

饲用酶制剂在反刍动物生产中的应用概况

吴爽 周玉香* 贾柔 杨万宗

(宁夏大学农学院,银川 750021)

摘要:近年来,随着畜牧业的高效发展以及人们对食品质量的关注,酶制剂由于具有安全无毒、无残留、无抗药性、无污染等优点而得到人们的重视。同时,大量研究报道,农副产品和农作物秸秆等低质粗饲料通过添加酶制剂能够改善饲料营养成分,进而提高饲料转化率以及动物的平均日增重、屠宰性能以及经济效益。本文就饲用酶制剂在反刍动物生产中的应用进行综述。

关键词: 饲用酶制剂; 秸秆; 反刍动物; 生产性能

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)07-3005-07

我国是一个以畜牧业为主的农业大国,农作物秸秆种类多、资源丰富^[1]。据报道,2018年,全国主要农作物秸秆理论资源量为8.86亿t,秸秆综合利用接近82%,但秸秆饲料化利用率仅占可利用率的17.99%^[2]。伴随着近年来畜牧业的大力发展,饲料短缺等问题也相继出现。为解决这一问题,非常规饲料如作物秸秆等受到了人们的关注。但由于秸秆具有低蛋白质、低脂肪、高木质纤维素、低消化率等特性,严重阻碍了反刍动物对秸秆资源的广泛利用。早在1988年,Akin等^[3]的研究结果就表明作物秸秆中的木质素会影响瘤胃微生物在瘤胃壁的吸附,降低微生物对秸秆的降解率。因此,通过酶制剂处理秸秆或将其直接添加于饲料中是提高饲料转化率、缓解饲料匮乏的重要途径。研究报道,酶制剂的添加能够降低秸秆结晶度,破坏细胞壁^[4-5],提高秸秆降解率^[6]和营养成分含量^[7-8],从而提高反刍动物的生长性能,改善瘤胃发酵类型,提高屠宰性能和经济效益^[9-12]。

1 饲用酶制剂的定义及种类

酶制剂是由微生物如细菌、酵母和真菌通过发酵而产生的一种高活性微生物生态制剂^[13],在饲料

工业中使用的酶制剂即饲用酶制剂。酶制剂在动物饲料中的应用比较晚,1975年美国才首次将其应用于动物饲料中并且取得了显著效果。20世纪90年代,我国开始对饲用酶制剂进行研究与应^[14],饲用酶制剂主要包括纤维素酶、半纤维素酶、 β -葡聚糖酶、蛋白酶、木聚糖酶、 α -淀粉酶、液化淀粉酶、 α -半乳糖苷酶、果胶酶、糖化淀粉酶和植酸酶等^[15]。其中,反刍动物生产中应用较广泛的是纤维素酶和木聚糖酶或者是由2种或2种以上的单一酶组合而成的复合酶^[16]。它们能够降解植物细胞壁,降低粗纤维含量,进而提高饲料降解率。

2 饲用酶制剂对秸秆纤维结构及发酵品质的影响

2.1 对秸秆纤维结构的影响

有研究报道,秸秆细胞壁纤维素成分的碳链长度由聚合度决定^[17],碳链之间由分子内/分子间氢键连接组成复杂细胞壁结构^[18],且必须破解碳链结构,将大分子物质降解为小分子物质才能被动物充分利用^[19]。有研究显示,秸秆通过酶制剂处理后细胞壁聚合度下降,细胞壁多孔性增加^[20]。Adetunji等^[21]在试验中利用含有纤维素酶和半纤

收稿日期:2019-12-24

基金项目:国家重点研发项目(2018YFD0502100)

作者简介:吴爽(1996—),女,宁夏平罗人,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 1447586541@qq.com

*通信作者:周玉香,教授,博士生导师,E-mail: zhyxzhww@163.com

纤维素酶的复合酶制剂处理木薯茎段,结果发现,茎段细胞壁表面蜡质层破坏,细胞壁组织变薄。但也有研究发现,农作物秸秆经单一的木质素类降解酶处理后不能达到降解细胞壁的效果,而是需要多种酶的共同组合作用才能达到降解细胞壁的效果^[22]。笔者开展了纤维素酶处理对荞麦秸秆纤维结构影响的研究,结果发现荞麦秸秆经纤维素酶处理后细胞壁表皮组织被破坏,呈现不同大小的孔状结构(图1),说明纤维素酶可以达到破解秸秆细胞壁的效果,且有助于细胞壁内其他营养成分的释放并被家畜利用。目前,各个单一酶之间的作用机理尚不明确,是今后需要继续深入研究的内容。

2.2 对微生物发酵秸秆感官评定及微生物含量的影响

感官评定和微生物指标是测定秸秆发酵品质的重要指标。秸秆在发酵过程中产生的大量乳酸可有效抑制有害微生物的生长与繁殖^[23],进而提高秸秆的发酵品质。曾辉等^[24]按照秸秆量的1.25%添加纤维素酶,室温发酵秸秆30 d后开封取样测定,结果表明,纤维素酶处理的秸秆感官综合评定为优等。侯美玲等^[25]以盛花期的天然牧草为材料,研究了分别添加乳酸菌(2×10^5 CFU/g)和纤维素酶(0.8 g/kg)对天然牧草青贮饲料微生物组成、发酵品质、营养成分的影响,结果发现,乳酸菌和纤维素酶的添加可显著提高乳酸菌数量,显著降低酵母菌数量,并且未发现霉菌。万里强等^[26]研究报道,青贮过程中加入适量的纤维素酶(0.05 g/kg)能够将纤维素分解产生戊糖、乳酸和少量的乙酸,并且无二氧化碳(CO_2)生成,从而有利于抑制腐败菌的生长,增加青贮的储藏期。上述结果说明,利用酶制剂处理秸秆有利于提高秸秆发酵品质,是畜牧业生产中提高秸秆利用率的有效方法。

2.3 对秸秆营养成分的影响

营养成分含量的高低决定了饲料的利用价值,秸秆作为低质粗饲料必须经过加工处理改善营养成分后才能被家畜有效利用。许多研究发现,通过酶解法处理秸秆可以提高粗蛋白质(CP)含量,显著降低酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)含量^[27-28]。Sun等^[29]利用小型发酵系统,研究了乳酸菌接种剂(0.5 g/kg)和纤维素酶添加剂(1 g/kg)对灌木青贮料发酵品质和化学成

分的影响,结果表明,发酵灌木CP含量增加。CP含量的增加主要是由于在微贮发酵过程中,纤维素酶在降解纤维素的同时,微生物也发挥作用生成了部分菌体蛋白,同时酶制剂自身就是一种蛋白质,也会造成CP含量的增加。而纤维类物质含量降低主要是由于酶制剂具有将碳水化合物等大分子物质降解为氨基酸和葡萄糖等小分子物质的能力,从而达到降低纤维类物质含量的目的。以上试验均表明,利用酶制剂处理秸秆后可显著降低纤维类物质含量并增加蛋白质含量,说明酶制剂处理秸秆可以作为粗饲料资源开发利用的一种有效处理方法。

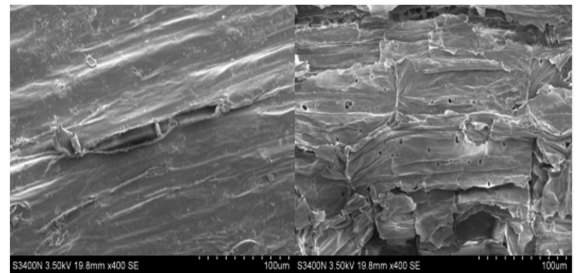


图1 荞麦秸秆纤维降解扫描电镜正面图(左)和反面图(右)

Fig.1 Scanning electron microscopy of fiber degradation of buckwheat straw (the front on the left hand; the contrary on the right)

3 饲用酶制剂对反刍动物的影响

3.1 对生长性能的影响

生长性能直接影响到动物最终的屠宰性能。有研究报道,饲用酶制剂的添加致使饲料营养物质含量提高且改善了适口性,从而增加了动物的干物质采食量(DMI),并提高了平均日增重(ADG),降低了料重比(F/G)^[30]。Aboagye等^[31]利用木聚糖酶和 β -葡聚糖酶的酶溶液(酶:水=1:19)按照40 mL/kg的添加量处理干草后饲喂绵羊,结果表明,经酶制剂处理的试验组绵羊ADG显著高于未经酶制剂处理的对照组,但2组间绵羊的DMI无显著差异。然而,Atrian等^[32]的研究显示纤维素酶和木聚糖酶处理苜蓿干草后显著增加了荷斯坦奶牛的DMI,不过在增重方面的试验结果与上述试验相一致,但酶制剂的添加量具有一定限度,当添加量达到1.95%后奶牛的DMI和

总增重呈下降趋势。适量的酶在动物瘤胃内起到促进内源酶分泌的作用,可补充内源酶的不足,提高瘤胃内容物的降解;并且,高活性的纤维素酶通过降解纤维素减少抗营养因素,能够促进瘤胃内微生物的良好发育,使微生物区系达到稳定的健康状态,从而利于营养物质的吸收^[33]。青贮后的水分含量也会影响动物的DMI,当水分含量过高时会增加动物的饱腹感,从而降低DMI。而Zobell等^[34]将木聚糖酶和 β -葡聚糖酶分别稀释为15 880和5 580 U/kg后与饲料混合饲喂英国杂种公牛,发现对其ADG、DMI和F/G并没有产生显著影响。以上试验产生不同的结果与所用酶制剂的添加方式、添加量、作用底物以及动物品种和生理阶段或者饲料营养水平等均有关。因此,今后需要针对动物的不同品种、不同生理阶段以及饲料营养水平进一步研究在生产实践中酶制剂的适宜种类、添加方式和添加量。

3.2 对血液生化指标的影响

在畜牧生产中,血液生化指标可以作为家畜营养状况的参考依据。李奎^[35]在肉牛饲料中添加了0.35%的复合酶制剂(纤维素酶+木聚糖酶+ β -葡聚糖酶),结果发现,血清中甘油三酯含量增加,说明外源酶制剂有利于脂肪的消化吸收。有研究报道,外源酶有利于内源酶活性的增强,当消化道内酶活性增强后能够促进脂肪的消化吸收^[36];此外,外源酶还可使血液中葡萄糖、白蛋白和总蛋白含量增加,说明外源酶提高了饲料中糖和蛋白质的代谢^[37-38]。但也有研究表明,外源纤维素酶和木聚糖酶的添加对动物的血液生化指标无显著影响^[39-40],且各指标均处于正常范围内^[41],说明酶制剂的添加对血液生化指标无不良影响。

3.3 对营养物质消化率和氮排放的影响

动物对饲料的利用情况可以通过营养物质消化率来反映^[42]。Knowlton等^[43]的消化试验结果表明,纤维素酶+植酸酶(279 g/t)的添加使得泌乳奶牛干物质(DM)消化率、有机物(OM)含量及消化率均显著提高,氮排放显著降低。闫佰鹏^[44]研究了不同秸秆饲料中添加0.3%的复合酶制剂(纤维素酶、木聚糖酶、 β -葡聚糖酶、蛋白酶、淀粉酶)对湖羊生产性能的影响,结果发现,复合酶制剂的添加可显著提高湖羊对饲料中DM和OM的消化率,这与Eun等^[45]、Alsersy等^[46]的试验结果一致。分析其原因是由于酶制剂的添加能够降解秸

秆的纤维结构,使得瘤胃微生物更易接触细胞壁的可降解部分,从而提高秸秆在瘤胃内的降解率,提高氮的利用率,降低畜牧业对环境造成的污染。但Reddish等^[47]按照2%的添加量将复合酶制剂(纤维素酶+木聚糖酶)添加于饲料中,结果表明,复合酶制剂的添加对DM、NDF的消化率未产生显著影响。不同研究产生不同试验结果可能与酶制剂的添加量和添加方式、饲料营养水平、动物种类等有关。笔者认为,积极探讨酶制剂的添加量和添加方式等是十分必要的,也是未来值得研究的课题。

3.4 对瘤胃发酵的影响

瘤胃液pH是反映瘤胃内容物发酵状况的一项综合指标,一般在5.8~7.2波动,健康瘤胃液pH波动于6.0~7.0^[48]。Nadeau等^[49]研究了纤维素酶处理果园草和苜蓿后饲喂羔羊对采食量和营养物质消化率的影响,研究发现试验组的瘤胃液pH显著低于对照组,但均处于正常范围内,表明纤维素酶处理秸秆没有对羔羊瘤胃内环境造成不良影响;此外,试验组与对照组相比,瘤胃液总挥发性脂肪酸含量增加,乙酸/丙酸值降低,说明纤维素酶处理秸秆有助于瘤胃内碳水化合物的降解利用。Wang等^[50]研究了纤维素酶和木聚糖酶对奶牛瘤胃发酵的影响,结果表明,酶制剂组的瘤胃液pH下降,总挥发性脂肪酸含量增加,瘤胃发酵类型由乙酸向丙酸转变,这更有利于能量的利用和肉羊的增重。上述结果说明,酶制剂的添加能够促进反刍动物瘤胃发酵,提高营养物质的利用,对畜牧业生产具有一定的积极影响。

3.5 对胃肠道和内脏器官重量的影响

动物内脏能够作为食品和其他工业原料,因此,其重量增加可以增加经济效益,对生产实践具有重要意义^[51]。研究报道,饲料蛋白质水平的高低可以影响内脏器官的重量^[52]。冯文晓^[53]采用单因素试验设计,以“杜泊×小尾寒羊”杂交F1代公羔羊[(24.00±2.42) kg]为研究对象,利用稀释为4%的复合酶制剂(纤维素酶、木聚糖酶、 β -葡聚糖酶、果胶酶、漆酶)溶液处理的水稻秸秆作为粗饲料后,饲料蛋白质水平增加,随之羔羊的肝脏和瘤胃重量较空白对照组增加,且差异显著。此外,酶制剂处理秸秆后提高了瘤胃内秸秆的降解率,进而刺激瘤胃内肌肉的发育^[54]。肝脏作为动物体内重要的代谢器官,其代谢活动的强弱受底

物的影响^[55],当秸秆经酶制剂处理后细胞壁的破解使得细胞壁内的养分得以释放,同时,纤维类物质含量的降低和蛋白质含量的增加促进了肝脏的代谢活动,从而增加了肝脏蛋白质的沉积量,最终导致肝脏重量的增加^[56-57]。此外,消化道重量的增加可能受脂肪沉积量增加的影响,当饲粮营养水平提升后有利于动物体内脂肪的沉积,同时,消化道发育还受品种、年龄等一些其他因素的调控^[58-61]。

3.6 对屠宰性能的影响

屠宰性能可以反映出动物的生长情况以及生产中的经济效益。GR 值是代表胴体脂肪含量的一个重要指标,宰前活重和胴体重是反映屠宰率的重要指标。赵梦迪等^[62]的试验结果表明,饲粮中添加 0.1% 的纤维素酶可显著提高湖羊的 GR 值。冯文晓^[53]报道,复合酶制剂的添加使绵羊的宰前活重和胴体重显著高于对照组。刘艾等^[63]的试验结果表明,酶制剂处理秸秆后肉牛的屠宰率达 59.21%,净肉率达 50.49%。纤维素分解酶主要作用于非淀粉多糖和纤维等抗营养因子,当秸秆等粗饲料经酶制剂处理后,减少了饲粮中抗营养因子,从而降低动物消化道内食糜的黏度,提高饲料中养分的消化利用,最终改善动物的屠宰性能^[64]。此外,屠宰性能还受到酶制剂中酶的活性、种类及作用方式和试验动物种类等因素的影响,具体作用机理有待进一步研究。

3.7 对经济效益的影响

蔺国文^[65]在枯黄玉米秸秆中添加 0、0.05%、0.10%、0.15% 的复合酶制剂(纤维素酶、半纤维素酶、果胶酶、淀粉酶、蛋白酶、 β -1,4-葡萄糖苷酶)饲喂肉牛,结果表明,0.10% 的酶制剂添加量效果最佳,日增重达到 1.192 kg,比对照组的 0.965 kg 提高了 23.49%,经济效益显著增加。王红梅等^[66]利用不同组合的纤维素酶、木聚糖酶、 β -葡聚糖酶、果胶酶和漆酶(1 kg/t)处理玉米秸秆后饲喂杜寒杂交肉羊[(26.95±0.91) kg],增重提高了 23.51%,同时降低了饲料成本,获得了较好的经济效益。酶制剂的添加能够显著提高养殖户的经济效益,其原因是:经酶制剂处理后的饲粮适口性得以改善,进而增加养殖动物的 DMI,同时,酶制剂处理后秸秆的细胞壁遭到破坏,有利于瘤胃内饲料的降解,致使更多的蛋白质和脂肪被动物消化利用,虽然饲料成本有所增加,但最终显著增加了

动物的生长性能和屠宰性能,提高了经济效益。

4 小结与展望

综合上述研究结果发现,饲用酶制剂对于降解秸秆纤维结构、改善饲料营养成分以及提高反刍动物生长性能、屠宰性能和经济效益均存在一定作用。但饲用酶制剂的使用效果还受到诸多因素如酶的种类、活性、添加方式和添加量以及动物的种类、生理状况、饲养管理等的影响。因此,今后还需重点研究酶制剂之间的作用机理及规律、如何提高酶制剂自身的稳定性和耐受性以及确定酶制剂的作用方式和添加量。

参考文献:

- [1] 侯金丽.微生物技术在秸秆转化利用中的应用研究进展[J].中国西部科技,2015(3):72-73.
- [2] 前瞻经济学人.2018 年我国秸秆垃圾处理行业发展现状与市场趋势分析[EB/OL].(2019-02-01).http://cn.agropages.com/News/NewsDetail--17934.htm.
- [3] AKIN D E, RIGSBY L L, TEODOROU M K, et al. Population changes of fibrolytic rumen bacteria in the presence of phenolic acids and plant extracts[J]. Animal Feed Science and Technology, 1988, 19(3):261-275.
- [4] GHASEMI E, KHORVASH M, GHORBANI G R, et al. Dry chemical processing and ensiling of rice straw to improve its quality for use as ruminant feed[J]. Tropical Animal Health and Production, 2013, 45(5):1215-1221.
- [5] NARAYANASWAMY N, DHEERAN P, VERMA S, et al. Biological pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic saccharification[M]//FANG Z. Pretreatment techniques for biofuels and biorefineries. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013:3-34.
- [6] WANG P, LIU C Q, CHANG J, et al. Effect of physicochemical pretreatments plus enzymatic hydrolysis on the composition and morphologic structure of corn straw[J]. Renewable Energy, 2019, 138:502-538.
- [7] SARNKLONG C, CONE J W, PELLIKAN W, et al. Utilization of rice straw and different treatments to improve its feed value for ruminants[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2010, 23(5):680-692.
- [8] RINNE M, WINQUIST E, PIHLAJANIEMI V, et al. Fibrolytic enzyme treatment prior to ensiling increased

- press-juice and crude protein yield from grass silage [J]. *Bioresource Technology*, 2020, 299: 122572.
- [9] HAMEED A, ELSEED A, SALIH A. Growth performance and rumen fermentation of lambs fed untreated or urea treated groundnut hull with different protein sources [J]. *Journal of Animal Production Advances*, 2013, 3(3): 86.
- [10] RAJU B, CHANDRASEKARAN D. Effect of multienzyme supplementation on weight gain, feed intake, feed efficiency and blood glucose in broiler chickens [J]. *Indian Journal of Science and Technology*, 2010, 3(2): 193-195.
- [11] SELIM A S M, PAN J, TAKANO T, et al. Effect of ammonia treatment on physical strength of rice straw, distribution of straw particles and particle-associated bacteria in sheep rumen [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2004, 115(1/2): 117-128.
- [12] ELTAWAB A M A, KHATTAB M S A, MATLOUP O H, et al. Effect of cellulase and tannase enzymes supplementation on the productive performance of lactating buffaloes fed diets contain date palm fronds [J]. *Asian Journal of Animal Sciences*, 2016, 10(6): 307-312.
- [13] PENDLETON B. *The ruminant environment* [M]//MUIRHEA S. *Direct-fed microbial, enzyme and forage additive compendium*. Minnetonka: Miller Publishing Company, 2000: 49.
- [14] BEAUCHEMIN K A, RODE L M. Use of feed enzymes in ruminant nutrition [M]//RODE L M. *Animal science research and development-meeting future challenges*. Ottawa: Minister of Supply and Services Canada, 1996: 103.
- [15] 黄顽. 饲用酶制剂的研究进展 [J]. *中国畜牧兽医文摘*, 2013, 29(12): 191.
- [16] BHAT K M, HAZLEWOOD G P. Enzymology and other characteristics of cellulases and xylanases [M]//BEDFORD M R, PARTRIDGE G G. *Enzymes in farm animal nutrition*. Wallingford: CABI Publishing, 2001: 11-60.
- [17] ZHANG M F, QIN Y H, MA J Y, et al. Depolymerization of microcrystalline cellulose by the combination of ultrasound and Fenton reagent [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2016, 31: 404-448.
- [18] VAN KUIJK S J A, SONNENBERG A S M, BAARS J J P, et al. Fungal treatment of lignocellulosic biomass; importance of fungal species, colonization and time on chemical composition and *in vitro* rumen degradability [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 209: 40-50.
- [19] HILL T M, MBATEMAN H J, ALDRICH J M, et al. Effects of using wheat gluten and rice protein concentrate in dairy calf milk replacers [J]. *The Professional Animal Scientist*. 2008, 24(5): 465-472
- [20] 闫鑫鹏, 李杰. 白腐真菌在农作物秸秆中的研究与应用 [J]. *饲料工业*, 2008, 29(14): 54-57.
- [21] ADETUNJI A I, DU CLOU H, WALFORD S N, et al. Complementary effects of cell wall degrading enzymes together with lactic acid fermentation on cassava tuber cell wall breakdown [J]. *Industrial Crops and Products*, 2016, 90: 110-117.
- [22] 王玉荣. 不同微生物制剂对稻秸分子结构及瘤胃降解特性的影响 [D]. 硕士学位论文. 阿拉尔: 塔里木大学, 2017.
- [23] STOKES M R, CHEN J. Effects of an enzyme-inoculant mixture on the course of fermentation of corn silage [J]. *Journal of Dairy Science*, 1994, 77(11): 3401-3409.
- [24] 曾辉, 邱玉朗, 李林, 等. 酶制剂和乳酸菌对秸秆微贮饲料质量及瘤胃降解率的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2018, 54(11): 84-88.
- [25] 侯美玲, 杜珠梅, 范文强, 等. 乳酸菌与纤维素酶对草甸草原天然牧草青贮品质的影响 [J]. *畜牧兽医学报*, 2017, 48(5): 871-880.
- [26] 万里强, 李向林, 何峰. 添加乳酸菌和纤维素酶对苜蓿青贮品质的影响 [J]. *草业科学*, 2011, 28(7): 61-63.
- [27] XING L, CHEN L J, HAN L J. The effect of an inoculant and enzymes on fermentation and nutritive value of sorghum straw silages [J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(1): 488-491.
- [28] NI K K, WANG Y P, PANG H L, et al. Effect of cellulase and lactic acid bacteria on fermentation quality and chemical composition of wheat straw silage [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2014, 5(13): 1877-1884.
- [29] SUN Q Z, GAO F Q, YU Z, et al. Fermentation quality and chemical composition of shrub silage treated with lactic acid bacteria inoculants and cellulase additives [J]. *Animal Science Journal*, 2012, 83(4): 305-309.
- [30] BEAUCHEMIN K A, RODE L M, MAEKAWA M, et al. Evaluation of a nonstarch polysaccharidase feed enzyme in dairy cow diets [J]. *Journal of Dairy Science*, 2000, 83(3): 543-553.
- [31] ABOAGYE I A, LYNCH J P, CHURCH J S, et al. Di-

- gestibility and growth performance of sheep fed alfalfa hay treated with fibrolytic enzymes and a ferulic acid esterase producing bacterial additive[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 203: 53-66.
- [32] ATRIAN P, SHAHRYAR H A. Effects of fibrolytic enzyme treated alfalfa on performance in holstein beef cattle[J]. *European Journal of Experimental Biology*, 2012, 2(1): 270-273.
- [33] 廖奇, 江书忠, 曹霞, 等. 纤维素酶在畜牧生产中的应用进展[J]. *饲料博览*, 2017(11): 17-19, 23.
- [34] ZOBELL D R, WIEDMEIER R D, OLSON K C, et al. The effect of an exogenous enzyme treatment on production and carcass characteristics of growing and finishing steers[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2000, 87(3/4): 279-285.
- [35] 李奎. 酶制剂在肉牛日粮中的应用效果研究[D]. 硕士学位论文. 石河子: 石河子大学, 2016.
- [36] 王小虎. 酶制剂在反刍动物中的作用机理及在奶牛中的应用[J]. *甘肃畜牧兽医*, 2017, 47(12): 12-14.
- [37] RIVERO N, SALEM A Z M, AYALA M, et al. Influence of *Salix babylonica* extract, exogenous enzyme of xylanase and their combination on blood haematological and biochemical profile in sheep and goats[J]. *Indian Journal of Animal Sciences*, 2016, 86(10): 1140-11144.
- [38] 孟芳, 韩向敏, 王彩莲, 等. 外源消化酶对断奶羔羊营养物质消化代谢的影响[J]. *中国饲料*, 2018(05): 7-12.
- [39] 国春艳. 木聚糖酶和纤维素酶对后备奶牛生长代谢、瘤胃发酵及微生物区系的影响[D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [40] 李燕. 外源酶对山羊甲烷排放及饲料利用率影响的研究[D]. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学, 2013.
- [41] 王俊东. 兽医药实验室检验技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.
- [42] 崔祥. 日粮能量水平对4~6月龄犊牛生长、消化代谢及瘤胃内环境的影响[D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [43] KNOWLTON K F, TAYLOR M S, HILL S R, et al. Manure nutrient excretion by lactating cows fed exogenous phytase and cellulase[J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(9): 4356-4360.
- [44] 闫佰鹏. 不同秸秆来源日粮添加酶制剂与牛至油对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, 2019.
- [45] EUN J S, BEAUCHEMIN K A. Assessment of the efficacy of varying experimental exogenous fibrolytic enzymes using *in vitro* fermentation characteristics[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, 132(3/4): 298-315.
- [46] ALSERSY H, SALEM A Z M, BORHAMI E, et al. Effect of Mediterranean saltbush (*Atriplex halimus*) ensilaging with two developed enzyme cocktails on feed intake, nutrient digestibility and ruminal fermentation in sheep[J]. *Animal Science Journal*, 2015, 86(1): 51-58.
- [47] REDDISH M A, KUNG J R L. The effect of feeding a dry enzyme mixture with fibrolytic activity on the performance of lactating cows and digestibility of a diet for sheep[J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(10): 4724-4729.
- [48] FARGHALY M M, ABDULLAH M A M, YOUSSEF I M I, et al. Effect of feeding hydroponic barley sprouts to sheep on feed intake, nutrient digestibility, nitrogen retention, rumen fermentation and ruminal enzymes activity[J]. *Livestock Science*, 2019, 228: 31-37.
- [49] NADEAU E M, RUSSELL J R, BUXTON D R. Intake, digestibility, and composition of orchardgrass and alfalfa silages treated with cellulase, inoculant, and formic acid fed to lambs[J]. *Journal of Animal Science*, 2000, 78(11): 2980-2989.
- [50] WANG C, LIU Q, GUO G, et al. Effects of fibrolytic enzymes and isobutyrate on ruminal fermentation, microbial enzyme activity and cellulolytic bacteria in pre- and post-weaning dairy calves[J]. *Animal Production Science*, 2018, 59(3): 471-478.
- [51] FRUET A P B, STEFANELLO F S, JÚNIOR A G R, et al. Whole grains in the finishing of culled ewes in pasture or feedlot: performance, carcass characteristics and meat quality[J]. *Meat Science*, 2016, 113: 97-103.
- [52] FERRELL C L, JENKINS T G. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects[J]. *Journal of Animal Science*, 1985, 61(3): 725-741.
- [53] 冯文晓. 利用益生菌和酶制剂提高水稻和小麦秸秆营养物质利用率的研究[D]. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- [54] KRUEGER N A, ADESOGAN A T, STAPLES C R, et al. Effect of method of applying fibrolytic enzymes or ammonia to bermudagrass hay on feed intake, digestion, and growth of beef steers[J]. *Journal of Animal Science*, 2008, 86(4): 882-889.
- [55] BALDWIN VI R L, MCLEOD K R, KLOTZ J L, et al. Rumen development, intestinal growth and hepatic

- metabolism in the pre- and postweaning ruminant[J]. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87 (Suppl. 1) : E55 - E65.
- [56] 李岚捷, 王安思, 廉红霞, 等. 不同 NFC/NDF 水平饲料对肉公犊牛生长性能和屠宰性能的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2017, 22(12) : 101-109.
- [57] 陈守云, 徐海涛. 动物蛋白质周转代谢特点及调控因素[J]. *饲料研究*, 2010(3) : 10-13.
- [58] LIU J H, XU T T, LIU Y J, et al. A high-grain diet causes massive disruption of ruminal epithelial tight junctions in goats [J]. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 2013, 305(3) : R232-R241.
- [59] 孙娟. 育肥方式对呼伦贝尔及呼杜杂交羔羊消化道组织形态及酶活的影响[D]. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [60] 郭江鹏, 潘建忠, 李发弟, 等. 不同早期断奶日龄对舍饲肉用羔羊胃组织形态发育变化的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2018, 49(5) : 971-985.
- [61] 郭江鹏, 张元兴, 李发弟, 等. 0~56 日龄舍饲肉用羔羊胃肠道发育特点研究[J]. *畜牧兽医学报*, 2011, 42(4) : 513-520.
- [62] 赵梦迪, 邸凌峰, 唐泽宇, 等. 单宁与饲用纤维素酶对湖羊生长性能、血液生化指标、屠宰性能及器官发育的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2019, 46(6) : 1668-1676.
- [63] 刘艾, 殷秀杰. 生物活性酶制剂处理秸秆的肉牛育肥试验[J]. *畜牧与饲料科学*, 2004, 26(6) : 24-25.
- [64] 辛总秀. 纤维素复合酶处理粗饲料饲喂反刍动物的效果研究[D]. 硕士学位论文. 西宁: 青海大学, 2007.
- [65] 蔺国文. 枯黄玉米秸秆酶化处理育肥肉牛效果研究[J]. *中国牛业科学*, 2012, 38(2) : 28-30.
- [66] 王红梅, 屠焰, 司丙文, 等. 不同配伍酶制剂处理玉米秸秆对肉用绵羊生长性能和营养物质消化率的影响[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(24) : 4806-4813.

Application Situation of Feeding Enzyme Preparation in Ruminant Production

WU Shuang ZHOU Yuxiang* JIA Rou YANG Wanzong
(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In recent years, with the efficient development of animal husbandry and people's attention to food quality, enzyme preparations have been paid much attention because of its safety, non-toxicity, no residue, no drug resistance, no pollution and other advantages. At the same time, a large number of studies have reported that the addition of enzyme preparations can improve the nutritional components of agricultural by-products, crop straws and other low-quality coarse feed. In addition, the feed conversion rate, average daily gain, slaughter performance and economic benefit of animals were increased. This paper summarized the application of feeding enzyme preparation in the production of ruminants. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(7) : 3005-3011]

Key words: feeding enzyme preparation; straw; ruminants; performance