

江西几种奶牛常用饲料的多体系营养价值评定

张吉鸰^{1,2} 李龙瑞² 邹庆华¹

(1. 江西省农业科学院 畜牧兽医研究所, 江西 南昌 330200; 2. 江西新天地药业有限公司 兽药研究院, 江西 峡江 331400)

摘要: 分别用 Weende、Van Soest 与 CNCPS 体系分析稻草、苜蓿、玉米秸秆、豆腐渣与啤酒糟的营养成分, 并计算这 5 种饲料的相对值(RFV)与分级指数(GI)以及碳水化合物与蛋白质组分, 旨在为各体系在江西奶牛业的合理应用提供基础理论数据。同时指出, Weende 与 Van Soest 体系是奶牛饲料营养价值评定的基础, 应根据需要选择综合评定指数还是 CNCPS 体系。

关键词: 奶牛饲料; 营养价值; 相对值; 分级指数; 康奈尔净碳水化合物-蛋白体系

中图分类号: S823.9⁺11.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)05-1003-05

Evaluation of Some Dairy Cattle Feeds in Jiangxi Province with CNCPS, RFV and GI

ZHANG Ji-kun^{1,2}, LI Long-rui², ZOU Qing-hua¹

(1. Institute of Animal Science, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China;
2. Veterinary Medicine Research Institute, Jiangxi New World Pharmaceutical Co. Ltd., Xiajiang 331400, China)

Abstract: To get the basic data for methods of Weende, Van Soest and CNCPS being used in Jiangxi cow industry reasonably, rice straw (RS), *Medicago Sativa* L. (MSL), corn stover (CS), soybean curd residues (SBCR) and brewer's grains (BG) were collected from several dairy farms in Jiangxi Province, and nutrient components were analysed with these methods respectively. Furthermore PA, PB₁, PC and PB₃ in CP and CC, CB₂, CB₁ and CA in carbohydrate of the dairy feeds as well as their relative feed value (RFV) and grading index (GI) were also calculated respectively. It is suggested that whether to use RFV or GI or CNCPS depends on the aim.

Key words: dairy feeds; nutritional value; RFV; GI; CNCPS

反刍动物营养评定体系的研究领域一直是反刍动物营养与饲料科学研究的核心内容。近 20 年来, 我国反刍动物营养研究进步很快, 但与美国、加拿大、澳大利亚等国相比, 还存在着很大差距。目前, Weende 体系^[1]仍然被广泛使用。Van Soest 体系^[2]针对 Weende 体系中的 NFE(氮浸出物)与 CF(粗纤维)这 2 个指标进行了重新划分与修正。Weende 体系与 Van Soest 体系是进行饲料营养价值评定的基础体系, 其不足就在于其所分析的指标为表观性的静态指标, 也没有与动物联系起来。因而, 既不能说明反刍动物对饲料的消化利用情况, 又不能全面地反映饲料的营养价

收稿日期: 2012-05-01 修回日期: 2012-06-04

基金项目: 国家自然科学基金(31060313)和创新基金项目——反刍动物饲料安全评价

作者简介: 张吉鸰(1964—), 男, 博士, 研究员, 主要从事反刍动物营养与饲料科学研究, E-mail: zjk1964@163.com。

值,使用时有其局限性。RFV(relative feed value, 饲料相对值)^[3]是由美国饲草与草原理事会提出的,专门用于奶牛饲料评定的一个综合指标,其显著特点就是通过模型集成 Weende 体系与 Van Soest 体系中的部分指标,并与动物采食量联系起来^[4]。GI(grading index, 分级指数)^[3]则是在继承 RFV 合理内涵(引入采食量与能量指标)、克服 RFV 以能量为中心的不足的基础上发展而来的一个由中国学者提出的饲料品质综合评定指数^[5]。而 CNCPS(Cornell net carbohydrate and protein system, 康奈尔净碳水化合物-蛋白体系)体系^[6]则将化学分析法与反刍动物的消化利用结合起来,测定指标多,分析结果更具有参考价值,具有操作简单、易于标准化和便于将计算机技术应用在反刍动物饲料配方等优点,可以准确地估测动物、饲料和环境变化条件下动物对营养物质的需要量及其利用。豆腐渣是以大豆为原料生产豆腐时产生的副产品,啤酒糟则是以大麦为原料生产啤酒时产生的副产品,这 2 种糟渣连同稻草、玉米秸秆在我国具有十分广泛的来源。豆腐渣、啤酒糟与稻草在我国南方随处可见,是奶牛与肉牛养殖的主要饲料。在众多限制江西奶牛养殖技术水平的瓶颈问题之中,奶牛营养体系与奶牛场科学饲养技术不配套的矛盾日益突出。本研究旨在通过应用上述几种体系对稻草、苜蓿、玉米秸秆、豆腐渣与啤酒糟的饲料成分进行分析,为各体系在江西奶牛业的合理应用提供基础理论数据。

1 材料与方法

1.1 饲料样品

分析用稻草、苜蓿、玉米秸秆、豆腐渣与啤酒糟样品取自江西多家奶牛场。每种饲料分析用样品为取自这些奶牛场的混合样品,粉碎过粒径 0.35 mm 筛,备作化学成分分析。

1.2 测定指标与方法

饲料样品 DM(dry matter, 干物质), CP(crude protein, 粗蛋白), Ash(粗灰粉), Fat(粗脂肪) 按照 AOAC^[7]法进行。NDF(neutral detergent fiber, 中性洗涤纤维), ADF(acid detergent fiber, 酸性洗涤纤维), Lignin(木质素), NDIP(neutral detergent insoluble protein, 中性洗涤不溶蛋白质), ADIP(acid detergent insoluble protein, 酸性洗涤不溶蛋白质)的分析按照 Van Soest 等^[2]的方法进行。SCP(soluble protein, 可溶性蛋白)按照 Krishnamoorthy 等^[8]的方法分析。淀粉(Starch)的分析按照 AACCC^[9]法进行。

1.3 CNCPS 对饲料碳水化合物和蛋白质组分的划分

饲料中的碳水化合物和蛋白质是奶牛能量和氮的来源。CNCPS 体系根据饲料中碳水化合物在瘤胃中的降解情况将其分为 4 个部分,分别为:快速降解的糖类,用 CA 表示;中速降解的淀粉,用 CB₁ 表示;缓慢降解的可利用细胞壁,用 CB₂ 表示;不可利用的细胞壁,用 CC 表示。可通过饲料的 SC(structural carbohydrate, 结构性碳水化合物)、NSC(nonstructural carbohydrate, 非结构性碳水化合物)与不可消化纤维含量的计算获得,碳水化合物的不可消化纤维 CC 为木质素 × 2.4^[10]。饲料中的蛋白质则被分为 NPN(non protein nitrogen, 非蛋白氮),真蛋白和不可利用的蛋白质,分别用 PA(NPN), PB(真蛋白)与 PC(结合蛋白)表示^[11]。真蛋白质根据其在瘤胃中的降解情况又进一步划分为 PB₁, PB₂ 和 PB₃。NPN 在瘤胃中快速转化为氨, PB₁ 在瘤胃中快速降解, PC 既不能在瘤胃中降解,也不能在后消化道消化。PB₃ 在瘤胃中降解缓慢。PB₂ 在瘤胃中能部分降解,部分流入后消化道, PB₂ 在瘤胃内的降解率主要取决于饲料的消化率与流通速率。

1.4 计算方法

1.4.1 CNCPS 体系碳水化合物与蛋白质组分的计算 根据 Sniffen 等的方法^[6]进行。

1.4.2 RFV 的计算 RFV 的计算模型为: $RFV = DMI(\% BW) \times DDM(\% DM) / 1.29$ ^[12]。

其中: DMI(dry matter intake) 为饲料干物质的随意采食量,单位为占体重(body weight, BW) 的百分比即% BW; DDM(digestible dry matter) 为可消化的干物质,单位为% DM。DMI 与 DDM 的预测模型分别为: $DMI(\% BW) = 120 / NDF(\% DM)$; $DDM(\% DM) = 88.9 - 0.779 \times ADF(\% DM)$ 。

1.4.3 GI 的计算 GI 的计算模型为: $GI = NEL \times DMI \times CP / NDF$ 。式中: GI 单位为 Mcal; NEL(net energy for lactating cow) 为产奶净能,单位为 Mcal/kg; DMI 为干物质随意采食量,单位为 kg/d。以奶牛标准体质量 600 kg 计,借鉴 RFV 的 DMI 模型,乘以标准体质量后再除以 100 计算^[12],即 $DMI(kg) = 120 / NDF(\% DM) \times 6 kg$ 。 $NEL(Mcal/kg) = (1.044 - 0.0119 \times ADF(\% DM)) / 0.45$ ^[13]。

1.4.4 数据分析 所有的分析数据为3次重复测定结果的平均值。

2 结果与分析

2.1 试验用饲料的营养成分

试验用饲料的营养成分即RFV与GI值见表1。从表1可以看出,苜蓿、稻草、玉米秸秆的Weende体系与Van Soest体系分析值、RFV和GI与张吉鹏等^[14-16]早期报道的相似,而豆腐渣、啤酒糟除GI外的相应值则与韦升等^[17]的报道相似,目前尚未见到有关豆腐渣、啤酒糟的GI报道。

表1 试验用饲料营养成分

Tab.1 Nutrients of experimental feed

营养成分	稻草 RS	紫花苜蓿 MSL	玉米秸秆 CS	豆腐渣 SBCR	啤酒糟 BG
DM/%	92.93	92.64	91.63	27.14	55.83
CP /% DM	4.56	20.88	5.79	23.84	26.17
FAT/% DM	3.97	2.93	1.13	4.59	9.87
ASH/% DM	13.61	8.19	6.04	3.97	3.82
NDF/% DM	70.95	51.17	70.86	38.74	65.14
ADF/% DM	49.56	37.27	39.47	26.97	21.73
RFV	65.94	108.83	76.34	163.02	102.78
GI/Mcal	0.66	7.66	1.06	18.38	7.75
LIGNIN /% NDF	8.06	19.74	8.75	10.11	6.19
SOLP/% CP	29.73	31.22	35.09	70.53	9.76
NPN/% SOLP	59.46	68.82	75.42	85.76	34.65
NDIP/% CP	41.61	28.53	33.29	7.14	47.94
ADIP/% CP	13.84	15.39	12.66	5.23	7.46
STARCH/% NSC	17.86	62.15	68.59	23.19	80.81

RS 稻草; MSL 紫花苜蓿; CS 玉米秸秆; SBCR, 豆腐渣; BG 啤酒糟; DM, 干物质; CP 粗蛋白; FAT 粗脂肪; ASH 粗灰粉; NDF, 中性洗涤纤维; ADF 酸性洗涤纤维。RFV, 饲料相对值。GI, 分级指数。表中数据均为3个重复的平均值。Lignin 木质素; SOLP, 可溶性蛋白; NPN 非蛋白氮; NDIP, 中性洗涤剂不溶蛋白; ADIP 酸性洗涤剂不溶蛋白; STARCH 淀粉; NSC 非结构性碳水化合物。

RS, Rice Straw; MSL, Medicago Sativa L; CS, Corn Stover; SBCR, Soybean Curb Residues; BG, Brewer's Grains; DM, Dry Matter; CP, Crude Protein; NDF, Neutral Detergent Fiber; ADF, Acid Detergent Fiber. RFV, Relative Feed Value. GI, Grading Index. The data in the table were means with 3 replicates. SOLP, Soluble Protein; NPN, Non Protein Nitrogen; NDIP, Neutral Detergent Insoluble Protein; ADIP, Acid Detergent Insoluble Protein; NSC, Nonstructural Carbohydrate.

2.2 试验用饲料的CNCPS体系碳水化合物与蛋白质组成

经计算的试验用饲料CNCPS体系碳水化合物与蛋白质的组成分别见表2与表3。除豆腐渣外,其余4种饲料的有关组分与国内的相关报道相似,目前尚未见到有关豆腐渣的CNCPS组分分析的报道^[18-20]。

3 讨论

3.1 反刍动物各营养评定体系间的关系

3.1.1 Weende与Van Soest体系是评定饲料营养价值的基础 Weende体系只是对饲料6种粗养分(水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰粉、粗纤维与无氮浸出物)的概略分析,这些粗养分指标未考虑它们对动物的生理与营养意义以及各营养成分间的品质差异,并不能反映饲料在反刍动物内的消化利用情况,表观性强,因而不能客观地反映饲料的营养价值。Van Soest体系则是对Weende体系中粗纤维与无氮浸出物这2个粗养分指标的修正而建立,特别适用于纤维含量高的饲料的评定。当分析出一种饲料的NDF、ADF与ADL时,就可以结合Weende体系中的其它粗养分指标或单独使用这些指标进行饲料营养

价值的评定。Van Soest 体系是 Weende 体系的补充与完善,所测指标与 Weende 体系一样,是没有与动物相联系的表现性静态指标。需要指出的是, Van Soest 体系对高产奶牛饲料品质的评定尤为重要,这是因为为了保证奶中乳脂的含量,高产奶牛日粮中必须含有一定量的有效纤维。

Weende 体系与 Van Soest 体系是其它更先进反刍动物饲料营养价值评定体系的基础,具有不可替代性,今后仍将广泛使用。

表 2 试验用饲料 CNCPS 体系碳水化合物组成

Tab.2 Carbohydrate components of experimental feed in CNCPS system

成分 Components	CHO/% DM	CC/% CHO	CB ₁ /% CHO	CB ₂ /% CHO	CA/% CHO
稻草 RS	77.86	17.63	0.72	78.35	3.30
紫花苜蓿 MSL	68.00	35.65	11.02	46.61	6.71
玉米秸秆 CS	87.04	17.10	8.05	71.16	3.69
豆腐渣 SBCR	67.60	13.91	7.85	52.23	26.01
啤酒糟 BG	60.14	15.88	6.75	75.76	1.60

CHO 碳水化合物; CB₁、CB₂ 与 CC 为根据 CNCPS 划分的试验用饲料碳水化合物营养成分,具体参照 Sniffen 等^[6]方法计算。

CHO, carbohydrate; CB₁, CB₂ and CC which were carbohydrate components of experimental feed according to methods Sniffen et al^[6].

表 3 试验用饲料 CNCPS 体系蛋白质组成

Tab.3 Protein components of experimental feed in CNCPS system

成分 Components	PA/% CP	PB ₁ /% CP	PB ₂ /% CP	PB ₃ /% CP	PC/% CP
稻草 RS	17.68	12.05	28.66	27.77	13.84
紫花苜蓿 MSL	21.49	9.73	40.25	13.14	15.39
玉米秸秆 CS	26.46	8.63	31.62	20.63	12.66
豆腐渣 SBCR	60.49	10.04	22.33	1.91	5.23
啤酒糟 BG	3.38	6.38	42.30	40.48	7.46

PA、PB₁、PB₂、PB₃ 与 PC 为根据 CNCPS 划分的试验用饲料蛋白质营养成分,具体参照 Sniffen^[6]等方法计算。

PA, PB₁, PB₂, PB₃ and PC which were protein components of experimental feed according to CNCPS referred to methods Sniffen et al^[6].

3.1.2 RFV 与 GI 是与动物相关联的饲料品质综合评定指数 Weende 体系与 Van Soest 体系的分析值反映的是饲料自身的质量,即其营养素含量的高低,但在饲料营养价值评定中,最为关键的是动物对饲料的采食与利用。因此,要科学地评定饲料营养价值,就必须打破现行评定技术片面考虑饲料自身品质而与动物脱离的传统思维模式,综合考虑饲草因素与动物因素。RFV 首先突破过去凭单一指标(Weende 体系与 Van Soest 体系中的化学组分)对饲料营养价值进行脱离动物的片面评定,其不足之处在于以能量为中心,未考虑饲料中的蛋白质因素。而 GI 则不仅将饲料可利用能量和蛋白质指标联系起来,而且还将饲料中难以消化的成分 ADL 包括在内,对饲料品质进行综合评定,克服了 RFV 等评定指数仅仅根据能量来评定饲料营养价值的根本缺陷,具有更加科学的生物学意义^[21]。GI 是 RFV 的补充与完善。此外,就功能而言,由于 RFV 是以盛花期苜蓿为 100(通过 1.29 校正)作为参照的相对值,反映的只是饲料能量的相对值^[21-22]。GI 则不然,它反映的是饲料中可为奶牛采食、利用的有效能值,它是一个绝对值,因而可用于奶牛日粮的平衡(粗饲料的混合优化)^[21]。

饲料化学组分通过参数模型影响 RFV 与 GI。NDF 与 ADF 是预测 RFV 中 DMI 与 DDM2 个参数模型的因子,ADF 和 NDF 的含量也就间接决定了奶牛饲料的 RFV 的大小。GI 首次将饲料的关键化学组分(CP 和 NDF 或 ADF 或 ADL)、饲料能值与 DMI 组合起来进行饲料品质评定。GI 中的参数如产奶净能也借鉴一些实用的模型,并以 ADF 参数模型为预测因子。因此,Weende 体系与 Van Soest 体系所分析的饲料化学组分(CP、NDF、ADF 和 ADL)也会直接或间接影响到 RFV 与 GI。

3.1.3 CNCPS 体系汲取了 Weende 体系与 Van Soest 体系的优点 CNCPS 体系是在汲取 Weende 体系与 Van Soest 体系优点的基础上发展起来的,其显著特点是考虑了饲料在瘤胃内的消化与饲料中被吸收碳水化合物和蛋白质的利用效率等因素,分析结果更接近实际,为应用计算机设计反刍动物饲料配方创造了条件^[23]。CNCPS 体系对饲料中碳水化合物组分与蛋白质组分做了进一步的剖分,与其它体系相比,这种剖分首次打破了瘤胃“黑箱”,在研究思路进行了明显创新^[23]。CNCPS 体系不仅分析饲料中与 Weende 体系及 Van Soest 体系相关的常规营养组分,而且还要分析真蛋白质、非蛋白氮、可溶性蛋白、糖类与淀粉等营养组分,并对其进行区分,这更能反映动物对饲料利用的状况。此外,CNCPS 还通过公式计算出饲料蛋白的 5 种组分以及饲料碳水化合物的 4 种组分,据此可更准确地优化日粮。

CNCPS 体系对饲料能量、蛋白质营养价值的评定及其需要量的估计,充分体现了动态观点,强调饲料、动物及饲养 3 者间的相互作用,同时将牛的蛋白质营养延伸到小肠可吸收氨基酸方面,是一个全新的饲养体系。目前,该体系已在畜牧业发达国家获得广泛应用。

3.2 反刍动物各营养评定体系的合理应用

3.2.1 RFV 与 GI 的应用 RFV 在美国广泛应用于:①粗饲料交易。在饲草贸易上,RFV 可根据买卖双方达成的协议来订定,其重要的一点是作为衡量粗饲料价值的标准。干草的购销,特别是在中西部的拍卖场,用 RFV 定价,以保证饲草交易的质量。②牧草种子生产者用 RFV 来反映品种的改良进展。③粗饲料质量的教学与推广。牧草品质教科书及技术推广文件等在进行粗饲料品质的教学时都会用到 RFV 及其预测模型。现在,越来越多的国家(包括中国在内)使用 RFV 评定饲料的品质。目前,GI 主要在中国大陆进行粗饲料品质的分级及其科学搭配的研究时使用。在粗饲料品质评定指数应用发展上,其趋势是针对性更强、更专业,如针对泌乳奶牛粗饲料品质评定的指数 Milk2000(产奶二千)^[24],针对稻草的 RT-INDEX(rumen retention index; 瘤胃滞留系数)^[22]。

3.2.2 CNCPS 体系的应用 CNCPS 主要体系在奶牛饲养中主要用于:①评价日粮营养物质平衡状况,优化奶牛日粮配合。②预测动物需要量与供应量以及生产性能。③评定日粮营养物质的利用率^[25]。④2001 年 NRC 发布的《奶牛营养需要标准(7 版)》是在吸收了大量的有关 CNCPS 体系先进理论与技术的基础上提出的。利用 CNCPS 体系中的有关模型,能估测不同饲料和日粮消化终产物中的蛋白质、能量的数量与比例,有助于分析饲料间组合效应及其发生机制^[14 23 26]。

4 结 论

Weende 体系与 Van Soest 体系是奶牛饲料营养价值评定的基础,应根据需要选择综合评定指数还是 CNCPS 体系。本试验所测定的数据,尤其是首次报道有关豆腐渣的数据,丰富了 CNCPS 体系饲料数据库,为应用 CNCPS 体系调控江西省奶牛日粮的能、氮平衡提供了基础数据。

参考文献:

- [1]Morrison F B. Feeds and Feeding[M]. 22nd ed. Clinton IA: Morrison Publishing Co,1956.
- [2]Van Soest P J, Sniffen C J, Mertens D R, et al. A net protein system for cattle: The rumen submodel for nitrogen[C]//Owens F N ed. Protein requirements for cattle: Proceedings of an international symposium. Stillwater: Oklahoma State University, 1981: 265.
- [3]张吉鹏. 粗饲料品质评定指数研究进展[J]. 中国饲料, 2003(16): 9-11.
- [4]张吉鹏. 反刍家畜粗饲料品质评定的指标及其应用比较[J]. 中国畜牧杂志, 2006, 42(5): 47-50.
- [5]张吉鹏. 粗饲料品质评定指数的比较研究[J]. 饲料研究, 2003(9): 17-20.
- [6]Sniffen C J, O'Connor J D, Van Soest P J, et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability[J]. Journal of Animal Science, 1992, 70(11): 3562-3577.
- [7]AOAC. Official Methods of Analysis[M]. 13th ed. Washington, D C: Association of Official Analytical Chemists, 1980.
- [8]Krishnamoorthy U, Sniffen C J, Stern M D, et al. Evaluation of mathematical model of digestion and in vitro simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen undegraded nitrogen content of feedstuffs[J]. British Journal of Nutrition, 1983, 50(3): 555-568.
- [9]American Association of Cereal Chemistry (AACC). Approved Methods of the AACC[M]. St Paul M N: The Associations, 1976.

(下转第 1031 页)

- 387(6): 2289 – 2295.
- [9] Galtier N, Dupuy Y, Le D, et al. Geographic origins and compositions of virgin olive oils determined by chemometric analysis of NIR spectra [J]. *Analytica Chimica Acta* 2007 595(1): 136 – 144.
- [10] 姜礼义, 刘福莉, 陈华才, 等. 绿茶汤中茶多酚近红外定量分析的光程选择 [J]. *中国计量学院学报* 2009 20(2): 135 – 138.
- [11] 吴瑞梅, 赵杰文, 陈全胜, 等. 特征变量筛选在绿茶汤中茶多酚近红外光谱定量分析中的应用 [J]. *农业机械学报*, 2011 42(12): 173 – 176.
- [12] Norgaard L, Saudland A, Wagner J, et al. Interval partial least – squares regression (iPLS): a comparative chemometric study with an example from near – infrared spectroscopy [J]. *Applied Spectroscopy*, 2000 54(3): 413 – 419.
- [13] Chen Q S, Zhao J W, Liu M H, et al. Determination of total polyphenols content in green tea using FT – NIR spectroscopy and different PLS algorithms [J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 2008 46(3): 568 – 573.
- [14] 朱向荣, 李娜, 史新元, 等. 近红外光谱与组合的间隔偏最小二乘法测定清开灵四混液中总氮和栀子苷的含量 [J]. *高等学校化学学报* 2008 29(5): 906 – 911.
- [15] Chen Q S, Zhao J W, Huang X Y, et al. Simultaneous determination of total polyphenols and caffeine contents of green tea by near – infrared reflectance spectroscopy [J]. *Microchemical Journal* 2006 83(1): 42 – 47.
- [16] Liu F, He Y, Wang L, et al. Detection of organic acids and pH of fruit vinegars using near – infrared spectroscopy and multivariate calibration [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2011 4(8): 1331 – 1340.

(上接第 1007 页)

- [10] Smith L W, Goering H K, Gordon C H. Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls [J]. *Journal of Dairy Science*, 1972 55(2): 1140 – 1147.
- [11] Pichard D G, Van Soest P J. Protein solubility of ruminant feeds [M]. Ithaca N Y: Proceedings of Cornell Nutrition Conference, 1977: 91.
- [12] 张吉鹏, 卢德勋, 李龙瑞, 等. 浅析粗饲料品质评定指数及其模型 [J]. *畜牧与兽医* 2004 36(4): 23 – 25.
- [13] 张吉鹏, 黄光明, 邹庆华, 等. 几种奶牛用粗饲料品质的综合评定研究 [J]. *饲料工业* 2008 29(21): 34 – 37.
- [14] 张吉鹏, 邹庆华, 王金芬, 等. 稻草添补百脉根瘤胃体外发酵及微生物蛋白合成的组合效应研究 [J]. *江西农业大学学报* 2011 33(5): 942 – 948.
- [15] 张吉鹏, 李龙瑞, 邹庆华. 稻草与不同饲料混合在体外消化率上的组合效应研究 [J]. *草业科学* 2010 27(11): 137 – 144.
- [16] Zhang Ji-kun, Chen Kai-wen, Xie Jin-fang, et al. A comparison of grading index and relative feed value in forage quality evaluation [J]. *China Feed Industry*, 2008 1(2): 30 – 32.
- [17] 韦升, 杨纯, 邹彩霞, 等. 应用体外产气法评定广西区内豆腐渣、木薯渣、啤酒糟的营养价值 [J]. *饲料工业* 2011 32(7): 46 – 48.
- [18] 曲永利, 吴健豪, 李铁. 应用康奈尔净碳水化合物 – 蛋白质体系评定东北农区奶牛饲料营养价值 [J]. *动物营养学报* 2010 22(1): 201 – 206.
- [19] 赵广永. 用净碳水化合物 – 蛋白质体系评定反刍动物饲料营养价值 [J]. *中国农业大学学报*, 1994 4(增刊): 71 – 76.
- [20] 郭冬生, 彭小兰. 用 CNCPS 方法评定反刍动物常用饲料的营养价值 [J]. *粮食与饲料工业* 2010(10): 41 – 42.
- [21] 张吉鹏, 谢金防, 肖海红, 等. 分级指数与相对值在奶牛用粗饲料品质评定上的比较研究 [J]. *中国奶牛* 2008(8): 15 – 19.
- [22] 张吉鹏, 卢德勋, 刘建新, 等. 粗饲料品质评定指数的研究现状及其进展 [J]. *草业科学* 2004 21(9): 55 – 61.
- [23] 李威, 高民, 卢德勋, 等. CNCPS 与 NRC 在反刍动物方面的分析比较及其研究进展 [J]. *饲料工业* 2008 29(13): 45 – 48.
- [24] 张吉鹏. 粗饲料品质评定指数——产奶二千 [J]. *江西饲料* 2005(6): 20 – 25.
- [25] 李威. 利用 CNCPS 和 GI 进行乳牛日粮优化设计及其应用效果研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- [26] 张吉鹏. 饲料间的组合效应及其在配方设计中的应用 [J]. *草业科学* 2009 26(12): 113 – 117.