

哺乳期犊牛代乳品中蛋白质来源的研究进展

刘云龙 刁其玉 屠 焰*

(中国农业科学院饲料研究所,农业部饲料生物技术重点实验室,北京 100081)

摘要: 代乳品中的蛋白质来源是哺乳期犊牛培育过程中决定培育效果和经济效益的重要因素。20世纪60年代至今,哺乳期犊牛代乳品中的蛋白质来源经历了乳蛋白、酪蛋白、乳清蛋白、非乳源动物蛋白和植物蛋白等几个阶段。由于乳源蛋白价格上涨,使得代乳品成本升高,寻求能够提供与乳源蛋白相同饲喂效果但价格低廉的非乳源蛋白已成为重要的研究方向。本文在概述不同蛋白质源营养特性及蛋白质组分功能特性的基础上,针对其在哺乳期犊牛代乳品中的应用进行综述,重点阐述不同蛋白质来源代乳品对哺乳期犊牛生长性能、营养物质消化率、胃肠道发育、免疫与健康方面的研究进展,为后续非乳源蛋白的开发提供理论依据。

关键词: 植物蛋白;犊牛;代乳品;蛋白质来源;蛋白质组分

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)02-0536-08

目前,利用代乳品培育实施哺乳期犊牛早期断奶技术已是世界奶牛养殖行业中常用的技术手段,在美国超过85%的犊牛在断奶前饲喂代乳品^[1]。代乳品的推广应用不仅可以节约大量的鲜奶,降低犊牛培育成本,提高养殖效益,还可以针对犊牛不同的生理阶段及时调整代乳品配方,对犊牛的生长发育及健康具有积极的正面效应。在20世纪60年代,代乳品刚开始应用时,犊牛代乳品中的蛋白质源主要为脱脂乳蛋白;到了20世纪80年代,脱脂乳蛋白逐渐被酪蛋白和乳清蛋白所取代;而在20世纪80年代后期,由于人们对乳源蛋白的需求量增加,以酪蛋白和乳清蛋白为代表的乳源蛋白价格上涨,研究人员开始寻找可替代乳源蛋白的蛋白质饲料^[2],目前主要研究方向为非乳源动物蛋白和植物蛋白。本文综述了从哺乳期犊牛代乳品应用至今,不同蛋白质源营养特性、蛋白质组分功能特性及其在哺乳期犊牛代乳品中应用的研究进展,为代乳品中非乳源蛋白的合理利用及开发提供依据。

1 哺乳期犊牛消化生理特点

犊牛在3周龄前,前胃尚未发育成熟、消化系统内不具备完全的蛋白酶体系,在不存在瘤胃微生物和原虫消化分解营养物质的情况下,哺乳期犊牛只能完全依靠自身分泌的消化酶进行蛋白质的消化。当哺乳期犊牛进食时,牛乳直接由食管沟进入皱胃,酪蛋白作为牛乳中的主要成分,在凝乳酶的作用下形成凝乳块在皱胃中进行消化,形成的食糜排至小肠中吸收,但进入十二指肠的消化物仅包含少量的酪蛋白,表明大部分酪蛋白已经在皱胃中水解^[3],而未消化的蛋白质进入肠道中,在胰蛋白酶、糜蛋白酶等作用下继续水解,被小肠消化吸收。

皱胃凝乳的形成一直被认为是哺乳期犊牛消化利用牛乳过程中的重要组成部分,由酪蛋白和乳脂形成的皱胃凝乳能够减缓干物质、蛋白质和脂肪从皱胃中排入小肠的速率^[4-6]。在20世纪60年代之前,不能在皱胃形成凝乳的代乳品一直被认定为品质差。因为过去的研究表明,在没有凝

收稿日期:2018-07-31

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y2018YJ08-3)

作者简介:刘云龙(1994—),男,河南周口人,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: liuyunlong0308@qq.com

* 通信作者:屠 焰,研究员,博士生导师,E-mail: tuyan@caas.cn

乳形成的条件下,会加快皱胃排空速率,对摄入的营养物质不能进行充分的消化和吸收,造成消化率下降,影响犊牛的生长性能;另外,大量未消化的营养物质进入肠道内积聚会引起犊牛肠道内腔摩尔渗透压浓度的改变,易发生非传染性腹泻,影响犊牛健康^[7]。但近来研究表明,代乳品中蛋白质的来源和性质、加工方法及营养水平比凝乳能力显得更为重要,代乳品中的蛋白质能否在皱胃形成凝乳已经不再是评判代乳品品质的关键因素^[8]。另外,随着代乳品工业的形成及加工工艺的改进,经过改性后的非乳源蛋白能够以适当比例替代乳源蛋白应用到代乳品中。

2 代乳品中不同蛋白质源的营养特性

2.1 乳源蛋白

代乳品中最早应用的蛋白质源就是乳蛋白,因乳蛋白具有适口性好、消化率高、氨基酸平衡且不含抗营养因子等特点,所以乳蛋白是3周龄前犊牛所能利用的最好的蛋白质源^[9]。

目前,在代乳品生产中最为常用的乳源蛋白为乳清蛋白。乳清蛋白内必需氨基酸平衡且含量丰富,含有多种生物活性成分,具有较为全面的功能特性^[10]。但我国目前乳制品产量欠缺,不足以满足动物饲料生产用量,幼畜饲料中使用的乳清粉等乳制品大多依赖进口,这在一定程度上限制了我国幼畜特种饲料的生产。

2.2 非乳源动物蛋白

目前关于非乳源动物蛋白的开发较少,已开发的主要有血浆蛋白粉、鸡蛋蛋白粉、鱼粉等,由于鸡蛋蛋白粉和鱼粉等在哺乳期犊牛上利用效果有限^[11-12],研究多集中在血浆蛋白粉上。

血浆蛋白粉作为一种易消化吸收的非乳源动物蛋白,其适口性好、消化率高,必需氨基酸(赖氨酸、色氨酸和苏氨酸)含量相对较高,但蛋氨酸和异亮氨酸含量较低^[13]。另外,血浆蛋白粉在加工后仍保留原血浆中丰富的免疫球蛋白、白蛋白、生物活性肽等活性物质,能够有效缓解环境应激,增强机体免疫力,尤其对幼畜和弱畜作用更加显著。

2014年初,北美发生了大规模的猪流行性腹泻(PEDV)事件后,有关血浆蛋白粉的生物安全问题一直备受关注。北美喷雾干燥血浆及血球生产商协会(NASDBPP)认为,通过喷雾干燥加工工艺过程能够使血浆蛋白粉中各种病毒活性丧失,并

且相关法规的制定和监管使喷雾干燥血浆蛋白粉的生物安全性有了保证。另外,大量研究结果表明,血浆蛋白粉在动物生产应用上是安全可靠的^[14-15]。但目前我国尚不允许在反刍动物饲料中使用除乳制品外的动物源性饲料原料。

2.3 植物蛋白

有关植物蛋白作为代乳品的蛋白质来源的研究开始于20世纪80年代,随着研究的不断深入及代乳品加工工艺的发展,植物蛋白已是目前代乳品蛋白质来源开发的主要研究方向。目前,研究较多的植物蛋白主要有大豆蛋白、小麦蛋白、大米蛋白等。

植物蛋白整体营养特性欠佳。与乳源蛋白相比,植物蛋白主要表现为溶解性差、消化率低、氨基酸平衡稍逊及含有抗营养因子等^[16-17];与非乳源动物蛋白相比,植物蛋白适口性差及缺乏免疫球蛋白等活性物质。但植物蛋白来源丰富且粗蛋白含量高,目前国内提供的饲料级大豆分离蛋白、小麦水解蛋白、大米蛋白的粗蛋白质含量分别可达到90%、85%、65%左右。虽然植物蛋白的氨基酸平衡稍差,但植物蛋白中某些功能性氨基酸丰富,如小麦蛋白中谷氨酰胺含量丰富,占整个氨基酸总量的30%^[18],大米蛋白中赖氨酸和蛋氨酸含量较高。这些功能性氨基酸除了合成蛋白质来满足动物生长和维持需要外,同时对多种生物活性物质的合成也是必需的。

在选用植物蛋白作为代乳品蛋白质来源时,考虑到植物蛋白的营养特性,应注意以下几点:1)对植物蛋白进行改性加工处理来有效去除抗营养因子、提高植物蛋白的溶解度,增强其可利用性^[19-20]。2)通过不同植物蛋白之间进行配伍或外源添加晶体氨基酸来调控氨基酸的平衡。3)添加一些酶制剂、益生菌等来提高植物蛋白在动物体内的消化率。随着对植物蛋白开发研究的深入,植物蛋白能够实现以一定比例替代乳蛋白,而且在相同蛋白质水平下,使用植物蛋白的成本要更加低,另外,犊牛较早的进食植物蛋白有助于瘤胃的发育^[21]。因此,开发以植物蛋白为蛋白质源的代乳品具有非常好的前景。

3 不同蛋白质源蛋白质组分的功能特性

对于蛋白质含量、氨基酸组成相同的蛋白质原料,其营养价值却不同。除了与蛋白质源的物

理结构和化学性质,如溶解性、水合性、高级结构(α -螺旋、 β -折叠、无规卷曲和二硫键含量)、营养特性等有密切关系外,饲料蛋白质源中不同蛋白质组分含量和比率也具有不同的功能特性。

Osborne^[22]根据溶解度的差异将植物蛋白的蛋白质组分为清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白。可通过连续提取法来分离并确定植物蛋白的蛋白质组分及含量,但目前分离提取技术尚未实现工业化,对蛋白质组分的相关研究多在实验室条件下进行。通过研究植物蛋白中不同蛋白质组分的功能特性,能够为深入、全面解析植物蛋白的作用机制提供理论基础。

3.1 球蛋白

清蛋白和球蛋白是由单链组成的低分子质量蛋白质,作为可溶性蛋白质,其氨基酸组成均衡,具有优良的溶解性和消化性。目前有关球蛋白的研究主要集中在大豆蛋白中,球蛋白是大豆抗原蛋白中免疫活性最强的因子之一,主要包括大豆球蛋白和 β -伴球蛋白。当犊牛采食未改性处理的大豆蛋白后,大部分的大豆球蛋白能够被降解为小肽和氨基酸被吸收利用,但少部分未被降解的抗原蛋白能够穿过小肠上皮完整地进入血液和淋巴内,产生过敏反应,破坏肠上皮细胞的完整性,降低增殖能力,使肠道炎性细胞因子水平发生变化,进而引起肠道黏膜损伤,影响修复和转运通道基因的表达,改变肠道组织形态,影响消化系统功能^[23]。

未经处理的大豆蛋白中抗原蛋白的含量较高,作为饲料蛋白质源饲喂幼畜后会影响动物肠道健康。以大豆蛋白作为代乳品蛋白质源时,应选用经过改性处理后的大豆浓缩蛋白和大豆分离蛋白等,经过改性处理的大豆蛋白中大部分抗原蛋白都失去抗原活性,饲喂幼畜后不会带来负面效果。

3.2 醇溶蛋白

醇溶蛋白作为一种贮藏蛋白主要存在于小麦和玉米中,在大米蛋白中含量较低。醇溶蛋白作为一种I型蛋白体(PB-I),含有大量的疏水性氨基酸,在分子内通过氢键和二硫键连接而成,因其具有一些特殊的物化特性,当饲料的蛋白质源中含有大量醇溶蛋白时,会带来一些不利影响,如醇溶蛋白含量较高时会大大增加饲料黏性,会给制粒工艺带来更为苛求的要求;醇溶蛋白氨基酸组

成不平衡,尤其是麦醇溶蛋白,含有丰富的含硫氨基酸,尤其富含谷氨酸,但色氨酸和赖氨酸缺乏^[19];醇溶蛋白不易被胃蛋白酶、胰蛋白酶等动物内源消化酶酶解,从而不能被充分消化吸收利用。但醇溶蛋白中含有丰富的谷氨酰胺活性肽,而谷氨酰胺对幼畜又具有修复肠道黏膜、增强免疫力等功能,所以醇溶蛋白尚具有可开发的潜能。目前研究主要集中在通过定向酶切或微生物发酵等技术来促进麦醇溶蛋白水解为可溶性的小分子物质,进而提高幼畜对醇溶蛋白的利用率方面。

3.3 谷蛋白

谷蛋白为大米蛋白中的主要贮藏蛋白,占蛋白质总量的80%左右,是决定大米蛋白功能特性的主要因素。谷蛋白是由链内和链间的氢键和二硫键聚集而成的大分子蛋白质聚合体,在水溶液中的溶解度较低,但作为一种II型蛋白体(PB-II),与醇溶蛋白相比更容易被胃蛋白酶、胰蛋白酶等蛋白酶消化酶解^[24]。另外,谷蛋白的氨基酸组成较为平衡,富含赖氨酸、精氨酸、甘氨酸等必需氨基酸,还具有抗氧化和调控脂质代谢等功能特性。总体上来看,醇溶蛋白的营养特性和消化性能均要低于谷蛋白。

氨基酸组成和蛋白质组分的含量直接影响植物蛋白的利用效率,氨基酸组成和比例在哺乳期犊牛饲料中的研究已经较多,但有关蛋白质组分功能特性的研究主要集中在体外试验上,通过研究代乳品中不同植物蛋白源的蛋白质组分含量和比率对幼龄反刍动物的影响,能够为代乳品中非乳源蛋白的开发和利用提供依据,并且能够进一步揭示植物蛋白的作用机制。

4 不同蛋白质源在哺乳期犊牛代乳品中的应用

4.1 对犊牛生长性能的影响

乳源蛋白来源于全乳,对哺乳期犊牛生长性能方面的影响与饲喂牛奶效果最为接近,而对于非乳源蛋白,主要包括非乳源动物蛋白和植物蛋白,会由于其来源、替代比例及加工工艺的不同对犊牛的生长性能具有不同的影响^[25]。

血浆蛋白粉在保证氨基酸平衡的情况下,作为代乳品的蛋白质来源在哺乳期犊牛上的应用与全乳蛋白相比能够得到相同的生长效果^[26-27]。但由于血浆蛋白粉中蛋氨酸和异亮氨酸的含量较

低^[13], 血浆蛋白粉替代全乳的比例会影响犊牛的生长性能, Morrison 等^[15]研究表明, 低比例血浆蛋白粉替代全乳蛋白饲喂犊牛后, 能够提高犊牛的生长速度, 但高比例替代时犊牛的平均日增重、饲料转化率都显著低于低比例组和额外添加色氨酸和异亮氨酸的高比例组。血浆蛋白粉影响动物生长性能的机制可能为: 血浆蛋白粉作为易被动物消化吸收的动物蛋白, 具有良好的适口性, 能够提高动物的采食量; 另外, 血浆蛋白粉中含有丰富的色氨酸, 作为 5-羟色胺的前体物质影响动物的采食行为, 当以低比例替代时氨基酸处于平衡状态, 能够通过减少机体内氨基酸分解代谢来提高蛋白质的利用率, 但在没有外源调控氨基酸平衡条件下进行高比例替代时, 会降低饲料中蛋氨酸和异亮氨酸的含量, 血液中游离氨基酸模式变得紊乱, 通过食欲调节系统引起动物厌食, 导致生长速度下降。可通过外源添加或与其他蛋白质源组合来调控氨基酸平衡以实现血浆蛋白粉的高比例替代。

Touchette 等^[28]分别以 0、13.5%、27.0%、40.5% 的比例向代乳品中添加液体鸡蛋, 试验结果表明, 日增重随着添加比例的增加而线性降低, 鸡蛋蛋白作为替代蛋白质并不能达到满意的效果, 这与 Scott 等^[29]和 Quigley^[12]的研究结果一致。限制鸡蛋蛋白应用的因素主要有 2 个: 一是鸡蛋蛋白中含有的抗生物素能够与生物素结合, 使幼畜不能获得足够的必需维生素, 影响脂肪和蛋白质的正常代谢; 二是鸡蛋蛋清中含有的酶抑制剂能够降低蛋白酶的活性甚至使蛋白酶活性完全丧失, 影响幼畜对营养物质的消化吸收, 降低对饲料的利用率。

以植物蛋白作为代乳品蛋白质来源饲喂哺乳期犊牛对其生长性能产生的影响, 主要与植物蛋白的来源和加工工艺有关。以大豆蛋白和大米蛋白为蛋白质源时, 犊牛表现出与乳源蛋白组相近的生长性能, 以小麦蛋白和花生蛋白为蛋白质源时, 犊牛在生长性能上的表现要差于乳源蛋白组^[30], 这与 Ortigues-Marty 等^[31]和 Terui 等^[32]通过添加小麦蛋白替代全乳蛋白饲喂犊牛得到与全乳蛋白相似生长性能的结果不一致, 可能与小麦蛋白添加比例的不同有关。不同植物蛋白源对犊牛生长性能影响的作用机制可能为: 1) 不同来源的植物蛋白因其具有不同的蛋白质组分和氨基酸

组成, 而发挥不同的功能特性。以失去抗原活性球蛋白为主的大豆蛋白和谷蛋白为主的大米蛋白为蛋白质源时, 氨基酸较为平衡且在犊牛机体内的消化率较高, 较易被幼畜消化吸收利用; 而小麦蛋白中含有的醇溶蛋白不易被酶解利用, 高比例替代时会影响幼畜对其消化, 降低蛋白质利用率, 进而影响生长性能。但小麦蛋白中含有丰富的谷氨酰胺, 对犊牛肠道结构和功能具有维持和保护作用, 能够降低应激等产生的负面影响, 关于小麦蛋白的应用效果具有争议, 有待进一步研究。2) 对于同种来源的植物蛋白, 不同的加工工艺对犊牛的生长性能也有不同的影响。未经改性处理的大豆粉中含有大量的抗原蛋白, 可引起蛋白质内源性消耗, 降低饲料蛋白质的利用率, 抗原蛋白还能够引起肠道的致敏反应, 改变肠道组织形态, 降低对营养物质的消化吸收, 从而影响犊牛的生长性能。而经过改性处理的大豆蛋白, 其抗原蛋白大都失活, 不会对幼畜产生负面影响^[33]。

相对于乳源蛋白, 植物蛋白由于氨基酸平衡稍差、消化率低及存在抗营养因子等特点, 限制了其在代乳品中的有效利用, 但通过进行改性加工去除抗营养因子及不同植物蛋白之间配伍或外源添加实现氨基酸平衡后, 植物蛋白能达到和全乳蛋白相同的饲喂效果。

4.2 对犊牛营养物质消化率的影响

哺乳期犊牛对植物蛋白代乳品中营养物质的消化率要低于乳源蛋白和非乳动物蛋白代乳品, 这主要由以下几个原因造成的: 1) 蛋白质源的种类和加工方式。Caugant 等^[34]以脱脂奶粉为唯一蛋白质源、经加热处理的大豆粉和大豆浓缩蛋白部分替代(50%)的 3 种代乳品饲喂犊牛, 研究代乳品中营养物质在犊牛回肠的消化率, 2 个试验组的总氮和氨基酸的表观消化率均低于脱脂奶粉组, 其中大豆粉组与脱脂奶粉组差异显著, 与 Lalles 等^[35]和 Blome 等^[33]的结果一致。2) 植物蛋白代乳品在皱胃中的凝乳效果不及乳源蛋白代乳品。植物蛋白缺少酪蛋白所特有的凝集性, 在皱胃中不能形成凝乳块, 加快了营养物质在皱胃中的排空速率, 使代乳品中的营养物质不能得到充分消化利用^[36]。3) 部分植物蛋白存在的抗营养因子如蛋白酶抑制因子、凝集素、致病毒素等能够造成肠道的损伤及内源蛋白的损失, 降低了植物蛋白的表观消化率^[37]。其产生机制主要为植物

蛋白饲喂犊牛后,加快了营养物质在胃肠道内的转运,较快的流通速率使得在回肠消化物中未消化的蛋白质含量增加;另外,未消化的蛋白质能够刺激肠道内源蛋白的分泌和微生物蛋白的合成,内源蛋白损失增加,降低植物蛋白的表观消化率和真消化率。

4.3 对犊牛胃肠道发育的影响

在犊牛反刍前,皱胃和小肠是犊牛对营养物质消化吸收的重要场所。植物蛋白代乳品由于不能在皱胃内形成凝乳,当皱胃食糜快速排空至小肠后,包括植物贮藏蛋白和抗营养因子在内的主要成分可能会与肠道发生相互作用,造成肠道组织结构的变化,如肠黏膜绒毛的萎缩^[33],并且降低肠道黏膜的酶促消化或吸收能力^[21],不利于犊牛肠道发育。Sissons 等^[38]研究表明,进食未处理的大豆粉会引起犊牛的肠道过敏反应,主要表现为肠黏膜绒毛萎缩,并伴有隐窝增生,影响小肠对营养物质的吸收。其产生机制主要是由于大豆抗原蛋白能够破坏犊牛肠道上皮的完整性,抑制上皮细胞的增殖和寡肽转运蛋白 1 (PEPT1)、二价金属离子转运体 1 (DMT1) 基因的表达,提高肠上皮细胞炎性因子的分泌,引起肠道致敏反应,改变肠道组织结构。但经过改性处理的大豆分离蛋白饲喂犊牛后,对犊牛肠道组织形态发育没有产生显著影响。小麦水解蛋白的谷氨酰胺含量达到 30% 左右,作为细胞增殖的主要能源,能够为肠道黏膜上皮细胞提供营养物质,促进肠黏膜上皮细胞的增殖,改善和修复肠道黏膜屏障的结构功能,对幼畜肠道的发育具有积极作用,目前有关小麦水解蛋白饲喂犊牛后对肠道发育影响的研究较少。可通过对植物蛋白改性加工来有效去除抗营养因子,降低对肠道的损伤;另外,还可通过不同植物蛋白之间的配伍来最大限度的发挥不同蛋白质组分的功能特性。但以植物蛋白为主要蛋白质源时,会加快皱胃排空速率,未消化营养物质在肠道内的大量积聚对肠道组织形态发育和肠道转运是否有影响及作用机制,目前还有待进一步研究。

瘤胃发育情况是实现早期断奶技术的关键因素,虽然乳源蛋白能够被犊牛很好的利用吸收,但对瘤胃的发育具有一定的滞后性,而植物蛋白含有一定的纤维,能够刺激犊牛瘤胃发育,饲喂植物蛋白代乳品的犊牛的瘤胃乳头发育更为成熟^[21]。但植物蛋白中纤维含量不易过高,由于纤维不能

被断奶前犊牛胃肠道充分消化吸收,纤维含量过高容易导致犊牛腹泻等肠道疾病的发生。

4.4 对犊牛免疫与健康的影响

免疫球蛋白为免疫系统中的重要组成部分,主要有免疫球蛋白 A、免疫球蛋白 G、免疫球蛋白 M 等。对于非乳源动物蛋白,其经加工后仍保留丰富的免疫球蛋白,所以非乳源动物蛋白代乳品饲喂动物后能够提升机体免疫力和缓解环境应激。如血浆蛋白粉饲喂犊牛后能够提高血液中免疫球蛋白及补体 3、补体 4 的浓度,增强机体免疫机能;血浆蛋白粉中的免疫球蛋白能够直接与机体肠腔内的病原微生物结合,增强肠道屏障功能,阻止病原微生物的定植和生长。而对于植物蛋白代乳品,不同植物蛋白来源和替代比例对犊牛免疫和健康有不同的影响。小麦水解蛋白中不仅含有抗菌肽、免疫调节肽等多种活性肽,而且谷氨酰胺含量丰富,当机体处于病原侵入和应激状态时,免疫活性肽和谷氨酰胺能够为淋巴细胞供能,提高血液中免疫球蛋白的浓度,增强免疫应答反应。大米蛋白具有较强的清除自由基能力,能够刺激抗氧化基因的表达,并可提高抗氧化酶和谷胱甘肽代谢相关酶的活性来抑制脂质和蛋白质的氧化,有效降低因氧化应激而造成的危害。

腹泻的发生除了由传染性病原体(冠状病毒和轮状病毒、大肠杆菌和球虫等)引起外,还会由非传染性原因引起,如饲喂方式和频率、皱胃的排空速率、食糜在肠道内的转运时间都有可能直接或间接造成腹泻。而以植物蛋白代乳品饲喂犊牛时,皱胃排空速率会增加^[39]。再加上植物蛋白中抗营养因子的存在,会对肠道会产生致敏性,引起肠道损伤,所以植物蛋白代乳品更易引起犊牛肠道疾病。当以植物蛋白作为哺乳期犊牛代乳品的蛋白质来源时,首先应选择经过改性去除抗原因子的蛋白质源,然后以合适的比例或不同植物蛋白配伍来替代乳源蛋白,同时适当增加代乳品的摩尔渗透压浓度以减缓皱胃排空速率,最后可通过外源添加免疫增强剂、酸度调节剂或益生菌等调控 pH 及肠道菌群来增强哺乳期犊牛机体的免疫能力。

5 存在问题及展望

鉴于我国乳制品产量不足,使用乳源蛋白作为代乳品蛋白质来源的成本较高,非乳源蛋白的

开发仍是现阶段重要的研究方向。但有关非乳源蛋白代乳品饲喂犊牛时仍存在一些问題,如:引起犊牛肠道结构损伤的机理以及非乳源蛋白在犊牛机体内的消化代谢过程尚不明确;以植物蛋白作为代乳品蛋白质来源饲喂犊牛时需要调控氨基酸平衡;另外,植物蛋白的改性工艺成本较高,也限制了植物蛋白在代乳品中的应用。

今后应继续对植物蛋白的加工工艺进行研究,开发出能够有效地去除植物蛋白中存在的抗营养因子的改性技术,提高犊牛对非乳源蛋白的消化率和利用率。同时,可考虑根据犊牛的生理阶段及免疫机能的发育情况在代乳品中添加免疫增强剂、益生菌、酶制剂等,来增强犊牛以植物蛋白代乳品的适应能力。不同植物蛋白和乳源蛋白具有不同的物理结构和氨基酸含量,应考虑不同植物蛋白与乳源蛋白之间的组合效应对犊牛的影响,特别是对幼畜消化道形态结构、内环境、消化吸收功能的影响,以开发出更适合于犊牛利用的代乳品蛋白质源。

参考文献:

- [1] National Animal Health Monitoring System. Dairy, part I: reference of dairy cattle health and management practices in the United States [M]. [S. 1]: [s. n.], 2011.
- [2] 任慧波,张永根.大豆蛋白在犊牛代乳料中的应用研究进展 [J].中国饲料,2003(14):26-27.
- [3] GUILLOTEAU P, TOULLEC R, PATUREAU-MIRAND P, et al. Importance of the abomasum in digestion in the preruminant calf [J]. Reproduction, Nutrition, Development, 1981, 21(6A):855-899.
- [4] MIYAZAKI T, MIYAZAKI M, YASUDA J, et al. No abomasal curd formation in pre-ruminant calves after ingestion of a clotting milk replacer [J]. The Veterinary Journal, 2010, 183(2):205-209.
- [5] KIRCHNER D, SCHWEDHELM L, WENGE J, et al. Ultrasonographic imaging of abomasal milk clotting and abomasal diameter in healthy and diarrheic calves [J]. Animal Science Journal, 2015, 86(11):929-936.
- [6] ANON. Interpretive summaries, February 2017 [J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(2):1-10.
- [7] MIYAZAKI T, OKADA K, MIYAZAKI M. Short communication: neonatal calves coagulate first-milking colostrum and produce a large curd for efficient absorption of immunoglobulins after first ingestion [J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(9):7262-7270.
- [8] LONGENBACH J I, HEINRICHS A J. A review of the importance and physiological role of curd formation in the abomasum of young calves [J]. Animal Feed Science and Technology, 1998, 73(1/2):85-97.
- [9] NRC. Nutrient requirements of dairy cattle [S]. 7th ed. Washington, D. C.: National Academies Press, 2001: 214-233.
- [10] 李莹,林晓明.乳清蛋白营养特点与功能作用 [J].中国食物与营养,2008(6):62-64.
- [11] HILL T M, ALDRICH J M, PROESCHEL A J, et al. Feeding neonatal calves milk replacers containing egg proteins [J]. Journal of Dairy Science, 2001, 84(1):265.
- [12] QUIGLEY III J D. Effects of spray-dried whole egg and biotin in calf milk replacer [J]. Journal of Dairy Science, 2002, 85(1):198-203.
- [13] ALMEIDA F N, HTOO J K, THOMSON J, et al. Comparative amino acid digestibility in US blood products fed to weanling pigs [J]. Animal Feed Science and Technology, 2013, 181(1/2/3/4):80-86.
- [14] POLO J, QUIGLEY J D, RUSSELL L E, et al. Efficacy of spray-drying to reduce infectivity of pseudorabies and porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) viruses and seroconversion in pigs fed diets containing spray-dried animal plasma [J]. Journal of Animal Science, 2005, 83(8):1933-1938.
- [15] MORRISON S Y, CAMPBELL J M, DRACKLEY J K. Amino acid supplementation of calf milk replacers containing plasma protein [J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(6):4637-4649.
- [16] 任广旭,朱大渊,张鸿儒,等.大豆与乳清蛋白协同释放必需氨基酸的动态模式研究 [J].中国食物与营养,2015,21(12):60-63.
- [17] 孙泽威,秦贵信,张庆华.大豆抗原蛋白对犊牛生长性能、日粮养分消化率和肠道吸收能力的影响 [J].中国畜牧杂志,2005,41(11):30-33.
- [18] REEDS P J, BURRIN D G, STOLL B. Intestinal glutamate metabolism [J]. The Journal of Nutrition, 2000, 130(4):978S-982S.
- [19] 李婷琳,孙泽威.大豆抗原蛋白去除工艺的研究进展 [J].大豆科学,2012,31(2):311-315.
- [20] 张锐昌,徐志宏,刘鄂渭.小麦蛋白改性技术的研究进展 [J].粮食与饲料工业,2006(2):25-27.
- [21] 李辉.蛋白水平与来源对早期断奶犊牛消化代谢及

- 胃肠道结构的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2008.
- [22] OSBORNE T B. The vegetable proteins[M]. 2nd ed. London: Longmans, 1924.
- [23] LALLES J P, DREAU D, HUET A, et al. Systemic and local gut-specific antibody responses in preruminant calves sensitive to soya[J]. Research in Veterinary Science, 1995, 59(1): 56-60.
- [24] 王正旋. 大米蛋白体外消化及抗氧化作用效果的研究[D]. 硕士学位论文. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- [25] DAVIS C L, DRACKLEY J K, TOMKINS T. The development, nutrition, and management of the young calf[M]. Ames: Iowa State University Press, 1998: 339.
- [26] QUIGLEY III J D, WOLFE T M. Effects of spray-dried animal plasma in calf milk replacer on health and growth of dairy calves[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(2): 586-592.
- [27] JONES C M, JAMES R E, QUIGLEY J D, et al. Influence of pooled colostrum or colostrum replacement on IgG and evaluation of animal plasma in milk replacer[J]. Journal of Dairy Science, 2004, 87(6): 1806-1814.
- [28] TOUCHETTE K J, O' BRIEN M L, COALSON J A. Liquid egg as an alternative protein source in calf milk replacers[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(8): 2622-2628.
- [29] SCOTT T A, TOMKINS T, VERMEIRE D, et al. Evaluation of alternative protein milk replacers on growth and health of Holstein heifer calves[J]. Journal of Dairy Science, 1999, 82(1): 46.
- [30] HUANG K W, TU Y, SI B W, et al. Effects of protein sources for milk replacers on growth performance and serum biochemical indexes of suckling calves[J]. Animal Nutrition, 2015, 1(4): 349-355.
- [31] ORTIGUES-MARTY I, HOCQUETTE J F, BERTRAND G, et al. The incorporation of solubilized wheat proteins in milk replacers for veal calves: effects on growth performance and muscle oxidative capacity[J]. Reproduction Nutrition Development, 2003, 43(1): 57-76.
- [32] TERUI H, MORRILL J L, HIGGINS J J. Evaluation of wheat gluten in milk replacers and calf starters[J]. Journal of Dairy Science, 1996, 79(7): 1261-1266.
- [33] BLOME R M, DRACKLEY J K, MCKEITH F K, et al. Growth, nutrient utilization, and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein[J]. Journal of Animal Science, 2003, 81(6): 1641-1655.
- [34] CAUGANT I, TOULLEC R, FORMAL M, et al. Digestibility and amino acid composition of digesta at the end of the ileum in pre-ruminant calves fed soya-bean protein[J]. Reproduction Nutrition Development, 1993, 33(4): 335-347.
- [35] LALLES J P, TOULLEC R, BRANCO PARDAL P. Hydrolyzed soy protein isolate sustains high nutritional performance in veal calves[J]. Journal of Dairy Science, 1995, 78(1): 194-204.
- [36] WITTEK T, ERNSTBERGER M, MUCKENHUBER M, et al. Effects of wheat protein in milk replacers on abomasal emptying rate in calves[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2016, 100(2): 264-270.
- [37] MONTAGNE L, CRÉVIEU-GABRIEL I, TOULLEC R, et al. Influence of dietary protein level and source on the course of protein digestion along the small intestine of the veal calf[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(3): 934-943.
- [38] SISSONS J W, SMITH R H, HEWITT D, et al. Prediction of the suitability of soya-bean products for feeding to preruminant calves by an *in-vitro* immunochemical method[J]. British Journal of Nutrition, 1982, 47(2): 311-318.
- [39] BURGSTALLER J, WITTEK T, SMITH G W. Invited review: abomasal emptying in calves and its potential influence on gastrointestinal disease[J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(1): 17-35.

Research Progress of Protein Source in Milk Replacer of Sucking Calves

LIU Yunlong DIAO Qiyu TU Yan*

(Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Protein source of calves' diet determines the feed effect and economic benefit during the sucking calves breeding process. From the 1960s to the present, the source of protein in milk replacer of sucking calves has undergone several stages of using milk proteins, casein, whey protein, non-milk animal protein and plant protein. As the price of milk protein increases, the cost of milk replacer increases, it has become an important research direction to seek non-milk protein that can provide the same feeding effect as milk protein with lower cost. On the basis of summarizing the nutritional characteristics of different protein sources and functional properties of protein components, this paper focused on the different protein sources of milk replacers on sucking calves' growth performance, nutrient digestibility, gastrointestinal development, immune and health, which provided a theoretical basis for the development of non-milk protein sources in milk replacer. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(2):536-543]

Key words: plant protein; calves; milk replacer; protein source; protein components

* Corresponding author, professor, E-mail: tuyan@caas.cn