

微粉

膨化



将人类营养的新技术
运用到动物营养中
做安全高效经济的生物饲料原料

发酵
爆破

乳化

五豆乳

高蛋白微囊包被乳化脂肪粉

效果真好

成本真降

母乳般营养
母爱般呵护



安徽汉泰生物工程股份有限公司 | 地址：安徽·六安市经济技术开发区刘安路8号 | 网址：0564-3962118

饲料与健康养殖



VOL.22 NO. 2026 02

节粮行动之动物油脂加工及生物发酵饲料利用特刊

出版赞助：安徽汉泰生物工程股份有限公司



携手安徽汉泰 事业发展加快

汉泰

喜欢吃

奶水多

长得快

五豆乳

高蛋白微囊包被乳化脂肪粉

效果真好

成本真降

不腹泻

不掉膘

早发情

色似乳汁
味如奶粉



安徽汉泰生物工程股份有限公司
地址：安徽·六安市经济技术开发区刘安路8号
网址：www.fisugarspeptide.com



安徽省饲料与健康养殖行业协会
QQ群：105521041
网址：http://www.zgslzy.com

地址：合肥市徽州大道195号安徽农业大厦7楼
邮编：230001 电话：0551-62618130
邮箱：siliao_xiehui8888@126.com

将人类营养的新技术运用到动物营养中，做安全高效经济的生物饲料原料！

汉泰

安徽汉泰生物是中国知名的高档饲料生物原料研制商之一，
已建成安徽六安、巢湖和合肥三大生物发酵基地，总资产12.69亿元。
建有院士工作站、博士后科研工作站和安徽省饲料生物技术工程研究中心，
国家级高新技术企业、安徽省农业产业化龙头企业、国家知识产权优势企业，主产品
畅销于全国20多个省、市、自治区和东南亚、丹麦、荷兰等国家和地区。

五豆乳

高档生物
预消化产品

五酶素

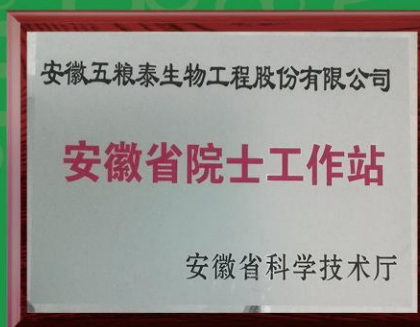
汉泰蛋白

安徽汉泰生物工程股份有限公司



地址：安徽·六安市经济技术开发区刘安路8号
网址：www.fisugarspeptide.com

将人类营养的新技术运用到动物营养中，做安全高效经济的生物饲料原料！



携手安徽汉泰 事业发展加快





《饲料与健康养殖》

征稿启事

《饲料与健康养殖》(季刊)是由安徽省畜牧技术推广总站主管,安徽省饲料与健康养殖行业协会主办的专业信息类杂志。本刊突出服务性、工具性和学术性,有效传播政策解读、新技术和新理念,致力于为安徽省饲料、养殖、行业管理部门、科研院所等相关单位及个人提供优质的信息服务。

为进一步提升本刊内容质量,激发行业内人士的投稿热情,特向广大业内同行征集优秀稿件,欢迎大家踊跃投稿!

本刊主要栏目:协会动态、政策法规、专家论坛、产业概况、企业分享等。

投稿注意事项

- 1、文稿要求内容新颖,观点明确,论据充分,数据准确,文字简练,一般不超过2000字,书写格式包括题名、作者和作者单位。
- 2、稿件文责自负,本刊编辑部将根据内容和版面要求适当进行修改。
- 3、来稿请以附件形式并注明“投稿”发送至协会邮箱: siliaoxiehui8888@126.com。来稿请附作者简介、通讯地址。

地址:合肥市徽州大道195号安徽农业大厦7楼

邮编:230001 电话:0551-62618130、62626491 传真:0551-62618130

本刊编辑部



饲料与健康养殖

Feed and Healthy Breeding
(节粮行动之油脂加工利用特刊)

2026 年第 22 卷第 2 期

2026 年 7 月 31 日出版

(总第 80 期)

主管单位: 安徽省畜牧技术推广总站

主办单位: 安徽省饲料与健康养殖行业协会

协办单位: 安徽禾丰牧业有限公司

安徽正正饲料科技有限公司

安徽广通生物科技有限公司

合肥正大有限公司

安徽省大北农农牧科技有限公司

安徽农业大学动物科技学院

安徽湘大骆驼饲料有限公司

东方希望集团宣城片区

安徽丰原集团有限公司

安徽强英食品集团有限公司

安徽淮北正虹饲料有限责任公司

奥格生物技术(六安)有限公司

安粮期货股份有限公司

申亚农牧科技股份有限公司

六安恒佳生物科技有限公司

肥西老母鸡农牧科技有限公司

安徽新希望饲料有限公司

安徽金牧饲料有限公司

安徽华恒生物科技股份有限公司

上海衡威生物技术长丰有限公司

主 编: 周 明

副主编: 程玉冰 杨 林 江喜春 吴皖榕
陈凤敏 张 智

编辑部主任: 程玉冰

责任编辑: 周 骏

编 辑: 付胡翠 周建钟 燕

主 任: 高亚飞

副主任: 张贺强 王德平 蔡新忠 胡东波

委 员: 张子军 方 飞 朱 鼎 于建梅

史廷奎 袁宏波 曹冬梅 张 宝

刘洪艳 王学善 刘会刚 葛明会

姬传法 樊 义 李保章

地址: 合肥市徽州大道 195 号安徽农业大厦 7 楼

邮编: 230001

电话: 0551-62618130、62626491

传真: 0551-62618130

网址: www.zgslzy.com

E-mail: siliaoxiehui8888@126.com

QQ 群: 105521041

FEED & 目

动物油脂加工及利用

- 04 油脂的营养生理功能及其在动物饲料中的高效利用
- 10 脂肪粉及其在养猪生产中的应用研究进展
- 15 脂肪营养在母猪生产中的研究进展
- 19 饲用油脂在养猪业的应用研究
- 22 饲用乳化均衡油粉制备方法优化研究
- 26 饲料油脂后喷涂系统的研究设计
- 32 饲料中添加复合油脂等量替代大豆油对保育猪生长性能和肠道健康的影响
- 44 乳化酶解油粉在肥育猪中的应用效果
- 47 不同品质大豆油在肥育猪中应用效果的比较研究
- 51 不同水平乳化均衡油粉对断奶仔猪生产性能和血清指标的影响
- 56 乳化复合植物油粉对肉鸡生长性能、消化机能、血清生化指标和抗氧化机能的影响
- 62 乳化复合植物油粉对 AA+ 肉鸡屠宰性能、肉品质和肌肉风味物质含量的影响
- 70 日粮添加乳化均衡脂肪粉对蛋鸡生产性能、蛋品质、血清生化指标及免疫性能的影响
- 76 不同油脂对黄羽肉鸡生产性能、肉品质及肌肉脂肪酸组成的影响
- 84 油脂在蛋禽生产中应用研究进展
- 89 微囊型脂肪粉油脂的常规甲酯化方法优化

FEEDING 录

- 94 饲料中不同油脂在蛋鸡生产中的应用进展
- 97 不同饲用油脂营养价值的评定及其对肉鸭生长性能的影响
- 102 不同油脂对樱桃谷肉鸭育肥期生长性能和脂肪含量的影响
- 108 反刍动物日粮中油脂产品的加工工艺及其应用效果研究进展
- 114 棉籽油脂肪酸钙的抗氧化保护工艺研究
- 118 乳牛脂类代谢病病因、发病机理与预防措施
- 121 饲用脂肪在乳牛中的应用效果
- 124 饲喂油脂对马繁殖性能的影响
- 128 2023 年超千份饲用油脂的品质分析报告

安徽省生物发酵饲料生产及利用

- 132 关于推进我省生物制造产业高质量发展的建议
- 134 大力发展我省生物发酵饲料企业助力节粮行动实施路径的探讨
 - 基于重点生物发酵企业促进实施养殖环节节粮行动的思考
- 138 支链氨基酸（缬氨酸、异亮氨酸）生物智造与饲料产业化应用
 - 合成生物学赋能低蛋白日粮提质降本增效
- 140 发酵饲料和发酵熟化玉米压片在蟹苗养殖中的应用效果



华仁农牧集团



大北农



蚌埠正正



中国驰名商标
正红



油脂的营养生理功能及其在动物饲粮中的高效利用

尹靖东¹ 赖州文²

(1. 中国农业大学动物科学技术学院, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193 ;

2. 徐州新奥生物科技有限公司, 徐州 221400)

2013 年以来, 我国油料消耗量维持在 1.24 亿~1.39 亿 t, 占全球总消耗的 25% 以上, 其中油料进口占比超过 55%。2021 年, 全球油脂产量达到 21497 万 t, 比消费量多 311 万 t, 但国内油脂的价格仍然大幅度上涨。关于我国食用油产量和消费量, 不同渠道报道的数据出入较大, 国家粮油信息中心预测我国 2021—2022 年食用油食用消费 3561 万 t, 工业及其他消费 410 万 t。但我国没有饲料用油脂的数据, 估计占到油脂总消耗量的 5%。我国饲料用油脂的价格受国际油料作物产量, 特别是大豆油、菜籽油、棕榈油的生产和进出口政策以及美国生物柴油政策的影响而变化, 预计在一定时期内仍将给饲料行业带来巨大的成本压力。如何高效地利用油脂补充饲粮能量水平、满足高性能动物营养需要以及促进养殖行业的健康发展, 是饲料行业和养殖业长期考虑的问题之一。

1 饲料中常用的油脂

饲料中添加的油脂通常来源于植物种子、动物脂肪组织和单细胞生物如真菌和藻类。常用的植物油脂有豆油、玉米油、花生油、菜籽油、亚麻籽油、椰子油和棕榈油等。植物油脂中的脂肪酸一般为 C18 和更短链的脂肪酸, 仅含亚油酸 (C18 : 2n-6) 和亚麻酸 (C18 : 3n-3 或 n-6) 的多不饱和脂肪酸 (PUFA)。虽然有些植物可合成 C20 或更长链的不饱和脂肪酸, 但大多为单不饱和脂肪酸, 如芥酸 (C22 : 1n-9) 或神经酸 (C24 : 1n-9)。植物油脂还包括一些其他植物油脂产品, 如磷脂 (大豆磷

脂、菜油磷脂) 等。大豆油脱胶过程中的复合磷脂产品为大豆磷脂, 含有卵磷脂、脑磷脂、肌醇磷脂、甘油三酯和少量的生育醇、糖苷、色素等。菜油磷脂是菜油精炼时的副产品, 也称油脚。在饲料中添加磷脂类可提供必需脂肪酸、丰富的脂溶性维生素及促进脂肪的消化吸收。

动物油脂常见的有牛油、猪油、禽油和鱼油等。不同于畜禽油脂中含有高比例饱和脂肪酸, 鱼油富含四烯酸、五烯酸和六烯酸, 多为液态或半融化状态。动物油脂的脂肪酸组成因动物种类、采食的饲粮、年龄和性别而存在小幅的差异。出于动物伦理以及疫病防控的原因, 配制畜禽饲粮应避免使用同种动物来源的油脂, 至于跨物种程度还有待于从疫病传染的角度界定。一些油脂企业针对动物油脂以及植物来源的磷脂类黏稠度高、流动性差以及添加不方便的特点, 开发了以动物油脂、植物磷脂辅以植物油为囊心, 以酪蛋白、乳糖和淀粉等为囊皮, 经过喷雾干燥制得的类似粉末状的微囊油脂, 也称粉末油脂。其因质量较稳定, 且能提高油脂的消化吸收率, 受到了饲料行业的认可。

单细胞油脂是指来自于可食用微生物如酵母、真菌和海藻的油脂。据估算, 1t 精炼酵母油的生产成本为 800~1000 美元, 与动植物油相比没有经济效益优势。因此, 单细胞油脂商业化开发转向了动植物油脂中含量极低、且人和动物必需的花生四烯酸 (ARA, C20:4n₆) 和二十二碳六烯酸 (DHA, C22:6n₃) 的生产领域中。海洋微生物具有从头合

成 DHA 和大量积累这种脂肪酸的能力, 并经食物链转移到鱼油中, 但是海洋环境中的有毒有害污染物, 如农药残留物、重金属等可能进入海洋生物体内积累, 成为鱼油安全食用的潜在威胁。英国政府委托的一份调查报告指出鱼油中存在二英和多氯联苯, 并建议每周使用油性鱼不超过 1 次。美国食品与药物管理局 (FDA) 及环境保护署也提出孕妇应限制摄入油性鱼。由此, 单细胞油脂是鱼油的很好替代油脂。美国马泰克公司掌握着利用寇氏隐甲藻和裂殖壶藻这 2 种微生物生产富含 DHA [油中不含二十碳五烯酸 (EPA, C20:5n₃)] 的单细胞油脂的知识产权, 是世界最大的单细胞油脂生产商。ARA 最早是日本公司利用真菌资源——高山被孢霉开发的, 后来帝斯曼 (DSM) 利用高山被孢霉生产的 ARA, 在全球 60 多个国家的婴幼儿配方乳粉和婴儿食品中添加使用。嘉必优 (武汉) 在 2001 年开始利用高山被孢霉生产 ARA, 目前已成为重要的单细胞油脂的生产商。小球藻 (*Chlorella zofingiensis* Donz) 为可食用绿藻, 具有在逆境条件下积累油脂作为能量储备度过逆境的特殊机制。Huang 等 [1] 研究发现, 小球藻油脂的合成主要是经由酰基辅酶 A 途径, 具备经基因工程技术改良后生产单细胞油脂的前景。Zhou 等 [2] 总结了从微藻中提取长链 PUFA 方法的进展, 利用生物工程技术生产的微生物和单细胞藻类油脂成为人类 PUFA 的重要渠道。未来, 随着微生物基因工程技术和发酵工程技术的发展, 微生物和藻类油脂在动物饲料中的应用将迎来巨大的发展机遇。

2 油脂的消化吸收

传统上认为食物中的油脂在口腔中不消化。

Tecles 等 [3] 报道了在猪唾液中存在 1 种与脂肪酶类似的总酯酶, 可特异性水解长链甘油三酯。新生仔猪的舌脂肪酶活性与胃脂肪酶相似或者更高。Voigt 等 [4] 在味觉感受的乳头的小唾液腺分泌物中检测到了脂肪酶活性, 发现其活性与个体对甘

油三酯的敏感性相关, 而且口腔对甘油三酯的感知可被脂肪酶抑制剂削弱; 但该研究者在人的舌组织中没有发现口腔 / 胃脂肪酶编码基因的表达, 尽管有其他脂肪酶的基因表达。Lai 等 [5] 从人口腔不同部位的唾液中检测到的脂肪酶, 但认为这并不能排除口腔中的脂肪酶来源于微生物或胃液返流的可能性。因此, 舌脂肪酶的存在仍有待于进一步确认。

小肠是脂质消化和吸收的主要部位。脂类物质进入小肠后在胆汁酸盐的乳化下变成脂肪微滴或细小颗粒, 在胰脂肪酶的作用下水解为 2- 甘油单酯和脂肪酸。2- 甘油单酯则被另一种甘油单酯脂肪酶水解, 得到甘油和脂肪酸。磷脂在磷脂酶 A₂ 的催化下水解为溶血磷酸甘油酯和游离脂肪酸。水解后的甘油单酯和长链脂肪酸 (LCFA) 及其他脂类水解产物与胆汁酸结合, 然后穿过肠上皮细胞顶膜与上皮细胞中的脂肪酸结合蛋白结合转运至内质网重新酯化为甘油三酯, 并与磷脂、胆固醇和载脂蛋白等形成乳糜微粒, 经淋巴系统进入血液循环。LCFA 通过一个活跃的、蛋白质介导的过程被吸收。中链脂肪酸 (MCFA) 主要通过扩散的方式从小肠直接进入门静脉。短链脂肪酸 (SCFA) 则既可以通过简单扩散被肠细胞吸收而直接进入血液, 也有主动运输的机制。例如 SCFA 通过盲肠和结肠上皮细胞的钠离子 (Na⁺) 依赖的单羧酸转运载体 1 (SMCT1) 和非 Na⁺ 依赖单羧酸转运载体 1 (MCT1), 主动转运跨过顶端膜。迄今为止, 脂质吸收过程的细节尚未完全了解。

发酵产生的 SCFA 被大肠上皮细胞吸收后, 其中丁酸为大肠的上皮细胞提供约 70% 的能量, 占机体总的能量代谢的 1/3。丁酸调节结肠上皮细胞的转运, 促进结肠细胞的代谢、生长、分化, 对结肠炎和结肠癌有预防作用; 丙酸主要在肝进行物质代谢, 参与糖异生作用, 具有调节机体糖脂代谢的功能; 乙酸可参与体内脂类特别是酮体的合成, 在肌肉、肝脏、心脏和脑等组织器官代谢。大肠内适

当的 SCFA 可以很好地改善大肠功能，可通过调整膳食结构使 SCFA 向着有益结肠健康的方向发展。

MCFA 碳链由 8~12 个碳原子构成，它在胰脂肪酶的作用下快速水解，不需要形成乳糜微粒，可直接通过门静脉进入肝脏进行代谢，具有吸收快、供能迅速的优点。MCFA 在体内主要是用于供能，在肝组织和脂肪组织中不易蓄积。因此，中链甘油三酯在临床上常用于 LCFA 的 β -氧化障碍病人或者肠道吸收不良患者的能量供应。Knottnerus 等 [6] 利用同位素标记的辛酸甘油三酯，发现血液中仅有不到 1% 的辛酸掺入了 LCFA，但指出中链甘油三酯在体内组织中的贮存仍需要进一步的研究。另外，MCFA 的抗菌作用，也引起浓厚的兴趣。有报道称，MCFA 对细菌、病毒和寄生虫具有抑制作用。但是，Romo 等 [7] 在人的早产儿上的研究表明，中链甘油三酯不改变胃肠道微生物菌群的多样性和组成，不影响大肠杆菌数量，但可以抑制真菌定植。

3 油脂的营养价值及其安全性控制

油脂的营养价值主要体现在有效能值水平、脂肪酸组成、必需脂肪酸和脂溶性维生素的含量等方面。油脂的消化率决定着其营养价值，油脂不饱和度越高，其消化率也越高。饱和脂肪酸含量高会降低油脂的消化率，如棕榈酸的消化率低于其他植物性油脂 6% 左右。PUFA 会促进油脂的消化率，这也是多数植物性油脂的消化率高达 96% 以上的原因。草食动物体脂来源的脂类，因其长链饱和脂肪酸含量高而消化率较低、有效能值偏低。

食用油脂的安全控制比较复杂，通常是通过测定其酸价、脂质过氧化物、非皂化物、水分、重金属含量以及二英或残留农药等方法评价的。饲料中常用的油脂除了精炼的动物油脂外，多使用食用油，在使用时参照食用油标准做一定的宽松化处理。

油脂中的农药、重金属以及毒素残留都会影响油脂的安全食用，但更普遍的是油脂稳定性带来的问题。油脂在长期保藏过程中，受微生物、酶和热

的作用缓慢水解，产生游离脂肪酸，在自由基的作用下发生过氧化反应生成醛类，如丙二醛（MDA）和 4-羟基壬烯醛（HNE），进入体内可诱发自由基链式反应，破坏机体的氧化—还原平衡，给动物健康造成显著的全身性损害。油脂常温储存中，特别是在有铜、铁、锌、锰和钴等金属及其氧化物和盐类存在的情况下易发生氧化。为了防止油脂氧化，通常在油脂中添加 0.02% 抗氧化剂（二丁基羟基甲苯、丁基羟基茴香醚等），并贮存在密闭、低温和避光的合适容器中。

鱼粉、蚕蛹、米糠、陈化玉米、陈化稻谷和干酒糟及其可溶物（DDGS）等饲料原料因不饱和脂肪酸含量高，保存不当极易氧化酸败。若长时间、大比例饲喂含这些原料的饲料，在饲料中维生素 E 或抗氧化剂含量不足，或者饲料中使用高硫酸铜、劣质胆碱或霉变原料，都易导致猪肉脂肪变黄形成黄脂肉。油脂氧化酸败过程中，油脂中的维生素 A、维生素 E 和必需脂肪酸等遭到破坏。食用酸败油脂不只会诱发必需脂肪酸和脂溶性维生素缺乏的现象，还会破坏 B 族维生素，造成如核黄素缺乏等现象。在生产中，一些不规范的饲料厂家为了降低成本，使用一些加工、贮藏不规范的油脂，这些油脂通常是水分和脂质过氧化物含量和酸价超标、油脂不纯等的劣质油，给饲料品质和畜禽健康造成了严重损害，这种现象应坚决杜绝。

4 油脂对机体免疫机能的调节

油脂对机体免疫机能的调节受到高度重视。

高油脂饲料能抑制自然杀伤（NK）细胞活性和免疫应答反应，具体效应与油脂含量和结构有关。必需脂肪酸缺乏或过量都会对动物先天免疫造成损害，与其他必需营养物质缺乏或过量的后果类似。摄入过量的亚油酸或 α -亚麻酸（来源于亚麻籽油）会抑制 NK 细胞活性。鱼油对动物炎症反应和先天免疫反应具有调节作用，摄入适量的鱼油能抑制多种的免疫机能过度活跃。猪油是西方国家的传统抗

炎剂, Capó 等 [8] 报道, 猪脂肪的水醇提取物 (主要成分为 5- 十二烷醇) 抑制了酵母聚糖刺激引起的大鼠免疫反应, 并抑制了脂多糖 (LPS) 刺激的大鼠中性粒细胞和外周血单个核细胞产生肿瘤坏死因子- α (TNF- α) 的能力以及抗氧化酶和促炎酶的活性。

近些年来, 脂肪酸对畜禽免疫机能调节的研究主要集中在肠道方面。Liu [9] 很好地综述了脂肪酸和脂肪酸甘油酯调节猪肠道免疫和炎症反应以及改善肠道健康的作用。Tian 等 [10] 报道了丁酸甘油酯具有通过抑制核因子- κ B (NF- κ B) / 丝裂原活化蛋白激酶 (MAPK) 信号途径, 缓减肠毒性大肠杆菌 (ETEC) 攻毒引起的仔猪肠道免疫-炎症反应, 改善仔猪肠道健康的作用。Li 等 [11] 报道, 饲料中添加 1000mg/kg 月桂酸单甘油酯虽然没有改善断奶仔猪生长性能, 但显著降低了腹泻率, 提高了养分消化率。

Miles 等 [12] 研究表明, 长链 PUFA (包括 ARA 和 DHA) 在免疫系统的发育中都发挥作用, 特别是对包括喘息和哮喘的过敏反应的敏感性和过敏表现的调节具有临床意义。Manaig 等 [13] 研究证实, 饲料中高比值的 n-6/n-3PUFA 可能会提高猪的炎症反应和代谢疾病的风险。用高比值的 n-6/n-3PUFA 饲料饲喂母猪, 哺乳仔猪肌肉和脂肪组织中检测到一种高表达的急性期蛋白触珠蛋白, 以及与先天免疫反应和急性炎症反应相关的蛋白的高表达, 这可能与 n-6PUFA 的促炎症作用有关。而低比值的 n-6/n-3PUFA 饲料能改善母猪和仔猪的生产性能和免疫状态。

最近, n-3PUFA 的代谢产物受到了高度关注。Yakah 等 [14] 报道, 相对于豆油升高了早产猪对 LPS 刺激的反应, 鱼油提高了组织中 EPA、DHA 和它们的代谢产物脂氧素和鞘磷脂水平, 抑制了 LPS 诱导的炎症反应。肝脏是一个暴露于病毒、毒素和药物的最多的器官, 而 n-3PUFA 具有抗炎和细胞

保护作用。Vielma 等 [15] 报道, n-3PUFA 治疗肝病的研究结果令人鼓舞, 在肝病患者中, n-3PUFA 转化的一类新型的脂类中间代谢物——特异性促炎症消退因子 (SPM) 被下调, 其临床及预防意义有待于进一步深入研究。Shaikh 等 [16] 报道, EPA 通过其代谢产物羟基二十碳五烯酸 (HEPE) 经过氧化物酶增殖物激活受体 (PPAR) 介导的机制, 防止肝脏组织中的脂肪沉积。此外, 无论是在饮食中补充 EPA 还是通过腹腔注射消退素 E1 来激活消退素 E1, 都可以通过多种机制改善高血糖、高胰岛素血症和肝脂肪变性征状。

共轭亚油酸 (CLA) 具有独特的免疫调节作用。Lai 等 [17] 报道, CLA 能增强机体的非特异免疫功能, 仔猪饲料中添加 CLA, 其血清免疫球蛋白 G (IgG) 含量显著升高, 腹膜巨噬细胞的吞噬能力增强, 且能促进仔猪外周淋巴细胞特别是 CD8⁺ 亚群的转化。在肉鸡、大鼠、小鼠和猪上的研究都表明, CLA 具有缓解免疫应激引起的生长阻滞的作用。目前较公认的 CLA 调节免疫的机制包括: 1) CLA 通过竞争类二十烷酸的生物合成前体物 ARA 抑制了类二十烷酸的合成。类二十烷酸是由

ARA 在环氧化酶和脂氧化酶作用下生成的一系列激素类物质。其中, ARA 通过环氧化酶催化生成前列环素 (前列腺素 E2 和凝血噁烷), 而在脂氧化酶的催化下, 则生成白三烯、氢过氧化二十碳四烯酸和脂毒素。这些类二十烷酸在体内都起着重要的作用, 与免疫反应、炎症反应和过敏反应的发生关系密切。CLA 作为亚油酸的异构体, 干扰了 ARA 和类二十烷酸的合成, 从而发挥着免疫调节作用。Cunningham 等 [18] 通过类二十烷酸合成抑制剂进一步证明了 CLA 对类二十烷酸生物合成的调控作用。2) 核受体途径, CLA 可直接或间接作为核受体 PPAR 的配体调节 PPAR 的表达。PPAR 则是众多调节免疫的基因的转录因子, 如 PPAR γ 通过抑制 NF- κ B 和 MAPK 信号通路抑制白细胞介素-1 β

(IL-1 β) 和 TNF- α 的产生。除了 CLA, 卵磷脂也是 PPAR γ 的一种天然配体。

Metzler-Zebeli 等 [19] 研究表明, 胎儿空肠能感受 SCFA, 并启动如肌肉收缩和相关的基因表达等电生理的反应, 据此推测, SCFA 可能在胎儿肠道营养和印记中发挥作用。Luo 等 [20] 分析 1978—2022 年发表的关于 SCFA 生成、代谢和通过胃—肠轴或直接的中枢信号途径, 调节机体能量稳态、葡萄糖平衡和精神疾病的研究报道, 梳理了 SCFA 通过中枢神经系统调节代谢的机制; 有 30 个研究指出, 过量的 SCFA 或其不适当的代谢对机体有害; 但大多数的研究表明, SCFA 作为三羧酸循环分子的前体物或者通过有关激素调节饱腹感和胰岛素分泌以及通过调节免疫细胞和小神经胶质细胞, 发挥有益的代谢作用。AMPK 信号通路、G 蛋白偶联受体依赖信号通路和组蛋白去乙酰化通路参与了这些功能, 但这方面仍有待进一步的研究。

有研究表明, 在畜禽饲料中常添加 SCFA (丁酸盐或其酯) 有助于改善肠道的健康, 但 SCFA 经口服对机体免疫机能的调节还有待于进一步确认。McLoughlin 等 [21] 对 68 份研究报告的荟萃 (Meta) 分析表明, 虽然试验结果可能因试验设计、补充剂的配方、剂量、处理时间和受试者人群的不同而差异较大, 但现有证据支持补充益生元和合生剂具有全身性抗炎作用, 但并未看到补充 SCFA 对全身性炎症的改善作用。Williams 等 [22] 分别调查分析了截至 2021 年 5 月的 58 篇发表在 MEDLINE、EMBASE、CINAHL 和 Cochrane Library 的关于益生元、合生剂和 SCFA 对婴幼儿呼吸道感染的发生率、严重程度或持续时间和 / 或免疫功能标志物的影响, 指出口服益生元, 特别是低聚糖效果最好, 对婴儿和儿童的呼吸道感染起预防作用最佳, 其作用机制是可能经过提高 NK 细胞的活性来调节免疫机能, 但也未看到 SCFA 预防呼吸道感染的作用。

5 油脂在饲料中的高效利用

油脂价格不断攀升限制了油脂在饲料中的应用, 但也提出了如何高效地利用油脂的问题, 这不仅关系到饲料成本的控制, 也有助于改善动物健康和生产性能。在饲料生产和动物饲养中油脂的高效利用仍存在不少问题, 特别是必需脂肪酸需要量、油脂的消化率和有效能值的准确估测等还存在分歧。

生产中只有在特殊的情况下才能观察到必需脂肪酸缺乏症, 畜禽饲料中通常以亚油酸及其含量来保证动物对必需脂肪酸的需要量。第 11 版 NRC (2012)《猪的营养需要》与第 10 版 NRC (1998) 的亚油酸需要量没有变化, 仔猪、各阶段生长育肥、妊娠和泌乳母猪以及配种公猪的亚油酸需要量均为 0.10%。我国《猪营养需要量》(2016) 中仔猪断奶前、后亚油酸的需要量分别是 0.15% 和 0.12%, 后备母猪的亚油酸需要量是 0.20%, 其他各阶段猪的需要量均为 0.10%, 之所以有此区别文中并未说明。考虑到饲料原料的消化率和脂肪含量, 畜禽饲料中的天然谷物通常可以提供足量的亚油酸。当饲料能满足动物对必需脂肪酸的需要时, 添加油脂主要是满足动物对能量的需求。

准确估计油脂的消化率和有效能值是油脂高效利用的条件。油脂在饲料中添加水平低时, 其表观消化率会因内源脂肪损失 (ELF) (占粪便总脂肪的比例高) 而被严重低估。众多研究表明, 随着饲料中油脂添加水平提高, 饲料脂肪和脂肪酸的表观消化率呈线性或二次曲线增加, 当其添加水平达到 10%, 饲料油脂的表观消化率趋于稳定。养猪生产中油脂添加量一般不超过 5%, 如果测定实际饲喂水平下的油脂消化率, 测定 ELF 以校正表观消化率, 即用油脂的真消化率来衡量油脂的消化率是必要的。目前最常用的测定 ELF 方法是回归法, 即通过在猪饲料中添加不同水平的油脂, 然后将猪的可消化脂肪 (或脂肪酸) 与饲料脂肪 (或脂肪酸) 的摄入量进行回归, 回归方程的截距即为 ELF。无

脂法是最简便快捷的测定方法，其通过给猪饲喂无脂饲料，测定食糜或粪便中的脂肪或脂肪酸含量即为 ELF，类似氨基酸消化率的定义方法。利用回归法测得的内源损失进行矫正的油脂消化率为真消化率，利用无脂饲料测得的内源损失校正的，则称为油脂的标准消化率。

NRC（2012）中，因各种油脂的脂肪酸组成数据的变化，大部分油脂的消化能做了小幅修正，但椰子油、棕榈油的消化能值、代谢能值和净能值均大幅下调；油脂消化能折算代谢能的系数由 0.96 上调为 0.98，净能折算代谢能的系数不变，仍为 0.88，因此大部分油脂的代谢能值、净能值均有较大的上浮。2 个版本的 NRC 中油脂的消化能都是根据油脂的脂肪酸组成按照回归公式计算得到的，进而折算成代谢能、净能；而在我国《猪营养需要量》（2016）中，除了牛油、橄榄油、棕榈仁油和芝麻油参考了 NRC（2012）的数据，大部分油脂的消化能、代谢能是由猪消化试验获得的，其中以玉米—豆粕型饲料为基础饲料，油脂替代基础饲料 10%。值得注意的是，我国的数据中大豆油的消化能、代谢能和净能值分别较 NRC（2012）分别高了 514、566 和 502kJ/kg，但玉米油的消化能、代谢能和净

能值二者差异较小，比 NRC（2012）分别高了 43.3 和 100.0 和 85.0kJ/kg。因此，未来比较 2 种方法获得的油脂消化能、代谢能仍是重要的研究工作，这方面的进展将有助于梳理清油脂有效能值估测方法的准确性，促进油脂在饲料中的高效使用。

6 小结

我国植物油脂供应紧张，应加大我国畜禽油脂和餐厨废油的回收利用。2017 年，国务院办公厅发文《关于进一步加强“地沟油”治理工作的意见》中提出要建立综合整治的长效机制，进一步完善配套政策措施、落实监督管理责任，同时也要发展、培育一些油脂企业，对“餐厨废弃物、畜禽肉类加工废弃物和检验检疫不合格畜禽产品等非食品原料”做无害化处理和资源化利用以生产回收油脂。美国有比较成熟的油脂和蛋白质提炼行业，每年处理超过 2000 万 t 的动物副产品和餐馆废油，油脂年产量达 450 万 t，其中回收混合油脂（即黄脂油）100 万 t，大多用于动物饲料，也用于生物柴油制造，一部分还出口，这对我国的环境治理、能源循环利用以及油脂行业发展提供了很好的借鉴。

（转自动物营养学报）

脂肪粉及其在养猪生产中的应用研究进展

朱婷 金婷 申远航 周琳

(深圳比利美英伟营养饲料有限公司, 广东 深圳 518103)

脂肪作为神经、皮肤、血液和肌肉等组织器官的重要组成部分遍布于猪只全身,可分为皮下脂肪、内脏脂肪和肌内脂肪3部分。脂肪酸是脂肪的基本单位,在猪只生长发育过程中、猪肉肉质风味、饲料营养组成及猪产品加工等方面都起着重要作用。第一,猪肉中肌内脂肪的组成、含量和沉积是影响猪肉品质和加工风味的重要因素。第二,皮下脂肪可以防止过多热量扩散到环境中,减少猪只机体的热量散失,保持体温。脂肪导热性较差,能够缓冲外界压力和维持体温保护内脏。此外,脂肪作为高密度的能量物质,在用作猪饲料原料时,一方面,其独特的香气可以提高日粮的适口性,提高猪只采食量;另一方面,脂肪还可以提高日粮的能量浓度,改善猪只对营养物质的消化吸收,同时在促进脂溶性营养物质如维生素A、维生素D、维生素E、维生素K等的吸收和降低饲料生产过程中粉尘及提高制粒效率等方面具有潜在的益处。在夏季高温应激条件下,饲料中油脂因热增耗低可以减少热应激对猪只的影响。最后,类脂中的固醇类物质可作为原料和前体物质转化为肾上腺素、维生素D、胆汁酸盐和性激素等,从而发挥重要的生理功能。

饲料脂肪是猪只必需脂肪酸的主要来源途径。不饱和脂肪酸如亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸是生物体必需脂肪酸。猪只体内没有生化途径在脂肪酸甲基末端的第8个以上碳原子引入不饱和键,因此,必需脂肪酸必须由饲料中的脂肪提供或由机体内的特定前体物质转化而成。随着养殖终端需求及饲料企业的开发,已经将各种动、植物油脂通过不同配

比和加工工艺制成功能完善、使用便利的脂肪粉。文章就脂肪粉的种类、性质以及在猪生产中的应用进行综述,为脂肪粉在养猪业的推广应用提供参考。

1 脂肪粉

1.1 脂肪酸的分类和营养特征

脂肪酸是由碳、氢、氧组成的长度可变的碳氢链,它是中性脂肪、磷脂和糖脂的主要成分。目前,已有上百种脂肪酸从动、植物和微生物中被分离出来,自然存在的脂肪酸碳链长度为4~36个碳原子,其中12~24个碳原子的脂肪酸占多数。脂肪酸按碳链长度分为短链脂肪酸(short-chain fatty acids, SCFAs, $C < 6$)、中链脂肪酸(medium-chain fatty acids, MCFAs, $6 \leq C \leq 12$)和长链脂肪酸(long-chain fatty acids, LCFAs, $C > 12$)。

短链脂肪酸(SCFAs)主要包括挥发性脂肪酸(VFA),其营养功能首先表现在维持肠上皮细胞的形态功能及对肠黏膜的营养作用上。乙酸、丙酸和丁酸占总SCFAs的90%~95%,其余SCFA仅占5%~10%。SCFAs作为营养物质和信号分子调节机体的生理活动。一方面,丙酸和丁酸,尤其是丁酸,是维持畜禽小肠黏膜正常功能和调节细胞生长繁殖的必需物质。研究发现,VFA在结肠上皮细胞中通过参与膜离子交换的途径来维持细胞离子的平衡,对细胞的脂肪合成具有重要的调节作用。另一方面,肠道中的SCFAs具有调节微生态平衡的作用,是结肠内有益微生物与宿主相互作用以调节动物机体代谢的信号分子,它通过宿主细胞表达的膜转运蛋白SLC5A8和细胞表面受体GPR109A、GPR43发挥信

号传递作用。常见的椰子油是中、短链脂肪酸的主要来源,占比达60%以上,其中C12脂肪酸含量约为45%~48%。

中链脂肪酸(MCFAs)是一类具有特殊生理功能的饱和脂肪酸,通常存在于动物母乳及少量液体油脂如椰子油、棕榈仁油、蒲葵等和一些海洋微藻类植物中。较长链脂肪酸碳链更短、熔点更低,较SCFAs稳定性高,作用于机体的时间更长,包括己酸(C6:0)、辛酸(C8:0)、癩酸(C10:0)和月桂酸(C12:0)等。MCFAs对猪只具有重要的生理学和营养学功能。第一,MCFAs不仅是动物的能量来源,也能够调节动物机体脂肪、能量等物质的代谢。第二,MCFAs的水解能力是长链脂肪酸的数倍,具有较强的乳化能力,而且能够促进长链脂肪酸的乳化,因此MCFAs更容易被消化吸收。MCFAs分子量小(116~200),在动物体内不需要胆盐乳化就可被胰脂肪酶水解,且水解效果是长链脂肪酸的6倍,不依赖线粒体内碱脂酰转移酶的协助转运即可经过门静脉循环系统直接运输到肝细胞线粒体内进行 β 氧化、分解供能。第三,MCFAs对多种病原体均表现出较强的抑菌活性,包括革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌、包膜病毒、真菌、藻类以及原生动物等。解离的MCFAs可进入细菌内并和细菌质膜中的膜蛋白结合,改变膜的通透性,使细菌膨胀受压过大而死亡,因此具有抑菌作用。通过破坏包膜病原体(如细菌和脂质双层包膜病毒)周围的磷脂膜,进而达到抑制细菌生长、诱导细菌细胞溶解和杀菌的作用。一般来说C10类癩酸和C12类月桂酸及其甘油酯具有较强的抑菌效果。Bergsson等的研究显示,单癩酸甘油酯具有破坏幽门螺旋杆菌的细胞膜和细胞壁的功能,单月桂酸甘油酯(GMLs)具有抑制细菌繁殖的作用,通过阻止细菌的细胞壁合成信号传导物质细胞内相关物质结合。除抗菌特性外,MCFAs和MCTs还具有免疫调节特性。G蛋白偶联受体84(GPR84)是MCFAs

(C9~C14)的特异性受体,其中C10~C12的作用最强。Sundqvist等证实,MCFAs(癩酸、月桂酸)在嵌合G蛋白(Gqi9)嵌合体的存在下能够激活小鼠GPR84,获得稳定表达N端标记的CHO-GPR84细胞,使其抑制小鼠体内中性粒细胞和巨噬细胞产生促炎细胞因子。第四,MCFAs还有调节肠道微生态,改善肠道环境健康的功效。Dierick等的试验证明,MCFAs能够提高断奶仔猪十二指肠和空肠绒毛高度,而隐窝深度有所降低,从而增加了绒毛高度与隐窝深度的比值,使仔猪肠道对营养物质的吸收面积扩大,减少了上皮淋巴细胞的数量,降低了细胞凋亡的风险。

长链脂肪酸(LCFAs)又称高级脂肪酸,按饱和度分为饱和脂肪酸(SFAs)和不饱和脂肪酸(USFAs)。多数LCFAs含有非共轭双键,含单个非共轭双键的脂肪酸称为单不饱和脂肪酸(MUFAs),包括棕榈油酸、油酸等,而含有两个或两个以上非共轭双键的脂肪酸称为多不饱和脂肪酸(PUFAs),通常分为 ω -3PUFAs和 ω -6PUFAs。

脂肪酸甲基端第3个碳原子上开始出现双键就是 ω -3PUFAs,主要包括 α -亚麻酸(ALA)、二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA);脂肪酸甲基端第6个碳原子上开始出现双键就是 ω -6PUFAs,主要包括亚油酸(LA)、 γ -亚麻酸(GLA)、花生四烯酸(AA)。研究显示,仔猪对乳脂的消化率为95%以上,然而不同日粮中脂肪酸饱和度、碳链长度、饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸的比例不近相同,且添加量和添加时间等因素都会影响饲料中脂肪的消化吸收。断奶仔猪消化道和消化腺未达到成熟水平,断奶初期脂肪酶活性迅速下降,对LCFAs的消化利用率很低。常见的大豆油中LCFAs占比90%以上,因此在断奶仔猪饲料中添加豆油往往导致消化不良而引起腹泻。棕榈酸属于长链饱和脂肪酸,是棕榈油的主要成分之一,因此仔猪对棕榈油的利用率不高。

1.2 脂肪粉

脂肪粉是将不同油脂按照不同生理阶段猪只的理想脂肪酸模型和脂肪酸组成特点进行科学配伍,经过乳化和均质化过程处理后用特殊材料包被或吸附制成。可取代常规油脂提供高能量与功能性脂肪酸营养的饲料添加剂。母猪乳汁中的脂肪是由脂滴组成的,脂滴被单层磷脂和来自分泌细胞的蛋白质包围而成,极易被仔猪消化,而液体植物油脂在断奶仔猪小肠中难以形成胶束相,会限制饲料中脂肪酸的消化率。日粮中的磷脂作为良好的乳化剂,可以弥补仔猪胆汁分泌不足导致脂肪不能被充分乳化的问题,从而提高其脂肪的消化率。脂肪粉具有流动性好、运输储存及使用方便、不易氧化、消化利用率高、充分满足生猪能量和脂肪酸营养需求等优点。豆油、椰子油、棕榈油、鱼油等多种油脂是常用于脂肪粉复配的单体脂肪原料。

1.3 脂肪粉加工工艺

脂肪粉主要分为包被型、载体型和颗粒型三种。包被型脂肪粉是液体油脂经乳化剪切后由玉米糖浆等包材包被而成,主要用于精炼油脂中不饱和脂肪酸(以亚油酸和 α -亚麻酸为主)的植物油脂中。载体型脂肪粉是由单一或多种液体油脂经乳化剪切后与膨化玉米粉、玉米芯粉等载体充分混合而成。颗粒型脂肪粉由单一植物油或两种植物油(一般为棕榈油和大豆磷脂油)高温混合遇剧冷喷雾形成或高温混合喷雾形成。

包被型脂肪粉是将植物油脂经过抗氧化和保鲜处理后与乳化剂在50~60℃环境下混合均匀,得到乳化混合溶液,将水、玉米糖浆、维生素、稳定剂等与乳化混合溶液混合并搅拌剪切,将均质化的浆料进行巴氏杀菌和喷雾干燥,粉碎和筛选,得到植物脂肪粉。包被型脂肪粉粗脂肪含量在50%以上,微黄或白色粉末,有特定的油香气味,各脂肪酸均衡,实现水相包被油相,具有特别水溶性,富含蛋白、单糖与维生素。喷雾干燥是制作包被型脂肪粉过程

中最常用的手段之一,干燥过程短,只需5~30s,可用于热敏性物料的封装,且该方法生产的粉末状微粒水分较低,保证了包被型脂肪粉的质量。相对于其他的处理方法,包被型脂肪粉的制作成本较高,通常在乳制品或乳仔猪日粮的配制过程中使用。

载体型脂肪粉是由一种或多种植物油经过乳化均质后与载体和抗氧化剂、维生素等添加剂均匀混合而成。载体一般是玉米芯粉和膨化玉米粉,价格较低,成本易掌控。根据不同客户的需求及畜禽养殖阶段的变化,载体型脂肪粉的粗脂肪含量一般在40%~60%左右,是棕黄色膨松性载体粉末,具有一定的油香气味。特别适合在水产,蛋禽和育肥猪中使用。

颗粒型脂肪粉是由不同物料按照一定比例配比而成。棕榈油经水解、蒸馏等工艺之后得到棕榈脂肪酸并与棕榈油按照一定比例进行高温复配,遇剧冷喷雾形成,或通过喷雾干燥等工序后所得到的固体颗粒产品,即为颗粒型脂肪粉。此种工艺同样适用于大豆油、玉米油、棕榈仁油等植物油脂,生产方法成本较低,原料简单,产品质量稳定。成品脂肪含量可达95%以上,为白色或黄色均匀性细小颗粒。

2 脂肪粉在养猪生产中的应用

2.1 脂肪粉在断奶仔猪日粮中的应用

仔猪断奶后,营养供应由液态奶水突然变成固体饲料,固体饲料中的干物质在胃肠道中进行机械磨损,不断刺激断奶仔猪胃肠道黏膜,可使肠绒毛迅速磨损、萎缩,肠绒毛表面由高密度手指状变为扁平的舌状,隐窝加深。肠黏膜的损伤在断奶后持续7~14d,严重影响仔猪的营养物质消化吸收能力,造成断奶仔猪能量摄入严重不足,出现“仔猪早期断奶综合征”。钟翔等的研究结果显示,在断奶仔猪日粮中添加由棕榈油、磷脂油、维生素等混合而成的脂肪粉可提高断奶仔猪的生产性能,但在日粮中添加豆油却没有表现相同的效果。棕榈油等

植物油可以平衡饲料中的脂肪酸组成,提高饲料中的能量浓度和维生素含量,从而提高仔猪对日粮中脂肪、蛋白质、氨基酸、维生素等的利用效率。郑荷花等的研究结果显示脂肪粉可有效替代豆油,成为仔猪良好的能量源,在断奶仔猪日粮中添加3%的脂肪粉可使粗脂肪、粗蛋白和粗纤维的消化率分别提高6.73%、11.99%和4.46%,使血清中三碘甲状腺原氨酸(T3)和甲状腺素(T4)水平分别提高0.58和23.82ng/mol,使仔猪腹泻率降低18.2%,改善仔猪生产性能。孙丽华等在断奶仔猪日粮中采用3.5%脂肪酸优化脂肪粉替代膨化大豆,可显著提高仔猪生长性能,降低腹泻率。不同油脂经科学配伍后。脂肪粉经脂肪酸优化后配比更加合理,脂肪颗粒减小,比膨化大豆粉中的脂肪更容易被仔猪消化利用,从而提高仔猪机体健康水平和生长性能。

2.2 脂肪粉在母猪日粮中的应用

母猪在营养分配上遵循“繁殖优先”的规律,现代母猪的高度选育大大提高了其繁殖性能,营养需求也进一步提高。但母猪的采食调节能力差,泌乳期间母猪能量摄入不足不能满足维持自身能量需要和哺乳仔猪需要。因此,以能量为主的营养物质供应对于现代高产母猪潜在生产能力的发挥有重大意义。

哺乳期母猪日粮既要满足自身的能量消耗,又要满足仔猪的哺乳需求。哺乳母猪日粮中所添加的脂肪主要转运到乳腺细胞中,以增加乳脂含量,改变乳汁和仔猪体组织中的脂肪酸组成,从而提高仔猪肝糖原含量,提高仔猪成活率。将优化后的脂肪粉应用于玉米-豆粕型饲料中,理想的脂肪酸模式使日粮脂肪酸组成满足母猪及仔猪的营养需求,从而提高母猪的繁殖性能及仔猪的生长性能。吴先华等发现,母猪日粮中添加以棕榈油为主要成分的脂肪粉,母猪哺乳期的总消化能显著高于不添加脂肪粉的对照组,且脂肪粉的添加量为2%时,将哺乳期母猪的粗蛋白质和粗脂肪消化率分别提高2%和

3%。魏可健等发现,哺乳母猪日粮中添加脂肪粉使母猪乳汁中脂肪含量提高了46.2%,乳脂率提高了26.72%,使仔猪断奶重提高了8.08%,说明日粮中脂肪酸含量和组成明显影响猪乳中脂肪酸的含量和组成。哺乳动物日粮中 ω -3PUFAs和 ω -6PUFAs的功能活性均不相同,

ω -3PUFAs是多种性激素的来源,而 ω -6PUFAs中的AA是促炎类激素的前体,因此应维持母猪饲料中 ω -3PUFAs和 ω -6PUFAs的比例在适宜的水平。研究表明,降低饲料中 ω -6多不饱和脂肪酸,提高 ω -3多不饱和脂肪含量,保持 ω -3与 ω -6最佳比例可提高母猪繁殖性能、仔猪免疫力及增重。添加脂肪粉使猪乳中 ω -3脂肪酸(C18:3、EPA和DHA)的含量由0.71%提高至1.69%,使MCFAs(C8:0、C10:0和C12:0)的含量由0.1%提高至1.87%。张静等的研究也显示类似的结果,在妊娠母猪中添加椰子油和磷脂油粉后,母猪初乳乳脂含量分别提高了(T-AOC)提高7.88%,将过氧化氢酶(CAT)活力显著提高68.15%,并将丙二醛含量显著降低31.46%,从而提高鸡肉的抗氧化能力,有利于维持贮存期间鸡肉品质的稳定。刘融等的研究结果显示,在育肥期湖羊饲料中添加3%棕榈油脂肪粉时,可以显著提高1~60日龄羊只日增重5.21%,降低料重比8.78%,将干物质和粗脂肪表观消化率分别提高1.13%和9.49%,但添加量大于3%时,对湖羊的生长表现出抑制效果。因此日粮中脂肪粉的添加量需要控制在合理的比例。

在生长育肥猪的日粮中添加脂肪可以提高饲料转化率、日增重和出栏肥猪的背膘质量,缩短存栏时间降低育肥成本。但目前脂肪粉在育肥猪的应用主要偏重于解决配料现场液体油脂配料困难和改善毛色等问题,对于猪只生长性能与肉质改善报道少见,仍需要进一步研究与数据累积。

3 结论

脂肪粉产品替代液体油脂已经在反刍动物、蛋鸡、生猪养殖过程中广泛使用。大量动物试验证明脂肪粉既具有液态油脂的供能作用，合理的脂肪酸配比还对提高畜禽生产性能及健康水平具有重要意义。但是脂肪粉在养猪生产中的研究较少，尤其是

针对生猪不同养殖阶段脂肪酸的科学搭配的研究。因此，应加强对脂肪粉科学配伍的基础和应用研究，开发适合猪只使用的功能性脂肪粉产品具有广阔的发展前景。

（转自营养与饲料）

脂肪营养在母猪生产中的研究进展

朱秋凤¹ 张卫辉² 马秋刚¹

(1. 中国农业大学动物科学技术学院 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193;
2. 中国人民大学, 北京 100872)

脂肪作为六大营养素之一即为动物机体的最重要组成部分, 在母猪营养及日粮中发挥着重要作用。文章阐述了不同阶段母猪日粮中添加不同类型脂肪对猪只采食量、背膘损失、初生重、断奶重、成活率和免疫力等各阶段母猪生产性能的影响, 以期为母猪日粮中脂肪的有效添加利用提供参考。

1 脂类营养概述

脂肪是机体重要的能源物质, 是由饱和或不饱和脂肪酸与甘油形成的酯, 在大多数浓缩的动物饲料中, 脂肪占了脂质的最大部分(约 98%)。简单脂质包括脂肪、油和蜡(由酯化长链脂肪酸与脂肪醇组成)。脂肪与蜡类在化学和生物化学属性方面都有差别, 甘油分子的第一、第二和第三个碳原子分别表示为 sn-1、sn-2、sn-3 位。通过甘油的三个羟基被酯化了甘油骨架, 因此脂肪又可被称为甘油三酯。脂肪除了为机体提供物理保护和主要氧化供能外, 还是构成组织细胞膜系统的主要成分, 参与

细胞代谢的调节过程, 如磷脂的代谢中间物作为信号分子参与细胞代谢调节; 多烯酸参与炎症、过敏反应、心血管疾病等病理过程的调节等。绝大多数的脂类分子动物都可以合成, 但一些重要的多不饱和脂肪酸(如亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸)猪只能自身合成, 只能从饲料中获得。

2 脂肪的分类及营养价值

饲料中常用脂肪可简单概况为以大豆油、玉米油、米糠油、菜籽油、椰子油等为代表的植物源性脂肪, 和以猪油、鸭油、牛油、鱼油等为代表的动物源性脂肪。目前还有一些其他种类的脂肪产品也在饲料中使用, 如加工成粉末的脂肪粉, 乳化处理得到的乳化油等。植物油含有较多亚油酸(以 n-6 系列不饱和表), 而动物脂肪则含有较多棕榈酸、硬脂酸及其他脂脂肪为代表)及亚麻酸(以 n-3 系列不饱和脂肪为代肪酸(部分脂肪的脂肪酸含量见表 1)。

表 1 部分脂肪的脂肪酸含量

项目	脂肪酸占总脂肪重量的比例(%)						
	≤ C10	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1
牛脂肪	0	0.9	3.7	24.9	4.2	18.9	36.0
鳕鱼油	0	0	8.0	15.2	10.5	3.8	14.5
三文鱼油	0	0	3.3	9.8	4.8	4.3	17.0
菜籽油	0	0	0	4.0	0.2	1.8	56.1
玉米油	0	0	0	10.6	0.1	1.9	27.3
棉籽油	0	0	0.8	22.7	0.8	2.3	17.0
亚麻籽油	0	0	0	5.3	0	4.1	20.2
棕榈仁粕油	3.7	47.0	16.4	8.1	0	2.8	11.4
大豆油	0	0	0.1	10.3	0.2	3.8	22.8
葵花籽油	0	0	0	5.4	0.2	3.5	45.3

项目	脂肪酸占总脂肪重量的比例（%）						
	≤ C10	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1
牛脂肪	3.1	0.6	0	0	0	0	0
鳕鱼油	2.2	1.5	1.2	13.2	0.4	4.9	8.6
三文鱼油	1.5	1.1	0.7	13.0	3.4	18.2	18.2
菜籽油	20.3	9.3	0	0	0.6	0	0
玉米油	53.5	1.16	0	0	0	0	0
棉籽油	51.5	0.2	0.1	0	0	0	0
亚麻籽油	12.7	53.3	0	0	0	0	0
棕榈仁粕油	1.3	0	0	0	0	0	0
大豆油	51.0	6.8	0	0	0	0	0
葵花籽油	39.8	0.2	0	0	0	0	0

注：资料来源 NRC（2012）。

脂肪在猪日粮中的添加在国内外已经较为普遍，并且取得了较好的饲喂效果。脂肪的主要营养价值包括：①构成机体组织的重要原料，同样是形成新组织及修复旧组织不可缺少的原料；②提供机体所需能量，体内脂肪的绝缘作用对于维持新生动物体温恒定和减少动物冷应激起到重要作用；③为动物提供 n-6、n-3 等必需脂肪酸；④脂溶性维生素消化吸收的必要因素；⑤有助于饲料适口性的改善及提高动物肠道对饲料的利用率；⑥热增耗较低，能够减缓猪在高温条件下的热应激。

3 脂肪在母猪生产上的应用

3.1 对母猪繁殖性能的影响

日粮脂肪对母猪繁殖性能的影响受多种因素的影响，包括脂肪类型、日粮比例、饲养方式、日粮结构、能量和蛋白质、产仔数和分娩时间等。本文将部分前期的研究成果进行了归纳总结（见表 2），从研究结果看，在妊娠前期日粮中添加脂肪提高了母猪的产仔数和健仔数，妊娠后期日粮中添加脂肪对窝重增长、断奶重和成活率均有影响。从而可以

说明，母猪断奶发情期及妊娠前期的营养对于受精卵和胚胎的正常发育至关重要，直接决定窝产总仔数的高低。还有报道指出，妊娠后期母猪饲喂高纤维、无脂肪日粮的新生仔猪重量高于饲喂脂肪日粮的仔猪，说明母猪日粮结构对母猪生产性能的影响非常重要。

3.2 对母猪采食量影响

哺乳母猪采食量高低是母猪体况、泌乳性能和仔猪断奶性能优劣的重要决定因素，无论在怀孕后期还是哺乳期日粮中添加油脂，希望能够提高母猪生产性能，减少背膘损失，提高采食量，但研究结果不尽相同。李波等研究结果表明，分别添加无油、2% 脂肪粉和 2% 大豆油对泌乳母猪平均日采食量影响不显著。Lauridsen 等和 Tilton 等的试验研究也得到了相似的结果。然而，Averette 等在母猪妊娠期 90d 至断奶，日粮中添加 10% 的中链或长链甘油三酯作为脂肪源，结果显示添加脂肪组哺乳期母猪的平均日采食量比对照组低 10%（6.5kgvs7.2kg），但是代谢能（ME）和可消化赖氨酸的摄入量并没有受影响。

表 2 日粮添加脂肪对母猪繁殖性能影响

动物脂肪、菜籽油、鱼油、椰子油、棕榈油、葵花籽油的添加量均为 8%	妊娠 108 d~28 d 断奶	不同脂肪源显著改善了从出生到断奶的窝增重，但鱼油的增重效果较其他脂肪源差。	Lauridsen 等
豆油、椰子油、棕榈油或混合油的添加量均为 3%	妊娠 107 d~21 d 断奶	日粮脂肪源添加对窝总产活仔数、窝断奶仔猪数、仔猪成活率、仔猪初生重和断奶重、哺乳期日增重无影响。	Bai 等

2% 棕榈油脂脂肪粉（对照组）、豆油、棕榈油、牛油和鸭油	妊娠 80 d~21 d 断奶	添加不同油脂对产仔数、产活仔数、活产健仔率、仔猪初生窝重和仔猪平均初生重无显著影响。	卓清
2% 大豆油和 2% 脂肪粉	分娩 ~21 d 断奶	添加不同种类脂肪源，可以提高断奶仔猪窝重、哺乳期仔猪日增重以及窝增重，但差异不显著，脂肪粉比大豆油添加效果好，不同脂肪源对仔猪断奶成活率影响差异不显著。	李波等
妊娠期分别添加 3% 的棕榈油、混合油、鱼油和大豆油；哺乳期分别添加 4% 的棕榈油、混合油、鱼油和大豆油	妊娠 90 d~ 哺乳 17 d	添加油脂对母猪窝产仔猪数、健仔数、死胎、窝重和个体重的影响差异不显著，大豆油对断奶仔猪的头数和断奶窝增重差异显著，但不同油脂之间的差异不显著。	晋超
棕榈油、橄榄油、葵花籽油、鱼油额外提供总能的 10%	妊娠第 1 d~ 妊娠 60 d	添加棕榈油提高了产仔数；添加棕榈油和橄榄油提高了仔猪的初生重；添加鱼油能提升了哺乳期仔猪的生长性能；因此在早期妊娠日粮中添加脂肪提高了初生仔猪的性能和后期生长。	Law 等
5% 和 7% 鱼油、7% 猪油	妊娠 103 d~21 d 断奶	添加鱼油可提高哺乳仔猪的日增重及成活率，7% 鱼油添加效果优于 5% 的添加效果。	肖成林
添加 2%、8%、14% 和 20% 由菜籽油、大豆油和猪油 混合成的脂肪组，添加不同比例的玉米淀粉使各组间能量相同	妊娠 70 d~35 d 断奶	同等能量水平条件下，随着母猪妊娠后期日粮脂肪添加比例的增加，母猪的产仔数、健仔数、初生窝重均有增加趋势。	邢志刚

这可能与环境温度和饲喂管理方式影响有关，当母猪处于高温条件下应激时，日粮中添加油脂会提高母猪采食量。在夏季炎热的条件下或者高温应激下，日粮中添加油脂是有益的，能够适度提高采食量，在（27±3）℃的环境温度下时试验日粮中添加动植物混合油脂，日粮添加比例分别为 2%、4% 和 6%，试验期从妊娠 110d 开始到断奶，结果显示母猪的采食量和能量摄入量呈线性增加，这是由于油脂的直接供能和“热增耗”效应，减缓了母猪的热应激，所以在高温应激条件下母猪日粮添加一定比例油脂是有效的。

3.3 对母猪体况和膘情的影响

现代母猪需要在哺乳期产生大量乳汁来满足哺乳仔猪的生长需求，然而由于饲喂模式、营养结构的差异，采食量的不足等导致了哺乳期母猪饲料营养很难满足需要，使得哺乳期的母猪体重和背膘损失严重。Trottier 等认为这种由于产奶需求造成的母猪哺乳期体重损失是正常的。母猪在哺乳期的体况损失直接影响母猪利用年限和繁殖性能。有研究发现日粮中添加油脂对哺乳期母猪的体重损失无影响。肖成林等在母猪妊娠期 107d 至断奶时给母猪

饲喂 7% 的猪油和鱼油，结果发现鱼油组不同程度地降低了母猪背膘损失。笔者也发现在高产哺乳母猪日粮中添加脂肪可以有效降低背膘损失，这可能与脂肪的有效供能减少母猪能量负平衡有关。

3.4 对母猪乳汁成分的影响

哺乳期的初乳和常乳对于哺乳期和断奶后仔猪的生长非常重要。乳汁中的脂肪和能量含量对仔猪生存起着重要作用，且发现通过在母猪饲料中添加脂肪可以提高窝增重，妊娠晚期在母猪的饲料中补充脂肪会增加初乳中的总脂质和乳糖含量。Bai 等通过在日粮中添加 3% 的豆油、椰子油、棕榈油或混合油，研究结果显示添加油脂增加了乳汁中的脂肪含量。蓝林诚等在日粮中添加 2% 的豆油、牛油、棕榈油和鸭油，结果显示豆油对初乳的乳脂率要好于棕榈油、牛油和鸭油。Krogh 等在日粮中添加棕榈酸酯、豆油和三辛酸甘油酯三种脂肪源，结果显示初乳产量不受脂肪源的影响。与添加棕榈酸酯和三辛酸甘油酯相比，添加豆油显著增加了 24h 初乳中干物质的含量。也有学者在母猪妊娠中后期添加多种来源的脂肪结果显示对乳脂含量没有显著影响。陈颀等的研究表明在母猪妊娠后期和哺乳期的

日粮中添加 2% 的脂肪时,对常乳中乳脂、非脂固形物含量有显著的提高。初乳中的 IgG 等免疫球蛋白对初生仔猪成活和生长发育非常重要。Mitre 等在母猪妊娠期和哺乳期日粮中添加 n-6、n-3 脂肪酸提高了初乳中的 IgG 水平。Jin 等在日粮中添加 3.8% 大豆油或棕榈油对初乳和常乳中 IgG 和 IgM 含量没有影响。Bai 等的研究结果也得出相似结果。从上述研究结果看,结果的差异性可能是由于试验日粮的结构、所使用脂肪源的类型和结构等的不同而造成的。

3.5 对母猪断奶后发情时间的影响

断奶发情间隔直接影响母猪的非生产天数和母猪利用年限,也与母猪哺乳期失重比例、带仔数、子宫炎症、日粮能量、日采食量等因素又有直接关系,如母猪日粮能量不足,或者饲喂量过低都会影响到母猪哺乳期失重和断奶后发情率。因此,日粮能量水平、能源结构和饲喂方式是母猪饲喂的关键因素。黄庆在母猪分娩前 7d 到 21d 哺乳期间,在日粮中添加 4% 大豆油,试验组显著缩短了断奶发情间隔 3.65d。晋超研究发现在母猪妊娠后期和泌乳期日粮中添加油脂有缩短断奶发情间隔的趋势,但油脂类型间并无显著影响。卓清研究表明从妊娠 80d 到 21d 断奶在母猪日粮中分别添加 2% 豆油、棕榈油、牛油和鸭油,对母猪断奶发情间隔无显著影响。

3.6 对子代体成分组成的影响

Van 等在哺乳母猪日粮中添加含高脂的高营养水平饲料(134.9g/kg 脂肪含量,44MJNE/d)与含高淀粉的低营养水平饲料(33.2g/kg 脂肪含量,33MJNE/d),结果表明日粮添加高脂的高营养水平饲料可以提高仔猪的体脂含量,而低营养水平下仔猪体成分不受母猪日粮能量来源的影响。Rooke 等在母猪妊娠 60d 直至分娩在母猪日粮中添加 0.5%、1% 和 2% 的鱼油,结果发现当鱼油的添加量在 0.5% 时仔猪体组织中二十二碳六烯酸(DHA)的含量增

加,相反体组织中二十碳四烯酸随着鲑鱼油添加量的增加而逐渐下降。而在肝脏中,随着鱼油量的增大,DHA/DPA 呈线性增长。表明母猪日粮中的 n-3 系列不饱和脂肪酸可通过乳汁传递给子代从而影响力子代组织中的脂肪酸含量。结果表明,母猪日粮中添加不同类型的脂肪可以影响仔猪体脂肪酸组成。Vicente 等在母猪妊娠 35d 开始到断奶日粮中分别添加 3.5% 的猪油和葵花籽油作为脂肪源,结果显示与添加猪油相比较,添加葵花籽油提高了子代肌肉脂肪 C18:2n-6 和 C18:0 的含量,皮下脂肪 C18:0 的含量升高。Lauridsen 等在母猪分娩前 1 周至断奶在日粮中分别添加 8% 椰子油、菜籽油、鱼油和葵花籽油,结果发现椰子油组子代体脂中单不饱和脂肪酸含量最高,葵花籽油组子代体脂中多不饱和脂肪酸含量最高,母猪日粮的脂肪酸结构组成会影响其子代体脂中的脂肪酸组成。

4 小结

综上所述,在母猪日粮中添加不同比例脂肪具有重要意义。研究结果间的差异性可能与脂肪源、结构组成及添加水平、添加阶段、日粮营养结构、母猪个体差异和饲养管理等有关。母猪日粮中脂肪的添加要考虑到母猪的实际需要包括环境状况、采食量、健康状况等,同时还需要考虑到添加脂肪源的种类,包括不同脂肪的结构组成、消化率、品质及价格因素等。由于过多脂肪容易与钙磷等矿物元素结合形成脂肪酸钙等影响钙磷吸收,所以使用脂肪时要考虑适度调整日粮中钙磷等矿物元素含量。同时也要考虑调整脂溶性维生素 A、E 用量。日粮中添加脂肪时,要保证油脂的质量,防止脂肪的氧化酸败而影响日粮的适口性和产品使用效果。对于母猪中脂肪的使用添加,笔者认为今后的研究应用应该更加趋向于添加剂量精准化、使用效果明显化和经济效益合理化的方向发展。

(转自营养研究)

饲用油脂在养猪业的应用研究

张娜 黄兴军 李翠梅

(山东惠民县农业农村局 山东滨州 251700)

随着现代化养殖业的发展,养殖生产水平和效率逐渐提高,现代畜禽生产对日粮能量浓度的要求越来越高,仅靠谷实类饲料难以满足动物对能量的需求。美国 1953 年首次将油脂作为饲料原料应用于畜禽养殖。因为饲用油脂具有高质量和高浓度的能量,所以人们对其越来越重视,油脂的应用也是日益普遍。

油脂是油和脂肪的总称,常温下呈液态的叫油(oils),呈固态或半固体的叫脂肪(fats)。从结构上讲,油脂都是由一分子甘油与三分子高级脂肪酸经酯化反应组成的酯。因为自然界中的油脂是多种物质的有机物,所以熔沸点不固定,易溶于有机溶剂而不溶于水,同时也是动物的必需营养物质之一。

油脂有不同的分类方法:按照油脂的形态分类和来源分类。按照油脂的形态可分为液态油、固态油和油粉。按油脂的来源可将其分为四类:①动物油脂指从动物体内提取的一类油脂,生产常用的有猪油、牛油、鱼油等动物性油脂;②植物油脂指从油料作物种子、果肉及其他部分经压榨和提取制成,主要成分为甘油三酯,其中不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA)含量高,且富含必需脂肪酸,有利于饲料养分吸收,减少机体脂肪沉积,常见的植物性油脂有大豆油、菜籽油和棕榈油等;③饲料级水解油脂是指为油脂及肥皂生产中所得的副产品,以脂肪酸为主,包括大豆油脚和菜油脚等;④粉末状油脂是对油脂进行特殊处理,使其外形呈粉末状。

近年来的研究发现在妊娠后期和哺乳期中的母猪饲料中添加油脂,可以提高初乳中乳脂率,同时缩短母猪产程;在断奶仔猪饲料中添加油脂,可以提高断奶仔猪采食量和体重。本文就饲用油脂的营养作用、在饲料中添加饲用油脂对母猪繁殖性能和断奶仔猪体重的影响进行了综述,同时也对油脂的应用前景进行了展望。

1 油脂的营养作用

1.1 供能和储能作用

脂类是含能量最高的营养物质,1g 脂肪在动物体内分解释放的能量大约是 1g 蛋白质和碳水化合物分解所产生能量的 2.25 倍。脂肪能够延长食糜通过消化道的时间,降低排空速度,提高日粮消化吸收利用率,进而增加畜禽体重。

当动物处于饥饿状态或在糖类和脂肪摄取较少的情况下,糖类提供的能量不能满足动物机体的需求,机体就会动用脂肪,脂肪氧化分解提供能量,维持机体正常的生理功能和生产性能,而较少动用机体的蛋白质。当动物摄入的糖类或脂肪过多时,产生的能量就会超过所需能量,多余的能量会以脂肪的形式在体内储存。

1.2 提供机体所需的必需脂肪酸

必需脂肪酸(essential fatty acid, EFA)是指动物对机体正常机能和健康起重要作用而又不能自身合成的脂肪酸,是调节体内物质代谢主要物质之一,常见 EFA 主要有亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸。动物机体的 EFA 主要来自油脂。

EFA 的主要作用是参与磷脂的合成,也是生

物膜质的组成成分；参与胆固醇体内的转运，降低血液胆固醇水平；提高动物繁殖性能和免疫力等。EFA 缺乏会导致生物膜结构异常，引起畜禽机体免疫力降低、生长发育受阻、皮肤干燥和皮炎，繁殖和泌乳低下等，甚至死亡。

1.3 促进脂溶性营养物质的吸收

脂溶性维生素和类胡萝卜素在肠道的吸收必须有脂肪的参与才能吸收，而油脂可以作为脂溶性维生素和类胡萝卜素的溶剂促进其吸收。

1.4 热增耗低，具有抗热应激作用

热增耗是指绝食动物在采食饲料后短时间内，养分在体内消化吸收过程中代谢产热高于绝食代谢产热的那部分热能，以热的形式散失。不同种类饲料、营养素热增耗不同，蛋白质热增耗最大，碳水化合物居中，脂肪的热增耗最低。因此在夏季高温环境下，畜禽日粮中添加油脂，可以减轻热应激。

1.5 改善饲料的适口性

传统畜禽饲料以玉米-豆粕为主，味道和口感均较差，适口性不强，而大多数油脂具有特殊的香味和口感，在饲料中添加油脂可明显改善饲料的适口性。

1.6 油脂其他作用

油脂的润滑性有利于增加饲料光泽，提高饲料的商品价值；油脂的润滑性可以减少饲料粉碎及混合过程引起的机械磨损，延长机械寿命；油脂的吸附性可减少饲料加工过程中的粉尘污染，改善畜禽舍的内环境，降低呼吸道疾病发生率。

2 饲用油脂在养猪业上的应用

2.1 油脂在母猪饲料上的应用

1) 对母猪繁殖性能及初乳成分的影响。在营养分配上母猪遵循“繁殖优先”的规律，以能量为主的营养物质供应对于现代母猪潜在生产力的发挥有深远意义。哺乳母猪可以把日粮中的脂肪直接转化成乳脂，从而影响到乳汁中脂肪酸组成。张静等研究发现椰子油组和磷脂油粉组与豆油组相比较，

均没有对母猪的繁殖性能产生显著影响，但都能提高初乳中多不饱和脂肪酸的含量，杨建清也有相似的试验结果，饲粮中添加椰子油和磷脂油，母猪的繁殖性能、初乳常规养分和血清生化指标均没有明显变化，但初乳中多不饱和脂肪酸含量得到显著提高。Petrone 等报道，4% 鲱鱼油组能使初产母猪初情期得以提前，并提高产仔数和产活仔数。Laws 等报道，日粮中添加棕榈油，能量得到 10% 的额外补充，乳脂含量得到显著提高，哺乳母猪在哺乳全期的背膘损失也得以降低。张文飞等报道，0.6% 中链甘油三酯 (medium-chain triglyceride, MCT) 和 2.57% 豆油组、0.5% 微胶囊粉剂 MCT 和 3.17% 豆油组成的粉剂组与 3.17% 豆油对照组相比较，母猪初乳乳脂含量得到了提高；豆油组能显著缩短母猪产程，但对其他繁殖性能指标却没有影响。

2) 对母猪采食量及能量摄入量的影响泌乳期摄取充足的饲料量对母猪至关重要，采食量不足会导致泌乳期母猪体重损失过度，断奶发情间隔也会延长；采食量低也会降低产奶量，影响到仔猪的生长发育。在妊娠期和泌乳期母猪饲粮中添加油脂后，对采食量和能量摄入量的影响结论不一。

一般来讲，在母猪饲粮中添加油脂后会提高总能量水平，这样会降低泌乳期母猪的采食量，但其每日能量摄入量却是增加的。晋超报道，试验分为不加油组、棕榈油组、饲料级混合油组、鱼油组和大豆油组 5 个组。妊娠期各组添加量为 3%，泌乳期添加量为 4%，结果显示，各油脂组均显著降低了泌乳期母猪平均日采食量。Gatlin 等也有类似的报道，在饲粮中添加 10% MCT 和 10% 长链甘油三酯 (long-chain triglyceride, LCT) 与不添加油脂组相比较，泌乳期的采食量显著降低。

也有关于在泌乳期饲粮中添加油脂不影响母猪采食量的报道。李波等报道，对经产母猪分为对照组、大豆油组和脂肪粉组，结果表明，豆油组和脂肪粉组与对照组相比较，泌乳母猪的平均日采食量

无显著影响。Lauridsen 等有相似报道，在母猪泌乳饲料中添加油脂没有明显影响到母猪采食量，但能够显著提高能量摄入量。

在夏季下，高温应激会导致母猪采食量急剧下降，由于油脂的低热增耗，此时在饲料中添加油脂可提高母猪的采食量。Rosero 等研究发现，模拟的高温环境下，母猪采食和能量摄入量随着母猪饲料中动植物混合油添加量的提高都呈线性增加。在 Rosero 等人的 $(2 \times 3) + 1$ 因子试验中，设置了动植物混合油组（添加量为 0%、2%、4% 和 6%）和精选白脂膏组，结果显示增加母猪平均日能量摄入量随着精选白脂膏水平的升高呈线性增加。

2.2 油脂在断奶仔猪饲料中的应用

哺乳期仔猪获得能量唯一途径就是来自能量较高的母乳，断奶后能量获取途径多来自以玉米-豆粕型饲料为主的开食料，该型饲料能量都偏低；另外，仔猪断奶后前两周消化道发育不完善，加之受断奶应激，断奶仔猪小肠绒毛缩短，消化道容积变小，采食量下降，出现能量缺口，导致断奶仔猪营养不良，生长受阻。在采食量和能量无法满足需求

的客观情况下，饲料中添加油脂无疑是提高断奶仔猪日粮能量的最佳方法。

Lv 等报道，日粮中添加占代谢能 2.5% 的大豆油，14d 时断奶仔猪的体重、平均日增重和平均日采食量都得到了提高，料重比也降低了 22.9%，同时改善了抗氧化能力。而 Lee 等报道，日粮中添加 1.25% 鱼油能降低断奶仔猪的采食量，但仔猪的生长发育没有得到明显变化。

3 结论

随着人们对油脂应用的不断深入研究，油脂的添加已经不再仅仅局限于单一油脂。油脂的应用已经由传统液体型向多种形态发展；由单一油脂向复合油脂发展；在发展复合型油脂的同时，人们也开始注重脂肪酸平衡，包括饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸之间平衡以及 n-3 族脂肪酸与 n-6 脂肪酸平衡等；基于油脂的基础供能作用上，将饲料营养与食品营养相结合，向功能性油脂发展。油脂作为饲料原料，随着动物营养专家的研究和开发，油脂一定具有广阔的前景。

（转自中国动物保健）

饲用乳化均衡油粉制备方法优化研究

赵建国 魏玉强 毕宇霖 王亚军 高国涛

(临沂正能量生物有限公司, 山东 临沂)

饲用油脂是一种动物生长所需要的重要能量来源, 对动物的生长性能具有显著调控作用。油脂的消化吸收效率直接影响饲料转化率及养殖业经济效益。传统乳化油粉制备工艺普遍存在油脂粒径分布不均、界面稳定性不足等问题, 易导致动物肠道吸收障碍, 限制了油脂消化吸收效率的进一步提升。例如, 部分工艺依赖单一的乳化剂体系, 难以实现脂肪酸的均衡分散, 混合时间不足或温度控制不当则可能加剧乳糜微粒的聚集现象。近年来, 乳化剂的复配技术与工艺参数的优化为解决上述问题提供了新思路。通过调整乳化剂的比例 (如单甘酯与磷脂复合体系) 可有效调节油水界面的张力, 但乳化剂添加量与混合时间之间的协同效应尚未得到全面揭示。此外, 载体吸附工艺对饲用乳化均衡油粉含油量稳定性的影响有待进一步验证。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验原料包括棕榈油 (食品级, 碘价 52gI/100g, 由某生物科技公司提供)、膨化玉米 (粒径 80 目, 由某饲料厂提供) 及乳化剂单甘酯 (纯度 $\geq 90\%$, 由某化工公司生产), 主要仪器清单见表 1。载体吸附剂选用膨化玉米粉, 孔隙率与吸油能力经预试验测定符合工艺需求。抗氧化剂采用乙氧基喹啉 (分析纯), 用于抑制油脂氧化。

表 1 主要仪器清单

仪器名称	仪器型号	生产商
动态光散射仪	Zetasizer Nano ZS90	英国马尔文仪器有限公司

仪器名称	仪器型号	生产商
气相色谱仪	7890B-5977B	安捷伦科技(中国)有限公司
高速剪切乳化机	FA25	上海弗鲁克科技发展有限公司

试验前, 棕榈油需要经过 60℃ 水浴预热至完全液化, 膨化玉米粉需要置于恒温干燥箱 (型号 DHG-9070A) 中, 于 40℃ 下烘干 2h, 以去除表面水分。

1.2 制备工艺

乳化均衡油粉制备流程包括 4 个核心步骤: 原料预处理、乳化混合、载体吸附和干燥成型。首先, 将棕榈油与乳化剂按预定比例混合, 通过高速剪切乳化机 (转速为 3000r/min) 进行初乳化。其次, 加入膨化玉米粉作为载体, 利用其多孔结构吸附油脂。最后, 通过流化床干燥设备 (进风温度为 65℃) 进行干燥处理, 使产品含水率降至 5% 以下。

混合时间与乳化温度的优化参考了气固混合分散技术, 通过精确控制剪切强度与时间, 以平衡乳糜微粒的粒径与能耗。在载体吸附阶段, 采用分步添加法将油脂逐步负载至膨化玉米粉表面, 以避免局部过饱和和结块。

1.3 试验设计

试验采用单因素试验结合响应面法优化关键参数。

在单因素试验中, 乳化剂添加量设为 1%、2%、3%、4%、5% (均为质量分数), 混合时间分别为 240s、270s、300s、330s、360s。以乳化粒径 (D50) 与乳化稳定性指数 (ESI) 为响应值, 筛选出较优

的参数区间。

采用 Box-Behnken 设计构建三因素三水平模型，三因素包括乳化剂添加量（A）、混合时间（B）与剪切速率（C）。响应面分析通过 Design-Expert 软件完成。模型拟合度通过决定系数（R²）与方差分析（ANOVA）进行验证。显著性水平设定为 $p < 0.05$ 。

1.4 分析方法

乳糜微粒的粒径使用动态光散射仪（DLS）进行测定。将样品稀释至 0.1% 浓度后置于样品池中，每个样本重复测量 3 次取平均值。粒径分布以体积加权平均粒径表示，其计算公式如下：

$$D_{50} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^3}{\sum_{i=1}^n d_i^2} \tag{1}$$

式中：D50 为累计粒度分布百分数达到 50% 时所对应的粒径；d_i 为第 i 个颗粒的直径；n 为颗粒总数。

乳化稳定性指数通过离心法评估：将样品在 3000r/min 转速下离心 15min，记录上层清液体积与初始体积的比值。其计算公式为：

$$ESI = (1 - \frac{V}{V_0}) \times 100\% \tag{2}$$

式中：ESI 为乳化稳定性指数；V 为上层清液体积；V₀ 为样品初始体积；ESI 值越高表示乳化体系越稳定。

脂肪酸组成分析参照《食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定》（GB5009.168—2016），运用气相色谱法（GC）进行测定。样品经甲酯化处理后，运用 HP-88 毛细管色谱柱（100m × 0.25mm）进行分离。进样口温度为 250℃，检测器温度为 280℃，载气为高纯氮气（流速为 1.2mL/min）。

2 结果与分析

2.1 工艺参数对粒径的影响

乳化剂添加量与混合时间对乳糜微粒粒径（D50）的影响如表 2 所示。当乳化剂添加量由 1%

增至 3%，D50 值由 285nm 降低至 175nm，这表明乳化剂通过降低油水界面张力，显著改善了分散效果。当乳化剂添加量增加至 5% 时，D50 值回升至 192nm，这可能是乳化剂过量导致界面膜过度增厚，产生颗粒聚集现象。混合时间对粒径的影响呈先降后稳的趋势：240~330s 区间内，延长混合时间有助于促进油脂与乳化剂的充分接触与分散；超过 330s 后，剪切作用对粒径的改善效果不再显著。

表 2 不同工艺参数下乳糜微粒粒径与稳定性

乳化剂添加量 /%	混合时间 /s	D50/nm	ESI/%
1	240	285	72
3	330	175	92
5	360	192	85

通过响应面分析发现，乳化剂添加量与混合时间交互效应（ $p < 0.05$ ）。在最优参数组合下，即乳化剂添加量为 3%、混合时间为 330s，粒径较传统工艺（210nm）减小了 16.7%。

2.2 脂肪酸平衡性验证

优化后产品的脂肪酸组成如表 3 所示。其中，饱和脂肪酸（SFA）占比为 42.3%，单不饱和脂肪酸（MUFA）占比为 38.5%，多不饱和脂肪酸（PUFA）占比为 19.2%。与未优化工艺相比，SFA 比例下降 9.8%，MUFA 与 PUFA 比例分别提升 6.5% 和 3.3%，脂肪酸组成更接近幼龄动物对脂肪酸的营养需求。这一变化得益于棕榈油与膨化玉米中脂肪酸的协同释放，以及乳化剂对不饱和脂肪酸的保护作用。

表 3 优化前后脂肪酸组成对比

脂肪酸类型	优化前 /%	优化后 /%
SFA	52.1	42.3
MUFA	32.0	38.5
PUFA	15.9	19.2

2.3 乳化稳定性评估

乳化稳定性指数（ESI）随乳化剂添加量的变化情况如图 1 所示。当乳化剂添加量在 1% ~ 3%

区间内时，ESI 值从 72% 升至 92%，这表明乳化剂通过形成致密界面膜有效抑制了液滴聚并；当乳化剂添加量超过 3% 时，ESI 值因乳化剂过量导致的界面膜流动性增强而下降。结合粒径数据可知，3% 的乳化剂添加量与 330s 的混合时间组合，能同时满足粒径控制与稳定性的需求。

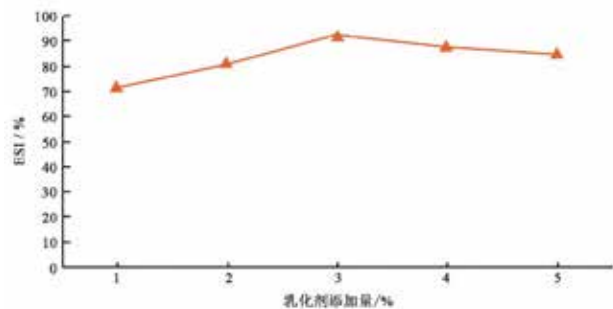


图 1 乳化稳定性指数 (ESI) 随乳化剂添加量的变化情况

抗氧化剂乙氧基喹啉的添加，使产品在 30d 的储存期内过氧化值 (POV) 稳定在 5.2mmol/kg 以下，显著低于未添加组 (9.8mmol/kg)，验证了其对油脂氧化的抑制作用。

2.4 载体吸附工艺优化

不同油脂负载量下膨化玉米粉的吸附效率如表 4 所示。当油脂添加量为 35% 时，吸附率高达 98.6%。然而，当油脂添加量增至 40% 时，吸附率下降至 92.3%，这表明载体孔隙已趋于饱和。对此，课题组采用分步负载工艺，每次添加 10% 油脂，间隔 5min 进行混合，使 40% 油脂负载量的吸附率提升至 96.7%，有效避免了局部过饱和导致的结块现象。

表 4 不同油脂负载量下吸附效率

油脂添加量 / %	吸附率 / %
35	98.6
40	92.3
40 (分步)	96.7

3 讨论

3.1 工艺优化的理论解释

乳化剂添加量与混合时间对乳糜微粒粒径的调控作用，本质上是界面张力与机械剪切协同作用的结果，根据 Gibbs 吸附公式可表示为：

$$\Gamma = -\frac{1}{RT} \cdot \frac{d\gamma}{d \ln C} \tag{3}$$

式中：Γ 为表面吸附量；R 为气体常数；T 为温度；γ 为界面张力；C 为乳化剂浓度。

当乳化剂添加量增至 3% 时，界面张力降至临界值以下，促使油脂分散为更小的液滴。而混合时间超过 330s 后，剪切能输入与液滴破碎的能耗达到平衡，粒径不再显著下降，这符合乳化动力学中的“稳态粒径”理论。

在载体吸附工艺中，膨化玉米粉的多孔结构通过毛细作用吸附油脂，其吸附量与孔隙率、颗粒直径的关系可表示为：

$$Q = \varepsilon \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{d_p}{D}\right) \tag{4}$$

式中：Q 为吸附量；ε 为孔隙率；ρ 为油脂密度；dp 为颗粒直径；D 为载体颗粒特征尺寸。

分步负载工艺通过降低局部油脂浓度梯度，降低了孔道堵塞概率，提升了吸附效率。

3.2 与常规技术的对比

与常规乳化油粉制备工艺相比，试验通过参数协同优化显著提升了油脂分散效率。传统工艺通常依赖高乳化剂添加量 (4% ~ 8%) 以实现微米级粒径，试验通过优化工艺，在 3% 乳化剂用量下将粒径减小至 175nm，降幅达 16.7%。这一改进得益于高速剪切与载体吸附的联合作用：剪切过程通过机械能输入促进了乳化剂在油水界面的定向排列，而膨化玉米粉的多孔结构则通过物理吸附稳定了乳糜微粒，两者协同作用降低了产品对乳化剂的依赖。

在乳化稳定性方面，试验得出的 ESI 值 (92%) 高于传统的植物蛋白乳化体系 (含水量 18% 时 ESI 约为 85%)。这可能得益于复合乳化剂的界面调控机制——单甘酯与磷脂形成的混合界面膜兼具刚性

与流动性，既能有效抑制液滴聚并，又能适应干燥过程中的体积收缩。

从工艺经济性角度分析，试验通过优化参数使乳化剂用量减少了 20%，同时避免了喷雾干燥等高能耗步骤，单吨产品生产成本降低了 15%。这一结果表明，通过精细化控制乳化与吸附过程，可在降低添加剂用量的同时提升产品性能，这为同类油脂乳化工艺优化提供了可借鉴的技术路径。

3.3 实际应用潜力

从生产成本角度分析，优化后的工艺使乳化剂用量减少了 20%，载体吸附工艺避免了喷雾干燥等高能耗步骤，单位产品生产成本降低了 15%。在储存稳定性方面，乙氧基喹啉的添加使产品过氧化值（POV）在 30d 内稳定在 5.2mmol/kg 以下，符合《饲料卫生标准》（GB13078—2017）中 $\text{POV} \leq 10\text{mmol/kg}$ 的要求。由此可见，优化后的工艺在降低生产成本的同时，确保了产品的储存稳定性，具有较大的应用潜力。

结语

研究通过优化乳化剂添加量与混合时间等关键工艺参数，提出了一种以棕榈油与膨化玉米为原料的饲用乳化均衡油粉制备方法。试验结果如表 5 所示，当乳化剂添加量为 3%、混合时间为 330s 时，乳糜微粒粒径减小至 175nm（较传统工艺降低 16.7% 以上），乳化稳定性指数（ESI）高达 92%，且产品的脂肪酸组成更贴近动物营养需求。试验采用载体分步吸附工艺有效解决了高油脂负载量下可能出现的结块问题，使产品的含油量稳定在 35% ~ 40%，较未优化工艺成本降低了 15% 以上。试验通过参数的协同优化，不仅减少了乳化剂用量，还避免了高能耗干燥步骤，为同类油脂乳化工艺优化提供了可复用的技术路径。在实际应用中，该方法有望提高饲料加工中油脂利用效率，进一步降低生产成本，对推动精细化饲料加工技术的发展具有参考价值。

（转自饲养科技）

饲料油脂后喷涂系统的设计

周鹏 陈慧 罗细芽 舒娟 李模其

(江西省农业技术推广中心, 江西南昌 330000)

我国饲料行业起步于 20 世纪 70 年代, 经过数十年的发展, 已形成了饲料行业的主导地位, 而随着科技发展, 饲料行业竞争日趋加激, 呈现“大鱼吃小鱼”的集团化整合发展, 为了追逐饲料微利, 高品质饲料生产控制是饲料集团保持竞争优势的主要途径。目前, 膨化饲料、颗粒饲料生产是饲料高品质控制的重要手段, 其生产过程中的高温、高湿、高压的调质工艺, 可使原料淀粉糊化、蛋白质发生变性、钝化抗营养因子、杀灭原料中的沙门氏菌等有害病菌等, 改善饲料适口性、提高蛋白质利用率、防止有害病菌的影响, 能有效保障水产、乳猪、禽类等动物的健康成长; 同时, 膨化饲料、颗粒饲料生产的高温、高湿、高压的调质工艺, 针对饲料中必需的热敏性营养元素(如酶制剂、维生素、生物菌等)具有极大的破坏性, 如: 维生素损失达 10% 以上, 而酶制剂、生物菌在调质温度达到 100℃ 以上几乎损失殆尽。为避免饲料必需的热敏性营养元素不受膨化饲料、颗粒饲料生产的高温、高湿、高压调质的破坏影响, 拟采用油脂后喷涂新技术, 以保障热敏性营养元素在饲料中的营养价值。本研究将按照油脂后喷涂技术要求, 设计一套饲料油脂后喷涂系统, 以满足饲料行业中油脂后喷涂需求。

1 油脂后喷涂技术

油脂后喷涂技术属于液体后添加范畴, 饲料加工中将必需的热敏性营养元素制成液态, 在制粒或膨化等热加工生产之后再添加的新技术, 并由此开发的满足该技术要求的各种后添加工艺设备。通过

安装在饲料热加工之后, 既满足了制粒或膨化生产加工的饲料品质, 又保存了饲料中必需的热敏性元素的营养成分。近年来, 该技术在世界各地得到迅速普及, 成为饲料加工领域的一大发展趋势, 德国的 Kahl 和 Chevita、瑞士的 Buhler、丹麦的 Sprout-Matador、美国的 Finnfeeds、荷兰的 Wijnveen 等众多欧、美公司, 都投入到液体后添加设备的研制行列中来, 并有新产品不断的投放到市场使用。国内油脂后喷涂技术发展相对滞后, 油脂添加多数采用在混合机中进行, 饲料在混合机搅拌过程中添加油脂, 该方式下油脂添加量不能超过 3%, 添加量过高会影响后续加工工艺, 影响饲料品质; 也有在膨化后通过冷却滚筒进行油脂添加的, 此添加方式的油脂添加精度、均匀性、添加比例都无法精确控制。

2 饲料油脂后喷涂系统设计

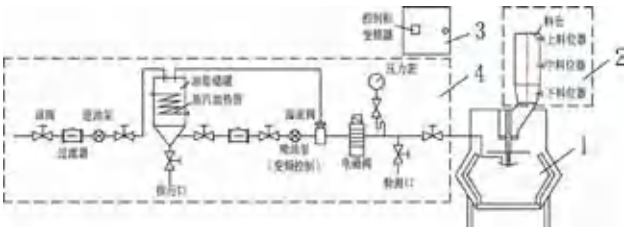
针对国内油脂后喷涂技术应用情况, 为满足制粒或膨化等热加工后油脂添加的需要, 对油脂后喷涂技术进行研究分析。程绣花等对真空油脂后喷涂技术及装备进行了论述, 相对于常规油脂后喷涂技术, 真空喷涂虽然具有一定的优势, 但其在解除真空时易使物料破碎, 造成物料粉化率提高, 同时较好的真空喷涂设备价格昂贵。尹枝松等对水产膨化料后喷涂设备进行了研究, 其提出的螺旋立式喷涂机具有良好的喷涂效果, 但其螺旋输送易造成物料破碎, 限制了该设备应用范围。

通过上述研究分析, 本研究设计了饲料油脂后喷涂系统, 对其核心设备喷涂机进行结构设计, 采

用旋转离心力方式，使物料在重力作用下形成物料帘，液态油脂形成雾化液体帘，两股逆向运动，充分接触，完成油脂均匀快速喷涂；并对其油脂喷涂量、喷涂精度、均匀性、添加比例进行试验分析，表明其喷涂效果的优良。同时，本油脂喷涂系统结构简单，造价成本低，物料在其重力下输送，避免了物料的破碎，相对其他油脂喷涂设备具有一定的优势。

2.1 系统工艺流程

笔者研究分析了国内外液体添加技术及工艺发展状况，结合自身长期从事饲料机械生产工艺及装备研究设计经验，针对膨化饲料、颗粒饲料等加工后油脂喷涂，设计了饲料油脂后喷涂机，并根据饲料油脂后喷涂生产工艺要求，配套设计了物料供应系统、油脂供应系统、电控控制系统，形成了饲料油脂后喷涂系统工艺流程（见图1）。



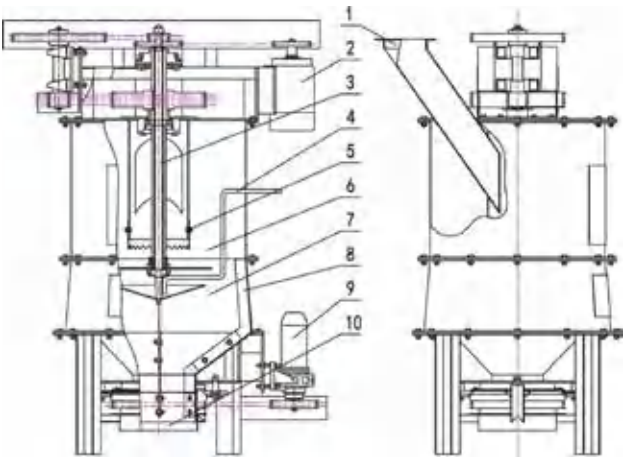
注：1. 油脂后喷涂机；2. 物料供应系统；3. 电控系统；4. 油脂供应系统。

图1 饲料油脂后喷涂系统工艺流程

2.2 油脂后喷涂机

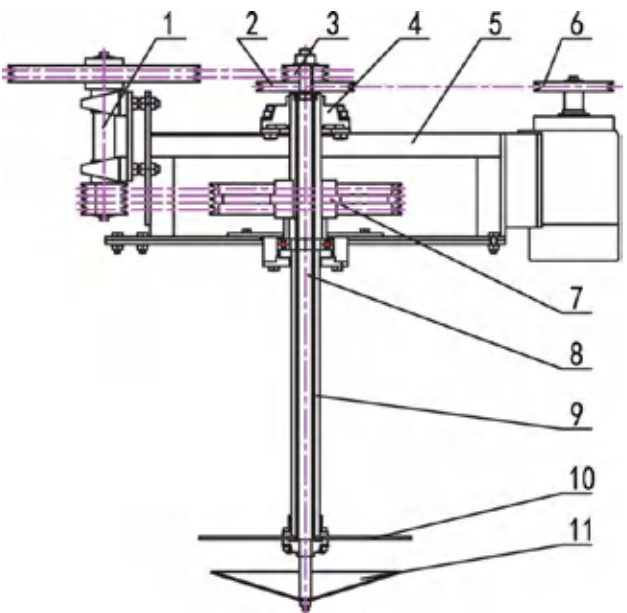
油脂后喷涂机作为系统的核心设备（见图2），其设计主要由进料口、主电机、喷涂机构、喷油管、物料调节门、喷涂室、混合室、爬料机构、爬料电机和出料口等组成。主要结构由喷涂室、混合室形成密闭结构，其中主要工作部件喷涂机构（见图3），通过轴承安装在喷涂室顶部机架上，其由从动轴机构、主轴大皮带轮、主轴小皮带轮、轴承、机架、主电机皮带轮、套筒轴皮带轮、中心轴、套筒轴、物料盘、液体盘等组成。油脂后喷涂机工作过程中，物料和油脂分别由物料供应系统和油脂供应系统完

成，物料通过进料口进入物料盘，油脂通过喷油管进入液体盘，物料由喷涂机构在喷涂室完成油脂喷涂工作后，进入混合室，在爬料机构的工作下，确保混合均匀性，再从出料口进入下一个工序。



注：1. 进料口；2. 主电机；3. 喷涂机构；4. 油管；5. 物料调节门；6. 喷涂室；7. 混合室；8. 爬料机构；9. 爬料电机；10. 出料口。

图2 油脂后喷涂机



注：1. 从动轴机构；2. 主轴大皮带轮；3. 主轴小皮带轮；4. 轴承；5. 机架；6. 主电机皮带轮；7. 套筒轴皮带轮；8. 中心轴；9. 套筒轴；10. 物料盘；11. 液体盘。

图3 喷涂机构

为更好地完成油脂喷涂工作，喷涂机构设计

为双轴结构,即套筒轴中心设有中心轴,两轴末端分别设有物料盘和液体盘;中心轴顶端设有直径分别为 200、90mm 的皮带轮,其由主电机带动,主电机皮带轮直径 160mm,按照《现代饲料加工技术》设计要求,主电机选择额定功率为 2.2kW 的 Y100L1-4 电机,其转速为 1430r/min,则中心轴转速 $V_{中} = 1430 \times 160 / 200 = 1144 \text{r/min}$;套筒轴中上部设有直径为 400mm 的皮带轮,其由从动轴机构带动,从动轴机构设有直径为 400mm 和 90mm,从动轴由中心轴小皮带轮带动,其转速 $V_{从} = 1144 \times 90 / 400 = 257.4 \text{r/min}$,则套筒轴转速 $V_{套} = 257.4 \times 90 / 400 = 57.9 \text{r/min}$ 。这样,喷涂机构在工作过程中,物料盘在套筒轴带动下,以 57.9r/min 快速运转,其中的物料在此离心力和自身的重力作用下,在 360° 范围向外抛出,并形成向下均匀物料帘;液体盘设计成锥形,在中心轴带动下,以 1144r/min 高速运转,其中的液态油脂在此离心力和锥度的作用下形成 360° 向上的半雾化的液体帘,两种逆向运动的物料帘和液体帘在喷涂室充分接触融合,完成喷涂工作。同时,喷涂机构的喷涂工作的高速运转,也是提高油脂喷涂量的有效保证。

2.3 物料供应系统

为更好控制油脂喷涂机物料的供应,在其进料口上方设计一个缓冲料仓,在料仓上设有上、中、下三个料位器(见图 1),通过料位器控制来保证进入料仓中物料的供给量,同时通过油脂喷涂机上的物料调节门,根据油脂喷涂需求控制进入喷涂机的物料流恒定、均匀,从而保障了系统油脂喷涂过程中的物料供应需求。

2.4 油脂供应系统

油脂供应系统(见图 1),由油脂储罐、蒸汽加热管、油泵、球阀、过滤器、电磁阀、压力表、油路管件等组成。油脂在该系统中,通过进油泵进入油脂储罐,在蒸汽加热管作用下,油脂完全液化;通过喷油泵将液态的油脂输送到油脂喷涂机的

液体盘中,完成油脂的供应。油脂供应系统中,通过过滤器、球阀、溢流阀、电磁阀、压力表等油路管件,来清除油脂中的杂质,并保证油脂在供应过程中安全供应;同时,喷油泵采用变频控制,以满足饲料油脂后喷涂过程不同油脂添加比例的控制要求。

2.5 电控系统

电控系统采用 PLC 控制器设计,利用其自动化控制优势,将油脂后喷涂机、物料供应系统、油脂供应系统有机联合成饲料油脂后喷涂系统整体。控制过程中,电控系统发出控制指令,分别控制油脂后喷涂机、物料供应系统、油脂供应系统共同工作(见图 4),完成油脂在物料表面的均匀喷涂;同时电控系统收集并反馈物料供应系统料仓料位器,油脂供应系统溢流阀、电磁阀、压力表等的工作状态,以便及时处理系统工作中出现的一些状况,从而更好完成整个系统油脂后喷涂工作。



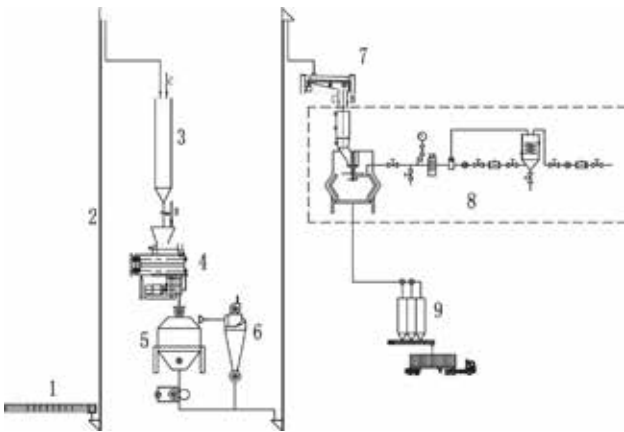
图 4 油脂后喷涂电控系统框图

3 饲料油脂后喷涂系统试验

本饲料油脂后喷涂系统设计完成后,对该系统油脂后喷涂机(见图 5)、料仓、油脂储罐等进行加工生产,并将其安装到颗粒饲料生产线上(见图 6),进行制粒生产和油脂后喷涂,并针对其生产率、油脂喷涂比例、喷涂均匀度进行试验。结果表明:生产率为 5~20t/h,喷涂比例为 2.5%~10%,喷涂均匀度 >90%,满足饲料生产油脂后喷涂要求。具体试验过程如下。



图5 油脂后喷涂样机



注：1.刮板；2.提升机；3.待制粒仓；4.制粒机；5.冷却器；6.风网设备；7.成品振动筛；8.饲料油脂喷涂系统；9.成品仓。

图6 颗粒饲料生产工艺

3.1 生产率试验

生产率试验主要测定系统油脂后喷涂生产的最低生产率及最高生产率。试验过程将该系统置于手动生产状态，先将油脂后喷涂机的物料调节门调为最低状态，启动油脂喷涂机及物料供应（不启动油脂供应），测定每分钟油脂喷涂机工作过程中物料供应的重量，测定3次，取其平均值，得其最小生产率；然后将喷涂机的物料调节门调为最高状态重复试验，测定其3次油脂喷涂机工作过程中物料供应的重量，取其平均值，得其最大生产率。试验数据如表1所示，试验结果：最低生产率84.42kg/min，即为5.07t/h；最高生产率325.00kg/min，即为

19.5t/h。

表1 油脂后喷涂系统生产率（kg/min）

项目	第一次称重	第二次称重	第三次称重	平均值
最低生产率	84.25	85.17	83.83	84.42
最高生产率	324.85	325.33	324.82	325.00

3.2 喷油量测定

为测定喷油泵每分钟每1Hz的喷油量，在油脂储罐内泵入600kg左右的油脂（室温低于25℃时需将油脂加热），将系统置于手动状态，变频器频率设为10Hz，单独启动喷油泵，将油脂排入准备好的塑料桶中，达到稳定的流量之后停止泵油。将塑料桶中油脂倒回油脂储罐内，并置于电子秤上去皮归零，启动喷油泵，同时秒表开始计时，1min后停止喷油泵，得到喷油重量，连续测定3次，取平均值L1；将变频器频率分别设为20Hz和30Hz，重复上述试验，每次测定

3次，取其平均值，得到L2、L3。试验数据如表2所示。

表2 油脂后喷涂喷油量测定数据（kg/min）

项目	频率		
	10 Hz	20 Hz	30 Hz
第一次	4.13	8.31	12.18
第二次	4.15	8.25	12.29
第三次	4.14	8.22	12.25
平均值	4.14（L1）	8.26（L2）	12.24（L3）

试验结果可测定喷油量 $L=(L1+L2+L3) \div (10+20+30) = (4.14+8.26+12.24) \div 60=0.41\text{kg/}(\text{Hz} \cdot \text{min})$ 。

油泵每分钟喷油量与变频器频率变化关系如图7所示，从图中可知，每分钟喷油量和喷油泵频率基本呈线性关系，生产中根据喷油泵频率控制喷油量，是一种安全、精度较高的控制方式。

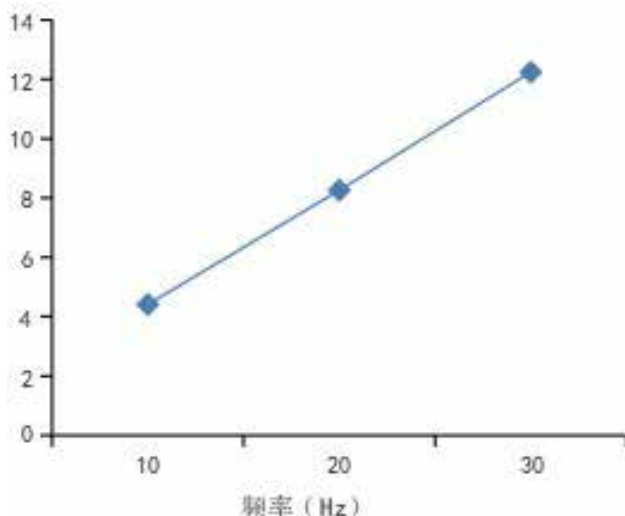


图7 每分钟喷油量随频率变化的情况

3.3 油脂喷涂比例试验

油脂喷涂比例试验,在油脂后喷涂系统最大生产率状态下,以油脂添加比例为3%、4%、8%下进行。油脂添加比例通过控制油脂供应系统中喷油泵变频器的频率进行控制,计算公式如下。

$$H = G \times \frac{M}{L}$$

式中: H——变频器控制频率 (Hz);

G——油脂添加比例 (%);

M——生产率 (最大生产率状态下为 325kg/min); L——喷油量 (kg)。

计算油脂添加比例为3%、4%、8%的变频器控制频率。油脂添加比例为3%的变频器控制频率 $H_1 = 3\% \times 325 \div 0.41 = 23.78\text{Hz}$, 油脂添加比例为4%的变频器控制频率 $H_2 = 4\% \times 325 \div 0.41 = 31.7\text{Hz}$, 油脂添加比例为8%的变频器控制频率 $H_3 = 8\% \times 325 \div 0.41 = 63.4\text{Hz}$ 。

按照三种变频器控制频率,在油脂后喷涂系统最大生产率状态下,控制油脂后喷涂系统进行油脂添加比例分别为3%、4%、8%喷涂试验,每种添加比例生产10min,每隔1min取一个样,共10个样品。试验完好将得到的所有样品送到专门机构,对样品中油脂含量比例进行检测,得到喷涂比例试验数据如表3所示。

油脂理论与实际添加比例试验数据表明,通过本系统油脂添加比例能够达到8%以上,并根据不同的油脂添加比例要求,将油脂很好地喷涂到饲料中。

3.4 喷涂均匀度试验

喷涂均匀度试验,以油脂添加比例为3%时进行,试验取10个样品送检,测定其样品中的油脂含量如表4所示,根据以下公式计算出喷涂均匀性变异系数 CV。

表3 样品中油脂含量比例 (%)

项目	3%	4%	8%
1	2.64	4.01	8.10
2	2.57	3.78	7.85
3	2.85	4.04	7.68
4	2.86	3.89	7.61
5	2.96	3.88	8.06
6	2.82	4.08	7.72
7	3.01	3.81	8.05
8	3.26	3.91	7.76
9	3.11	4.12	7.83
10	2.96	3.96	8.03
平均值	2.90	3.95	7.87

表4 油脂添加比例为3%时试验样品的油脂含量 (g/kg)

项目	样品1	样品2	样品3	样品4	样品5
油脂含量 X_i	26.4	25.7	28.5	28.6	29.6
项目	样品6	样品7	样品8	样品9	样品10
油脂含量 X_i	28.2	30.1	32.6	31.1	29.6

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{10}}{10}$$

$$S = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_{10} - \bar{X})^2}{10 - 1}}$$

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%$$

式中: $\bar{X}$ ——油脂含量的平均值 (g/kg);

S——标准差。

经计算可得 $\bar{x}=29.04\text{g/kg}$, $S=2.05437$, $CV=7.07\%$ 。

试验表明, 油脂后喷涂变异系数 CV 小于 10%, 即通过本系统油脂喷涂后, 油脂喷涂均匀度大于 90%。

4 结论

本研究分析了膨化饲料、颗粒饲料油脂后喷涂技术在饲料加工业中的重要作用, 设计了一套油脂后喷涂系统, 对油脂喷涂机、物料供应系统、油脂供应系统、电控系统进行了介绍; 通过试验, 验证了该系统的生产率、油脂喷涂比例、喷涂均匀性等主要性能指标, 取得了一定的成果, 本系统具有以下特点:

①设计了核心设备油脂喷涂机, 通过该设备中的喷涂机构, 应用同心轴的高速运转, 形成了较佳

的物料和液态油脂的运动方式, 在重力和离心力作用下, 物料帘和离心雾化状的液态油脂帘充分接触融合, 并在爬料机构作用下充分混合, 保证了喷涂效果。

②设计了物料和油脂的供应系统, 物料通过油脂喷涂机的物料调节门实现油脂喷涂的产量控制, 液态油脂通过改变变频器频率实现油脂添加比例调节。

③整个系统由 PLC 电控系统控制完成, 分别控制核心设备油脂后喷涂机工作, 物料和油脂的供应, 系统的主要性能指标生产率为 5~20t/h, 喷涂比例为 2.5%~10%, 喷涂均匀度 >90%, 能够满足膨化饲料、颗粒饲料等生产油脂后喷涂需求。

(转自饲料工业)

饲料中添加复合油脂等量替代大豆油对保育猪生长性能和肠道健康的影响

沈铭¹ 闫恩法² 何琳娟² 万波扬² 赖州文³ 黄艺珠³ 尚秀国¹ 尹靖东²

(1. 佛山科学技术学院生命科学与工程学院, 佛山 528231; 2. 中国农业大学动物科学技术学院, 畜禽营养与饲养全国重点实验室, 北京 100193; 3. 徐州新奥生物科技有限公司, 徐州 221000)

现代养猪业中, 猪生长性能达到了非常高的水平, 其对饲料的品质和营养水平要求也很高。饲料能量水平决定着猪遗传潜力的发挥, 通常需要在玉米—豆粕型饲料中补充油脂以满足猪对能量摄入的需要。油脂的价格比较高, 我国油料市场高度依赖进口, 进口的油料作物主要以大豆为主。近些年国际大豆价格持续高涨, 大豆油也节节攀升, 预计在很长的一段时期内油脂价格将给饲料行业带来巨大的成本压力。为了有效满足猪的能量需要, 通常会在饲料中添加低成本的油类作物籽实的粗提油脂(又称毛脚油)。粗提油脂杂质含量高, 易发生氧化和酸败而变质, 给猪的健康和生长带来严重的威胁。因此, 如何安全、有效、低成本地满足能量需要是养猪业关注的问题之一。

近年来, 学者们对长链脂肪酸生理功能及其消化和有效能值已经基本了解, 另外在中链脂肪酸和短链脂肪酸的生理功能和为机体供能方面也有了进一步的研究。给动物提供高不饱和脂肪酸[二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)]和中短链脂肪酸, 可以丰富饲料的脂肪酸谱, 通过调节机体免疫、改善幼龄动物在养殖环境中的抗应激能力, 从而满足动物对油脂更加多元化的需求。因此, 立足脂类营养研究进展, 通过丰富和定向改造油脂脂肪酸结构、组成, 开发新型油脂产品成为油脂行业的重要发展方向。养猪业中, 通过使用这类产品,

赋予油脂更高的利用率和有效能值水平, 对于有效满足猪的生长需求、降低饲料成本、提高养猪生产效益具有重要意义。

鉴于目前国内大、中型农牧公司配制猪饲料多使用净能(NE)体系, 而中、小型公司则大多兼用代谢能(ME)和消化能(DE)体系, 本研究在NE和ME2个能值体系中, 考察了复合油脂等量替代大豆油对保育猪生长性能和健康的影响, 为其在实际生产中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用的复合油脂的主要成分为大豆油、鱼油、糖浆、糊精、丁酸、益生元和乳化剂等, 其中粗脂肪 $\geq 25\%$ 、碳水化合物 $\geq 16\%$; 大豆油为超市售卖的食用级大豆油。

1.2 试验设计

试验选取体重为 (8.40 ± 1.04) kg、健康的杜×长×大三元断奶仔猪192头, 根据窝别和初始体重按照随机区组的原则分为4个处理, 每个处理6个重复(栏), 每栏8头猪(公母各占1/2)。采用2个能值体系(ME和NE)和2种油脂来源(大豆油和复合油脂)的 2×2 析因试验, 按照NRC(2012)配制7~11 kg(饲喂2周)和12~25 kg(饲喂3周)2阶段的颗粒试验饲料。对照组为玉米—豆粕型基础饲料, 基础饲料组成及营养水平见表1;

试验组用 2% 的复合油脂等量替代 2% 的大豆油， 验期 35d。
复合油脂和豆油脂肪酸组成（实测值）见表 2。试

表 1 基础饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

项目 Items	净能 NE		代谢能 ME	
	7 ~ 11 kg	12 ~ 25 kg	7 ~ 11 kg	12 ~ 25 kg
原料 Ingredients				
玉米 Corn	54.00	54.00	52.00	59.00
豆粕 Soybean meal	24.15	20.80	22.00	19.00
膨化全脂大豆 Extruded full_fat soybean	3.00	2.50	9.00	6.30
鱼粉 Fish meal	4.50	4.00	4.00	4.00
低蛋白质乳清粉 Low protein whey powder	3.50	4.00	2.00	2.00
小麦麸 Wheat bran	4.43	8.42	3.23	3.23
大豆油 Soybean oil	2.00	2.00	3.10	2.20
L- 赖氨酸盐酸盐 L_Lys · HCl	0.70	0.65	0.67	0.63
苏氨酸 Thr	0.26	0.24	0.25	0.23
蛋氨酸 Met	0.08	0.08	0.10	0.07
色氨酸 Trp	0.01	0.01	0.03	0.01
缬氨酸 Val	0.14	0.11	0.13	0.11
半胱氨酸 Cys	0.09	0.05	0.08	0.07
异亮氨酸 Ile		0.01		
石粉 Limestone	1.10	0.90	1.10	0.90
磷酸氢钙 CaHPO4	0.45	0.45	0.45	0.45
沸石粉 Zeolite powder	0.64	0.83	0.91	0.85
氯化钠 NaCl	0.40	0.40	0.40	0.40
氯化胆碱 Choline chloride （ 50% ）	0.12	0.12	0.12	0.12
预混料 Premix1 ）	0.43	0.43	0.43	0.43
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2 ）				
净能 NE/（ MJ/kg ）	10.32	10.23	10.67	10.58
代谢能 ME/（ MJ/kg ）	13.84	13.66	14.25	14.05
粗蛋白质 CP	20.50	18.90	21.05	19.30
粗脂肪 EE	5.53	5.36	7.21	5.91
总能 GE/（ MJ/kg ）	16.58	16.81	17.41	16.78
赖氨酸 Lys	1.53	1.15	1.50	1.24
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	0.72	0.68	0.67	0.69
苏氨酸 Thr	0.90	0.69	0.83	0.77
色氨酸 Trp	0.20	0.19	0.24	0.20
异亮氨酸 Ile	0.71	0.58	0.68	0.62
缬氨酸 Val	1.02	0.76	0.95	0.86

1）预混料为每千克饲粮提供 Thepremixprovide VE15IU，VK31.5mg，VB10.8mg，VB23mg，
dthefollowingperkgofo diets:VA11000IU，VD33250IU， VB61.5mg，VB120.01mg，生物素 biotin0.025mg，

叶 酸 folicacid0.4mg， 泛 酸 panto_thenicacid9.5mg，
烟 酰 胺 nicotinamide18mg， Cu95mg， Fe415mg，
Mn50mg， Zn90mg， I0.45mg， Se0.35mg。

2) NNE 和 ME 为计算值，其余均为实测值。
本试验研究复合油脂等量替代大豆油的可行性，
根据这一假设，在计算饲料的 NE 和 ME 时，复合
油脂的 NE 和 ME 按照大豆油的相关能值计算。
NE and ME were calculated values , and the rest
were measured values. The purpose of this study was to
investigate the feasibility of replacing soybean oil with
the same amount of com_ pound oil. According to this
hypothesis , the NE and ME of compound oil were
calculated according to the energy values of soy_ bean
oil when calculating the NE and ME of diet.

表 2 复合油脂和大豆油脂脂肪酸组成

项目	大豆油	复合油脂
辛酸 C8:0	0.06	0.26
癸酸 C10:0	0.12	0.29
月桂酸 C12:0	0.08	0.14
肉蔻酸 C14:0	0.89	2.72
十五烷酸 C15:0	0.16	0.23
棕榈酸 C16:0	107.27	49.56
棕榈油酸 C16:1	0.90	2.51
十七烷酸 C17:0	0.88	0.45
硬脂酸 C18:0	37.78	9.48
油酸 C18:1n9c	245.98	80.06
亚油酸 C18:2n6c	496.58	92.32
亚麻酸 C18:3n3	58.50	7.73
花生酸 C20:0	4.06	1.58
二十碳烯酸 C20:1	2.61	1.08
花生四烯酸 C20:4n6	ND	0.25
二十碳五烯酸 C20:5n3	ND	3.73
二十一烷酸 C21:0	0.67	0.13
二十二烷酸 C22:0	4.74	1.12
芥酸 C22:1n9	0.23	ND
二十二碳六烯酸 C22:6n3	ND	3.06
二十二碳烯酸 C22:2	ND	0.06
二十三碳烷酸 C23:0	0.81	0.13
二十四碳烷酸 C24:0	1.85	1.43

项目	大豆油	复合油脂
神经酸 C24:1	ND	0.16

ND 为未检出。
NDstandsfornotdetected.

1.3 饲养管理

保育猪饲养试验在河北丰宁中国农业大学农业
农村部饲料工业中心动物试验基地开展。本试验所
使用的动物和所有操作符合《中国动物福利和实验
操作指南》，并经中国农业大学动物伦理和使用委
员会批准（ID:SKLAB-B-2010-003）。试验前使用
高压水枪对猪舍圈舍进行清洗、熏蒸消毒，通风后
转入猪群。试验期间，保证猪自由采食和饮水，按
照猪场的规范化流程进行驱虫和免疫接种，严格遵
循猪场的饲养和管理制度。每日巡查猪舍，观察采
食及健康状况，对采食量及生病情况及时进行记录
并处理。

1.4 屠宰与采样

饲养试验结束后，前腔静脉采血，制备血清，
用于分析血清炎症因子和免疫球蛋白等含量。鉴于
ME 体系和 NE 体系配制饲料对保育猪的生长性能
没有显著影响，所以饲养试验结束后，从饲喂 NE
体系饲料的 2 个处理的每个栏中挑选 1 头体重接近
该重复平均体重的猪进行屠宰。采集空肠肠段，固
定于多聚甲醛中，常温下保存，用于观测肠道组织
形态；分别刮取收集空肠黏膜和结肠内容物于冻存
管中，-80℃保存，用于空肠黏膜的紧密连接蛋白
表达的测定和结肠内容物挥发性脂肪酸含量的测
定；采集新鲜粪便，保存于 -80℃，用于分析粪便
微生物组成。

1.5 检测指标和检测方法

1.5.1 生长性能和腹泻率

在试验开始前和第 35 天，对各栏猪进行称重
并记录体重（BW）。根据初始体重及终末体重，
计算每头猪的平均日增重（ADG），并根据各栏饲
粮的消耗情况来计算平均日采食量（ADFI）和增重

耗料比 (G:F)。每日巡查猪舍,对猪舍内的粪便及猪尾部进行观察,统计腹泻猪的数量。腹泻率计算公式如下:

$$\text{腹泻率}(\%) = [\text{腹泻头次数} / (\text{试验猪头数} \times \text{试验天数})] \times 100。$$

1.5.2 试验颗粒饲料的含粉率和粉化率

饲料制粒后在接料口采样,利用 10 目 (2mm) 筛测定含粉率,计算公式如下:

$$\text{含粉率}(\%) = [\text{粉料重} / (\text{颗粒料重} + \text{粉料重})] \times 100。$$

饲料运送至猪场后 (大约 150km),在饲喂前,利用四分法采样,运回实验室测定粉化率,计算公式同上。

1.5.3 饲料成分检测

分别参照标准 GB/T6432—2018 和 GB/T6433—2006,利用凯氏定氮仪测定饲料中粗蛋白质含量,利用 Ankom 脂肪分析仪测定饲料中粗脂肪含量;总能参照国际标准 ISO9831:1998 方法,使用氧弹式热量计 (Parr6300Calorimeter, 美国) 进行测定。饲料经氢氧化锂碱水解后使用高效液相色谱仪 (Agilent1200, Agilent, 美国) 测定色氨酸含量。饲料经盐酸水解后测定苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和赖氨酸含量。饲料经过甲酸氧化水解后测定半胱氨酸和蛋氨酸含量,均使用氨基酸分析仪 (L-8900, Hitachi, 日本) 测定。大豆油和复合油脂中脂肪酸组成用气相色谱仪 (Agilent6890, Agilent, 美国) 分析。

1.5.4 血清免疫球蛋白和炎症因子含量

血清免疫球蛋白 A (IgA)、免疫球蛋白 G (IgG)、免疫球蛋白 M (IgM)、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、干扰素- γ (IFN- γ)、白细胞介素-1 β (IL-1 β)、白细胞介素-2 (IL-2)、白细胞介素-6 (IL-6)、白细胞介素-10 (IL-10) 含量用相应试剂盒 (北京华英生物科技有限公司),采用比色法,在半自动生化仪 (A6, 松上公司) 中检测分析。

1.5.5 血清和肠道黏膜抗氧化指标

使用相应试剂盒 (北京华英生物科技有限公司) 测定血清和肠道黏膜中总超氧化物歧化酶 (T-SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 活性以及总抗氧化能力 (T-AOC) 和丙二醛 (MDA) 的含量,依照使用说明,用酶标仪 (DR-200BS, 华卫德朗公司) 进行检测分析。

1.5.6 肠道形态分析

猪肠道样品经过 4% 多聚甲醛固定后,经过修块、脱水、透明、包埋后进行石蜡切片,载玻片承载着切片再进行苏木精-伊红染色。每张切片在 4 $\times$ 和 10 $\times$ 显微镜下选择有代表性的视野进行拍照,观察测定 20 个视野的肠道绒毛高度和隐窝深度并做测量记录。

1.5.7 肠黏膜紧密连接蛋白表达的 WesternBlot 检测

取 50~100mg 空肠黏膜样品于液氮中研磨,加入 0.5~1.0mLRIPA 蛋白裂解液 (含 50 $\times$ 蛋白酶抑制剂和 100 $\times$ 磷酸酶抑制剂) 充分混匀,加入 4 颗研磨珠,使用预冷 -20 $^{\circ}\text{C}$ 研磨仪进行充分研磨裂解 (70Hz, 180s)。混合液于 4 $^{\circ}\text{C}$ 离心机 13000r/min 下离心 15min,取上清;使用 BCA 蛋白定量试剂盒用于蛋白浓度的测定。取 50 μg 蛋白用 10% 浓度分离胶进行聚丙烯酰胺凝胶电泳 (SDS-PAGE),使用湿转法转印到聚偏二氟乙烯 (PVDF) 印迹膜上,经封闭后,加一抗 [分别为 1:1000 紧密连接蛋白-1 (Claudin_1) 多克隆抗体,1:5000 闭合蛋白 (Occludin) 单克隆抗体,1:250 闭锁小带蛋白-2 (ZO_2) 多克隆抗体,1:10000 甘油醛-3-磷酸脱氢酶 (GAPDH) 单克隆抗体],4 $^{\circ}\text{C}$ 孵育过夜。经漂洗加荧光兔二抗 (1:10000),室温孵育 1h,再次漂洗后。采用 OdysseyClx 荧光系统进行曝光和成像,使用 ImageJ 图像处理软件对蛋白条带进行灰度分析。

1.5.8 肠道和血清挥发性脂肪酸含量测定

采用离子色谱 (IonpacAS11, Dionex, 美国)

测定结肠内容物和血清中的挥发性脂肪酸含量。结肠内容物置于 4℃解冻后，取 0.5g 样品加去离子水稀释成 30mL 混合液，上下颠倒混匀后，40~50℃水浴超声 30min，再定容到 50mL，颠倒混匀。随后将样品于离心机中 10000r/min 离心 10min，取上清液稀释 50 倍，取上清液过 0.22 μm 滤膜，并将上清液转移至进样瓶中，随后进行离子色谱测定。血清解冻后，取 200 μL 于 1.5mL 离心管中，并加入 600 μL 的甲醇：乙腈 =1:1 混合液，振荡混匀，在离心机 12000r/min 离心 10min，吸上清，稀释到 100 倍，随后过 0.22 μm 滤膜加入进样瓶中，进行离子色谱分析。上机：色谱柱为 ICS-3000（250mm×4mm），氢氧化钾的流速为 1.0mL/min，梯度分离条件为 0~5min，0.8~1.5mmo/L；5~10min，1.5~2.5mmo/L；10~15min，2.5mmo/L。

1.5.9 微生物多样性检测

采用 16SrDNA 基因测序分析猪粪便微生物组成。根据试剂盒 DNeasy PowerSoil ProKit（QIAGEN，美国）说明书进行微生物群落总基因组 DNA 的抽提，使用 1% 的琼脂糖凝胶电泳检测抽提的基因组 DNA 的质量，使用 NanoDrop2000（ThermoScientific，美国）测定 DNA 浓度和纯度。以上述提取的 DNA 为模板，使用携带 Barcode 序列的上游引物 338F（5，-ACTCCTACGGGAG-GCAGCAG-3，）和下游引物 806R（5，-GGAC-TACHVGGGTWTCTAAT-3，）对 16SrRNA 基因 V3~V4 可变区进行 PCR 扩增。使用 NEXTFLEXRapidDNA_SeqKit 对纯化后的 PCR 产物进行建库：1）接头链接；2）使用磁珠筛选去除接头自连片段；3）利用 PCR 扩增进行文库模板的富集；4）磁珠回收 PCR 产物得到最终的文库。利用 Illumi_na 公司的 MiSeqReagentKit 平台进行测序（上海美吉生物医药科技有限公司）。操作分类单元（OTU）聚类和分类学分析，使用 UPARSE 软件，根据 97% 的相似度对序列进行 OTU 聚类，对优化

序列提取非重复序列，去除没有重复的单序列，将所有优化序列 map 至 OTU 代表序列，选出与 OTU 代表序列相似性在 97% 以上的序列，生成 OTU 表格。所有的数据分析均在美吉生物云平台（ht_tps://cloud.majorbio.com）上进行。

1.6 统计分析

采用 SAS9.4 统计软件对试验数据进行 2×2 双因素统计分析，组织样品的分析数据采用 t 检验，腹泻率使用卡方检验，结果用平均值和均值标准误（SEM）表示。微生物多样性检测中的所有数据分析均在美吉生物云平台（https://cloud.major_bio.com）上进行，采用 mothur 软件计算 Alpha 多样性的 Ace、Chao、Sobs 指数等，并采用 Wilcoxon 秩和检验进行 Alpha 多样性的组间差异分析；使用基于 Bray_Curtis 距离算法的主坐标分析（PCoA）检验样本间微生物群落结构的相似性，并结合 Adonis 多元方差分析样本组间微生物群落结构差异是否显著。P<0.05 表示差异显著，0.05 ≤ P<0.10 为有差异趋势。

2 结果与分析

2.1 颗粒饲料含粉情况

由表 3 可知，NE 体系+大豆油、NE 体系+复合油脂、ME 体系+大豆油、ME 体系+复合油脂 4 个处理的颗粒猪饲料含粉率分别为 5.28%、3.31%、16.09%、8.04%；粉化率分别为 12.95%、10.93%、14.85%、15.05%。结果表明，利用 NE 体系配制饲料，添加复合油脂的饲料含粉率和粉化率分别比添加大豆油的饲料降低了 37.31% 和 15.60%；利用 ME 体系配制饲料，添加复合油脂的饲料含粉率比添加大豆油的饲料降低了 50.03%，粉化率没有变化。

表 3 颗粒猪饲料含粉情况

项目		粉料重	颗粒料总重	比例
含粉率				
净能 NE	大豆油 SBO	79.1	1 498.5	5.28
	复合油脂 CPO	41.8	1 263.6	3.31

项目		粉料重	颗粒料总重	比例
代谢能 ME	大豆油 SBO	216.2	1 344.1	16.09
	复合油脂 CPO	96.4	1 198.6	8.04
粉化率				
净能 NE	大豆油 SBO	120.2	928.4	12.95
	复合油脂 CPO	108.4	992.2	10.93

项目		粉料重	颗粒料总重	比例
代谢能 ME	大豆油 SBO	123.2	829.4	14.85
	复合油脂 CPO	152.7	1 014.8	15.05

2.2 生长性能和腹泻率

在 NE 和 ME2 个能值体系下，饲粮中添加复合油脂等量替代大豆油对保育猪的终末体重、平均日增重和平均日采食量和增重耗料比均无显著影响（ $P>0.05$ ）（表 4），而且各处理中腹泻率也无显著差异（ $P>0.05$ ）（表 5）。

表 4 饲粮中添加复合油脂对保育猪生长性能的影响

项目	净能		代谢能		SEM	P 值		
	大豆油	复合油脂	大豆油	复合油脂		能值体系	油脂来源	能值体系 × 油脂来源
初始体重 Initial weight/kg	8.40	8.39	8.39	8.41	0.45	0.99	0.99	0.99
终末体重 Final weight/kg 平均日采食量 ADFI/（g/d）	27.92	28.36	28.12	26.82	1.12	0.56	0.71	0.44
第 1 ~ 14 天 Days 1 to 14	549	550	538	554	24	0.90	0.72	0.76
第 15 ~ 35 天 Days 15 to 35	956	960	974	934	34	0.90	0.60	0.52
第 1 ~ 35 天 Days 1 to 35	762	764	768	756	29	0.98	0.86	0.80
平均日增重 ADG/（g/d）	481	488	496	478	21	0.91	0.80	0.55
增重耗料比 G:F	0.63	0.64	0.65	0.63	0.01	0.58	0.58	0.31

表 5 饲粮中添加复合油脂对保育猪腹泻率的影响

项目 Items	净能 NE		代谢能 ME		SEM	P 值 P_value
	大豆油 SBO	复合油脂 CPO	大豆油 SBO	复合油脂 CPO		
第 1 ~ 14 天 Days 1 to 14	0.00	0.23	0.70	0.28	0.002	0.07
第 15 ~ 35 天 Days 15 to 35	0.64	0.21	0.41	0.85	0.002	0.27
第 1 ~ 35 天 Days 1 to 35	0.34	0.22	0.55	0.59	0.001	0.29

2.3 血清免疫球蛋白及炎症因子含量、抗氧化指标和挥发性脂肪酸含量

由表 6 可知，复合油脂在 NE 和 ME 体系中均有提高保育猪血清 IgG（ $P=0.09$ ）和 IgM 含量（ $P=0.06$ ）的趋势。在 2 种能值体系中，保育猪饲粮中添加复合油脂，对血清中的 IL_1 β 、IL_2、IL_6 和 IL_10 含量没有显著影响（ $P>0.05$ ）；与 ME 体系相比，NE 体系饲喂的保育猪有升高血清 IL_2 含量的趋势（ $P=0.08$ ）。此外，饲粮能值体系和油脂来源对血

清免疫球蛋白、炎症因子含量及抗氧化指标均无显著交互作用（ $P<0.05$ ）。

复合油脂等量替代大豆油有提高猪血清中 T_AOC（ $P=0.06$ ）和 GSH_Px（ $P=0.06$ ）活性的趋势，且显著降低了 MDA 含量（ $P<0.05$ ）；在 2 种能值体系中，ME 体系相较于 NE 体系均显著提高了猪血清 T_AOC 及 T_SOD、CAT、GSH_Px 活性（ $P<0.05$ ）。

添加复合油脂对保育猪血清挥发性脂肪酸含量变化没有显著影响（ $P>0.05$ ）；但 ME 体系

比 NE 体系显著升高了血清中乙酸和丙酸的含量（ $P<0.05$ ）。

2.4 肠道黏膜抗氧化指标

由表 7 可知，在 NE 体系下，饲粮中添加复

合油脂等量替代大豆油显著提高了肠道黏膜中的 GSH_Px 活性（ $P<0.05$ ）；同时，CAT 活性（ $P=0.08$ ）和 T_AOC（ $P=0.09$ ）也有升高的趋势。

表 6 饲粮中添加复合油脂对保育猪血清免疫球蛋白和炎症因子含量、抗氧化指标和挥发性脂肪酸含量的影响

项目	净能		代谢能		SEM	P 值		
	大豆油	复合油脂	大豆油	复合油脂		能值体系	油脂来源	能值体系 × 油脂来源
免疫球蛋白 Immunoglobulin								
免疫球蛋白 G IgG/（g/L）	23.93	27.17	23.51	24.22	1.12	0.15	0.09	0.27
免疫球蛋白 M IgM/（g/L）	1.90	2.01	1.62	1.95	0.11	0.14	0.06	0.30
免疫球蛋白 A IgA/（g/L）	2.78	3.08	2.75	2.96	0.24	0.76	0.30	0.85
炎症因子 Inflammatory factors								
肿瘤坏死因子- α TNF_ α /（pg/mL）	53.65	49.69	53.20	51.24	3.04	0.86	0.34	0.74
干扰素- γ IFN_ γ /（pg/mL）	39.60	40.49	39.39	38.97	2.08	0.68	0.91	0.76
白细胞介素-1 β IL_1 β /（pg/mL）	24.78	24.17	24.92	23.75	0.97	0.89	0.37	0.78
白细胞介素-2 IL_2/（pg/mL）	210.32	208.35	201.35	191.00	7.10	0.08	0.40	0.56
白细胞介素-6 IL_6/（pg/mL）	129.02	114.94	124.42	119.47	9.55	1.00	0.33	0.64
白细胞介素-10 IL_10/（pg/mL）	12.16	12.15	13.24	12.31	0.59	0.31	0.43	0.44
抗氧化指标 Antioxidant indices								
总抗氧化能力 T_AOC/（U/mL）	8.16	8.87	9.50	10.69	0.48	<0.01	0.06	0.62
总超氧化物歧化酶 T_SOD/（U/mL）	69.94	77.51	84.53	87.37	3.34	<0.01	0.14	0.49
过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	37.72	38.74	40.61	44.64	1.81	0.02	0.18	0.41
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH_Px/（U/mL）	235.42	302.69	360.08	378.84	21.96	<0.01	0.06	0.28
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	3.82	3.32	3.79	3.03	0.27	0.55	0.03	0.64
挥发性脂肪酸 Volatile fatty acids								
乙酸 Acetic acid/（mg/mL）	0.33	0.34	0.39	0.41	0.02	<0.01	0.26	0.95
丙酸 Propionic acid/（mg/mL）	0.029	0.029	0.032	0.033	0.002	0.05	0.67	0.77

表 7 饲粮中添加复合油脂在净能体系下对保育猪肠道黏膜抗氧化指标的影响

项目	油脂来源 Oil source		SEM	P 值 P.value
	豆油 SBO	复合油脂 CPO		
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mg prot）	0.61	0.73	0.07	0.09
总超氧化物歧化酶 T-SOD/（U/mg prot）	6.46	6.90	0.34	0.21
过氧化氢酶 CAT/（U/mg prot）	3.27	4.14	0.45	0.08
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	32.54	38.13	1.62	<0.01
丙二醛 MDA/（nmol/mg prot）	1.92	1.73	0.24	0.46

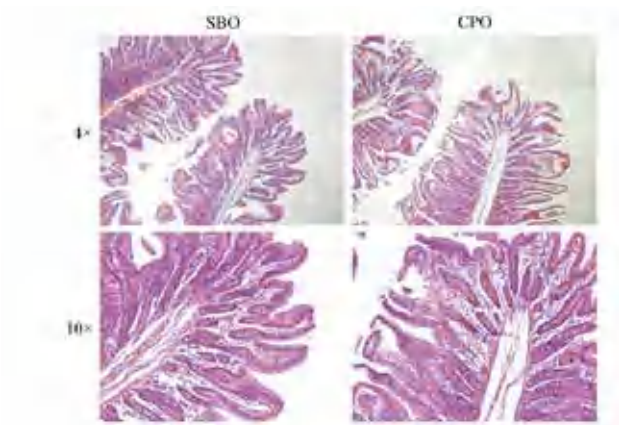
2.5 肠道形态

由表 8 和图 1 可知，在 NE 体系下，饲粮中添

加复合油脂对猪空肠绒毛高度、隐窝深度以及二者比值没有显著影响（ $P>0.05$ ）。

表 8 饲料中添加复合油脂在净能体系下对保育猪空肠形态的影响

项目	油脂来源 Oil source		SEM	P 值 P.value
	大豆油 SBO	复合油脂 CPO		
绒毛高度 Villus height/ μm	372.18	374.59	22.31	0.92
隐窝深度 Crypt depth/ μm	274.25	293.58	20.34	0.36
绒毛高度 / 隐窝深度 Villus height/crypt depth	1.31	1.29	0.08	0.80



SBO: 大豆油 soybeanoil; CPO: 复合油脂 compoundoil。下同 thesameasbelow。

图 1 保育猪空肠形态代表性图像

2.6 肠道紧密连接蛋白的表达

如图 2 所示，在 NE 体系下，复合油脂等量替代大豆油显著提高了保育猪空肠黏膜的紧密连接蛋白 Claudin-1 和 ZO-2 的表达 ($P<0.05$)，且紧密连接蛋白 Occludin 的表达也有升高的趋势 ($P=0.09$)。

2.7 结肠挥发性脂肪酸含量

由表 9 可知，在净能体系下，饲料中添加复合油脂显著提高了结肠内容物中乙酸的含量 ($P<0.05$)，但对丙酸、丁酸、戊酸以及总挥发性脂肪酸的含量无显著影响 ($P>0.05$)。

2.8 微生物多样性

2.8.1 粪便微生物 Alpha 多样性指数分析

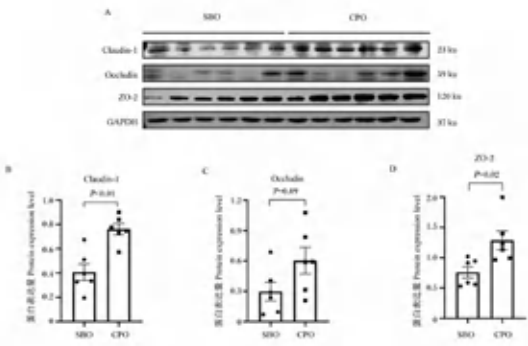
表 9 饲料中添加复合油脂在净能体系下对保育猪结肠内容物短链脂肪酸含量的影响

项目	油脂来源 Oil source		SEM	P 值 P.value
	大豆油 SBO	复合油脂 CPO		
乳酸 Lactic acid	0.54	0.37	0.11	0.16

由表 10 可知，饲料中添加复合油脂等量替代大豆油对保育猪肠道粪便微生物的 Ace 指数、Chao 指数、Sobs 指数、香农指数和辛普森指数均没有显著影响 ($P>0.05$)。

2.8.2 粪便微生物 Beta 多样性分析

利用 PCoA 解析了微生物结构的相似性，再通过 Adonis 分析进一步解析处理间微生物构成的差异。由图 3 可知，在门水平上，复合油脂与大豆油处理之间存在显著差异 ($R^2=0.4303$, $P=0.02$)；但是在科水平、属水平和 OTU 水平上各处理间没有显著差异 ($P>0.05$)。



Claudin-1: 紧密连接蛋白 -1; Occludin: 闭合蛋白; ZO-2: 闭锁小带蛋白 -2zonulaoccludensprotein-2; GAPDH: 甘油醛 -3- 磷酸脱氢酶 glyceraldehyde-3-phosphatedehydrogenase。

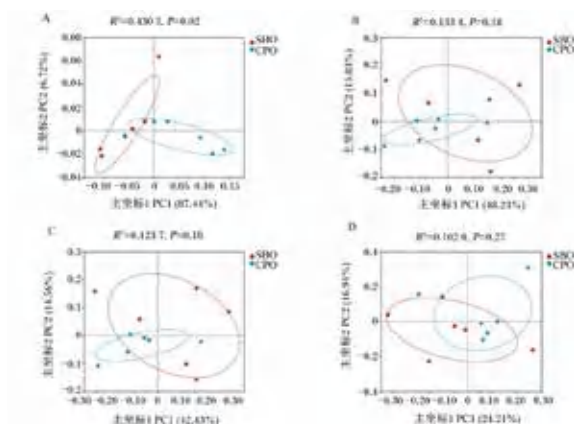
图 2 饲料中添加复合油脂对净能体系下保育猪空肠黏膜紧密连接蛋白表达的影响

项目	油脂来源 Oil source		SEM	P 值 P.value
	大豆油 SBO	复合油脂 CPO		
乙酸 Acetic acid	5.10	5.74	0.18	<0.01
丙酸 Propionic acid	3.14	3.15	0.24	0.97
丁酸 Butyric acid	1.45	1.25	0.29	0.50
戊酸 Valeric acid	0.18	0.18	0.06	0.91
总挥发性脂肪酸 Total VFA	9.87	10.32	0.55	0.63

表中总挥发性脂肪酸含量不包含乳酸。

表 10 饲料中添加复合油脂对粪便微生物 Alpha 多样性的影响

项目	油脂来源 Oil source		SEM	P 值 P.value
	大豆油 SBO	复合油脂 CPO		
覆盖率 Coverage	0.997	0.997	0.00	0.65
Ace 指数 Ace index	612.15	544.99	34.55	0.20
Chao 指数 Chao index	597.19	539.25	33.53	0.25
Sobs 指数 Sobs index	534.83	469.17	30.19	0.16
香农指数 Shannon index	4.16	3.77	0.16	0.13
辛普森指数 Simpson index	0.05	0.09	0.02	0.16



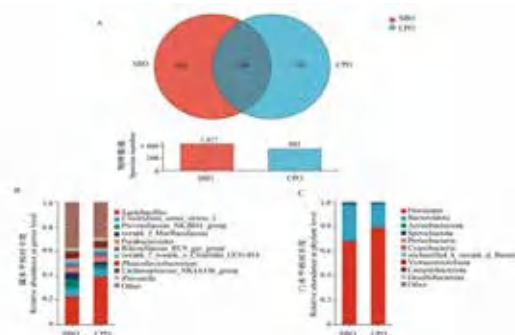
A: 门水平 phylumlevel; B: 科水平 familylevel; C: 属水平 genuslevel; D: OTU 水平 OTUlevel。

图 3 粪便微生物 Beta 多样性分析

2.8.3 粪便微生物物种组成分析

图 4-A 展示的是 OTU 水平 Venn 图，2 个组共检测到的 1958 个 OTU，其中 2 个组共有的核心 OTU 有 759 个，318 个为豆油处理中所特有，122 个为复合油脂处理中特有。图 4-B 所示，在微生物属水平上，乳杆菌属（*Lactobacillus*）、狭义梭菌属_1（*Clostridium_sensu_stricto_1*）、普雷沃氏菌科 NK3B31 群（*Prevotellaceae__NK3B31_group*）为

2 个处理中的优势菌属，相对丰度分别为 30.93%、6.50% 和 5.32%。图 4-C 所示，粪便微生物在门水平上的 3 种优势微生物分别为厚壁菌门（*Firmicutes*）、拟杆菌门（*Bacteroidota*）和放线菌门（*Actinobacteriota*），相对丰度分别为 73.74%、24.30% 和 1.25%，复合油脂处理和大豆油处理在门水平上不同微生物群落的相对丰度相似，但是 2 个处理中厚壁菌门相对丰度远高于其他门。



Lactobacillus: 乳杆菌属; *Clostridium__sensu_stricto_1*: 狭义梭菌属_1; *Prevotellaceae__NK3B31_group*: 普雷沃氏菌科 NK3B31 群; *Parabacteroides*: 副拟杆菌; *Rikenellaceae_RC9_gut_group*: 理研菌科 RC9 肠道群; *norank_f_norank_o_Clostridia_UCG-014*: 未分类梭状芽胞

杆菌_UCC-014; Phascolarctobacterium: 考拉杆菌属;
Lachnospiraceae_NK4A136_group: 毛螺菌科 NK4A136
群; Prevotella: 普氏菌属; Firmicutes: 厚壁菌门;
Bacteroidota: 拟杆菌门; Actinobacteriota: 放线菌门;
Spirochaetota: 螺旋菌门; Proteobacteria: 变形菌门;
Cyanobacteria: 蓝绿藻; unclassified_k_norank_d_Bacteria:
未分类细菌; Verrucomicrobiota: 疣微菌门; Other: 其他;
Campilobacterota: 弯曲杆菌门; Desulfobacterota: 脱硫杆菌门。

图4 粪便微生物 OTUVenn 图 (A) 及其在属水平 (B)
和门水平 (C) 上的相对丰度

2.8.4 粪便微生物物种差异分析

进一步使用 Wilcoxon 秩和检验对 2 个处理微生物的门水平和属水平进行分析 (图 5)。结果发现, 在门水平上, 在复合油脂处理中的厚壁菌门相对丰度显著高于大豆油处理中的菌群相对丰度 ($P<0.05$); 此外, 大豆油处理中的拟杆菌门的相对丰度显著高于复合油脂处理 ($P<0.05$) (图 5-A), 这 2 个菌群在门水平上都属于优势菌, 且二者相对丰度达 98.04%。属水平上经过筛选分析, 2 个处理之间有 10 种菌属相对丰度存在显著差异 ($P<0.05$), 其中狭义梭菌属_6 (Clostridium_sensu_stricto_6) 在复合油脂处理中的相对丰度为 1.41%, 在大豆油处理中的相对丰度为 0.37%, 是 2 个处理中相对丰度差异最大的微生物。此外, 还有未分类普雷沃氏菌科 (norank_f_Prevotellaceae) 和尚未命名的微生物 UCC_002 的相对丰度在 2 个处理中存在较大差异, 2 种菌相对丰度在大豆油处理中都显著高于复合油脂处理 ($P<0.05$) (图 5-B)。

3 讨论

饲料中的油脂除了满足机体能量需要、促进动物生长外, 还在提供必需脂肪酸、维护细胞结构、增强免疫力和作为亲脂溶剂等方面也发挥着重要作用。饲料中添加的油脂, 通常为大豆油、玉米油、棕榈油以及动物油脂等。食用油脂的品质高、杂质少, 但因为价格很高, 限制了其在猪饲料中添加用

以补充饲料能量水平。目前我国饲料用油脂因为价格限制, 一些油脂粗提物在广泛使用, 增加了氧化变质的风险。因此, 开发安全、高效的油脂类产品对于提高猪生长性能、降低养猪成本具有重要的经济价值。当前专门的饲料用油脂的发展很快, 如利用动物油脂和植物油脂开发的脂肪粉类产品, 因为添加的便利性而受到欢迎, 大大促进了复合油脂产品的开发, 但是这类产品的有效能值还不清楚, 特别是有关脂肪营养的研究为这类产品的技术升级提供了可能性。本研究使用的复合油脂, 是根据脂肪消化、吸收以及大肠能量利用营养的最新研究进展, 并采用专利技术和生产工艺开发的新型复合油脂产品, 通过乳化将油脂粒径揉小至 $5\mu\text{m}$ 以下母乳型小分子, 提高其进入消化道后与脂肪酶接触的机会; 同时, 复合油脂中的乳化功能在饲料混合过程中乳化饲料中的固有油脂, 提高饲料油脂和脂溶性维生素、色素的吸收, 实现提升油脂可利用性、降低饲料成本的目的。

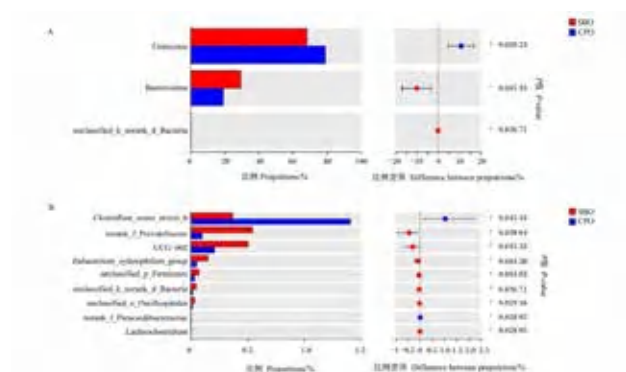


图5 粪便微生物物种差异分析
A: 门水平 phylumlevel; B: 属水平 genuslevel. Firmicutes: 厚壁菌门; Bacteroidota: 拟杆菌门; unclassified_k_norank_d_Bacteria: 未分类细菌; Clostridium_sensu_stricto_6: 狭义梭菌属_6; norank_f_Prevotellaceae: 未分类普雷沃氏菌科; Eubacterium_xylanophilum_group: 嗜木聚糖真杆菌群; unclassified_p_Firmicutes: 未分类厚壁菌门; unclassified_o_Oscillospirales: 未分类颤螺菌目; Lachnoclostridium: 蓝绿藻菌属。

图5 粪便微生物物种差异分析

本研究模拟了国内大型和中、小型农牧企业分别使用 NE 和 ME 体系配制猪饲料的实际情况,通过考察保育猪生长性能、腹泻率、机体免疫水平、抗氧化水平、小肠形态结构和结肠食糜的挥发性脂肪酸组成以及粪便菌群多样性等,全面评估了复合油脂等量替代大豆油的可行性。研究发现,饲料中 2% 的复合油脂等量替代大豆油不影响保育猪全期的平均日增重、平均日采食量、增重耗料比和腹泻率。这表明在实际生产中,在保育猪的饲料中使用复合油脂替代大豆油,可以达到与大豆油一样的效果。特别是在保育猪饲料中,添加复合油脂等量替代 2% 的大豆油大幅度降低颗粒饲料的含粉率,这表明饲料中添加复合油脂更有利于制粒,这也是复合油脂维持较高的保育猪的生长性能和饲料转化率的重要因素并且对改善饲料生产环境都有很大的帮助。

本研究中,不同饲料能值体系下饲喂的保育猪,其血清抗氧化水平存在显著差异,在 ME 体系下,保育猪血清 T_{AOC} 和 T_{SOD}、CAT 和 GSH_Px 活性显著高于 NE 体系。ME 体系配制的饲料能量水平高于 NE 体系,有研究表明,长期高能量饮食会导致胰岛素抵抗,这与氧化应激和炎症反应有关。高能量的饮食也会导致机体代谢活跃度增加,从而促进更多的自由基生成和体脂肪沉积,过多脂肪沉积也会释放更多的脂质代谢产物和炎症因子,因此,采食高能饲料的猪体内抗氧化水平相对高可能与此有关。另外也可能是机体采食高能量饲料抗氧化水平升高,更有利于保育猪对氧化应激的反应,其生物学意义有待于进一步研究。

IgG、IgM 和 IgA 是机体内重要的免疫球蛋白,可以通过非特异性免疫反应起到预防和中和病原体的作用,对提高保育猪的免疫力发挥重要作用。本研究发现,复合油脂等量替代大豆油,有升高血清中 IgG 和 IgM 含量的趋势,而且还显著降低了保育猪血清 MDA 的含量,并有提高血清和肠道黏膜中

抗氧化水平的趋势。特别是在 NE 体系中,复合油脂代替大豆油还显著提高了肠道黏膜中的 GSH_Px 活性。综上所述,饲料中添加复合油脂有助于提高保育猪的免疫能力和抗氧化能力。

肠道既是动物消化和吸收营养物质的重要场所,又是保持机体内环境稳定的先天屏障,肠道的完整性对肠道的功能和健康密切相关。复合油脂等量替代大豆油虽然对保育猪绒毛高度、隐窝深度及二者比值没有影响,但显著提高了肠道黏膜中 Claudin_1 和 ZO_2 的蛋白表达, Occludin 的蛋白表达有升高的趋势。肠黏膜上皮细胞及其紧密连接蛋白构成的保护在肠道屏障中尤为重要,紧密连接蛋白可以阻挡有毒大分子和微生物的入侵,还能有选择性地调节小分子的渗透性。因此,复合油脂添加对保育猪有助于改善肠道黏膜的屏障功能,促进肠道的健康。

饲料中添加复合油脂替代大豆油显著增加了结肠内容物中乙酸的含量。复合油脂对盲肠微生物的 Alpha 多样性没有显著改变,但显著改变了微生物门水平的 Beta 多样性,显著提高了粪便微生物中厚壁菌门相对丰度和降低了拟杆菌门相对丰度。厚壁菌门参与机体对食物能量的利用和脂肪吸收,并产生短链脂肪酸等代谢产物。乙酸作为肠道菌群发酵的产物之一,在被吸收后也可以提供能量,同时参与脂肪的代谢。研究表明,乙酸有助于抑制脂肪合成,促进脂肪氧化,从而对脂肪代谢起到一定的调节作用。相比之下,拟杆菌门在肠道中更倾向于帮助分解和吸收蛋白质和多糖类物质,而不直接参加脂肪代谢过程。厚壁菌门与拟杆菌门的比值大可能与体脂肪沉积增加有关系,这提示了宿主的脂肪代谢转向高效率的沉积和利用,这一现象还有待于进一步研究。

本试验中使用的复合油脂产品,其粗脂肪含量 $\geq 25\%$,在为期 35d 的饲养试验中,保育猪生长性能没有受到负面影响。能量在体内不仅为维持、生

长供能，还要为机体的免疫反应、应激等提供能量。Williams 等报道，免疫系统激活的猪平均采食量降低 5.4%，日增重降低 16.7%，上市天数增加 37d。Liu 等也证明，饲粮中添加鱼油，通过缓解仔猪免疫应激，可提高日增重 8.12%、日均采食量提高 15.86%。这些研究结果都表明，机体处于一个免疫稳态有助于动物发挥生长潜能。本试验中使用的复合油脂中含高比例鱼油、丁酸以及益生元等，结合前面免疫指标和抗氧化指标，我们推测该复合油脂可能通过降低保育猪的免疫应激和提高抗氧化水平，并利用丁酸为大肠上皮细胞提供能量而促进仔猪生长。因此，本研究对我们理解猪的能量需要量

提出了新的启示，为改善仔猪能量利用效率提供了新的思路。

4 结论

综上所述，饲粮中添加复合油脂可以有效降低颗粒饲料的含粉率，从生长性能、肠道健康、机体免疫、抗氧化等方面的结果综合判断，保育猪饲粮中添加 2% 复合油脂等量替代大豆油是可行的，该复合油脂产品的设计路线是有效的；保育猪饲粮配制中，复合油脂的 NE 和 ME 可以分别为 31.50 和 35.80MJ/kg。

（转自动物营养学报）

乳化酶解油粉在肥育猪中的应用效果

汪炳红¹ 周书苑¹ 周明¹ 范恒青² 王为雄³ 李少海⁴

(1. 安徽农业大学动物科技学院, 安徽 合肥 230036; 2. 合肥正美动物营养食品有限公司, 合肥 230031;
3. 安徽金寨祥堡种猪场, 六安 237322; 4. 安徽康地饲料科技有限公司, 合肥 230032)

提高动物的生产性能有许多措施, 措施之一可能是提高饲料养分浓度尤其是饲料能量浓度。要配制高能量饲料, 首选的原料是油脂。油脂不仅能值大、转化率高, 而且可提高蛋白质的利用率、提供必需脂肪酸, 还能促进脂溶性维生素的吸收和利用。要保证油脂在动物中的应用效果, 首先是油脂的质量要好, 另外最好选用改性油脂, 如乳化酶解油粉(emulsified enzyme-hydrolysed oil meal, EEHOM)等。改性油脂不仅消化率高, 而且易于向饲料中添加(粉状), 并易于在饲料中混合均匀。基于以上原理, 笔者采用乳化、酶解剪切、均质等先进技术和工艺, 对油脂进行改性加工处理, 并和膨化玉米粉以及肉碱、维生素 E 等活性物质混合, 研制了 EEHOM 新产品。本试验拟考察 EEHOM 在肥育猪中的应用效果。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验选取体重约 75kg 健康的丹系大约克 × 美系长白二元杂种肥育猪 40 头, 将其分为两组, 即对照组和乳化酶解油粉组, 每组 20 头, 两组公母比例相同。编耳号。用基础饲料直接饲喂对照组猪; 用 3.5% 的乳化酶解油粉等量替代基础饲料中小麦麸后, 饲喂乳化酶解油粉组猪。

1.2 乳化酶解油粉简介

以大豆油、稻米油、菜籽油、膨化玉米粉、大豆磷脂、肉碱、维生素 E 等为原料, 采用图 1 的工艺制得乳化酶解油粉。



图 1 乳化酶解油粉的制作工艺

1.3 基础饲料

用猪场当前用的常规饲料作为基础饲料, 其配方和营养水平如表 1 所示。

表 1 基础饲料配方与营养水平

原料组成	配比 /%	营养指标	营养水平
玉米	59.0	消化能 / (MJ · kg ⁻¹)	12.6
米糠	13.5	粗蛋白质 /%	14.5
小麦麸	9.0	赖氨酸 /%	0.69
大豆粕	14.5	钙 /%	0.50
预混料	4.0	磷 /%	0.45

注: 预混料主要由矿物质、维生素、酶制剂、赖氨酸等组成。

1.4 饲养管理

猪的饲养试验于 2013 年 11 月 24 日至 2014 年 1 月 6 日在安徽六安金寨祥堡种猪场进行, 饲养试验期 42d。各猪圈的设备条件相同: 水泥地面、自动采食箱和饮水槽。猪的饲养管理及免疫程序按猪场的常规方案进行。饲养试验期间, 猪自由采食和饮水。

1.5 测定指标

1.5.1 猪群健康指标每天观察记录各组猪的健康状况。

1.5.2 生长性能指标在试验开始和结束时对供试猪个体称重，统计饲料消耗量，计算料重比。

1.5.3 血清生化指标在饲养试验结束时，每组随机取 8 头猪，空腹前腔静脉采血约 10mL，测定血清中葡萄糖（Glu）、总蛋白（TP）、尿素氮（UN）、甘油三酯（TG）、胆固醇（Cho）含量与谷丙转氨酶（GPT）和谷草转氨酶（GOT）活性等。

1.6 统计分析

采用 SAS9.1 软件对试验数据进行单因子方差分析，结果以平均数 ± 标准差表示。

2 试验结果

2.1 猪群健康状况

在饲养试验过程中，未发现猪群健康有异常情况。

2.2 猪生长性能测定结果

从表 2 可知，两组猪始重无显著差异（ $P > 0.05$ ）。

但经饲养试验处理后，乳化酶解油粉组猪的末重、净增重、日增重都显著高于对照组，日增重较对照组提高 6.37%（ $P < 0.05$ ）。乳化酶解油粉组猪饲料转化率（34.01%）较对照组（32.05%）提高 6.12%（ $P < 0.05$ ）。

表 2 乳化酶解油粉对肥育猪生长性能的影响

项目	对照组	乳化酶解油粉组
样本数 / 头	20	20
始重 / kg	74.37 a ± 3.42	75.37 a ± 4.24
末重 / kg	107.75 a ± 6.88	110.87 b ± 5.98
净增重 / kg	33.37 a ± 4.06	35.5 b ± 4.56
料重比	3.12 a ± 0.38	2.94 b ± 0.38
饲料转化率 / %	32.05 a	34.01 b
日增重 / g	794.63 a ± 96.67	845.22 b ± 108.73
日增重提高 / %		+6.37
饲料转化率提高 / %		+6.12

注：同行肩标相同字母表示差异不显著（ $P > 0.05$ ），不同字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ），下同。

2.3 猪血液生化指标测定结果

由表 3 可知，乳化酶解油粉组猪血糖、血清总蛋白、甘油三酯和胆固醇含量都显著高于对照组，但两组猪的血清尿素氮含量以及谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性无显著差异（ $P > 0.05$ ）。

表 3 乳化酶解油粉对肥育猪血清生化指标的影响

项目	对照组	乳化酶解油粉组
样本数 / 头	8	8
血糖 / (mmol · L ⁻¹)	6.28 a ± 0.82	7.14 b ± 0.84
总蛋白 / (g · L ⁻¹)	72.55 a ± 6.36	82.79 b ± 5.89
尿素氮 / (mmol · L ⁻¹)	5.74 a ± 1.02	5.64 a ± 0.67
甘油三酯 / (mmol · L ⁻¹)	0.32 a ± 0.05	0.48 b ± 0.04
胆固醇 / (mmol · L ⁻¹)	1.86 a ± 0.12	2.04 b ± 0.14
谷丙转氨酶活性 / (U · L ⁻¹)	44.83 a ± 2.43	45.22 a ± 5.38
谷草转氨酶活性 / (U · L ⁻¹)	83.90 a ± 13.34	84.50 a ± 3.48

3 分析与讨论

3.1 对肥育猪血清生化指标的影响

本试验中，乳化酶解油粉组猪的血清甘油三酯和胆固醇含量都显著高于对照组，这应是乳化酶解油粉组猪饲料中添加了乳化酶解油粉的缘故。Cera 等（1989 和 1990）在猪饲料中添加油脂，也取得相似的试验结果。朴香淑等（2001）的试验结果表明，与单独添加豆油组相比，动、植物混合油添加组仔猪血清中甘油三酯和总胆固醇含量较多。林映才等（2002）的试验结果显示，随着饲料中植物油添加量的增加，猪血清甘油三酯和胆固醇含量极显著地提高（ $P < 0.01$ ）。Bach 等（1982）报道，十二碳以下的脂肪酸被吸收后大部分进入门脉系统，并很快在肝脏中进行氧化；十二碳以上的脂肪酸被吸收后进入外周血液循环，大部分被酯化为甘油三酯形式。本试验所用的乳化酶解油粉中的脂肪酸都在十二碳以上，因此本试验的结果（血清中较高含量的甘油三酯）支持了 Bach 等（1982）的观点。乳化酶解油粉组猪的血糖、血清总蛋白含量都显著高

于对照组,其原因可能是乳化酶解油粉组饲粮中添加了乳化酶解油粉,增加了猪体内能量能源,所以葡萄糖和蛋白质被用于氧化供能的比例减少。本试验中,两组猪的血清尿素氮以及谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性无显著差异($P > 0.05$),表明油粉对蛋白质的异化代谢以及肝脏、心脏等组织器官的结构与机能的作用不明显。

3.2 对肥育猪生长性能的影响

本试验证明,在肥育猪饲粮中添加改性油脂乳化酶解油粉后,肥育猪日增重显著增加,较对照组提高 6.37% ($P < 0.05$)。并且乳化酶解油粉组猪饲料转化率(34.01%)也比对照组(32.05%)提高 6.12% ($P < 0.05$)。

孟松林等(2010)在哺乳母猪与断奶仔猪饲粮中添加乳化均衡油粉,可显著提高哺乳母猪和断奶仔猪的生产性能,增加母乳中脂肪含量,降低仔猪断奶后的腹泻率、死亡率,提高日增重,降低料重比。陈代文等(2003)的研究结果表明,在断奶仔猪饲粮中添加脂肪有利于仔猪生产性能的发挥。王瑞等(2010)的研究表明,哺乳仔猪脂肪消化酶分泌量

有限,而椰子油具有较高比例的短链脂肪酸,易于被消化吸收,对生长性能有较好的促进作用。针对混合油脂的营养作用,朴香淑等(2001)的研究表明,和单一的油脂相比,牛油与豆油或玉米油以 1:1 的比例混合添加,可增加早期断奶仔猪的采食量,进而促进其生长。朱亚男等(2008)认为,饲粮添加油脂对生长肥育猪的最明显作用是提高饲料转化率,减少自由采食量。

油脂较其他养分含有更高的能量,每克油脂氧化可提供的能量是糖类化合物或蛋白质的 2.25 倍以上。含油脂多的食糜较含油脂少的食糜通过消化道要慢得多,这就延长了其他养分被消化和吸收的时间。在饲粮中添加油脂,往往获得比预期更好的效果,这被称之为油脂的额外效应。

4 小结

此试验表明,在饲粮中添加乳化酶解油粉,可促进肥育猪的生长,提高饲料转化率,改善猪体的营养生化代谢。

(转自养猪)

不同品质大豆油在肥育猪中应用效果的比较研究

汪炳红 周明

(安徽农业大学动物科技学院, 安徽 合肥 230036)

我国是世界上最大的养猪国,也是最大的猪肉消费国。我国猪肉的产量占肉类总产量大约 65%,养猪业占我国养殖业的主导地位。随着人们生活水平的提高,人们对猪肉需求量增多。为了保证市场的需求,需要提高生猪的日增重,缩短生猪的饲养时间。要提高猪生长的速度,一项重要的措施就是提高猪饲料中养分浓度,如能量浓度,使用油脂饲料便是首选。

油脂不仅为家畜补充能量,而且还能提高饲料的适口性,为动物体补充必需脂肪酸,促进脂溶性维生素的吸收,降低应激反应等。随着我国养殖业的发展,需要的饲料原料总量也越来越多,饲料原料 80% 以上都来自于粮食作物,粮食作物作为常规饲料原料的缺口也就越来越大。因此,我们就需要开发新能源。同时,在养殖总成本中,饲料成本约占 70%。可见,降低饲料成本是提高养殖效益的重要途径。

人们对植物油脂的消费量不断提高,以平均每年 5.5% 的速度增加。大豆油在植物油脂中所占的比例高。大豆油储存过程中,下沉于罐底的大豆油以及大豆油固体沉淀物(该固体沉淀物主要含大豆磷脂),往往不宜被用作食用油。因此,合理而高效地利用罐底大豆油和大豆油沉淀物,是值得做的一项重要课题。

到目前为止,对大豆油在畜禽中应用的研究很多。但是,对于罐底大豆油和大豆油沉淀物在畜禽中应用鲜有研究。因此,本试验拟比较研究不同

品质大豆油[包括食用大豆油、罐底大豆油、大豆油沉淀物(大豆油脚)]在肥育猪中的应用效果,为这些大豆油次品开发作为动物的能量饲料提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

不同品质的大豆油,包括食用大豆油、罐底大豆油、大豆油脚,三者均源于中粮集团巢湖粮油公司。

1.2 试验设计

选取 120 头健康、体重约为 62kg 的杜长大三元杂种猪,按照体重相近、性别比例相同的原则随机分成 4 组,每组 30 头猪。用猪场现行饲料(参见表 1)饲喂对照组猪;用 A 饲料(现行饲料 -2% 玉米 + 2% 食用大豆油)饲喂试验 1 组猪;用 B 饲料(现行饲料 -2% 玉米 + 2% 罐底大豆油)饲喂试验 2 组猪;用 C 饲料(现行饲料 -1% 玉米 + 1% 大豆油脚)饲喂试验 3 组猪。饲养试验预试期 5d,正式试验期为 44d。

整个试验时间为 2016 年 4 月至 2017 年 3 月。饲养试验在安徽省马鞍山市某猪场进行。各猪圈的结构与饲养密度相同:砖混隔墙,筒状自漏料槽,触碰式饮水器。前期进行预试验,饲料少给勤添,统计猪的采食量;后期按照猪采食量进行饲喂,保证猪自由采食,自由饮水,每天记录猪的采食量。同时,观察猪的精神状态以及健康状况。对试验猪的饲养方式遵循猪场的常规方案。

表 1 肥育猪基础饲粮组成与营养水平

原料组成	配比 /%	营养指标	营养水平
玉米	51.00	消化能 / (MJ · kg ⁻¹)	12.75
大豆粕	14.00	粗蛋白质 /%	15.41
柠檬酸渣小	14.00	赖氨酸 /%	0.72
麦麸	7.00		
酵母培养物	10.00	钙 /%	0.51
预混料	4.00	总磷 /%	0.46

1.3 指标测定

1.3.1 猪健康指标每天观察记录每组猪的健康状况，如腹泻情况、被毛状况、其他疾病等。腹泻指数按申书婷等（2015）介绍的方法计算。

1.3.2 生长性能指标和饲料报酬在试验开始时，对每组猪进行个体称重，记录每头猪的始重；每天分别记录各组猪的采食量，期末统计总采食量；在试验结束后对猪进行个体称重，记录每头猪的末重。记录每种饲料成分的经济单价。

猪平均日增重（ADG）=（末重 - 始重）/ 饲养天数
猪平均日采食量（ADFI）= 总采食量 / 饲养天数
料重比（F/G）= 总采食量 /（末重 - 始重）

1.3.3 猪血清生化指标在试验结束时，每组随机选取 6 头猪，空腹进行前腔静脉采血，每头猪采血约 10mL。将血液移入 10mL 样品管中，静置，以 3000r/min 的转速进行离心 15min，分离获得的血清样品于 -20℃ 冰箱内保存。对各血清样中的葡萄糖

（GLU）、总蛋白（TP）、总胆固醇（T-Cho）、甘油三酯（TG）、尿素氮（UN）、谷丙转氨酶（GPT）活性、谷草转氨酶（GOT）活性总、总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性、丙二醛（MDA），按照试剂盒上的操作方法进行测定。

1.4 数据处理与统计分析

对测定的试验数据用 Excel2010 进行计算，对试验结果运用 SPSS22.0 软件 One-WayANOVA 方法进行单因素方差分析，用 Duncan's 分析方法对各组差异的显著性进行多重比较，其中，P > 0.05 表示差异不显著，P < 0.05 表示差异显著，P < 0.01 表示差异极显著；各组试验数据以平均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 猪健康状况

经观察，各组猪均无腹泻情况，也无其他疾病。

2.2 生长性能和饲料报酬测定结果

由表 2 可看出，在试验开始时各组猪的平均体重差异不显著，试验末重各试验组显著高于对照组，但各试验组之间差异不显著（P > 0.05）；试验 1、2、3 组猪日增重较对照组分别提高了 19.69%（P < 0.05）、25.64%（P < 0.05）、13.21%（P < 0.05）；试验 1、2、3 组饲料转化率分别比对照组提高 14.09%、17.78%、15.40%，饲料转化率提高幅度虽较大，但未达到显著水平（P > 0.05）。

表 2 肥育猪生长性能的测定结果

项目	对照组	试验 1 组	试验 2 组	试验 3 组
样本数 / 头	30	30	30	30
始重 /kg	62.43 a ± 6.55	62.07 a ± 7.17	61.90 a ± 6.23	61.90 a ± 6.44
末重 /kg	92.70 a ± 8.11	98.30 b ± 8.76	99.93 b ± 9.01	96.17 b ± 7.95
增重 /kg	30.27	36.23	38.03	34.27
平均日增重 /g	687.95 a ± 150.62	823.41 b ± 160.11	864.32 b ± 162.73	778.86 b ± 147.99
料重比	3.97	3.48	3.37	3.44
饲料转化率 /%	25.19	28.74	29.67	29.07
日增重比对照组提高 /%		19.69	25.64	13.21
饲料转化率比对照组提高 /%		14.09	17.78	15.40

注：同行肩标小写字母不同表示差异显著（P < 0.05），含有相同小写字母表示差异不显著（P > 0.05），下同。

由表 3 可知,以食用大豆油、罐底大豆油、大豆油脚等量替代基础饲粮中的玉米以后,猪每千克增重所需要的饲料成本分别降低了 11.06%、13.11%、11.63%。由此可见,采用试验组饲粮饲喂猪能降低饲料成本,提高饲料报酬。

表 3 饲料报酬元

项目	对照组	试验 1 组	试验 2 组	试验 3 组
每千克饲粮成本	2.21	2.24	2.26	2.20
每千克增重所需饲粮成本	8.77	7.80	7.62	7.75

2.3 血清生化指标测定结果

由表 4 可知,试验 1、2、3 组猪血清葡萄糖浓度分别较对照组提高了 29.58%、28.80%、21.73%,均达到了差异显著水平 ($P < 0.05$);试验 1、2、3 组猪血清谷丙转氨酶活性分别较对照组显著降低了 13.09%、12.19%、11.54%;试验 1、2、3 组猪血清谷草转氨酶活性分别较对照组降低了 1.42% ($P > 0.05$)、8.25% ($P > 0.05$)、8.85% (P

< 0.05);试验 1、2、3 组猪血清总蛋白浓度分别较对照组提高了 8.72%、7.19%、12.68%,均达到了差异显著水平 ($P < 0.05$);试验 1、2 组猪血清总胆固醇浓度较对照组分别降低了 7.50% ($P > 0.05$)、12.5% ($P < 0.05$),试验 3 组猪血清总胆固醇浓度较对照组提高了 3.33% ($P > 0.05$);试验 1、2、3 组猪血清甘油三酯分别较对照组提高了 5.47%、6.72%、3.98%,都达到了差异显著水平 ($P < 0.05$);试验 1、2、3 组猪血清尿素氮浓度分别较对照组降低了 6.41%、5.83%、3.30%,均未达到差异显著水平 ($P > 0.05$);试验 1、3 组猪血清总超氧化物歧化酶活性较对照组分别提高了 1.53% ($P > 0.05$)、9.73% ($P < 0.05$),试验 2 组猪血清总超氧化物歧化酶活性较对照组降低了 1.50% ($P > 0.05$);试验 1、2、3 组猪血清丙二醛浓度分别较对照组降低了 12.67%、15.83%、16.75%,均达到了差异显著水平 ($P < 0.05$)。

表 4 肥育猪血清生化指标的测定结果

项目	对照组	试验 1 组	试验 2 组	试验 3 组
样本数 / 头	6	6	6	6
葡萄糖 / ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$3.82 \text{ a} \pm 0.26$	$4.95 \text{ b} \pm 0.35$	$4.92 \text{ b} \pm 0.42$	$4.65 \text{ b} \pm 0.37$
甘油三酯 / ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$0.402 \text{ a} \pm 0.122$	$0.424 \text{ b} \pm 0.114$	$0.429 \text{ b} \pm 0.124$	$0.418 \text{ b} \pm 0.137$
总蛋白 / ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$56.78 \text{ a} \pm 3.33$	$61.73 \text{ b} \pm 10.49$	$60.86 \text{ b} \pm 8.46$	$63.98 \text{ b} \pm 9.76$
尿素氮 / ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$5.15 \text{ a} \pm 0.16$	$4.82 \text{ a} \pm 0.11$	$4.85 \text{ a} \pm 0.16$	$4.98 \text{ a} \pm 0.10$
谷丙转氨酶 / ($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	$140.00 \text{ a} \pm 22.39$	$121.67 \text{ b} \pm 28.82$	$122.93 \text{ b} \pm 16.81$	$123.85 \text{ b} \pm 18.28$
谷草转氨酶 / ($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	$81.10 \text{ a} \pm 10.75$	$79.95 \text{ a} \pm 12.29$	$74.41 \text{ b} \pm 17.13$	$73.92 \text{ b} \pm 16.77$
总胆固醇 / ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$2.40 \text{ b} \pm 0.314$	$2.22 \text{ ab} \pm 0.323$	$2.10 \text{ a} \pm 0.361$	$2.48 \text{ b} \pm 0.347$
总超氧化物歧化酶 / ($\text{U} \cdot \text{mL}^{-1}$)	$106.89 \text{ a} \pm 5.89$	$108.53 \text{ a} \pm 7.62$	$105.29 \text{ a} \pm 6.29$	$117.29 \text{ b} \pm 4.02$
丙二醛 / ($\text{nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$)	$5.755 \text{ a} \pm 0.870$	$5.026 \text{ b} \pm 1.220$	$4.844 \text{ b} \pm 0.922$	$4.791 \text{ b} \pm 0.511$

3 讨论

3.1 不同品质大豆油对肥育猪生长性能和饲料转化率的影响

本试验中,分别以食用大豆油、罐底大豆油、大豆油脚等量替代饲粮中玉米,肥育猪的日增重较对照组分别提高 19.69%、25.64%、13.21%;饲料转化率较对照组分别提高 14.09%、17.78%、

15.40%;各试验组猪日增重和饲料转化率均无显著差异 ($P > 0.05$)。产生上述结果原因可能是由于给各试验组猪补充了油脂,提高了饲粮中的能量浓度,改善了猪的能量营养状况,所以各试验组猪的日增重增加;另外,油脂的热增耗(体增热)少,油脂又能延长饲粮在消化道中的停留时间,饲粮中的养分可被充分地消化吸收,所以饲料转化率提高。

更为可喜的是,加油的各试验组猪日增重和饲料转化率均无显著的差异($P > 0.05$)。品质稍次或稍差的罐底大豆油以及大豆油脚(主要含大豆磷脂,生产上人们称之为大豆油脚或大豆磷脂)在肥育猪中的饲用价值与品质好的食用油相似,且每千克增重所需饲料成本比食用油组少0.05~0.18元(参见表3)。更为重要的是,罐底大豆油以及大豆油沉淀物的饲用为猪提供了新的能量饲料来源。陈文等(2011)的试验研究结果表明,在饲料中添加玉米油或大豆油,肉鸡的体增重以及采食量显著地增加($P < 0.05$);但是,玉米油组和大豆油组肉鸡的体增重和采食量无显著的差异($P > 0.05$),肉鸡的胸肌重和腿肌重也无显著的影响($P > 0.05$)。Fébel等(2008)在肉鸡饲料中分别添加不同的油脂,两组肉鸡的生产性能无显著的差异($P > 0.05$)。李莉等(2007)在肉鸭饲料中添加大豆油,结果是能显著地提高肉鸭的饲料转化率($P < 0.05$),但添加不同比例大豆油的各试验组差异不显著($P > 0.05$)。同时,添加大豆油的各组肉鸭日增重也显著地提高($P < 0.05$),这些结果与李海卫(2005)的试验研究结果相似。

3.2 不同品质大豆油对肥育猪血清生化指标的影响本试验中,各试验组猪血清中葡萄糖、总蛋白以及甘油三酯含量均显著高于对照组($P < 0.05$),但各试验组上述参数不显著($P > 0.05$)。其原因是,当猪摄入添加油脂的饲料后,猪体内的脂肪酸和甘油等成分含量必然增多,体内能源物质增多。引发的结果是,体内葡萄糖和蛋白质消耗量减少。所以,补充油的各试验组猪血清中葡萄糖、总蛋白和甘油三酯含量均显著地高于对照组($P < 0.05$)。另外,大豆油中富含不饱和脂肪酸(UFA),可抑制葡萄糖(分解)代谢过程中多种酶的活性,因而葡萄糖消耗量又减少。李英等(1999)在肥育固始鸭饲料中添加大豆油后,其血液中葡萄糖含量较对照组提升了3.87倍。反映动物体内蛋白质代谢状况的一个重要指标就是血清中总蛋白含量。血清内总蛋白含量多,表明动物的蛋白质营养状况好;

反之,动物的蛋白质营养状况可能较差。另一方面,动物的蛋白质营养状况好,其生长速度也可能较快,饲料转化率也会较高。血清中的尿素氮是动物蛋白质代谢的尾产物。如果动物体内蛋白质分解代谢强度大,那么其血清中的尿素氮含量会增多。本试验中,各试验组猪血清尿素氮含量较对照组少,虽未达到统计学显著的程度($P > 0.05$),但在一定程度上说明给猪补充油脂,能降低猪体内蛋白质的分解代谢,因而有利于猪的生长。于长宁等(2014)的试验结果表明,不同来源的能量对杜长大三元杂种猪血清中尿素氮含量没有显著的影响($P > 0.05$)。本试验中,食用大豆油组和罐底大豆油组猪血清中总胆固醇含量较对照组少,且罐底大豆油组猪血清中总胆固醇含量显著地减少($P < 0.05$)。这可能是由于大豆油中不饱和脂肪酸含量较高,在一定程度上抑制了胆固醇的合成。吴卉等(2011)研究表明,大豆油能降低肉鸡体内血清中胆固醇的含量。本试验中,补充罐底大豆油沉淀物(主要含磷脂)组猪血清SOD活性显著地高于对照组和其他试验组($P < 0.05$),这表明磷脂可能增强超氧化物歧化酶的活性。补充大豆油脂的各试验组猪血清丙二醛含量显著地少于对照组($P < 0.05$)。其原因可能是,大豆油脂中含有较多的维生素E(93~165mg/L)。补充大豆油脂的各试验组猪血清中谷丙转氨酶活性显著地低于对照组($P < 0.05$),谷草转氨酶活性不同程度地低于对照组,其原因也可能是大豆油脂中含有较多的维生素E,使得肝、心脏等组织细胞的结构稳定性增强,谷丙转氨酶和谷草转氨酶由细胞中溢出而进入血清中少。衡量肝功能的一个重要指标就是血清中谷丙转氨酶活性。

4 小结

本试验结果表明,在饲料中添加不同品质的大豆油,可改善肥育猪的营养状况和营养生化代谢,促进猪的生长,提高饲料转化率,提高猪组织细胞的稳定性,增强猪体的抗氧化能力,降低猪每千克增重所需要的饲料成本。

(转自养猪)

不同水平乳化均衡油粉对断奶仔猪生产性能和血清指标的影响

代发文^{1, 2} 赵世伟^{3, 4} 张燕兵^{3, 4} 何福庆^{3, 4} 金木曲^{1, 2} 黄霞^{1, 2}

(1. 乐山师范学院, 四川乐山 614000; 2. 四川林业草原竹纤维营养创新开发工程技术研究中心, 四川乐山 614000; 3. 山东创脂生物科技有限公司, 山东滨州 256606; 4. 山东中牧饲料科技有限公司, 山东滨州 256606)

为提高养殖生产效率, 早期断奶已成为集约化养猪生产中的常用技术之一。这种饲养管理方法能显著提高母猪繁殖效率、减少母源疾病的垂直传播(冷董碧, 2007), 但由于仔猪断奶后会出现断奶应激, 同时营养物质供给由母乳变为玉米-豆粕型日粮, 而断奶仔猪消化酶系统发育未成熟, 各种消化酶的分泌不能满足对植物蛋白和淀粉的消化(何晓学等, 2023), 可能导致机体能量供应不足进而影响仔猪生长。脂肪作为三大常量营养物质之一, 能值最高的营养物质, 也是断奶仔猪重要的能量来源(Li 等, 2023)。在日粮中添加油脂能够提高日粮能量水平, 弥补能量不足, 为动物提供必需脂肪酸, 作为脂溶性维生素载体促进吸收, 还可以延长食糜在胃肠道中的滞留时间, 进而延长营养物质的消化吸收时间, 提高营养物质利用率(French 等, 1994)。油脂还可以通过改善肠道屏障功能、减少肠道炎症和调节肠道微生物组成来缓解断奶应激(Upadhaya 等, 2017; Liu, 2015; Liu 等, 2012)。

饲用油脂种类繁多, 按来源可分为动物油脂(猪油、牛油、鱼油等)、植物油脂(大豆油、菜籽油、花生油等)和动植物混合油。不同来源油脂的能值和必需脂肪酸组成有差异, 具有的营养功能也不同。按组成类型可分为单一油脂和复合油脂, 单一油脂通常是由一种油脂构成, 其脂肪酸种类和比例相对

固定; 复合油脂则是由两种或两种以上油脂混合而成, 其脂肪酸种类和比例可以根据需要进行调配。混合油脂的应用效果通常比单一油脂更好。冷董碧(2007)比较豆油组、猪油组、鱼油组、混合油组(豆油与猪油按 1: 1 混合)四种不同油脂的应用效果, 结果发现与对照组相比, 四个油脂试验组仔猪腹泻率呈下降趋势, 料肉比均显著降低, 其中混合油组料肉比改善幅度最大。由于油脂产品种类较多, 研究发现, 乳化均衡油粉比大豆油和乳化椰子油粉更能促进断奶仔猪肠道健康和生长性能(Dai 等, 2024)。本试验拟进一步研究不同水平乳化均衡油粉对断奶仔猪生长性能和血清生化指标的影响, 为确定该油脂产品的应用方案和应用价值提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料乳化均衡油粉(EBO)由山东创脂生物科技有限公司提供, 油脂经抗氧化、乳化、包被等工艺制备成乳仔猪专用乳化脂肪粉, 载体为膨化玉米。EBO 脂肪含量为 50%, 由植物油和动物油混合制备, 单不饱和脂肪酸: 多不饱和脂肪酸: 饱和脂肪酸为 1.3: 1.0: 1.4, EPA+DHA 占比为 1%, 消化能为 26.18MJ/kg。豆油为一级大豆油。

1.2 试验设计试验采用单因素设计, 选用 96 头(28±1)日龄、体重相近、健康的杜×长×大三元杂交断奶仔猪, 根据体重和性别随机分为 4 组, 每组 6 个重复, 每个重复 4 头(公母各半)。预饲

3d，正式试验期为 20d。

1.3 试验日粮试验饲料参考 NRC（2012）及我国《猪营养需要量》（GB/T39235-2020）配制，饲料原料组成及营养水平见表 1 所示。

1.4 饲养管理动物试验在山西省朔州市某规模猪场进行，所使用的动物和操作均符合《中国动物福利和实验操作指南》。试验期间，保证猪自由采食和饮水，按照猪场的规范化管理流程进行饲养管理，每日定时观察猪只采食及健康状况。

1.5 样品采集试验结束当天早上 7：00 每组随机选择 6 头接近平均体重仔猪（公母各半），前腔静脉采集血液 10mL 放入促凝管，静置 30min，3000r/min、4℃离心 10min，血清分装后 -20℃保存待测。

1.6 测定指标与方法

1.6.1 腹泻指标以重复为单位准确记录每日仔猪腹泻头数，计算平均腹泻率，同时参考标准对粪便进行评分（Hu 等，2012），评分标准见表 2 所示，

表 1 试验饲料组成及营养水平

项目	CON 组	TRE1 组	TRE2 组	TRE3 组
饲料组成				
玉米 / (g/kg)	204	207	185	163
碎米 / (g/kg)	200	200	200	200
发酵豆粕 / (g/kg)	120	120	120	120
膨化大豆 / (g/kg)	120	120	120	120
46% 豆粕 / (g/kg)	46	43	45	47
大豆油 / (g/kg)	20			
乳化均衡油粉 / (g/kg)		20	40	60
低蛋白乳清粉 / (g/kg)	120	120	120	120
葡萄糖 / (g/kg)	60	60	60	60
奶粉 / (g/kg)	60	60	60	60
预混料 / (g/kg) 营养水平	50	50	50	50
消化能 / (MJ/kg)	15.28	14.91	14.99	15.08
净能 / (MJ/kg)	11.30	10.99	11.10	11.20
粗蛋白质 /%	17.64	17.65	17.69	17.73
粗脂肪 /%	6.94	5.97	6.89	7.82
赖氨酸 /%	1.46	1.46	1.46	1.46

项目	CON 组	TRE1 组	TRE2 组	TRE3 组
蛋氨酸 /%	0.56	0.56	0.55	0.55
蛋氨酸 + 半胱氨酸 /%	0.94	0.94	0.94	0.93
苏氨酸 /%	0.95	0.94	0.94	0.94
色氨酸 /%	0.27	0.27	0.27	0.27

注：（1）预混料为每千克日粮提供 VitA13125IU，VD33125IU，VE111IU，VitK36.3mg，VitB13.3mg，VitB213.2mg，VitB67.7mg，VitB120.063mg，烟酸 64.0mg，泛酸 30.6mg，叶酸 2.0mg，biotin0.3mg，Fe215mg，Cu103mg，Zn1587mg，Mn32mg，Se0.47mg，I0.2mg。（2）营养水平为计算值。

粪便评分达到 3 分及以上即判定为腹泻。粪便评分由经过训练的两名评定员进行，当评定不一致时需经过讨论后确定评分，以重复为单位计算平均粪便评分。

平均腹泻率 /% = 试验期内该组仔猪腹泻的总头次数 /（该组仔猪总头数 × 试验天数）× 100。

表 2 仔猪粪便评分标准

评分	评分依据（粪便外观）	评定结果
1	粪便较硬或呈颗粒状	不常见
2	正常粪便，松软成形	无腹泻
3	粪便松散，部分成形	轻度腹泻
4	半液体粪便，粪水未分离	中度腹泻
5	水样粪，粪水分离	重度腹泻

1.6.2 生长性能饲养试验开始和结束当天早上 7：00，以重复为单位称取空腹已 12h 仔猪体重，准确记录每天耗料量，计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）及料肉比，计算公式如下：

平均日增重(ADG)=(末重-初重)/试验天数;

平均日采食量(ADFI)=(试验期内供料量-试验期内剩料量)/试验天数;

耗料增重比=消耗饲料总量(kg)/增重总量(kg)。

试验期结束当天早上对所有试验仔猪按标准进行皮毛评分，评分标准见表 3 所示（郑伦学，2015）。

表 3 仔猪皮毛评分标准

评分	皮肤红润程度	毛色亮度	毛顺程度
1	苍白	无光泽	明显凌乱
2	微红	微弱光泽	微弱凌乱
3	红润	明显光泽	柔软

1.6.3 血清生化指标血清甘油三酯、总胆固醇、葡萄糖、胰高血糖素和胰岛素含量采用酶标仪测定，血清游离脂肪酸含量采用可见光分光光度计测定，具体操作参照试剂盒说明书。试剂盒均购自南京建成生物工程研究所，试剂盒规格编号分别为 A110-1-1、A111-1-1、A154-1-1、H183-1-2、H203-1-2 和 A042-1-1。

1.7 数据处理与统计分析所有数据以重复为统计单位，采用 SPSS26.0 统计软件 one-wayANOVA 程序进行单因素方差分析，用 LSD 法进行多重比较。结果以“平均值 ± 标准误”表示， $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同水平乳化均衡油粉对断奶仔猪腹泻指标的影响由图 1 可知，与 CON 组相比，TRE1 和 TRE2 组仔猪平均腹泻率显著降低（ $P<0.05$ ），分别降低 40.69% 和 42.63%。随着乳化均衡油粉添加水平增加，仔猪腹泻率增加，TRE3 组仔猪平均腹泻率显著高于 TRE1 和 TRE2 组（ $P<0.05$ ）。与此相似的是，TRE1 和 TRE2 组仔猪粪便评分值显著低于 CON 组和 TRE3 组（ $P<0.05$ ），更加趋近于正常粪便评分值 2 分。上述结果表明，在断奶仔猪饲料中添加适量（2%~4%）乳化均衡油粉替代 2% 大豆油有降低仔猪腹泻作用，而添加水平增加至 6% 则无此效果。

2.2 不同水平乳化均衡油粉对断奶仔猪生长性能的影响由表 4 可知，与 CON 组相比，TRE1、TRE2、TRE3 组仔猪平均日增重均显著增加（ $P<0.05$ ），分别提高了 29.58%、46.48% 和 33.80%，料肉比均显著降低（ $P<0.05$ ）。各试验

组仔猪平均日采食量和皮毛评分均无显著性差异（ $P>0.05$ ）。上述结果表明，本试验条件下，添加 2%~6% 乳化均衡油粉替代 2% 大豆油对仔猪采食和皮毛感官并无明显影响，但能促进生长和改善饲料报酬，其中以添加 4% 组数值上表现最好。

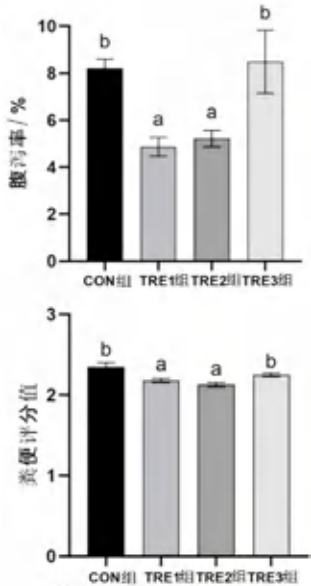


图 1 不同水平 EBO 对断奶仔猪腹泻指标的影响

表 4 不同水平 EBO 对断奶仔猪生长性能的影响

项目	CON 组	TRE1 组	TRE2 组	TRE3 组	SEM	P
初重 / kg	8.88	8.81	8.78	8.98	0.21	0.989
末重 / kg	13.15a	14.33ab	15.03b	14.68ab	0.27	0.086
总增重 / kg	4.27a	5.52b	6.25b	5.70b	0.17	0.000
ADFI / (g/d)	334	323	343	345	24	0.982
ADG / (g/d)	213a	276b	312b	285b	8	0.000
料肉比	1.57b	1.17a	1.10a	1.21a	0.04	0.000
被毛评分	2.53	2.56	2.33	2.36	0.06	0.454

注：同行数据肩标不同字母者表示差异显著（ $P<0.05$ ），相同字母或无字母表示差异不显著（ $P>0.05$ ）；下同。

2.3 不同水平乳化均衡油粉对断奶仔猪血清生化指标的影响由表 5 可知，随着乳化均衡油粉添加水平增加，仔猪血清游离脂肪酸含量逐步升高，与 CON 组相比，TRE2 和 TRE3 组仔猪血清游离脂肪

酸含量显著升高 ($P < 0.05$)，分别提高了 84.27% 和 100.51%。各试验组仔猪血清甘油三酯和总胆固醇含量均无显著性差异 ($P > 0.05$)。添加不同水平 EBO 替代大豆油对仔猪血清葡萄糖、胰岛素和胰高血糖素均无显著性影响 ($P > 0.05$)，在数值上 TRE1、TRE2、TRE3 组仔猪血清胰岛素含量均低于对照组 ($P > 0.05$)，血糖含量均高于对照组 ($P > 0.05$)。上述结果表明，本试验条件下，添加 2%~6%EBO 替代大豆油主要通过调控血清脂肪酸水平促进脂类代谢，而对糖代谢影响不明显，在日粮脂肪含量相近情况下乳化均衡油粉促进脂类代谢效果优于大豆油。

表 5 不同水平 EBO 对断奶仔猪血清生化指标的影响

项目	CON 组	TRE1 组	TRE2 组	TRE3 组	SEM	P
甘油三酯 / (mmol/L)	0.90	0.74	0.68	0.98	0.06	0.289
总胆固醇 / (mmol/L)	0.74	0.82	0.97	0.82	0.07	0.723
游离脂肪酸 / ($\mu\text{mol/L}$)	220.71a	261.09a	406.71b	442.55b	24.48	0.000
葡萄糖 / (mmol/L)	2.09	2.48	2.35	2.56	0.11	0.528
胰岛素 / ($\mu\text{mol/L}$)	13.88	8.80	8.89	8.07	1.11	0.234
胰高血糖素 / (pg/mL)	473.54	468.17	492.89	475.34	20.49	0.980

3 讨论

3.1 不同水平乳化均衡油粉对断奶仔猪腹泻指标的影响在仔猪断奶后，由于断奶应激、饲养环境的变化以及仔猪胃肠道消化功能发育不完善，易导致仔猪发生腹泻，严重者可能导致其死亡，并且死亡率达 10%~20% (郭勇等, 2024)。断奶仔猪腹泻的直接原因是仔猪对日粮消化率低下 (陈代文,

1994)，仔猪脂肪吸收不足将导致肠道屏障受损、腹泻甚至死亡 (Li 等, 2023)。通过脂肪酸平衡和油脂乳化将有助改善脂肪吸收进而降低腹泻发生。研究发现，通过油脂乳化可以减轻棕榈油对断奶仔猪肠道的负面影响，改善脂肪酸转运系统和屏障功能 (Tian 等, 2021)。不同乳化方式处理脂肪的超微结构存在差异，在新生仔猪应用中也表现出不同的脂肪消化率 (Bach 等, 2021)。沈铭等 (2024) 研究发现，保育猪饲料中添加 2% 的复合油脂等量替代大豆油可显著提高肠道屏障功能紧密连接蛋白 -1 和闭锁小带蛋白 -2 表达水平，但对腹泻率无明显影响。本试验发现，在断奶仔猪日粮添加 2%、4%EBO 替代 2% 大豆油显著降低了仔猪腹泻率，这可能与本试验条件下断奶应激引发腹泻率较高 (超过 4%)，及所选用乳化均衡油粉的脂肪酸组成 (单不饱和脂肪酸: 多不饱和脂肪酸: 饱和脂肪酸为 1.3: 1.0: 1.4) 更加有效有关。相似地，研究发现，提高哺乳仔猪血浆 n-3: n-6 多不饱和脂肪酸 (PUFA) 比例有助于减少断奶后仔猪急性生理应激反应 (McAfee 等, 2019)。

3.2 不同水平乳化均衡油粉对断奶仔猪生长性能的影响断奶仔猪日粮中添加油脂不仅可以增加颗粒饲料的光泽，减少粉尘，改变饲料的物理性质和改善饲料的适口性 (刘弟书等, 2003)，而且可以提高饲料能量浓度，延长食糜在胃肠道中的流通速度，提高碳水化合物和蛋白质的消化利用率，并且能提供仔猪所需的必需脂肪酸，促进脂溶性维生素的吸收 (田冬冬等, 2016)。然而脂肪酸组成、乳化工艺和添加水平不同，都可能导致油脂在断奶仔猪中的应用效果存在差异。短链和中链脂肪酸具有较强亲水性，可以快速被肠黏膜吸收，并通过门静脉系统直接进入肝脏，而长链脂肪酸则不同，它们必须通过胆汁将脂肪酸乳化为细小微粒，再经过胰腺脂肪酶的水解作用，才能被肠道细胞所吸收 (Wang 等, 2013)。椰子油含有较高比例饱和和短链脂肪酸，

大豆油含有较高比例长链不饱和脂肪酸。研究发现,与单独添加椰子油或大豆油相比,大豆油和椰子油组合有提高断奶仔猪中链脂肪酸回肠消化率和肠道绒毛高度趋势作用,并显著提高了平均日增重(Li等,1990)。与此相似的是,本试验也发现,添加乳化均衡油粉试验组仔猪生长性能优于单独添加大豆油组,表明本试验所选用乳化均衡油粉的脂肪酸组成(单不饱和脂肪酸:多不饱和脂肪酸:饱和脂肪酸为1.3:1.0:

1.4)可能更加有利于仔猪脂肪代谢。

油脂的应用效果还与添加水平有关。郑荷花等(2013)研究发现,在断奶仔猪饲料中添加3%复合乳化脂肪粉替代2%大豆油可显著提高粗脂肪消化率和平均日增重,而2%和2.5%复合乳化脂肪粉组与对照组之间未达到显著差异。本试验发现,2%、4%、6%乳化均衡油粉替代2%大豆油均显著提高了平均日增重,可能本试验条件下与所选用复合脂肪的脂肪酸组成和乳化工艺有关。

在断奶仔猪饲料中添加不同水平中链脂肪酸(MCFA)混合物(比例为1:1:1的C6:0、C8:0和C10:0),结果发现随着MCFA混合物添加水平的增加,ADG、ADFI和饲料效率线性提高(Gebhardt等,2020)。研究发现,随着日粮中不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸(UFA/SFA)比例增加,猪ADG和ADFI均呈线性下降,当UFA/SFA比例过高或过低时会对生长性能产生负面影响(Chen等,2021)。本试验所选用乳化均衡油粉的脂肪酸组成比例可作为一种断奶仔猪用复合油脂方案的参考。

3.3 不同水平乳化均衡油粉对断奶仔猪血清生化指标的影响仔猪血清生理生化指标反映了仔猪体内代谢及其健康状况,其中血清总胆固醇和甘油三酯含量常用作脂类代谢的重要指标(Sato,2010)。研究发现,添加8%乳化椰子粉可显著增

加断奶仔猪血清总胆固醇含量,而4%组血清脂质指标与对照组无明显差异(黄阳,2014)。与此相似的是,本试验结果发现,添加乳化均衡油粉替代大豆油对仔猪血清总胆固醇和甘油三酯含量无显著性影响,这可能与日粮中总脂肪水平差异较小有关。本试验发现,随着EBO添加水平增加,仔猪血清游离脂肪酸含量逐渐升高,4%和6%EBO组仔猪血清游离脂肪酸含量显著高于2%EBO组。血清游离脂肪酸主要是脂肪代谢的中间产物,也是机体细胞能量代谢的重要代谢底物。游离脂肪酸水平反映了机体脂肪合成与分解之间的平衡状态,在脂肪合成过程中,游离脂肪酸可以被重新酯化为脂肪并存储在脂肪组织中。本试验发现,相似日粮脂肪水平下,4%EBO组仔猪血清游离脂肪酸含量显著高于2%大豆油组,这表明与大豆油相比,乳化均衡油粉可能更利于促进脂肪代谢。

血清游离脂肪酸水平还受到胰岛素、胰高血糖素等激素的调节,胰岛素可以通过抑制脂肪分解维持游离脂肪酸的水平,而胰高血糖素则促进脂肪分解并增加游离脂肪酸的水平(Stefanovski等,2021)。本试验发现,添加EBO有降低断奶仔猪血清胰岛素数值趋势作用,这可能有助于促进机体脂肪分解进而提高血清游离脂肪酸水平。脂类代谢和糖代谢都是机体能量供应的重要来源,关于补充油脂对断奶仔猪血清脂质代谢和糖代谢互作关系的影响有待于进一步深入研究。

4 结论

本试验条件下,在断奶仔猪饲料中添加乳化均衡油粉替代大豆油可能通过促进脂类代谢、改善脂类吸收、降低腹泻进而改善生长性能,其中以添加4%乳化均衡油粉应用效果最好。

(转自中国饲料)

乳化复合植物油粉对肉鸡生长性能、消化机能、血清生化指标和抗氧化机能的影响

邵坤¹ 刘晓龙¹ 王星杰¹ 谭子超¹ 任金山² 王述柏¹

(1. 青岛农业大学动物科技学院, 青岛 266109; 2. 山东和达农牧有限公司, 滨州 256600)

油脂作为能量饲料对畜禽有着重要的营养价值和生物学功能。在肉鸡饲粮上合理使用油脂作为能源, 不仅能提高肉鸡的生长性能, 还能促进饲粮中其他脂溶性营养物质的吸收利用。目前肉鸡饲粮中常用的饲用油脂有大豆油、棕榈油、玉米油、鱼油以及猪油等, 但在实际应用中肉鸡对饲用油脂的利用率一般不足 60%, 究其原因与肉鸡胆汁酸盐的分泌量不足以对饲粮中添加的高比例油脂充分乳化有关, 这不仅会造成油脂资源的浪费, 也对肉鸡健康产生了一定的负面影响。为解决油脂难以充分利用的问题, 外源乳化剂在肉鸡饲粮中得以应用。但相关研究表明, 乳化剂使用不当会对肉鸡健康产生不利影响, 如胆汁酸盐类乳化剂长期在饲粮中使用会破坏畜禽机体本身的肝胆循环引起相关消化酶的反馈抑制。另外, 常规饲用油脂如大豆油、玉米油等, 在饲料加工中存在难以混匀的问题。因此, 如何提高油脂类饲料原料的消化吸收且便于饲料加工, 是多年来畜牧生产中亟待解决的问题。将饲用油脂在体外乳化后制成乳化油粉有望解决这一难题。目前, 饲用乳化油脂产品在畜禽生产中的应用报道较少。本试验选用乳化复合植物油粉为试验材料, 其是由玉米油、花生油、大豆油等油脂经乳化剂乳化后制备的均质粉末状油粉, 以爱拔益加(AA)肉鸡为

试验动物, 研究饲粮中添加乳化复合植物油粉对肉鸡生长性能、消化机能、血清生化指标和抗氧化机能的影响, 并比较分析其与大豆油的差异, 旨在探究乳化复合植物油粉的使用效果并为其在肉鸡生产中的推广应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

乳化复合植物油粉: 由山东某公司提供, 主要原料为玉米油、大豆油、菜籽油、花生油、亚麻油、棕榈油、棕榈仁油、椰子油、稻米油、大豆磷脂油、改性磷脂、溶血卵磷脂、膨化玉米、麦芽糊精。经检测, 其粗脂肪含量为 50.70%, 粗纤维含量为 1.18%, 粗灰分含量为 4.07%, 水分含量为 3.02%, 表观代谢能(AME)值为 26.17MJ/kg。饲用优质大豆油: 青岛某公司提供, 粗脂肪含量为 99.9%。

1.2 试验设计

选取 120 只健康的 1 日龄 AA 肉鸡, 随机分为 2 组, 每组设 6 个重复, 每个重复 10 只。试验组饲喂以乳化复合植物油粉为脂肪源的饲粮, 对照组饲喂以常规大豆油为脂肪源的饲粮, 2 组饲粮的主要营养素水平基本一致, 试验饲粮组成及营养水平见表 1。肉鸡采用 3 层笼养, 自由采食和饮水。试验期 42d, 分为 1~21 日龄、22~42 日龄 2 个阶段。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

项目 Items	1 ~ 21 日龄 1 to 21 days of age		22 ~ 42 日龄 22 to 42 days of age	
	试验组 Experimental group	对照组 Control group	试验组 Experimental group	对照组 Control group
原料 Ingredients				
玉米 Corn	63.00	63.62	63.90	65.78
麸皮 Bran	0.40	0.50	0.50	0.54
豆粕 Soybean meal	25.70	25.28	20.00	20.70
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	5.00	5.20	6.75	6.00
乳化复合植物油粉 Emulsified compound vegetable oil powder	1.00		4.30	
大豆油 Soybean oil		0.49		2.45
赖氨酸 Lys	0.50	0.51	0.48	0.46
蛋氨酸 Met	0.20	0.20	0.17	0.17
磷酸氢钙 CaHPO4	1.70	1.70	1.70	1.70
石粉 Limestone	1.30	1.30	1.00	1.00
食盐 NaCl	0.20	0.20	0.20	0.20
预混料 Premix1)	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2)				
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.33	12.33	13.00	13.00
粗蛋白质 CP	20.45	20.46	19.85	19.87
粗脂肪 EE	3.68	3.66	5.40	5.65
钙 Ca	1.05	1.07	0.87	0.88
总磷 TP	0.60	0.59	0.58	0.56
可利用磷 AP	0.44	0.44	0.43	0.42
蛋氨酸 Met	0.49	0.49	0.45	0.45
赖氨酸 Lys	1.30	1.30	1.15	1.15
食盐 NaCl	0.20	0.20	0.20	0.20

1) 预混料可为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diets : Fe 95 mg , Cu 8 mg , Mn 120 mg , Zn

95 mg , Se 0.3 mg , I 0.7 mg , VA 11 500 IU , VD3 2 750 IU , VE 14 IU , VK3 0.8 mg , VB1 1.40 mg , VB2 8 mg , VB6 2.5 mg , VB12 0.7 mg , 生物素 biotin 0.3 mg , 叶酸 folic acid 0.6 mg , 泛酸 pantothenic acid 11.5 mg , 烟酸 nicotinic acid 37 mg , 氯化胆碱 cho_ line chloride 450 mg。

2) 粗蛋白质、粗脂肪、钙和总磷为实测值 , 其余为计算值 。 CP , EE , Ca and TP were measured

values , while the others were calculated values.

1.3 代谢试验

采用全收粪法进行代谢试验。饲养试验第 16 和 35 天自每个重复中选取体重接近平均体重的肉鸡 1 只 , 进行代谢试验。试验期间准确计算肉鸡采食量 , 每天定时收取排泄物 , 仔细挑出排泄物中毛屑杂物 , 排泄物连续收集 3d , 按每 100g 排泄物加入 10% 盐酸 10mL , 将处理好的样品置于 -20℃ 冰箱保存。

1.4 样品采集

于 42 日龄自每组每个重复随机取 2 只鸡 , 翅

静脉采血，4000r/min 离心 10min，取血清置于 1.5mL 离心管中，-20℃冰箱冻，待测血清生化指标和抗氧化指标。将取血后的鸡屠宰，迅速剖开腹腔，用棉线将十二指肠两端结扎，取出食糜后立即放入液氮中进行速冷处理，样品转入 -80℃超低温冰箱冻存，待测十二指肠食糜消化酶活性。

1.5 检测指标与方法

1.5.1 生长性能

分别于 1、21 及 42 日龄，以重复为单位称取肉鸡空腹体重，并准确记录肉鸡各阶段采食量，计算 1~21 日龄、22~42 日龄、1~42 日龄的平均日增重 (ADG)、平均日采食量 (ADFI) 及料重比 (F/G)。

1.5.2 养分含量及表观利用率

分 别 采 用 GB/T6433—2006、GB/T6432—2018、GB/T6436—2018、GB/T6437—2018 中方法，检测饲料和粪样中粗脂肪、粗蛋白质、钙、总磷含量，计算养分表观利用率。

1.5.3 十二指肠食糜消化酶活性

采用试剂盒（购自南京建成生物工程研究所）检测十二指肠食糜中胰蛋白酶（trypsin）、糜蛋白酶（chymotrypsin）、淀粉酶（amylase）、脂肪酶（lipase）活性。

1.5.4 血清生化指标

采用试剂盒（购自南京建成生物工程研究所）检测血清中总胆固醇（TC）、总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、钙、磷、葡萄糖（GLU）、甘油三酯（TG）含量。

1.5.5 血清抗氧化指标

采用试剂盒（购自南京建成生物工程研究所）检测血清中谷胱甘肽过氧化物酶（GSH_Px）和总超氧化物歧化酶（SOD）活性与丙二醛（MDA）含量。

1.6 数据处理与统计分析

使用 Excel2021 对试验数据进行初步整理，采用 SPSS22.0 统计软件进行独立样本 t 检验，结果以“平均值 ± 标准差”表示，P<0.05 表示差异显著，P<0.01 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 乳化复合植物油粉对肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知，1~21 日龄，试验组平均日增重较对照组提高 5.63% (P<0.05)，料重比较之降低 2.70% (P>0.05)。22~42 日龄，试验组平均日增重较对照组提高 4.38% (P<0.05)，料重比较之降低 2.55% (P>0.05)。1~42 日龄，试验组平均日增重较对照组提高 4.77% (P<0.05)，料重比较之降低 2.25% (P<0.05)。1~21 日龄、22~42 日龄、1~42 日龄的平均日采食量试验组均略高于对照组 (P>0.05)。

表 2 乳化复合植物油粉对肉鸡生长性能的影响

项目 Items	试验组 Experimental group	对照组 Control group	P 值 P_value
1 ~ 21 日龄 1 to 21 days of age			
平均日增重 ADG/g	33.61 ± 0.91a	31.82 ± 1.35b	0.02
平均日采食量 ADFI/g	48.22 ± 1.09	47.05 ± 1.82	0.21
料重比 F/G	1.44 ± 0.04	1.48 ± 0.06	0.18
22 ~ 42 日龄 22 to 42 days of age			
平均日增重 ADG/g	71.66 ± 1.28a	68.65 ± 2.66b	0.03
平均日采食量 ADFI/g	137.04 ± 5.70	134.26 ± 4.25	0.37
料重比 F/G	1.91 ± 0.06	1.96 ± 0.04	0.16
1 ~ 42 日龄 1 to 42 days of age			
平均日增重 ADG/g	51.35 ± 0.76a	49.01 ± 1.19b	0.01
平均日采食量 ADFI/g	89.12 ± 1.78	87.25 ± 1.75	0.10
料重比 F/G	1.74 ± 0.02b	1.78 ± 0.04a	0.02

同行数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) 。下表同。

In the same row , values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$) , while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$) . The same as below.

2.2 乳化复合植物油粉对肉鸡养分表观利用率的影响由表 3 可知, 1~21 日龄时, 试验组肉鸡对饲料粗脂肪的表观利用率显著高于对照组 ($P<0.05$) , 对饲料粗蛋白质、钙、总磷的表观利用率与对照组差异均不显著 ($P>0.05$) ; 22~42 日龄时, 试验组肉鸡对饲料粗脂肪和钙的表观利用率显著高于对照组 ($P<0.05$) , 对饲料粗蛋白质和总磷的表观利用率与对照组差异均不显著 ($P>0.05$) 。

表 3 乳化复合植物油粉对肉鸡养分表观利用率的影响

项目 Items	试验组 Experimental group	对照组 Control group	P 值 P_value
1 ~ 21 日龄 1 to 21 days of age			
粗蛋白质 CP	62.53 ± 2.19	61.22 ± 1.37	0.24
粗脂肪 EE	65.92 ± 2. 18a	62.93 ± 1.34b	0.02
钙 Ca	53.38 ± 1.25	52.70 ± 1.15	0.34
总磷 TP	46.09 ± 0.79	46.57 ± 0.39	0.21
22 ~ 42 日龄 22 to 42 days of age			
粗蛋白质 CP	67.94 ± 1.83	66.87 ± 1.25	0.26
粗脂肪 EE	75.03 ± 1.77a	71.55 ± 2.41b	0.02
钙 Ca	56.96 ± 2. 15a	53.21 ± 2.88b	0.03
总磷 TP	51.64 ± 1.06	50.57 ± 0.69	0.06

2.3 乳化复合植物油粉对肉鸡十二指肠食糜消化酶活性的影响

酶、脂肪酶活性显著高于对照组 ($P<0.05$) , 糜蛋白酶、淀粉酶活性与对照组无显著差异 ($P>0.05$) 。

由表 4 可知, 试验组肉鸡十二指肠食糜胰蛋白

表 4 乳化复合植物油粉对肉鸡十二指肠食糜消化酶活性的影响

项目 Items	试验组 Experimental group	对照组 Control group	P 值 P_value
胰蛋白酶 Trypsin	3 080.83 ± 41.91a	3 027.62 ± 15.62b	0.02
糜蛋白酶 Chymotrypsin	40.27 ± 0.47	40.05 ± 0.23	0.32
淀粉酶 Amylase	11.35 ± 0.83	12.08 ± 0.31	0.07
脂肪酶 Lipase	117.54 ± 5.57a	108.38 ± 3.81b	0.01

2.4 乳化复合植物油粉对肉鸡血清生化指标的影响由表 5 可知, 试验组肉鸡血清总胆固醇含量较

对照组降低 11.26%, 差异显著 ($P<0.05$) , 其他血清生化指标 2 组间差异不显著 ($P>0.05$) 。

表 5 乳化复合植物油粉对肉鸡血清生化指标的影响

项目 Items	试验组 Experimental group	对照组 Control group	P 值 P_value
总胆固醇 TC/(mmol/L)	6.66 ± 0.32b	7.41 ± 0.49a	0.02
总蛋白 TP/(g/L)	25.32 ± 2.42	24.79 ± 1.87	0.68
白蛋白 ALB/(g/L)	16.45 ± 0.84	15.61 ± 0.99	0.14
钙 Ca/(mmol/L)	2.45 ± 0.08	2.37 ± 0.01	0.06
磷 P/(mmol/L)	2.41 ± 0.03	2.56 ± 0.19	0.08
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	11.56 ± 0.74	11.43 ± 0.66	0.76

项目 Items	试验组 Experimental group	对照组 Control group	P 值 P_value
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.57 ± 0.06	1.59 ± 0.14	0.84

合植物油粉对肉鸡血清抗氧化指标的影响由表 6 可知，试验组肉鸡血清谷胱甘肽过氧化物酶活性显著高于对照组（ $P<0.05$ ），丙二醛含量显著低于对照组（ $P<0.05$ ），超氧化物歧化酶活性与对照组无显著差异（ $P>0.05$ ）。

表 6 乳化复合植物油粉对肉鸡血清抗氧化指标的影响

项目 Items	试验组 Experimental group	对照组 Control group	P 值 P-value
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	484.07 ± 13.95a	450.84 ± 18.78b	0.01
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	100.47 ± 4.94	97.21 ± 3.78	0.28
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	5.01 ± 0.12b	5.77 ± 0.52a	0.01

3 讨论

3.1 乳化复合植物油粉对肉鸡生长性能的影响

Hulan 等报道，猪油、牛油、家禽油与菜籽油配合使用能显著提高肉鸡的体重，降低料重比。王喜生等研究发现，饲料中添加 3% 的乳化油脂可显著提高肉鸡的平均日增重和平均日采食量。江蕾在肉鸡饲料中添加大豆油、鸡油复配的混合油脂，发现可显著提高快速型岭南黄肉鸡生长后期的生长性能。杨在宾等报道，肉鸡饲料中添加乳化油脂可显著提升肉鸡的平均日增重、出栏重，降低料重比。本试验结果显示，与大豆油比较，饲料中添加乳化复合植物油粉可显著提高肉鸡的平均日增重，降低料重比，与上述报道基本一致，乳化复合植物油粉的促生长作用可能与其对肉鸡消化吸收机能的改善有关。

3.2 乳化复合植物油粉对肉鸡消化机能的影响

据报道，含有胆汁酸等成分的复合乳化剂加入肉鸡饲料中能提高肉鸡对粗脂肪的利用率。张世忠等在肉鸡饲料中使用乳化油脂，肉鸡对粗脂肪和干物质的利用率显著提高。谢明凯报道，溶血卵磷脂和改性磷脂可以显著提高肉鸡对饲料粗脂肪的表观利用率。有研究表明，脂肪来源不同会影响肉鸡消化道脂肪酶活性，且饲喂富含不饱和脂肪酸的油脂时，脂肪酶的活性更高。阮剑均等在肉鸡饲料中使用富含不饱和脂肪酸的米糠毛油和大豆毛油，发现

能提高肉鸡胰腺消化酶活性。本试验结果显示，与大豆油相比，饲料中使用乳化复合植物油粉可显著提高肉鸡对饲料粗脂肪和钙的表观利用率，显著提高肉鸡十二指肠食糜胰蛋白酶、脂肪酶活性。本试验所用的乳化复合植物油粉中含有卵磷脂、改性磷脂等外源乳化剂，卵磷脂和改性磷脂均能促进肉鸡内源脂肪酶的分泌。因此，本试验中肉鸡小肠食糜中脂肪酶活性的提高可能是乳化剂促进了小肠对脂肪酶的分泌，脂肪酶活性提高有效提高了肉鸡对饲料粗脂肪的表观利用率。

3.3 乳化复合植物油粉对肉鸡血清生化指标的影响

张金生的试验结果表明，饲料中使用亚麻油和玉米油制备的调和油，可降低 42 日龄肉鸡血清总胆固醇和葡萄糖含量。本试验发现，与大豆油相比，饲料中使用乳化复合植物油粉能显著降低肉鸡血清中总胆固醇含量，究其原因可能与其中含有卵磷脂、脑磷脂等功能性物质有关。据报道，这些物质具有提高肝脏代谢能力、乳化脂肪、调节血清脂质和降低胆固醇等作用。

3.4 乳化复合植物油粉对肉鸡抗氧化机能的影响

血清谷胱甘肽过氧化物酶与超氧化物歧化酶活性能直接反映出机体抗氧化机能的强弱。丙二醛是脂质发生过氧化反应的产物，能间接反映组织细

胞的氧化损伤程度。于琪研究发现,将复合植物油用于生猪饲料中,能降低其血清丙二醛含量,并显著提高血清谷胱甘肽过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性。卫玲娟报道,肉鸡饲料中添加乳化剂和米糠油能显著降低其血清丙二醛含量。廖满等在肉鸡饲料中使用三乳酸甘油酯和橄榄油替代豆油,发现可显著提高冷应激肉鸡血清谷胱甘肽过氧化物酶与超氧化物歧化酶活性。本试验结果显示,乳化复合植物油粉与大豆油相比,显著降低了肉鸡血清丙二

醛含量,提高了谷胱甘肽过氧化物酶活性,这可能与乳化复合植物油粉中多种不饱和脂肪酸含量高有关,确切机制有待进一步研究。

4 结论

本试验结果表明,与大豆油相比,饲料中添加乳化复合植物油粉可提高肉鸡的生长性能和抗氧化机能,提高小肠食糜消化酶活性,从而提高肉鸡对饲料粗脂肪等养分的表观利用率。

(转自动物营养学报)

乳化复合植物油粉对 AA+ 肉鸡屠宰性能、肉品质和肌肉风味物质含量的影响

王星杰¹ 刘晓龙¹ 谭子超¹ 邵坤¹ 王述柏¹ 任金山²

(1. 青岛农业大学动物科技学院, 山东青岛 266109; 2. 山东和达农牧有限公司, 山东滨州 256600)

油脂是肉鸡饲料中常用的高效能量原料, 在饲料中适量添加, 除有效供能外, 还可改善饲料适口性、促进脂溶性维生素吸收、提高肉鸡采食量及生长性能。目前, 在饲料中常用的油脂多为液态黏稠状的植物油和动物油。在饲料加工过程中, 饲料厂虽利用了加热喷淋设备, 但油脂仍不易与其他饲料原料混合均匀, 且因植物性油脂的不饱和度大, 贮存期间易氧化酸败, 氧化产物对畜禽的健康有毒害作用, 因此粉末油脂应运而生。粉末油脂是指将植物油或动物油、乳化剂、包囊壁材及其他营养成分, 采用微胶囊技术、喷雾干燥技术等工艺加工而成的固体粉状油脂, 弥补了常规油脂的不足, 具有良好的稳定性、分散性、耐储存、易与其他饲料原料混合均匀等优点, 因此, 其具有较好的应用前景。据报道, 饲料用粉末油脂能够提高母猪生长速度、改善饲料适口性、提高饲料报酬和肉品质等。肉鸡对饲料脂肪的消化主要在小肠完成, 由于其肠道内源性乳化剂胆汁酸及脂肪酶分泌不足, 较难有效乳化脂肪, 导致对油脂吸收利用率较低。研究发现 21 日龄、42 日龄肉鸡对玉米-豆粕型饲料中脂肪的利用率分别为 51.92%、59.25%。另外, 目前饲料企业在饲料中多使用单一油脂, 不能满足畜禽对多种脂肪酸的需求。为解决上述问题, 饲用油脂的乳化引起业内关注。据报道, 饲用乳化油脂在畜禽肠道中的吸收效率是普通油脂的 1.5~2 倍, 并可缓解畜禽应激反应, 提高其生长速度。Wang 等报道饲料中添加乳化剂(由 95% 的硬脂酰-2-乳酸钠和 5%

的淀粉组成)可降低肉鸡腹脂沉积。Akit 等研究发现屠宰前 6 周猪饲料中添加乳化剂(卵磷脂)增加了母猪肌肉的红度。An 等报道饲料中添加乳化剂(溶血卵磷脂)可使肉鸡肌肉持水性显著升高, 蒸煮损失和剪切力显著降低。目前, 国内外有关乳化剂对畜禽生产应用报道较多, 但对乳化油脂的生产应用报道较少。国内外畜禽养殖规模的迅猛发展满足了人们对畜禽产品数量的需求, 未来人们对肉蛋品质和风味的要求将日益提高, 因此合理开发和利用油脂饲料原料, 对提高肉鸡生产性能和改善其肉品质具有重要意义。本试验通过在肉鸡饲料中添加乳化复合植物油粉(由多种天然植物油经科学配比及乳化技术制备, 富含多种脂肪酸), 探究其对肉鸡屠宰性能、肉品质和肌肉风味物质含量的影响, 旨在为其在肉鸡饲料中的推广应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

乳化复合植物油粉(饲料级): 主要由玉米油、大豆油、花生油、菜籽油、棕榈仁油、椰子油、改性磷脂、溶血卵磷脂、膨化玉米、麦芽糊精等组成, 主要营养成分含量(实测值): 家禽表现代谢能(ME)值为 26.17MJ/kg、粗脂肪 50.7%、水分 3.02%、灰分 4.07%、粗纤维 1.18%; 脂肪酸组成及含量: 月桂酸 C12 : 011.8g/kg, 豆蔻酸 C14 : 05.8g/kg, 棕榈酸 C16 : 0176.5g/kg, 硬脂酸 C18 : 036.4g/kg, 油酸 C18 : 1245.4g/kg, 亚油酸 C18 : 2452.2g/kg, 亚麻酸 C18 : 346.2g/kg。产品由山东和达农牧

有限公司提供。

对照样品：饲料级优质豆油（购自青岛正康饲料有限公司）。表观代谢能（ME）值为 30.07MJ/kg。脂肪酸组成及含量：月桂酸 C12：00.9g/kg，豆蔻酸 C14：01.1g/kg，棕榈酸 C16：0118.0g/kg，硬脂酸 C18：038.2g/kg，油酸 C18：1238.5g/kg，亚油酸 C18：2519.8g/kg，亚麻酸 C18：382.2g/kg。

1.2 试验设计与饲养管理

试验地点在青岛市畜牧科技示范园科研基地进行。将 120 只 1 日龄 AA+ 肉鸡（购自烟台大地牧业股份有限公司）随机分为 2 组，每组 6 个重复，

每个重复 10 只（公母各半）。肉鸡采用三层笼养，饲养期间自由采食和饮水，饲养管理按照 AA+ 肉鸡饲养管理手册执行。植物油粉组 1~21 日龄、22~42 日龄肉鸡饲粮分别使用 1.00%、4.30% 乳化复合植物油粉替代豆油组饲粮中 0.49%、2.45% 豆油，其他原料种类和主要营养素水平两组一致，饲粮为粉料。饲粮原料组成与营养水平见表 1。试验期 42d。

试验鸡的免疫程序：7 日龄免疫鸡新城疫 + 传染性支气管炎二联疫苗（LaSota 株 + QXL87 株）；14 日龄免疫鸡新城疫疫苗（LaSota 株）；21 日龄免疫鸡新城疫（LaSota 株）和禽流感疫苗（H9 亚型）。

表 1 饲粮原料组成与营养水平（风干基础）

原料组成	豆油组		植物油粉组		营养水平	豆油组		植物油粉组	
	1~21 日龄	22~42 日龄	1~21 日龄	22~42 日龄		1~21 日龄	22~42 日龄	1~21 日龄	22~42 日龄
玉米	63.62	65.78	63.00	63.90	代谢能 / (MJ/kg)	12.33	13.00	12.33	13.00
豆粕	25.28	20.70	25.70	20.00	粗蛋白质	20.46	19.87	20.45	19.85
玉米蛋白粉	5.20	6.00	5.00	6.75	粗脂肪	3.66	5.65	3.68	5.40
麸皮	0.50	0.54	0.40	0.50	钙	1.07	0.88	1.05	0.87
乳化油粉			1.00	4.30	总磷	0.59	0.56	0.60	0.58
大豆油	0.49	2.45			可利用磷	0.44	0.42	0.44	0.43
赖氨酸	0.51	0.46	0.50	0.48	蛋氨酸	0.49	0.45	0.49	0.45
蛋氨酸	0.20	0.17	0.20	0.17	赖氨酸	1.30	1.15	1.30	1.15
磷酸氢钙	1.70	1.70	1.70	1.70	食盐	0.20	0.20	0.20	0.20
石粉	1.30	1.00	1.30	1.00					
食盐	0.20	0.20	0.20	0.20					
预混剂	1.00	1.00	1.00	1.00					
合计	100.00	100.00	100.00	100.00					

注：预混料为每千克饲粮提供：Fe95mg，Cu8mg，Mn120mg，Zn95mg，Se0.3mg，I0.7mg；VA11500IU，VD32750IU，VE14IU，VK30.8mg，VB11.40mg，VB28mg，VB62.5mg，VB120.7mg，生物素 0.3mg，叶酸 0.6mg，泛酸 11.5mg，烟酸 37mg，氯化胆碱 450mg；粗蛋白质、粗脂肪、钙和总磷为实测值，其余为计算值。

1.3 主要仪器

肉质分析仪（CR-400 型，日本 KonicaMinolta 公司）、肌肉嫩度仪（C-LM3 型，北京布拉德科技公司）、氨基酸分析仪（A388pro 型，德国曼默博尔公司）、高效液相色谱仪（LC-16 型，日本岛津

公司）、真空冷冻干燥机（FD-1A-80 型，上海舜制仪器制造公司）。

1.4 检测指标及方法

1.4.1 生长性能

分别于 1 日龄、42 日龄，以重复为单位对试验

鸡进行空腹称重，准确记录采食量。计算 1~42 日龄的平均日增重、平均日采食量、料重比。

1.4.2 屠宰性能

于第 42 天，每重复取 2 只鸡（公母各 1 只），空腹 12h，颈部放血屠宰，参照文献方法测定屠宰率、半净膛率、全净膛率、胸肌率、腿肌率、腹脂率、皮脂厚、肌间脂宽（采用游标卡尺测量胸骨侧突部位肌间脂肪带两端及中部三个位置的宽度，结果取平均值）；解剖取心脏、肝脏、肺脏、腺胃、肌胃、脾、法氏囊，准确称重，计算器官指数。计算公式：器官指数（g/kg）= 器官重（g）/ 屠体重（kg）。

1.4.3 鸡肉品质

取 1.4.2 肉鸡胸肌，测定肉色、滴水损失、蒸煮损失和剪切力。

肉色：测定胸肌红度（a* 值）、黄度（b* 值）、亮度（L* 值）；滴水损失：将胸肌切成长 5cm、宽 3cm、厚 2cm 长条并称重（m1），悬吊于塑料袋中（肉样不与塑料袋壁接触）置 4℃冰箱中冷藏 24h，取出用滤纸吸净肉样表面水分并称重（m2），滴水损失（%）=（m1-m2）/m1×100%；蒸煮损失：取 10g 左右肉样，准确称重（m1），密封于塑料袋内置 75℃水浴锅中 30min，冷却后用滤纸吸净肉样表面水分并称重（m2），蒸煮损失（%）=（m1-m2）/m1×100%；剪切力：在胸肌上沿肌肉纤维方向修剪大小约 4.0cm×1.0cm×0.5cm 的长条肉样 3 条，用肌肉嫩度仪垂直肌肉方向切割，记录剪切力，重复 10 次取平均值。

1.4.4 鸡肉肌苷酸及其相关核苷酸含量

取 1.4.2 肉鸡胸肌，绞肉机搅碎混匀，样品冷冻干燥后加液氮研磨成细粉后于 -80℃保存待测。检测样品中肌苷酸（IMP）、三磷酸腺苷（ATP）、二磷酸腺苷（ADP）、一磷酸腺苷（AMP）、次黄嘌呤（Hx）、肌苷（HxR）含量。Σ IMP 前体物 = ATP+ADP+AMP，Σ IMP 降解产物 = Hx+HxR。

1.4.5 肌肉游离氨基酸和肌内脂肪含量

于第 42 天，每重复取 2 只鸡（公母各 1 只），剔除可见脂肪，绞肉机搅碎混匀，-80℃保存待测。检测肌肉游离氨基酸含量，采用索氏抽提法测定肌肉脂肪含量。

1.5 统计与分析

试验数据采用 Excel2016 进行初步整理，采用 SPSS20.0 软件的一般线性模型进行双因素分析，并使用 Duncan's 多重比较，统计分析包括油脂类型和性别的主要效应及其交互作用，P<0.05 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 乳化复合植物油粉对肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知，植物油粉组肉鸡 42 日龄体重、平均日增重较豆油组提高 5.70% 和 5.82%（P<0.05），植物油粉组肉鸡料重显著低于豆油组（P<0.05）。

表 2 乳化复合植物油粉对肉鸡生长性能的影响

组别	初生体重 42 日龄体重 平均日增重			平均日采食量 / (g/d)	料重比
	/g	/g	/ (g/d)		
豆油组	48.08	2 041.74	48.63	86.80	1.79
植物油粉组	48.27	2 158.04	51.46	89.21	1.73
SEM	2.328	21.203	0.517	1.119	0.019
P 值	0.853	0.035	0.024	0.064	0.025

2.2 乳化复合植物油粉对肉鸡屠宰性能的影响

由表 3 可知，油脂类型与性别的交互作用对肉鸡屠体重有显著影响（P<0.05）；植物油粉组公鸡屠体重显著高于其他各组（P<0.05），豆油组公鸡屠体重显著高于植物油粉组母鸡和豆油组母鸡（P<0.05）。

从主效应分析来看，性别对肉鸡屠体重、腹脂率和皮脂厚有显著影响（P<0.05），公鸡屠体重显著高于母鸡（P<0.05），腹脂率和皮脂厚显著低于母鸡（P<0.05）；油脂类型对肉鸡屠体重、胸肌率和腹脂率有显著影响（P<0.05），植物油粉组屠体重和胸肌率显著高于豆油组（P<0.05），腹脂率显著低于豆油组（P<0.05）。

表 3 乳化复合植物油粉对肉鸡屠宰性能的影响

项目	油脂类型	屠体重 / kg	屠宰率 /%	半净膛率 /%	全净膛率 /%	胸肌率 /%	腿肌率 /%	腹脂率 /%	皮脂厚 / mm	肌间脂宽 /mm
公鸡	豆油	2.10b	91.42	0.83	0.71	0.28b	0.23	1.92b	4.67bc	7.79
公鸡	植物油粉	2.31a	91.79	0.84	0.72	0.30a	0.21	1.24c	4.31c	7.67
母鸡	豆油	1.87c	91.19	0.84	0.71	0.28b	0.21	3.03a	5.61a	9.48
母鸡	植物油粉	1.92c	91.36	0.83	0.71	0.29ab	0.22	2.07b	5.08ab	7.80
SEM		0.040	0.207	0.004	0.003	0.004	0.004	0.137	0.152	0.268
主效应										
性别	公鸡	2.21	91.61	0.84	0.71	0.29	0.22	1.58	4.49	7.73
	母鸡	1.90	91.27	0.83	0.71	0.28	0.21	2.55	5.34	8.64
SEM		0.048	0.417	0.007	0.007	0.007	0.008	0.190	0.253	0.513
油脂类型	豆油	1.99	91.30	0.83	0.71	0.28	0.22	2.48	5.14	8.63
	植物油粉	2.12	91.58	0.84	0.72	0.30	0.21	1.65	4.69	7.74
SEM		0.076	0.419	0.007	0.007	0.006	0.008	0.219	0.296	0.514
P 值	性别	<0.001	0.449	0.534	0.796	0.094	0.563	<0.001	0.002	0.066
	油脂类型	0.002	0.535	0.734	0.293	0.009	0.564	<0.001	0.083	0.070
	性别 - 油脂类型	0.047	0.813	0.207	0.678	0.257	0.187	0.062	0.737	0.113

注：同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），未标或肩标相同小写字母表示差异不显著（P>0.05）。

2.3 乳化复合植物油粉对肉鸡肌肉品质的影响由表 4 可知，植物油粉组和豆油组、公鸡和母鸡肌肉亮度（L* 值）、红度（a* 值）、黄度（b* 值）、剪切力、滴水损失和蒸煮损失均无显著差异（P>0.05）。

2.4 乳化复合植物油粉对肉鸡肌肉肌苷酸及其相关核苷酸含量的影响

由表 5 可知，油脂类型与性别的交互作用对肉鸡肌肉 ATP 含量有显著影响（P<0.05），植物油粉组母鸡、植物油粉组公鸡、豆油组公鸡肌肉 ATP 含

量显著高于豆油组母鸡含量（P<0.05）。

从主效应分析来看，性别对肉鸡肌肉 ATP 含量有显著影响（P<0.05），母鸡 ATP 含量显著高于公鸡（P<0.05）；油脂类型对肉鸡肌肉 ATP 含量有显著影响（P<0.05），植物油粉组 ATP 含量显著高于豆油组（P<0.05）；肌肉 IMP、ADP、AMP、H_x、H_xR 含量和 IMP 前体物总含量、IMP 降解产物总含量，植物油粉组和豆油组间、公鸡和母鸡间比较均无显著差异（P>0.05）。

表 4 乳化复合植物油粉对肉鸡肌肉品质的影响

项目	油脂类型	亮度 L* 值	红度 a* 值	黄度 b* 值	剪切力 / (kg·f)	滴水损失 /%	蒸煮损失 /%
公鸡	豆油	54.48	2.71	6.55	1.30	4.19	28.83
公鸡	植物油粉	55.87	2.34	6.40	1.31	4.11	28.85
母鸡	豆油	54.36	2.66	6.50	1.27	4.15	28.55
母鸡	植物油粉	55.75	2.33	6.41	1.29	4.08	28.61
SEM		0.602	0.085	0.125	0.070	0.037	0.181
主效应							
性别	公鸡	55.18	2.52	6.48	1.30	4.15	28.84
	母鸡	55.05	2.49	6.45	1.28	4.12	28.58

项目	油脂类型	亮度 L* 值	红度 a* 值	黄度 b* 值	剪切力/(kg·f)	滴水损失 /%	蒸煮损失 /%
SEM		1.194	0.156	0.254	0.143	0.074	0.370
油脂类型	豆油	54.42	2.68	6.53	1.28	4.17	28.69
	植物油粉	55.81	2.33	6.40	1.30	4.09	28.73
SEM		0.602	0.085	0.125	0.070	0.037	0.181
P 值	性别	0.922	0.860	0.931	0.878	0.709	0.512
	油脂类型	0.280	0.052	0.648	0.913	0.336	0.927
	性别 – 油脂类型	0.999	0.908	0.926	0.956	0.972	0.959

表 5 乳化复合植物油粉对肉鸡肌肉肌苷酸及其相关核苷酸含量的影响

项目	油脂类型	肌苷酸 (IMP) / (mg/g)	三磷酸腺苷 (ATP) / (μg/g)	二磷酸腺苷 (ADP) / (μg/g)	一磷酸腺苷 (AMP) / (μg/g)	次黄嘌呤 (Hx) / (mg/g)	肌苷 HxR / (mg/g)	Σ IMP 前体物 / (μg/g)	Σ IMP 降解产物 / (mg/g)
公鸡	豆油	1.16	65.64ab	296.80	65.51	1.97	2.61	406.29	4.73
公鸡	植物油粉	1.01	62.68ab	329.54	62.07	2.19	2.73	455.09	5.14
母鸡	豆油	1.21	53.80b	314.26	61.69	2.11	2.75	431.65	4.70
母鸡	植物油粉	1.11	87.54a	339.62	62.63	2.29	2.93	461.57	5.00
SEM		0.037	4.690	12.840	4.710	0.186	0.085	16.637	0.236
主效应									
性别	公鸡	1.09	64.16	313.17	63.39	2.08	2.67	430.69	4.93
	母鸡	1.20	70.67	326.94	62.16	2.20	2.84	446.61	4.85
SEM		0.071	14.756	40.047	9.625	0.379	0.164	0.215	0.153
油脂类型	豆油	1.19	59.70	305.53	63.60	2.04	2.68	418.97	5.72
	植物油粉	1.11	75.10	334.58	62.15	2.24	2.82	458.33	5.27
SEM		0.073	14.454	40.560	8.881	0.157	0.173	0.261	0.226
P 值	性别	0.109	0.016	0.445	0.853	0.687	0.151	0.334	0.270
	油脂类型	0.265	0.039	0.903	0.071	0.113	0.765	0.796	0.325
	性别 – 油脂类型	0.269	0.021	0.804	0.427	0.227	0.182	0.256	0.318

2.5 乳化复合植物油粉对肉鸡肌肉游离氨基酸和肌内脂肪含量的影响

由表 6 可知，油脂类型与性别的交互作用对胸肌肌内脂肪含量有显著影响 ($P<0.05$)，豆油组母鸡肌内脂肪含量显著高于其他各组 ($P<0.05$)，植物油粉组母鸡肌内脂肪含量显著高于豆油组公鸡和植物油粉组公鸡 ($P<0.05$)。

从主效应分析来看，性别对胸肌肌内脂肪含量

有显著影响 ($P<0.05$)，公鸡胸肌肌内脂肪含量显著低于母鸡 ($P<0.05$)；游离天门冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸和脯氨酸含量，植物油粉组和豆油组间、公鸡和母鸡间均无显著差异 ($P>0.05$)。

表 6 乳化复合植物油粉对肉鸡肌肉游离氨基酸和肌肉脂肪含量的影响 %

项目	油脂类型	天冬氨酸	苏氨酸	丝氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸	胱氨酸	缬氨酸	蛋氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	酪氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	组氨酸	精氨酸	脯氨酸	肌肉脂肪
公鸡	豆油	0.11	0.27	0.33	0.78	0.24	0.63	0.08	0.15	0.07	0.08	0.24	0.17	0.20	0.17	0.43	0.19	0.11	5.26c
公鸡	植物油粉	0.12	0.26	0.34	0.72	0.22	0.63	0.11	0.15	0.08	0.11	0.31	0.23	0.30	0.22	0.45	0.20	0.11	5.16c
母鸡	豆油	0.12	0.27	0.38	0.85	0.26	0.66	0.06	0.16	0.08	0.09	0.24	0.15	0.24	0.18	0.35	0.21	0.11	5.90a
母鸡	植物油粉	0.13	0.27	0.38	0.86	0.23	0.65	0.09	0.16	0.09	0.10	0.29	0.22	0.34	0.24	0.43	0.20	0.10	5.78b
SEM		0.003	0.012	0.014	0.017	0.013	0.011	0.009	0.009	0.003	0.005	0.016	0.015	0.018	0.013	0.020	0.009	0.008	0.063
主效应																			
性别	公鸡	0.12	0.27	0.33	0.75	0.23	0.63	0.09	0.15	0.07	0.09	0.27	0.20	0.27	0.20	0.44	0.19	0.11	5.30b
	母鸡	0.12	0.27	0.38	0.86	0.24	0.65	0.09	0.16	0.09	0.10	0.26	0.18	0.28	0.21	0.39	0.21	0.10	5.74a
SEM		0.007	0.025	0.028	0.028	0.027	0.023	0.018	0.018	0.005	0.011	0.032	0.030	0.036	0.027	0.039	0.017	0.016	0.087
油脂类型	豆油	0.12	0.27	0.35	0.82	0.25	0.65	0.08	0.15	0.08	0.09	0.24	0.16	0.22	0.18	0.39	0.20	0.11	5.58
	植物油粉	0.13	0.26	0.36	0.79	0.22	0.64	0.09	0.16	0.08	0.10	0.30	0.22	0.32	0.23	0.44	0.20	0.10	5.47
SEM		0.006	0.025	0.029	0.035	0.026	0.023	0.017	0.018	0.005	0.009	0.029	0.027	0.029	0.025	0.039	0.017	0.016	0.126
P 值	性别	0.450	0.936	0.119	0.081	0.703	0.383	0.921	0.634	0.056	0.793	0.686	0.539	0.792	0.645	0.233	0.439	0.879	<0.001
	油脂类型	0.128	0.890	0.856	0.433	0.365	0.935	0.101	0.773	0.125	0.054	0.054	0.142	0.064	0.061	0.235	0.981	0.766	0.169
	性别-油脂类型	0.866	0.828	0.987	0.167	0.955	0.940	0.866	0.999	0.468	0.270	0.590	0.899	0.462	0.876	0.557	0.576	0.664	0.008

3 讨论

3.1 乳化复合植物油粉对肉鸡生长性能的影响

据报道溶血卵磷脂可以降低体外肠上皮细胞的通透性，增强蛋白质通道的转运功能，从而增加细胞膜对营养物质的转运和吸收。有饲养试验表明，饲料中加入溶血卵磷脂可促进肉鸡肠道对饲料脂肪的乳化作用，从而提高其消化利用率；可提高肉鸡的平均日增重，降低料重比；富含饱和中链脂肪酸的饲料可以提高肉鸡的平均日增重和采食量，降低料重比。本试验结果显示，植物油粉组肉鸡 42 日龄体重和平均日增重显著提高，料重比显著降低，对平均日采食量无显著影响。本试验所用乳化复合植物油粉中中链脂肪酸月桂酸含量比豆油高 12.11 倍，且富含溶血卵磷脂，这应是肉鸡生长性能较豆油组高的原因。据报道家禽日粮中多不饱和脂肪酸水平对肉鸡生产性能无显著影响，饱和中链脂肪酸相较于长链脂肪酸，可以显著提高肉鸡对饲料的利用率。本试验乳化复合植物油粉中多不饱和脂肪酸

（亚油酸、亚麻酸）含量分别比豆油低 0.13、0.44 倍，豆油组和植物油粉组肉鸡生长性能的差异，应不受这两种脂肪酸含量差异的影响。

3.2 乳化复合植物油粉对肉鸡屠宰性能的影响

屠宰性能是衡量家禽产肉性能的重要指标。

燕磊等报道，在饲料中添加 5% 的鸭油、棕榈油、米糠油与 5% 的豆油比较，可以显著提高肉鸡胸肌率。但 Zollitsch 等报道，饲料中添加不同种类油脂（动植物混合油、菜籽油、大豆油和加工混合油），肉鸡胸肌率、腿肌率、腹脂率等屠宰性能各组间无显著差异，可见不同种类油脂对肉鸡屠宰性能的影响研究结果不尽一致。据报道，富含月桂酸的饲料可以提高肉鸡胸肌率，其作用机制是月桂酸通过促进肉鸡胰岛素的分泌，从而增加胸肌对葡萄糖的吸收利用，产生能量促进了胸肌蛋白质的合成。另外，溶血卵磷脂也可以增强小肠黏膜蛋白质通道的转运功能，促进蛋白质的消化吸收，从而提高肉鸡蛋白质沉积、提高胸肌率。本试验结果显示，植物油粉

组公鸡屠体重和胸肌率显著提高, 母鸡屠体重和胸肌率亦有提高, 且性别与油脂类型的互作效应对肉鸡屠体重有显著影响, 这应与乳化复合植物油粉以溶血卵磷脂作为乳化剂并富含月桂酸有关。

腹脂率、肌间脂宽和皮脂厚, 是衡量家禽体脂肪沉积的常用指标, 均与家禽的体脂沉积呈正相关。张青青报道, 饲料中添加复合乳化剂可降低肉鸡的肝脏脂肪含量和腹脂率。谢明凯报道, 溶血卵磷脂可调节肉鸡脂肪代谢, 减少肝脏的脂肪沉积, 降低肉鸡肝脏系数和肝脂率。杨焯等研究发现在饲料中添加 1.8% 大豆磷脂与等量豆油比较, 可降低河田鸡腹脂率。鲁菲等报道, 肉鸡饲料中添加乳化剂可显著降低其腹脂率、皮脂厚和肌间脂宽。有研究发现溶血卵磷脂可通过提高肉鸡脂蛋白-脂肪酶活性, 促进甘油三酯分解利用, 从而减少其脂肪沉积。另有研究发现肉鸡饲料中添加富含中链脂肪酸的椰子油替代大豆油, 既可以通过促进胰腺分泌胰高血糖素促进脂肪分解, 又可以通过改善与脂肪代谢相关酶活性(脂蛋白脂肪酶、肝脂肪酶和总脂肪酶)促进体内脂质的分解利用, 从而减少其脂肪沉积。本试验结果显示, 植物油粉组与豆油组比较, 公鸡腹脂率显著降低, 母鸡腹脂率和肌间脂宽显著降低, 说明使用乳化复合植物油粉有利于肉鸡对脂肪的分解利用, 减少脂肪沉积, 腹脂率的降低有利于提高屠宰场的经济效益。据报道多不饱和脂肪酸对肉鸡腹脂及体脂沉积量无明显变化。本试验所用复合乳化植物油粉由玉米油、椰子油等多种油脂组成, 富含月桂酸, 并含有溶血卵磷脂等乳化剂, 这应是其降低肉鸡腹脂沉积的原因, 与乳化复合植物油粉中亚油酸、亚麻酸含量无关。迄今有关不同种类乳化剂及油脂对畜禽脂肪代谢和沉积的作用机制报道很少, 本试验乳化复合油脂成分复杂, 其调节肉鸡脂肪代谢的确切作用机制有待进一步研究。

3.3 乳化复合植物油粉对肉鸡肌肉品质的影响

肉色、剪切力、滴水损失和蒸煮损失是衡量畜

禽肉品质常用指标。杨焯等报道, 与豆油比较, 在饲料中添加 1.8%~2.4% 大豆磷脂可以显著降低河田鸡肌肉的滴水损失、烹饪损失、剪切力。李伟等在肉鸡饲料中添加 0.2% 主要成分为氢化磷脂的乳化剂, 发现其可以显著提高肉鸡胸肌系水力和烹饪损失, 降低胸肌剪切力。张亚男等研究了鱼油、鸡油、亚麻油和豆油对肉鸡肉品质的影响, 与豆油组比较, 鸡油组肉色变差、滴水损失增加, 鱼油组肌肉系水力降低, 亚麻油组可改善肉色。Wati 等报道饲料中分别添加 4% 棕榈油、菜籽油、椰子油和大豆油, 鸭肉系水力各处理间无显著差异。Long 等在肉鸡饲料中添加 3% 复合植物油(15% 玉米油、10% 椰子油、15% 亚麻籽油、20% 棕榈油、15% 花生油和 25% 大豆油的混合物), 发现植物油粉组鸡肉品质与豆油组(添加 3% 大豆油)比较无显著变化。本试验结果显示, 公、母鸡肉色、剪切力、滴水损失和蒸煮损失值, 植物油粉组和豆油组比较无显著差异。可见, 不同种类油脂或乳化剂对禽肉品质的作用效果不尽一致, 有关其作用机制研究报道较少。有研究认为大豆磷脂可以通过上调肉鸡肝脏的 ApoBmRNA 表达量, 参与转运吸收外源脂, 影响脂肪组织的生长。

3.4 乳化复合植物油粉对肉鸡肌肉肌苷酸及其相关核苷酸含量的影响

肌苷酸(IMP)是肉类重要的呈鲜味物质, 是评定肉品风味和新鲜度的常用指标。动物被屠宰后, 在酶的作用下肌肉中 ATP 被迅速降解生成 ADP, ADP 被降解形成 AMP, AMP 进一步被降解生成 IMP, 随着保存时间延长, IMP 在酶的作用下被降解生成 HxR, HxR 最终被降解生成 Hx 和核糖。IMP 的前体物越多, IMP 含量越高, IMP 的分解产物越少, 表明肉鲜味和新鲜度越好。韩宇昕研究发现饲料中添加 0.8% 和 1.2% 的红花籽油与等量豆油比较, 猪肉肌苷酸含量分别提高了 35.42%、27.00%。有关乳化复合植物油粉对鸡肉肌苷酸含量

的影响未见报道。本试验结果显示,性别与油脂类型的交互效应对肉鸡肌肉 ATP 含量有显著影响,植物油粉组公、母鸡肌肉 ATP 含量显著高于豆油组,肌苷酸前体物总含量亦有升高,但 IMP 含量略低于豆油组,说明植物油粉组 IMP 及其相关核苷酸的降解速度相对较快,可见,植物油粉组与豆油组比较,鸡肉呈鲜肌苷酸含量未见明显提高。

3.5 乳化复合植物油粉对肉鸡肌肉游离氨基酸和肌内脂肪含量的影响

肉类中的游离氨基酸种类较多,影响肉类的滋味和香味,谷氨酸、天冬氨酸、精氨酸、丙氨酸和甘氨酸具有鲜味,苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸等氨基酸具有甜味,鲜味和甜味氨基酸含量越高,肉风味越好,因此游离氨基酸含量亦是评定肉品风味的敏感指标。牛淑玲等研究了 2% 的鹅油和玉米油对朗德鹅肉品质的影响,发现胸肌游离氨基酸含量两组间无明显差异。有关乳化剂及不同种类油脂对畜禽肌肉游离氨基酸含量的影响报道较少。本试验结果显示,植物油粉组和豆油组公、母鸡肌肉游离氨基酸含量无显著差异。肌内脂肪的

主要成分是磷脂,与肉的挥发性风味成分和滋味密切相关。在一定范围内,磷脂含量越高,肉类的香味和滋味越好,肌内脂肪亦是评定肉品风味的常用指标之一。于翔发现用 0.5% 混合乳化剂可以显著提高肉鸡胸肌肌内脂肪和粗蛋白含量。曹阳等发现在肉鸡饲料中添加含高卵磷脂的复合脂肪,对 42 日龄肉鸡胸肌肌内脂肪含量无显著影响。本试验结果显示,植物油粉组胸肌肌内脂肪含量与豆油组相比差异不显著,性别与油脂类型的交互效应对胸肌肌内脂肪含量有显著影响,这可能与复合乳化植物油粉中高含量的月桂酸及溶血卵磷脂等乳化剂促进了脂肪的分解利用有关。

4 结论

本试验条件下,AA+ 肉鸡饲料中使用乳化复合植物油粉完全代替豆油,可显著提高 AA+ 肉鸡平均日增重、42 日龄屠体重,降低料重比和腹脂沉积对肉品质和肌肉风味物质含量无显著影响。

(转自中国家禽)

日粮添加乳化均衡脂肪粉对蛋鸡生产性能、蛋品质、血清生化指标及免疫性能的影响

王勇¹ 姜家帅² 丁为国¹ 莫子艺¹ 孙丽华¹ 崔晓¹

(1. 广州优百特科技有限公司; 2. 东北农业大学动物科学技术学院)

我国作为鸡蛋消费和生产大国,随着人们对饮食品质要求的提高,对鸡蛋的需求倾向于质量较好的鸡蛋(如蛋黄颜色较深、蛋白浓厚、个体较大等)(Samiullah. 等, 2014)。鸡蛋品质受蛋鸡个体是否健康、日粮营养水平及养殖环境等多种因素影响(VlKov á J 等, 2019; Kimaro 等, 2013),因而生产上通常采用营养调控的措施来维护蛋鸡的健康及提高蛋品质(Qu 等, 2018)。大量研究发现,摄取富含 n-3 多不饱和脂肪酸(n-3polyunsaturatedfattyacid, n-3PUFA)的饮食对人体健康有益,如减少炎症、心血管疾病、提升免疫力、促进幼儿大脑和神经发育等(Saini 等, 2018; Spector 等, 2019; Al-Khalaifah 等)。蛋黄中脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成密切相关,通过在饲料中添加鱼油、亚麻油、藻油等可以获得含 DHA(docosaheaxaenoicacid)的鸡蛋(Fraeye 等, 2012; Lemahieu 等, 2015),但添加单一油脂存在鸡蛋腥味重、DHA 富集含量低等问题(Jia 等, 2008)。故可通过添加经特殊工艺处理过的鱼油或微藻油,以此来获得富集 DHA 的功能蛋。

油脂作为高能量的饲料营养成分,可提供鸡所需能量的 15%~30%,是鸡的重要能量来源。蛋鸡在其产蛋期间需要大量的能量以满足产蛋需求,而在夏季高温环境下蛋鸡会产生应激,通过减少摄食量减少热量排放,造成蛋鸡营养和能量缺乏,此种应激会降低产蛋性能和品质(刘风华等, 2003; 贾莉等, 2019)。以往研究表明,日粮添加油脂

可以提高热环境下肉鸡生产性能(El-Bahr 等, 2021)。富含 n-3PUFA 的油脂对鸡肉中 n-3PU-FA 含量显著提升,但不影响肉鸡生长性能、屠宰率和鸡肉感官属性(Kalakuntla 等, 2017)。据报道,在蛋鸡日粮中添加亚麻油、鱼油、微藻油等油脂均能使鸡蛋蛋黄中 n-3PUFA 含量增加,其中,亚麻油对蛋黄中 DHA 的富集程度较低,但亚麻酸可上调脂肪酸延长酶和去饱和酶基因的表达,进而促进肝脏内亚麻酸向 DHA 的转化(Coorey 等, 2015; 邓波等, 2017)。蛋鸡日粮中添加功能性油脂不仅可提供能量及必需脂肪酸,还可提高蛋鸡抗应激能力、产蛋率、蛋重,降低蛋料比,并协同促进脂溶性物质吸收,提高日粮营养物质吸收利用。

乳化均衡脂肪粉是将不同脂肪酸精准配比,经过乳化、抗氧化等处理而得。该脂肪粉可补充玉米豆粕型日粮的稀缺脂肪酸,且容易被鸡消化吸收利用。在蛋鸡日粮中添加脂肪粉可显著提高蛋鸡的生产性能(章平等, 2019)。本试验通过在蛋鸡日粮中添加乳化均衡脂肪粉替代单一豆油,探究其对蛋鸡生产性能、蛋品质、血清生化指标及免疫性能的影响。

1 材料与方法

1.1 试验动物及日粮

本试验分别采用 200 日龄(产蛋高峰期)和 400 日龄(产蛋后期)、体重相近,机体健康的海兰褐蛋鸡,每阶段选取 240 只,随机分为 2 个组,每组 10 个重复,每个重复 12 只鸡。试验采用玉

米-豆粕型日粮，参照《鸡饲养标准》（NY/T33-2004）配制。试验组和对照组分别添加等量的豆油和乳化均衡脂肪粉（商品名：银羽能），脂肪粉由广州市优百特科技有限公司提供，其主要成分包括DHA、EPA、卵磷脂、维生素及复合乳化剂。各组日粮组成及营养水平见表1，添加不同油脂来源（豆油、脂肪粉）的脂肪酸组成见表2，日粮脂肪酸组成见表3。

1.2 饲养管理

试验场地与试验蛋鸡均由武汉某农牧有限公司大型蛋鸡场提供，采用阶梯式笼养，每天早、中、晚各喂料一次，定量采食。整个试验期间鸡饲喂粉料，自然通风，光照时间为17h/d，鸡舍温度28.3℃。每天记录耗料量、产蛋数、软蛋数、破蛋数、随机取鸡蛋10枚称重。随时观察蛋鸡健康状况，记录死淘数，试验期30d。

1.3 样品采集

试验结束前一天，试验鸡进行12h禁饲处理，自由饮水。试验结束当天每个重复随机选取2只鸡进行翅下静脉采血，至盛有肝素包被的离心管中，进行血清分离（3000r/min，离心10min）并分装，置于-20℃保存待测。每个重复选择10枚鸡蛋检测蛋品质、脂肪酸组成。

1.4 指标测定

1.4.1 生产性能

试验期间，每日记录产蛋数、蛋重、破蛋率，计算平均蛋重和产蛋率，对各组鸡粪进行抽样并检测其粗脂肪含量等，根据每日记录的给料量、剩余量、损耗料，计算平均日采食量和料蛋比。

1.4.2 鸡粪粗脂肪含量

鸡粪取样采用全收粪法，粪便样品经烘干、回潮、粉碎成粉后用四分法取一部分样品待测，采用全自动脂肪含量测定仪检测。

1.4.3 蛋品质检测

蛋壳强度、蛋黄色泽使用全自动蛋品质仪测定。

表1 日粮组成及营养水平

原料	200 日龄		400 日龄	
	对照组	试验组	对照组	试验组
玉米 /(g/kg)	630	630	660	660
豆粕 /(g/kg)	230	230	200	200
预混料 1/(g/kg)	30	30	30	30
豆油 /(g/kg)	10	-	10	-
脂肪粉 /(g/kg)	-	10	-	10
石粉 /(g/kg)	80	80	80	80
小麦麸 /(g/kg)	20	20	20	20
营养水平 2	1000	1000	1000	1000
粗蛋白质 /%	15.49	15.54	14.44	14.44
粗脂肪 /%	3.77	3.32	3.34	3.34
代谢能 /(MJ/kg)	11.25	11.18	11.27	11.27
钙 /%	3.50	3.50	3.50	3.50
磷 /%	0.60	0.60	0.60	0.60

注：1. 预混料为每千克饲粮提供：VA12500IU，VD3425IU，VE15IU，VK2mg，VB10.98mg，VB28.5mg，VB68mg，泛酸50mg，烟酸32.5mg，生物素2mg，叶酸5mg，VB125mg，Cu8mg，I1mg，Fe60mg，Mn65mg，Zn66mg，植酸酶300mg，NaCl3g，胆碱500mg。

2. 营养水平均为计算值。

表2 试验油脂脂肪酸组成

(%总脂肪酸)

脂肪酸组成	豆油	脂肪粉
C8 : 0	-	1.78
C10 : 0	-	1.39
C12 : 0	0.28	10.97
C14 : 0	0.26	5.86
C15 : 0	-	0.16
C16 : 0	10.82	16.36
C16 : 1	-	1.70
C17 : 0	0.10	0.13
C17 : 1	-	0.28
C18 : 0	4.41	3.67
C18 : 1	22.90	16.24
C18 : 2	53.64	32.66
C18 : 3	7.04	4.00
C21 : 0	0.82	0.42
C20 : 2	-	0.38
C20 : 4	-	0.61

脂肪酸组成	豆油	脂肪粉
C20 : 5(EPA)	—	1.38
C20 : 6(DHA)	—	1.25

1.4.4 脂肪酸组成的检测

蛋黄脂肪酸组成采用气相色谱法（GC）进行测定。将各组鸡蛋分离蛋黄，取适量待测样品于15mL 离心管中，用氯仿－甲醇（体积比2：1）浸泡提取蛋黄脂肪，涡旋混匀后，于3000r/min 离心5min，取脂肪层过滤，置于80℃烘箱烘干溶剂，采用气相色谱法测定脂肪酸组成。气相色谱条件：安捷伦7890B 气相色谱仪，CP-Sil88 色谱柱，分流比20：1，进样口温度250℃，氮气作为载气，1mL/min 恒流，火焰离子化检测器（FID）温度300℃；氢气40mL/min，空气400mL/min，氮气25mL/min。升温程序：140℃（5min），4℃/min 升温至220℃保持10min。

1.4.5 血清生化指标的检测检测指标包括血清甘油三酯（Triglyceride, TG）、总胆固醇（Total cholesterol,TC）、高密度脂蛋白胆固醇（High-density lipoprotein cholesterol, HDLC）、低密度脂蛋白胆固醇（Low-density lipoprotein cholesterol, LDLC）、谷胱甘肽过氧化物酶（Glutathione peroxidase, GSH-Px）、超氧化物歧化酶（Superoxidedismutase, SOD）、丙二醛（Malondialdehyde, MDA）。

表 3 日粮脂肪酸组成

(% 总脂肪酸)

脂肪酸组成	200 日龄		400 日龄	
	对照组	试验组	对照组	试验组
C12 : 0	—	10.52	—	10.61
C14 : 0	—	5.32	—	5.46
C16 : 0	11.46	15.40	11.35	15.13
C18 : 0	4.25	3.66	3.93	3.46
C18 : 1	25.11	16.81	26.31	17.31
C18 : 2	52.30	32.62	53.12	32.85
C18 : 3	5.32	3.94	5.11	3.82
C20 : 5 (EPA)	—	1.98	—	2.02
C22 : 6 (DHA)	—	2.15	—	2.17

表 4 乳化均衡脂肪粉对生产性能的影响

项目	200 日龄		400 日龄	
	对照组	试验组	对照组	试验组
产蛋率 /%	95.28 ± 2.36	95.32 ± 2.69	82.35 ± 4.85a	86.03 ± 4.12b
平均日采食量 /(g/d)	113.1 ± 3.27	113.6 ± 2.98	111.9 ± 4.82b	105.4 ± 5.07a
料蛋比 /%	1.97 ± 0.20	1.93 ± 0.05	2.22 ± 0.08b	2.09 ± 0.06a
粪中粗脂肪含量 /%	3.77 ± 0.32b	3.02 ± 0.87a	3.41 ± 0.98b	2.71 ± 0.85a

注：同行同日龄肩标含有不同小写字母表示差异显著（P<0.05），下表同。

表 5 乳化均衡脂肪粉对蛋品质的影响

项目	200 日龄		400 日龄	
	对照组	试验组	对照组	试验组
平均蛋重 /g	57.46 ± 5.28	57.61 ± 4.82	61.18 ± 6.29a	64.85 ± 5.82b
蛋黄颜色	54.67 ± 1.59a	65.31 ± 0.87b	35.24 ± 1.59a	46.28 ± 2.42b
蛋壳强度	3.93 ± 0.62a	4.34 ± 0.24b	3.37 ± 0.48a	3.96 ± 0.32b
破蛋率 /%	2.82 ± 0.12b	2.23 ± 0.11a	4.18 ± 0.14b	3.85 ± 0.21a

表 6 乳化均衡脂肪粉对鸡蛋脂肪酸组成的影响

脂肪酸组成	200 日龄		400 日龄	
	对照组	试验组	对照组	试验组
C14 : 0	0.45 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.48 ± 0.02	0.43 ± 0.12
C16 : 0	24.83 ± 0.02	24.73 ± 0.05	25.83 ± 1.32	24.85 ± 2.24
C16 : 1	4.03 ± 0.07	3.97 ± 0.05	4.09 ± 0.57	3.87 ± 0.43
C18 : 0	6.09 ± 0.05	6.09 ± 0.11	6.42 ± 0.08	6.11 ± 0.09
C18 : 1	49.11 ± 0.15b	38.94 ± 0.58a	48.01 ± 0.15b	38.44 ± 0.12a
C18 : 2	16.52 ± 0.08b	12.56 ± 0.14a	16.44 ± 0.13b	12.1 ± 0.15a
C18 : 3	0.42 ± 0.03b	0.29 ± 0.03a	0.48 ± 0.03b	0.26 ± 0.01a
C20 : 5(EPA)	—	0.06 ± 0.00	—	0.06 ± 0.00
C22 : 6(DHA)	0.09 ± 0.00a	0.53 ± 0.02b	0.09 ± 0.01a	0.49 ± 0.03b

表 7 乳化均衡脂肪粉对血清生化指标的影响

项目	200 日龄		400 日龄	
	对照组	试验组	对照组	试验组
TG/(mmol/L)	10.34 ± 0.02	9.70 ± 0.10	12.45 ± 0.49b	10.46 ± 0.07a
TC/(mmol/L)	3.13 ± 0.11b	2.48 ± 0.08a	4.15 ± 0.09b	3.22 ± 0.16a
LDLC/(mmol/L)	0.34 ± 0.03	0.28 ± 0.15	0.38 ± 0.12	0.32 ± 0.02
HDLc/(mmol/L)	2.15 ± 0.61	2.64 ± 0.36	1.89 ± 0.26a	2.39 ± 0.25b
SOD/(U/mL)	4.8 ± 0.16	4.84 ± 0.12	4.38 ± 0.72a	4.97 ± 0.08b
GSH-Px/(U/mL)	1197.52 ± 17.43	1220.1 ± 25.16	1105.61 ± 61a	1208.98 ± 23.16b
MDA/(nmol/mL)	5.75 ± 0.12	5.63 ± 0.07	6.23 ± 0.10b	5.43 ± 0.09a

1.4.6 免疫器官指数的检测

摘取 400 日龄蛋鸡的法氏囊、脾脏，剔除脂肪后称重，计算免疫器官指数。

免疫器官指数 (g/kg) = 免疫器官重 / 活鸡重

1.5 数据处理与统计分析

试验数据以重复为统计单位，采用 SPSS17.0 进行单因素方差分析 (one-wayANOVA)，差异显著则采用 Duncan 氏法进行多重比较。试验数据用“平均值 ± 标准差”表示。P<0.05 时，有显著性差异；P>0.05 时，为无显著差异。

2 结果

2.1 乳化均衡脂肪粉对蛋鸡生产性能的影响

由表 3 可知，在产蛋前期 (200 日龄)，试验组蛋鸡产蛋率与对照组相比没有显著变化；在产蛋后期 (400 日龄)，试验组蛋鸡的产蛋率相较对照组提高了 3.68 个百分点，且试验组蛋鸡的平均日采食量和料蛋比均显著低于对照组 (P<0.05)；在鸡粪粗脂肪方面，无论产蛋前期还是产蛋后期，试验组均显著低于对照组 (P<0.05)。

表 8 乳化均衡脂肪粉对产蛋后期蛋鸡免疫性能的影响

项目	对照组	试验组
法氏囊指数	0.15 ± 0.32a	0.29 ± 0.03b
脾脏指数	0.43 ± 0.07a	0.76 ± 0.05b

2.2 乳化均衡脂肪粉对蛋鸡蛋品质的影响

由表 5 可知，在产蛋前期两组之间蛋重没有显著变化，而产蛋后期试验组鸡蛋的平均蛋重比对照组高 3.67g/ 只。不论产蛋高峰期 (200 日龄)，还是产蛋后期 (400 日龄)，日粮中乳化均衡脂肪粉的添加可显著改善蛋黄颜色、蛋壳强度及破蛋率 (P<0.05)。在试验期内鸡蛋蛋黄中 DHA 的富集如表 6 所示，不论产蛋高峰期，还是产蛋后期，试验组蛋黄中 DHA 含量与对照组相比均显著提高 (P<0.05)。

2.3 乳化均衡脂肪粉对蛋鸡血脂代谢和免疫性能的影响

蛋鸡的血清生化指标见表 7，产蛋前期，试验组的 TC 含量显著低于对照组 (P<0.05)，其他指标均无显著差异 (P>0.05)。产蛋后期，试验组 TG、TC 含量均显著低于对照组 (P<0.05)，且试验组血清中 HDLC 含量显著高于对照组。在产蛋前期，试验组血清中 SOD、GSH-Px 含量较对照组有所提高，但差异不显著；产蛋后期试验组血清中 SOD、GSH-Px 含量显著高于对照组 (P<0.05)。不论产蛋前期还是产蛋后期，试验组蛋鸡血清中 MDA 含量均低于对照组，且在产蛋后期差异显著 (P<0.05)。

脂肪粉对产蛋后期蛋鸡免疫器官的影响见表 8，与对照组相比，试验组显著提高了蛋鸡的法氏囊指数与脾脏指数 (P<0.05)，脾脏和法氏囊是蛋鸡主要的免疫器官，说明与对照组相比，试验组蛋鸡免疫器官发育更成熟。

3 讨论

3.1 乳化均衡脂肪粉对蛋鸡生产性能的影响

在日粮中添加油脂不仅能提高饲料能量水平，还能提高畜禽的生产性能和免疫性能，从而改善健康状况 (刘伟等，2019)。产蛋率是衡量蛋鸡生产性能的重要指标，蛋鸡随日龄增长进入产蛋后期，生理代谢功能和免疫力均降低，产蛋率也随之下降

(周子晖等, 2022)。普通日粮配方(玉米-豆粕型)只能提供大量饱和脂肪酸和 $n-6$ PUFA, 满足不了蛋鸡产蛋后期对 $n-3$ PUFA 的营养需求(梁霜等, 2022)。 $n-3$ PUFA 在机体内具有抗氧化、抗炎及提高免疫力等功效性作用(Saini 等, 2018)。Neijat 等(2016)、El-Bahr 等(2021)研究发现, 日粮中添加 $n-3$ PUFA 能显著促进家禽的脂肪代谢能力和免疫因子表达, 从而间接提高家禽的生产性能。本试验结果显示, 随着蛋鸡日龄增加, 产蛋后期产蛋率较前期有明显下降, 但日粮中添加脂肪粉可缓解产蛋率下降的负面影响, 与上述试验结果一致, 可能原因是本脂肪粉能为蛋鸡补充 EPA、DHA 等功能性脂肪酸, 改善蛋鸡脂肪代谢与免疫性能, 从而延长了产蛋高峰。

3.2 乳化均衡脂肪粉对蛋鸡蛋品质的影响

在日粮中添加油脂会对畜禽产品质量产生不同影响。Kanakri 等(2018)指出肉鸡各组织脂肪酸组成与日粮中的油脂来源高度相关。对于蛋鸡来说, 蛋重会随蛋鸡日龄增长而增加, 而蛋壳强度和韧性会逐渐降低, 导致破蛋率升高(Johnston 等, 2007; 曾令森等, 2022)。Wu 等(2019)研究发现日粮中添加 $n-3$ PUFA 有改善蛋黄色泽的作用, 且对蛋鸡生产性能和蛋品质无不良影响。Lemahieu 等(2013)研究表明 $n-3$ PUFA 的添加能显著改善蛋壳强度和蛋黄颜色, 且能向蛋黄中富集 DHA, 提高鸡蛋营养价值, 说明 $n-3$ PUFA 对蛋品质有积极影响。Liu 等(2020)得出结论, 鸡蛋蛋黄的脂肪酸组成与日粮的脂肪酸组成高度相关, 在蛋鸡日粮中补充 DHA 会使其富集到蛋黄中, 且富集程度与日粮中 DHA 添加量成正比。COOREY 等(2015)研究结果显示, 亚麻酸对鸡蛋品质无显著影响, 这是由于亚麻酸向 DHA 转化的效率较低。

3.3 乳化均衡脂肪粉对蛋鸡血清生化指标和免疫性能的影响

日粮中添加过量油脂会导致蛋鸡体脂增高、

脂肪代谢紊乱、生产性能下降等负面影响(Zhang 等, 2021)。本试验中, 在蛋鸡日粮中添加乳化均衡脂肪粉不仅对生产性能和蛋品质有明显改善, 对蛋鸡的血脂水平和抗氧化能力也有积极影响。刘梦芸(2017)、ZhaoM-J 等(2019)研究发现在蛋鸡日粮中添加月桂酸能显著降低血清中 TG、TC 含量及 LDLC/HDL 比例, 表明月桂酸对脂质代谢有积极影响。Chen 等(2020)研究了 $n-6/n-3$ PUFA 比例对育肥猪血液中的脂肪代谢作用, 结果显示随着 $n-6/n-3$ PUFA 比例增加, 育肥猪血液中 TG、TC 与 LDLC/HDL 比例呈下降趋势, 反映了 $n-3$ PUFA 对机体脂肪代谢的促进作用。

机体具有抗氧化机制以防止脂质氧化带来的损伤, SOD、GSH-Px 是机体内重要的抗氧化酶, 能清除体内自由基, 防止脂质过氧化物进一步水解成有害物质 MDA(Ding 等, 2021)。据 Umesha 等(2015)报道, 日粮中添加 $n-3$ PUFA 能降低小鼠体内 $n-6/n-3$ PUFA 比例, 增加血清中 SOD、GSH-Px 等抗氧化酶的活性。Ebeid 等(2008)研究发现, 低水平鱼油可降低蛋鸡血清和肝脏中 MDA 含量, 提高 GSH-Px 活性。本研究中, 在产蛋后期日粮中添加乳化均衡脂肪粉能显著提高血清 SOD、GSH-Px 活性, 抑制氧化产物 MDA 的生成, 与上述研究结果一致。表明乳化均衡脂肪粉通过脂肪酸平衡配比, 为机体提供 MCFA、 $n-3$ PUFA 等功能性脂肪酸, 对蛋鸡体内脂肪代谢和抗氧化酶的表达具有积极影响。

此外, 乳化均衡脂肪粉显著提高了蛋鸡的免疫器官指数, 说明脂肪粉能促进蛋鸡免疫器官发育, 提高蛋鸡免疫功能。Lan 等(2021)研究发现月桂酸能影响机体免疫球蛋白的表达。AL-KHALAIFAH 等(2020)指出 DHA 能通过调节盲肠微生物群改善免疫功能。Attia 等(2020)研究发现, 在肉鸡饲料中添加椰子油、鱼油能显著提高血清中 IgM 和 IgG 的表达。Al-KhalifaH 等(2012)在肉鸡日粮中

补充 DHA，当添加量超过 50g/kg 时胸腺、脾脏等免疫器官比重显著下降，说明 DHA 的免疫调节作用可能与添加量有关，关于不同脂肪酸对畜禽免疫功能调控的具体机制还不很明确，有待进一步研究验证。

4 结论

综合来看，与单一豆油相比，乳化均衡脂肪粉通过不同脂肪酸的功能性作用，对蛋鸡的生产性能、蛋品质、血清生化指标及免疫性能均有明显改善，并能提高蛋黄中 DHA 的含量，增加鸡蛋营养价值，其脂肪酸组成更适合于蛋鸡的生产需要。

（转自广东饲料）

不同油脂对黄羽肉鸡生产性能、肉品质及肌肉脂肪酸组成的影响

李晨萱 李品 郭时惠 赵茹茜 马文强

(南京农业大学农业农村部动物生理生化重点实验室 / 动物医学院, 江苏 南京 210095)

油脂因其含有高能量、可满足营养需求及良好适口性等特点被广泛运用于禽畜饲料。目前添加于饲料的油脂主要有动物油脂(含有较多长链饱和脂肪酸)、植物油脂(不饱和脂肪酸含量较高,富含必需脂肪酸)和混合油脂3种。

鸡肉因其可以提供优质蛋白,含脂量低且多为不饱和脂肪酸,采购价格低且稳定,而被广泛接受。肉鸡因生长迅速、代谢旺盛而对营养需求较高,在日粮中添加适量油脂可以平衡日粮营养水平,提供更多能量,降低饲养成本,提高饲料利用率,进而改善肉鸡生产性能。已有研究表明,将猪油与大豆油按质量比1:1的比例调和作为饲料油脂添加可以更好地提高黄羽肉鸡生产性能、屠宰特性等。日粮的脂肪酸组成直接决定肉鸡肌肉的脂肪酸组成。脂肪酸的种类和组成影响脂肪组织的理化性质,是评价肌肉的营养价值的重要指标,也是决定肉品质的重要因素。

随着需求量不断增大,鸡肉供应不足和价格不断上涨已成为亟待解决的问题。如何降低饲养成本,缩短饲养周期,保证家禽生产的盈利能力,成为肉鸡养殖业关心的重要问题。大豆油作为肉鸡日粮中最常见的油脂来源,在添加前需要经过多次水化、过滤和脱胶处理。棕榈油价格相对便宜,具有氧化稳定性,其在促进肉仔鸡生长中有显著作用。中国棉籽生产量长居世界第一,是一种便宜易得的植物油来源。此外,从屠宰场处理废物获取加工过的动物脂肪,如猪油,也是一种供应广泛、价格低廉的

油脂来源。这几种油脂在黄羽肉鸡不同养殖阶段中添加对其生产性能、肉品质和肌肉脂肪酸组成有无显著影响,能否替代大豆油作为更低廉的日粮油脂尚不清楚。本试验旨在探讨不同油脂对不同养殖阶段的黄羽肉鸡生产性能、肉品质、肌肉脂肪酸组成的影响,为不同油脂在肉鸡饲料中的添加提供理论依据,也为生产出更健康、更优质、更经济的鸡肉提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验仪器与材料

定仪(OPTO-STAR, Matthauss, Germany),气相色谱仪(GC-9A, Shimadzu, Japan),气相色谱柱(CP-Sil88, Agilent, USA),刺入式温度测量仪(Testo-108-2, Testo, Germany),恒温水浴锅(HH-4, 科析, 江苏)等。大豆油、棕榈油、棉籽油及猪油等油脂由丰益(上海)生物技术研发中心有限公司提供。

1.2 试验方法

选取432羽1日龄快大型黄羽肉鸡(青脚麻鸡),雌雄各半,采用阶梯式笼养。根据体重相近原则随机分为4组,每组6重复,每重复18羽,分别为对照组(大豆油)、棕榈油组、棉籽油组和猪油组。试验期为52d,分为3个饲养阶段,1~20日龄、21~40日龄、41~52日龄,油脂添加量分别为1.8%、3.2%、4.2%。试验采用玉米—豆粕型基础粉状饲料,并参考美国·家禽营养需要·(NRC, 1994)及我国黄羽肉鸡营养需要标准(NY/T33—2004)进行饲

粮配方设计，基础日粮组成及营养水平见表 1。在 3 个饲养阶段，不同油脂添加比例一致，为保持各个试验组日粮代谢能相同，各组分别添加不同剂量蔗糖进行调配。

试验期间人工添料，试验鸡自由采食、自由饮水。光照、温度、免疫程序按常规操作规程进行。在第 52 天试验结束时，于每个重复随机抽取 2 只鸡，每组 12 只，称重后屠宰，立即取出胸肌、腿肌，生理盐水冲洗，滤纸吸干，编号后装入塑料袋中迅速置于 4℃ 冰箱保存备用。

1.3 测定指标

1.3.1 生产性能测定分别于 1 日龄（试验起始）、20 日龄、40 日龄及 52 日龄（试验结束）时进行称重，并详细记录每周各笼肉鸡饲料消耗量，计算不同生长阶段肉鸡平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）及料重比（F/G）。 $F/G=ADFI/ADG$ 。

1.3.2 肉品质测定 1) pH 值测定：屠宰后取胸肌，冷藏于 4℃ 冰箱。分别于 45min、24h 和 48h 将已校正的插入式肉品 pH 计的固体探头插入样品 0.5~1cm 深处，在同一点重复测定，并读取数值，分别计为 pH45min、pH24h、pH48h。当测定结果符合允许差要求后，则取同一直线上不同点的 3 个测定值的平均值作为结果，精确到 0.1。

2) 剪切力测定：取屠宰后于 4℃ 熟化 24h 的胸肌，用自封袋密封后在恒温水浴锅 80℃ 加热 30~40min，使肌肉块中心温度达到 70℃；取出肉样，冷却 30min，用手术刀沿肌纤维平行方向切成 2.0cm × 1.0cm × 0.25cm 的肌肉 3 条，并按肌肉纤维走向置于肌肉嫩度仪的受力平台上，测量并记录剪切力值，测定后取 3 个测定值的平均值。

表 1 黄羽肉鸡基础日粮组成及营养水平

组成	1~20 日龄	21~40 日龄	41~52 日龄
玉米	57	58	60.3
豆粕	30	25	21
玉米蛋白粉	4.6	6.0	6.0

组成	1~20 日龄	21~40 日龄	41~52 日龄
油脂	1.8	3.2	4.2
L- 赖氨酸盐酸盐 (98%)	0.34	0.35	0.35
石粉	1.2	1.4	1.4
磷酸氢钙	2.0	1.6	1.6
DL- 蛋氨酸 (固体)	0.15	0.08	0.08
预混料	1.0	1.0	1.0
食盐	0.3	0.3	0.3
蔗糖+载体	1.61	3.07	3.77
营养水平			
代谢能	12.25	12.63	12.93
粗蛋白	21.09	19.81	18.23
钙	1.00	0.96	0.95
有效磷	0.41	0.34	0.34
赖氨酸	1.25	1.15	1.04
蛋氨酸	0.48	0.41	0.39
蛋氨酸+胱氨酸	0.81	0.72	0.68
合计	100	100	100

注：1) 预混料为每千克日粮提供：维生素 A10000IU，维生素 D33000IU，维生素 E30IU，维生素 K31.3mg，硫胺素 2.2mg，核黄素 8mg，烟酸 40mg，泛酸钙 10mg，吡哆醇 4mg，叶酸 1mg，生物素 0.04mg，维生素 B120.013mg，氯化胆碱 600mg，铁 80mg，锌 60mg，锰 110mg，铜 8.0mg，碘 1.1mg，硒 0.3mg。2) 试验组添加蔗糖保证各组间饲料配方代谢能一致。3) 代谢能单位是 MJ · kg⁻¹。

3) 滴水损失测定：取一块胸肌修剪为 5cm × 3cm × 2cm 的肉块，称重，记为 W1，用铁丝钩住肉样一端，使肌纤维垂直向下，装入自封袋中（肉样不得与袋壁接触），封口后悬挂于 4℃ 冷库，分别于 24、48h 后取出并用滤纸吸去肉样表面水分，称重，记为 W2、W3；计算 24 和 48h 积水损失率。24h 滴水损失率 = $(W1-W2)/W1 \times 100\%$ ；48h 滴水损失率 = $(W1-W3)/W1 \times 100\%$ 。

1.3.3 肌肉脂肪酸组成测定 1) 脂肪提取：采用 Folch 法提取样本脂肪。称取 5g 左右的胸肌和腿肌样品，将肉样剪碎置于研钵中，加入 100mL 氯仿—

甲醇混合液（体积比 2：1），匀浆。静置 5min，过滤入分后取下层液用氮气吹干，称重。

2) 气相色谱条件及测定：用 GC-9A 型气相色谱仪及 FID 检测器测定脂肪酸的组成。CP-sil88 色谱柱 50m×0.25mm，0.20μm；载气为 99.999% 高纯氮，60kPa；99.99% 氢气，60kPa；空气压力为 50kPa，柱温 140~220℃，升温速度 5℃·min⁻¹；监测器温度 280℃；进样口温度 280℃；分流比 1/50。通过与标样滞留时间的比较确定未知脂肪酸的含量。结果用单个脂肪酸占总甲基化脂肪酸的百分比表示。测定的脂肪酸包括：丁酸 C4：0、月桂酸 C12：0、肉豆蔻酸 C14：0、豆蔻油酸 C14：1（c9）、十五烷酸 C15：0、棕榈酸 C16：0、棕榈油酸 C16：1（t9）、棕榈油酸 C16：1（c9）、十七烷酸 C17：0、十七烷烯酸 C17：1、硬脂酸 C18：0、油酸 C18：1（t9）、油酸 C18：1（c9）、亚油酸 C18：2n-6、γ-亚麻酸 C18：3n-6、α-亚麻酸 C18：3n-3、计饱和脂肪酸（saturatedfattyacids，SFA）、不饱和脂肪酸（unsaturatedfattyacids，USFA）、单不饱和脂

肪酸（monounsaturatedfattyacids，MUFA）、多不饱和脂肪酸（polyunsaturatedfattyacids，PUFA）、n-3 不饱和脂肪 C20：4n-6；n-3PUFA=C18：3n-3+C20：5n-3+C22：6。

1.4 数据统计与分析

数据均采用 SPSS19.0 软件进行单因素方差分析（one-wayANOVA，LSD），采用邓肯氏多重比较进行差异显著性检验。结果以平均值 ± 标准误表示。

2 结果与分析

2.1 添加不同油脂对黄羽肉鸡生产性能的影响
如表 2 所示：在饲养前期（1~40 日龄），与对照组相比，添加棕榈油或棉籽油对黄羽肉鸡体重、日增重、采食量和料重比无显著影响（P>0.05）；在饲养后期（41~52 日龄），与对照组相比，添加棕榈油或棉籽油显著降低了采食量（P<0.05）、极显著降低了肉鸡重（P<0.01）。此外，在整个生长阶段（1~52 日龄），与对照组相比，添加猪油对黄羽肉鸡体重、日增重和料重比无显著影响（P>0.05）。

表 2 添加不同油脂对黄羽肉鸡生产性能的影响

指标 Index	对照组 Control group	棕榈油组 Palm oil group	棉籽油组 Cottonseed oil group	猪油组 Lard group	P 值 P-value
肉鸡重 /g Weight					
1 日龄 1-day-old	36.72 ± 0.23	36.78 ± 0.23	36.76 ± 0.21	36.93 ± 0.19	0.010
20 日龄 20 days old	0.41 ± 0.01ab	0.42 ± 0.00ab	0.40 ± 0.00b	0.43 ± 0.00a	0.011
40 日龄 40 days old	1.18 ± 0.02	1.15 ± 0.03	1.15 ± 0.01	1.17 ± 0.03	0.806
52 日龄 52 days old	1.87 ± 0.03A	1.79 ± 0.01B	1.74 ± 0.02B	1.84 ± 0.02A	0.008
日增重 /g Daily gain					
1~20 日龄 1-20 days old	19.32 ± 0.35ab	19.67 ± 0.22ab	18.82 ± 0.20b	20.13 ± 0.20a	0.010
21~40 日龄 21-40 days old	38.26 ± 0.67	36.78 ± 1.30	37.36 ± 0.43	37.05 ± 1.18	0.721
1~52 日龄 1-52 days old	35.45 ± 0.66A	34.01 ± 0.22BC	33.10 ± 0.40C	34.86 ± 0.39AB	0.008
采食量 /g Feed intake					
1~20 日龄 1-20 days old	34.06 ± 0.77b	34.40 ± 0.39b	33.82 ± 0.19b	35.75 ± 0.38a	0.046
21~40 日龄 21-40 days old	86.84 ± 2.10	86.35 ± 0.98	88.45 ± 2.09	86.45 ± 0.98	0.785
41~52 日龄 41-52 days old	157.89 ± 2.71a	146.77 ± 1.53b	148.95 ± 3.47b	154.44 ± 3.13ab	0.043
1~52 日龄 1-52 days old	82.94 ± 1.10	80.31 ± 0.71	81.40 ± 1.43	82.64 ± 1.08	0.631

指标 Index	对照组 Control group	棕榈油组 Palm oil group	棉籽油组 Cottonseed oil group	猪油组 Lard group	P 值 P-value
料重比 Feed/gain ratio					
1 ~20 日龄 1 -20 days old	1.76 ± 0.02	1.75 ± 0.02	1.80 ± 0.02	1.78 ± 0.02	0.420
21 ~40 日龄 21 -40 days old	2.28 ± 0.07	2.37 ± 0.09	2.37 ± 0.05	2.35 ± 0.07	0.774
41 ~52 日龄 41 -52 days old	2.76 ± 0.09b	2.78 ± 0.12b	3.00 ± 0.06a	2.78 ± 0.07b	0.196
1 ~52 日龄 1 -52 days old	2.34 ± 0.04	2.36 ± 0.02	2.46 ± 0.03	2.37 ± 0.03	0.668

注：肩标小写字母不同者表示差异显著 (P<0.05)，大写字母不同者表示差异极显著 (P<0.01)。数据均以 ± SE 表示，下同。

2.2 添加不同油脂对黄羽肉鸡肉品质的影响 加棕榈油和猪油组相比，添加棉籽油极显著降低了
由表 3 可见：与对照组相比，添加棉籽油显著 黄羽肉鸡胸肌剪切力（P<0.01）。
升高了黄羽肉鸡胸肌 pH45min 值（P<0.05）。与添

表 3 添加不同油脂对黄羽肉鸡胸肌肉品质的影响

指标 Index	对照组 Control group	棕榈油组 Palm oil group	棉籽油组 Cottonseed oil group	猪油组 Lard group	P 值 P-value
pH45 min	6.18 ± 0.10b	6.16 ± 0.11b	6.53 ± 0.11a	6.11 ± 0.08b	0.044
pH24 h	5.26 ± 0.17	5.50 ± 0.14	5.13 ± 0.17	5.35 ± 0.08	0.387
pH48 h	5.75 ± 0.03	5.80 ± 0.05	5.79 ± 0.04	5.71 ± 0.04	0.256
24 h 滴水损失率 /% 24 h drip loss rate	2.83 ± 0.28	2.80 ± 0.37	2.79 ± 0.29	2.74 ± 0.26	0.990
48 h 滴水损失率 /% 48 h drip loss rate	6.63 ± 1.52	5.32 ± 0.71	4.21 ± 1.70	5.14 ± 0.43	0.655
剪切力 /N Shear force	25.90 ± 1.73AB	34.99 ± 4.48A	16.01 ± 1.24B	30.84 ± 4.43A	0.003

2.3 添加不同油脂对黄羽肉鸡胸肌脂肪酸组成的影响

如表 4 所示：与对照组相比，添加棕榈油显著增加黄羽肉鸡胸肌单不饱和脂肪酸（MUFA）含量（P=0.01），其中油酸 [C18：1（c9）] 含量显著上升（P<0.05）；还极显著降低多不饱和脂肪酸（n-3PUFA 及 n-6PUFA）含量 (P<0.01)，其中亚油酸 (C18：2)、γ - 亚麻酸 (C18：3 n-6)、α - 亚麻酸 (C18：3 n-3)、二十二碳六烯酸（C22:6）含量极显著下降（P<0.01）。

添加棉籽油极显著增加黄羽肉鸡胸肌饱和脂

肪酸 (SFA) 含量 (P<0.01)，其中肉豆蔻酸 (C14:0)、棕榈酸 (C16:0) 含量极显著上升 (P<0.01); 显著降低了不饱和脂肪酸 (USFA) 及 n-3 多不饱和脂肪酸 (n-3PUFA) 含量 (P<0.05 或 0.01), 其中棕榈油酸 (C16:1)、a- 亚麻酸 (C18:3n-3)、二十二碳六烯酸 (C22:6) 含量显著下降 (P<0.05 或 0.01)。添加猪油极显著增加肉鸡胸肌肉豆蔻酸 (C14:0) 含量 (P<0.01)，极显著降低多不饱和脂肪酸 (n-3 PUFA 及 n-6 PUFA) 含量 (P<0.01)，其中亚油酸 (C18:2)、a- 亚麻酸 (C18:3n-3)、- 亚麻酸 (C18:3n-6) 含量极显著下降 (P<0.01)。

表 4 添加不同油脂对黄羽肉鸡胸肌脂肪酸组成的影响

脂肪酸 Fatty acid	对照组 Control group	棕榈油组 Palm oil group	棉籽油组 Cottonseed oil group	猪油组 Lard group	P 值 P-value
C4 :0	0.22 ± 0.03AB	0.20 ± 0.04B	0.13 ± 0.01B	0.31 ± 0.03A	0.006
C14 :0	0.32 ± 0.01B	0.46 ± 0.01A	0.47 ± 0.03A	0.41 ± 0.03A	0.001

脂肪酸 Fatty acid	对照组 Control group	棕榈油组 Palm oil group	棉籽油组 Cottonseed oil group	猪油组 Lard group	P 值 P-value
C15 :0	—	—	0.07 ± 0.01	—	0.812
C16 :0	20.33 ± 0.13B	23.28 ± 0.31A	24.21 ± 1 .16A	21 .07 ± 0.43B	0.001
C16 :1	1 .64 ± 0.38a	2.30 ± 0.36a	0.86 ± 0.10b	1 .86 ± 0.26a	0.019
C17 :0	0.37 ± 0.24	0.28 ± 0.15	0.15 ± 0.01	0.81 ± 0.31	0.164
C17 :1	0.60 ± 0.26	0.67 ± 0.19	0.37 ± 0.08	0.31 ± 0.16	0.472
C18 :0	10.67 ± 0.55B	10.14 ± 0.36B	15.23 ± 0.35A	10.58 ± 0.36B	0.000
C18 :1 n-9(t9)	0.13 ± 0.02b	0.13 ± 0.00ab	0.19 ± 0.01a	—	0.028
C18 :1 n-9(c9)	19.82 ± 2.38b	27.40 ± 1 .73a	18.88 ± 1 .43b	23.44 ± 1 .53ab	0.013
C18 :2 n-6	20.70 ± 0.75A	14.97 ± 0.84B	20.70 ± 0.74A	14.89 ± 0.51B	0.000
C20 :0	0.15 ± 0.01ab	0.13 ± 0.01b	0.14 ± 0.00b	0.17 ± 0.02a	0.039
C18 :3 n-6	0.17 ± 0.00A	0.12 ± 0.00B	0.11 ± 0.01B	0.13 ± 0.02B	0.004
C20 :1	0.28 ± 0.02ab	0.33 ± 0.02a	0.24 ± 0.01b	0.29 ± 0.01ab	0.014
C18 :3 n-3	0.63 ± 0.11A	0.28 ± 0.01B	0.23 ± 0.03B	0.24 ± 0.02B	0.000
C20 :2	0.89 ± 0.12	0.35 ± 0.06	0.72 ± 0.12	0.47 ± 0.05	0.065
C22 :0	0.18 ± 0.02B	0.47 ± 0.07A	0.19 ± 0.03B	0.23 ± 0.02B	0.000
C20 :3 n-6	1 .17 ± 0.16	1 .09 ± 0.10	0.91 ± 0.16	1 .31 ± 0.10	0.239
C20 :4 n-6	7.50 ± 0.79	5.64 ± 0.54	6.74 ± 0.84	7.25 ± 0.63	0.276
C24 :0	0.17 ± 0.01A	0.15 ± 0.02A	0.07 ± 0.01B	0.18 ± 0.02A	0.003
C22 :6	1 .12 ± 0.06A	0.54 ± 0.07B	0.35 ± 0.08B	0.94 ± 0.13A	0.000
SFA	32.39 ± 0.66C	35.14 ± 0.29B	40.60 ± 1 .40A	33.66 ± 0.63BC	0.000
USFA	54.53 ± 1 .88a	53.88 ± 0.66a	49.41 ± 0.28b	51 .22 ± 0.96ab	0.013
USFA/SFA	1 .69 ± 0.09A	1 .53 ± 0.03A	1 .22 ± 0.04B	1 .52 ± 0.04A	0.000
MUFA	22.45 ± 2.72b	30.76 ± 1 .92a	20.54 ± 1 .47b	25.96 ± 1 .71ab	0.010
PUFA	32.09 ± 1 .13A	23.12 ± 1 .38C	28.87 ± 1 .30AB	25.26 ± 1 .19BC	0.000
n-6 PUFA	29.45 ± 0.94A	21 .82 ± 1 .27B	27.50 ± 1 .15A	23.50 ± 1 .08B	0.000
n-3 PUFA	1 .75 ± 0.07A	0.95 ± 0.07C	0.65 ± 0.06D	1 .29 ± 0.09B	0.000
n-6/n-3	16.95 ± 0.91C	23.25 ± 1 .11B	43.50 ± 2.95A	18.50 ± 0.88BC	0.000

2.4 添加不同油脂对黄羽肉鸡腿肌脂肪酸组成的影响

如表 5 所示 : 与对照组相比, 添加棕榈油极显著增加黄羽肉鸡腿肌饱和脂肪酸 (SFA) 含量 (P<0.01), 其中肉豆蔻酸 (C14:0)、棕榈酸 (C16:0) 含量极显著升高 (P<0.01); 极显著降低不饱和脂肪酸 (USFA) 及多不饱和脂肪酸 (n-3PUFA 及 n-6PUFA) 含量 (P<0.01), 其中亚油酸 (C18:2n-6)、γ-亚麻酸 (C18:3n-6)、α-亚麻酸 (C18:3n-3)、二十碳烯酸 (C20:1) 含量极显著下降 (P<0.01)。

添加棉籽油极显著增加黄羽肉鸡腿肌中饱和脂肪酸 (SFA) 含量 (P<0.01), 其中肉豆蔻酸 (C14:0)、棕榈酸 (C16:0)、硬脂酸 (C18:0) 含量极显著上升 (P<0.01), 花生酸 (C20:0)、花生二烯酸 (C20:2)、二十二烷酸 (C22:0) 含量也极显著升高 (P<0.01); 极显著降低不饱和脂肪酸 (USFA)、单不饱和脂肪酸 (MUFA) 及 n-3 多不饱和脂肪酸 (PUFAn-3) 含量 (P<0.01), 其中棕榈油酸 (C16:1)、α-亚麻酸 (C18:3n-3)、二十碳烯酸 (C20:1) 含量极显著降低 (P<0.01)。

表 5 添加不同油脂对黄羽肉鸡腿肌脂肪酸组成的影响

脂肪酸 Fatty acid	对照组 Control group	棕榈油组 Palm oil group	棉籽油组 Cottonseed oil group	猪油组 Lard group	P 值 P-value
C4 : 0	0.10 ± 0.02	0.07 ± 0.00	0.09 ± 0.02	0.13 ± 0.04	0.470
C14 : 0	0.36 ± 0.02C	0.56 ± 0.03A	0.45 ± 0.02B	0.44 ± 0.04B	0.000
C14 : 1	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	—	0.08 ± 0.01	0.680
C15 : 0	0.06 ± 0.00b	0.07 ± 0.01a	0.05 ± 0.00b	0.06 ± 0.01ab	0.042
C16 : 0	19.85 ± 0.53B	23.79 ± 0.28A	23.65 ± 0.65A	20.52 ± 0.60B	0.000
C16 : 1	3.48 ± 0.38A	3.73 ± 0.37A	0.85 ± 0.06B	3.50 ± 0.61A	0.000
C17 : 0	0.13 ± 0.01	0.28 ± 0.12	0.13 ± 0.01	0.38 ± 0.16	0.637
C17 : 1	0.30 ± 0.08	0.30 ± 0.07	0.19 ± 0.03	0.35 ± 0.06	0.358
C18 : 0	8.23 ± 0.86B	8.73 ± 0.61B	16.95 ± 0.12A	10.00 ± 1 .04B	0.000
C18 : 1 n-9(t)	0.12 ± 0.01	1 .38 ± 1 .23	0.17 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.413
C18 : 1 n-9(c)	29.48 ± 2.52	27.00 ± 5.43	17.93 ± 1 .16	30.77 ± 2.74	0.055
C18 : 2 n-6(c)	24.07 ± 1 .11A	15.99 ± 0.79B	23.46 ± 0.99A	16.73 ± 1 .80B	0.000
C20 : 0	0.10 ± 0.01B	0.09 ± 0.00B	0.13 ± 0.00A	0.10 ± 0.01B	0.004
C18 : 3 n-6	0.26 ± 0.03A	0.17 ± 0.16B	0.13 ± 0.01B	0.14 ± 0.01B	0.000
C20 : 1	0.34 ± 0.01A	0.29 ± 0.01B	0.23 ± 0.01C	0.32 ± 0.01A	0.000
C18 : 3 n-3	1 .18 ± 0.08A	0.45 ± 0.05B	0.28 ± 0.02B	0.49 ± 0.12B	0.000
C20 : 2	0.31 ± 0.08B	0.17 ± 0.01B	0.51 ± 0.05A	0.25 ± 0.04B	0.001
C22 : 0	0.10 ± 0.02B	0.10 ± 0.01B	0.30 ± 0.04A	0.13 ± 0.02B	0.000
C20 : 3 n-6	0.41 ± 0.08	0.52 ± 0.05	0.58 ± 0.06	0.49 ± 0.06	0.345
C20 : 4 n-6	3.89 ± 0.91	4.21 ± 0.45	5.58 ± 0.73	5.48 ± 1 .00	0.347
C24 : 0	—	0 09 ± 0 01	0 05 ± 0 01	0 07 ± 0 01	0 027
C20 : 5 n-3	0.08 ± 0.02	0.07 ± 0.01	—	0.07 ± 0.01	0.815
C22 : 6	0.49 ± 0.11	0.36 ± 0.05	0.27 ± 0.04	0.59 ± 0.10	0.060
SFA	28.84 ± 0.49C	32.39 ± 1 .34B	41 .98 ± 0.75A	31 .78 ± 0.70B	0.000
USFA	64.43 ± 1 .36A	54.66 ± 4.11BC	50.19 ± 0.54C	59.30 ± 1 .54AB	0.002
USFA/SFA	2.24 ± 0.08A	1 .68 ± 0.08B	1 .20 ± 0.03C	1 .88 ± 0.09B	0.000
MUFA	34.08 ± 2.75A	32.98 ± 4.28A	19.57 ± 1 .18B	35.50 ± 3.34A	0.006
PUFA	30.65 ± 1 .78A	21 .93 ± 0.63B	30.81 ± 1 .19A	24.15 ± 2.38B	0.001
n-6 PUFA	28.63 ± 1 .61A	20.89 ± 0.61B	29.74 ± 1 .13A	22.76 ± 2.20B	0.001
n-3 PUFA	1 .71 ± 0.10A	0.88 ± 0.04B	0.56 ± 0.03C	1 .13 ± 0.14B	0.000

添加猪油极显著增加黄羽肉鸡腿肌中饱和脂肪酸 (SFA) 含量 (P<0.01), 其中肉豆蔻酸 (C14 : 0) 含量显著上升 (P<0.01); 极显著降低多不饱和脂肪酸 PUFA (包括 n-3 及 n-6) 含量 (P<0.01), 其中亚油酸(C18 : 2 n-6)、α -亚麻酸(C18 : 3 n-3) 含量极显著下降 (P<0.01)。

3 讨论

油脂是肉鸡日粮中常见的重要能量来源。油脂

因其改善饲料适口性、含能量高、可以提供必需脂肪酸等特点被广泛应用于现代集约化肉鸡养殖业。已有研究表明, 饲料中添加油脂可以改善肉鸡生产性能。于会民等发现日粮中添加豆油、牛油和黄油可提高肉鸡日增重, 改善饲料转化效率。然而, 油脂的来源对肉鸡生产性能的改善有很大影响。

本试验结果显示, 与对照组相比, 添加棕榈油和棉籽油在黄羽肉鸡饲养前中期 (1~42 日龄) 对

生产性能未产生显著影响。添加大豆油（对照组）在饲养后期（41~52 日龄）肉鸡获得了相对更好的生产性能，这与 Zollitsch 等研究结果一致，豆油组肉鸡的生产性能优于动植物混合油脂组和人工合成油脂组。燕磊等发现棕榈油对于肉鸡后期生长有一定负面影响。Poorghasemi 等研究发现，与添加动物油脂相比，添加 3% 豆油能更好提高肉鸡的饲料转化率。大豆油由于不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸比例较高，经过肠道水解为单甘油酯，形成易被吸收的胶束，从而更好地提高了生产性能。然而，Zhong 等报道，与猪油相比，添加棕榈油能显著提高肉鸡日增重。试验结果的差异可能与饲养环境、油脂种类以及替代比例不同有关。棉籽产品含有游离棉酚（FG）及环丙烯脂肪酸（CPFA），高浓度可引起呼吸窘迫、体重下降、食欲不振等急性中毒症状。日粮中含有较高比例的棉籽油会增加其中 CPFA 浓度，抑制肉鸡增重。这或许可以解释本试验中饲养后期（41~52 日龄）棉籽油添加组肉鸡日增重显著低于对照组。此外，与大豆油组相比，1~20 日龄添加猪油显著增加了肉鸡采食量，其他指标没有显著差异。

饲料中的某些成分（如色素、维生素、不饱和脂肪酸等）可以转移到肌肉，其转移数量会对肉品质产生直接影响。pH 值是衡量肉品质的一个非常重要的参数。肉品的鲜味主要由谷氨酸钠提供，其呈味效果在 pH6.0 时最强，当 pH 值 >7.0 时鲜味消失。屠宰后动物肌肉无氧酵解导致 pH 值降低，直接影响肌肉系水力。系水力直接影响鸡肉的风味、质地、嫩度、多汁性等食用品质。研究表明脂肪含量较高的鸡肉系水力较低。本试验中，添加棉籽油组肉鸡肌肉的 pH_{45min} 显著高于其他组，并且剪切力显著低于棕榈油及猪油添加组。有研究表明，肌肉剪切力值越小，肌肉越嫩，这也验证了肌肉 pH 值降低是肌肉系水力下降的原因。

肉鸡日粮的脂肪酸组成直接影响其肌肉脂肪

酸组成。研究表明，通过饲喂不同来源、不同成分比例的脂肪酸可以改变肉鸡肌肉脂肪酸组成。大豆油的主要成分为油酸（22%~30%）和亚油酸（50%~60%）；棕榈油的主要成分为棕榈酸（44%）和油酸（40%）；棉籽油主要以亚油酸（51.99%~60.88%）、棕榈酸（18.30%~25.68%）和油酸（12.28%~18.50%）为主；猪油中富含油酸（41%~45%）和棕榈酸（26%~32%），且与植物油相比，其花生四烯酸（0.4%~3%）含量更高。在本试验中，对照组和添加棉籽油组黄羽肉鸡的胸肌和腿肌中亚油酸含量极显著高于另 2 组；添加棕榈油和棉籽油组黄羽肉鸡的胸肌和腿肌中棕榈酸含量极显著高于另 2 组，这与它们的脂肪酸组成比例相似。然而，与对照组相比，猪油添加未对黄羽肉鸡的胸肌和腿肌所含油酸及花生四烯酸含量产生显著影响。

研究表明，不饱和脂肪酸（USFA）可以降低血液胆固醇和甘油三酯含量，调节心脏功能，提高脑细胞的活性等。n-3 及 n-6 不饱和脂肪酸不能通过体内合成，只能通过饮食摄取。膳食中 PUFA 含量能要来源。本试验中，与对照组相比，添加棕榈油、棉籽油及猪油组肉鸡胸肌和腿肌中整体 PUFA 水平均 Baylink 等研究发现，鸡在缺乏 ALA 时会出现营养性脑软化症，而在日粮中补充 ALA 后可阻止该病的发展。本试验中棕榈油、棉籽油及猪油添加组肉鸡胸肌和腿肌中 ALA 含量均显著低于大豆油组。另外，大豆油组肉鸡胸肌和腿肌 n-6/n-3 比值均最低，而目前人类膳食中 n-6/n-3 比值已经超出健康范围，低桐油及棉籽油组肉鸡胸肌和腿肌 C14 : 0 及 C16 : 0 含量极显著升高。综合以上，与大豆油相比，肉鸡日粮中油脂补充仅选择棕榈油、棉籽油或猪油对黄羽肉鸡肌肉脂肪酸组成未能起到改善效果。在肉鸡日粮中添加适度比例混合油脂可能是一个更好的选择。

本研究表明，添加不同油脂（大豆油、棕榈油、

棉籽油或猪油)对黄羽肉鸡前期(1~40日龄)生产性能和肉品质无明显影响。与添加大豆油相比,添加棕榈油、棉籽油或猪油显著增加肉鸡腿肌饱和脂

肪酸含量,显著降低肉鸡胸肌和腿肌多不饱和脂肪酸含量。

(转自南京农业大学学报)

油脂在蛋禽生产中应用研究进展

丁永旺¹ 靳二辉^{1, 2} 陈伟³

(1. 安徽科技学院动物科学学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 动物营养调控与健康安徽省重点实验室, 安徽 凤阳 233100; 3. 广东省农业科学院动物科学研究所 畜禽育种国家重点实验室 农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室 广东省动物育种与营养公共实验室 广东省畜禽育种与营养研究重点实验室, 广东 广州 510640)

蛋禽是我国重要的经济养殖动物, 可为人们提供优质蛋白质来源。近年来, 随着我国养殖业集约化程度的提高, 蛋禽对饲料的需求日益增多, 而玉米、豆粕等主要饲料原料价格大幅上涨。因此, 需要研究科学高效的饲料配比, 以期达到蛋禽的精准营养和降本增效的目标。油脂是动物重要的能量来源, 饲料中添加油脂能够满足禽类能量需求, 减少饲料粉尘, 改善适口性。同时油脂可作为脂溶性维生素载体, 为机体提供必需脂肪酸。此外, 补充油脂可以减缓饲料通过消化道速度, 从而提高营养物质消化率。不同种类的油脂营养物质组成不同, 对机体的作用也不同。油脂的加工方式会影响其营养物质组成, 如椰子油和初榨椰子油脂肪酸组成相似, 但初榨椰子油中含有较多的维生素E和多酚类物质, 从而对机体产生的营养作用不同。因此, 文章综述了蛋禽脂肪营养需求特点以及蛋禽饲料中油脂应用

现状, 旨在为油脂在蛋禽生产中的应用提供参考。

1 油脂及禽蛋脂质营养概述

油脂根据来源可分为动物油、植物油和氢化脂肪等; 根据脂肪酸饱和度可分为饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸; 根据碳链长度又可将脂肪酸分为长链脂肪酸、中链脂肪酸和短链脂肪酸。与动物油相比, 植物油普遍具有较高含量的多不饱和脂肪酸, 而鱼油和微藻油含有较多二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)。植物来源的油脂主要由农作物果实中的种子加工而成, 如花生油、大豆油、芝麻油、油菜籽油和向日葵籽油等, 部分植物油由果实中的果肉加工而成, 如椰子油、橄榄油和棕榈油。动物来源的油脂由动物各部位脂肪组织提炼加工而成。油脂主要由甘油三酯与少量脂溶性物质(如维生素E)组成。养殖业中常用的植物油和动物油的脂肪酸组成见表1。

表1 养殖业中常用植物油和动物油的脂肪酸组成

单位: g/100g

脂肪酸	动物油				植物油						
	牛油	猪油	鱼油	大豆油	葵花籽油	花生油	芝麻油	橄榄油	玉米油	亚麻籽油	椰子油
C12 : 0	—	0.06	0.14	—	—	—	0.02	—	—	—	43.04
C14 : 0	3.59	1.20	6.04	0.08	0.28	0.04	0.64	—	0.25	0.02	16.83
C16 : 0	26.70	24.79	18.12	10.47	6.35	11.26	18.72	11.28	12.19	4.88	8.83
C16 : 1	1.74	2.09	4.88	0.08	0.08	0.06	0.49	0.88	0.07	0.05	0.02
C18 : 0	20.60	13.27	3.35	3.92	3.34	3.96	2.69	3.31	1.72	3.59	2.62
C18 : 1 (n-9)	37.70	42.21	10.33	21.30	31.56	43.35	20.34	74.90	26.65	16.45	7.11
C18 : 2 (n-6)	4.02	13.91	1.53	51.24	56.53	33.93	55.03	7.03	56.82	16.89	1.90
C18 : 3 (n-3)	2.49	0.60	1.45	6.31	0.20	0.33	0.72	0.69	0.83	56.42	0.01

脂肪酸	动物油				植物油						
	牛油	猪油	鱼油	大豆油	葵花籽油	花生油	芝麻油	橄榄油	玉米油	亚麻籽油	椰子油
C20 : 0	0.14	0.20	0.78	0.37	—	1.74	0.24	0.46	0.17	0.12	0.08
C20 : 3 (n-3)	—	—	0.13	0.01	—	—	0.01	—	—	—	—
C20 : 4 (n-3)	—	—	0.88	—	—	—	—	—	—	—	—
C20 : 5 (n-3)	—	—	8.88	—	—	—	0.20	—	—	—	—
C22 : 6 (n-3)	—	—	13.97	—	—	—	0.06	—	—	—	—

注：“—”表示文献未提及。

禽蛋中含有丰富的脂质，主要集中在蛋黄中。不同种类的禽蛋中蛋黄占禽蛋比例差异较大，鸡蛋、鸭蛋、鹅蛋、火鸡蛋、鹌鹑蛋、鸽子蛋中蛋黄比例分别为 27.5%、32.4%、37.9%、29.8%、30.2%、19.3%。此外，鸭蛋因含有较高的蛋黄比例，常用于加工成咸蛋和松花蛋。蛋中的脂肪是禽胚胎发育的必需脂肪酸来源和重要能量来源。禽蛋中脂肪酸的类型对雏禽的健康有显著的影响，如禽蛋中 n-6 与 n-3 多不饱和脂肪酸的含量和比例影响出壳后雏鸡的抗氧化能力和免疫能力。

2 禽类对油脂的消化特点

家禽体内脂肪酸的从头合成发生在肝脏。与哺乳动物不同，家禽脂肪组织不能利用乙酸、丙酮酸或葡萄糖从头合成脂肪酸。家禽口腔和胃不能分泌脂肪消化酶，因此脂肪消化主要发生在肌胃和十二指肠腔内，而脂肪酸的吸收主要在空肠中，部分在回肠中。脂肪的消化吸收过程需要胆汁酸和脂肪酶参与。不同种类脂肪酸在家禽体内消化吸收速率不同，中链脂肪酸较长链脂肪酸更易被家禽吸收，不饱和脂肪酸较饱和脂肪酸更易被吸收。亚油酸是家禽生长发育的必需脂肪酸，长链多不饱和脂肪酸对家禽的健康发育具有重要意义。

3 饲料中添加油脂对蛋禽生产性能和蛋品质的影响

与肉禽相比，油脂在蛋禽生产中的应用研究相对较少。除蛋禽自身因素外，饲料添加油脂的应用效果还受到油脂来源、油脂添加量、油脂加工方式、饲养环境等因素的影响。饲料中添加油脂对蛋禽生

产性能和蛋品质产生影响见表 2。

有研究显示，与不含大豆油的对照组（代谢能为 12.47MJ/kg）相比，饲料添加 3% 大豆油（代谢能为 13.78MJ/kg）可显著降低蛋鸡产蛋率。也有研究表明，在代谢能一致情况下，饲料添加 3% 大豆油不会降低蛋鸡产蛋率。在鹌鹑饲料中添加 1.5% 的大豆油可提高日产蛋重。而在一项关于蛋鸭的试验中（试验各组代谢能不一致）发现，饲料添加 1%、2%、3%、4% 大豆油使蛋鸭产蛋率逐渐降低，这可能与该试验中试验组代谢能值不断升高有关。Wen 等在蛋鸡饲料中添加 1%、2%、4%、6% 橡胶籽油后（试验各组代谢能一致）发现，与对照组相比，饲料添加 4% 橡胶籽油可显著提高蛋鸡产蛋率，增加蛋鸡平均日采食量。Jiang 等研究发现，与饲料中含有 1.9% 大豆油的对照组相比，饲料中添加 7%、10% 的大豆油时，蛋鸡采食量降低，腹部脂肪含量增加。有研究表明，饲料能量及营养水平显著影响蛋鸡产蛋性能。因此，饲料添加油脂对蛋禽产蛋性能的影响与试验设计及饲料营养水平相关。有研究发现，在蛋鸡饲料中添加 3% 水平的棕榈油、棕榈仁油与大豆油对蛋鸡产蛋率无显著影响。此外，单一种类油脂营养结构往往难以满足动物的营养需求。Elkin 等发现，与饲料不含油脂的对照组相比，蛋鸡饲料中添加 40g/kg 的微藻油可降低蛋鸡的产蛋性能，而将微藻油和葵花籽油联用（饲料添加 40g/kg 微藻油和 40g/kg 葵花籽油）后产蛋性能与对照组相比无显著差异。张雅岚等发现，与饲喂含有大豆油饲料相比，饲喂含有椰子油的混合油脂饲料的

蛋鸡产蛋率可显著提高 7.6%。因此，未来研究应考虑适当比例的混合油脂在蛋禽生产中的应用效果。研究表明，饲料添加油脂对禽蛋品质较难产生影响。Du 等研究发现，与饲料不含油脂的对照组相比，在蛋鸭饲料中分别添加 0.5%、1.0%、2.0% 的鱼油、亚麻籽油、牛油及菜籽油对鸭蛋品质均无显著影响。

综上所述，在蛋禽饲料中添加油脂对蛋禽的影响与蛋禽品种以及蛋禽饲料的营养水平有关，添加适宜水平的油脂可提高蛋禽产蛋性能。此外，添加较高水平油脂导致蛋禽产蛋性能下降，威胁蛋禽机体健康。

表 2 饲料添加油脂对蛋禽生产性能和蛋品质的影响

试验动物	试验设计	生产性能	蛋品质	文献来源
海兰褐蛋鸡（40 周龄）	对照组不添加油脂，试验组分别添加 1.5% 和 3.0% 的猪油、大豆油和混合油	与对照组相比，1.5% 大豆油组蛋鸡的产蛋率无显著变化，其余组均降低	与对照组相比，1.5% 和 3.0% 的大豆油组哈夫单位降低	Gao 等
罗曼白蛋鸡（20 周龄）	对照组不添加油脂，试验组添加 3% 大豆油	3% 大豆油组产蛋率无显著差异，日采食量降低	无显著影响	Wei 等
罗曼褐蛋鸡（30 周龄）	对照组不添加油脂，试验组分别添加 1%、2%、4% 和 6% 的橡胶籽油	与对照组相比，4% 橡胶籽油组蛋鸡的产蛋率和日产蛋重显著增加，其余试验组无显著差异	2%、4%、6% 橡胶籽油组蛋黄颜色显著增加，其他蛋品质指标无显著差异	Wen 等
伊莎褐蛋鸡（28 周龄）	对照组不添加油脂，试验组分别添加 5% 或 10% 牛油、橄榄油、大豆油或亚麻籽油	与对照组相比，随着油脂水平增加，蛋鸡的日采食量降低，料蛋比降低	除蛋黄颜色外，不同油脂来源之间蛋品质无显著差异	Grobas 等
海兰褐蛋鸡（29 周龄）	对照组不含米糠油，试验组含有 0.25%、0.50% 或 1.00% 的米糠油	无显著影响	无显著影响	Chan 等
白来航蛋鸡（48 周龄）	对照组不添加油脂，试验组添加 1%、2%、3% 或 4% 微藻油	与对照组相比，添加 4% 微藻油组显著降低蛋鸡体重、产蛋率和日采食量	与对照组相比，添加 4% 微藻油组蛋白比例显著提高，蛋黄比例降低	Elkin 等
日本鹌鹑（8 周龄）	不含对照组，试验组分别添加 1.5% 的大豆油、玉米油、花生油、亚麻籽油、橄榄油或葵花籽油	所有试验组中，1.5% 大豆油组和 1.5% 花生油组蛋鸡的蛋重最高，饲料转化率最高	所有试验组中，1.5% 花生油组蛋黄指数最高，各试验组其他蛋品质指标无显著差异	Reda 等
临武蛋鸭（500 日龄）	对照组不添加油脂，试验组添加 1%、2%、3% 或 4% 大豆油	随着大豆油水平的增加，产蛋率和日采食量逐渐降低	无显著影响	李闯等

4 饲料中添加油脂对禽蛋营养成分和风味的影
响

4.1 油脂对禽蛋胆固醇影响

胆固醇摄入量过高会影响人类健康。胆固醇是家禽胚胎发育所必需的营养物质，因此蛋中胆固醇的含量很难被大幅改变。禽蛋中胆固醇含量与多种因素有关，包括家禽种类、饲料组成、蛋禽日龄等。饲料中添加饱和油脂能够降低蛋黄中胆固醇含量。研究显示，在蛋鸡饲料中添加 0.25%、0.50%、

1.00% 米糠油能够使蛋黄中胆固醇含量呈线性降低。Wen 等发现，在蛋鸡饲料中添加 1%、2%、4%、6% 的橡胶籽油均可显著降低蛋黄胆固醇含量，其中 2% 橡胶籽油组效果最好。饲料中添加 2.5% 大豆油和亚麻籽油不会改变鸡蛋蛋黄中胆固醇含量，而饲料中添加 1.5%、3.0%、4.5% 芝麻油会提高鸡蛋胆固醇含量。导致饲料中添加不同油脂对禽蛋胆固醇含量产生不同变化的原因可能是不同种类油脂中功能性物质不同，从而对机体产生不同影响。如芝麻

油与米糠油的脂肪酸组成相似，而米糠油含有维生素E和谷维素，谷维素具有降低血清胆固醇的功效；与低多酚含量的橄榄油相比，高多酚含量的橄榄油可显著降低鸡蛋黄中胆固醇含量。

4.2 油脂对蛋黄脂肪酸组成的影响

禽蛋中脂肪酸组成受饲料脂肪酸组成的影响，因此，饲料中添加富含多不饱和脂肪酸的油脂可以生产富含多不饱和脂肪酸的禽蛋产品，以满足人们营养需要。有研究显示，在蛋禽饲料中添加橡胶籽油、亚麻籽油、鱼油、菜籽油及微藻油等，均可提高蛋黄n-3多不饱和脂肪酸含量。研究发现，与大豆油、葵花籽油相比，蛋鸡饲料中添加同一水平（3.5%）亚麻籽油可使蛋黄中富集更多的n-3多不饱和脂肪酸（PUFA）。Batkowska等发现，在蛋鸡饲料中添加2.5%亚麻籽油，相比添加同一水平的大豆油能够更多地富集n-3PUFA，这与亚麻籽油含有较多的n-3PUFA有关。也有学者在蛋鸡饲料中添加1.5%、3.0%的4种油脂（葵花籽油、鱼油、亚麻籽油和菜籽油）后发现，相比其他油脂，亚麻籽可使鸡蛋中富集更多PUFA，且亚麻籽油组鸡蛋中n-3PUFA含量最高。有学者认为，与鱼油相比，亚麻籽油更耐氧化，添加鱼油可能导致饲料酸败，降低饲料适口性，影响家禽健康。PUFA含量高的禽蛋往往容易发生脂质过氧化，从而降低风味和货架期。因此，在饲料中添加不饱和油脂增加蛋黄PUFA含量的同时应考虑提高禽蛋的抗氧化能力以及延长禽蛋货架期，通过在饲料中添加抗氧化剂被认为是一种可行的途径。

4.3 油脂对蛋黄风味的影响

禽蛋黄含有丰富的脂溶性有机物，因此改变饲料组成影响蛋黄风味具备理论基础。饲料添加油脂可影响禽蛋黄风味，其原因可能与蛋黄中脂肪酸组成有关。有研究认为，鸡蛋黄风味主要源自其中存在棕榈酸、油酸和花生四烯酸等脂肪酸。有学者提出，熟蛋黄鱼腥味会随着蛋鸡饲料中微藻油和鱼油

的添加量呈线性提高，应限制鱼油和微藻油在蛋鸡饲料中的使用剂量，以避免其降低鸡蛋的感官特性。Feng等发现，在饲料中添加鱼油和微藻油可使鸡蛋中富含PUFA，降低煮熟鸡蛋的风味，增加鱼腥味；而在蛋鸡饲料添加亚麻籽油的鸡蛋具有较强的类似海带的味道。偏最小二乘分析的结果表明，饲料添加n-3PUFA与蛋黄海带味之间相关，而n-6PUFA与鸡蛋味、奶油味和黄油味相关。

5 油脂在蛋禽生产中的其他应用

油脂作为能量来源物质，脂肪热增耗比其他营养物质更低，这在高温环境条件下有利于动物机体健康。研究发现，高碳水化合物膳食的产热量（43.1kJ/h）比等能量高脂肪膳食的产热量（32.6kJ/h）高32%。不同脂肪酸种类在餐后的产热效应有所不同，长链脂肪酸低于中链脂肪酸，不饱和脂肪酸低于饱和脂肪酸。有研究显示，在热应激条件下，蛋鸡饲料中添加动物油脂和大豆油均可提高蛋鸡采食量和体重，但产蛋率未受影响。刘卫军等在热应激条件下的蛋鸡饲料中分别添加2%大豆油、2%猪油，结果显示，与不添加油脂的对照组相比，添加2%大豆油或2%猪油均提高了蛋鸡采食量，而产蛋率无显著差异。饲料中添加n-3和n-6PUFAs可提高家禽血清谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性，改善免疫功能。由于PUFA含有较多的双键，容易引起脂质过氧化发生，因此在饲料中补充PUFA提高机体抗氧化能力时应考虑剂量效应。花生四烯酸（ARA）参与白三烯和前列腺素的产生，以及炎症细胞因子肿瘤坏死因子- α （TNF- α ）和白细胞介素-1 β （IL-1 β ）的产生，EPA和DHA能够抑制炎症反应，包括白细胞趋化性、黏附分子表达和白细胞-内皮细胞黏附相互作用。

中短链脂肪酸还对维持肠道稳态产生积极作用。中链脂肪酸（月桂酸）、丁酸及二者联用均可有效预防产气荚膜梭菌引起的家禽坏死性肠炎，降低发病率。Liu等发现，在饲料中添加300mg/kg中

链 α -单甘油酯可提高产蛋后期母鸡的生产性能、蛋品质，并改善肠道健康，可能与脂肪酸影响了肠道微生物组成有关。

6 结论

饲粮添加不同种类油脂在蛋禽生产中会产生不同的效果，这主要与油脂的脂肪酸组成、油脂所含营养物质以及油脂加工工艺不同有关，生产中可根

据实际需要添加不同种类油脂以满足生产需要。此外，还应充分考虑油脂在蛋禽饲粮中的添加剂量，防止添加过多的油脂威胁蛋禽机体健康。在蛋禽饲粮中合理地搭配使用多种油脂可弥补单一油脂的不足，油脂也可与其他物质联用，以更好地提高蛋禽生产性能。

（转自饲料研究）

微囊型脂肪粉油脂的常规甲酯化方法优化

孙丽华¹ 王勇¹ 丁为国¹ 韩冬月¹ 谭淑君¹ 殷秋妙^{2,3}

(1. 广州优百特科技有限公司, 广东 广州 511370; 2. 广东省农业科学院农业质量标准与监测技术研究所, 广东 广州 510640; 3. 农业农村部农产品质量安全检测与评价重点实验室 (广州), 广东 广州 510640)

油脂是动物全价饲料的重要原料之一, 在降低动物热应激、满足特殊生理期能量需要、提供必需脂肪酸、提高免疫力等方面具有重要作用。传统饲用原料油的脂肪酸组成不平衡, 因而需要开发油脂新资源和创制新型功能油脂产品。油脂脂肪酸的精准测定对其营养评价、新产品设计、促进产品质量保证和健康发展具有重要意义。油脂脂肪酸的测定分为直接法和间接法。直接法主要包括液相色谱法、气相色谱-质谱法、液质联用法、红外光谱法和核磁共振法。直接法中, 仪器相对比较昂贵, 结果不够精准, 不是产业化的首选方法。间接法是将油脂脂肪酸衍生为脂肪酸甲酯, 采用气相色谱-质谱法或气相色谱-火焰离子化检测器 (GC-FID) 测定。油脂脂肪酸甲酯化的方法有快速法、常规法和单纯酸催化法。快速法无法将游离脂肪酸甲酯化, 而单纯酸催化法耗时较长。因此, 常用常规法精准测定油脂脂肪酸。在此方法中, 现行标准普遍采用加热回流装置作为衍生化反应温场, 其既容易造成中短链脂肪酸的损失, 同时限制了试验效率。此外, 该方法采用的三氟化硼试剂毒性大、成本高, 产业亟须更环保精准的脂肪酸测定技术。

本研究选择不同脂肪酸的微囊型脂肪粉试样, 以现行 ISO12966—2:2017 常规法的反应配比为切入点, 优化反应温场和硫酸用量, 建立新时代常规甲酯化方法, 并进行了第三方实验室验证, 以期确立高效、环保的油脂脂肪酸甲酯化技术, 为油脂产业的发展和今后的标准修订提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

4 个微囊型脂肪粉样品由广州优百特科技有限公司和优伯特生命科学研究院 (广州) 有限公司在全国范围内收集, 其主要脂肪酸不同, 分别为亚麻酸、月桂酸、棕榈酸和辛酸。大豆油脂肪酸成分分析标准物质 GBW (E) 100120 由国家粮食和物资储备局科学研究院制备。

37 种脂肪酸甲酯混合标准物购自北京迪马科技有限公司, 十一烷酸甘油三酯 (C11 : 0-TG)、十七烷酸甘油三酯、棕榈酸、棕榈酸单甘酯、月桂酸甘油二酯、37 种脂肪酸甲酯 (C4~C24) 混合标准溶液 (总浓度为 10g/L) 购自上海安谱试验科技股份有限公司, 异辛烷和甲醇 (色谱纯) 购自德国 Meker 公司, 氢氧化钾 (优级纯)、石油醚、无水硫酸钠、无水硫酸氢钠购自广州化学试剂厂, GF254 薄层色谱硅胶购自青岛海洋化工厂。

外标用标准溶液: 单标、混合标样均由母液稀释到 5g/L, 稀释液为异辛烷。

1.2 仪器设备

Agilent7890B 气相色谱仪 (配有 FID 检测器和 GCRev.B.04.03-SP1 工作站, 美国安捷伦科技有限公司)、SCQ-Y600A 型超声水浴锅 (上海声彦超声波仪器有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 油脂的提取和粗脂肪的测定

样品经酸水解-石油醚萃取, 平行试样分别

用于粗脂肪测定和脂肪酸测定。用于脂肪酸测定的试样油脂通过旋转蒸发去除石油醚溶剂, 所得试样油脂分别编号为 MEFP-1、MEFP-2、MEFP-3 和 MEFP-4。

1.3.2 常规甲酯化法的优化

(1) 反应温场和氢氧化钠-甲醇浓度的优化。

以 MEFP-1、MEFP-2、MEFP-3 和 MEFP-4 试样为试材, 以时间效率为优化目标。取 50mg 油脂, 分别与 2mL 的 0.8%、1.5%、2.0%、3.0% 氢氧化钠-甲醇溶液于耐压瓶中, 在 40、50、65、80℃ 超声水浴温场下进行皂化, 以表观油脂消失、溶液由浊变清且用流水冷却后, 溶液不返浑浊为皂化标准, 确定温场和氢氧化钠-甲醇浓度。

(2) 皂化后 1mol/L 硫酸-甲醇溶液用量的研究。

在选定的温场和氢氧化钠-甲醇浓度下进行皂化, 添加 2 滴酚酞指示剂, 利用 1mol/L 硫酸-甲醇溶液中和至酚酞的红色褪去, 分别加入 100~400 μ L 硫酸-甲醇溶液, 70℃ 水浴超声 5min 取出, 在流水下冷却至室温。先后加入 3mL 异辛烷、4mL 饱和氯化钠溶液, 涡旋 15s, 静置, 至两相分离。取上层溶液 (异辛烷) 用无水硫酸钠 (约 1g) 除水后, 稀释 5 倍上机。

1.3.3 GC-FID 条件

色谱柱: AgilentJ&WDB-FastFAME 色谱柱 (30m $\times$ 0.25mm, 0.25 μ m); 加热器 250℃; 分流比 50 : 1; 进样量 1 μ L。

柱温箱升温程序: 初始 80℃, 保持 0.5min; 40℃/min 升到 165℃, 保持 1min; 4℃/min 升到 230℃, 保持 8min; 载气为氮气; 流速 0.4mL/min, 压力 41.465kPa, 恒流模式; FID 加热器 260℃, 氢气流量 30mL/min, 空气流量 400mL/min, 尾吹氮气流量 15mL/min。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 油脂脂肪酸甲酯含量

脂肪酸甲酯利用保留时间进行定性, 通过峰面

积-外标法定量。

式中: w_i 为油脂脂肪酸甲酯含量 (mg/g); m_{Si} 为标准溶液中 i 脂肪酸甲酯质量浓度 (mg/L); A_i 为油脂样品中脂肪酸甲酯 i 峰面积 (pA); V 为试样溶液总体积 (mL); A_{Si} 为标准溶液中脂肪酸甲酯 i 峰面积 (pA); m 为油脂样品的称样量 (mg)。

原样结果计算需乘以粗脂肪含量。

1.4.2 方法的精密度和准确度

利用 5 次标准物质重复测定并与标准值比对的方法确定。

1.4.3 方法的检测限和定量限

按照 GB/T6379.2—2004 标准要求, 通过两个实验室间比对确定。每个实验室每个试样 3 次重复性, 考察方法的精密度和正确度, 确定重复性限和再现性限; 依据各实验室脂肪酸甲酯混合标准溶液的重复性测定的 3 倍和 10 标准差确定方法检测限和定量限。

1.5 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS24.0 进行单因素方差分析, 结果以“平均值 $\pm$ 标准差”表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。采用 PrismGraphPad9.00 软件进行绘图分析。

2 结果与分析

2.1 微囊型脂肪粉中油脂的提取

微囊型脂肪粉是由油脂芯材和蛋白质等高分子生物壁材, 经喷雾干燥法处理而生成的“水包油”型微小脂肪粉。单纯索氏抽提法不能完全提出油脂。殷秋妙等研究制定的 80℃ 酸水解-石油醚萃取测定团体标准能够精准测定。本研究中, 经测定 4 个试样的粗脂肪含量依次为 49.38%、51.11%、51.02% 和 63.34%。脂肪酸测定用油为试样酸解后石油醚萃取完全经旋蒸蒸发除去溶剂后的油脂。

2.2 常规甲酯化法优化

2.2.1 不同超声水浴温场下氢氧化钠浓度对皂化反应时间的影响 (见表 1)

试验发现，80℃条件下现售耐压瓶有漏气的风险，因而去掉了该处理。由表 1 可知，40℃条件下皂化反应耗时平均约为 60min；50℃条件下耗时平均为 40min；在 65℃条件下耗时较短，且以 0.8% 氢氧化钠-甲醇溶液反应最快，10~20min 即可完成。碱浓度越大，皂化反应越慢。油脂在甲醇中不易溶解呈团聚态，碱化甲醇随着碱浓度升高，极性增大，阻碍了反应底物之间的接触，因而耗时更长。升高

温度可以加快反应，但温度过高（超过 65℃）时碱性环境下容易发生双键的异构化（双键转移）反应。因此，本研究选择 0.8% 氢氧化钠-甲醇溶液、60~65℃超声水浴温场作为衍生反应辅助条件。这与 ISO 方法的醇油碱质量比相当。本研究充分利用集机械能与热能一体的超声水浴温场方式和耐压瓶，容易实现批量操作，与现行标准的加热回流方法相比能够提高试验效率。

表 1 不同超声水浴温场下氢氧化钠浓度对皂化反应时间的影响

单位：min

项目	0.8% 氢氧化钠			1.5% 氢氧化钠			2.0% 氢氧化钠			3.0% 氢氧化钠		
	40℃	50℃	65℃	40℃	50℃	65℃	40℃	50℃	65℃	40℃	50℃	65℃
MEFP-1	60+	40	20	60+	55	30	60+	60+	38	60+	60+	48
MEFP-2	40	20	10	50	25	15	58	30	22	60	40	30
MEFP-3	50	30	15	58	45	25	60+	50	30	60+	55	40
MEFP-4	38	20	10	44	25	15	52	30	20	60	40	26

注：“60+”指大于 60，没有精确计算。

2.2.2 皂化后硫酸-甲醇溶液用量筛选（见图 1、表 2）

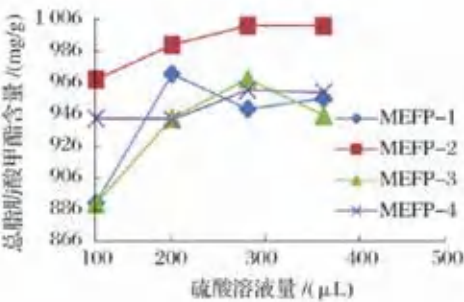


图 1 硫酸-甲醇溶液用量对甲酯化的影响

表 2 硫酸-甲醇溶液用量对甲酯化影响的方差分析

项目	F 值 (3, 9)	RSD/%
MEFP-4	0.22	1.07
MEFP-2	0.55	1.61
MEFP-3	2.41	3.56
MEFP-1	4.12*	4.84

注：“*”表示差异显著（ $P<0.05$ ）； $F_{0.05}(3, 9)=3.86$ ； $F_{0.01}(3, 9)=6.99$ 。

由图 1、表 2 可知，随着皂化后硫酸-甲醇溶液用量的增大，主要脂肪酸为中链脂肪酸的 MEFP-2

和 MEFP-4 样品的总脂肪酸甲酯含量呈先增大后稳定的特点，但 RSD 不超过 1.7%，处理效果差异不显著（ $P>0.05$ ），这说明硫酸-甲醇溶液用量对结果的影响较小；而主要脂肪酸为长链脂肪酸的 MEFP-1 和 MEFP-3 样品的总脂肪酸甲酯含量呈现先增大后下降的趋势，其 RSD 分别为 4.84% 和 3.56%，处理间差异明显且对 MEFP-1 的影响达到显著水平（ $P<0.05$ ）。硫酸-甲醇溶液用量为 200~400 μL 时，4 个试样差异不显著（ $P>0.05$ ），且当硫酸-甲醇溶液用量达 300 μL 时，MEFP-2 达到最高，MEFP-3 和 MEFP-4 甲酯化接近完全，MEFP-1 最低。这与 ISO12966—2: 2017 中推荐硫酸-甲醇溶液用量为 200 μL 基本一致。综合考虑，皂化后的 1mol/L 硫酸-甲醇溶液用量优选为 300 μL 。

2.3 方法性能考察

2.3.1 优化甲酯化法的精密度和准确度（见表 3）

以大豆油标准物质 GBW (E) 100120 为试材，利用优化的甲酯化法处理测定，每个方法重复 5 次。由表 3 可知，总脂肪酸甲酯含量平均值为 981.1mg/g，

精密度 RSD 为 1.25%；各种脂肪酸测定结果与标准值一致，说明优化方法具有较高的准确度。

2.3.2 方法验证结果

（1）实验室间精密度和正确度。

对比两个实验室中 4 个试样的脂肪酸甲酯测定结果并进行数据分析。优化甲酯化法测定试样单元脂肪酸甲酯的平均值和标准差见表 4、表 5。

对标准差值进行柯克伦（Cochran）检验，4 个

试样共 11 种脂肪酸甲酯，最高柯克伦值为 0.965，小于柯克伦限（ $C0.01=0.995$ ， $C0.05=0.975$ ），说明所有测试数据无离群值，实验室间精密度一致。

总脂肪酸甲酯平均值经格拉布斯（Grubbs）检验，最大格拉斯值为 1.72，最小为 0.933，均小于格拉斯离群值限（ $G(8, 0.05)=2.125$ ），说明两个实验室间总脂肪酸甲酯结果一致、正确。

表 3 优化的甲酯化法测定 GBW（E）100120 物质的精密度和准确度分析

项目	FFAME-FA	优化的氢氧化钠 - 硫酸常规甲酯化法			脂肪酸含量 /%
		脂肪酸甲酯均值 / (mg/g)	RSD/%	脂肪酸标准值 /%	
C14:0	0.942 1	0.7	1.65	0.07	0
C16:0	0.948 1	110.4	1.17	11.21	11.0 ± 0.8
C18:0	0.953 0	41.1	1.27	4.19	4.5 ± 0.6
C18:1n9c	0.952 7	192.9	1.24	19.68	20.7 ± 1.0
C18:2n6t	0.952 4	12.9	1.24	1.32	54.2 ± 2.4
C18:2n6c	0.952 4	527.2	1.08	53.76	
C18:3n6	0.952 0	5.7	1.24	0.58	8.9 ± 1.8
C18:3n3	0.952 0	83.8	1.39	8.54	
C20:0	0.957 0	3.2	1.51	0.33	0
C22:0	0.960 4	3.2	1.89	0.33	0
总脂肪酸甲酯		981.1	1.25	100.00	

表 4 优化甲酯化法测定试样单元脂肪酸甲酯含量的平均值

单位：mg/g

项目	MEFP-1		MEFP-2		MEFP-3		MEFP-4	
	Lab-1	Lab-2	Lab-1	Lab-2	Lab-1	Lab-2	Lab-1	Lab-2
C6:0	0	0	5.47	5.26	1.99	1.91	0	0
C8:0	0	0	57.75	56.61	19.81	19.54	372.65	373.33
C10:0	0	0	44.45	43.07	14.36	14.07	225.70	224.95
C12:0	2.59	2.49	437.92	444.50	126.17	130.66	41.59	43.99
C14:0	2.00	1.95	166.35	165.32	62.64	64.16	0	0
C16:0	86.82	88.50	104.57	103.13	350.00	353.14	32.78	33.74
C18:0	62.50	65.83	36.24	35.89	50.25	48.70	24.96	24.63
C18:1n9c	197.34	187.87	112.35	103.47	258.23	248.45	55.02	52.35
C18:2n6c	165.61	169.43	23.03	23.68	58.01	56.60	43.89	44.18
C18:3n6	10.97	11.35	0	0	2.89	4.34	3.32	3.31
C18:3n3	425.35	432.25	0	0	1.85	1.80	140.81	146.37
总脂肪酸甲酯	953.17	959.69	988.12	980.93	946.21	943.38	940.71	946.85

表 5 优化甲酯化法测定试样单元脂肪酸甲酯的标准差

单位: mg/g

项目	MEFP-1		MEFP-2		MEFP-3		MEFP-4	
	Lab-1	Lab-2	Lab-1	Lab-2	Lab-1	Lab-2	Lab-1	Lab-2
C6:0	0	0	0.088	0.065	0.021	0.064	0	0
C8:0	0	0	0.169	0.562	0.364	0.103	6.629	0.237
C10:0	0	0	0.551	0.431	0.331	0.107	3.631	0.959
C12:0	0.043	0.006	7.072	4.803	3.282	1.239	0.536	0.339
C14:0	0.034	0.023	2.562	1.670	1.644	0.763	0	0
C16:0	1.514	0.678	1.400	0.868	8.474	5.152	0.248	0.272
C18:0	0.609	0.487	0.403	0.326	1.328	0.718	0.718	0.258
C18:1n9c	3.584	0.951	2.195	0.905	6.066	3.678	0.425	0.470
C18:2n6c	2.992	0.627	0.322	0.273	1.426	0.828	0.354	0.463
C18:3n6	0	0	0	0	0.059	0.139	0.020	0.030
C18:3n3	0.478	0.023	0	0	0.047	0.006	1.058	1.606

(2) 优化方法的重复性限、再现性限、检测限和定量限。

重复性限和再现性限的确定: 各试样单元平均重复性方差 (Sr2) 为 166.5, 平均实验室间方差 (SL2) 为 369.6, 再现性方差 SR2=Sr2+SL2=536.1, 总脂肪酸甲酯平均值为 952.6mg/g。因此, 计算得出重复性 RSD 为 1.35%, 再现性 RSD 为 2.43%。根据拉依达准则, 在 95% 置信概率下 (2σ), 优化方法的重复性限 RSD 为 2.71%, 再现性限 RSD 为 4.86%。

反式脂肪酸的火焰离子化检测器 (FID) 检测限和定量限的确定: 检测限以 3 倍标准差计算, 两个实验室反式脂肪酸的 FID 检测限分别为 0.0005g/L 和 0.0001g/L; 定量限按照 10 倍标准差计算, 结合进样总质量浓度为 15g/L, 以取灵敏度较低的实验室值为限的原则, 反式油酸和反式亚油酸的检测限为

0.004%, 定量限为 0.011% (以油脂计), 其他脂肪酸的定量限为 0.026% (以油脂计)。

3 结论

本研究建立了高效环保的常规甲酯化方法: 取 50mg 油脂于耐压瓶中, 加入 2mL0.2mol/L 氢氧化钠-甲醇溶液, 在 65℃ 条件下超声水浴, 皂化完成后以酚酞指示, 利用 1mol/L 硫酸-甲醇溶液中和至酚酞无色后, 加入 300μL 于 70℃ 超声水浴 5min, 利用饱和氯化钠水溶液助分离, 利用异辛烷萃取脂肪酸甲酯无水硫酸钠除水后用 GC-FID 测定。薄层色谱法检查甲酯化效率。优化的常规甲酯化法适宜批量操作, 与现行 GB5009.168—2016 方法相比, 优化方法更为精准、完整、高效和环保。

(转自饲料研究)

饲料中不同油脂在蛋鸡生产中的应用进展

滕俊达^{1,2} 晏志勋² 常彬² 刘华贵² 初芹² 白莹¹

(1. 河北工程大学生命科学与食品工程学院, 河北邯郸 056000;
2. 北京市农林科学院畜牧兽医研究所, 北京 100000)

油脂是饲料六大营养物质中粗脂肪的重要组成部分, 其中含有许多蛋鸡生长发育过程所需的大量必需脂肪酸。作为蛋鸡饲料的重要组成部分, 在饲料中适量添加油脂能够有效提高蛋鸡的生产性能, 与此同时还可以促进其他营养物质的消化吸收。本文综述了常见蛋鸡饲料中不同油脂的来源和营养特征, 以及在蛋鸡生产中的应用, 为探索蛋鸡生产中合适的油脂种类及比例的筛选提供参考。

1 油脂对蛋鸡生产的重要意义

油脂含有大量的能量以及各种脂肪酸, 对蛋鸡的生长发育具有重要作用, 一些脂质通过血液和其他循环系统的运输沉积在卵巢中, 会成为蛋黄的组成物质, 例如, 卵磷脂等。不同的油脂含有不同的饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸的种类和比例, 因而, 在饲料中添加合适的油脂后, 蛋黄中脂肪酸的组成和比例也会改变, 从而对鸡蛋的营养和风味产生很大影响。蛋鸡由于有产蛋的生理需求, 对必需脂肪酸的依赖程度高于猪和反刍动物, 油脂对蛋鸡生产的影响受多种因素制约, 此外, 有研究表明, 在饲料中添加均衡油脂有助于降低鸡蛋的暗斑。

在现代鸡蛋生产中, 热应激和氧化应激是影响蛋鸡生产性能的常见因素。油脂的热增耗显著低于碳水化合物, 利用油脂这一特性可大大减轻蛋鸡生产中高密度的散热负担, 此外, 油脂中的脂肪酸对于维持蛋鸡健康也发挥着非常重要的作用, 蛋鸡摄入多不饱和脂肪酸可显著提高血清溶菌酶活性, 改善免疫功能。

2 蛋鸡饲料中油脂来源

蛋鸡饲料中添加的油脂主要包括植物油脂和动物油脂。植物油脂主要包括大豆油、菜籽油、亚麻籽油、棕榈油等, 动物油脂主要是鱼油和猪油等, 除此以外, 还有近些年非常流行的藻油。

2.1 大豆油

大豆油具有生产成本低、原料种植广泛的特点, 在众多植物油中占有较大的市场, 同时大豆油中的必需脂肪酸含量高于其他植物油。大豆油是蛋鸡饲料中首选的优质油脂来源之一。

2.2 菜籽油

我国的油菜种植面积约占全球总面积的 20%, 菜籽油资源十分丰富。菜籽油富含 n-3PUFAs, 如油酸、亚油酸和亚麻酸。

2.3 亚麻籽油

亚麻籽油是通过低温冷压从亚麻籽中获得原油, 然后进行精炼获得的一种食用油。亚麻籽油中含有多种不饱和脂肪酸, 如 α 亚麻酸、亚油酸和油酸, 其中 α 亚麻酸含量可高达 53%, α 亚麻酸可以通过影响血清脂肪酸组成和降低低密度脂蛋白含量来降低胆固醇含量, 这对于促进胆固醇的代谢具有很大的帮助。

2.4 棕榈油

棕榈油是世界上主要的食用油之一。棕榈油含有 50% 的棕榈酸、40% 的油酸和 10% 的亚油酸, 此外, 棕榈油富含多种植物营养素, 如维生素、类胡萝卜素、磷脂和多酚。

2.5 鱼油

鱼油含有超过 30% 的 $n-3$ PUFA, 是二十碳五烯酸 (Eicosapentaenoic acid, EPA) 和二十二碳六烯酸 (Docosahexaenoic acid, DHA) 等多不饱和脂肪酸的重要来源, 此外, 鱼油还富含维生素 A、维生素 D 等营养物质, 具有多种营养功效。

2.6 猪油

猪油作为饲料中添加的重要成分通常与其他植物油一起用于生产人造黄油和其他特种食用油, 有多种脂肪酸和不饱和脂肪酸, 能提供较高的热量, 猪油中含有胡萝卜素具有保护视力的作用, 同时猪油可以为动物提供更高的热量。

2.7 微藻油

微藻是一类单细胞生物, 广泛存在于淡水和海水环境中, 主要包括蓝绿藻、绿藻、硅藻和金藻四大类, 大部分微藻是能进行光合作用的自养生物。微藻油是从海洋微藻中萃取出的浓缩油脂, 富含必需脂肪酸、维生素、类胡萝卜素和矿物质等, 微藻油富含多种 $n-3$ -PUFA, 如 EPA 和 DHA, 有助于改善心血管健康和大脑发育。

3 不同油脂对蛋鸡生产性能的影响

3.1 大豆油对蛋鸡生产性能的影响

研究表明, 在蛋鸡饲料中添加大豆油对产蛋量、产蛋率、料蛋比等都非常有益。此外, 在蛋鸡日粮中使用大豆油对蛋品质也有积极的影响效果。王振宇等研究发现, 在蛋鸡饲料中添加 1% 大豆油能够降低京红 1 号褐壳蛋鸡破壳和软壳蛋比率。

3.2 菜籽油对蛋鸡生产性能的影响

家禽饲料中添加菜籽油使 PUFA 更容易富集于家禽产品中, 可以增加蛋黄中的亚麻酸含量。卢建等报道, 苏禽青壳蛋鸡饲料中添加菜籽油后可以提高哈氏单位, 这对鸡蛋品质的提高具有一定的帮助。然而, 菜籽油中芥酸的含量会严重影响到芥酸在蛋黄中的沉积。此外, 研究发现, 饲料中添加高水平的菜籽油会降低蛋鸡的性能, 在蛋鸡的日粮中添加

2% ~ 6% 的菜籽油对于鸡蛋产量、鸡蛋重量、饲料摄入量和饲料与鸡蛋的比例都会有负面影响。

3.3 亚麻籽油对蛋鸡生产性能的影响

亚麻籽油是一种优质的饲料原料, 不会产生菜籽油中芥酸、棉籽油中棉酚等带来的负面影响, 同时又更易满足家禽对 $n-3$ PUFA 的需要, 有助于蛋黄中富集亚麻酸、DHA 等。亚麻籽油被认为对于提高蛋鸡的产蛋性能以及繁殖性能也是不错的选择。饲料中添加亚麻籽油, 还具有改善仔鸡肠道形态、增加空肠营养物质的消化和吸收, 改善蛋鸡肠道的微生物群落以及蛋鸡脂肪代谢等功效。

3.4 棕榈油对蛋鸡生产性能的影响

棕榈油含有多种植物营养素, 包括类胡萝卜素、生育三烯酚、辅酶 Q1、植物醇类胡萝卜素、植物甾醇、磷脂和多酚等。用棕榈油饲喂蛋鸡, 能够改善蛋黄的颜色, 且富含类胡萝卜素, 营养价值丰富, 并且对其他常规蛋品质指标无不利影响。

3.5 鱼油对蛋鸡生产性能的影响

鱼油是 $n-3$ PUFA 的传统来源, 在日粮中添加鱼油, 可以有效提高鸡蛋中多不饱和脂肪酸的沉积并且可增加鸡蛋产量和鸡蛋重量。蛋鸡饲料中添加鱼油可以增加鸡蛋黄中 DHA 的沉积, 是生产富 DHA 鸡蛋的主要添加剂之一。然而, 鱼油容易被氧化, 如使用不当, 鸡蛋的腥味会加重对口感的影响。研究表明鱼油的添加量为 1.5% 较好。

3.6 猪油对蛋鸡生产性能的影响

猪油含有多多种脂肪酸, 且价格较低, 因此在蛋鸡饲料也有较广泛使用。研究表明, 蛋鸡饲料中添加适量的猪油可在一定程度上缓解产蛋鸡热应激。猪油对于蛋鸡体内易氧化物质有保护作用, 可提高机体抗氧化能力。添加猪油可以增加鸡蛋中的饱和脂肪酸水平, 并且有研究发现猪油会降低鸡蛋的特性。

3.7 微藻油对蛋鸡生产性能的影响

蛋鸡饲料中添加微藻油可以增加蛋鸡采食量,

增加 DHA、EPA 和在蛋黄中的沉积，同时改善 n-3PUFA 与 n-6PUFA 的比例，饲料中添加过高脂肪酸会造成肝脏损伤，不利于血糖代谢。研究表明微藻油的添加量在 0.3% 和 0.6% 的较为适宜。

4 结论

在蛋鸡饲料中添加合适来源的油脂，不仅有利于蛋鸡的健康，改善蛋鸡的生产，而且可以影响脂肪酸等营养物质在鸡蛋中的沉积，提高鸡蛋的营养

价值，为特色鸡蛋，如富 n-3PUFA 鸡蛋、富 DHA 鸡蛋等的生产提供了新的途径。然而，油脂在蛋鸡生产中的应用受到诸多因素的影响，如油脂种类、添加量以及蛋鸡本身的健康程度。目前，油脂在蛋鸡生产中的应用还局限于单一油脂的添加，未来需要进一步研究蛋鸡不同生长阶段的营养需要，合理地使用不同来源的油脂，以发挥更大的功效。

（转自养殖园区）

不同饲用油脂营养价值的评定及其对肉鸭生长性能的影响

郑艳玲¹ 孙建凤² 曹维伟³ 李朝云¹ 顾甜甜¹ 陈焱¹ 袁涛² 肖发沂¹

(1. 山东畜牧兽医职业学院, 山东 潍坊 261061; 2. 潍坊欣阳饲料科技有限公司, 山东 潍坊 261061; 3. 寿光市畜牧业发展中心, 山东 潍坊 261061)

油脂是家禽饲料中最常用的优质高能饲料原料,其能值是蛋白质和碳水化合物的 2.25 倍,其总能和有效能远高于一般的能量饲料。1953 年,美国率先将油脂作为饲料原料应用于畜禽养殖。在动物日粮中添加油脂,可以提高日粮的能量,改善饲料适口性,提高畜禽采食量和饲料转化效率,从而促进畜禽生长。家禽饲料代谢能值的评定是评定饲料营养价值、家禽营养需要量和优化饲料配方的依据。因此,研究油脂在肉鸭体内的代谢能非常重要。本研究主要评价了肉鸭日粮中鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭代谢能、日粮养分利用率及生长性能的影响,为科学配制肉鸭日粮配方提供参考,从而促进我国肉鸭产业的发展。

1 材料与方法

1.1 试验设计

选用健康、体重接近的 20 日龄樱桃谷肉鸭 30 只。采用单因素试验设计,随机分为 5 组,每组 6 个重复,每个重复 1 只鸭。其中一组为绝食对照组(内源组,不饲喂日粮),可以排除内源性氨基酸的影响。基础日粮组肉鸭饲喂基础日粮,鸭油组、豆油组和棕榈油组肉鸭以 10% 鸭油、10% 豆油和 10% 棕榈油替代等量的基础日粮。正式试验期 21d。试验在山东省潍坊市高密试验场进行。

1.2 试验日粮

根据《肉鸭饲养标准》(NY/T2122—2012)推

荐的营养需要量进行基础日粮配制。基础日粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础日粮组成及营养水平

原料组成	含量 /%	营养水平	
玉米	71.37	代谢能 /(MJ/kg)	12.13
豆粕 (46%)	25.39	粗蛋白质 /%	17.36
石粉	1.66	钙 /%	0.85
磷酸一二钙	0.65	有效磷 /%	0.40
食盐	0.33	赖氨酸 /%	0.91
赖氨酸硫酸盐	0.02	蛋氨酸 /%	0.40
DL- 蛋氨酸	0.13	蛋 + 胱氨酸 /%	0.69
酶制剂	0.05	苏氨酸 /%	0.66
预混料	0.40		
合计	100.00		

注: 1. 预混料购自山东天普阳光生物科技有限公司。

2. 营养水平均为实测值。

1.3 粪样采集

采用单笼饲养樱桃谷肉鸭,粪样收集采用全收粪法,试验鸭在泄殖腔外围缝合一直径 3cm 中间开孔的塑料瓶盖,收粪时将瓶拧上。试验期 8d,其中预试期 4d,禁食期 1d,正式试验期 3d。预试期前 3d 均采食基础饲料,第 4d 过渡至各试验饲料,第 5d8: 00 所有肉鸭开始断料,自由饮水并检查瓶盖的缝合情况;第 6d8: 00 至第 9d8: 00 进行代谢试验,其中第 6d8: 00 至第 8d8: 00 饲喂试验料(共

饲喂 24h)，从第 6d8:00 至第 9d8:00 每隔 4h 收集 1 次排泄物（共收集 72h）。内源组第 6d8:00 至第 7d8:00 进行收粪（收集 24h，期间不喂料）。试验期间肉鸭自由饮水。

每次收集的排泄物及时添加 10% 盐酸后放入密封袋置于 -20℃ 冰箱保存，将所有收集的粪便在 65℃ 的烘箱中烘干至恒重，置于室内回潮 24d，粉碎过 40 目筛制成风干样保存。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 油脂理化指标

鸭油、豆油和棕榈油的水分采用 GB5009.236—2016 方法测定，烟点采用 GB/T20795 方法测定，酸价采用 GB5009.229—2016 方法测定，过氧化值采用 GB5009.227—2016 方法测定。

1.4.2 代谢能

采用套算法测定鸭油、豆油和棕榈油对代谢能的影响，评定 3 种油脂在肉鸭日粮中的营养价值。饲料样品和排泄物的能值采用全自动氧弹测热仪测定。

饲料表观代谢能 = (食入饲料总能 - 排出粪尿总能) / 食入干物质的量 (1)

油脂表观代谢能 = 基础饲粮表观代谢能 + (试验饲粮表观代谢能 - 基础饲粮表观代谢能) / 试验饲粮中油脂比例 (2)

1.4.3 养分利用率

肉鸭对干物质 (DM) 的利用率采用 GB/T6435—2006 方法测定；肉鸭对粗蛋白 (CP) 的利用率采用 GB/T6432—2006 方法测定；肉鸭对粗脂肪 (EE) 的利用率采用 GB/T14772—2008 方法测定；肉鸭对能量 (GE) 的利用率采用 PARR-1821 方法测定。

养分利用率 = (1 - 饲料中指示剂含量 / 粪中指示剂含量 × 粪中养分含量 / 饲料中养分含量) × 100% (3)

1.4.4 血清生化指标

第 42d 试验结束时，肉鸭禁食不禁水 12h，翅下静脉采血 5mL，3000r/min 离心 15min 分离血清，使

用试剂盒检测肉鸭血清中血糖 (GLU)、尿素 (UREA)、总蛋白 (TP)、白蛋白 (ALB)、谷丙转氨酶 (ALT)、总胆固醇 (CHOL)、甘油三酯 (TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 的水平。

1.4.5 生长性能

樱桃谷肉鸭从 21~42d，分别在基础日粮中添加 10% 的鸭油、豆油、棕榈油，记录初重和末重，计算平均日增重、平均日采食量及料重比。

平均日增重 = (末重 - 初重) / (试验天数 × 试验鸭数) (4)

平均日采食量 = 日粮总消耗量 / (试验天数 × 试验鸭数) (5)

料重比 = 平均日采食量 / 平均日增重 (6)

1.5 数据统计与分析

采用 SPSS17.0 软件对试验数据进行单因素方差分析，LSD 法进行多重比较。结果以“平均值 ± 标准差”表示，P<0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 鸭油、豆油和棕榈油理化指标分析 (见表 2)

由表 2 可知，3 种油脂的酸价均小于 3，属于优等油脂。

表 2 鸭油、豆油和棕榈油理化指标分析

组别	水分 /%	烟点 /℃	酸价 / (mg KOH/g)	过氧化值 / (mmol/kg)
鸭油	0.07	179	1.39	3.46
豆油	0.08	192	1.55	0.87
棕榈油	0.09	184	0.68	4.59

2.2 鸭油、豆油和棕榈油的表观代谢能值 (见表 3)

由表 3 可知，鸭油和豆油的表观代谢能值显著高于棕榈油 (P<0.05)。

表 3 鸭油、豆油和棕榈油的表观代谢能值

单位: MJ/kg

组别	表观代谢能值
鸭油	37.15 ± 2.10b
豆油	36.38 ± 1.41b

组别	表观代谢能值
棕榈油	28.64 ± 1.99a

注：同列数据肩标字母相同或无字母表示差异不显著（P>0.05），字母不同表示差异显著（P<0.05）；表4、表6与此同。

2.3 鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭日粮养分利用率的影响（见表4）

由表4可知，与基础日粮相比，添加不同油脂后，肉鸭对日粮的养分利用率均得到提高。其中，肉鸭对干物质的利用率提高6.92%~10.57%，豆油组和棕榈油组肉鸭对干物质利用率显著高于鸭油组（P<0.05）；肉鸭对粗脂肪的利用率提高36.66%~43.84%，鸭油组和豆油组肉鸭对粗脂肪的利用率显著高于棕榈油组（P<0.05）；肉鸭对粗蛋白的利用率提高20.45%~36.58%，豆油组、棕榈油组肉鸭对粗蛋白的利用率显著高于基础日粮组（P<0.05）；肉鸭对能量的利用率提高了7.50%~10.78%，豆油组、棕榈油组、鸭油组肉鸭对能量的利用率均显著高于基础日粮组，豆油组肉鸭对能量的能量利用率显著高于鸭油组和棕榈油组（P<0.05）。

表4 鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭日粮养分利用率的影响

单位：%

组别	干物质	粗脂肪	粗蛋白	能量
基础日粮组	75.60 ± 0.90a	66.10 ± 3.34a	42.78 ± 3.52a	78.85 ± 0.96a
鸭油组	80.83 ± 0.34b	94.66 ± 0.65b	51.53 ± 3.13b	84.76 ± 0.43b
豆油组	83.59 ± 0.74c	95.08 ± 0.54b	54.22 ± 6.45b	87.35 ± 0.31c
棕榈油组	82.67 ± 0.56c	90.33 ± 2.19c	58.43 ± 3.67b	85.66 ± 0.54b

2.4 鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭血清生化指标的影响（见表5）

表5 鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭血清生化指标的影响

组别	21 d 体重 / (g/ 只)	42 d 体重 / (g/ 只)	21~42 d 日增重 / [g/ (只 · d)]	21~42 d 日采食量 / [g/ (只 · d)]	21~42 d 料重比
基础日粮组	1 300.52 ± 25.71	3 191.28 ± 89.07c	90.04 ± 4.17c	224.68 ± 7.82b	2.50 ± 0.11b
鸭油组	1 294.65 ± 24.13	3 302.01 ± 89.30a	95.59 ± 3.88a	207.19 ± 8.47a	2.17 ± 0.05a

由表5可知，豆油组、棕榈油组、鸭油组肉鸭血清中总蛋白含量均显著高于对照组（P<0.05）。豆油组肉鸭血清中总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇含量低于鸭油组、鸭油组低于棕榈油组（P>0.05）。豆油组肉鸭血清中高密度脂蛋白胆固醇含量高于鸭油组，鸭油组肉鸭血清中高密度脂蛋白胆固醇含量高于棕榈油组，但是各组间均无显著差异（P>0.05）。

表5 鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭血清生化指标的影响

项目	基础日粮组	鸭油组	豆油组	棕榈油组
血糖 / (mmol/L)	10.51 ± 0.38	11.07 ± 0.73	10.58 ± 0.29	10.67 ± 0.40
尿素 / (mmol/L)	0.70 ± 0.00	0.70 ± 0.05	0.70 ± 0.00	0.70 ± 0.00
总蛋白 / (g/L)	35.40 ± 1.82a	38.40 ± 1.14b	38.80 ± 1.92b	39.00 ± 2.92b
白蛋白 / (g/L)	14.20 ± 1.64	14.80 ± 1.48	15.80 ± 1.30	15.80 ± 1.10
谷丙转氨酶 / (U/L)	37.80 ± 2.39	38.40 ± 1.52	38.6 ± 2.70	39.00 ± 1.87
总胆固醇 / (mmol/L)	3.51 ± 0.30	3.78 ± 0.41	3.62 ± 0.55	3.87 ± 0.64
甘油三酯 / (mmol/L)	0.65 ± 0.04	0.72 ± 0.07	0.71 ± 0.07	0.74 ± 0.07
高密度脂蛋白胆固醇 / (mmol/L)	3.00 ± 0.12	3.18 ± 0.24	3.19 ± 0.16	3.06 ± 0.21
低密度脂蛋白胆固醇 / (mmol/L)	1.64 ± 0.08	1.70 ± 0.07	1.69 ± 0.08	1.73 ± 0.04

注：同行数据肩标字母相同或无字母表示差异不显著（P>0.05），字母不同表示差异显著（P<0.05）。

2.5 鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭生长性能的影响（见表6）

由表6可知，豆油组、棕榈油组、鸭油组肉鸭的料重比均显著低于基础日粮组（P<0.05），鸭油组肉鸭的料重比小于豆油组和棕榈油，豆油组低于棕榈油组，但各组之间差异不显著（P>0.05）。

组别	21 d 体重 / (g/ 只)	42 d 体重 / (g/ 只)	21~42 d 日增重 / [g/ (只 · d)]	21~42 d 日采食量 / [g/ (只 · d)]	21~42 d 料重比
豆油组	1 297.45 ± 24.43	3 272.46 ± 50.32ab	94.05 ± 2.92ab	205.26 ± 5.66a	2.19 ± 0.10a
棕榈油组	1 302.07 ± 27.16	3 207.95 ± 95.51bc	90.76 ± 4.46bc	200.79 ± 6.10a	2.22 ± 0.09a

3 讨论

3.1 鸭油、豆油和棕榈油理化指标分析

在养殖业中，油脂被广泛应用于饲料中。但在饲料中添加油脂先要对油脂的品质进行评价。酸价是评定油脂新鲜程度的重要指标，氢氧化钾中和 1.0g 油脂中所含游离脂肪酸所需的克数即为酸价。油脂的酸价越高，表明产生的游离脂肪酸量越多，其新鲜度越低，质量越差。在饲用油脂标准中，一等动物油酸价小于 10。本试验选用油脂酸价均小于 3。因此，本试验中的鸭油、豆油和棕榈油均属于优等油脂，不必考虑酸价过高对畜禽机体带来危害。

3.2 鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭表观代谢能的影响

研究不同油脂在肉鸭体内的代谢能值可以得到能量转化率，进而科学合理地使用油脂，提高肉鸭体重，进而增加养殖利润。套算法也称单水平测定法、差量法，是单个饲料原料代谢能评定的经典方法，目前多数单一油脂的代谢能值由套算法测得，测定的各种饲料的表观代谢能值已形成了一个比较完整的体系。本研究采用套算法对 3 种油脂的代谢能进行测量，获得了鸭油、豆油和棕榈油 3 种油脂在肉鸭体内条件下的代谢能值，为肉鸭日粮配制中能量计算提供了参考。本研究中鸭油 AME 测定值（37.15MJ/kg）低于中国饲料成分及营养价值表（33 版）中鸡代谢能值（39.16MJ/kg），豆油和棕榈油的 AME（36.38、28.64MJ/kg）高于中国饲料成分及营养价值表（33 版）中鸡代谢能值（35.02、24.27MJ/kg），这可能与试验所用油脂来源和加工工艺、试验动物等因素有关。

3.3 鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭养分利用率的影响

营养物质表观消化率是评价饲料消化特性的主要依据，营养配比不平衡会影响营养物质的消化率。李玉辉等研究表明，基础日粮中添加不同比例的花生油对其营养物质消化无明显影响，而对酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维的表观消化率具有明显提高作用。葛晓可研究表明，高脂日粮（基础日粮前期油脂水平 2.0%，后期油脂水平 4.0%；高脂日粮前期油脂水平 3.0%，后期油脂水平 5.5%）对肉鸡前后期的饲料中的干物质、有机物质，粗蛋白、粗脂肪、总能养分利用率无显著影响。本研究中，添加鸭油、豆油和棕榈油 3 种油脂后，肉鸭对于干物质、粗脂肪、粗蛋白和能量的养分利用率均能够显著提高。上述研究结果的不一致的原因可能与试验所使用的油脂类型及添加水平有关。

3.4 鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭血清生化指标的影响

血清生化指标能够反映动物的肝肾功能、机体炎症反应及代谢等状态，血清总蛋白含量高表明机体蛋白质代谢旺盛、沉积较多。本研究中，采用含 10% 鸭油、10% 豆油及 10% 棕榈的日粮饲喂 21 日龄的肉鸭 21d 后，肉鸭血清中总蛋白含量比基础日粮组显著提高，表明添加油脂后能够显著提高肉鸭体内蛋白质的代谢能力。3 种油脂添加组的血糖、尿素、白蛋白、谷丙转氨酶等血清生化指标与基础日粮组相比差异均不显著，表明在基础日粮中分别添加 10% 鸭油、10% 豆油及 10% 棕榈油对肉鸭肝肾等功能未造成显著影响。血清中的总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇等是反映机体脂肪代谢水平的指标，本研究中，各试验组肉鸭的 4 项脂质代谢指标与基础日粮组差异不显著，但总体趋势是试验组高于基础日粮组，

与刘贵莲等研究高脂高糖饲料对巴马小型猪血液生化指标的影响结果一致。本试验中,豆油组肉鸭血清的胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇含量低于鸭油组、鸭油组低于棕榈油组;豆油组肉鸭血清高密度脂蛋白胆固醇含量高于鸭油组、鸭油组高于棕榈油组,表明鸭油、豆油和棕榈油相比,豆油更健康、鸭油次之,棕榈油最差,且各组间差异不显著,可能是由于饲喂时间较短造成。

3.5 鸭油、豆油和棕榈油对肉鸭生长性能的影响

添加油脂可以提高鱼类、山羊、肉鸭等生长性能,但饲料中油脂对饲料转化率的影响存在差异,导致动物的促生长性能不同。陈威研究发现,在相同日粮的基础上添加不同来源的油脂,添加 4.45% 自炼纯鸭油与添加 4.13% 豆油相比,显著提高了樱桃谷肉鸭 14~22 日龄的阶段增重。燕磊等研究发现,与在饲料中添加大豆油相比,饲喂鸭油、棕榈油的肉鸡在 1~37 日龄全程料重比分别降低了 1.71% 和 3.91%。本研究中,在基础日粮中分别添加 10% 鸭油、10% 豆油和 10% 棕榈油,结果显示,3 种油脂对

21~42 日龄肉鸭的促生长效果均高于基础日粮组,但是三者之间基本相同。Hu 等研究发现,饲料中添加不同脂肪源(禽油和大豆油)对 18~42 日龄肉鸭的生长性能、胴体性能和脂肪代谢均无显著影响,但降低了饲料中油脂用量,肉鸭的生长性能和胴体性能也会降低,影响肉鸭脂肪代谢。Fébel 等研究发现,在饲料中添加亚麻油、大豆油和葵花籽油对肉仔鸡的生长性能无显著影响。DeWitt 等研究发现,不同的脂肪酸对体重增加无影响。因此,油脂对家禽生长性能的促进作用可能受家禽品种、油脂种类及油脂添加量等多种因素的影响。本研究中,饲料中添加相同比例的鸭油、豆油和棕榈油,3 组肉鸭的生长性能之间差异不显著,但是鸭油组肉鸭的料重比最低,表明其促生长性能优于其他两组。

4 结论

本试验发现,在肉鸭日粮中分别添加鸭油、豆油和棕榈油对饲料养分利用率具有一定影响,可以改善肉鸭的生长性能,且鸭油对肉鸭促生长效果最好。

(转自禽营养)

不同油脂对樱桃谷肉鸭育肥期生长性能和脂肪含量的影响

孙建立¹ 刘文晶² 胡伟² 刘小川³ 杨维仁² 焦宁²

(1. 广饶县畜牧业发展服务中心, 山东东营 257300; 2. 山东农业大学动物科技学院, 山东泰安 271017;
3. 临沂正能量生物有限公司, 山东临沂 276000)

饲料是畜禽养殖业的基础, 选择适合畜禽的饲料对于降低企业生产成本以及提高畜禽肉品质来说至关重要。油脂是畜禽生产中重要的能量来源, 添加油脂能够满足畜禽的营养需求、改善适口性及提高动物免疫力。樱桃谷肉鸭是以北京鸭和埃里斯伯里鸭为亲本杂交育成的品种, 具有生长周期短, 出栏率高, 瘦肉率较高及鸭肉口感好的特点而被我国大面积养殖。同时, 由于樱桃谷肉鸭生长迅速且对营养的需求较高, 养殖过程中通常会在其饲料中添加油脂, 以保证其生长速度稳定和体重稳定增长, 并提高饲料利用率。研究发现, 在饲料中添加油脂不仅可以提高饲料能量密度, 改善饲料适口性, 在一定程度上提高畜禽的抗应激能力; 同时也提高了饲料中必需脂肪酸的含量, 促进畜禽对脂溶性维生素的吸收利用, 改善平均日增重和饲料转化率。

家禽饲料中常用的油脂包括植物油、动物油和混合油。大豆油属于植物油的一种, 富含不饱和脂肪酸, 添加到肉鸡饲料中可显著降低平均采食量和饲料转化率。另有研究表明, 在肉鸭饲料中添加不同比例的大豆油, 显著降低了肉鸭的皮脂率和腹脂率, 提高了瘦肉率。鸭油和猪油属于动物油, 富含饱和脂肪酸。根据鸭油提取加工的手段和方式不同可细分为纯鸭油、烤鸭油和鸭壳油等。鸭油相较于其他单一类的动物油脂而言, 富含不饱和脂肪酸, 添加在肉鸡饲料中可提升肉鸡产蛋率和饲料转化率;

添加在生长育肥猪饲料中, 能够改善肌肉嫩度, 改变脂肪酸组成。猪油含有丰富的脂肪酸, 在代谢能和净能数据上比其他部分油脂更具优势, 在畜禽养殖场景中主要具有增重催肥的作用。若用于樱桃谷肉鸭的养殖上, 其增肥的效果会与樱桃谷肉鸭瘦肉高产的市场要求相矛盾, 在运用和添加上要注意其配比和控制使用。目前家禽饲料中使用最广泛的脂肪是大豆油, 但大豆油供应有限且价格持续偏高, 因此, 研究人员开始关注利用来源广泛、性价比高的动物油脂替代大豆油。研究表明, 在 8~37 日龄肉鸡饲料中分别添加一定比例 (中期 3%, 后期 5%) 的豆油、鸭油、棕榈油和米糠油, 对肉鸡整个试验期的生长性能和成活率无显著影响。然而, 当前关于不同脂质来源的饲料对家禽生长性能及脂肪含量影响的研究尚不全面。基于此, 本试验通过探究五种不同种类油脂对樱桃谷肉鸭生长性能和脂肪含量的影响, 旨在为进一步科学合理地利用油

脂提供参考依据, 同时为动物油脂替代大豆油的应用提供新思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用纯鸭油、鸭壳油、烤鸭油、猪油和豆油均由市场购得, 并进行脂肪酸分析。油脂脂肪酸含量见表 1。

1.2 试验设计及试验饲料

表 1 油脂脂肪酸含量 /%

项目	纯鸭油组	鸭壳油组	烤鸭油组	猪油组	豆油组
总脂肪酸	93.81	91.67	90.90	91.98	94.85
月桂酸 C12:0	—	—	0.09	0.08	—
豆蔻酸 C14:0	0.81	0.88	1.09	1.36	0.12
十五碳酸 C15:0	0.07	—	0.07	—	—
棕榈酸 C16:0	21.36	22.93	25.58	24.60	11.68
棕榈油酸 C16:1	2.39	2.10	1.97	1.96	0.13
十七碳酸 C17:0	0.18	0.21	0.24	0.26	0.10
十七碳一烯酸 C17:1	0.12	0.13	0.18	—	0.09
硬脂酸 C18:0	6.80	7.81	9.79	14.54	3.79
油酸 C18:1	42.03	40.54	38.80	38.30	22.41
亚油酸 C18:2	21.37	20.06	16.91	13.44	52.88
亚麻酸 C18:3	1.07	1.18	1.05	0.68	6.35
花生酸 C20:0	0.17	0.23	0.27	0.24	0.33
二十碳一烯酸 C20:1	0.62	0.74	0.76	0.86	0.17
二十碳二烯酸 C20:2	0.38	0.39	0.49	0.64	0.06
二十碳三烯酸 C20:3	0.15	0.13	0.22	0.22	—
二十碳四烯酸 C20:4	0.35	0.36	0.32	0.26	—
二十二烷酸 C22:0	—	—	—	—	0.39
顺式 -13- 二十二碳烯酸 C22:1	—	—	—	—	—
二十二碳四烯酸 C22:4	0.18	0.16	0.14	0.13	—
二十二碳四烯酸 C22:5	—	—	0.07	0.08	—
二十四烷酸 C24:0	—	—	—	—	0.15

注：“—”表示未检出。

本试验采用单因素完全随机试验设计，根据饲粮油脂来源，分为纯鸭油组、鸭壳油组、烤鸭油组、猪油组和豆油组。选取健康的 1800 只 14 日龄樱桃谷肉鸭公母各半，初始体重为（510.36±0.43）g，随机分为 5 个处理组，每组 6 个重复，每个重复 60 只。试验期为 25d，分为 3 个饲养阶段，14~22、23~29、30~39 日龄。整个试验期间，试验鸭自由采食和饮水。试验饲粮配方参考《中国肉鸭饲养标准》（NY/T2122—2012），基础饲粮组成及营养水平见表 2。

1.3 饲养管理

试验在山东绵樱鸭业有限公司育种基地进行。

饲养模式采用多层立体平养，单区域隔离饲养。

饲养棚为南北走向，试验分组考虑东西光照、南北温度的影响。鸭舍温度起初控制在 28~30℃，之后逐步稳定降低温度，每 3d 降低 1~2℃，直至 21 日龄时降至 25℃，后续温度控制为 20~23℃。试验期间鸭舍相对湿度控制在 55%~65%，保证全天光照时间不低于 16h，并保持良好通风。试验开始前按照常规免疫程序对所有樱桃谷肉鸭进行免疫，试验期间定期消毒和清粪，观察肉鸭的健康状况，其他参照常规管理进行。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能指标测定

在试验第 1 天即 14 日龄和 22、29、39 日龄上午饲喂前进行称重，并以重复为单位详细记录 14~22、23~29、30~39 日龄 3 个时间段内的采食量，分别计算三阶段的平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）和料重比（F/G）。根据饲料成本、鸭苗成本、药物及保健品成本、人工及耗能、场地设备分摊费用和管理费用计算不同组别不同日龄的肉鸭造肉成本（CPG）。

平均日采食量（ADFI，g）=（阶段总上料量 - 阶段总剩料量）/（试验天数 × 试验只数）

平均日增重（ADG，g）=（阶段总末重 - 阶段总初重）/（试验天数 × 试验只数）

料重比（F/G）= 平均日采食量 / 平均日增重

造肉成本（CPG，元/kg）= 阶段采食量 × 饲粮成本 / 阶段增重

表 2 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

项目	纯鸭油组	鸭壳油组	烤鸭油组	猪油组	豆油组
原料组成 /%					
华北玉米	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
豆粕（43%）	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
燕麦片	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00

项目	纯鸭油组	鸭壳油组	烤鸭油组	猪油组	豆油组
干白酒糟	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
肉粉	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40
磷酸氢钙	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
石粉	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
纯鸭油	4.00	0	0	0	0
鸭壳油	0	4.00	0	0	0
烤鸭油	0	0	4.00	0	0
猪油	0	0	0	4.00	0
豆油	0	0	0	0	4.00
赖氨酸（98%）	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
DL-蛋氨酸（98%）	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
L-苏氨酸	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
预混料	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平					
代谢能 /（MJ/kg）	13.47	13.43	13.40	13.40	13.55
粗蛋白 /%	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
粗纤维 /%	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
钙 /%	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
有效磷 /%	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
赖氨酸 /%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
蛋氨酸 /%	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39

注：1. 预混料为每千克饲料提供 VA9050IU、VD31950IU、VE26mg、VK35mg、VB12.6mg、VB28.0mg、VB63.0mg、VB120.02mg、泛酸钙 15mg、烟酸 35mg、生物素 0.20mg、叶酸 1.20mg、Mn60mg、Fe80mg、Zn60mg、Cu8.5mg、I0.27mg、Se0.20mg；2. 营养水平均为计算值。

1.4.2 脂肪含量指标测定

在 22、29、39 日龄早晨空腹称量鸭只的体重，

随后每组各挑选平均体重接近的 6 只肉鸭屠宰，对屠宰后鸭的腹脂重、皮下脂肪重进行测量记录，计算腹脂率和皮脂率。将分离好的两侧胸肌烘干后进行粉碎，然后按照索氏抽提法测定其中的脂肪含量，计算胸肌脂率。腹脂率、皮脂率和胸肌脂率参照以下方法进行计算。

$$\text{腹脂率}(\%) = \text{腹部脂肪重} / \text{全净膛重} \times 100$$
$$\text{皮脂率}(\%) = \text{皮下脂肪重} / \text{全净膛重} \times 100$$
$$\text{胸肌脂率}(\%) = \text{胸肌肉脂肪含量} / \text{胸肌重} \times 100$$

1.5 数据统计与分析

使用 SAS（SAS9.4）的 GLM 程序对试验数据进行方差统计分析，差异显著时进行 Tukey 多重检验。在所有分析中， $P<0.05$ 为差异显著。结果以“平均值 ± 标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 饲料添加不同油脂对樱桃谷肉鸭生长性能的影响

如表 3 所示，在 14~22 日龄饲养周期内，与猪油组相比，豆油组显著提高了肉鸭的 ADFI 和 ADG（ $P<0.05$ ），其他组间差异不显著（ $P>0.05$ ）。各组间 F/G 无显著差异（ $P>0.05$ ）。

如表 4 所示，在 23~29 日龄饲养周期内，与纯鸭油组和猪油组相比，豆油组显著提高了肉鸭的 ADFI（ $P<0.05$ ），其他组间差异不显著（ $P>0.05$ ）；各组间肉鸭 ADG、F/G 和 CPG 无显著差异（ $P>0.05$ ）。

表 3 饲料添加不同油脂对 14~22 日龄樱桃谷肉鸭生长性能的影响

项目	纯鸭油组	鸭壳油组	烤鸭油组	猪油组	豆油组
初始体重 /g	510.47 ± 0.10	511.15 ± 0.09	509.90 ± 0.11	510.13 ± 0.07	510.15 ± 0.10
终末体重 /g	1432.97 ± 1.25ab	1411.15 ± 1.30b	1443.65 ± 1.12a	1367.38 ± 1.15c	1455.15 ± 1.27a
ADFI/g	152.50 ± 0.04ab	151.25 ± 0.05ab	152.50 ± 0.04ab	148.75 ± 0.04b	156.25 ± 0.04a
ADG/g	102.50 ± 0.03ab	100.00 ± 0.02ab	103.75 ± 0.03ab	96.25 ± 0.07b	105.00 ± 0.01a
F/G	1.49 ± 0.07	1.51 ± 0.05	1.47 ± 0.08	1.55 ± 0.10	1.49 ± 0.07

注：同行数据肩标无字母或含有相同字母表示差异不显著（ $P>0.05$ ），不含有相同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）；下表同。

表 4 饲料添加不同油脂对 23~29 日龄樱桃谷肉鸭生长性能的影响

项目	纯鸭油组	鸭壳油组	烤鸭油组	猪油组	豆油组
初始体重 /g	1432.97 ± 1.25ab	1411.15 ± 1.30b	1443.65 ± 1.12a	1367.38 ± 1.15c	1455.15 ± 1.27a
终末体重 /g	2179.66 ± 1.36b	2192.84 ± 1.35b	2213.65 ± 1.40ab	2125.69 ± 1.41c	2236.84 ± 1.36a
ADFI/g	210.00 ± 0.05b	215.00 ± 0.04ab	216.67 ± 0.05ab	208.33 ± 0.04b	220.00 ± 0.05a
ADG/g	106.67 ± 0.03	111.67 ± 0.03	110.00 ± 0.03	108.33 ± 0.04	111.67 ± 0.05
F/G	1.97 ± 0.08	1.93 ± 0.05	1.97 ± 0.09	1.92 ± 0.07	1.97 ± 0.07
CPG/(元/kg)	4.40 ± 0.17	4.36 ± 0.11	4.38 ± 0.13	4.36 ± 0.20	4.38 ± 0.15

如表 5 所示，在 30~39 日龄饲养周期内，与纯鸭油组相比，豆油组和鸭壳油组显著提高了肉鸭 ADFI (P<0.05)，其他组间差异不显著 (P>0.05)；与豆油组相比，纯鸭油组显著降低了肉鸭 F/G 和 CPG (P<0.05)，其他组间差异不显著 (P>0.05)。

表 5 饲料添加不同油脂对 30~39 日龄樱桃谷肉鸭生长性能的影响

项目	纯鸭油组	鸭壳油组	烤鸭油组	猪油组	豆油组
初始体重 /g	2179.66 ± 1.36b	2192.84 ± 1.35b	2213.65 ± 1.40ab	2125.69 ± 1.41c	2236.84 ± 1.36a
终末体重 /g	3169.66 ± 1.47a	3132.80 ± 1.45b	3133.63 ± 1.40b	3075.73 ± 1.41c	3136.84 ± 1.39b
ADFI/g	231.11 ± 0.05b	243.33 ± 0.07a	235.56 ± 0.07ab	235.56 ± 0.05ab	241.11 ± 0.06a
ADG/g	110.00 ± 0.07a	104.44 ± 0.04ab	102.22 ± 0.15b	105.56 ± 0.03ab	100.00 ± 0.06b
F/G	2.10 ± 0.12b	2.33 ± 0.11ab	2.30 ± 0.42ab	2.23 ± 0.08ab	2.41 ± 0.18a
CPG/(元/kg)	4.87 ± 0.26b	5.18 ± 0.26ab	5.35 ± 0.94a	5.01 ± 0.19ab	5.49 ± 0.40a

如表 6 所示，在 14~39 日龄饲养周期内，与纯鸭油组和猪油组相比，豆油组显著提高了肉鸭的 ADFI (P<0.05)，其他组间差异不显著 (P>0.05)；各处理组间肉鸭 ADG 和 F/G 无显著差异 (P>0.05)。

表 6 饲料添加不同油脂对 14~39 日龄樱桃谷肉鸭生长性能的影响

项目	纯鸭油组	鸭壳油组	烤鸭油组	猪油组	豆油组
初始体重 /g	510.47 ± 0.10	511.15 ± 0.09	509.90 ± 0.11	510.13 ± 0.07	510.15 ± 0.10
终末体重 /g	3169.66 ± 1.47a	3132.80 ± 1.45b	3133.63 ± 1.40b	3075.73 ± 1.41c	3136.84 ± 1.39b
ADFI/g	198.87 ± 0.04b	203.36 ± 0.07ab	201.80 ± 0.06ab	197.65 ± 0.05b	206.78 ± 0.10a
ADG/g	106.38 ± 0.07	104.87 ± 0.12	104.95 ± 0.12	102.62 ± 0.09	105.07 ± 0.15
F/G	1.86 ± 0.08	1.94 ± 0.07	1.92 ± 0.11	1.93 ± 0.06	1.95 ± 0.07

2.2 饲料添加不同油脂对樱桃谷肉鸭脂肪含量的影响

如表 7 所示，22、29 日龄时，各组间肉鸭的腹脂率无显著差异 (P>0.05)。39 日龄时，与鸭壳油组和烤鸭油组相比，豆油组显著降低了肉鸭的腹脂率 (P<0.05)，但与猪油组和纯鸭油组无显著差异 (P>0.05)。

表 7 饲料添加不同油脂对樱桃谷肉鸭腹脂率的影响 /%

日龄	纯鸭油组	鸭壳油组	烤鸭油组	猪油组	豆油组
22	1.60 ± 0.02	1.55 ± 0.01	1.58 ± 0.02	1.38 ± 0.05	0.98 ± 0.02
29	1.70 ± 0.03	1.59 ± 0.02	1.62 ± 0.03	1.58 ± 0.05	1.15 ± 0.01
39	3.31 ± 0.03ab	3.48 ± 0.03a	3.50 ± 0.03a	2.87 ± 0.03ab	2.63 ± 0.05b

如表 8 所示，22 日龄时，各处理组间皮脂率无显著差异（ $P>0.05$ ）。29 日龄时，与纯鸭油组相比，鸭壳油组和猪油组显著降低了肉鸭的皮脂率（ $P<0.05$ ），但与烤鸭油组和豆油组无显著差异（ $P>0.05$ ）。39 日龄时，与鸭壳油组和烤鸭油组相比，豆油组显著降低了肉鸭的皮脂率（ $P<0.05$ ），但与纯鸭油组和猪油组无显著差异（ $P>0.05$ ）。

表 8 饲料添加不同油脂对樱桃谷肉鸭皮脂率的影响 /%

日龄	纯鸭油组	鸭壳油组	烤鸭油组	猪油组	豆油组
22	11.76 ± 0.20	10.84 ± 0.04	11.45 ± 0.13	10.87 ± 0.05	10.95 ± 0.05
29	11.83 ± 0.25a	10.98 ± 0.08b	11.50 ± 0.25ab	10.95 ± 0.08b	11.08 ± 0.24ab
39	24.28 ± 0.57ab	24.88 ± 0.37a	24.95 ± 0.26a	24.07 ± 0.49ab	23.92 ± 0.62b

如表 9 所示，各组间肉鸭胸肌脂率无显著差异（ $P>0.05$ ）。

表 9 饲料添加不同油脂对樱桃谷肉鸭胸肌脂率的影响 /%

日龄	纯鸭油组	鸭壳油组	烤鸭油组	猪油组	豆油组
22	1.24 ± 0.08	1.29 ± 0.08	1.31 ± 0.10	1.22 ± 0.06	1.25 ± 0.09
29	1.33 ± 0.13	1.36 ± 0.11	1.38 ± 0.09	1.29 ± 0.08	1.24 ± 0.13
39	1.37 ± 0.05	1.66 ± 0.21	1.68 ± 0.19	1.45 ± 0.23	1.57 ± 0.16

3 讨论

3.1 饲料添加不同油脂对樱桃谷肉鸭生长性能的影响

油脂不仅是动物机体内组织细胞的重要组成部分，也是动物机体代谢时能量的运输和存储形式，能够满足畜禽机体的高能量需求。饲料中添加的油脂分为植物油、动物油和混合油 3 种，不同来源的油脂对于畜禽生产性能的影响是不同的 [19]。黄颖妍等 [20] 在麻黄肉鸡饲料中分别添加大豆油、猪油和鸡油，结果表明，3 种不同种类的油脂对其生长性能均无显著影响。与此一致，本研究结果表明，与豆油组相比，各处理组对肉鸭生长前期和生长中期的生长性能无显著影响。纯鸭油作为动物油脂的一种，饱和脂肪酸含量较高，不仅能够为机体提供更高的

热量，还能增加食糜在肠道内的停留时间，促进食物的消化吸收进而改善动物饲料的转化率。本研究发现，添加纯鸭油显著提高了肉鸭的平均日增重，显著降低了 F/G 和 CPG，这与陈威等的研究结果一致，添加自炼纯鸭油与添加豆油相比，樱桃谷肉鸭的阶段增重显著提高。因此，油脂的种类、家禽的品种及生长阶段都是影响油脂促进家禽生长性能的因素。

3.2 饲料添加不同油脂对樱桃谷肉鸭脂肪含量的影响

与生长性能相比，检测脂肪含量可以更进一步地反映肉鸭出肉率和经济收入。在饲料中添加油脂能为机体提供生长必需的脂肪酸，改善脂溶性营养物质的吸收效率，增强适口性，提高畜禽生产力。燕磊等研究发现，饲料添加豆油能够降低肉鸡的腹

脂率，且豆油组的腹脂率低于鸭油组。与本研究结果一致，在 39 日龄饲养阶段，添加豆油显著降低了肉鸭的腹脂率和皮脂率，且不同种类的油脂对于肉鸭皮脂率和腹脂率的影响效果几乎一致，腹部脂肪、皮下脂肪均表现出同步增长与降低的趋势。就增幅和降幅的程度而言，皮下脂肪沉积的趋势要明显于腹部脂肪。本研究还发现，在 23~29 日龄饲养阶段添加猪油和鸭壳油能够降低肉鸭的皮脂率，而添加不同种类的油脂对肉鸭整个试验期的胸肌脂率均无显著影响。与先前的研究一致，在肉鸡饲料中用

25%、50% 和 100% 的家禽脂肪替代大豆油，其肌肉中的脂肪含量并无显著变化，但 50% 和 100% 替代大豆油却增加了肉鸭的腹部脂肪重量，这可能归因于油脂的添加比例不同。

4 结论

饲料中添加油脂能够改善樱桃谷肉鸭的生长性能和脂肪含量，添加纯鸭油对生长性能的影响效果最佳；添加猪油、鸭壳油及豆油对脂肪含量的影响效果较好。

（转自饲料工业）

反刍动物日粮中油脂产品的加工工艺及其应用效果研究进展

赵建¹ 张振斌¹ 孙桂芬² 王梦芝¹

(1. 扬州大学动物科学与技术学院，江苏扬州 225009；2. 上海欧耐施生物技术有限公司，上海 201613)

油脂是不同状态脂肪的统称，一般将常温常压下呈液体状态的脂肪称为油，呈固体状态的脂肪称为脂。根据来源主要可以分为动物性油脂、植物性油脂。同等质量的油脂可以提供相当于常规谷物饲料原料（如玉米）2.25 倍的能量。除此以外，还具有供给必需脂肪酸、促进脂溶性维生素吸收、改善日粮适口性、缓解热应激反应等作用，已广泛应用于反刍动物日粮中。虽然油脂的优点众多，但也存在加工工艺上的缺陷：①直接添加未经包被的脂肪产品会抑制瘤胃微生物活动，特别是抑制降解纤维素的菌群，导致反刍动物对日粮中纤维素和蛋白质的消化率下降；②未经氢化的油脂中脂肪酸与瘤胃中阳离子相结合，形成不溶物，一定程度上影响乳脂率；③油脂在空气中易氧化变质，面临储藏和运输上的难题。因此，油脂产品的加工工艺与其应用效果关系密切，应进一步研发加工工艺并探求合适的应用方式。本文就反刍动物日粮中油脂产品的加工工艺和应用效果进行综述。

1 油脂的来源

1.1 动物性油脂动物性油脂主要来自动物屠宰分离得到的非食用部分，大部分为猪油、牛油、羊油、鱼油等，脂肪酸组成主要为饱和脂肪酸，因此需要进行油脂提取。动物性油脂提取的常用方法为熬制法、蒸煮法、溶剂法、酶水解法、超临界流体萃取法和水溶法等。其中最为常见的加工方式为蒸煮法，其优点是工艺简单、取油条件容易控制、不需要添

加任何化学物质、成本低等。但是不能有效将油脂和杂质（如胶质、与蛋白质结合的脂肪、色素等）分离，因而取油率并不高。蒸煮法的原理是通过蒸煮加热使动物脂肪组织析出油脂，而油脂与水互不相溶，因此常以水为溶剂，将油脂分离出来。动物性油脂加工工艺如图 1 所示。



图 1 动物性油脂加工工艺

1.2 植物性油脂植物性油脂是从植物的果实、种子、胚芽中得到的脂肪，主要包括大豆油、花生油、棕榈油、菜籽油、亚麻籽油等，脂肪酸组成主要为不饱和脂肪酸(UFA)。在生产上常采用传统方法(机械压榨法和浸提法)取油。但由于传统方法在技术方面的滞后，取油率及取油品质均无法满足日益发展的生产要求，故目前常采用新的水酶法进行取油。水酶法是油料经粉碎处理后，运用可以降解油料细胞的酶制剂（如淀粉酶、纤维素酶、果胶酶等）将油脂从油料中提取出来的技术。植物性油脂加工工艺如图 2 所示。水酶法提取油脂工艺相对简单、对设备要求不高、无需经过高温高压处理、没有溶剂残留，是一种简便、环保无污染的油脂提取技术。但由于水酶法提取得到的油脂经过粉碎后无需精炼步骤，因此氧化稳定性较差。研究表明，在水酶法取油过程中添加天然抗氧化剂（如迷迭香甲醇提取物）不仅可以提高油脂的氧化稳定性，而且对于植

物油本身质量无任何不良影响。



图2 植物性油脂加工工艺

2 油脂产品的加工工艺

2.1 油脂喷涂工艺将油脂以液态形式利用喷涂工艺添加进颗粒饲料中，除提供高额的能量以外还有诸多好处。一是，可改善饲料的适口性和外观，增加动物采食量。二是，减少饲料加工过程中产生的粉尘。三是，减轻加工时饲料机械的损耗，延长使用年限。油脂喷涂按照颗粒饲料生产中的加工时间可以分为制粒前、制粒中、制粒后3种喷涂方式。前两种添加方式喷涂量较小，一般不会超过3%，否则会影响后续制粒、膨化工段的进行。而制粒后喷涂方式喷涂量大，最高可达6%左右，且经过喷涂后的饲料混合均匀不易松散，是目前饲料厂广泛采用的喷涂方式。制粒后喷涂方式又可分为常规油脂喷涂和真空油脂喷涂2种。

常规油脂喷涂工艺即在颗粒饲料制粒后将油脂经加压雾化均匀地喷涂在饲料表面。而随着技术进步和生产需要，真空油脂后喷涂工艺逐渐取代常规油脂喷涂工艺。真空油脂喷涂工艺也被称为“液体渗透”或“核心喷涂”技术，是指制粒后的颗粒饲料进入真空喷涂机中，真空泵启动，并抽尽机内空气从而形成真空环境，将颗粒饲料内部空隙中的空气排出，此时再将油脂均匀地喷涂到颗粒饲料表面进行混合。经过充分混合后，打开真空喷涂机的阀门。此时，由于空气大量进入机内，颗粒饲料表面与内部的压力差将附于颗粒饲料表面的油脂压入内部空隙，完成液体渗透过程。喷涂工艺以牧羊SYPL系列连续滚筒喷涂机为例，如图3所示。整个油脂喷涂过程由自动控制系统监测物料流量变化，自动调节油脂添加量和添加比例。油脂喷涂工艺有着许多优点，但其缺点也很明显。诸如无法解决颗粒饲料表面油脂的氧化和挥发造成的饲料劣质

化、最佳工艺参数尚待研究等。



图3 油脂喷涂加工工艺

2.2 粉末油脂工艺粉末油脂是指将油脂、包被材料、蛋白质、乳化剂等采用微胶囊技术加工而成的水包油（o/w）乳化液，并经由喷雾干燥技术制成的粉末状固态油脂产品。粉末油脂利用包被材料将油脂与空气隔离，极大地延缓了油脂氧化的速度，在空气中不易氧化变质，便于运输和保存。饲料粉末油脂还拥有比传统液态油脂更好的流动性和分散性，易与饲料原料均匀混合。因此，无论是在饲料行业还是在食品行业都受到了大量关注。植脂末就是最早应用于固体饮料中的粉末油脂。一般将粉末油脂的工艺分为乳化液的制备和喷雾干燥2个阶段。工艺流程如图4所示。

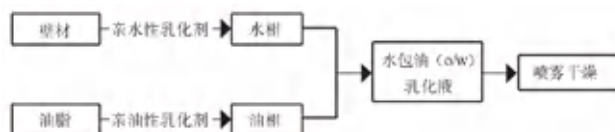


图4 粉末油脂加工工艺

待水相与油相制作完成后，将油相倒入水相中并均匀搅拌混合，得到粗乳化液。再用胶体磨彻底混合均匀乳液，用高压均质机器均质乳化几次，使其形成均匀的水包油（o/w）乳化液。随后将水包油（o/w）乳化液送入干燥室并雾化成微小颗粒，干燥器的雾化器或喷嘴将进料液体转换成粒径合适的颗粒，通过热气的并流或逆流以实现快速干燥。

在乳化过程中，乳化液的黏度和稳定性受到壁材配比、乳化过程中的温度和时间、均质条件等因素影响，进而影响粉末油脂的包被效率。而在喷雾干燥阶段中，粉末油脂的质量则受到进料温度与速度、进出风温度等因素影响。在整个粉末油脂生产中，壁材应该具有较好的成膜性以及良好的流动性，并且不能与其他成分发生任何化学反应。用于油脂包埋的壁材应选择水溶性壁材且具有良好的乳化能

力，并可以被雾化器雾化成微小颗粒。

目前常用于粉末油脂包被的壁材主要有碳水化合物（淀粉、麦芽糊精、小分子糖、壳聚糖等）、蛋白质（动物来源的乳清蛋白、酪蛋白、明胶等及植物来源的大豆蛋白、玉米蛋白等）、亲水胶体（阿拉伯胶、果胶、卡拉胶等）、复合壁材（2种或2种以上的壁材按照一定比例配制的一种新壁材）。与单一壁材相比，复合壁材可以满足功能互补或增强，提高粉末油脂品质，也可避免使用某些价格昂贵的壁材，降低产品成本。

2.3 过瘤胃脂肪工艺在反刍动物日粮中，将油脂作为一种能量饲料具有许多优点。但是，日粮中较高的脂肪含量可能对瘤胃微生物产生毒性并影响纤维的消化率，最终导致饲料摄入减少和动物生产性能下降。通过使用为反刍动物饲喂专门设计的过瘤胃脂肪（RPF），可以轻松克服添饲油脂产品带来的负面影响。RPF是指采用物理或化学等方法对脂肪进行特殊处理，使其不会被瘤胃溶解和吸收，又不会影响瘤胃正常发酵，直至到达真胃和小肠中才被消化、吸收和利用的一类脂肪，其原理是利用了瘤胃和皱胃及小肠中的pH不同。目前应用在生产实践中较多的RPF主要有包被脂肪、氢化脂肪、分馏脂肪、脂肪酸钙。

2.3.1 包被脂肪包被脂肪是指用一些瘤胃不易降解的物质（如蛋白质和碳水化合物类）包被在油脂表面，使其经过瘤胃时不会被发酵，而起到保护作用。主要包被方式有甲醛-蛋白复合包被油脂和血粉包被油脂2种。甲醛-蛋白复合包被油脂是指经过甲醛处理后的酪蛋白对油脂进行包被的技术，其原理是利用甲醛-蛋白质反应形成的保护膜具有一定耐酸性，在pH相对较高的瘤胃中不分解，而会在pH较低的皱胃中被破坏。

因为甲醛有致癌作用且易残留在动物产品中，所以这种方法已经被淘汰，不再使用。血粉包被油脂是用喷雾法将血浆喷向脂肪表面形成保护膜进行

包被。因为我国已经禁止使用动物血浆进行油脂包被，故此方法也不常使用。目前，探寻安全高效、价格低廉的新型包被材料是研究的重心。复合凝胶和蛋白包被材料是2种特殊的包被材料。复合凝胶即将脂质乳化后，形成胶状物质，然后通过加热形成瘤胃保护凝胶。而蛋白包被则是利用少量的醇醛混合物包被在油脂表面以阻止瘤胃微生物与油脂反应，从而使脂肪酸异构化作用造成的生物氢化率降低。根据包被材料的不同可以将过瘤胃包被技术分为蛋白质包被法、脂肪包被法、聚合物包被法等。目前常采用喷雾干燥法加工包被脂肪，工艺流程如图5所示。



图5 包被脂肪加工工艺

2.3.2 脂肪酸钙脂肪酸钙又称钙皂或瘤胃惰性脂肪，是指脂肪酸结合钙离子而形成的化合物，为目前市场上最常使用的过瘤胃脂肪产品。脂肪酸钙的过瘤胃原理是利用反刍动物瘤胃与皱胃之间pH不同，即脂肪酸钙在pH介于5.0~7.0的瘤胃中不被瘤胃微生物分解，在pH介于2.0~3.0的皱胃中脂肪酸与钙分离被机体吸收利用。脂肪酸钙的降解程度受到脂肪酸钙本身的饱和度和瘤胃胃液的pH影响，脂肪酸钙的饱和度越高，越不易于分解；瘤胃液pH越低，越易分解。脂肪酸钙由于其能值高和可提供钙元素，且不影响反刍动物瘤胃微生物活动，可避免直接添加脂肪对瘤胃微生物造成损害，被广泛应用在反刍动物生产实践中。制备脂肪酸钙的原料主要来自于动物性油脂和植物性油脂，但由于防疫的需求，动物性原料已被禁止在反刍动物日粮中使用，所以选择植物性油脂原料更合适。其制备工艺利用了脂肪的皂化性质，用NaOH溶液水解皂化脂肪生成脂肪酸钠，再加入CaCl₂溶液，产生复分解反应，脂肪酸钠中Na⁺被Ca²⁺取代，从而生成脂肪酸钙。工艺流程如图6所示。

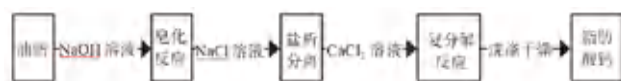


图6 脂肪酸钙加工工艺

由于经过了皂化反应，受加工工艺、设备、条件等因素影响，皂化反应不可能反应完全，脂肪酸钙产品难免具有肥皂的异味和苦味，因此日粮中添加脂肪酸钙在一定程度上会降低日粮适口性。为了解决反刍动物饲料短缺的问题，研发和优化脂肪酸钙制备工艺具有广阔的前景，且对于反刍动物生产具有重要意义。

2.3.3 氢化脂肪氢化脂肪又称饱和脂肪，是指利用化学加氢反应，使植物油中UFA在一定温度和压力下加氢后使其形成饱和脂肪酸的一类脂肪。饱和脂肪酸（SFA）在瘤胃中性质稳定，不会被瘤胃特殊的环境所影响，能够稳定地到达皱胃和小肠中。部分UFA则易通过瘤胃微生物进行生物氢化，形成饱和脂肪酸。经过生物氢化生产的饱和脂肪酸不仅在小肠中消化率较低，而且未经过生物氢化的UFA对瘤胃微生物产生一定毒性，影响瘤胃微生物活性，从而抑制瘤胃微生物对日粮中纤维素降解。氢化脂肪的加工原理是利用SFA的熔点比UFA高，在平均温度为38~39℃的瘤胃中不易溶解，并且不会对瘤胃微生物产生影响，只有与小肠消化液作用才会被溶解。氢化脂肪与脂肪酸钙相比，可消化脂肪含量更高，能提供更多有效能。但其在实际应用上也存在一定缺陷，主要是受氢化反应工艺不完善以及加工过程中存在的不稳定因素影响，导致部分氢化脂肪氢化不完全，产生短链脂肪酸，严重影响过瘤胃效果；其次是氢化反应过程中会产生异构化和异位化脂肪，一定程度上会降低小肠消化率。

2.3.4 分馏脂肪分馏脂肪又称瘤胃稳定性脂肪，是指根据不同脂肪酸熔点不同而对油脂中的脂肪酸进行物理分馏加工，然后收集高熔点SFA，再经冷却喷雾加工而成的一类油脂产品。同样是利用高熔点脂肪酸在瘤胃中不易降解的性质，一般选用SFA

含量高的油脂，主要以16~18碳酸脂肪酸（棕榈酸和硬脂酸）为主，故分馏脂肪产品的过瘤胃性质与其他油脂产品相比更稳定。除此以外，分馏脂肪的脂肪含量接近100%，有效能值高，可以满足高产奶牛、育肥牛等反刍动物能量需求。与氢化脂肪产品不同，分馏脂肪产品不含异位脂肪酸，小肠消化率高，是反刍动物过瘤胃脂肪产品的理想选择。其加工工艺流程：利用油脂中脂肪酸的沸点不同进行蒸馏，通过控制温度，使一部分脂肪酸经过汽化、冷凝液化后被收集起来，其他部分则保持原来的样子留在装置中，并重复多次进行蒸馏，分馏本质上就是多次蒸馏最后进行冷却喷雾。

3 油脂产品在反刍动物日粮中的应用

3.1 油脂产品对反刍动物瘤胃发酵的影响反刍动物主要通过瘤胃中微生物发酵从植物性原料中获取能量，如纤维素降解菌群能够降解单胃动物难以消化吸收的纤维素。Atikah等在反刍动物日粮中分别供给6%的棕榈油、橄榄油、葵花籽油，发现不仅改善了粗脂肪和粗蛋白质的表观消化率，而且可以降低氨浓度和增加总挥发性脂肪酸（TVFA）浓度，改变纤维素降解菌群的数量，从而改善瘤胃微生物发酵。研究表明，在反刍动物日粮中添加多不饱和脂肪酸（PUFA）可以减少肠道甲烷（CH₄）的生成，其原因是瘤胃微生物区系发生了改变。而刚出生的反刍动物的瘤胃微生物区系发育不完全，无法立刻发挥功能。而在日粮中添加油脂有改善瘤胃微生物区系及发酵过程的作用。Lyons等研究结果表明，由于亚麻籽油含有丰富的PUFA，所以短期补充亚麻籽油可以明显改善羔羊的微生物区系，并且这种改善呈长期态势。Potu等研究结果也显示，在饲料中添加脂肪酸或者脂类物质可以影响瘤胃微生物区系从而改善瘤胃发酵。欧阳佳良等研究发现，添加1%丙酸和丁酸制剂对于2~3月龄湖羊羔羊的生长性能没有显著影响，但丁酸制剂能够刺激羔羊瘤胃上皮的发育，提高了瘤胃中氨氮浓度和菌体蛋白含

量,对于羔羊瘤胃发酵和微生物的生长起到了促进作用;且添加脂肪酸制剂并没有对羔羊的健康产生任何不利影响。以上研究表明,如果采取适当的油脂产品,不仅可以对反刍动物的瘤胃发酵起到调控作用,而且能达到降低 CH_4 的排放的目的。

3.2 油脂产品对反刍动物消化性能的影响反刍动物对于油脂的消化,可按消化部位分为瘤胃消化与小肠消化。UFA进入瘤胃,通过瘤胃微生物发酵发生氢化、氧化、水解等反应,并影响瘤胃微生物活性和数量,随后产生VFA。而VFA则被瘤胃壁吸收,然后进入血液,最后被运输到肝脏被反刍动物消化利用。SFA由于其稳定的过瘤胃性质,不易被瘤胃降解,往往会以乳糜微粒的形式在空肠中被反刍动物消化吸收。研究表明,在玉米青贮饲料的基础上添加2%或3%的亚麻籽油不会对纤维表观消化率产生任何不良影响,也不会改变瘤胃微生物数量。但如果增加亚麻籽油添加量至4%,则会降低采食量(DMI)和纤维表观消化率。研究发现,在泌乳奶牛日粮添加棕榈酸制剂则并没有发现纤维表观消化率有降低趋势。这种差异可能是由于油脂含量不同及其脂肪酸组成差异所导致,棕榈酸属于(18:0)脂肪酸,而亚麻籽油则以(C18:3)脂肪酸为主。在犊牛日粮中添加大豆油具有较低的干物质、纤维、蛋白质消化率。一方面,是因为犊牛瘤胃微生物区系结构发育不完全对油脂的消化吸收产生了不利影响。另一方面,则是由于UFA对瘤胃微生物的毒性和较强的饲料颗粒吸附性所导致。以上研究表明,以UFA为主的油脂会对反刍动物瘤胃消化产生不利影响,在实际生产应用中,应该合理选用过瘤胃脂肪产品及油脂来源消除这种弊端。

3.3 油脂产品对反刍动物泌乳功能的影响奶牛在泌乳早期乳产量大大增加,因此所需能量大大增加,若供给不足则会导致泌乳奶牛机体处于能量负平衡。Lin等研究发现,将油脂作为能量饲料加入到反刍动物日粮中,可以使早期荷斯坦奶牛机体处

于能量正平衡状态;添饲油脂极大地提高了乳产量,但是降低了采食量和乳蛋白含量,需要与精料补充料配合使用。Morsy等研究发现,在泌乳山羊日粮中分别添加20mL/(头·d)葵花籽油和50g/(头·d)的葵花籽都使泌乳山羊的养分利用率得到显著提升,增加了平均乳产量和乳脂率,干物质摄入量则没有明显变化;但添加葵花油的效果更为明显,并且没有对泌乳山羊的生长产生任何不利影响。AbuGhazaleh等研究结果也显示,饲喂葵花籽油可提高反刍动物乳产量和乳脂率,可能与反刍动物瘤胃中TVFA浓度增加有关。Danijela等研究表明,在玉米青贮饲料基础上添加300g棕榈油,能显著提高荷斯坦奶牛的平均乳脂率及瘤胃pH和微生物总数与活力,避免了泌乳期的体重损失,并且添加棕榈油不会对血液代谢产物的浓度产生不利影响。此外,平均乳产量也有所上升,但差异不显著。而在荷斯坦牛日粮中添加PUFA含量高的油脂(如菜籽油)有抑制乳脂合成和乳产量的趋势。牛奶中大约50%的乳脂是在乳腺中以瘤胃发酵的乙酸为前体物生成的,瘤胃中乙酸比例的升高也会提高乳脂率,且与乙酸/丙酸比呈正比。由于瘤胃中PUFA抑制产甲烷菌导致的氢积累增加,使过量还原的烟酰胺腺嘌呤二核苷酸转移到丙酸的生成中,导致瘤胃中乙酸含量减少而丙酸含量增加,乙酸/丙酸降低,从而引起乳脂率降低。以上研究表明,在反刍动物日粮中添加合理的油脂种类可以减轻机体泌乳期的能量负平衡,在不影响反刍动物采食量的前提下满足其能量需求,改善反刍动物泌乳功能,提高乳脂率,但在泌乳奶牛日粮中需谨慎使用PUFA含量高的油脂,以避免造成泌乳性能降低。

3.4 油脂产品对反刍动物生产性能的影响当反刍动物处于生长育肥期时需要供给大量能量以维持最佳的生产性能,在日粮中供给适量的油脂可以提高DMI、饲料转化率(FCR)平均日增重(ADG)和胴体重。但较高的油脂添加量会引起日粮适口性

下降从而降低 DMI。孔凡虎等报道,在绵羊育肥期日粮中添加 40g/d 脂肪酸钙后,其 DMI、平均末重、平均增重、ADG 分别提高了 10.38%、6.7%、20.43%、20.43%,耗料增重比降低了 8.35%。虽然油脂的组成和来源相同,但是不同的添加方式对生产性能造成了不同的影响。Kandi 等研究发现,亚麻籽油钙盐组羔羊的 ADG、FCR、代谢能 (ME) 为 250g/d、0.38、12.37MJ/kg,而添加亚麻籽油组羔羊的 ADG、FCR、ME 为 219g/d、0.33、11.95MJ/kg,相比之下,脂肪酸钙组有着更显著的效果。张秋旭也报道,若日粮中直接供给亚麻油会降低肉羊的 ADG 且会对瘤胃发酵产生抑制作用,而以粉末油脂形式添加的亚麻油则降低了耗料增重比,提高了 ADG、FCR 等指标。2 种添加形式在 DMI 没有较大差别,但在 DMI 相同的情况下,经过保护的过瘤胃油脂产品在提高生产性能上有显著优势。需要注意的是,如果在日粮中添加不足量或过少的脂肪酸钙制剂,则不会产生任何有利影响。而在羔羊日粮中添加 3.5% 以大豆油为来源的脂肪酸钙后,相

较于其他未保护脂肪而言,虽然对肉品质方面影响不大,但具有更高的净肉率。添加油脂改善动物生产性能可归因为其改变了瘤胃发酵中丙酸含量。丙酸是反刍动物糖异生合成葡萄糖的前体物质,当丙酸含量上升,反刍动物能合成更多的葡萄糖为机体提高能量,因此生产性能得以提高。

4 小结

目前反刍动物日粮中应用的油脂产品根据加工工艺不同主要可分为氢化脂肪、微胶囊粉末油脂、脂肪酸钙等。饲喂过瘤胃油脂产品不仅可阻止瘤胃微生物对油脂产生氢化反应,避免 UFA 对瘤胃微生物造成不良影响,还可改善反刍动物的瘤胃发酵、泌乳功能、生产性能等。但目前过瘤胃油脂产品的加工工艺仍存在不足,且在反刍动物中的应用大部分局限于单一类型的油脂来源,不同油脂配合使用可能会效果更好,有待进一步探索。针对动物种类、生长阶段、生产目的而选择合适的加工方式和油脂是未来需要关注的方向之一。

(转自中国畜牧杂志)

棉籽油脂脂肪酸钙的抗氧化保护工艺研究

唐可 刘娜 李振玮 唐辉

(石河子大学药学院新疆特种植物药资源省部共建教育部重点实验室, 新疆石河子)

脂肪酸钙是以动植物油脂为原料人工合成的一种高能饲料添加剂。近年来,因其有助于反刍动物的生长和生产性能而备受关注。首先,脂肪酸钙能有效提高反刍动物的日增重和日产奶量^{1,2};其次,动物的乳脂率、乳蛋白率以及应激反应和血液生化指标,都能通过在饲料中添加脂肪酸钙而得以提高或改善。目前,国际市场应用最为广泛的脂肪酸钙产品为马来西亚原产的“美加力”,其添加方法简单,几乎无副作用,能有效缓解奶牛等反刍动物在围产期出现的能量负平衡状态。但国内在此领域内近似处于空白阶段,因此,自主研发一种脂肪酸钙产品对我国畜牧养殖业具有重要现实意义。

以我国新疆地区优势资源棉花的副产物——棉籽油为主要原料,运用一步式反应合成棉籽油脂脂肪酸钙,目前其合成工艺已基本成熟,能实现收率稳定的大批量生产,并通过与市场上的同类产品,如进口产品美加力和我国国内小规模生产、小范围销售的两种国产产品(河北、河南产)进行充足的质量对比,结果证明本课题组自主研发的棉籽油脂脂肪酸钙在各方面指标均接近“美加力”,且在钙含量方面优于“美加力”;此外,其各方面指标均优于两种国产产品。此外,还进行了棉籽油脂脂肪酸钙与“美加力”在荷斯坦奶牛中的应用效果研究,结果表明,在对围产期奶牛乳营养和反应氧化应激状态的血液成分指标的改善和提高方面,棉籽油脂脂肪酸钙仍能达到与“美加力”相近的效果。棉籽油含有的不饱和脂肪酸约占脂肪酸总量的61.2%,因此,

脂肪酸氧化腐坏的发生不可避免。氧化不仅会降低产品质量,降低效能,继而导致产商和养殖户经济损失,且当动物食入含有大量自由基的氧化脂肪后,自身机体的抗氧化能力也会降低,如免疫器官发育和淋巴细胞增殖受到抑制、体细胞寿命缩短等^⑤。脂肪酸氧化是一个复杂的自由基链式反应,通常分为诱导、扩增和终止3个阶段,首先产生自由基: $RH+O_2 \rightarrow R\cdot + \cdot OH$,此阶段进行较缓慢,但在光照、热、水汽和金属等存在下,可加速反应;其次是链扩增: $R\cdot + O_2 \rightarrow ROO\cdot$,此过程快于第一阶段;当加入抗氧化剂: $AH+R\cdot \rightarrow RH+A\cdot$, $AH+ROO\cdot \rightarrow ROOH+A\cdot$,以AH代表自由基清除剂,其作用是清除脂肪酸被氧化所产生的自由基和过氧化自由基,使进一步氧化的链锁反应被切断而终止氧化反应^{5,6},且其自身被氧化产生的抗氧化剂自由基性质很稳定,不参与其他的氧化链式反应。

本试验旨在找到一种能减缓棉籽油脂脂肪酸钙产品被氧化的保护工艺,筛选出一种效果明显且价格适宜的抗氧化剂,并确定其添加剂量,为产品的后期上市打下基础。

1 材料和方法

1.1 仪器与试剂

棉籽油脂脂肪酸钙(自制),盐酸、石油醚、无水乙醇(均为AR,天津富宇),乙氧基喹啉(EQ,90%,麦克林),1,1-二苯-2-苦基肼、2,6-二叔丁基对甲酚(DPPH、BHT,均为98%,上海源叶),分析天平(225SM-DR,瑞典普利赛斯),

数控超声波清洗器 (KQ-500DE, 昆山超声仪器), 紫外可见分光光度计 (L5S, 上海仪电分析仪器)。

1.2 试验原理

DPPH 是一种带有一个活泼 N 自由基的紫色晶体, 在 517nm 处有最大吸收波长, 当有自由基清除剂 (即抗氧化剂) 存在时, DPPH 会因其单电子被捕捉而颜色逐渐变浅, 吸光度呈线性降低, 因此可依吸光值的下降程度来评价含有抗氧化剂试样的自由基清除能力, 即抗氧化能力。

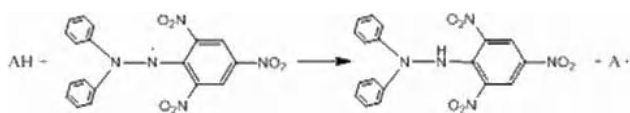


图 1 试验原理

1.3 试验设计

用酸回流法提取棉籽油脂肪钙中的脂肪酸, 将未添加抗氧化剂的脂肪酸样品设为空白对照组, 即 I 组; 向其中分别添加 0.010%、0.015% 和 0.020%BHT 的样品设为 II、III 和 IV 试验组; 分别添加 0.02%、0.05% 和 0.08%EQ 的样品设为 V、VI 和 VII 试验组, 在常温、常湿 ($25 \pm 2^\circ\text{C}$, $60\% \pm 5\%$) 条件下放置 7d, 利用 DPPH 法, 每日同一时间测定其自由基清除率; 并配制同等试样, 在高温、高湿 ($60 \pm 2^\circ\text{C}$, $90\% \pm 5\%$) 条件下放置 7d, 模拟夏日雨季的潮湿炎热或大量产品堆积的储存环境, 同样操作测定其自由基清除率。

1.4 脂肪酸提取

准确称取 10g 样品, 加入 50mL 95% 乙醇、100mL 蒸馏水和 250mL 8.7mol/L 盐酸溶液, 85°C 水浴水解 40min。水解结束后, 取出放冷后再加适量 95% 乙醇, 用石油醚振摇提取 3 次, 旋蒸至无液滴滴下, 余下固体为脂肪酸提取物。

1.5 有关试剂与样品配制

1.5.1 DPPH 溶液的配制精密称取 DPPH 7.9mg, 加石油醚定容至 100mL, 超声 20min 至固体溶解彻底, 浓度为 0.2mmol/L。

1.5.2 试样的制备取 1mL 脂肪酸样品于离心管中密闭储存, 作为对照组试样, 即 I 试验组; 另取 6 份 1mL 脂肪酸样品于离心管中, 分别加入 0.010%、示, 并用 SPSS25.0 进行单因素方差分析, LSD0.015%、0.020%BHT 和 0.02%、0.05%、0.08%EQ, 密闭储存作为 II~VII 试验组试样。

1.6 试验方法

1.6.1 取 3 组 10~mL 比色管, 每组 7 支, 各组分别编为 1 号、2 号和 3 号组。

1.6.2 向 1 号和 2 号组的 7 支管中均加入已配制好的 DPPH 溶液 5mL, 向 3 号组 7 支管中均加入石油醚 5mL; 再向 1 号组各管中加入石油醚 0.1mL, 于 2 号、3 号组 1~7 号管中依次分别加入已制备好的 I~VII 试验组试样 0.1mL。所有试样室温、避光放置 30min, 然后于 517nm 波长下测定吸光值。以上操作均平行重复 3 次, 取平均值作为结果。

1.7 数据处理

1.7.1 清除率计算将测得的吸光值 (A) 带入下列式中, 计算自由基清除率 (K)。

$$K(\%) = [1 - (A_1 - A) / A_0] \times 100\%$$

式中, A_0 : 1 号组即 DPPH+ 石油醚的吸光值; A_i : 2 号组即 DPPH+ 不同试验组试样的吸光值;

A_j : 3 号组即石油醚 + 不同试验组试样的吸光值。

1.7.2 统计分析试验结果用平均值 $\pm$ 标准差表多重比较。

2 结果与分析

2.1 常温、常湿条件下, 不同试验组对 DPPH 自由基的清除率

由表 1 可知, 在整个试验过程中, 各处理组的自由基清除能力均极显著强于对照组 ($P < 0.01$)。第 1d, III 与 IV 差异显著 ($P < 0.05$), 与 II 组差异极显著 ($P < 0.01$), 与其他处理组差异不显著 ($P > 0.05$); 第 2d, III 组与 V 组差异显著 ($P < 0.05$), 与 II 组和 IV 差异极显著 ($P < 0.01$), 与其他处理

组差异不显著 ($P>0.05$)；第 3d、第 4d 和第 6d，V 组与 V 组差异显著 ($P<0.05$)，与 II 组和 IV 组差异极显著 ($P<0.01$)，与其余处理组差异不显著 ($P>0.05$)；第 5d，VII 组与 II 组和 IV 组差异极显著 ($P<0.01$)，与其余处理组差异不显著 ($P>0.05$)；第 7d，VI 组与 II 组差异显著 ($P<0.05$)，与 IV 组差异极显著 ($P<0.01$)，与其他处理组差异不显著

($P>0.05$)。由此看出，前 2d，III 组的自由基清除能力最强，但与 IV 和 VI 组差异均不显著；而后 5d，V II 组的自由基清除能力强于 III 组，但与 III 组和 VI 组差异亦不显著。因此，在此试验中，III 组、VI 组和 V II 组对自由基的清除能力(即抗氧化能力)差异不显著，有相近的效果。

表 1 常温、常湿条件下，不同试验组对 DPPH 自由基的清除率 (%)

项目	对照组	0.010%BHT	0.015%BHT	0.020%BHT	0.02%EQ	0.05%EQ	0.08%EQ
1	97.23 ± 0.28°	99.07 ± 0.08°	99.70 ± 0.06°	99.41 ± 0.04	99.50 ± 0.02	99.66 ± 0.02	99.65 ± 0.01
2	96.18 ± 0.18	98.89 ± 0.13	99.59 ± 0.01°	99.12 ± 0.02°	99.35 ± 0.07	99.54 ± 0.05	99.56 ± 0.00
3	95.66 ± 0.13°	98.66 ± 0.08°	99.48 ± 0.05	98.78 ± 0.11°	99.26 ± 0.08	99.48 ± 0.05°	99.52 ± 0.03
4	95.18 ± 0.23	98.50 ± 0.06	99.40 ± 0.05	98.66 ± 0.08	99.28 ± 0.09	99.48 ± 0.06	99.54 ± 0.04°
5	94.83 ± 0.18°	98.51 ± 0.03°	99.36 ± 0.06°	98.52 ± 0.16°	99.28 ± 0.09°	99.38 ± 0.00°	99.43 ± 0.05°
6	94.24 ± 0.10	98.24 ± 0.05	99.21 ± 0.05	98.40 ± 0.14	99.15 ± 0.11	99.31 ± 0.01	99.40 ± 0.12°
7	93.61 ± 0.23°	98.20 ± 0.15	99.17 ± 0.10°	98.33 ± 0.06°	99.11 ± 0.06°	99.25 ± 0.07	99.22 ± 0.12°

注：表中同行肩标中相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$)；相邻字母表示差异显著 ($P<0.05$)；相隔字母表示差异极显著 ($P<0.01$)，下同。

稳定性试验

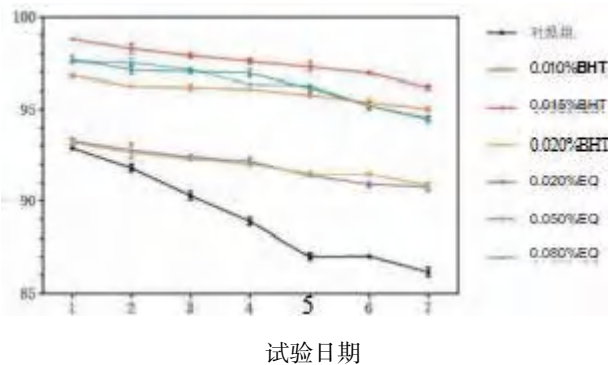


图 1 在常温、常湿条件下，不同试验组对 DPPH 自由基的清除能力随时间变化情况

从图 1 可看出，在整个试验过程中，随着时间延长，所有试验组的自由基清除能力均缓慢减弱，但各处理组明显强于对照组，其中，III 组、VI 组和 V II 组强于其他处理组，且 3 组之间的抗氧化能力差异不明显。

2.2 高温、高湿条件下，不同试验组对 DPPH 自由基的清除率

除第 1d 外，全试验过程中，对照组与其他各处理组均存在显著差异 ($P<0.05$)，且 III 组与其他各试验组差异均极显著 ($P<0.01$)。由此看出，在此试验条件下，III 组的自由基清除能力极显著强于其他各组。

影响因素试验

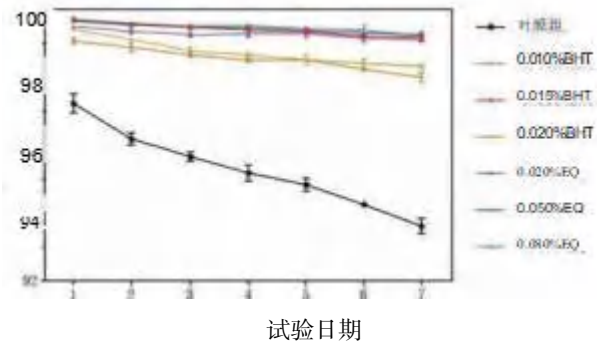


图 2- 在高温、高湿条件下，不同试验组对 DPPH 自由基的清除能力随时间变化情况

从图 2 可看出，在高温、高湿条件下的试验结果与常温、常湿条件下相似，对照组的自由基清除

能力弱于各处理组，Ⅲ组的自由基清除能力强于其他处理组。

综合两种试验条件下的试验结果，在常温、常湿的试验环境下，Ⅲ组展示出极显著优于对照组、

Ⅱ组、Ⅳ组和Ⅴ组的自由基清除能力；在高温、高湿的试验环境下，Ⅲ组展示出极显著优于其他所有组别的自由基清除能力。因此，添加 0.015%BHT 为最有效的棉籽油脂脂肪酸钙的抗氧化保护方法。

表 2 高温、高湿条件下，不同试验组对 DPPH 自由基的清除率（%）

项目	对照组	0.010%BHT	0.015%BHT	0.020%BHT	0.02%EQ	0.05%EQ	0.08%EQ
1	92.89 ± 0.135	96.82 ± 0.11°	98.80 ± 0.03	93.20 ± 0.148	93.29 ± 0.168	97.71 ± 0.21°	97.56 ± 0.08°
2	91.80 ± 0.21	96.27 ± 0.06°	98.28 ± 0.28 ⁸	92.64 ± 0.338	93.28 ± 0.398	97.63 ± 0.25°	97.53 ± 0.25°
3	90.30 ± 0.24	96.20 ± 0.17°	97.90 ± 0.14°	92.31 ± 0.15	92.40 ± 0.14	97.04 ± 0.12°	97.13 ± 0.11
4	88.90 ± 0.22	96.11 ± 0.04°	97.60 ± 0.13 “	92.04 ± 0.05	92.16 ± 0.218	96.86 ± 0.22°	96.37 ± 0.05°
5	87.03 ± 0.18	95.79 ± 0.12°	97.29 ± 0.27	91.50 ± 0.15	91.43 ± 0.11	96.18 ± 0.18°	96.31 ± 0.00°
6	87.04 ± 0.08	95.38 ± 0.20°	96.96 ± 0.08#	91.48 ± 0.11°	90.90 ± 0.148	95.21 ± 0.22°	95.20 ± 0.16
7	86.19 ± 0.25	95.03 ± 0.11	96.21 ± 0.14°	90.90 ± 0.15	90.78 ± 0.24	95.53 ± 0.12	94.47 ± 0.22°

3 讨论

EQ 是酮和胺缩合而成的酮胺类抗氧化剂，是被普遍公认的目前保护维生素类物质效果最好的抗氧化剂，对油脂也有保护作用，其本身为近褐色的黏稠液体 9J，通常被混入硅藻土、蛭石或碳酸钙等固体载体中，以用作固体物质的抗氧化保护剂，但因其本体颜色较深，被氧化后生成颜色加深的产物，从而对产品外观造成较大的负面影响；而 BHT 是白色结晶性粉末，较 EQ 能更方便地均匀混入脂肪酸钙中，且 BHT 被公认在保护油脂方面的效果明显优于其他抗氧化剂。通过本次试验得知，当棉籽油脂脂肪酸钙储存在常温、常湿的普通环境中时，向其添加 0.015%BHT、0.05%EQ 和 0.08%EQ，均能对其起到较好且相近的抗氧化保护效果；而当棉

籽油脂脂肪酸钙储存在高温、高湿的夏日雨季或产品大量堆积的环境中时，向其添加 0.015%BHT 则能发挥出最佳的保护效果。此外，试验发现向脂肪酸中添加 0.020%BHT，相较添加 0.015%BHT 抗氧化能力有所下降，可能是过量的 BHT 会成为氧化的诱发因素，但机理尚不明确。综上，0.015%BHT 对棉籽油脂脂肪酸钙的抗氧化保护能力最佳，其次是 0.05%EQ。另外，从经济角度考虑，市售 BHT 价格约 20000 元/t，而市售有效成分 60% 的 EQ 固体粉末价格约为 12000 元/t，则每吨棉籽油脂脂肪酸钙需要添加的 BHT 和 EQ 总价分别为 3 元和 10 元。综合以上分析，向产品中添加 0.015% 的 BHT 为棉籽油脂脂肪酸钙的最佳抗氧化保护工艺。

（转自畜牧科技）

乳牛脂类代谢病病因、发病机理与预防措施

周明

(安徽农业大学动物科学系 230036)

1 引言

乳牛尤其是高产乳牛在围产期和泌乳盛期易发生脂肪肝和酮血症等脂类代谢病。近 10 余年来,国外学者在研究这类病的病因和发病机理方面取得了很大进展。本文将加以介绍,并在此基础上提出预防这类病的措施。

2 乳牛脂肪肝的病因与发病机理

脂肪酸(FA)酯化率取决于 FA 的供源。肝中 FA 来源于血浆非酯化脂肪酸(NEFA),后者是由内源性脂肪降解而来。肝对 FA 摄入量与血浆 NEFA 浓度有关,血浆 NEFA 浓度又与脂组织中 FA 动员速率有关(Herd 等, 1988)。在围产期测定乳牛血浆 NEFA 浓度,可了解脂肪肝发病过程(Bertics 等, 1992)。在产前 17d ~ 2d,乳牛血浆 NEFA 浓度提高约 2 倍,在产犊时又提高了 2 倍,达到峰值(Grummer, 1993)。母牛在产前 3 周采食量开始下降,在产前 7d 内采食量剧降(Bertics 等, 1992)。血浆 NEFA 浓度最初的提高,可能反映体脂开始动员,以用作母体维持需要和胎儿生长需要。

肝中 NEFA 的主要代谢去路为酯化和氧化。酯化物为甘油三酯(TG),既可贮于肝中,又能以极低密度脂蛋白(VLDL)形式排出肝,为肝外组织(如乳腺)代谢所需。FA 可完全氧化成 CO₂,或不完全氧化产生酮体。许多研究资料表明:反刍动物易发生脂肪肝,主要原因是这类动物对 TG 的排出能力低。Kleppe 等(1988)比较了雄鼠和公山羊肝细胞中 TG 合成和 VLDL 运出的差异。将肝细胞孵育

于高浓度 FA 悬浮液(20mol 油酸)中,用同位素对油酸标记。1h 内,在鼠和山羊肝细胞中以近线性速度合成 TG,但鼠肝细胞较山羊肝细胞输出更多的 TG。Pullen 等(1989)报道,牛肝排出 TG 量很少。

Kerr 等(1988)通过测定绵羊肝动、静脉中 TG 含量的差异得知,肝中 TG 入血浆量很少。

Herd 等(1988)测定了患脂肪肝绵羊肝中参与脂代谢的一些酶的活性,提出磷脂合成可能是 VLDL 合成的限速步骤。鼠的 VLDL 组装和分泌取决于阿朴脂蛋白 β 的合成(Kalopissis, 1986)。反刍动物体内阿朴脂蛋白 β 合成速率很低,这可能是肝脂分泌率低的原因。患脂肪肝母牛体内指导阿朴脂蛋白 β 的 mRNA 浓度较低(Mazur 等, 1992)。

妊娠和产犊可引起母牛内分泌变化。母牛临产时,血浆雌激素(来源于胎盘,尤其是雌酮)浓度提高。皮下埋植雌激素,能增强肝 TG 沉积。此时,即使奶牛绝食,其血浆 NEFA 浓度也提高(Grummer 等, 1990)。在反刍动物中,雌激素可增强肝 FA 酯化;血浆孕酮浓度降低,更促进其酯化(Kenagy 等, 1981)。母牛产犊时血浆孕酮浓度剧降,可诱发脂肪肝。产犊时,母牛血浆肾上腺素和去甲肾上腺素浓度也提高,因而可能使血浆 NEFA 和肝 TG 含量增加。初产母牛由干乳期过渡到泌乳期时,脂分解率提高(McNamara 等, 1986)。给绵羊(Herd 等, 1988)和乳牛(Grummer 等, 1990)绝食,它们分别在 48h 和 96h 内出现脂肪肝。在产前用瘤胃瘘管

给料以增加母牛进食量,其肝脂量(产前17d至产后1d)仅增加了75%,但不用瘤胃瘘管给料的母牛肝脂量增加225%。母牛产前1d的采食量与产后1d的肝脂量呈显著的负相关。

低血糖也可能是造成脂肪肝的一个关键因素。Veenhuizen(1988)的研究表明:给乳牛十二指肠灌注葡萄糖,可防肝脂浸润。一般认为,血糖浓度降低是乳腺合成乳糖、消耗葡萄糖的结果(Baird等,1979)。血糖和胰岛素浓度降低,可引起脂组织中脂分解加快,其结果是血浆NEFA浓度提高,加重肝负担,以致肝不能将大量TG排出,造成脂肪肝。

3 乳牛酮血症的病因和发病机理

Kronfeld(1982)将乳牛酮血症划分为4种类型:①原发性酮血症;②次发性酮血症;③营养性酮血症;④自发性酮血症。原发性营养不足性酮血症发生是由于未给母牛提供足够的养分。次发性酮血症的病因是:某种病致使乳牛食量减少,造成营养不足。引起日粮性酮血症的原因是:奶牛喂食了过多的发酵料,该料富含酮体的前体物质。自发性酮血症是在某种特殊情况下,血酮含量高出正常范围,此时乳牛营养状况良好。其病因不太清楚。泌乳早期母牛易发此病,病牛出现能量负平衡,病理特征为血液NEFA和酮体浓度较高,血液葡萄糖和胰岛素含量较少(Littledike等,1981)。

Zammit(1990)提出,母牛酮血症有两个阶段:第一阶段与胰岛素减少有关;第二阶段由于食量减少,致使甲基丙二酰辅酶A合成量下降,因而最后引起酮血症。Baird等(1968)发现,母牛酮血症时,细胞中草酰乙酸浓度下降。因此,Baird等(1968)认为,母牛在碳水化合物摄入量不足时,糖异生作用增强,可能耗尽线粒体内草酰乙酸,从而限制柠檬酸合成和FA完全氧化,导致酮体大量生成。

低血糖可能也是致酮血症的一关键因子。多年来的研究表明:给母牛服用葡萄糖或生糖前体,可减轻酮血症(Littledike等,1987)。Veenhuizen(1978)

的研究表明:给母牛十二指肠灌注葡萄糖,可防酮血症。

长期认为,酮血症和脂肪肝是相互联系的营养代谢病。当母牛表现典型的酮血症时,就已经很严重了,不能考察症状出现前的代谢变化。健康牛、轻度酮血症牛和严重酮血症牛肝含脂率(以湿重计)分别为54%,84%和169%。母牛产后1d易发脂肪肝,产后3周易发酮血症。

肝过多地蓄积脂肪,会影响碳水化合物代谢,如糖异生作用下降,血糖浓度降低,胰岛素分泌量减少,这又能致脂组织释放FA,FA入肝量增多,生酮作用增强,因而母牛易发酮血症。

4 乳牛肝脂代谢的调节机理

研究肝脂代谢的调节机理,是阐明乳牛脂类代谢病病因以及制订预防这类病措施的基础。须探索因子以调节脂代谢的分配:①FA是酯化还是 β -氧化;②新合成的TG是贮于肝,还是合成VLDL而出肝;③乙酰辅酶A是用于酮体合成,还是完全氧化成CO₂。丙二酰辅酶A是调节FA入线粒体氧化的关键因子。丙二酰辅酶A由乙酰辅酶A羧化酶催化产生,为FA合成途径的一种中间物质,其浓度受激素调控。丙二酰辅酶A浓度高时,FA合成速率就高。高浓度的丙二酰辅酶A可抑制肉碱—脂酰转移酶—1(CPT—1)活性,因而抑制FA氧化。Jesse等(1986)研究证明:牛肝中CPT—1较鼠肝中CPT—1更易受丙二酰辅酶A的抑制。可见,丙二酰辅酶A是调节反刍动物FA代谢分配(是酯化还是氧化)的重要因子。另外,内分泌系统(如胰岛素和胰高血糖素)影响丙二酰辅酶A浓度。

瘤胃发酵产物也可调节肝FA代谢。Dreckley等(1991)认为,丙酸具有抗生酮作用。其机制尚不够清楚,但有以下几种可能:①丙酸转化为草酰乙酸,促进乙酰辅酶A氧化成CO₂;②丙酸转化为丙酰辅酶A,从而抑制3-羟-3-甲基戊二酰辅酶A合成酶活性,或抑制FAD—脂酰辅酶A脱氢酶活性;

③丙酸转化为甲基丙二酰辅酶 A, 抑制 CPT—1 活性; ④丙酸转化为琥珀酰辅酶 A, 抑制 3—羟—3—甲基戊二酰辅酶 A 合成酶活性; ⑤丙酸同其他 FA 竞争辅酶 A; ⑥丙酸转化为甘油, 从而促进 FA 酯化, 并消耗 FA 氧化的原料。其中, 丙酰通过甲基丙二酰辅酶 A 抑制 CPT—1 活性的学说得到了较广泛的认同。

Emery 等 (1992) 认为, FA 氧化是耗用反刍动物肝中 FA 的一个重要措施。当乳牛血浆 NEFA 浓度提高时, 血浆 NEFA 转化为 CO₂ 的百分率增大 (Pullen 等, 1989)。FA 氧化率受许多因素影响, 包括肉碱含量以及动物的生理状况 (Armmentano 等, 1991; Drackley 等, 1991)。Snoswell (1980) 发现, 母牛泌乳或饥饿时, 肝中肉碱浓度提高。研究证明: 肉碱可刺激 FA 氧化 (Armentano 等, 1991)。一般情况下, 肉碱具有能降低抑制 FA 氧化的化合物的作用 (Drackley 等, 1991)。

5 预防乳牛脂类代谢病的一些措施

在母牛日粮中加脂, 是预防母牛脂类代谢病的一种措施。饲用脂通过以下途径影响牛机体代谢:

①减少 FA 从脂组织中动员量; ②减少 FA 前体的储存, 以用作乳腺 TG 合成的需要 (Kronfeld, 1982); ③通过乳腺合成 FA 时对还原性辅酶的需要量来节省乳腺中葡萄糖的消耗。通过上述作用, 可降低围产期母牛自发性酮血症和肝脂浸润的可能性。围产期母牛一般要从脂库中动用脂肪, 以满足其需要 (Grummer 等, 1991)。若动用量多时, 就易出现脂类代谢病。与脂组织中释放的 FA 不同, 日粮脂更易于参与肝外代谢。日粮高脂, 必然引起血中 FA 浓度升高, 因而通过内分泌系统的调控,

脂组织中 FA 动用量减少, 故脂肪肝和酮血症发病率可能下降。

在母牛日粮中加入高于需要量的尼克酸 (Erdman, 1992), 可减少脂组织中 FA 动用量。其机制不够清楚, 但 Atkins 等 (1988) 认为, 尼克酸可能抑制腺苷酸环化酶。给母牛饲用尼克酸时, 血 β -羟丁酸 (一种酮体) 浓度下降 (Jaster 等, 1990; Erickson 等, 1992), 且在泌乳前 4 周, 尼克酸对血 β -羟丁酸的作用最大 (Jaster 等, 1990)。

母牛在产前 2d 血糖浓度与产后 1d 脂肪肝严重性呈负相关 (Bertics 等, 1992)。在产前 8d 内, 给母牛每天口服 1L 葡萄糖前体丙二醇, 可降低围产期肝脂蓄积量, 减少幅度达 43%。在使用丙二醇时, 血糖增加, 而血浆 NEFA 量减少。

Gerloff 等 (1981) 观察到, 肝脂和肝肌醇浓度呈负相关, 并认为反刍动物日粮可能缺乏肌醇, 因而限制肝脂蛋白的排出。肌醇为磷脂酰肌醇 (脂蛋白的一种组分) 合成的前体。Burton 等 (1976) 发现, 采食缺乏肌醇日粮的鼠发生脂肪肝。

胆碱为亲脂质。给鼠补饲胆碱, 可起抗脂肪肝作用 (Sugiyama 等, 1987)。胆碱是磷脂酰胆碱合成的前体, 并作为甲基供体。胆碱能在瘤胃内降解, 因此补饲时应予以包被或瘤胃后灌注 (Atkins 等, 1988)。给乳牛肌注氯化胆碱和 VB₁₂, 可减少肝脂量 (Juslin, 1965)。

蛋氨酸是磷脂合成的甲基供体以及肝中阿扑脂蛋白合成的前体, 而阿扑脂蛋白为 VLDL 装配和分泌所必需。给患酮血症乳牛使用蛋氨酸羟基类似物 7d 后, 其血液参数开始恢复正常。

(转自粮食与饲料工业)

饲用脂肪在乳牛中的应用效果

周明

(安徽农业大学动物科学系 230036)

现今,许多高产乳牛存在着能量负平衡(Coppock等,1991)。对此,养牛工作者传统做法是,提高泌乳早期乳牛日粮能量浓度,以防后期能量缺乏(NRC,1988)。若通过调整精、粗料比例来提高日粮能量浓度,则对乳牛消化机能和乳脂率有不良影响(wilks等,1991)。在乳牛日粮中加适量脂肪或用高脂饲料,既可提高日粮能量浓度,又不会降低乳脂率,也不会引起瘤胃酸中毒。因此,近几年来,人们在乳牛日粮中广泛使用脂肪。

一、在乳牛日粮中加脂肪的优缺点

Palmquist(1987)认为,脂肪有以下特点:①脂肪能量密度大,如每千克棕榈酸钙的泌乳净能是6.52北卡;②由长碳链脂肪酸构成的脂肪用于泌乳的效率,因该脂肪酸可直接转化成乳脂;③脂肪热增耗少,因此给热应激乳牛饲用脂肪有良好作用;④若适当饲用脂肪,则在提高日粮能量浓度的同时,还能保证粗纤维摄入量,增强繁殖机能,延长泌乳高峰期,降低酮病发生率。

饲用脂肪不当,也会产生不良后果:①一些脂肪酸(如 $C_8 \sim C_{14}$ 脂肪酸和长碳链不饱和脂肪酸)能抑制瘤胃微生物,因此纤维素消化率下降,乳脂率降低;②乳牛采食量可能减少;③乳蛋白含量也可能降低。

二、日粮加脂肪对消化机能的影响

在日粮中加脂肪能提高日粮能量浓度,但有时对乳牛的效果不明显。原因是乳牛对高能日粮的随意采食量可能减少。Jenkins等(1989)认为,脂肪

可能干扰其它养分的消化吸收,或脂肪本身不能被利用。另一方面,其它养分也可能影响脂肪的消化。Ward等(1975)报道,给阉牛日喂400克玉米油时,粗纤维消化率下降。

Wamer(1960)报道,玉米油可能影响瘤胃微生物,因在日粮中停用7天后,粗纤维消化率又恢复到正常。Brown等(1962)观察到,在乳牛精料型日粮中加棉籽油时,其乳脂率下降,但用全棉籽时,乳脂率未变化(Mody等,1978)。即使全棉籽用量占日粮干物质25%时,酸性洗涤纤维、干物质、钙、镁消化率也未下降(Smith等,1981)。饲喂压扁的原大豆(每牛日喂4.1千克)消化率高于用其他法加工的大豆(Scott等,1990)。分别用全棉籽和棉籽油喂牛,前者的消化率显著高于后者。原因可能是:牛对脂肪的消化力有限,全棉籽中脂肪在消化道内慢慢释放,故能被牛充分消化,而游离棉籽油不然。Palmquist等(1980)指出,多数研究资料表明:脂肪能降低微生物活性,纤维素消化率下降。在日粮中加 $CaCO_3$ 或 $CaCl_2$,可阻止纤维素消化率下降。但 $MgCO_3$ 不能。Grainger等(1961)在含玉米油的绵羊日粮中加4.4克钙或6.2克铁,可防止纤维素消化率下降。在反刍动物日粮中加钙,可给瘤胃提供离子钙,离子钙同游离脂肪酸结合,脂肪酸钙在瘤胃内不具活性,但在真胃酸性环境中能被降解,从而到小肠后易被吸收。Palmquist等(1986)建议,给牛补饲脂肪时,日粮钙量应达到0.9~1.0%,镁的适宜量为0.3%。

脂肪酸被牛吸收后有以下几种可能：①氧化；②转化为乳脂；③转化为体脂。

三、饲用脂肪对产乳量和乳成分的影响

Depeters 等（1985）报道，在乳牛日粮中加 20% 全棉籽，能提高乳脂率和校正乳产量，但乳蛋白含量下降。Chalupa（1991）用棕榈酸钙做的 10 个试验结果：①乳牛每天多产 2.4 千克乳；②乳脂率提高 5%；③乳蛋白含量下降 0.16%。Chalupa 等（1990）强调，评定脂肪饲用价值还应考虑其后效应。给 81 头经产母牛每头日饲喂 0.45 千克棕榈酸钙，饲喂期为泌乳期前 150 天，结果每牛每天多产 3.8 千克乳。停用脂后，仍多产 2.5 千克乳，其原因可能是饲用脂能延长泌乳高峰。Storry（1969）给乳牛静注鳕肝油（400 克/天），3 天后乳脂率由 3.47% 降到 2.88%。又报道，若多不饱和脂肪酸不在瘤胃内氢化，则它可能通过抑制脂蛋白酯酶而影响乳腺机能。

母牛饲用脂使乳蛋白含量减少的原因是：①饲用脂时，瘤胃微生物受抑制，故微生物蛋白质产量少（Dunkley 等，1977）；②胰岛素抑制乳腺，损害了氨基酸转运和乳蛋白合成（Palmquist 等，1981）；③垂体前叶释放生长素量减少，降低了乳腺对氨基酸的摄取能力（Casper 等，1989）。Mohamed 等（1988）给乳牛饲喂大豆油后，血浆中必需氨基酸量减少，枝链氨基酸浓度下降。这表明小肠对氨基酸吸收量减少，也表明食豆油的乳牛瘤胃微生物蛋白质合成量减少。Homer 等（1986）给牛日喂 6 克尼克酸，能减小由日粮中 15% 全棉籽引起的乳蛋白量降低的程度。Chow 等（1990）给牛日喂 6.4 克蛋氨酸和 20 克赖氨酸，能阻止由黄油引起的乳蛋白量下降。

Chalupa（1991）认为，饲用脂的适宜用量是：在含谷粒与粗料的乳牛日粮中可用 3% 脂肪酸，也可在上述日粮中加 3% 脂肪酸与 3% 过瘤胃脂肪。

四、包被（保护）脂肪的生产与应用

近几年来，都在寻找生产包被脂肪的方法，以免其被瘤胃降解。一种天然的包被脂肪就是富含油脂的籽粒（如棉籽粒和大豆粒等）。给牛日喂 4 千克这种整粒料，能取得良好饲养效果，但若将其磨碎，则饲养效果显著减小。

生产包被脂肪的方法有以下几种：1. 用蛋白质包裹脂肪，并用甲醛处理，以形成包被颗粒脂肪；2. 对油脂加氢处理，以提高其熔点，因而提高其硬度，在瘤胃中降解性下降；3. 用碱土金属（主要是钙）皂化脂肪酸，以形成脂肪酸盐。

该盐在正常瘤胃酸度下不溶，故不影响瘤胃机能。脂肪酸钙在皱胃酸性下，钙与脂肪酸分离，成为游离态，以便被胃肠消化吸收。粒状脂肪酸钙既有良好流体特性，又可起到粘接剂作用。用它可生产出硬度较强的颗粒料或块状料。因该料为高度浓缩料，故与粗料配合使用，能充分发挥瘤胃微生物机能。给乳牛饲喂脂肪酸钙，能延缓其泌乳曲线下降（Singleton，1988）。Dower 等（1977）报道，给牛补饲脂肪酸钙，其校正乳日产量由 32 增至 34.2 千克（ $P<0.01$ ）；且在试验期内补饲脂的母牛较未补饲脂的多产 281.7 千克校正乳（ $P<0.01$ ）。

五、饲用脂肪对减轻代谢病的作用

饲用脂肪通过以下途径影响牛机体代谢。①减少脂肪组织中脂肪酸动员量。②减少脂肪酸前体储量，以供乳腺中甘油三酯合成之需。围产期母牛一般要从体储中动用脂肪，以满足其需要（Grummer 等，1991）。若动员量多时，就可能出现代谢病。在日粮中加脂是预防母牛代谢病的一种措施。与脂肪组织中释放的脂肪酸不同，日粮脂肪更易参与肝外代谢。日粮高脂，必然引起血液脂肪酸浓度升高，因而通过内分泌调节，脂肪组织动员脂肪酸量就减少，故酮血症和脂肪肝发病率也可能下降。

六、饲用脂肪对母牛繁殖机能的影响

1. 供给必需脂肪酸（EFA）：产犊早期母牛可能出现 EFA 缺乏症，若在瘤胃后端消化道注入亚

油酸（为一种 EFA），则可能提高母牛繁殖机能（Lucy 等，1990）。给母牛瘤胃后消化道灌注大豆油，可提高血浆前列腺素 F_2 浓度，增加卵泡数量（从 2 增至 6），增大卵泡体积（卵泡直径从 7.0 增至 10.2mm）。

2. 黄体中固醇类物质合成增强：在输精前后，母牛受胎率与血液孕酮含量密切相关（Carstairs 等，1980；Fonseca 等，1983）。胆固醇为黄体细胞合成孕酮的原料。给牛补饲脂，能增加血浆胆固醇含量。发情中后期母牛饲喂含 15% 整葵籽的日粮后，其血清孕酮浓度提高（Talavera 等，1985）。Williams（1989）给产犊后母牛饲喂整粒棉籽（占日粮 30%），3 周后注射 GnRH 以诱发排卵。结果是饲喂整棉籽的母牛血浆胆固醇浓度显著提高，血浆孕酮含量也明显增加。Carroll 等（1990）给母牛饲喂颗粒化长碳链脂肪酸，结果血浆胆固醇浓度提

高 25 ~ 37%。

3. 改善能量营养状况：母牛繁殖机能与能量营养状况密切相关。补饲脂能改善母牛能量营养状况，故有助于维持和提高母牛的繁殖机能（Grummer 等，1991）。

4. 补饲脂的母牛繁殖机能：Ferguson 等（1987）给 201 头牛日喂 0.45 千克颗粒化长碳链脂肪酸后发现，补饲脂的母牛妊娠率为未补饲脂的 2.22 倍。Schneider 等（1988）将 108 头母牛分成两组，一组喂棕榈酸钙（占日粮 2.4%），另一组不喂脂。饲喂 110 天。结果：喂脂的母牛产乳量提高（33.5 对 30.6 千克/日）；第一次配种时受胎率提高（60.5% 对 43.1%）；所有配种次数的受胎率增大（55% 对 43%）；妊娠率提高（86.8% 对 72.3%）。

（转自）

饲喂油脂对马繁殖性能的影响

刘锦梅¹ 李桢²

(1. 青岛农业大学 化药学院, 山东 青岛 266109; 2. 青岛农业大学 动物科技学院, 山东 青岛 266109)

动物营养配比受成本驱动, 人们追求以最低成本方案提供最佳营养。一般认为, 马是草食动物, 不容易消化油脂类物质。但实际上, 给马饲喂油脂是马业中一个趋势。近年来, 添加油脂的饲料对于马生产性能和健康水平的积极影响引起了人们的极大兴趣。相对于碳水化合物和蛋白质, 油脂含有更高的能量。而马虽然是草食动物, 但对油脂有较强的消化利用能力, 促使人们对饲料中添加油脂对马生产性能的影响进行不断深入的研究。根据 NRC, 饲料中添加油脂可以提高马的性能, 具体表现在: 1) 更好的能量/体重关系, 减少干物质摄入和胃肠道重量; 2) 产生的与消化和运动有关的代谢热较低; 3) 降低肌糖原使用量, 提高了运动耐力; 4) 由于糖酵解增加能量, 提高了马的短距离比赛性能; 5) 降低了马高强度运动期间机体组织的酸度。

然而, 对于马粮中脂肪的比例, 不同类型饲料中添加量范围变动较大。有报道认为, 马粮中脂肪含量最高可以达到 20%。笔者在马场的调查走访中发现, 一些马场或者马主在马日粮中添加的植物油多数为大豆油。也有一些马主咨询马粮中添加植物油对马营养、繁育、健康的影响等问题, 如, 某些商业饲料中已经有一定脂肪含量的情况下能不能再添加? 加什么类型的油? 加多少? 怎样加? 脂肪对马消化功能、生长发育、繁育性能、运动性能等的影响如何? 文章将对油脂应用于马饲养中对马繁殖性能的影响做一个综述, 以期合理添加油脂提高种公马与繁育母马的生产性能提供参考。

1 马的消化特点与油脂的消化

马是非反刍食草动物(后消化道发酵), 相对于较大的体格来说胃很小, 一匹体重 450kg 的马的胃容积为 8~10L。因此, 马的单次进食量有限, 少食多餐的饲喂方式对马的饲养管理至关重要。马每天进食时间需要 16~18h。胃分泌盐酸(HCl)和胃蛋白酶分解进入胃内的食物, 马不能反刍, 一旦进食太多或者误食有毒有害物, 马不会通过呕吐排出。普通的马粮只含有 3%~4% 的脂肪。大多数营养素(蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素和矿物质)在小肠中消化、吸收。马没有胆囊, 但有报道表明, 马可以消化脂肪含量高达 20% 的饲料, 但完全消化需要 3~4 周的时间。提高马粮中脂肪含量高的成分比例或直接添加脂肪可以增加马粮中的脂肪含量。高脂肪饲料包括植物油(100%)、米糠(15%~18%)、亚麻籽(30%~40%)和热处理大豆(15%~22%)。

喂马用的油脂统称为三酰甘油, 由三个脂肪酸分子连接在一个甘油分子上组成。脂肪酸分子的化学性质决定了脂肪是饱和脂肪还是不饱和脂肪。饱和脂肪在脂肪酸链中不含双键, 在室温下为固体, 例如猪油或牛油。不饱和脂肪(油)含有双键, 在室温下是液体, 如食用植物油。但在马粮中一般不用动物脂肪, 主要添加植物油, 常见的植物油包括玉米油、大豆油、菜籽油和米油, 都是 100% 脂肪; 其他脂肪添加物包括含量为 99% 的喷雾干燥植物脂肪、含量为 20% 的高脂米糠、添加 6%~12% 脂肪的膨化饲料和颗粒饲料, 及大量其他脂肪含量不

同的添加剂。一种相对较新的脂肪源是鱼油，鱼油中富含 Omega-3 等多不饱和脂肪酸，虽然鱼油的味道不为马喜食，但马可以适应。

由于脂肪所含能量是碳水化合物或蛋白质的 2 倍以上，植物油的可消化能大约是同等重量燕麦的 2.5 倍、碎玉米的 2.3 倍，因此，增加马粮中的脂肪水平是增加饲料中能量密度最简单和最安全的方法。与含较低能量碳水化合物的精混料相比，高脂精混料可以在较少饲喂量的情况下使马获得更高的能量水平。研究表明，在马的总采食量中添加 5%~10% 的脂肪可以保持马的体重，但精料摄入量要减少 21%~25%。

马粮中含有的脂类主要指的是两类必需多不饱和脂肪酸（essential polyunsaturated FA, PUFA）Omega-3、Omega-6 含量。谷物类精料与各类草料本身就含有一定的脂肪，马粮中添加脂肪（油）有助于 Omega-3 与 Omega-6 的摄入。鱼油中 Omega-3 含量很高，有助于提高动物机体免疫功能、减轻炎症、缓解关节疾病。含 Omega-3 的植物油包括菜籽油（含量约 11%）、亚麻籽油（含量约 8%）、玉米油（含量约 1%）、葵花油（含量约 1%）等。Omega-6 即亚油酸（linoleic acid, LA），为花生四烯酸（arachidonic acid, ARA）的前体，而花生四烯酸衍生具有生物活性的二十烷类（biologically active eicosanoids），如前列腺素（prostaglandin, PG）亚家族。Omega-3 即 α -亚油酸（ α -linolenic acid, ALA），可转换为二十碳五烯酸与二十二碳六烯酸。大多数马用精料中主要使用植物油作为脂肪源，可以保证 Omega-6 的摄入。如果给马饲喂大量植物油，需要确保饲料中有足够的维生素 E 含量。有报道认为，脂肪（油）是马的清爽型能量（cool or calm energy）。但玉米油会产生更多的乳酸，与其他的脂类相比，更易使马产生心率过快的问题；玉米油饲喂太多还会导致腹泻及其他肠道问题，如胀气、消化不良等。玉米油中

Omega6 含量较高，Omega6、Omega3 之比为 87 : 1，极容易导致炎症。葵花油的 Omega6、Omega3 之比为 200 : 1，更不可用于喂马。一般来说，Omega6、Omega3 之比为 3 : 1~10 : 1 的植物油可以使用。鱼油中 Omega3 较高，Omega6、Omega3 之比适中，最适合添加于马饲料中，其中含有的丰富的 Omega3 比较容易被马消化吸收。

2 添加油脂对种公马繁殖性能的影响

无论是通过自然交配还是人工授精的方式配种，种公马必须能生产健康且充满活力的精子。种公马的营养应以优质饲料为基础，以满足其对能量的需求。除了给种公马饲喂各种草料和精料，还可以添加一些促进其繁殖性能的添加剂。

对于即将进入繁殖季节的种公马，任何饲喂方式的改变都要循序渐进，使马的消化系统对新的营养变化有一个适应过程。公马睾丸中产生的精子需要将近 60d 才能成熟并达到射精的要求。因此，种公马在配种季开始前几个月就应开始在饲喂过程中使用一些添加物以促进精液生产。在种公马饲料中添加鱼油可以提高精子的产量、浓度和活力，还有助于提高运输精液的质量。

低温会对冷藏（cooling）、冷冻（freezing）中的精子细胞膜造成不可逆转的损伤。在马精液的冷藏、冷冻过程中，精子质膜中胆固醇、磷脂的比例可能会影响质膜免受低温损害的能力。胆固醇增加细胞膜的稳定性（stability），而磷脂增强细胞膜的柔韧性（flexibility），并对细胞膜的通透性（permeability）与细胞功能具有重要影响。胆固醇、磷脂的生理比例在精子中不可能被改变，因为不同的物种、同一物种的不同个体在遗传水平上均存在差异。因此，在马粮中添加多不饱和脂肪酸的各类研究的目的，主要是期望提高精子质膜中多不饱和脂肪酸相对于磷脂的比例，提高精子质膜的流动性和抗热应激能力。

精液中含有大量脂肪酸，主要是 Omega-3 和

O_{omega}-6, 其对精子活力、冷应激的敏感性和受精能力具有重要影响。饲喂马的精料中通常含有较高的 Omega-6。因此, 有一种观点认为, 补充 Omega-3 脂肪酸会改善精液质量。德克萨斯农工大学的一项研究表明, 在种公马 Omega-3 摄入量增加后, 其精偏差) Omega-3 与 Omega-6 在精液中的比例也得到了改进。此外, 精子的总活力、直线运动活力和快速运动活力增加, 这些变化在冷却并储存 48h 的精液中最为明显。其他结果还包括种公马精子浓度几乎翻倍、冷冻解冻精液的精子活力更高。

一项添加多不饱和脂肪酸 (主要是亚麻籽油) 饲喂种公马的试验结果表明, 与鲜精相比, 冷藏精液的各项指标基本不受影响, 与对照组没有差异; 解冻冻精的精子活力、运动速度与渗透承受力 (osmotictolerance) 提高; 同时添加多不饱和脂肪酸未增加精子对氧化损伤的易感性。用石榴籽油饲喂阿拉伯种公马, 测定鲜精、冷精和冻精质量的结果表明, 添加石榴籽油使马冷精与冻精的精子质膜完整性、活力和顶体状态得到改进, 但不能提高妊娠率。

种公马的繁殖生理特点随季节变换而变化, 对冷冻解冻精液的品质会产生一定影响。研究表明, 冬季饲料中添加亚麻籽油和维生素 E 饲喂种公马, 有利于保持冷藏精液的精子活力和精子质膜完整性, 并提高了冷藏运输精液的受精率; 但对冷冻解冻精液的精子活力和精子质膜完整性的降低没有改善。

三酰甘油是影响精子代谢和保持精子品质的重要影响因素。多不饱和脂肪酸对精子的受精能力至关重要, 也对精子活力、质膜流动性有重要影响。在种公马饲料中添加米油可增加精子的浓度以及总活力 (totalmotility); 此外给种公马直接口服米油, 其精液的整体抗氧化潜能 (totalantioxidantpotential) 得到增强。

3 添加油脂对母马繁殖性能的影响

繁育母马必须保持良好的营养平衡, 才能保证其繁殖效率。如果营养不足, 通常情况下会导致母马卵泡发育不良, 不能正常排卵或黄体不足, 进而导致早期胚胎流产或胎儿发育水平低下。Omega-3 与 Omega-6 参与胎盘发育, 胎儿生长和神经元发育、参与免疫调节功能、细胞因子的释放和花生四烯酸的合成。

在母马饲料中添加富含二十碳五烯酸 (eicosapentaenoicacid, EPA) 和二十二碳六烯酸 (docosahexaenoicacid, DHA) 的鱼油, 能够促进排卵前卵泡直径的增加、黄体形成、血浆孕酮水平提高, 改善卵巢功能, 并促进胚胎发育。一项添加豆油、玉米油、鱼油对发情母马繁殖参数的影响研究表明, 油脂类型对发情周期及血清三酰甘油、孕酮、雌二醇浓度没有影响; 非酯化脂肪酸浓度下降的趋势与相关的文献报道相似, 孕酮和雌二醇浓度的周期性变化与母马发情周期中预期的激素波动一致; 作者提示本研究中应重点考虑油脂的添加浓度。另一项研究结果表明, 在母马预产期前 65 天开始在饲料中添加鱼油、 α -生育酚, 与对照组相比, 饲料中单纯添加鱼油或者同时添加鱼油与 α -生育酚, 对母马血液生化指标没有显著影响, 马驹的血清 EPA 和 DHA 浓度也没有显著增加。另有研究报道, 饲料中添加的亚麻籽油与马循环系统和卵泡液中多不饱和脂肪酸含量之间存在低、中等程度的相关。

成功的马繁育离不开完善的妊娠母马与新生马驹的护理。初乳的产生取决于母马免疫水平及营养水平。添加 Omega-3 和 Omega-6 脂肪酸饲喂母马不会增进马驹的被动免疫转移, 但马驹淋巴细胞的增值水平会得到提高; 但不管是母马还是马驹, 饲料中添加 Omega-3、Omega-6 对母马和马驹血清脂肪酸浓度没有影响。但也有报道表明, 饲料中添加 EPA 和 (或) DHA 可减少母马血浆中脂蛋白 a 和亚油酸 (linoleicacid, LA) 含量, 增加母马血浆和马驹血浆中 EPA、DHA 含量; 此外 EPA 和 (或)

DHA 可延迟母马产后第一次排卵。

4 结语

综上所述,目前有关饲喂马油脂对马繁殖性能的影响中,关于种公马的研究多见于对精液品质的影响,总体来看效应是积极的;但对母马的影响,研究结果存在较多的不确定性。马的前消化道类似于单胃动物,后消化道类似于复胃动物,其消化饲

料过程的复杂性对研究某些营养物对目标性能的影响带来诸多不确定性。在生产实践中,种公马和母马对能量有较高的需求,通过饲喂马油脂提高马进食能量的效率及提高繁育效率,对添加油脂的类型、添加量、饲喂方式与时机的掌握等需要结合实践具体分析 and 研究确定。

(转自黑龙江动物繁殖)

2023 年超千份饲用油脂的品质分析报告

黄立兰 马畅初

(建明(中国)科技有限公司, 广东珠海 519040)

油脂作为最昂贵的饲料原料,在饲料原料价格快速变化以及养殖行情低迷的当下,饲料厂家对油脂质量重视程度越来越高。文章主要对 2023 年 1023 份饲用油脂(豆油、猪油、禽油、米糠油和棕榈油)进行品质分析,并与 2022 年的数据进行对比。因米糠油和棕榈油的样品数量较少,数据对比为 2023 年与历年的数据对比分析。

1 材料与方法

1.1 油脂品质评估指标与方法

对油脂的评估指标包括脂肪酸组成、不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的比例(U/S)、酸价(FFA)、水分(M)、杂质(I)和不皂化物(U),再通过 Wiseman 方程计算肉鸡的表观代谢能和猪的消化能。油脂的 U/S 值范围,根据实验室历年的大数据分析,豆油、猪油和禽油的 U/S 值正常范围分别为 5.0~5.5、1.3~1.8 和 2.0~2.8。综合 GB2716—2018《食品安全国家标准植物油》、GB/T8935—2006《工业用猪油》、GB/T1535—2017《大豆油》和文献描述的标准,当 $\text{FFA}>4\text{mgKOH/g}$, $\text{M}>0.5\%$, $\text{I}>0.5\%$, $\text{U}>1\%$, MIU (水分、杂质和不皂化物的总和) $>2\%$ 时,视为超标。

参照黄立兰等方法测定油脂品质评估指标。在 Wiseman 方程中, U/S 值的计算,饱和脂肪酸(S)为 C14 及以上的饱和脂肪酸之和,不饱和脂肪酸(U)为 C14 以下的饱和脂肪酸与所有的不饱和脂肪酸之和。M、I、U 的测定利用近红外光谱仪,近红外模型建立的湿化学数据参照唐桂芬等的方法进行测定。

1.2 油脂样品组成

2023 年 1023 份饲用油脂来自全国 17 个省份,主要为豆油、猪油和禽油,总占比为 94.4%。猪油的占比有呈逐年上升的趋势,近 4 年的占比分别为 23.1%、30.6%、37.9% 和 43.6%。还有少量的棕榈油、米糠油、玉米油、棉籽油、磷脂油、椰子油、核桃油、牛油、鱼油和混合油脂(见图 1)。

2 结果与讨论

2.1 豆油

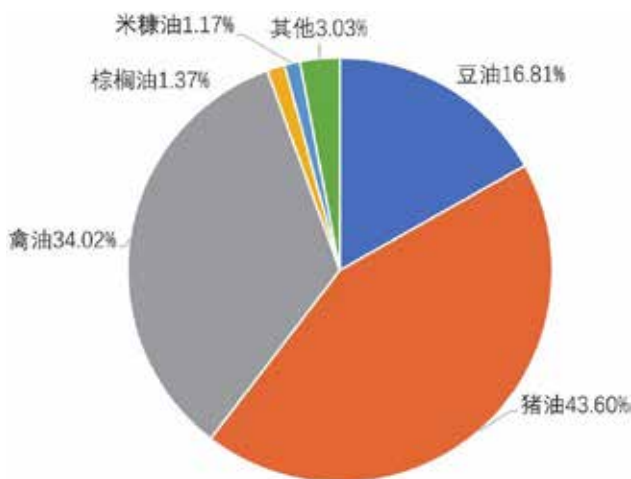


图 1 油脂种类分布图

由图 2 可知,2023 年豆油的样品质量持续表现良好。U/S 值偏低的比例为 9.3%,比 2022 年增加 5.0%;偏高的比例为 0.6%,比 2022 年降低 3.0%。U/S 值偏低的主要原因是棕榈酸(C16)的含量偏高。掺杂的比例与 2022 年持平。酸价、水分和不皂化物的超标率都低于 5%,杂质没有超标样品。但个别样品的酸价较高,酸价最大值为 10.2mgKOH/g ,

水分、杂质和不皂化物的最大值分别为 1.8%、0.4% 和 2.3%。能值主要分布在 36.4~36.9MJ/kg，样品间能值的离散度比较良好，最大差值为 1.84MJ/kg，能值低于 36.4MJ/kg 的比例为 9.9%，比 2022 年增加 1.3%。

2.2 猪油

由图 3 可知，与 2022 年相比，2023 年的猪油样品的品质总体情况有所降低。U/S 值偏低的比例为 5.6%，比 2022 年降低 8.8%；但偏高的比例为 11.0%，比 2022 年增加 5.4%。掺杂的总比例比 2022 年增加 6.4%，其中掺入棕榈油的比例为 2.2%，比 2022 年降低 2.4%；掺入禽油的比例为 2.7%，比 2022 年增加 2.4%；判断为掺入其他油脂的比例为 11.9%，比 2022 年增加 6.0%。被判断为掺入其他油脂的原因主要是同时检出了山嵛酸（C22）、芥酸（C22：1）和木焦油酸（C24），而山嵛酸、芥酸和木焦油酸一般只在植物油中出现，食品级的猪油检测不到。



图 2 豆油的各项指标分析



图 3 猪油的各项指标分析

脂肪酸组成是评判油脂品质和油脂掺假的重要指标之一。2023 年 3 月，国家市场监督管理总局发布最新版的 GB/T8937—2023《食用动物油脂猪油》，在质量指标中删除了丙二醛、皂化值、碘值及重金属等指标，添加了主要脂肪酸组成部分，进一步说明了脂肪酸组成是判断猪油质量的重要指标。对比实验室历年数据总结的脂肪酸组成与 GB/T8937—2023 的脂肪酸组成（见表 1），发现国标给定的主要脂肪酸组成的范围比实验室的历史数据更宽，在脂肪酸谱分析中对于掺杂其他油脂的判断则更加困难。

2023 年猪油酸价的超标率较高，为 55.2%，比 2022 年增加了 10.0%，酸价超标的样品主要集中在 4~6mgKOH/g（占 33.9%）。GB/T8937—2023《食用动物油脂猪油》中三级猪油酸价的指标为 ≤ 2.5mgKOH/g，按此指标，只有 14.8% 的样品的酸价符合三级食用猪油标准，比 2022 年下降 10.1%。

表 1 猪油历史检测样品的主要脂肪酸组成与国标的差异

脂肪酸组成	历史数据	GB/T 8937—2023
豆蔻酸 (C14)	1.0~ 1.7	1.0~2.5
棕榈酸 (C16)	22.0~27.0	20.0~32.0
棕榈油酸 (C16：1)	1.2~3.0	1.3~4.0
硬脂酸 (C18)	10.0~ 18.0	8.0~22.0
油酸 (C18：1)	35.0~43.0	25.0~55.0
亚油酸 (C18：2)	11.0~ 18.0	4.0~ 18.0
亚麻酸 (C18：3)	0.5~ 1.0	<1.5

1 注：数据来源于实验室历年样品数据；下表同。

2023 年水分、杂质和不皂化物的超标率均低于 4%，且均低于 2022 年。但有个别样品的水分、杂质和不皂化物的含量较高，最大值分别为 21.8%、7.5% 和 2.2%。

2023 年猪油的能值范围为 29.7~31.4MJ/kg。样品间能值的离散度总体情况良好，个别样品的偏离度较大，导致最大差值较高，最大差值为 11.72MJ/

kg。经分析，能值偏低的样品主要为 MIU 的含量偏高，能值偏高的样品主要是掺入了其他油脂。2023 年能值偏低的样品比例为 8.3%，比 2022 年降低 7.1%；偏高的样品比例为 11.4%，比 2022 年提高 5.8%。

2.3 禽油

由图 4 可知，2023 年禽油样品的 U/S 值的正常比例比 2022 年提高 5.9%，掺杂比例比 2022 年降低 5.6%。U/S 值偏高或偏低的主要原因都是掺入了其他油脂，偏高主要是掺入了植物油，偏低主要是掺入了棕榈油或猪油。掺杂比例的降低，主要是猪油的掺杂比例降低 3.9%。

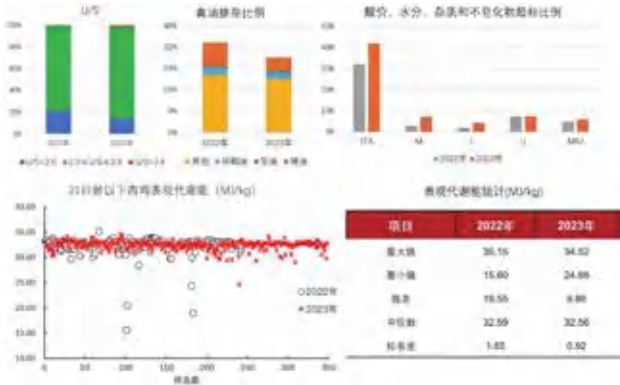


图 4 禽油的各项指标分析

2023 年禽油酸价的超标率为 42.0%，比 2022 年增加 9.9%。与猪油不同，禽油超标的样品中只有 9.5% 的样品为 4~6mgKOH/g，但有 21.3% 的样品高于 10mgKOH/g。2023 年禽油酸价 $\leq 2.5\text{mgKOH/g}$ 的样品比例比猪油高，占比 33.3%，但相较 2022 年下降 12.4%。动物油脂酸价超标的问题需要持续关注。2023 年水分、杂质和不皂化物的超标率都低于 7.5%，但与 2022 年相比，均有所上升，最大值分别为 20.8%、1.9% 和 4.1%。2023 年禽油的能值范围为 32.2~33.7MJ/kg。样品间能值的离散度总体情况比 2022 年有所好转，但也有个别样品的偏离度较大，最大差值为 9.86MJ/kg。经分析，能值最低的样品主要是水分含量高，其水分为 20.8%。能值偏低的样品比例为 28.2%，比 2022 年降低 3.8%；

能值偏高的样品比例为 1.7%，比 2022 年降低 2.0%。

2.4 米糠油

由图 5 可知，2023 年米糠油的样品数量为 12 份，其 U/S 值介于禽油和豆油之间，均值为 3.46，历年的米糠油的 U/S 值为 3.46 ± 0.74 。FFA 超标严重，超标率为 66.7%，与历年的数据相比下降了 7.3%，最大值为 59.2mgKOH/g。GB2716—2018《食品安全国家标准植物油》中米糠油的酸价标准为 $\leq 25\text{mgKOH/g}$ 。按照酸价 $\leq 25\text{mgKOH/g}$ 这个标准，2023 年的超标率为 50.0%，历年数据的超标率为 52.1%。酸价高的原因可能与米糠中存在的多种酶有关，特别是脂肪酶，与油脂接触后会使部分脂肪水解成游离脂肪酸。因此米糠油的酸价会随时间增加较快，一般推荐就近使用，避免存放太久。GB19112—2003《米糠油》的质量要求不皂化物含量 $\leq 4.5\%$ ，所以米糠油的 MIU $> 5.5\%$ 时视为超标。按此标准，米糠油 MIU 的超标率为 16.7%，与历年数据相比下降 18.7%，最大值为 6.5%。样品间的能值差异不大，最大差值为 3.33MJ/kg。

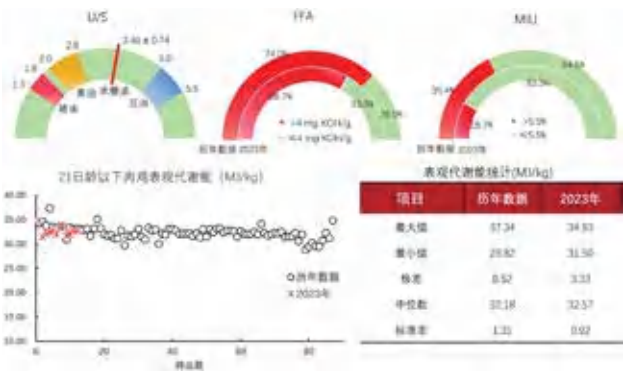


图 5 米糠油的各项指标分析

米糠油的脂肪酸组成主要为棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸，且油酸与亚油酸的比例接近 1 : 1。但与现行的 GB19112—2003《米糠油》中的主要脂肪酸组成存在一定的差异，主要为豆蔻酸、油酸的含量偏低，棕榈酸、亚麻酸和花生酸的含量偏高（见表 2）。这可能与米糠油的来源和生产工艺有关。

表 2 米糠油检测样品的主要脂肪酸组成与国标的差异 (%)

脂肪酸组成	历年样品范围	2023 年样品范围	GB 19112—2003
豆蔻酸 (C14)	0.1~0.8	0.2~0.4	0.4~ 1.0
棕榈酸 (C16)	14.0~21.0	15.9~21.1	12.0~ 18.0
硬脂酸 (C18)	1.2~5.5	1.3~2.5	1.0~3.0
油酸 (C18 : 1)	30.0~44.0	38.4~41.9	40.0~50.0
亚油酸 (C18 : 2)	25.0~45.0	30.8~38.6	29.0~42.0
亚麻酸 (C18 : 3)	0.3~5.0	0.7~ 1.6	<1.0
花生酸 (C20)	0.4~ 1.7	0.5~ 1.0	<1.0

2.5 棕榈油

由图 6 可知，2023 年棕榈油的样品数为 14 份，其 U/S 值低于猪油，均值为 1.12。所有样品的 FFA 和 MIU 都在正常范围内。历年样品中的 FFA 和 MIU 的超标率也不高，超标率分别为 4.8% 和 8.1%。样品间的能值差异比历年数据的低，最大差值为 2.43MJ/kg。因现行的 GB15680—2009《棕榈油》中成品油的酸价最大标准为≤ 0.4mgKOH/g，按此标准，2023 年的棕榈油的酸价均在此范围内，最大值为 0.29mgKOH/g；历年样品的超标率为 24.2%。按原油的标准≤ 10mgKOH/g，则历年的样品中只有一个样品超出此标准，其酸价为 26.7mgKOH/g。



图 6 棕榈油的各项指标分析

棕榈油的特征指标一般按熔点来划分，不同熔点的棕榈油的脂肪酸组成不一样。分析熔点与脂肪酸组成的关系发现，熔点越高，豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸的含量越高，油酸、亚油酸和亚麻酸的含量越低，U/S 值越低。

3 结论

对 2023 年收到的豆油、猪油、禽油、米糠油和棕榈油进行品质分析，发现豆油的总体情况质量良好，猪油的掺杂比例比 2022 年有所增加，禽油整体情况比 2022 年有所好转，米糠油的酸价较高，棕榈油的酸价和 MIU 都在合格范围内。

油脂的质量问题主要集中在酸价超标以及掺杂其他油脂，比较常见的是掺入价格较低的棕榈油和猪油与禽油互混，应加强监控油脂的品质，降低油脂的使用风险。

(转自饲料工业)

关于推进我省生物制造产业高质量发展的建议

程茂基

安徽汉泰生物工程股份有限公司董事长、博士、教授、博士研究生导师

一、生物制造产业发展概况与未来前景

2025年10月，中共中央发布的《关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》，首次将生物制造与量子科技、脑机接口、氢能与核聚变、具身智能、第六代移动通信（6G）等并列为七大未来产业赛道，明确提出要“再造一个中国高技术产业”。这是我国在国家战略层面，首次以如此高的规格、如此大的力度，为未来产业谋篇布局，抢占全球产业制高点，“生物制造”被赋予前所未有的战略高度。2025年1月，安徽省出台了《关于加快生物医药产业高质量发展的实施意见》，合肥市出台《推进生物制造产业高质量发展行动方案》，并在长丰规划建设现代化的合肥生物制造产业园。

近年来，我国生物制造产业规模持续壮大，2024年全国生物制造产业总规模已达1.1万亿元，生物发酵产品产量占全球70%以上。2024年安徽省生物制造产业规模约600亿元，目前已建立生物制药、生物食品、生物能源、生物材料、生物化工、酶制剂六大行业全覆盖的生物制造产业体系，已经形成生物制药、生物食品、生物能源三大百亿级产业集群。规划到2030年全省生物制造产业营业收入达到2500亿元。2024年合肥市生物制造产业规模约300亿元。规划到2030年合肥市生物制造产业营业收入达到1500亿元。其中，饲料氨基酸生产和秸秆生物转化成为聚乳酸联产黄腐酸有机肥是合肥市生物制造产业的重点发展方向。

二、我省生物制造产业发展概况与存在问题

“十四五”以来，我省生物制造产业稳步发展，预计2025年我省生物制造产业规模已达650亿元。在生物医药领域，安徽智飞龙科马、合肥天麦、安徽安科生物、安徽联创生物、安徽立方制药、安徽亿帆生物已经初成规模，成为国

内知名生物医药品牌。在生物新材料领域，安徽丰原集团利用秸秆发酵生产乳酸，乳酸再聚合成成为聚乳酸，聚乳酸是合成可降解塑料和薄膜的材料，能真正实现“万物秸秆造”，已经成为中国乃至世界上最大的生物新材料企业。在生物饲料领域，氨基酸、维生素、酶解饲料、发酵饲料和发酵中草药等生物饲料产业快速发展壮大，生物饲料产业规模和营业收入居于全国前列。2025年我省生物饲料产业实现营业收入预计将达到200亿多元，形成了“安徽华恒”、“安徽丰原”、“安徽汉泰”等生物饲料品牌。其中，安徽汉泰公司已经成为国内发酵饲料行业知名龙头企业，2025年安徽汉泰公司实现发酵饲料营业收入达到9亿多元，整体技术水平居于国内领先和国际先进。安徽汉泰公司将农作物秸秆生物转化为生物葡萄糖饲料、生物酵母蛋白饲料联产黄腐酸有机肥项目的小试中试已经初获成功，未来产业化市场前景无限，国内市场产值前景可达千亿产值。在有机肥领域，农作物有机肥、蔬菜有机肥和果树有机肥方兴未艾，“红四方生物有机肥料”、“亿牛有机肥”等生物有机肥品牌扬帆起航，刚刚起步。但是，整体来说，与山东、广东和江苏等兄弟生物制造强省比较起来，我省生物制造产业规

模仍然偏小，产业集中度不高，主要存在三大问题：一是生物制造产业发展规划亟待编制，生物制造产业扶持政策亟待出台；二生物制造产业布局零散，产业集群规模化优势难以发挥；三生物制造产业园亟待规划，供汽能源已经成为制约企业发展的最大瓶颈。

三、建议举措

谋篇布局精准，产业发展方能蹄疾步稳。1月20日习近平总书记在省部级主要领导干部学习贯彻

党的二十届四中全会精神专题研讨班上发表重要讲话时指出：要建设现代化基础设施。遵循习近平总书记重要谈话精神和根据上述我省生物制造产业存在的三大问题，在“十五五”开局之年，建议编制我省生物制造产业发展规划，出台我省生物制造产业扶持政策，在我省经济技术开发区规划我省生物制造产业园，由我省人民政府出资兴建我省生物制造产业园供汽能源设施。

大力发展我省生物发酵饲料企业助力节粮行动 实施路径的探讨

——基于重点生物发酵企业促进实施养殖环节节粮行动的思考

程玉冰

安徽省饲料与健康养殖行业协会

近年来,我国生物制造产业规模持续壮大,2024 年全国生物制造产业总规模已达 1.1 万亿元,生物发酵产量占全球 70% 以上。2024 年安徽省生物制造产业规模约 600 亿元,目前已建立生物制药、生物食品、生物能源、生物材料、生物化工、酶制剂六大行业,形成生物制药、生物食品、生物能源三大百亿级产业集群。到 2030 年全省生物制造产业营业收入将达到 2500 亿元。2025 年我省生物饲料产业实现营业收入预计将达到 200 亿多元,形成了“安徽华恒”“安徽丰原”“安徽汉泰”“古井集团”等生物饲料品牌,生物发酵饲料日渐兴起。

为深入贯彻落实党中央、国务院关于粮食节约和食物安全保障的决策部署,全面落地农业农村部《养殖业节粮行动实施方案》《关于实施养殖业节粮行动的意见》相关要求,破解饲料生产损耗偏高、原料利用效率不足、节粮技术普及滞后、节粮意识薄弱等突出问题。在立足本省实情,结合皖北种养密集、江淮加工集聚、皖南生态种养的区域资源禀赋优势情况下,依托古井集团、丰原集团、华恒生物、汉泰生物四大龙头企业的产业基础、技术优势与副产资源优势,构建“技术节粮、资源替粮、产业聚粮、种养省粮、政策保粮、龙头担纲”六位一体的实施体系。通过生物技术升级、酿造废弃物资源化、产业链集群布局、精准饲喂应用,全面降低玉米、

豆粕等饲料主粮消耗,形成具有安徽特色的生物饲料节粮长效发展模式,为加快发展我省生物发酵饲料企业,助力节粮行动的实施,究其发展路径进行初步探讨。

一、技术赋能路径:生物技术迭代+龙头攻关,从配方源头实现精准节粮

以菌酶协同发酵、低蛋白日粮、副产物生物改性、合成生物蛋白四大技术为核心,依托省内四大龙头企业差异化技术优势,破解传统饲料高耗粮、高豆粕问题,全方位提升饲料利用率。

1. 生物发酵核心技术得到进一步升级

全面推广菌酶协同生物预消化技术,利用菌、酶协同对常规饲料原料进行体外预处理,降解植酸、抗胰蛋白酶、棉酚等抗营养因子,将大分子蛋白转化为易吸收小肽,提升 12%–20% 饲料利用率,玉米、豆粕添加量降低 3%–6%,每吨配合饲料节约主粮 30–50 千克。这对我省每年大豆总产为 90 万吨仅够食用实际情况,更为重要。

2. 四大龙头企业专项技术落地实施

华恒生物聚焦低蛋白日粮氨基酸配方技术,依托合肥合成生物产业基地,规模化生产饲用丙氨酸、L-缬氨酸、色氨酸、异亮氨酸等饲用功能性氨基酸,通过氨基酸平衡原理重构畜禽日粮配方,打造替代传统高比例豆粕替代蛋白模式,使豆粕在饲料添加

量下降 10%–15%。构建优化豆粕减量替代、资源开发节粮行动的技术研发中心，为全省规模化养殖主体提供标准化低粕节粮配方模型，成为全省节粮饲料配方的核心技术支撑企业。

汉泰生物依托菌酶协同预消化发酵技术在六安、巢湖生产基地的院士工作站基础上，深耕浓浆异步酶解、固态发酵工艺，自研“五豆乳、五酵泰”系列预消化生物饲料技术，高效降解粕类的抗营养因子，消化率提高 18% 以上。产品可替代部分乳清粉、进口鱼粉、优质豆粕，适配母猪、乳仔猪高端饲料，有效降低高端饲料主粮耗用。

丰原集团依据生物改性技术，聚焦玉米深加工产业链，通过生物酶解、低温改性技术，对柠檬酸渣、喷浆玉米皮、赖氨酸渣等工业废渣进行提质升级，将副产物粗蛋白含量提升至 25% 以上，改性产品可直接替代饲料中部分玉米、豆粕，从原料加工端实现主粮减量替代。

古井集团依托白酒酒糟生物提质发酵技术，针对酿酒产业副产资源，通过酵母 + 芽孢杆菌复合固态发酵工艺，对白酒糟进行生物改性，将酒糟粗蛋白从 12% 提升至 28%–32%，提质后的发酵酒糟可替代牛羊、乃至育肥猪日粮中的玉米和豆粕 10% 以上的用量，实现酿造废弃物资源化替粮。

二、资源开源路径：盘活本土资源 + 龙头转化，以废代粮拓宽节粮空间

安徽省秸秆、粮油副产物、酿造废渣、屠宰加工的动物油脂（渣蛋白）及其它生物加工废料资源储量巨大，各地可依托区域资源特色，联动四大龙头企业实现酿造业废弃物的饲料化应用，构建非粮资源替粮体系。

1. 统筹重点区域资源开发利用

皖北亳州、宿州、阜阳重点推进小麦、玉米秸秆微生物青贮、黄贮发酵，提升饲草品质，支撑草食畜禽养殖；江淮合肥、滁州、马鞍山等市依托粮油、酿造产业副产物，发展复合型生物饲料；皖南、

皖西利用竹木下脚料、笋壳、菌渣、茶渣等特色农林废弃物，适配生态养殖，尤其是林下养殖，达到全方位拓宽非粮饲料原料渠道。

2. 加快龙头企业规模化资源转化

古井集团作为酿造废渣资源化核心载体，企业年产酒糟、黄浆水、醪液等酿造副产物超 60 万吨，通过专项资源化项目，年可生物发酵转化酒糟 45 万吨，折算年替代饲料玉米、豆粕超 15 万吨。产品全面辐射皖北牛羊、生猪养殖主产区，打造皖北酒糟替粮示范基地。

丰原集团以玉米生产淀粉、柠檬酸产生柠檬酸渣、玉米蛋白粉、喷浆玉米皮等副产物，年产出各类饲用废渣超 80 万吨，经低温干燥 + 生物酶解改性后，作为猪、禽、反刍饲料原料，每 1000 千克废渣可替代 100–300 千克玉米，产品供应江淮合肥、滁州饲料加工及养殖集群，每年实现非粮代粮超 20 万吨，助力全省秸秆变肉工程落地实施。

华恒生物依托长丰生物制造基地，规模化生产丙氨酸、L- 缬氨酸、色氨酸、异亮氨酸饲用功能性氨基酸，依托氨基酸平衡技术，指导省内猪场、禽场推行低蛋白日粮，单配方豆粕添加量下降 10% ~ 15%，替代传统靠豆粕补充必需氨基酸的模式，每吨配合饲料节约玉米、豆粕 40kg 以上，补齐安徽省新型生物蛋白产能短板。

汉泰生物依托院士工作站，自研浓浆异步酶解、固态发酵工艺，主打“五豆乳、五酵泰”预消化生物饲料，对玉米、粕类体外生物预处理，降解抗营养因子，原料养分利用率提升 18% 左右；在乳仔猪、母猪日粮可同比替代乳清粉、进口鱼粉、优质豆粕，同等生产性能下，饲料粮耗用降低 6% ~ 8%。

三、产业集群路径初步形成：分区布局 + 龙头联动，构建安徽生物饲料产业格局

结合四大龙头企业属地优势，进行差异化布局，打通“原料收集→生物加工→养殖应用”全链条，形成企业互补、区域协同的四大节粮产业体系集聚

区。

1. 皖北亳州酒糟生物饲料集聚区

打造“酿酒副产+秸秆+生物发酵饲料+肉牛养殖”闭环产业链，依托省级秸秆变肉专项资金扶持，建设皖北酒糟替粮核心示范区，辐射阜阳、宿州、蚌埠养殖市场，重点服务皖北肉牛养殖集中区。

2. 江淮蚌埠深加工副产饲料集聚区

整合蚌埠、淮南粮油与生物加工废渣资源，建设区域性副产物生物饲料产业园，规模化生产低成本替粮饲料，专供江淮规模化生猪、肉禽养殖集群。

3. 合肥合成生物饲料添加剂集聚区

打造全省饲用氨基酸研发、生产、功能氨基酸产品输出中心，为全省饲料企业、养殖主体提供配制低蛋白日粮技术与原料支撑，打造成为全省饲料节粮技术中枢。

4. 皖西高端预消化饲料集聚区

聚焦高端畜禽生物饲料生产，以“五豆乳、五酵泰”预消化生物饲料，主打教槽料、母猪料替代产品，辐射皖北、皖中、皖西特色种养产业，补齐高端生物饲料本土化产能短板。

通过联合农科教产搭建推广平台，建立四大企业产业联动机制实现原料互通、产品互补、技术互融，大幅降低产业整体成本，加速替代传统高耗粮饲料。

四、完善种养协同实施路径：精准饲喂+结构优化，全链条压降饲料粮消耗

1. 优化畜禽养殖结构

持续落实“做强生猪、稳定家禽、壮大牛羊”产业布局，依托秸秆、酒糟等生物饲料大力发展节粮型草食畜禽，将牛羊日粮精料占比由60%降至35%以内，实现养殖结构端降低主粮消耗总量。

2. 龙头对接养殖主体精准落地

古井集团面向皖北牛羊养殖场，全面推广发酵酒糟饲喂模式；丰原集团配套江淮规模化猪场，以改性废渣替代玉米有效降低料肉比；华恒生物服

务牧原、温氏等大型养殖基地，落地实施低蛋白日粮，大幅压降豆粕用量；汉泰生物对接大中型饲料厂，为生产高档乳猪饲料进而解决优质蛋白质饲料问题。

3. 推广智能化精准饲喂

引导规模养殖场配套智能饲喂设备，根据畜禽生长阶段精准投放生物饲料，杜绝过量饲喂损耗；常态化开展基层养殖技术培训，全面提升生物饲料科学应用水平。

4. 推进粮饲轮作模式

在皖北旱地加大青贮玉米、饲草轮作，提升本地饲草料自给率，减少外购牧草依赖。有条件地区加大饲用玉米、小麦的种植力度，在保障粮食安全生产的基础上，进一步凸显土地经济价值。

五、落实政策保障路径：多维扶持赋能，筑牢节粮长效机制

1. 精准财政奖补

整合粮食节约、秸秆变肉、农机购置等专项资金，重点扶持酒糟深加工、废渣技改、华生物及生物发酵基地扩建项目，建议省级财政主体制定相关政策，对使用生物饲料的饲料加工及养殖主体给予一定的补贴或税收减免。

2. 标准体系建设

由四大龙头分别牵头制定对应领域地方标准：古井牵头酒糟饲料标准、丰原牵头深加工废渣饲料标准、汉泰牵头预消化生物饲料标准、华恒牵头饲用氨基酸应用规范，完善安徽省非常规饲料原料数据库，完善产业技术规范。

3. 产学研协同创新

现阶段还存在中小饲料厂配方理念落后、反刍专用功能包被产品成本偏高、行业应用标准尚不完善，这一状况改变须亟待解决。未来随着菌种持续优化，合成氨基酸价稳量丰，赖氨酸+蛋氨酸+苏氨酸+色氨酸+缬氨酸+异亮氨酸“六酸”平衡配方将成为行业标配，助力全行业低蛋白日粮普及。

4. 试点考核与宣传推广

将亳州、蚌埠、合肥、六安设立为省级生物饲料节粮试点市，把豆粕减量、饲料粮节约成效纳入粮食安全责任考核；依托行业培训、供需对接平台，普及生物饲料节粮技术，提升全省应用率。也可借科技特派员制度加速技术成果产业化落地。

六、总体实施成效预期

到十五五末，安徽省生物饲料产业体系基本完

善，四大龙头企业形成稳定替粮产能：古井集团年替代饲料粮 15 万吨、丰原集团年替粮 40 万吨、华恒生物通过功能性氨基酸优化饲料企业配方，年减少豆粕耗用 35 万吨以上、汉泰生物年替代主粮 12 万吨，实现四大龙头合计年节替饲料粮 102 万吨目标，占全省饲料总产量的 6%，对全面完成安徽省养殖业节粮行动目标，加快建成全国生物饲料节粮、资源循环利用的安徽样板基地起着推动作用。

支链氨基酸（缬氨酸、异亮氨酸）生物智造与 饲料产业化应用

——合成生物学赋能低蛋白日粮提质降本增效
安徽华恒生物科技股份有限公司

一、引言

我国年产饲料超 3 亿吨，大豆对外依存度超 85%，原料成本常年承压。在国家节粮行动推动下，低蛋白日粮加速普及，但多数配方仅补充赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、色氨酸四类氨基酸，继续下调粗蛋白易造成畜禽生长受阻、抗应激变差，根源在于缺少第五、第六限制性氨基酸。

早年受生产工艺制约，缬氨酸、异亮氨酸售价偏高难以普及；合成生物学通过基因编辑、代谢通路改造优化菌种发酵性能，实现规模化量产。二者除参与蛋白合成外，还调控肠道健康、泌乳与机体代谢，补齐后可在保障生产性能前提下减少豆粕添加、降低粪污氮排放。安徽华恒生物已实现相关产品产业化供货，为国内配方升级筑牢原料基础。

二、缬氨酸、异亮氨酸生理营养机理

2.1 基础代谢特点

二者为畜禽必需支链氨基酸，主要在骨骼肌代谢。常规玉米豆粕日粮天然含量不足，前四类氨基酸满足后即成为新的营养瓶颈。异亮氨酸兼具生糖生酮特性，应激期快速供能；缬氨酸侧重糖异生，维持血糖平稳，保障肠道与免疫细胞代谢。

2.2 生理功能

1. 促进蛋白沉积：激活 mTOR 通路，仅靠四大氨基酸的低蛋白日粮生长受损，补充缬、异亮氨酸后生产性能恢复至高蛋白组水平。

2. 维护肠道健康：缬氨酸助力免疫细胞增殖，异亮氨酸促进黏蛋白分泌，提升绒毛高度、缩短隐窝深度，减少腹泻发病率。

3. 提升繁育性能：母乳必需氨基酸中二者合计占比 18% ~ 22%，精准添加提升母猪泌乳量，改善仔猪断奶体重与成活率。

4. 优化肉蛋品质：异亮氨酸改善蛋壳质量，平衡配比降低畜禽体脂、提高瘦肉率。

三、多品类养殖落地应用

3.1 生猪

断奶仔猪日粮粗蛋白 18.2% 降至 16%、豆粕减量 5.5%，添加缬氨酸 0.22%、异亮氨酸 0.15%，料重比下降 0.07，腹泻率由 12.3% 降至 5.1%；育肥料粗蛋白由 16% 降至 14%，补充对应氨基酸可保增重不变，氮排放下降约 19%；泌乳母猪缬：赖 = 0.82 ~ 0.88 : 1、异亮：赖 = 0.65 ~ 0.70 : 1，泌乳量提升 6% ~ 9%。

3.2 家禽

肉鸡低蛋白日粮添加支链氨基酸，死淘率下降 2% ~ 3%；蛋鸡豆粕减量 3% 并补加两种氨基酸，产蛋稳定，蛋壳破损率下降 12% ~ 18%。

3.3 反刍与特种水产

过瘤胃型产品提升奶牛产奶量与乳脂率；鱼虾低鱼粉配方添加后消化吸收率、成活率明显改善。

3.4 搭配发酵饲料

发酵饲料富含小肽，搭配缬氨酸、异亮氨酸形成全价营养体系，进一步优化料肉比与产蛋稳定性。

四、全链条降本增效路径

4.1 配方原料降本

豆粕、玉米价差下，日粮豆粕每降 1%，每吨饲料成本减少约 14 元。补齐两种氨基酸后，猪

禽饲料豆粕可降 3 ~ 6 个百分点,单吨饲料降本 42 ~ 84 元,规模化猪场年降本可达百万级别,大范围推广可显著缩减大豆进口量。

4.2 节约养殖隐性开支

氨基酸平衡改善畜禽健康,兽药保健成本下降 8% ~ 15%,死淘损耗同步减少。

4.3 原料生产成本下行

生物发酵替代化学拆分,三废减排 60% 以上,近五年产品均价下降 35%,从高端添加剂转为常规配方原料。

4.4 环保成本降低

日粮氮利用率提升 12% ~ 17%,粪污氮排放下降 18% ~ 25%,减少养殖场环保运维投入。

五、合成生物学绿色智造

依托 CRISPR 编辑、多组学优化菌种,定向提升产酸效率;智能在线监测调控 pH、溶氧,发酵周期缩短 12% ~ 20%;发酵残渣加工为发酵饲料,打造资源循环产业链。

六、安徽产业落地实践

合肥生物产业集群孕育华恒生物,其缬氨酸、

异亮氨酸项目入选工信部生物制造示范,产品供货国内大型饲料集团并出口海外。天邦、滁州良合生物落地六级氨基酸平衡低蛋白配方,依托本地原料优势实现稳产降本。省内配套产业扶持政策,打通研发—生产—终端应用全链条。

七、现存问题与发展展望

目前中小饲料厂配方理念落后、反刍专用包被产品成本偏高、行业应用标准尚不完善。未来随着菌种持续优化,氨基酸价格继续走低,赖氨酸 + 蛋氨酸 + 苏氨酸 + 色氨酸 + 缬氨酸 + 异亮氨酸六级平衡配方将成为行业标配,定制复配产品陆续落地,助力全行业低蛋白日粮普及。

八、结论

在节粮环保大背景下,仅依靠四类氨基酸无法深挖低蛋白日粮潜力,缬氨酸、异亮氨酸作为第五、第六限制性氨基酸是配方升级刚需。合成生物学实现其低成本量产,安徽产业化实践验证技术可行性。未来两类支链氨基酸将全面融入畜禽水产配方,成为我国饲料工业节粮降本、绿色转型的关键支撑。

发酵饲料和发酵熟化玉米压片在蟹苗养殖中的应用效果

安徽宝杰生物科技有限公司
秦立奇 张钱贵 刘广丰 刘艳玲

发酵饲料是一种新型安全绿色饲料，使用发酵饲料是实现“无抗”饲料的突破口、降本增效的重要途径、保证动物产品（食品）安全的新方向、利于环境保护的新举措。本试验在蟹苗养殖中用发酵饲料替代部分人工配合饲料，探究其在提高养殖动物生长性能、改善肠道健康、降低水体富营养化等方面的作用，以期达到节能减排、降本增效、保护生态环境的作用，同时促进物质的良性循环，利于养殖尾水达标排放。

一、试验地点与饲料

本试验在当涂县阳阳水产养殖专业合作社核心基地进行，总面积 31 亩，共 6 个蟹苗池，其中试验组池塘 5 个，面积 25.6 亩；对照组池塘 1 个，面积 5.4 亩。试验用发酵饲料为安徽宝杰生物科技有限公司生产的“牧老大”发酵粉料和发酵熟化压片玉米。

二、蟹苗养殖池塘的准备

1. 池塘条件

池塘水源充足无污染，交通便利，电力供应稳定。池塘无渗漏、保水性强，具有独立的进、排水设施。每个池塘面积 4 ~ 6 亩。

2. 池塘修整池塘四周开挖环形沟，环形沟距塘埂 2.0 米，上口宽 4.0 米、底宽 3.0 米、深 0.6 米。池埂高 1.0 ~ 1.2 米、宽 1.5 米，坡比 1 : 1.5。

3. 防逃和增氧设施防逃设施采用钙塑板和玻璃等，其埋土内 10 ~ 20 厘米，高出地面 50 厘米，用木桩和竹竿支撑固定，四角成圆弧形，内外沿用

碎土铺平、夯实。配备水车式增氧机和底部微孔增氧设施。

4. 水草种植

池塘改造后，在环形沟四周和坂田上按池塘面积的 1/3 种植水花生，间隔 5 米种植 1 行。

5. 清野杂鱼、消毒 2023 年 4 月 20 日前后加注新水，使田面水深为 30 厘米，每亩使用漂白粉 90 千克，清除野杂鱼并消毒。

三、蟹苗养殖

1. 河蟹大眼幼体放养 5 月 10 日，试验组与对照组放养来源相同的河蟹大眼幼体，每亩放养 2 千克。放苗前先检测池塘水质的理化指标，在指标正常的前提下放苗。

2. 日常管理

（1）饵料投喂。大眼幼体放入池塘后根据池塘水质情况适时适量肥水。当出现 3 期幼蟹时，投喂粒径 0.3 ~ 0.5 毫米的破碎配合饲料，每天至少投喂 2 次，对照组投喂配合饲料，试验组按 1 : 3 的比例投喂粉状发酵饲料和配合饲料。6 月中旬开始投喂粒径 1 毫米及以上的配合饲料，每天投喂 1 次，对照组投喂配合饲料，试验组按 1 : 3 的比例投喂发酵熟化玉米压片和配合饲料。

（2）水草管理。整个养殖生产过程中翻动水花生 2 ~ 4 次，以有效减少“懒蟹”的数量，同时提高蟹苗的规格与整齐度。

（3）水质管理。根据天气情况合理使用增氧机。6 月 20 日后根据水质情况改良底质，以施用“氧

化钙”为主；使用微生物制剂调节水质，对照组每10～15天使用1次，试验组每30天使用1次。

(4)清除“老头蟹”。9月底开始采取“地笼捕、晚上池埂人工捉”的方式清除池塘里的“老头蟹”，以提高蟹苗产量。

四、试验指标检测及分析

1. 数据检测

(1)用W-1检测仪(8参数)测定水体pH、氨氮和亚硝酸盐等指标，每月测2次，按月度取平均值进行比较(表1)。

表1 池塘水质指标变化情况

池塘	7月			8月			9月			10月		
	PH	氨氮	亚硝酸盐	PH	氨氮	亚硝酸盐	PH	氨氮	亚硝酸盐	PH	氨氮	亚硝酸盐
1#	7.63	0.13	0.03	7.55	0.11	0.05	7.59	0.09	0.06	7.49	0.08	0.01
2#	7.85	0.08	0.05	7.76	0.05	0.03	7.68	0.03	0.08	7.57	0.07	0.05
3#	8.03	0.12	0.09	7.92	0.13	0.07	7.95	0.11	0.05	7.87	0.09	0.03
4#	7.79	0.15	0.04	7.83	0.09	0.06	7.73	0.07	0.07	7.75	0.07	0.04
5#	8.05	0.16	0.07	7.82	0.08	0.09	7.53	0.03	0.09	8.12	0.09	0.08
对照	9.03	0.19	0.22	9.12	0.24	0.24	8.62	0.16	0.13	8.38	0.13	0.12

注：表中数值为月度平均值，氨氮和亚硝酸盐含量的单位为毫克/升

(2)用显微镜和计数框测量池塘藻类丰度、浮游生物量，每月检测1次，取平均值进行比较(表2)。

表2 池塘生物量和蟹苗生长性能变化情况

项 目		试验塘					对照塘
		1#	2#	3#	4#	5#	
池塘情况	藻类丰度(个/毫升)	1213	1233	1189	1207	1202	835
	浮游生物量(克/升)	113.35	115.42	118.37	111.69	114.72	66.73
生长性能	初始体重(克/只)	2.55	2.47	2.63	2.49	2.52	2.44
	终末体重(克/只)	8.06	8.12	8.38	7.92	8.13	7.98
	增重率(%)	216.08	228.74	218.63	218.07	222.62	227.05

试验期间测量蟹苗初始和结束时的体重，试验中总蛋白质、球蛋白、白蛋白及过氧化氢酶活性等免疫指标及肝胰腺的抗氧化能力均采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定。

(3)用稀释涂布平板计数法测量水体和底泥中乳酸菌等有益微生物的含量，每月检测1次，最后取平均值进行比较(表3)。

表3 池塘水体和底泥微生物指标

池塘	酵母菌	芽孢杆菌	乳酸菌
1#水样(CFU/毫升)	2.3×10 ³	9.0×10 ³	5.5×10 ²
2#水样(CFU/毫升)	6.0×10 ³	9.1×10 ³	6.0×10 ²
3#水样(CFU/毫升)	2.8×10 ³	1.3×10 ⁴	8.0×10 ²
4#水样(CFU/毫升)	7.7×10 ³	3.4×10 ⁴	5.0×10 ²
5#水样(CFU/毫升)	3.3×10 ³	1.2×10 ⁴	7.0×10 ²
对照塘水样(CFU/毫升)	1.5×10 ³	3.0×10 ³	1.0×10 ²
1#底泥(CFU/克)	1.1×10 ⁵	7.6×10 ⁵	2.9×10 ³
2#底泥(CFU/克)	4.4×10 ⁵	1.5×10 ⁵	2.3×10 ⁴

池塘	酵母菌	芽孢杆菌	乳酸菌
3# 底泥 (CFU/ 克)	5.4×10^5	1.2×10^6	6.0×10^3
4# 底泥 (CFU/ 克)	1.3×10^5	2.1×10^6	1.8×10^4
5# 底泥 (CFU/ 克)	5.6×10^4	3.5×10^5	4.3×10^4
对照塘底泥 (CFU/ 克)	4.1×10^4	9.2×10^4	1.0×10^3

2. 结果分析

7、8 月高温期对照池塘 pH、亚硝酸盐显著高于试验池塘，且 7 — 10 月波动较大，试验池塘指标比较稳定，说明发酵料具有稳定池塘水质的作用。试验池塘使用发酵料后，池塘藻类丰度比对照池塘提高了 44.77%，浮游生物量比对照池塘提高了 71.90%，说明使用发酵料能够促进池塘藻类等浮游生物的生长，为蟹苗生长提供丰富的天然饵料。试验池塘使用发酵料后，蟹苗机体总蛋白质提高 18.67%，球蛋白提高 16.61%，白蛋白与球蛋白比率降低 24.16%，说明蟹苗的免疫力显著增强；过氧化氢酶提高 25.10%，说明蟹苗体内的脂质过氧化反应减少，清除自由基的能力增强，肝胰腺更加健康。试验池塘水体、底泥中的酵母菌、乳酸菌和芽孢杆菌含量明显高于对照池塘，说明使用发酵料后，发酵料中部分有益菌能够快速在水体和底泥中繁殖和增殖，具有一定的调节水质和改良底质作用。

五、养殖结果饲料与投入品成本及蟹苗产量见表 4。

表 4 饲料与投入品成本及蟹苗产量分析

类别	配合饲料 (元 / 亩)	发酵料 (元 / 亩)	投入品 (元 / 亩)	合计	蟹苗规格 (只 / 千克)	产量 (千克 / 亩)
试验塘	4039	857	200	5096	98	214.8

类别	配合饲料 (元 / 亩)	发酵料 (元 / 亩)	投入品 (元 / 亩)	合计	蟹苗规格 (只 / 千克)	产量 (千克 / 亩)
对照塘	5508	0	400	5908	100	209.6

注：① 2024 年 2 月底至 3 月初出售蟹苗，经打样称重得出蟹 苗规格和产量；②对照塘每亩投喂配合饲料 765 千克，配合饲料按 7.2 元 / 千克计算；试验塘投喂配合饲料 561 千克、发酵料 204 千克，发酵料按 4.2 元 / 千克计算

池塘的饲料和投入品成本比对照池塘降低 812 元 / 亩，产量比对照池塘高 5.2 千克 / 亩，说明使用发酵料能明显起到降本增效的作用。



(转 自 ： 科 学 养 鱼 ， 中 国 知 网)