

酵母培养物在反刍动物高精料饲料条件下的应用研究进展

赵国宏^{1,2} 王世琴¹ 刁其玉¹ 张乃锋^{1*}

(1.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;

2.甘肃农业大学动物科学技术学院,兰州 730070)

摘要: 在集约化生产条件下,为追求高生产性能,常以高精料的营养策略饲喂高产奶牛和高强度育肥肉牛、肉羊。长期饲喂高精料或突然采食大量含易发酵碳水化合物饲料时,动物易出现瘤胃代谢紊乱,诱发代谢性瘤胃酸中毒及腹泻等多种代谢性疾病。如何在高精料饲料条件下保持瘤胃健康是进行营养调控的关键。酵母培养物作为微生态制剂的一种,已在反刍动物养殖中得到了广泛应用和研究,在维持瘤胃健康、提高动物生产性能和免疫功能等方面具有明显的作用。本文总结了酵母培养物的作用机制及其在高精料饲料条件下的应用效果,并阐述了酵母培养物在反刍动物饲料中适宜的添加量,为酵母培养物在反刍动物饲料中合理利用提供参考和理论依据。

关键词: 高精料;反刍动物;酵母培养物;研究进展

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)08-3473-09

在集约化生产条件下,为追求高生产性能,常以高精料的营养策略饲喂高产奶牛和高强度育肥肉牛、肉羊,这种饲养方式容易导致反刍动物发生营养健康问题。通常情况下,反刍动物瘤胃 pH 维持在 6.5~7.5,若长期饲喂高精料或突然采食大量含易发酵碳水化合物饲料时,会出现瘤胃代谢紊乱,诱发瘤胃酸中毒及腹泻等多种代谢性疾病^[1]。如何在高精料饲料条件下保持瘤胃健康、减少瘤胃酸中毒的发生是进行营养调控的关键。近年来,随着人们对食品安全问题的关注度不断提高以及抗生素禁用范围的扩大,酵母培养物作为一种安全环保的饲料添加剂,越来越受到生产者和学者的重视,已在家畜养殖中得到了广泛应用和研究^[2-3]。本文分别从酵母培养物的作用机制、高精料饲料条件下的应用研究进展及其适宜添加量等方面进行综述,阐明酵母培养物在影响瘤胃发

酵代谢和改善动物生产性能方面的可能作用,为酵母培养物在反刍动物饲料中合理利用提供参考。

1 酵母培养物概况

酵母是单细胞真菌,属于兼性厌氧生物,种类达 1 000 多种,具有庞大的家族系统。在动物生产中,常用的酵母菌种主要是酿酒酵母,产品形式主要有 2 类:一类是活性干酵母;一类是酵母培养物。活性干酵母作为直接饲喂益生菌,主要以活酵母细胞形式应用于畜禽养殖中,应用效果取决于其在瘤胃中存活的酵母细胞数量^[2]。但由于酵母菌无法在瘤胃内长期定植,效果并不稳定,人们一直在寻求更方便保存和使用的、可以代替活性酵母菌功能的产品,因此,对酵母培养物的研究越来越多。通过酵母菌发酵产生的酵母培养物,主

收稿日期:2019-01-16

基金项目:国家重点研发计划课题(2017YFD0502001);国家肉羊产业技术体系建设专项(CARS-38)

作者简介:赵国宏(1987—),男,江苏南京人,硕士研究生,从事动物营养与饲料研究。E-mail: 459696251@qq.com

* 通信作者:张乃锋,研究员,博士生导师,E-mail: zhangnaifeng@caas.cn

要由变性培养基、酵母细胞和酵母代谢产物 3 部分组成,富含蛋白质、小肽、氨基酸、核苷酸、有机酸、寡糖、酶和多种未知生长因子等,活菌数量很少或是没有,仅作为动物体的营养活性物质,在瘤胃中起着益生菌的作用^[4]。关于酵母培养物的生产工艺,当前主要利用液固态相结合的方式生产酵母培养物,即通过液体培养基获得发酵菌种,然后利用固体培养基进行发酵,最后经过合理的干燥工艺和培养基的灭菌熟化工艺,获得高生物活性酵母培养物。酵母培养物的蛋白质含量为 17.0%~22.0%,小肽含量为 7.2%~9.9%,甘露寡糖含量为 1%~5%,有的酵母培养物同时含有残留的枯草芽孢杆菌(3.2×10^6 CFU/g)和活酵母细胞(4.5×10^6 CFU/g)^[5-6],不同生产工艺,成分会有差异。有研究表明,酵母培养物具有提高反刍动物生产性能、改善饲料消化率、调节瘤胃内环境和提高免疫功能等作用^[2-3],因其无毒副作用、无残留等特点,在奶牛、肉牛和肉羊等反刍动物领域具有非常大的发展空间和潜力。

2 作用机理

酵母培养物在机体内发挥作用主要通过 2 个方面进行:一是酵母培养物中的蛋白质、氨基酸、肽类等物质的营养作用;二是酵母培养物中的营养活性成分和未知生长因子的营养调控作用。

2.1 营养作用

瘤胃内环境的稳定是保持反刍动物健康的重要前提。酵母培养物可以稳定瘤胃 pH,保持瘤胃内环境的稳定,可以促进瘤胃上皮对短链脂肪酸的吸收,降低高精料诱发的炎症反应,减少由高谷物饲料诱导的亚急性瘤胃酸中毒(subacute ruminal acidosis, SARA)发生的风险。其主要机制为:一方面,酵母培养物可以为乳酸发酵菌,如埃氏巨型球菌和反刍动物月形单胞菌等,提供必不可少的氨基酸、肽、维生素和有机酸等营养物质,可以刺激瘤胃内乳酸利用菌的生长,从而将过多的乳酸转变为短链脂肪酸,减少乳酸在瘤胃内蓄积,起到稳定瘤胃 pH 的作用^[7];另一方面,酵母培养物可以影响反刍动物的采食行为,通过增加采食频率来抑制采食后瘤胃 pH 的降低^[8-10]。酵母培养物除了可以稳定瘤胃内环境外,还具有提高饲料消化率和生产性能的作用。酵母培养物能够提高饲料在瘤胃内的消化率,促进有机物和纤维的降解,其

主要机制是瘤胃微生物区系发生改变^[11]。补充酵母培养物可以增加瘤胃微生物蛋白的产量,使小肠中可利用氨基酸增加,促进了蛋白质的沉积,从而提高生产性能^[12]。综上,酵母培养物主要是通过影响反刍动物瘤胃发酵和营养物质消化代谢的途径来保证消化道微生态环境的平衡和动物生产性能的发挥。

2.2 营养调控作用

反刍动物要想获得较高的生产性能,其自身的免疫能力尤为重要,而酵母培养物的营养调控作用主要体现在提高动物机体的免疫力和抗氧化能力方面。酵母培养物可增加牛、羊血清中免疫球蛋白 A (IgA) 含量和血浆超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性,对提高机体免疫和抗氧化方面具有一定的作用^[13-15],发挥该作用的主要成分可能是酵母细胞壁中丰富的酵母多糖,主要为甘露寡糖和葡聚糖,这 2 种成分具有激活机体非特异性和特异性免疫反应的作用,能够提高反刍动物免疫功能^[16-17]。有研究表明,酵母培养物具有提高育肥牛机体黏膜免疫的作用,可以减少粪便中沙门氏菌和大肠杆菌数量^[18]。酵母培养物中的酵母 β -葡聚糖和甘露寡糖能够改善犊牛小肠黏膜形态结构,可显著提高肠绒毛高度/隐窝深度^[19],具有免疫调节作用,能够促进炎症细胞因子肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、白细胞介素-6 (IL-6) 的释放^[20],显著提高犊牛血清中的免疫球蛋白 M (IgM) 含量^[21]。Shen 等^[22]通过十二指肠灌注酵母培养物,提高了肉牛母牛肠道 IgA 的含量,也说明其能够改善黏膜免疫。总结酵母培养物的营养调控作用,其主要途径是酵母培养物中的酵母多糖及其他代谢产物协同发挥作用,但酵母培养物成分复杂,其作用机制尚不是特别清楚,仍需要进一步探究。

3 高精料饲料条件下添加酵母培养物的应用效果

大多数的研究表明,酵母培养物在高精料饲料或饲料由低精料向高精料饲料过渡期间,对反刍动物生产性能和维持瘤胃功能方面效果更为显著^[10]。近几年,国内外关于酵母培养物在反刍动物高精料饲料条件下的应用研究也不断增多,主要研究结果汇总在表 1 中。

表 1 酵母培养物在反刍动物高精料饲料条件下的应用效果

Table 1 Application effects of yeast culture under the condition of ruminants high-concentration diets

动物种类 Animal species	饲料类型 Diet type	添加量 Supplementation	试验动物数 量和试验时间 Experimental animal number and time	结果 Results	参考 文献 References
泌乳奶牛 Dairy cows	高、低淀粉饲料 (淀粉含量分别为 29%和 23%)	15 g/(头·d)	56 头;28 d	可提高泌乳性能,维持瘤胃 pH 的稳定,促进纤维的消化和微生物蛋白的合成,减少急性期反应	[9]
泌乳早期奶牛 Early lactation cows	高、低淀粉饲料 (淀粉含量分别为 29%和 23%)	15 g/(头·d)	56 头;14 周	改善泌乳性能,饲喂高淀粉饲料时,可以降低由高谷物饲料诱导的 SARA 发生的风险	[10]
泌乳早期奶牛 Early lactation cows	高精料诱导	14 g/(头·d)	8 头;5 周	对采食量、产奶量、乳脂和乳蛋白含量无显著影响,在 SARA 发生期间,可以稳定瘤胃 pH,抑制乳脂下降,降低炎症反应	[23]
泌乳中期奶牛 Medium lactation cows	高精料诱导	56 g/(头·d)	8 头;28 d (第 26 天时进行 高精料诱导)	在突然饲喂高可发酵淀粉期间,补充酵母培养物有减少乳脂降低的作用	[24]
奶牛后备牛 Dairy heifer	高、低精料饲料 (精料分别占 60%、20%)	1 g/kg 饲料	32 头;133 d	有降低采食量的趋势	[25]
育肥牛 Fattening cattle	高精料饲料 (精料占 65%)	14、28 g/(头·d)	180 头;56 d	对生长性能没有显著影响,提高了机体抗氧化能力	[26]
育肥牛 Fattening cattle	高精料饲料 (精料占 65%)	14、28 g/(头·d)	36 头;56 d	降低了疫苗注射导致的应激,改善生长性能	[27]
肉牛小母牛 Beef heifers	高谷物饲料	18 g/(头·d)	5 头;28 d	提高干物质和中性洗涤纤维的消化率,十二指肠灌注酵母培养物,改善肠道黏膜免疫反应	[22]
育肥期奶公犊 Male dairy calves	育肥期饲料 (精料占 85%)	20 g/kg 饲料	30 头;294 d	对生产性能和屠宰性能无显著影响,通过降低采食量,提高了饲料消化率,进而保持生产性能	[28]
育肥牛 Fattening cattle	高精料饲料	50 g/(头·d)	45 头;98 d	对采食量、增重及屠宰性能无显著影响,但可改善牛肉的嫩度,提升牛肉的风味	[29]
育肥期羔羊 Fattening lambs	高精料饲料添加 3 种 不同酵母培养物及 其复合制剂	4 g/(头·d)	20 只;50 d	可以提高粗蛋白质和中性洗涤纤维的消化率,增加了丙酸摩尔比,提高血浆葡萄糖含量	[30]
育肥期羔羊 Fattening lambs	不同精粗比 (5:5、3:7) 饲料	0、20 g/kg 饲料	16 只;50 d	提高干物质采食量和平均日增重;在高精料饲料中,可促进羔羊瘤胃发育;提高了粗蛋白质和中性洗涤纤维的消化率	[31]

3.1 奶牛

在奶牛养殖中,给高产奶牛饲喂高精料饲料较为普遍,饲养过程中也可因饲喂不及时造成饥饿状态下大量采食,特别是精粗料分开饲喂情况下易引起挥发性脂肪酸(VFA)和乳酸的大量累积,从而发生酸中毒,如 Alzahal 等^[32]研究发现,当给奶牛饲喂高淀粉饲料时,会影响瘤胃 pH 和纤维的消化率,并且降低乳脂的含量和诱发 SARA,导致产奶量下降。在奶牛上的研究表明,酵母培养物在影响奶牛采食量、瘤胃内环境稳定、营养物质消化代谢以及提高奶牛泌乳性能和改善乳成分等方面具有一定的作用。

酵母培养物对奶牛采食量的影响差异较大。有研究表明,在奶牛泌乳早期补充酵母培养物,可以提高干物质采食量,主要是通过增加采食频率和提高饲料中性洗涤纤维降解速度,增加饲料的摄入量^[33]。也有研究表明,在高精料饲料条件下,补充酵母培养物不影响奶牛干物质采食量^[9-10,23]。另外,Lascano 等^[25]在小母牛上的研究发现,补充酵母培养物甚至有降低干物质采食量的趋势。这可能与所处的生理阶段、饲料组成不同有关。

酵母培养物在稳定瘤胃 pH 方面效果明显。在高精料饲料条件下,酵母培养物具有减少由高谷物饲料诱导的 SARA 发生的风险的作用。Dias 等^[9-10]关于奶牛高、低淀粉饲料(29%和23%)的研究发现,与不补充酵母培养物相比,在高淀粉饲料中补充酵母培养物,提高了瘤胃 pH,降低瘤胃乳酸含量,血浆中触珠蛋白的含量降低28%,促进了瘤胃上皮对短链脂肪酸的吸收,减少 SARA 发生的风险。Li 等^[23]研究也表明,在饲喂高精料饲料时,酵母培养物可以稳定瘤胃 pH,当在 SARA 发生期间,酵母培养物可降低瘤胃脂多糖(LPS)含量,可降低炎症反应,从而降低 SARA 的程度。其机制是补充酵母培养物可以促进瘤胃上皮对短链脂肪酸的吸收,主要是影响了瘤胃内 SCFA 受体和转运蛋白的 mRNA 表达,影响了瘤胃中短链脂肪酸、乳酸和酮的跨上皮转运^[34],但其具体机制还需进一步明确。但值得注意的是,酵母培养物抑制瘤胃 pH 降低的作用是有限的,当精料喂量过高发生 SARA 时,则无法提高瘤胃 pH^[10]。

在营养物质消化代谢方面,酵母培养物主要提高了中性洗涤纤维的消化率^[10,25,33],提高了微生物蛋白的产量^[10],促进了饲料中的氮向乳蛋白

中沉积,究其原因,主要是酵母培养物可以使高精料饲料条件下瘤胃内环境更加稳定,更有利于营养物质的消化代谢^[11]。

关于酵母培养物在奶牛高精料饲料中应用的研究,大多数研究认为其可以提高泌乳性能,但应用效果受饲料组成、生理阶段等因素影响。Poppy 等^[2]指出,在饲喂高淀粉饲料时,无论是全混合日粮饲喂还是额外补充的饲喂方式,补充酵母培养物均可提高产奶量和乳成分,不受酵母培养物饲喂方式的影响。Lascano 等^[25]在小母牛上的研究则发现,补充酵母培养物对第1泌乳期的产奶量没有显著影响。Longuski 等^[24]研究也指出,添加酵母培养物可以促进3.5%脂肪校正乳(FCM)的产量。Dias 等^[9]研究发现,与不补充酵母培养物相比,在高淀粉饲料中补充酵母培养物,其 FCM 和能量校正乳(ECM)产量分别提高了2.2和2.0 kg/d。分析其原因,主要是前文提到的酵母培养物可改善瘤胃内环境的稳定,促进营养物质的消化代谢,增加营养物质向乳中沉积等综合作用的结果。

乳脂是奶牛泌乳性能的重要指标之一,乳脂含量升高可以提高标准乳的产量。有研究发现,酵母培养物具有抑制由于饲喂高易发酵碳水化合物导致的乳脂下降的作用。Longuski 等^[24]给泌乳中期的荷斯坦奶牛饲喂高精料饲料,发现在突然饲喂高精料期间,补充酵母培养物有抑制乳脂降低的作用。Li 等^[23]在 SARA 发生期间,补充酵母培养物可增加乳脂的含量(2.71%~2.92%)。推测可能是因为补充酵母培养物可以促进纤维分解菌的生长,减少乙酸比例的下降,乙酸是合成乳脂的关键物质,也可能是因为酵母培养物影响了关键脂肪合成酶的基因表达。有研究表明,高精料饲料条件下,瘤胃内环境的改变影响了脂肪酸的氢化过程,减少了瘤胃中特定不饱和脂肪酸的产生,从而减少乳中的乳脂合成^[35],酵母培养物可能具有抑制此过程的作用,但其具体机制还有待进一步阐明。

综合以上内容可以看出,高精料饲料条件下,酵母培养物对采食量无显著影响,但在提高营养物质消化、稳定瘤胃内环境、减少由高谷物饲料诱导的 SARA 发生的风险、提高奶牛生产性能等方面具有一定的作用。

3.2 育肥牛

酵母培养物在育肥牛高精料饲粮条件下的研究相对比较少。有研究表明,酵母培养物可以改善高精料饲喂时肉牛瘤胃 pH 的稳定性,能够提高有机物和中性洗涤纤维的消化率,降低瘤胃 LPS 含量,减少炎症反应程度,并发现将酵母培养物通过十二指肠灌注,可改善肉牛肠道免疫应答,达到抗生素的相似效果^[22]。Deters 等^[26-27]研究表明,饲粮(精料占 65%)中补充酵母培养物对育肥牛生长性能没有显著影响,但可提高机体抗氧化能力,降低炎症标志物的水平。Titi 等^[28]研究发现,在饲粮(精料占 85%)中添加 20 g/kg 的酵母培养物,不影响育肥牛生长性能,但降低了干物质采食量,主要通过提高饲料消化率,最终保持生产性能的,并且对屠宰性能和肉品质没有显著影响。Swyers 等^[36]研究指出,在饲粮(精料占 83%)中添加酵母培养物,不仅不能促进肉牛体重的增长,反而使试验组平均日增重比对照组少了 8.0%,但在改善肉品质方面有一定的积极作用,可以使牛肉等级分数得到提高,可能是因为补充酵母培养物促进了肌内脂肪的沉积,增加了牛肉的嫩度,提高了牛肉大理石花纹等级评价。Geng 等^[29]研究得出,高精料饲粮条件下补充酵母培养物,对育肥牛采食量、增重及屠宰性能没有显著影响,但可以改善牛肉的嫩度,提升牛肉的风味。综合肉牛上的研究结果可以看出,酵母培养物在提高肉牛生产性能方面作用有限,但在保持瘤胃健康、提高饲料效率和改善肉品质方面可能具有一定的作用,但其机制尚不明确。

3.3 育肥羊

随着标准化、工厂化养羊的发展,为达到快速生长的目的,常采用高精料饲粮育肥肉羊。高精料饲粮可以提高肉羊的干物质采食量和生长性能^[37],但过度饲喂高精料易导致瘤胃 pH 急剧下降而诱发酸中毒^[38]。酵母培养物在促进育肥羊健康方面具有一定的积极作用,但与饲粮、酵母培养物发酵工艺等因素有关。Malekkhahi 等^[30]在高精料饲粮条件下,添加酵母培养物对育肥羊干物质采食量、日增重和饲料转化效率没有显著影响,但可以提高粗蛋白质和中性洗涤纤维的消化率。也有研究得出类似的结果,闫佰鹏等^[39]发现,在不同淀粉来源饲粮(精粗比为 6.5:3.5)中添加酵母培养物对育肥羊采食量和生长性能没有显著影响,

但可以提高中性洗涤纤维的表观消化率。Opsit 等^[40]采用体外法研究得出,不同精粗比饲粮条件下,活性酿酒酵母培养物对瘤胃发酵的影响略大于灭活酿酒酵母培养物,酵母培养物作用的发挥依赖于发酵底物,认为高纤维饲粮下作用效果更明显,高精料饲粮条件下作用则较小。Tripathi 等^[41]研究了精粗比为 75:25 的饲粮条件下,酿酒酵母培养物可以提高羔羊日增重和饲料转化效率,促进微生物蛋白的合成。Özsoy 等^[42]研究表明,添加 4.5% 的活性酵母培养物提高了育肥期山羊的体增重,减少了大肠菌群总数。酵母培养物在奶牛和肉牛高精料饲粮条件下具有明显的调控瘤胃健康的作用,但在羊上研究相对比较少,针对特定饲粮条件下酵母培养物的效果,还需要进一步的研究。

4 酵母培养物在高精料饲粮条件下的适宜添加量

酵母培养物作为饲料添加剂,其适宜的添加量对于作用效果的发挥非常重要。有研究表明,在奶牛高精料饲粮中添加 14、15 或 56 g/(d·头)的酵母培养物,在提高奶牛泌乳性能和稳定瘤胃 pH 方面均具有一定的效果^[9-10,24]。Zaworski 等^[43]研究表明,围产期饲喂 56 或 112 g/d 酵母培养物,产前生产性能方面没有表现出剂量的效应。Ramsing 等^[44]比较了每天饲喂 0、57 和 227 g 酵母培养物对生产性能的影响,观察到酵母培养物可以提高奶牛泌乳性能,但体况和采食行为在 57~227 g 添加量间没有显著差异。综上,酵母培养物在奶牛高精料饲粮中的推荐添加量为 15~57 g/(d·头)。

在肉牛和肉羊上的研究,Li 等^[23]研究表明,高精料饲粮饲喂时,添加 18 g/(d·头)酵母培养物可稳定肉牛瘤胃 pH 和提高有机物和中性洗涤纤维消化率。Deters 等^[26-27]在肉牛饲粮中补充 14 g/(d·头)酵母培养物,可提高机体抗氧化能力。Swyers 等^[36]研究指出,添加 56 g/(d·头)酵母培养物,在改善牛肉品质方面有一定的积极作用。Geng 等^[29]研究表明,添加 50 g/(d·头)酵母培养物对育肥牛生长性能无显著影响,但可以改善肉品质。寇慧娟等^[31]在绒山羊羔羊饲粮(精粗比为 5:5)中添加 2% 酵母培养物,提高了中性洗涤纤维和粗蛋白质表观消化率。Malekkhahi 等^[30]

在育肥羊高精料饲料中添加 4 g/(d·头) 酵母培养物可以提高粗蛋白质和中性洗涤纤维消化率。闫佰鹏等^[39]在育肥湖羊饲料中添加 1% 酵母培养物提高了中性洗涤纤维表观消化率。Özsoy 等^[42]在奶牛饲料中添加 0、1%、3% 和 4.5% 的酵母培养物, 认为添加 4.5% 在提高生长性能方面较好。关于酵母培养物在肉牛上的添加剂量可推荐为 14~50 g/(d·头), 在肉羊饲料中的添加量推荐为 1%~3%。

酵母培养物含有酵母细胞壁成分 β -葡聚糖和甘露聚糖等糖类、细胞可溶物、维生素、蛋白质、脂质和有机酸等成分^[45]。过量饲喂, 酵母培养物中的活性成分可能会刺激白细胞的吞噬作用, 增加活性氧、炎症介质和细胞因子的产生^[46], 更大添加量的酵母培养物可能导致机体促炎症状态的发生。由于酵母培养物生产工艺不同, 产品质量差异较大, 其在反刍动物上的适宜添加量并不一致, 还需要针对某种特定的产品、不同动物种类和不同饲料条件进行系统的研究。

5 小 结

综合酵母培养物在奶牛、肉牛和肉羊上的研究发现, 在反刍动物高精料饲料条件下, 添加酵母培养物可能具有稳定瘤胃 pH、提高饲料养分表观消化率和生产性能的作用, 但不同的饲料组成、不同生理阶段, 应用效果差异较大。酵母培养物在奶牛上的研究相对比较多, 对于发挥奶牛高产具有一定的积极作用, 但其在育肥牛、羊上的研究相对比较少, 尤其是在高精料饲料条件下, 补充酵母培养物是否能够调控瘤胃健康以及是否对肉品质产生影响等还需要进一步明确。酵母培养物的应用效果受酵母培养物生产所使用的菌株、发酵工艺等因素影响, 不同产品效果差异较大, 针对不同生产工艺生产的酵母培养物, 其适宜的添加量、特定饲料条件下的应用效果及其对胃肠道微生物区系的影响等方面还需进一步深入研究。

参考文献:

[1] 王洪荣. 反刍动物瘤胃酸中毒机制解析及其营养调控措施[J]. 动物营养学报, 2014, 26(10): 3140-3148.

[2] POPPY G D, RABIEE A R, LEAN I J, et al. A meta-analysis of the effects of feeding yeast culture pro-

duced by anaerobic fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* on milk production of lactating dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2012, 95(10): 6027-6041.

- [3] WAGNER J J, ENGLE T E, BELKNAP C R, et al. Meta-analysis examining the effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on feedlot performance and carcass traits [J]. The Professional Animal Scientist, 2016, 32(2): 172-182.
- [4] 仲伟光, 祁宏伟, 赵玉民. 酵母菌制剂在调控反刍动物生产性能和瘤胃生态中的应用[J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54(8): 26-30.
- [5] 王卫正, 刘青, 张香云, 等. 酵母培养物对奶牛生产性能及抗氧化功能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2016, 52(19): 61-66.
- [6] 闫碧川, 李振乾, 李胜利, 等. 不同酵母培养物对泌乳中后期奶牛生产性能、养分表观消化率以及血清指标的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(7): 2732-2740.
- [7] DESNOYERS M, GIGER-REVERDIN S, BERTIN G, et al. Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants [J]. Journal of Dairy Science, 2009, 92(4): 1620-1632.
- [8] BACH A, IGLESIAS C, DEVANT M. Daily rumen pH pattern of loose-housed dairy cattle as affected by feeding pattern and live yeast supplementation [J]. Animal Feed Science and Technology, 2007, 136(1/2): 146-153.
- [9] DIAS A L G, FREITAS J A, MICAI B, et al. Effects of supplementing yeast culture to diets differing in starch content on performance and feeding behavior of dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(1): 186-200.
- [10] DIAS A L G, FREITAS J A, MICAI B, et al. Effect of supplemental yeast culture and dietary starch content on rumen fermentation and digestion in dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(1): 201-221.
- [11] JIANG Y, OGUNADE I M, QI S, et al. Effects of the dose and viability of *Saccharomyces cerevisiae*. 1. Diversity of ruminal microbes as analyzed by Illumina MiSeq sequencing and quantitative PCR [J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(1): 325-342.
- [12] HRISTOV A N, VARGA G, CASSIDY T, et al. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on ruminal fermentation and nutrient utilization in dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2010, 93(2):

- 682-692.
- [13] ALUGONGO G M, XIAO J X, CHUNG Y H, et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on dairy calves: performance and health[J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(2):1189-1199.
- [14] 张爱忠, 卢德勋, 姜宁, 等. 酵母培养物对绒山羊机体抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(3):781-786.
- [15] 王兰惠. 灌注酵母培养物对绵羊血液生化指标、免疫及抗氧化功能的影响[D]. 硕士学位论文. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- [16] 谢明欣, 王海荣, 杨金丽, 等. 酵母甘露寡糖对蒙古绵羊生长性能、血清免疫和炎症及抗氧化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(1):219-226.
- [17] 顾鲲鹏, 赵连生, 王留香, 等. 饲粮中添加酵母 β -葡聚糖对围产期奶牛生产性能、血清生化指标及抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(6):2164-2171.
- [18] FEYE K M, ANDERSON K L, SCOTT M F, et al. Abrogation of *Salmonella* and *E. coli* O157:H7 in feedlot cattle fed a proprietary *Saccharomyces cerevisiae* fermentation prototype[J]. Journal of Veterinary Science & Technology, 2016, 7(4):1000350.
- [19] MA T, TU Y, ZHANG N F, et al. Effects of dietary yeast β -glucan on nutrient digestibility and serum profiles in pre-ruminant Holstein calves[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(4):749-757.
- [20] 邵强, 黄友解, 韩月, 等. 酵母细胞壁的结构组成、生物学功能及在养殖业中的应用[J]. 浙江畜牧兽医, 2017, 42(1):13-16.
- [21] 金亚东, 张力莉, 陈绍淑, 等. 甘露寡糖添加方式对哺乳期犊牛生长性能、粪便菌群及血清免疫指标的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2016, 43(11):2922-2930.
- [22] SHEN Y Z, WANG H R, RAN T, et al. Influence of yeast culture and feed antibiotics on ruminal fermentation and site and extent of digestion in beef heifers fed high grain rations[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(9):3916-3927.
- [23] LI S, YOON I, SCOTT M, et al. Impact of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product and subacute ruminal acidosis on production, inflammation, and fermentation in the rumen and hindgut of dairy cows[J]. Animal Feed Science and Technology, 2016, 211:50-60.
- [24] LONGUSKI R A, YING Y, ALLEN M S. Yeast culture supplementation prevented milk fat depression by a short-term dietary challenge with fermentable starch[J]. Journal of Dairy Science, 2009, 92(1):160-167.
- [25] LASCANO G J, ZANTON G I, SUAREZ-MENA F X S, et al. Effect of limit feeding high- and low-concentrate diets with *Saccharomyces cerevisiae* on digestibility and on dairy heifer growth and first-lactation performance[J]. Journal of Dairy Science, 2009, 92(10):5100-5110.
- [26] DETERS E L, STOKES R S, GENTHER-SCHROEDER O N, et al. Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in receiving diets of newly weaned beef steers. I. Growth performance and antioxidant defense[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(9):3897-3905.
- [27] DETERS E L, STOKES R S, GENTHER-SCHROEDER O N, et al. Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in receiving diets of newly weaned beef steers. II. Digestibility and response to a vaccination challenge[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(9):3906-3915.
- [28] TITI H H, ABDULLAH A Y, LUBBADEH W F, et al. Growth and carcass characteristics of male dairy calves on a yeast culture-supplemented diet[J]. South African Journal of Animal Science, 2008, 38(3):174-183.
- [29] GENG C Y, REN L P, ZHOU Z M, et al. Comparison of active dry yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and yeast culture for growth performance, carcass traits, meat quality and blood indexes in finishing bulls[J]. Animal Science Journal, 2016, 87(8):982-988.
- [30] MALEKKHAHI M, TAHMASBI A M, NASERIAN A A, et al. Effects of essential oils, yeast culture and malate on rumen fermentation, blood metabolites, growth performance and nutrient digestibility of Baluchi lambs fed high-concentrate diets[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2015, 99(2):221-229.
- [31] 寇慧娟, 陈玉林, 刘敬敏, 等. 酵母培养物对羔羊生产性能、营养物质表现消化率及瘤胃发育的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(8):45-50.
- [32] ALZAHAL O, DIONISSOPOULOS L, LAARMAN A H, et al. Active dry *Saccharomyces cerevisiae* can alleviate the effect of subacute ruminal acidosis in lactating dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2014, 97(12):7751-7763.
- [33] ALLEN M S, YING Y. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on ruminal starch diges-

- tion are dependent upon dry matter intake for lactating cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95 (11) : 6591-6605.
- [34] MILLER-WEBSTER T, HOOVER W H, HOLT M, et al. Influence of yeast culture on ruminal microbial metabolism in continuous culture [J]. *Journal of Dairy Science*, 2002, 85 (8) : 2009-2014.
- [35] BAUMAN D E, PERFIELD II J W, HARVATINE K J, et al. Regulation of fat synthesis by conjugated linoleic acid: lactation and the ruminant model [J]. *The Journal of Nutrition*, 2008, 138 (2) : 403-409.
- [36] SWYERS K L, WAGNER J J, DORTON K L, et al. Evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product as an alternative to monensin on growth performance, cost of gain, and carcass characteristics of heavy-weight yearling beef steers [J]. *Journal of Animal Science*, 2014, 92 (6) : 2538-2545.
- [37] 王志兰. 非饲料纤维来源和淀粉水平对育肥湖羊生产性能和瘤胃功能的影响 [D]. 硕士学位论文. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [38] 赵鹏, 吴文旋, 吴佳海, 等. 饲料非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维对黔北麻羊瘤胃发酵参数、血浆生化指标和养分消化率的影响 [J]. *动物营养学报*, 2017, 29 (7) : 2565-2574.
- [39] 闫伯鹏, 兰贵生, 李国彰, 等. 不同淀粉来源饲料中添加酵母培养物对育肥湖羊生长性能、养分消化率及瘤胃发酵参数的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30 (12) : 5145-5152.
- [40] OPSI F, FORTINA R, TASSONE S, et al. Effects of inactivated and live cells of *Saccharomyces cerevisiae* on *in vitro* ruminal fermentation of diets with different forage: concentrate ratio [J]. *Journal of Agricultural Science*, 2012, 150 (2) : 271-283.
- [41] TRIPATHI M K, KARIM S A. Effect of individual and mixed live yeast culture feeding on growth performance, nutrient utilization and microbial crude protein synthesis in lambs [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2010, 155 (2/3/4) : 163-171.
- [42] ÖZSOY B, YALÇIN S, ERDOĞAN Z, et al. Effects of dietary live yeast culture on fattening performance on some blood and rumen fluid parameters in goats [J]. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 2013, 164 (5) : 263-271.
- [43] ZAWORSKI E M, SHRIVER-MUNSCH C M, FADDEN N A, et al. Effects of feeding various dosages of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in transition dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2014, 97 (5) : 3081-3098.
- [44] RAMSING E M, DAVIDSON J A, FRENCH P D, et al. Effects of yeast culture on peripartum intake and milk production of primiparous and multiparous Holstein cows [J]. *The Professional Animal Scientist*, 2009, 25 (4) : 487-495.
- [45] JENSEN G S, PATTERSON K M, YOON I. Yeast culture has anti-inflammatory effects and specifically activates NK cells [J]. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 2008, 31 (6) : 487-500.
- [46] WILLIAMS P E, TAIT C A G, INNES G M, et al. Effects of the inclusion of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae* plus growth medium) in the diet of dairy cows on milk yield and forage degradation and fermentation patterns in the rumen of steers [J]. *Journal of Animal Science*, 1991, 69 (7) : 3016-3026.

Research Advances in Application of Yeast Culture in High-Concentration Diets of Ruminants

ZHAO Guohong^{1,2} WANG Shiqin¹ DIAO Qiyu¹ ZHANG Naifeng^{1*}

(1. Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture, Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. College of Animal Science and Technology, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Under intensification production system, nutrition strategy using high level of concentrate is provided to high lactating dairy cows, fattening beef cattle, and meat sheep for high performance. Long-term feeding a high content of concentrate or a large amount of carbohydrate in a short time would cause metabolic disorder in the rumen, resulting metabolic ruminal acidosis and diarrhea and other diseases. Therefore, it is a key question to make nutrition regulation to achieve rumen health when high level of concentrate is offered to animals. As one type of microecological preparation, yeast culture has been widely studied and used in ruminant production system, playing an important role in keeping rumen health, enhancing performance and immunity function. This paper reviewed the function mechanism and application effect of yeast culture under high-concentrate diets, and discussed the appropriate addition level, aiming to provide application reference and theoretical basis for the utilization of yeast culture in the ruminant production. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31 (8):3473-3481]

Key words: high concentrate; ruminant; yeast culture; research advances