



动物源性蛋白质饲料原料在动物营养中的应用



农场和牧场



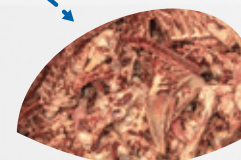
屠宰场



转至回收的数量



肉店



废料

废料



动物产品回收利用工业

饲料厂



宠物食品



动物来源的粉末

粉末仓



美容、肥皂、卫生和清洁工业



其他工业



涂料、染料和树脂肥料

生物柴油



动物来源的油脂

磨粉机



压力机

螺杆



离心机

油仓



卫生隔离装置

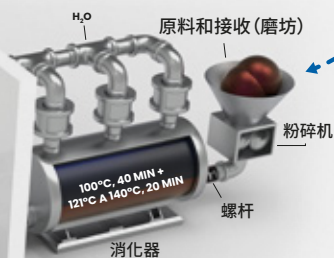
H₂O

原料和接收(磨坊)

粉碎机

螺杆

消化器



巴西动物源性粉料及脂肪

经加工动物源性饲料原料是通过对屠宰副产物进行受控利用而生产的, 其生产过程纳入技术化程度较高且受到严格规范的工业体系。在巴西, 该行业受农业和畜牧部的官方监管, 强制实施结构完整的自我控制流程, 包括良好生产规范 (GMP)、危害分析与关键控制点 (HACCP) 以及完整的可追溯系统。此监管框架保障了产品质量、标准化水平和卫生安全, 能够满足最严格国际市场的准入要求。

该产业链的起点是官方检验监管屠宰企业所产生原料的获取。该过程依照卫生规程严谨, 运输采用专用车辆, 并持续执行清洗和消毒程序。为确保原料可追溯, 全物流过程皆有记录文档, 做好每个环节的卫生情况监督。原料产生至工业加工之间的时间间隔受到严格控制, 应在24 小时以内完成加工, 保证原料品质, 降低卫生风险。

工业加工过程包括蒸煮、相分离和干燥等环节, 并在温度、压力和时间均受控的条件下进行操作, 足以保证病原体失活和最终产品的微生物稳定性, 确保其符合国际生物安全标准。



尽管本文的重点在于阐述此类原料的营养、经济和战略价值,但仍需补充指出,此类原料的生产与既有生物质资源的高效利用密切相关,有助于减少资源浪费并提高资源利用效率,同时在次要层面上契合循环生物经济理念,有益于降低生产体系的碳足迹。

在全球植物蛋白、工业化氨基酸和必需矿物质供应日益波动的背景下,构建更加自主、高效、有韧性的动物源性生产体系已成为一项战略优先任务。对进口投入品,特别是蛋白质来源

和矿物质来源的高度依赖,使生产体系暴露于价格波动、物流成本上升和供应不确定性等风险之中。在此环境下,经加工动物源性原料,如动物源性粉料和脂肪,作为技术上已经较为成熟且具备卫生安全保障的解决方案,能够在单个食物基质中同时提供高消化率蛋白质、必需氨基酸,以及以高生物利用度形式存在的钙、磷等矿物质。其应用不仅可以优化配方成本、降低对进口投入品的依赖,还可提高生产可预见性,从而直接服务于国家食物安全战略和规模化动物生产能力提升。



动物源性蛋白质饲料原料类型

肉骨粉



牛源肉骨粉 (**meat and bone meal, MBM**) 是一种动物源性蛋白质原料,由屠宰过程中产生的组织经受控热加工制得,原料包括边角料、软骨和骨骼等,在加工后去除水分和脂质组分。由于牛源肉骨粉的粗蛋白质含量较高、必需氨基酸组成较为均衡,并富含钙、磷等高生物利用度形式的常量矿物元素,肉骨粉已成为动物营养中应用较为成熟的饲料原料。

肉骨粉的组成可随原料来源动物种类及动物副产物资源化利用企业所采用工艺的不同而变化,通常按照粗蛋白质含量进行分类。粗蛋白质含量较高的肉骨粉,指粗蛋白质高于50%的产品,矿物质含量较低;而粗蛋白质

含量较低的肉骨粉,蛋白质含量约为40%的产品,则往往灰分含量较高,其中以高生物利用度磷和具有生物活性的钙较为突出。上述差异使该原料具有较强的配方适用性,既可作为主要蛋白质来源,也可作为配方中的矿物质校正原料。

从技术和经济角度看,在高度依赖进口投入品,特别是钙、磷和氮等常量营养元素供应的背景下,牛源肉骨粉具有尤为重要的优势。与依赖进口且易受物流和汇率波动影响的无机矿物源不同,肉骨粉能够以生物可利用形式提供上述营养物质,具有较高的吸收率和保留率,可减少额外补充的需求,并提高配方成本的可预见性。



在养猪生产中,特别是在生长和育肥阶段,牛源肉骨粉中必需氨基酸和磷具有较高消化率,其中磷消化率系数通常高于70%。因此,肉骨粉可完全替代矿物磷酸盐,并部分替代石灰石。研究表明,在配方平衡合理的条件下,含肉骨粉的饲料与全豆粕饲料可达到同样的动物生产性能,同时显著降低每单位可消化蛋白质成本。此外,肉骨粉的添加还有助于降低对合成氨基酸,尤其是赖氨酸和苏氨酸的需求,而这些氨基酸的国际定价与汇率和全球市场波动直接相关。

在家禽生产中,肉骨粉在肉鸡生长阶段和蛋鸡产蛋阶段具有特别重要的战略价值。肉骨粉能够提供高利用度的钙和磷,这些矿物质对于家禽骨骼矿化、预防运动障碍,如胫骨软骨发育不良和弯腿,以及蛋壳形成具有重要作用。由于上述矿物质具有较高的生物利用度,因此能够减少或部分替代无机磷酸盐,从而直接影响饲料生产成本。此外,肉骨粉中存在胶原蛋白等结构性蛋白质,有助于骨骼系统发育,其氨基酸组成也有助于维持生产性能。另一个重要方面是,肉骨粉不含豆粕等植物性原料中常见的抗营养因子,因此可降低对植酸酶等外源性酶制剂的依赖,而植酸酶则是用于提高植物性磷的利用率。尽管植酸酶仍是现代配方中的有效工具,但添加肉骨粉可提高营养配方灵活性,降低饲料总成本。



在水产养殖中,尤其是在杂食性和肉食性鱼类的集约化生长阶段,牛源肉骨粉是鱼粉的技术可行替代原料。其氨基酸组成能够与上述鱼类的营养需要相匹配,并有助于维持生产性能。研究表明,在适量添加的情况下,肉骨粉不会损害鱼类生长、饲料转化率或蛋白质保留率,同时可显著降低配方成本。肉骨粉中高利用度的磷也有助于鱼类矿物质代谢,提高营养利用效率,并减少环境损失,从而降低养殖水域富营养化风险。

对于反刍动物而言,尽管许多国家对动物源性蛋白质的使用进行了监管,但从营养学角度看,肉骨粉具有瘤胃降解率较低的蛋白质特征,可作为过瘤胃蛋白质(Bypass Protein)来源。在允许使用此类原料的生产体系中,肉骨粉能够为小肠提供氨基酸供给。



从战略层面看,牛源肉骨粉不应被理解为豆粕的完全替代物,应被视为一种具有较高营养价值和经济价值的补充性原料,能够降低对进口植物蛋白的依赖。在技术上适宜的添加,肉骨粉的应用不但可优化成本与生产性能之间的平衡,也与实现蛋白质来源多元化和提高饲料配方自主性的食物安全政策相一致。

此外,肉骨粉还具有稳固的卫生安全优势,这对国际贸易而言非常重要。肉骨粉的生产以经检验合格的动物来源原料为基础,整个生产链可追溯,并按照世界动物卫生组织(WOAH)指南,严格排除与牛海绵状脑病(BSE)相关的特定风险物质。工业加工在温度和压力受控条件下进行,采用国际认可的工艺参数,包括在压力条件下进行超过133 °C

的热处理,保证较高的微生物安全性和最终产品稳定性。完整的生产链可追溯体系确保了透明度,并符合国际监管要求,使产品能够实现从来源到去向的全过程追踪。

从环境角度看,肉骨粉的使用有助于屠宰工业副产物的综合利用,减少生物质浪费,促进自然资源利用效率提升。

因此,牛源肉骨粉已成为现代动物生产体系中的战略性原料,兼具高营养密度、卫生安全性、连续供应能力(可参考巴西屠宰数量及纪录)、经济可预见性,降低对进口投入品,特别是植物蛋白和无机矿物质的依赖。

下表列出了根据粗蛋白质含量划分的3类肉骨粉组成。

表1 含43%和52%粗蛋白质的牛源肉骨粉及含52%粗蛋白质的猪源肉骨粉的化学组成、消化率及能量值

营养成分	牛源肉骨粉43%	牛源肉骨粉52%	猪源肉骨粉52%
乙醚浸出物(%) *	12.0	12.2	14.1
水分(%) *	6.1	4.2	3.9
总能(kcal/g) *	3422	3998	4127
灰分(%) *	36.6	30.0	25.7
钙(%) *	10.3	10.0	7.85
总磷(%) *	6.56	4.93	4.08
镁(%) *	0.23	0.2	0.15
锰(mg/kg) *	1.5	20.0	23.9
铁(mg/kg) *	324.0	248.0	655.0
铜(mg/kg) *	48.0	8.5	16.7
锌(mg/kg) *	69.3	80.8	115.0
硒(mg/kg) *	0.36	0.37	-
粗蛋白质(%) *	42.8	51.9	52.5
赖氨酸(%) *	2.07	2.73	2.65
蛋氨酸(%) *	0.56	0.7	0.85
蛋氨酸+胱氨酸(%) *	0.74	1.21	1.29
苏氨酸(%) *	1.29	1.71	1.77
色氨酸(%) *	0.19	0.28	0.33
精氨酸(%) *	3.21	3.82	3.48
甘氨酸+丝氨酸(%) *	9.2	9.2	8.4
缬氨酸(%) *	1.57	2.3	2.16
牛磺酸(%)	0.39**	0.39**	-
羟脯氨酸(%)	2.74***	2.74***	-

资料来源: *Rostagno等; **Spitze等; ***Hendriks等; ****Li和Wu。

血粉



血粉是以动物屠宰过程中收集的新鲜血液为原料制得的高生物学价值蛋白质原料。通过环形干燥、批式干燥或盘式干燥等工艺去除水分后,血液转化为红褐色细粉,其粗蛋白质含量较高,通常超过**85%**。最终产品质量在很大程度上取决于所采用的干燥方法,其中环形干燥(**Ring drying**)是一种能够获得较好蛋白质消化率的工艺技术。

从营养学角度看,血粉以高度浓缩的氨基酸组成而具有突出价值,尤其富含赖氨酸、苏氨酸、缬氨酸和精氨酸。赖氨酸的高含量尤其重要,因为赖氨酸是玉米-豆粕型饲料中的主要限制性氨基酸。因此,鉴于合成氨基酸成本与国际市场波动和美元汇率变化直接相关,血粉的添加能够实现氨基酸平衡的精准调控,有助于高效蛋白质合成,减少对合成氨基酸的需求。

除作为蛋白质来源外,血粉还含有较高水平且具有高生物利用度的铁(见表2),其主要以血红素铁形式存在,吸收率显著高于无机矿物铁源。铁在血红蛋白和肌红蛋白合成、氧运输、氧化酶活性以及能量代谢中发挥关键作用。由于铁的吸收率高,血粉成为维持动物体内存在的矿物元素状态、生产性能和生理完整性的重要功能性原料。



在养猪生产中,血粉在生长和育肥阶段的应用尤为有效,因为该阶段动物对必需氨基酸和铁的需求较高。在均衡配方中,添加3%~5%的血份已得到较广泛应用,可改善饲料转化率、增重和营养物质利用率。此外,高利用度的铁有助于维持适宜的血红蛋白水平,从而促进动物代谢性能。在早期阶段,即保育期饲料中,虽然喷雾干燥血浆的使用更为常见,但血粉可在后续阶段饲料中作为蛋白质和矿物质补充原料,在降低合成补充剂相关成本的同时,为仔猪提供铁源。

在家禽生产中,血粉主要可用于肉鸡生长阶段,添加量通常为1%~3%,有助于提供赖氨酸和苏氨酸,而这些氨基酸对肌肉蛋白质沉积非常关键。血粉中生物可利用的铁也有助于能量代谢和氧运输能力,这些因素与生产性能直接相关。尽管较高添加量可能受到适口性和消化率问题的限制,但研究表明,当血粉与其他蛋白质来源进行适当平衡时,其添加不会损害生产性能,并可能提高饲料利用率。在集约化生产体系中,包括亚洲配方体系,血粉常被用作精细调控氨基酸组成的原料,降低对工业化氨基酸的依赖。



在水产养殖中,血粉具有较高的蛋白质消化率,其氨基酸组成能够与杂食性和肉食性水产动物的需要相匹配。根据养殖种类和配方特点,血粉添加量可为5%~10%,能够在不损害生长性能或饲料转化率的前提下,部分替代鱼粉等成本较高的原料。血粉中的铁在鱼类呼吸代谢中具有重要作用,有助于提高集约化养殖系统中的生理效率。此外,血粉的应用还可减少需要额外补充矿物质的情况,提高饲料整体营养效率。

从战略角度看,血粉可直接增强必需营养物质,特别是蛋白氮和铁的供应安全性,降低对价格和供应易发生波动的进口投入品的依赖。血粉的使用应被理解为对植物性原料的补充,可提高配方灵活性,有助于逐步降低对进口战略性原料的依赖,同时还有助于改善饲料适口性。

在卫生安全方面,血粉生产遵循严格的检验和控制标准,原料来源于官方检验合格的动物。适当的热加工可降低微生物风险,可追溯体系则确保整个生产链的控制与透明度。

因此,血粉已成为一种具有较高营养价值、矿物元素价值和经济价值的原料,能够同时作为高度浓缩的蛋白质来源、氨基酸精细调控工具和生物可利用铁的供给来源,有助于现代动物生产体系中饲料配方的技术优化和经济优化。

水解羽毛粉



水解羽毛粉是一种将禽类羽毛加工的浓缩蛋白质原料。羽毛原始结构主要由角蛋白构成,而角蛋白是一类对酶促消化具有高度抵抗性的纤维状蛋白质。将该物质转化为具有营养可利用性的原料,取决于对稳定角蛋白分子结构的二硫键进行断裂,该过程可通过多种技术途径实现,包括热水解、化学水解或酶法/生物水解。

在上述不同方法中,加压热水解是工业化生产中应用最广泛的技术,尤其在巴西,由于其具有操作效率高、工艺标准化程度高和卫生安全性强等特点而被广泛采用。加压热水解利用受控的温度、压力和时间组合,促进蛋白质基质结构解聚,形成具有更高消化可及性的肽和氨基酸。

水解羽毛粉的营养质量与加工过程中所达到的水解程度直接相关。该工艺可获得蛋白质消化率高于75%、粗蛋白质含量通常超过80%的原料。其氨基酸组成特征为含硫氨基酸浓度较高,其中半胱氨酸和蛋氨酸比例较高,同时含有一定水平的精氨酸、甘氨酸、丝氨酸和缬氨酸,如表2所示。相对而言,水解羽毛粉在赖氨酸和色氨酸方面存在限制,这进一步说明水解羽毛粉在氨基酸的均衡考虑而言,更适合作为补充性原料。

在玉米-豆粕型饲料中,蛋氨酸和半胱氨酸往往是营养不足的体现,需依赖合成氨基酸的补充。在此背景下,添加羽毛粉可部分降低这种依赖,特别是在工业化氨基酸国际市场高度波动的情况下,有助于提高配方的经济稳定性。



在养猪生产中,水解羽毛粉主要用于生长和育肥阶段,作为蛋白质和含硫氨基酸的补充来源。其添加量通常为2%~4%,在与富含赖氨酸的原料配合使用时,可降低饲料蛋白质成本。通过原料的战略性组合,可优化总氨基酸组成,减少对合成氨基酸的需求,提高配方经济效率。

在肉鸡生产中,水解羽毛粉在生长中后期具有较为重要的应用价值,因为该阶段机体蛋白质沉积和羽被发育对含硫氨基酸的需要较高。亚洲生产体系开展的研究表明,当水解羽毛粉与富含赖氨酸的互补蛋白质来源配合使用时,2%~5%的添加量可维持生产性能和饲料利用率,不会对增重或饲料转化率产生不利影响,部分研究中还观察到改善效果。在商品蛋鸡中,含硫氨基酸组成的适宜性与产蛋持续性和蛋品质相关,羽毛粉可作为精细调控配方的可行替代原料。就火鸡方面,研究表明,在配方均衡合理的条件下,羽毛粉的应用可促进体增重。



在水产养殖中,水解羽毛粉已被用作部分替代鱼粉的替代性原料,尤其适用于杂食性鱼类饲料。在加工适宜的情况下,水解羽毛粉具有较高的蛋白质浓度以及低分子量肽,能够在不损害生产性能的情况下适量添加。然而,其应用需要与其他蛋白质来源进行适当均衡,弥补特定氨基酸方面的不足。

人类的宠物饲料中亦可使用水解羽毛粉。使用水解羽毛粉使产品具有差异化价值,特别适用于低致敏性饲料和水解蛋白配方。其低分子量肽可降低抗原性潜力,适合用于对食物敏感的动物饲料,提升其在该市场的附加值。



水解羽毛粉所提供的部分替代作用可直接影响每吨饲料成本,同时降低因国际投入品市场汇率波动而带来的风险暴露。此外,由于不含显著抗营养因子,添加水解羽毛粉有助于提高营养物质消化率的可预见性,减少对酶制剂添加剂的依赖。此外,水解羽毛粉的应用是对植物性原料的补充,不论在提高营养方面还是和经济层面的考量,都能增加配方的灵活性。

水解羽毛粉由经检验监管的屠宰加工企业所提供的原料生产,并在能够保证病原体失活条件下进行热加工,保障卫生安全。对生产参数的严格控制以及贯穿生产链的可追溯管理,确保产品质量,符合国际要求。

综上,水解羽毛粉是一种具有特定技术应用价值的原料,在配方经济优化、含硫氨基酸供给以及增强动物生产体系韧性方面具有较高潜力。

禽内脏粉



禽内脏粉由禽类屠宰副产物和屠宰残余物加工制得, 其中不包括羽毛和血液。该类副产物包括内脏、边角料、软骨和骨骼等, 经蒸煮、压榨和干燥后, 可获得一种营养密度较高的产品, 其特征为粗蛋白质含量较高, 通常为55%~65%, 乙醚浸出物含量为10%~15% (见表2), 并具有优良的可消化氨基酸组成。禽内脏粉是一种营养价值高、稳定性好且均一性较强的饲料原料, 广泛应用于犬、猫、家禽、猪及水产动物饲料中。

其营养组成以粗蛋白质含量高、消化率好和氨基酸组成均衡为主要特征, 同时含有氧化稳定性较高的脂质, 特别是在加工后及时添加抗氧化剂处理时, 其脂质稳定性更为突出。禽内脏粉也是钙、磷和钠等矿物质的来源, 因而在饲料配方中具有较强的通用性和功能性。

禽内脏粉可广泛用于肉鸡各生产阶段的饲料中, 从生长初期至育肥后期均可使用, 并可构成饲料蛋白质基质中的重要组成部分。在商业配方中, 5%~10%的添加量较为常见, 具体添加量可根据原料质量和营养均衡情况进行调整。禽内脏粉较高的适口性有助于提高采食量, 尤其是在早期阶段, 对增重和群体均匀度具有积极影响。在商品蛋鸡中, 添加禽内脏粉有助于提供均衡的必需氨基酸, 从而促进产蛋持续性和蛋品质。



在水产养殖中, 禽内脏粉是替代鱼粉的主要原料之一。其在罗非鱼、鲤鱼以及高生产性能肉食性鱼类饲料中的应用具有显著优势。禽内脏粉具有优良的感官诱食性, 可表现为较高的适口性和较大的自愿采食量, 尤其适用于膨化饲料。此外, 禽内脏粉可提供赖氨酸、蛋氨酸、精氨酸和甘氨酸等关键氨基酸。因此, 此类原料非常适合用于构建蛋白质营养更为完整的饲料。其添加量可根据养殖品种和配方特点落于5%~15%之间。



在仔猪饲料中,禽内脏粉添加量较低,与高消化率原料配合,可促进断奶后采食适应。禽内脏粉中的氨基酸对组织发育和肠道完整性具有重要作用,可通过调节肠道微生物群和增强肠黏膜屏障功能促进肠道健康。在生长和育肥阶段,禽内脏粉的添加量一般可控制在3%~8%之间。其较高的消化率和良好的氨基酸组成有助于促进增重并提高饲料利用效率。

在犬、猫饲粮中,由于禽内脏粉具有较高的适口性和消化率被广泛应用,是高端和超高端宠物食品中的主要原料之一。其应用有助于提高动物对饲料的接受度,改善最终产品的营养质量,同时可提供必需氨基酸以及必需脂肪酸,如亚油酸。



禽内脏粉的使用有助于直接降低对鱼粉以及豆粕等植物性蛋白来源的依赖,同时在成本、稳定性和可持续性方面具有优势。这种双重替代作用,即对植物蛋白和工业化氨基酸的部分替代,可直接影响饲料最终成本。在中国等大规模生产体系中,此类成本下降意味着显著的经济收益和更高的成本可预见性。

此外,禽内脏粉还可提供以生物可利用形式存在的磷和钙等矿物质,降低对进口无机矿物质来源的依赖。考虑到对进口肥料和矿物质的依赖程度,这一点具有重要意义。

表2 血粉、水解羽毛粉和禽内脏粉的化学组成、消化率及能量值

营养成分	血粉	水解羽毛粉	禽内脏粉
乙醚浸出物 (%) *	0,60	6,83	14,0
水分 (%) *	7,3	8,2	5,4
粗纤维 (%) *	-	-	-
总能 (Kcal/g) *	5103	5256	4957
灰分 (%) *	3,45	2,72	16,5
钙 (%) *	0,20	0,33	4,01
总磷 (%) *	0,24	0,47	2,72
镁 (%) *	0,10	-	0,08
锰 (mg/kg) *	7,3	-	2,10
铁 (mg/kg) *	1664,2	-	177,0
铜 (mg/kg) *	13,8	-	19,3
锌 (mg/kg) *	36,1	-	80,4
硒 (mg/kg) *	0,58	-	0,52
粗蛋白质 (%) *	85,8	83,1	57,4
赖氨酸 (%) *	7,7	2,45	5,33
蛋氨酸 (%) *	1,06	0,71	1,10
蛋氨酸+胱氨酸 (%) *	1,70	4,63	1,95
苏氨酸 (%) *	4,14	3,79	2,36
色氨酸 (%) *	1,46	0,66	0,54
精氨酸 (%) *	3,47	5,62	4,09
甘氨酸+丝氨酸 (%) *	8,10	16,1	8,41
缬氨酸 (%) *	7,49	5,86	2,93
牛磺酸 (%)	-	1,00***	3,04**
羟脯氨酸 (%)	-	4,97****	1,85****

资料来源: *Rostagno等; **Spitze等; ***Hendriks等; ****Li和Wu。

结语

本文所述结果表明,动物源性粉料属于高营养密度饲料的原料,以综合形式提供必需氨基酸和功能性氨基酸、高生物利用度矿物质以及对动物生产性能和健康具有重要作用的生物活性化合物。赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸和精氨酸等营养物质的存在,结合甘氨酸、牛磺酸和羟脯氨酸等功能性氨基酸,可直接促进不同动物种类的代谢效率、肠道完整性、免疫应答和蛋白质沉积。

此外,以高生物利用度形式提供钙、磷等常量矿物元素,是此类原料的重要技术优势,特别适用于常规矿物质来源获取受限的情境。将上述营养物质整合于单个饲料基质中,有助于提高配方精准性,改善现有营养资源的利用效率。

从经济角度看,动物源性粉料的使用可通过部分替代植物性原料和合成投入品,如工业化氨基酸和无机矿物质来源,优化饲料成本。此特征赋予饲料配方更高的稳定性,降低其受市场波动影响的程度,有助于提高规模化生产体系中的成本可预见性。

动物源性粉料的原料在不同动物种类中的应用,包括家禽、猪、鱼类和人类宠物,均具有良好的适用广泛性和稳定的生产性能表现。根据各阶段或不同需要的营养要求,可对添加量进行调整,且不会损害动物生产性能。

在此背景下,动物源性粉料不应是补充性营养来源,还是具有战略意义的配方工具,能够同时促进生产效率、经济平衡以及必需营养物质供应的自主。

因此,将动物源性粉料纳入现代营养方案,是一种技术上较为稳健且符合当前动物生产需求的路径,可为构建更加高效、更具韧性和竞争力的生产体系提供坚实基础。

参考文献

Hendriks, W. H., M. W. A. Verstegen, and L. Babinszky. "Nutritional Quality and Variation of Meat and Bone Meal." *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, vol. 15, no. 10, 2002, pp. 1507–1516.

Parsons, C. M., F. Castanon, and Y. Han. "Protein and Amino Acid Quality of Meat and Bone Meal." *Poultry Science*, vol. 76, no. 2, 1997, pp. 361–368. <https://doi.org/10.1093/ps/76.2.361>

Mutucumarana, R. K., et al. "Measurement of True Ileal Phosphorus Digestibility in Meat and Bone Meal for Broiler Chickens." *Poultry Science*, vol. 94, no. 7, 2015, pp. 1611–1618. <https://doi.org/10.3382/ps/pev132>

Sulabo, R. C., and Hans H. Stein. "Digestibility of Phosphorus and Calcium in Meat and Bone Meal Fed to Growing Pigs." *Journal of Animal Science*, vol. 91, no. 3, 2013, pp. 1285–1294.

Traylor, S. L., et al. "Bioavailability of Phosphorus in Meat and Bone Meal for Swine." *Journal of Animal Science*, vol. 83, no. 5, 2005, pp. 1054–1061. <https://doi.org/10.2527/2005.8351054x>

Nengas, I., M. N. Alexis, and S. J. Davies. "Meat and Bone Meal as a Replacement for Fish Meal in Diets for Gilthead Seabream (*Sparus aurata*)." *Aquaculture*, vol. 210, no. 1–4, 2002, pp. 357–368.

Tacon, A. G. J., and M. Metian. "Global Overview on the Use of Fish Meal and Fish Oil in Industrially Compounded Aquafeeds: Trends and Future Prospects." *Aquaculture*, vol. 285, no. 1–4, 2008, pp. 146–158.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>

World Organisation for Animal Health. *Terrestrial Animal Health Code – Bovine Spongiform Encephalopathy* (Chapter 11.4). <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/terrestrial-code-online-access/>

Kats, L. J., et al. "Effects of Spray-Dried Blood Products on Growth Performance of Nursery Pigs." *Journal of Animal Science*, vol. 72, no. 11, 1994, pp. 2860–2869. <https://doi.org/10.2527/1994.72112860x>

Almeida, F. N., and H. H. Stein. "Standardized Total Tract Digestibility of Phosphorus in Blood Products Fed to Pigs." *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, vol. 24, no. 4, 2011, pp. 609–616. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324771>

Khawaja, T., et al. "Effect of Different Levels of Blood Meal on Broiler Performance." *International Journal of Poultry Science*, vol. 6, no. 12, 2007, pp. 860–865.

Duarte, K. F., et al. "Inclusion of Blood Meal in Broiler Diets." *Poultry Science*, vol. 98, 2019.

El-Sayed, A. F. M. "Alternative Dietary Protein Sources for Farmed Tilapia." *Aquaculture*, vol. 179, 1999, pp. 149–168.

Adewolu, M. A. "Potentials of Blood Meal as a Fish Meal Substitute in Aquafeeds." *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 2008.
https://academicjournals.org/article/article1380702260_Adewolu.pdf

Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais / Editor: Horacio Santiago Rostagno. – 5.ed. – Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2024.

Wang, X., et al. "Evaluation of Hydrolyzed Feather Meal as a Protein Source in Diets for Broiler Chickens." *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, vol. 30, no. 4, 2017, pp. 544–551.

<https://doi.org/10.5713/ajas.16.0213>

Zhang, Y., et al. "Effects of Feather Meal on Growth Performance and Nutrient Digestibility in Growing Pigs." *Chinese Journal of Animal Nutrition*, vol. 28, 2016, pp. 320–328.

Huang, Q., et al. "Use of Feather Meal in Carp Diets: Effects on Growth and Feed Utilization." *Aquaculture Research*, vol. 48, 2017. <https://doi.org/10.1111/are.13145>

Papadopoulos, M. C. "Effect of Processing on High-Protein Feedstuffs: A Review." *Biological Wastes*, vol. 29, 1989, pp. 123–138. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(89\)90094-9](https://doi.org/10.1016/0269-7483(89)90094-9)

Dale, N. "Metabolizable Energy of Feather Meal." *Journal of Applied Poultry Research*, vol. 3, 1994, pp. 94–98.

<https://doi.org/10.1093/japr/3.1.94>

Spitze, A. R., et al. "Taurine concentrations in animal feed ingredients; cooking influences taurine content." *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 87.7 - 8 (2003): 251-262.

Swanson, K. S., et al. "Nutritional sustainability of pet foods. *Advances in Nutrition*". (2013): 141–150.

Ravindran, V., et al. "Performance and Nutrient Utilization of Broilers Fed Diets Containing Meat and Bone Meal or Poultry By-Product Meal." *Poultry Science*, vol. 85, 2006, pp. 1407–1415.

Wang, Y., et al. "Evaluation of Poultry By-Product Meal as a Protein Source in Diets for Tilapia." *Aquaculture Nutrition*, vol. 23, 2017.

Zhou, Q. C., et al. "Partial Replacement of Fish Meal by Poultry By-Product Meal in Diets for Juvenile Fish." *Aquaculture Research*, 2011.

Shirley, R. B., and C. M. Parsons. "Effect of Ash Content on Protein Quality of Poultry By-Product Meal." *Poultry Science*, vol. 80, 2001, pp. 626–632.

S. L. Traylor, et al. "Bioavailability of phosphorus in meat and bone meal for swine," *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, vol. 83, 2005, pp. 1054–1061.
<https://doi.org/10.2527/2005.8351054x>