内部、灰间。参照GB 50058—2014,大豆压榨主要设备调质塔、脱皮系统、喷风干燥机/流化床干燥机、逆流干燥器、斗升机、豆粕打包机、立式计量秤、刹克龙和除尘器系统、豆粕粉碎机和豆皮粉碎机、输料刮板输送机属于封闭设备,视同20区。

4.2 设置关键安全装置(Critical Safety Device, CSD)和运行监控装置

(1)轴承温度和减速器油温监测。

(2) 平皮带输送机(气垫输送机)皮带防跑偏监测、拉线式紧停监测、电动机过载/短路监测。

(3) 斗升机速度监测、皮带防跑偏监测、电动机过载/短路监测。

(4) 埋刮板输送机断链监测、电动机过载/短路监测、防堵监测。

(5) 出料口防堵开关及料斗高位开关。

(6) 喷风干燥器/流化床干燥器安装温度监测、自清、自动灭火装置,调质塔和逆流干燥器安装温度监测及清理装置。

(7) 设置立筒仓温度控制装置。

(8) 泄爆装置按国家规范设计,容器、筒仓与设备设置泄爆面积按照 GB/T 15605—2008 计算。除尘器、刹克龙、斗升机安装泄爆口,计算泄爆面积,泄爆口加装屏蔽装置,在防爆膜和防爆板上安装适合长度的链条,防止膜或板在泄爆时飞出。泄爆面积的确定,由泄爆面积与有效空间的比值来衡量,英国规定为 $0.07 \sim 0.03 \text{ m}^2/\text{m}^3$,美国规定为 $0.10 \sim 0.07 \text{ m}^2/\text{m}^3$,加拿大规定为 $0.04 \text{ m}^2/\text{m}^3$,我国规定为 $0.10 \sim 0.05 \text{ m}^2/\text{m}^3$ [4]。

(9) 清仓机的电动机过载/短路监测。

(10) 电气连锁装置短路监测。

4.3 火源预防措施和设备粉尘控制措施

(1) 动火作业:执行动火作业许可程序 [6]。

(2) 热表面:在 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 或 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上的热表面,要求隔热,对蒸汽、热油管道用不可燃材料保温。

(3) 加热设备:对永久、临时燃料(含天然气、丙烷、燃油)的燃烧控制装置,燃料管道以及气体燃烧器等定期检查和检测。

(4) 摩擦:定期对摩擦点进行监控、清洁,防止摩擦生火。

(5) 机器和加工设备:对机器设备检查、维护和管理,防止轴承过热、发动机过热、设备进射火花等。定期对开放式防滴式电动机(Drip Proof Motor)检查,防止积尘。

(6) 电气设备:要隔离电气设备,按照第 II 类或 20、21、22 区要求 [6]。每年对配电设备进行热成像/红外测量,如发现问题及时修复。

(7) 闪电:安装专用避雷针,为高压开关柜装避雷器。在粉尘爆炸环境防雷与接地设计按 GB 50057—2010 执行。

(8) 静电:除尘和风运网络及连接设备要做好接地措施,并单独与接地体或接地干线相连,不得相互串联后接地 [7]。所有产生静电的设备电缆和输送可燃性粉尘的风管都要做好接地。

不导电的软管也会堆积静电荷,不能用在危险区域,端头配件应与导电的或静电耗散型软管连接并接地。设备、机架管道的每段金属外壳间要跨接,电气通风不得中断 [8]。定期检测接地状态。

(9) 金属夹杂物:在进入脱皮工段前,进行磁选、筛选、气选分离。

(10) 照明:照明装置应符合第 II 类或 1、2 区规定。

(11) 皮带斗升机、平皮带输送机和刮板输送机:为保证输送机的底盘内装下全部物料,在外壳上孔洞、溜槽等要有“防漏”措施。在各转接处设计斜板,使物料顺利滑入输送机,不能从上面掉进去,防止扬尘。在斗升机、刮板输送机、绞龙及皮带输送机安装吸尘装置 [9]。吸尘罩放置在水平输送机外壳上面,吸尘罩中心位置距离卸料口距离大于 3 m 。第一个吸尘罩宽度是皮带宽度的 2 倍,如果设计多个吸尘罩,两个吸尘罩中心相隔 6 m 。

提升机的吸尘罩安装在出料后的溜管上升或下降段,靠近机尾的中间节上,斗升机底座设计吸风口,在与机尾连接的中间节上。

平皮带输送机产生静电,选几个合适部位安装清扫片,清理堆积的粉尘。

4.4 防止粉尘层阴燃和粉尘云爆炸措施

(1) 把粉尘云的相对湿度提高到大于 65% [9],做好静电接地、法兰跨接、除尘器滤芯阻燃。在爆炸性粉尘场所,禁止压缩空气吹扫。定期清理设备,积尘厚度不得大于 1 mm 。

(2) 斗升机等设备安装泄爆装置,国内外最常用的泄爆材料为防水纸板、聚乙烯板、薄铝板等。尽可能用导管把泄爆口位置引到室外,或使用不产生火焰的泄爆装置。

(3) 调质塔内顶层和内部每个热风层、热风干燥器和流化床安装自动蒸汽灭火喷嘴。

(4) 立筒仓顶做通风口或泄爆口,其总面积设计按 GB/T 15605—2008 执行,分配成若干个小的通风口,一旦筒仓内部出现粉尘爆炸,巨大的冲击波从泄爆口冲出,不会炸掉筒仓。

(5) 控制引燃热源。布袋除尘器控制引燃热源和泄爆、抑爆要求按 GB 15577—2018、GB/T 15605—2008 和 AQ 4273—2016 执行。在除尘器起火时,停风机和关风器,自动喷射蒸汽灭火,防止火势沿沉积粉尘蔓延或引发连锁燃烧甚至爆炸。

(6) 豆粕含高粉尘量和微量溶剂,在浸出油厂规范中定为甲级防爆,在设计混凝土仓时留有泄爆口。在豆粕混凝土储存仓和豆粕输送设备上安装插

入式除尘器。粕库出仓机所有的电气元件安装在筒仓地下通廊,并选用防爆型。

4.5 防火防爆厂房结构

在20、21、22区建筑的门、窗、轻质屋盖(质量 $< 60 \text{ kg/m}^2$)采用泄爆材料。平房仓的间距按照GB 50016—2014设计。利用厂房窗户、轻质外墙和轻质屋顶泄爆。墙体耐火等级,筒仓不低于2级,房式仓不低于3级。对钢结构建筑有以下要求。

(1)一、二、三级最大防火分区的长度250 m,建筑面积 $3\ 000 \text{ m}^2$ ^[3]。

(2)在不同高程地坪上的同一建筑之间有防火墙分隔,各设安全出口,沿建筑两个长边设计贯通式或尽头式消防车道。消防车道宽度不小于4 m,转弯半径按消防车车型具体规定,如普通消防车转弯半径9 m。

(3)存在粉尘时,用不可燃材料建造厂房、墙体、拱门、地板、屋顶,采用经过认证的不可燃或有限燃烧性材料。

(4)节点缝隙或金属承重构件节点的外露部位,做防火保护层。

(5)采取隔断、防火墙、隔离带、屋顶挡烟隔板,防止火灾或爆炸蔓延,或被附近火灾或爆炸波及。

(6)墙面光滑平整,防止粉尘附墙,墙体用不容易粘灰尘的材料。如果有工字钢梁,不能在工字钢梁和檩条沿着屋顶采取“袋式”设计,以避免藏灰。U型通道上面或侧面围起来。

(7)窗、横档、梁、柱及其水平面(含照明装置)的顶部应设计 $40^\circ \sim 60^\circ$ 的斜角。

4.6 大豆预处理车间设计并使用安全风网

从大豆工艺生产需要设计3个风网——吸尘(除尘)风网(干式)、吸湿风网、脱皮工艺风网。

4.6.1 吸尘(除尘)风网(干式)

在所有扬尘设备上面安装吸尘罩,吸尘罩材质CS,厚度不小于3 mm,吸尘罩与相应的风管直管段用一锥形过渡段由标准法兰相连接。吸尘点与管道的过渡区应设计成 $90^\circ \sim 120^\circ$ 的过渡角。任何吸尘罩在同设备连接处的吸尘点的横截面积需保证吸点风速为 $2 \sim 3 \text{ m/s}$,压损494 Pa,吸尘罩直径大于2.5倍吸风管直径。各个设备的吸尘罩的尺寸不同。

含尘空气从吸尘罩由风机吸入风管到除尘器,风管材质和厚度应保证在管内正压或负压下不会使风管变形和震动,风管为圆形截面,风机排气管可以是正方形、长方形和圆形。

当除尘风网风量小于或等于 $10\ 000 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,为方便风网调节,在弯头装手孔,风管的弯头按直径大小做5~9节,平缓过渡。

配置刹克龙和脉冲除尘器二级除尘系统,除尘器和刹克龙最好在车间厂房顶部平台上,尽量避免安装在室内,如果安装在室内,要把排风口朝外,安装隔离装置,避免粉尘飘在车间。为防止除尘器积灰,安装防尘板斜度小于 70° ,灰斗的溜角大于 70° ,灰斗附振动器,安装防静电滤袋。所有除尘设备特别是袋式除尘器的袋笼、滤袋、机组和导管要接地。对袋式除尘器巡检要求为每个滤袋连续注入空气,自动阀是否堵塞,高位检测,测量排气风机电机功率,测量过滤器组件的压降。除尘器(特别是袋式除尘器)安装旋转阀、防爆通风或隔离系统、火花检测和抑制爆炸装置。

4.6.2 吸湿风网

吸湿风管(材质SS304,风管直段厚度3 mm,三角及弯头处厚度5 mm),管道视觉感观无焊缝,减少物料在风运过程中焊缝扰流磨损。

吸湿风管要求单独风网,如调质塔、逆流干燥器分别配置一组风网,根据风量和空间可以把各轧坯机下方接料斗的吸湿风网并入逆流干燥器风网中。吸湿风管尽可能减少水平段,要保温,风机出风口应安装在水平方向,便于风机排水。

吸湿风网分离器选用刹克龙,刹克龙和连接管道要保温。除尘网络采用二级除尘器——刹克龙和布袋除尘器。布袋除尘器要防湿、防油、防静电,安装压差计。如果刹克龙排风口与风机或袋式除尘器相连,装防爆排风口。在室内刹克龙应满足无爆燃隐患、机组安装爆燃灭火装置、安装减压阀、机组配置泄压装置,通过火焰淬灭装置排尾气,达到强度要求。

4.6.3 工艺风网

在大豆预处理车间的工艺风网主要是脱皮吸皮风网和豆皮输送风网。

4.6.3.1 脱皮吸皮风网

按大豆脱皮工艺需要排出含尘气量在30%左右,70%热风循环使用,保持大豆表面不产生凝结水和节省能源。控制喷风干燥器和流化床干燥器的温度在 $105 \sim 108^\circ\text{C}$ 、脱皮风网温度在 $66 \sim 68^\circ\text{C}$ ^[3]。热脱皮风网要求对进喷风干燥器前的大豆清杂要彻底。温脱皮风网,要求在管道的弯头做手孔,便于定时清理积尘。

4.6.3.2 豆皮输送风网

大豆加工厂豆皮输送采用正压和负压输送。

(1)正压输送:由罗茨风机、正压关风器、旋塞换向阀、压力表和正压输送管道组成,风机安装在输送的起点,正压输送管道的管径比负压小得多。适合户内外输送距离不超过 300 m,料密封要求高。

(2)负压输送:风机安装在末端,润滑油和水分不会进入管内,刹克龙下面的卸料阀密封,管道内真空不大于 0.06 MPa。吸皮风管(材质 CS,厚度 5 mm),管道视觉感观无焊缝,减少物料在风运过程中焊缝扰流磨损。在长水平管道上要做清理孔,在弯头处做手孔。

5 结束语

我国在出现几次重大粉尘爆炸事故后,国家强化了对涉及粉尘企业的监管,并颁布粮食加工、储存、运输粉尘防爆的标准规范,以促进企业的安全管理水平,降低或杜绝粉尘爆炸事故的发生。在借鉴国家和粮食行业的粉尘防爆安全规范基础上,油厂制订和细化了大豆压榨厂的粉尘防爆规程、技术规范、安全作业流程和安全管理制,每年数次安全检查、安全培训、安全经验交流、安全措施整改,做到安全生产,保护员工和公司的财产。

致谢:感谢中国粮油学会油脂分会何东平教授和舟山良海粮油工业有限公司李家君物流兼安全总监的

技术支持!

参考文献:

- [1] 周乃如,朱凤德,张音,等. 粮食粉尘的性质与粉尘爆炸关系的研究[J]. 郑州工程学院学报,2004(1):1-3,8.
- [2] 李恩科,石焱. 常见粮食粉尘理化特性的研究[J]. 工业安全与环保,2007,33(9):35-36,24.
- [3] 左青. 浸出油厂的安全生产措施[J]. 中国油脂,2021,46(8):140-146.
- [4] 粉尘爆炸及防爆措施的探讨[EB/OL]. [2022-10-09]. <http://www.doc88.com/p-480702655538.html>.
- [5] 左青,叶春生,严云修. 豆粕储存仓及附属设施[J]. 中国油脂,2010,35(6):59-62.
- [6] 粮食加工、储运系统粉尘防爆安全规程:GB 17440—2008[S/OL]. [2022-10-09]. <http://www.doc88.com/p-6661783472198.html>.
- [7] 粉尘爆炸泄压指南:GB/T 15605—2008[S/OL]. [2022-10-09]. <http://www.doc88.com/p-9146604150419.html>.
- [8] Standard on explosion prevention system;NFPA69[S/OL]. [2022-10-09]. <http://www.doc88.com/p-27147334008079.html>.
- [9] 左青,左晖. 大豆预处理车间除尘风网及防燃、防爆措施[J]. 中国油脂,2020,45(11):125-132,137.
- [10] 初柏君,李世磊,惠菊. 我国与欧盟植物油中污染物的限量标准比较[J]. 粮食与食品工业,2017,24(5):13-15,18.
- [11] 侯靖,卢跃鹏,江小明,等. 食用植物油中多环芳烃含量水平调查分析[J]. 中国油脂,2017,42(12):76-80.
- [12] 李利君,李加辛,马传国. 食用油中3-氯丙醇酯的形成机理与消减方法的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2019,40(4):123-132.
- [13] 杨凯,张天博,李朝旭. 婴幼儿食品中氯丙醇酯和缩水甘油酯的研究现状[J]. 中国乳业,2022(2):81-88.
- [14] 王风艳,程倩,陈焱,等. 食用油加工过程中3-氯丙醇酯和缩水甘油酯生成及脱除研究[J]. 中国油脂,2020,45(5):48-52.
- [15] 杨月欣. 中国居民膳食营养素推荐摄入量(2013版)[M]. 北京:科学出版社,2014.
- [16] 王少振,孙淑华. 油脂精炼过程中反式脂肪酸控制的研究进展[J]. 粮食与食品工业,2014,21(2):18-21.
- [17] TERÉS S, BARCELO-COBLIJN G, BENET M, et al. Oleic acid content is responsible for the reduction in blood pressure induced by olive oil[J]. PNAS, 2008, 105(37):13811-13816.
- [18] 李义军,卜梦婷,谭戈,等. 不同提取方法对牛油果油理化特性、抗氧化性能及脂肪酸组成的对比研究[J]. 四川农业学报,2020,38(2):161-167.
- [19] RAS R T, GELEIJNSE J M, TRAUTWEIN E A. LDL-cholesterol-lowering effect of plant sterols and stanols across different dose ranges: a meta-analysis of randomised controlled studies[J]. Brit J Nutr, 2014, 112(2):214-219.
- [20] PLAT J, BAUMGARTNER S, VANMIERLO T, et al. Plant-based sterols and stanols in health & disease: "sequences of human development in a plant-based environment?"[J]. Prog Lipid Res, 2019,74:87-102.

(上接第 125 页)

- [6] CHIN X T, GUN H C, HAMZAH H, et al. Hypocholesterolaemic and hepatoprotective effects of virgin avocado oil in diet-induced hypercholesterolaemia rats[J]. Int J Food Sci Technol, 2018,53(12):2706-2713.
- [7] KIM D J, JEON G, SUNG J, et al. Effect of grape seed oil supplementation on plasma lipid profiles in rats[J]. Food Sci Biotechnol, 2010, 19(1):249-252.
- [8] 董颖,陈鑫沛,杨浩铎,等. 葡萄籽油对急性肝损伤的保护作用[J]. 食品工业科技,2022,43(8):342-347.
- [9] 黄雨洋,齐宝坤,赵城彬,等. 加速氧化过程中不同植物油的稳定性研究[J]. 中国食品学报,2019,19(1):243-248.
- [10] 初柏君,李世磊,惠菊. 我国与欧盟植物油中污染物的限量标准比较[J]. 粮食与食品工业,2017,24(5):13-15,18.
- [11] 侯靖,卢跃鹏,江小明,等. 食用植物油中多环芳烃含量水平调查分析[J]. 中国油脂,2017,42(12):76-80.
- [12] 李利君,李加辛,马传国. 食用油中3-氯丙醇酯的形成机理与消减方法的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2019,40(4):123-132.
- [13] 杨凯,张天博,李朝旭. 婴幼儿食品中氯丙醇酯和缩水甘油酯的研究现状[J]. 中国乳业,2022(2):81-88.