

应用康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系和 NRC 模型评价不同干酒糟及其可溶物的营养价值

陈丽妹¹ 葛孔福² 俞培强^{1,3} 张学炜^{1*}

(1. 天津农学院动物科学系, 天津 300384; 2. 天津嘉立荷牧业有限公司, 天津 300402; 3. 萨斯喀彻温大学农业与生物资源学院, 萨斯卡通 S7N5A8, 加拿大)

摘要: 本试验旨在应用康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系(CNCPS)和 NRC 模型评价不同干酒糟及其可溶物(DDGS)的营养价值。采集我国 5 个不同生产厂家的玉米 DDGS 和 2 个不同生产厂家的大麦 DDGS 作为样本,测定营养成分,利用 CNCPS 对蛋白质和碳水化合物组分进行剖分,并根据 NRC 模型估测可消化养分含量和能值。结果表明:1) 玉米 DDGS 中粗蛋白质(CP)、中性洗涤不溶性粗蛋白质(NDICP)和酸性洗涤不溶性粗蛋白质(ADICP)含量的平均值均高于大麦 DDGS,但是玉米 DDGS 中可溶性粗蛋白质(SCP)、中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤木质素(ADL)的含量的平均值均低于大麦 DDGS。2) 玉米 DDGS 中速降解真蛋白质(PB2)、不可降解氮(PC)和不可利用碳水化合物(CC)含量的平均值均高于大麦 DDGS。3) 与大麦 DDGS 相比,玉米 DDGS 中瘤胃真可消化粗蛋白质(tdCP)和维持水平总可消化养分(TDN_m)含量的平均值略高,生产水平消化能(DE_p)、生产水平代谢能(ME_p)、生产水平泌乳净能(NE_{Lp})、维持净能(NE_m)的平均值接近。结果提示,我国的玉米 DDGS 和大麦 DDGS 可以作为奶牛饲料,缓解我国蛋白质饲料紧张和价格高涨带来的影响。

关键词: 干酒糟及其可溶物; 玉米; 大麦; 营养成分; 能值; 奶牛

中图分类号: S816; S823

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2014)02-0541-08

玉米、大麦是世界上最重要的粮食和饲料资源。近年来,随着国际上石油化工能源短缺,世界各国以玉米、大麦等籽实为原料的生物乙醇燃料产业得到迅猛发展,并由此产生了大量的副产品——干酒糟及其可溶物(dried distillers grains with solubles, DDGS)。由于生物乙醇的生产主要是利用微生物对其淀粉进行转化利用,而其他营养物质如蛋白质、脂类、矿物质和纤维素等营养成分在 DDGS 中得以保留和浓缩,各营养成分含量几乎为其原料中的 2~3 倍^[1-2]。在现代奶牛养殖中,DDGS 作为高蛋白、高脂肪、高纤维素饲料被添加到奶牛饲料中,用来补充蛋白质、能量以及

维持瘤胃内环境稳定,并且因其淀粉含量极低,有助于避免和缓解由精料过高而导致的急性和亚急性瘤胃酸中毒、肢蹄病等,因此,DDGS 作为奶牛的优质饲料得以广泛利用。为了提高 DDGS 的利用效率,欧美各国已经进行了深入而广泛的研究,开发了康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系(Cornell net carbohydrate and protein system, CNCPS)和 CPM 奶牛饲料配方软件(由康奈尔大学、宾夕法尼亚大学和 Miner 研究所联合开发)等^[3-7],但是我国在这方面的研究仍十分薄弱和落后。本试验应用 CNCPS 和 NRC 模型对国内 7 个不同生产厂家的 2 类(玉米和大麦) DDGS 营养水平进行了评

收稿日期: 2013-08-07

基金项目: 天津市农委农业科技引进重大项目(201303080); 天津市千人计划项目资助

作者简介: 陈丽妹(1988—), 女, 安徽宿州人, 硕士研究生, 从事反刍动物营养与健康研究。E-mail: tjau2011@163.com

* 通讯作者: 张学炜, 教授, 硕士生导师, E-mail: zhangxuewei63@163.com

价,从 DDGS 的营养成分测定、蛋白质和碳水化合物(carbohydrate, CHO)组分割分及真可消化养分与能值估测等方面综合分析,探讨了不同 DDGS 的营养价值,旨在为其在生产中合理应用提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

试验采集 7 个不同生产厂家来源的 DDGS 样本,分别编号 1、2、3、4、5、6、7。1~7 号样本分别来自中粮生化能源(吉林)有限公司(吉林)、赤峰三利饲料有限公司(内蒙古)、梅河口市阜康酒精有限责任公司(吉林)、丰原集团(安徽)、中粮生化能源(肇东)有限公司(黑龙江)、青岛啤酒股份有限公司(山东)、燕京啤酒集团(北京)。1~5 号样本为玉米 DDGS,6 和 7 号样本为大麦 DDGS。所有样本经四分法采集后,粉碎过 1 mm 筛,放入密封袋中置 4 ℃冰箱冷藏,以备分析。

1.2 试验方法

1.2.1 营养成分分析

DDGS 的干物质(dry matter, DM, AOAC 930.15)、粗灰分(ash, AOAC 942.05)、粗蛋白质(crude protein, CP, AOAC 984.13)、粗脂肪(ether extract, EE, AOAC 984.13)等常规营养成分含量依据美国官方分析化学家协会(Association of Official Analytical Chemists, AOAC)标准方法测定。淀粉含量使用淀粉检测试剂盒和 α -淀粉酶/葡萄糖苷酶法进行测定。中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)、酸性洗涤木质素(acid detergent lignin, ADL)、中性洗涤不溶性粗蛋白质(neutral detergent insoluble crude protein, NDICP)和酸性洗涤不溶性粗蛋白质(acid detergent insoluble crude protein, ADICP)的含量按照 Van Soest 氏法进行测定,测定 ADF、NDF、ADL 含量时,在使用洗涤剂提取之前不加亚硫酸钠;NDF、ADF 含量测定后的残样经处理后用于 NDICP 和 ADICP 含量测定。非蛋白氮(NPN)含量通过用钨酸沉淀真蛋白质方法(将样本浸泡在 0.3 mol/L 钨酸钠 30 min)来测定。可溶性粗蛋白质(soluble crude protein, SCP)含量是通过将样本浸泡在碳酸氢盐-磷酸盐缓冲溶液中,用滤纸过滤后再进行定氮分析测定的。碳水化合物、非结构性碳水化合物(non-structure carbo-

hydrate, NSC)、半纤维素和纤维素含量通过相应公式计算。

本试验在天津市嘉立荷牧业有限公司饲料化验室进行,所用仪器主要有全自动凯氏定氮仪、索氏抽提仪、纤维素分析仪和紫外分光光度计等。

1.2.2 CNCPS 对蛋白质组分的剖分

CNCPS 将饲料的营养成分分析与植物细胞的成分以及反刍动物的消化特性结合起来,使分析结果更具有参考意义。与其他体系相比,CNCPS 考虑了饲料的降解特性等因素,反映了当前国际上动物营养学发展的新方向。在 CNCPS 蛋白质剖分体系中,饲料蛋白质分为非蛋白氮、真蛋白质(true protein)和不可降解氮(undegradable nitrogen)3 个组分,分别用 PA、PB 和 PC 表示;在瘤胃降解率的基础上,PB 又可进一步划分为 PB₁、PB₂ 和 PB₃ 3 个亚组分,PB₁ 是快速降解真蛋白质,PB₂ 是中速降解真蛋白质,PB₃ 是慢速降解真蛋白质。

1.2.3 CNCPS 对碳水化合物组分的剖分

CNCPS 将碳水化合物分为 4 个组分,快速降解碳水化合物(rapidly fermented carbohydrate, 主要为糖类)、中速降解碳水化合物(intermediately degraded carbohydrate, 主要为淀粉和果胶)、缓慢降解碳水化合物(slowly degraded carbohydrate, 主要为可消化纤维素)、不可利用碳水化合物(unavailable carbohydrate, 主要为细胞壁)分别用 CA、CB₁、CB₂、CC 表示^[8-10]。

1.2.4 NRC 模型估测真可消化养分与能值

使用 NRC(2001)^[11]奶牛估测模型来估测奶牛瘤胃真可消化粗蛋白质(truly digestible crude protein, tdCP)、真可消化脂肪酸(truly digestible fatty acids, tdFA)、真可消化中性洗涤纤维(truly digestible neutral detergent fiber, tdNDF)、真可消化非纤维碳水化合物(truly digestible non-fiber carbohydrate, tdNFC)、维持水平总可消化养分(total digestible nutrients at maintenance level, TDNm)^[12]、生产水平(采食量为维持水平的 3 倍时)消化能(digestible energy at production level, DE_p)、代谢能(metabolizable energy at production level, ME_p)和泌乳净能(net energy for lactation at production level, NE_{Lp})。维持净能(net energy for maintenance, NE_m)和增重净能(net energy for gain, NE_g)使用 NRC(1996)^[13]肉牛估测模型进行估测。

1.3 数据统计分析

数据采用 SAS 9.1.3 中 MIEXD 程序进行统计分析。分析所用的模型为:

$$Y_{ij} = \mu + F_i + e_{ij}$$

式中: Y_{ij} 是根据变量 (i, j) 所得的因变量, μ 是变量 (i, j) 的平均值, F_i 是饲料来源的固定因素, e_{ij} 是与变量相关的随机误差。

2 结果与分析

2.1 我国不同生产厂家 DDGS 的营养成分

从表 1 可见,我国不同生产厂家来源的 DDGS 营养成分有较大差异。在玉米 DDGS 中,DM 含量平均值为 907.6 g/kg,全距较小。但发现 2 号样本有许多不同于其他样本的特性,其中 ash 含量最低(31.1 g/kg DM),远低于 5 个样本的平均值(50.8 g/kg DM),而 EE、NDF、ADF、ADL 以及淀粉含量均高于其他样本,远高于 5 个样本的平均值[分别为 154.0 vs. 90.9 g/kg DM、557.6 vs. 453.5 g/kg DM、196.0 vs. 159.4 g/kg DM、40.0 vs. 25.1 g/kg DM、63.5 vs. 36.7 g/kg DM],2 号样本纤维素和半纤维素含量也高于 5 个样本的平均值(分别为 156.0 vs. 134.3 g/kg DM 和 356.5

vs. 293.2 g/kg DM)。不同玉米 DDGS 中 CP 和 SCP 含量有较大差异,5 号样本 DDGS 中 CP 以及 ADICP 和 NDICP 含量均高于其他样本(分别达到 348.6 g/kg DM 以及 181.0 和 354.4 g/kg CP)。

在大麦 DDGS 中,6 号样本具有较低的 ash 含量(44.2 g/kg DM),但 EE、NDF、ADL 含量均高于 7 号样本(分别为 150.0 vs. 35.0 g/kg DM、638.4 vs. 450.5 g/kg DM、214.2 vs. 154.2 g/kg DM)。6 号样本的淀粉含量低于 7 号样本(14.4 vs. 62.9 g/kg DM)。在蛋白质各组分中,与 7 号样本相比,6 号样本有较低的 CP 和 SCP 含量(分别为 243.0 vs. 286.2 g/kg DM 和 50.0 vs. 396.2 g/kg SCP),相反有较高的 ADICP 和 NPN 含量(53.7 vs. 23.7 g/kg CP 和 707.8 vs. 644.2 g/kg SCP)。

玉米 DDGS 与大麦 DDGS 相比时发现,玉米 DDGS 具有较高的 CP、NDICP 和 ADICP 含量(分别为 321.3 vs. 264.6 g/kg DM、338.5 vs. 324.0 g/kg CP 和 125.0 vs. 38.7 g/kg CP),而大麦 DDGS 具有较高的 SCP、NDF、ADL 含量(分别为 89.7 vs. 223.1 g/kg CP、453.5 vs. 544.5 g/kg DM、25.1 vs. 51.6 g/kg DM)。

表 1 我国不同生产厂家 DDGS 的营养成分

Table 1 Nutrient composition of DDGSs from different manufactures in China

项目 Items	玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS					平均值 标准差 全距			大麦干酒糟及其可溶物 Barley DDGS			平均值 标准差 全距		
						Mean	SD	Range			Mean	SD	Range	
	1	2	3	4	5			6	7					
干物质 DM/(g/kg)	893.7	924.9	905.2	896.5	917.6	907.6	12.0	37.2	927.5	943.1	935.3	11.0	15.6	
粗灰分 Ash/(g/kg DM)	60.5	31.1	54.1	57.4	50.9	50.8	10.4	29.4	44.2	59.7	52.0	11.0	15.5	
有机物 OM/(g/kg DM)	939.5	968.9	945.9	942.6	949.1	949.2	10.4	29.4	955.8	940.3	948.1	11.0	15.5	
粗脂肪 EE/(g/kg DM)	77.5	154.0	74.7	65.9	82.6	90.9	32.0	88.1	150.0	35.0	92.5	81.3	115.0	
中性洗涤纤维 NDF/(g/kg DM)	410.2	557.6	457.1	415.2	427.6	453.5	54.5	147.4	638.4	450.5	544.5	132.9	187.9	
酸性洗涤纤维 ADF/(g/kg DM)	107.9	196.0	170.4	125.8	196.7	159.4	36.4	88.8	214.2	154.2	184.2	42.43	60.0	
酸性洗涤木质素 ADL/(g/kg DM)	18.9	40.0	27.0	18.4	21.2	25.1	8.1	21.6	79.3	23.9	51.6	39.2	55.4	
纤维素 Cellulose/(g/kg DM)	89.1	156.0	143.4	107.4	175.4	134.3	31.7	86.3	134.9	130.3	132.6	3.3	4.6	
半纤维素 Hemicellulose/(g/kg DM)	302.4	356.5	286.7	289.4	230.9	293.2	40.1	125.6	424.3	296.3	360.3	90.5	128.0	
淀粉 Starch/(g/kg DM)	38.8	63.5	32.4	29.9	18.9	36.7	14.9	44.6	14.4	62.9	38.7	34.3	48.5	

续表 1

项目 Items	玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS					平均值 标准差 全距			大麦干酒糟及其可溶物 Barley DDGS					
						Mean	SD	Range	平均值	标准差	全距	平均值	标准差	全距
	1	2	3	4	5				6	7				
碳水化合物 CHO/(g/kg DM)	542.0	490.9	554.3	579.7	517.9	537.0	34.05	88.8	562.9	619.1	591.0	39.74	56.2	
粗蛋白质 CP/(g/kg DM)	320.1	323.9	316.9	297.0	348.6	321.3	16.5	51.6	243.0	286.2	264.6	30.55	43.2	
可溶性粗蛋白质 SCP/(g/kg CP)	117.2	16.9	81.3	131.2	102.0	89.7	44.7	114.3	50.0	396.2	223.1	244.80	346.2	
非蛋白氮 NPN/(g/kg SCP)	962.8	688.2	707.0	966.8	981.7	861.3	149.7	293.5	707.8	644.2	676.0	45.0	63.6	
酸性洗涤不溶粗蛋白质 ADICP/(g/kg CP)	80.3	96.2	164.1	103.2	181.0	125.0	44.6	100.7	53.7	23.7	38.7	21.2	30.0	
中性洗涤不溶粗蛋白质 NDICP/(g/kg CP)	335.1	318.5	345.2	339.1	354.4	338.5	13.3	35.9	360.3	287.6	324.0	51.4	72.7	
非结构性碳水化合物 NSC/(g/kg CHO)	120.0	111.5	120.9	112.3	134.7	119.9	8.4	9.4	94.4	87.3	90.9	5.0	15.6	

全距 = 最大值 - 最小值。下表同。

Range = maximum value - minimum value. The same as below.

2.2 CNCPS 对不同 DDGS 蛋白质和碳水化合物组分的剖分

从表 2 可见,不同 DDGS 蛋白质和碳水化合物组分存在差异。

在用 CNCPS 对 5 种玉米 DDGS 的蛋白质组剖分后,2 号样本具有较低的 PA 含量和较高的 PB2 含量,而 1 号样本具有较高的 PB3 含量和较低的 PC 含量,5 号样本具有最高的 PC 含量。从蛋白质组剖分来看,2 号样本具有较高营养价值,而 4 号样本较差。在碳水化合物组剖分中,2 号样本的 CA 含量较低,而 CB1、CB2 和 CC 含量均高于其他样本,显示出 2 号样本的可溶性糖含量较低,而可消化纤维素和细胞壁的含量较高。

在大麦 DDGS 中,6 号样本具有较低的 PA 含量,其他组分含量则相对较高,尤其是 PB2 和 PC 含量,因为具有极高的 PB 含量,所以营养价值要高于 7 号样本。在碳水化合物组剖分中,与 7 号样本相比,6 号样本有较低的 CA 和 CB1 含量,相反有较高的 CB2 和 CC 含量,表明其可消化纤维含量较高,这更增加了其作为奶牛饲料调理奶牛瘤胃环境的优势。

2.3 NRC 模型估测不同 DDGS 可消化养分含量和能值

从表 3 可见,不同 DDGS 总可消化养分含量

和能值存在差异。在玉米 DDGS 中,2 号样本有较低的 tdNFC 含量、较高的 tdCP 含量和极高的 tdFA、tdNDF 含量,这与 2 号样本具有较高含量的 PB、EE、NDF、纤维素和半纤维素的结果相一致。

大麦 DDGS 比玉米 DDGS 有略低的 tdNFC、tdCP 和 TDN_m 含量,较高的 tdFA 含量和相近的 tdNDF 含量,这也与营养成分分析结果一致。

玉米 DDGS 的 DE_p、ME_p、NE_{Lp}、NE_m 以 2 号样本最高,3 号样本相对较低。

3 讨论

3.1 不同 DDGS 营养成分

本试验较完整地分析了我国几个具有代表性生产厂家玉米 DDGS 和大麦 DDGS 样本的营养成分,玉米 DDGS 结果的平均值与 Waldo 等^[14]报道的加拿大 3 种不同来源的玉米 DDGS 的分析结果相比,除了 EE、SCP、NPN 和 NDICP 含量略低外,其他成分含量基本接近。从 Waldo 等^[14]的结果还得知,加拿大玉米 DDGS 中 ash、EE、NDF、ADF、ADL 以及 CP 含量与玉米籽实相比,除了淀粉几乎被发酵利用(43.8 vs. 634.1 g/kg DM)以外,其他营养成分含量均比玉米籽实高出 2~5 倍不等,表明了玉米 DDGS 是极具营养价值的奶牛饲料。Zhang 等^[15-16]分析了加拿大大麦的各种营养成

分,其DM含量为937.0 g/kg,与本试验大麦DDGS结果接近。加拿大大麦籽实的ash、EE、NDF、ADF、ADL、CP以及淀粉含量分别为17.0、20.0、100.0、14.0、3.0、147.0和613.0 g/kg DM。本试验大麦DDGS的分析结果与加拿大大麦籽实

相比,除了淀粉含量(38.7 g/kg DM)较低以外,其他营养成分含量别高出2~5倍不等,结果表明我国大麦DDGS和加拿大大麦DDGS一样,是一种极具市场潜力的奶牛饲料。

表2 CNCPS对不同DDGS蛋白质和碳水化合物组分的剖分

Table 2 Partition of subfractions of protein and carbohydrate of different DDGSs using CNCPS

项目 Items	玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS					平均值 Mean	标准差 SD	全距 Range	大麦干酒糟及其可溶物 Barley DDGS				
									平均值 Mean	标准差 SD	全距 Range	其可溶物	
	1	2	3	4	5							6	7
蛋白质组分 Protein composition/(g/kg CP)													
非蛋白氮 PA	126.2	12.5	63.4	141.4	109.1	90.5	52.51	128.9	38.2	270.7	154.5	164.40	232.5
快速降解真蛋白质 PB ₁	4.9	5.7	26.3	4.9	2.0	8.8	9.91	24.3	15.8	14.9	15.4	0.64	0.9
中速降解真蛋白质 PB ₂	494.0	637.5	528.9	475.5	502.7	527.7	64.31	161.5	557.6	275.0	416.3	199.83	282.6
慢速降解真蛋白质 PB ₃	285.1	240.3	200.1	263.1	189.0	235.5	40.81	96.1	330.5	279.8	305.2	35.85	50.7
不可降解氮 PC	89.8	104.0	181.2	115.1	197.3	137.5	48.44	107.5	57.9	25.1	41.5	23.19	32.8
真蛋白质 PB	784.0	883.5	755.3	743.5	693.7	772.0	70.35	189.8	903.9	569.7	736.8	236.31	334.2
碳水化合物组分 CHO composition/(g/kg CHO)													
快速降解碳水化合物 CA	425.7	28.0	361.0	447.7	415.5	335.6	174.88	419.7	14.9	350.3	182.6	237.16	335.4
中速降解碳水化合物 CB ₁	38.8	63.5	32.4	29.9	18.9	36.7	16.61	44.6	14.6	62.9	38.8	34.15	48.3
缓慢降解碳水化合物 CB ₂	451.9	712.9	489.8	446.4	467.3	513.7	112.64	265.6	628.3	494.2	561.3	94.82	134.1
不可利用碳水化合物 CC	83.5	195.6	116.8	76.0	98.3	114.0	48.18	119.6	338.2	92.6	215.4	173.67	245.6

表3 NRC模型估测不同DDGS可消化养分含量和能值

Table 3 Prediction of digestible nutrient contents and energy values of different DDGSs using NRC models

项目 Items	玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS					平均值 Mean	标准差 SD	全距 Range	大麦干酒糟及其可溶物 Barley DDGS				
									平均值 Mean	标准差 SD	全距 Range	其可溶物	
	1	2	3	4	5							6	7
真可消化养分 tdN/(g/kg DM)													
真可消化非纤维碳水化合物 tdNFC	246.7	44.1	213.7	271.3	220.4	199.2	89.68	227.2	185.0	250.7	134.6	164.19	232.2
真可消化粗蛋白质 tdCP	308.6	310.4	294.0	283.3	321.1	303.5	14.85	37.8	237.3	283.4	260.4	32.60	46.1
真可消化中性洗涤纤维 tdNDF	170.6	243.6	188.9	180.5	168.5	190.4	30.83	75.1	252.1	213.1	232.6	27.58	39.0
真可消化脂肪酸 tdFA	67.5	144.0	64.7	55.9	72.6	80.9	35.77	88.1	140.0	25.0	82.5	81.32	115.0
估测总可消化养分 Predicted TDN/(g/kg DM)													
维持水平总可消化养分 TDN _m	807.8	852.1	772.1	790.8	803.3	805.2	29.64	80.0	752.8	733.4	743.1	13.72	19.4
估测能值 Predicted energy values/(MJ/kg DM)													
生产水平消化能 DE _p	13.42	13.75	13.13	13.21	13.46	13.39	0.06	0.15	3.03	3.06	3.05	0.02	0.03
生产水平代谢能 ME _p	11.79	12.25	11.45	11.50	11.83	11.76	0.08	0.19	2.67	2.64	2.66	0.02	0.03
生产水平泌乳净能 NE _{LP}	7.57	8.07	7.36	7.36	7.61	7.59	0.07	0.17	1.74	1.67	1.71	0.05	0.07
维持净能 NE _m	9.95	10.66	9.36	9.57	9.95	9.90	0.12	0.17	2.13	2.08	2.11	0.04	0.05
增重净能 NE _g	6.94	7.57	6.48	6.65	6.94	6.91	0.10	0.26	1.46	1.41	1.44	0.04	0.05

另外,从国内生物乙醇加工副产品看,不论是玉米 DDGS 还是大麦 DDGS,都含有大量的粗纤维(NDF、ADF 和 ADL)和少量的淀粉,不仅能够有效地促进奶牛瘤胃发育,而且能防止瘤胃酸中毒的发生。同时,玉米 DDGS 的 CP 含量在 321.1 g/kg DM,大麦 DDGS 的 CP 含量在 264.6 g/kg DM,均超过了 DM 含量的 20%,根据饲料种类划分依据,其属于新型的蛋白质饲料,其供应不仅可以提高饲料营养水平,还可大大缓解我国大豆及豆粕产品供应紧张状况,有利于降低饲养成本。

3.2 不同 DDGS 蛋白质和碳水化合物组分

CNCPS 根据降解速率的不同,对饲料蛋白质各组分进行剖分。在 1~5 号玉米 DDGS 样本的蛋白质组分剖分中,2 号样本的 PA 组分含量低, PB₂ 组分含量较高,比其他 DDGS 具有较高的优势。本试验 5 种玉米 DDGS 样本蛋白质组分结果与 Waldo 等^[14]的结果相比基本一致,说明我国玉米 DDGS 和加拿大玉米 DDGS 的蛋白质营养品质相似。

与大麦籽实^[15]相比,大麦 DDGS 具有略低的 PA(154.5 vs. 189.0 g/kg CP)和 PB₂ 含量(416.3 vs. 528.0 g/kg CP),极低的 PB₁ 含量(15.4 vs. 185.0 g/kg CP),表明部分 PA 被分解,但同时有较高的 PB₃(305.2 vs. 94.0 g/kg CP)和 PC(41.5 vs. 5.0 g/kg CP)含量。

在玉米 DDGS 和大麦 DDGS 中, PB₂ 和 PB₃ 含量存在差异,可能与玉米和大麦中蛋白质分子结构以及酒精生产工艺的不同有关。在干燥加热过程中,谷物籽实和 DDGS 蛋白质组分的不同主要由 PB₂ 和 PB₃ 组分来呈现。

利用 CNCPS 体系对碳水化合物进一步剖分时,各组分含量也有差异。CA 含量差异较大,本试验 5 个玉米 DDGS 样本碳水化合物组分中 CA 含量高于 Waldo 等^[14]的结果,其余组分均低于其结果,这可能与我国玉米 DDGS 生产工艺与加拿大不同有关^[17]。

虽然玉米籽实和大麦籽实相比,淀粉含量与大麦几近相同,但玉米 DDGS 中淀粉含量高于大麦 DDGS,这可能是由发酵过程中大麦淀粉降解速度较快和发酵程度较高造成。

3.3 不同 DDGS 可消化养分含量和能值

玉米 DDGS 和大麦 DDGS 都含有较高的 td-

CP,这与玉米 DDGS 和大麦 DDGS 中 CP 含量较高有关。大麦 DDGS 中 tdFA 的含量高于玉米 DDGS,这与谷物籽实中 tdFA 含量相关。玉米 DDGS 中 DE_p、ME_p、NE_{Lp}、NE_m 和 NE_g 含量与大麦 DDGS 中几近相同,表明在给反刍动物提供能量方面,玉米 DDGS 和大麦 DDGS 两者的功能基本相同,可以实现能量相互替换。与 Waldo 等^[14]的结果相比,本试验中的 DE_p、ME_p、NE_{Lp} 略低,而 NE_m 和 NE_g 基本相当。

本试验利用 CNCPS 和 NRC 模型对我国 7 个不同 DDGS 样本进行了营养价值评定,揭示了 DDGS 可以作为奶牛优质蛋白质饲料原料予以开发利用的可行性,尤其在当前玉米、豆粕价格高涨的时期,DDGS 不仅可以降低饲料成本,同时为蛋白质饲料资源综合利用开辟新的途径。本试验下一步试验工作将在奶牛瘤胃体内降解动力学和小肠吸收利用率测定、饲料蛋白质和碳水化合物分子结构分析等方面逐步深入,以期揭示不同 DDGS 饲料各营养成分、饲料蛋白质和碳水化合物各组分与奶牛瘤胃代谢之间,以及代谢与饲料分子结构之间的内在关系,为我国现代饲料数据库的建立和饲料资源开发高效利用提供参考依据。

4 结论

玉米 DDGS 和大麦 DDGS 可以作为奶牛饲料,缓解我国蛋白质饲料紧张和价格高涨带来的影响。

致谢:

衷心感谢天津嘉立荷牧业有限公司副总经理李德林在研究条件方面给予的支持,感谢嘉立荷牧业有限公司化验室成员在研究工作期间所给予的帮助,感谢天津市农委农业科技引进重大项目和天津市千人计划项目(中加合作)的支持。

参考文献:

- [1] 周良娟,张丽英. 玉米 DDGS 的营养价值及其变异因素[J]. 中国饲料,2012(7):4-8.
- [2] 于震. CNCPS 在奶牛日粮评价和生产预测上的应用[D]. 硕士学位论文,哈尔滨:东北农业大学,2007.
- [3] CROMWELL G L, HERKELMAN K L, STAHLY T S. Physical chemical and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs [J]. Journal of Animal Science, 1993, 71(3):679-

- 686.
- [4] SPIEHS M J, WHITNEY M H, SHURSON G C. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(10):2639-2645.
- [5] SHURSON G C. Issues and opportunities related to the production and marketing of ethanol by-products [C]//*Proceedings Agricultural Outlook Forum*. Arlington: United States Department of Agriculture, 2005;32880.
- [6] KLEINSCHMIT D H, Anderson J L, Schingoethe D J, et al. Ruminant and intestinal degradability of distillers grains plus solubles varies by source [J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(6):2909-2918.
- [7] STEIN H H, SHURSON G C. Board-invited review: the use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets [J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87(4):1292-1303.
- [8] 杜晋平,任丽萍,赵金石,等. 利用 CNCPS 研究玉米和豆粕中碳水化合物不同组分的瘤胃降解和小肠消化 [J]. *畜牧与饲料科学*, 2008, 29(6):126-129.
- [9] SNIFFEN C J, VAN SOEST P J, FOX D G, et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability [J]. *Journal of Animal Science*, 1992, 70(1):3562-3577.
- [10] CHALUPA W, SNIFFEN C J. Carbohydrate, protein and amino acid nutrition of lactating dairy cattle [M]//*Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham: Nottingham University Press, 1994.
- [11] NRC. Nutrient requirement of dairy cattle [S]. 7th ed. Washington, D. C. : National Academy Press, 2001.
- [12] WEISS W P, CONRAD H R, ST PIERRE N R. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates [J]. *Animal Feed Science Technology*, 1992, 39(1/2):95-110.
- [13] NRC. Nutrient requirement of beef cattle [S]. 7th ed. Washington, D. C. : National Academy Press, 1996.
- [14] WALDO G, ORTÍN N, YU P Q. Nutrient variation and availability of wheat DDGS, corn DDGS and blend DDGS from bioethanol plants [J]. *Journal of Science Food Agriculture*, 2009, 89(10):1754-1761.
- [15] ZHANG X W, YU P Q. Molecular basis of protein structure in combined feeds (hulless barley with bioethanol co-product of wheat dried distillers grains with solubles) in relation to protein rumen degradation kinetics and intestinal availability in dairy cattle [J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(6):3363-3379.
- [16] ZHANG X W, YU P Q. Differentiation of mixtures of co-product blend with barley grain based on Fourier transforms infrared attenuated total reflection molecular spectroscopy: carbohydrate molecular spectra profiles and nutritive characteristics in dairy cattle [J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(11):6624-6634.
- [17] BELYEA R, ECKHOFF S, WALLIG M, et al. Variability in the nutritional quality of distillers solubles [J]. *Bioresource Technology*, 1998, 66(3):207-212.

Evaluation of Nutrition Values of Different Dried Distillers Grains with Solubles Using Cornell Net Carbohydrate and Protein System and National Research Council Models

CHEN Limei¹ GE Kongfu² YU Peiqiang^{1,3} ZHANG Xuewei^{1*}

(1. College of Animal Science and Animal Veterinary, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China;

2. Tianjin Jialihe Livestock Co., Ltd., Tianjin 300402, China; 3. College of Agriculture and Bioresources, University of Saskatchewan, Saskatoon S7N5A8, Canada)

Abstract: This study was conducted to evaluate the nutrition values of different dried distillers grains with solubles (DDGSs) using Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) and National Research Council (NRC) models. Corn DDGSs from five manufactures and barley DDGSs from two manufactures in China were selected as samples to determine nutrient composition, and then the protein and carbohydrate subfractions were partitioned using CNCPS. Finally, the digestible nutrient contents and energy values were predicted using NRC models. The results showed as follows: 1) the average contents of crude protein (CP), neutral detergent insoluble crude protein (NDICP) and acid detergent insoluble crude protein (ADICP) in corn DDGSs were all higher than those in barley DDGSs, while the average contents of soluble crude protein (SCP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent lignin (ADL) were lower than those in barley DDGSs. 2) The average contents of intermediately degraded true protein (PB₂), undegradable nitrogen (PC) and unavailable carbohydrate (CC) in corn DDGSs were higher than those in barley DDGSs. 3) Compared with barley DDGSs, the average contents of truly digestible crude protein (tdCP) and total digestible nutrients at maintenance level (TDN_m) in corn DDGSs were a little higher, while the digestible energy at production level (DE_p), metabolizable energy at production level (ME_p), net energy for lactation at production level (NE_{Lp}) and net energy for maintenance (NE_m) were close in corn and barley DDGSs. The results indicate that corn DDGSs and barley DDGSs in China can be used as dairy feeds to relieve the effects of protein feeds shortage and price increase. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(2):541-548]

Key words: DDGS; corn; barley; nutrient composition; energy values; dairy cows