

玉米秸秆不同部位主要化学成分和活体外消化率比较

闫贵龙^{1,2} 曹春梅² 鲁琳³ 孟庆翔¹

(1. 中国农业大学 动物科技学院, 北京 100094; 2. 河北北方学院 牧业工程系, 河北 张家口 075131; 3. 北京农学院 动物科学技术系, 北京 102206)

摘要 本试验测定了“农大108”玉米秸秆不同部位的主要化学成分含量、活体外消化率和瘤胃微生物发酵产气量。结果表明:秸秆各部位间存在显著差异($P < 0.05$),其中总糖含量以茎节、茎皮中最高(分别达到20.7%和19.3%),粗脂肪含量也在茎节和茎皮中最高(分别为5.8%和5.2%),而茎髓中的含量最少;粗蛋白质含量则是叶片中最高(14.9%),茎髓次之;粗灰分、Ca和P含量均以叶片中最高(分别为10.5%、1.03%和0.1%);中性洗涤纤维(NDF)在苞叶中含量最高(77.1%);酸性洗涤纤维(ADF)和木质素含量均以茎皮中最高(分别为52.0%和14.4%),苞叶中最低(分别为38.2%和6.7%)。阉牛活体外对DM、NDF和ADF消化率都以茎皮为最低、苞叶为最高;阉牛活体外瘤胃微生物发酵产气量以苞叶最高,其次为茎髓、叶片、叶鞘和茎节,而茎皮最少。综合比较得出,玉米秸秆各部位的营养价值存在明显差异,从高到低的排序为:苞叶 > 茎髓 > 叶片 > 叶鞘 > 茎节 > 茎皮。

关键词 玉米秸秆; 化学成分; 产气量; 消化率

中图分类号 S816.5

文章编号 1007-4333(2006)03-0070-05

文献标识码 A

Comparison of main chemical composition and in vitro digestibility in various sections of corn stalks

Yan Guilong^{1,2}, Cao Chunmei², Lu Lin³, Meng Qingxiang¹

(1. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Animal Husbandry and Engineering Department, Hebei North College, Zhangjiakou 075131, China;

3. Department of Animal Science & Technology, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract Using corn (var. Nongda 108) as experimental material, various sections of stalks were compared for their chemical composition, in vitro digestibility and gas production. The results showed that there was significantly difference ($P < 0.05$) among sections. The stem nodes and barks had highest content of total carbohydrates (20.7% and 19.3%, respectively) and of ether extract (5.8% and 5.2%, respectively). The stem pith contained the lowest ether extract. The highest content of crude protein was found in leaf blades (14.9%), followed by that in stem pith. Leaf blade accumulated 10.5% of ash, 1.03% of Ca and 0.1% P. A concentration of 77.1% NDF was found in ear husks, whereas 52.0% ADF and 14.4% lignin were localized in stem barks. When steers were used as experimental animals, the ear husk exhibited highest in vitro digestibilities of dry matter, NDF and ADF, and stem barks was lost. More in vitro gas production occurred in ear husk, followed respectively by stem pith, leaf blade, leaf sheath, stem node and stem bark. It was concluded that different sections of corn stalks contained different nutritive values, ranked as follows: ear husk > stem pith > leaf blade > leaf sheath > stem node > stem bark.

Key words corn stalks; chemical composition; gas production; digestibility

我国秸秆资源丰富,年产量达6.4亿t,但作为粗饲料利用的比例仅为28%,其他除部分被综合利

用外,绝大部分作为燃料或在田间直接烧掉,浪费了大量宝贵的能量和氮素资源。为了提高秸秆作为反

收稿日期:2005-06-21

基金项目:国家杰出青年基金资助项目(30125033);国家自然科学基金资助项目(30270944)

作者简介:闫贵龙,教授,博士,主要从事动物营养研究,E-mail: gyanmeng@163.com;孟庆翔,教授,博士生导师,通讯作者,主要从事反刍动物营养研究,E-mail: qxmeng@cau.edu.cn

当动物饲料资源的利用,必须在秸秆与瘤胃发酵特性有关的解剖组织结构、物理化学组成和其他内在因素等方面加大基础研究的力度。但目前有关秸秆不同部位的报道主要是干物质积累、分布和转移, N、P、K 等元素的吸收、分布和沉积规律, 抗逆性特性, 经济成分的含量和分布等工作研究, 从营养价值开展的工作较少。尽管如此, 已有研究证实, 稻秸、小麦秸、大麦秸等秸秆不同部位的组织结构和化学组成不同, 其营养价值也不同^[1-3]。不仅如此, 研究还表明秸秆同一部位的化学成分和消化率在不同的品种或种类间有明显的差异^[4]。对此, 为提高秸秆的利用率, 国内外已经有人研究发明了玉米秸秆、高粱秸秆的皮糠分离技术^[5-6]。玉米是我国北方的主要粮食作物, 常年种植面积在 2 333.3 万 hm^2 左右, 其秸秆产量每年约为 1.8 亿 t。但是, 有关玉米秸秆不同部位营养价值的研究报道很少, 目前只见到对其概略养分分析的报道^[7]。随着秸秆加工和综合利用技术的深化, 有必要给人们提供关于玉米秸秆不同部位化学成分和营养价值的信息。因此, 本试验开展了玉米秸秆不同部位主要化学成分和营养价值的初步研究, 以便为人们今后更好地综合利用玉米秸秆提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以国家“九五”首批重点推广的优良玉米品种“农大 108”为研究对象, 于 2003 年 9 月待籽粒完全成熟后, 从中国农业大学昌平实验站玉米试验地中随机取样 30 株收获果穗后的玉米秸秆, 每 10 株作为一个重复, 分离叶片、叶鞘、茎皮、茎髓、茎节和苞叶作为试验材料。称测各重复秸秆不同部位的鲜样重和干物质含量。其中茎皮、茎髓由茎秆的节间分离取得, 茎节为茎秆节线上下 0.8 cm 的部分。

1.2 试验方法

1) 化学成分测定。干物质(DM)、粗脂肪(EE)、粗蛋白质(CP)、粗灰分(ash)、钙(Ca)、磷(P)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)和木质素(lignin)的分析按常规方法进行, 总糖含量(TC)的分析采用 Xiong 等的方法^[8]。

2) 活体外干物质消化率(DMD)、NDF 消化率(NDFD)和 ADF 消化率(ADFD)的测定。按 Tilly 和 Terry 的两阶段法^[9]进行。首先在厌氧的条件下, 用瘤胃液的稀释液消化定量的样品 48 h, 然后用

胃蛋白酶在酸性条件下再消化 48 h。瘤胃液采自安装有永久性瘤胃瘘管并饲喂精粗比为 30:70 饲料的西门塔尔 × 冀南杂交一代阉牛。

3) 活体外发酵产气量的测定。按 Menke 等的方法^[10]进行。在厌氧和 39 °C 条件下, 将 0.200 0 g 待测样品干物质在特制的 100 mL 玻璃注射器(德国制造)中用 30 mL 经稀释后的瘤胃液消化, 记录 104 h 内 25 个时间点的产气量。每个培养设 3 个重复。采用模型 $y = B(1 - e^{-c(t-lag)})$ 计算动态消化产气参数。式中: y 为 t 时间点 0.200 0 g 底物 DM 的产气量, mL; B 为 0.200 0 g 底物 DM 理论最大产气量, mL; c 为样本的产气速度, h^{-1} ; t 为活体外培养时间, h; lag 为产气延滞期, h。同时进行完全相同的另一批 3 个重复的培养, 待培养至 24 h 时立即测定发酵液 pH, 并按 Broderick 等方法^[11]测定氨态氮含量。参照 Eriwin 等的方法^[12]利用气相色谱(Agilent 6890)测定发酵液中挥发性脂肪酸含量(SUPELCO WAXTM-10 毛细管柱, 30 m × 0.32 mm × 0.25 μm)。

4) 统计分析。采用 SAS 统计分析软件^[13]中的广义线性模型(GLM)进行单因子试验方差分析。

2 结果与讨论

2.1 玉米秸秆不同部位主要化学成分比较

各部位间的化学成分含量存在极显著差异($P < 0.01$), 其中总糖含量从高到低依次为: 茎节 > 茎皮 > 茎髓 > 叶片 > 苞叶 > 叶鞘(表 1)。这一结果说明, 玉米秸秆不仅茎髓部位总糖含量较高, 而且茎皮和茎节中含量更高。粗脂肪含量也是以茎节和茎皮部位最高, 其次为叶片、叶鞘和苞叶, 茎髓部位含量最少, 仅为 2.0%, 只相当于茎节的 34.5%。粗蛋白质含量与总糖和粗脂肪含量结果截然不同, 叶片含量最高, 达到了 14.9%, 茎髓含量其次, 随后为茎节、茎皮、叶鞘, 苞叶中含量最少。

本试验中叶片粗蛋白质含量最高, 这与植物叶片中蛋白质含量高于茎秆的规律^[3,7,14-15]相一致; 而茎髓的总糖含量较少, 与 Billa 等测定甜高粱化学成分时得出的茎髓的水溶性糖含量是茎皮 2 倍的结果^[16]差距甚远, 这可能与作物种类或品种有关。

玉米秸秆不同部位中粗灰分、Ca 和 P 含量的分布情况较为一致, 都是叶片中最高, 其次为叶鞘, 而其他部位的含量相对较低, 尤其苞叶中 Ca 的含量最少, 仅为 0.24%, 不足叶片的 1/4。本试验结果表

表1 玉米秸秆不同部位的主要化学成分

Table 1 Main chemical components of various sections of corn stalks

化学成分	质量分数/ %						SEM	P
	叶片	叶鞘	茎皮	茎髓	茎节	苞叶		
总糖 TS	10.8 c	8.2 d	19.3 a	14.4 b	20.7 a	8.7 d	0.57	<0.001
粗脂肪 EE	4.5 ab	4.2 b	5.2 ab	2.0 c	5.8 a	4.0 b	0.39	<0.001
粗蛋白 CP	14.9 a	7.2 de	7.3 d	10.9 b	9.3 c	6.9 e	0.10	<0.001
粗灰分 ash	10.5 a	7.3 b	4.2 d	3.8 f	4.0 e	4.6 c	0.03	<0.001
Ca	1.03 a	0.64 b	0.48 c	0.43 c	0.47 c	0.24 d	0.02	<0.001
P	0.10 a	0.06 c	0.03 e	0.03 e	0.05 d	0.07 b	0.01	<0.001
中性洗涤纤维 NDF	68.9 c	71.1 b	64.9 d	64.5 d	57.9 e	77.1 a	0.61	<0.001
酸性洗涤纤维 ADF	40.2 bc	42.9 b	52.0 a	37.6 c	39.5 bc	38.2 c	0.91	<0.001
木质素 lignin	7.0 cd	7.2 cd	14.4 a	7.4 c	8.6 b	6.7 d	0.14	<0.001

注:同行平均数标有相同字母差异不显著($P>0.05$),标有相邻字母差异显著($P<0.05$),标有相隔字母差异极显著($P<0.01$);下同。

明,玉米秸秆的粗灰分、Ca和P主要集中在秸秆的外表器官,这与作物秸秆中矿物元素分布规律的报道一致^[3,7,15],这可能与植物的蒸腾作用使水分大量蒸发致使矿物质主要沉积在叶片和叶鞘部位有关。

从纤维组分的部位分布规律来看,NDF含量从高到低依次为:苞叶>叶鞘>叶片>茎皮、茎髓>茎节;ADF含量:茎皮>叶鞘>叶片、茎节>苞叶、茎髓;木质素含量:茎皮>茎节>茎髓>叶鞘、叶片>苞叶。虽然苞叶中NDF含量最高,但容易消化的纤维组分半纤维素含量也最高,而ADF和木质素含量最少。虽然茎皮中NDF含量较低,但ADF和木质素含量最高。ADF和木质素是动物难以消化利用的成分,尤其木质素,不但本身不能被动物消化,而且还降低其他营养成分的消化利用。因此,从纤维组分的分析结果可以判定,茎皮是不同部位中营养价值最低的组分,营养价值最高的组分是苞叶、茎髓和叶片。至于茎节,虽然ADF含量与茎髓、苞叶差异不显著($P>0.05$),但木质素含量仅低于茎皮,叶鞘中木质素含量虽然与苞叶差异不显著,但ADF含

量仅次于茎皮,因而对茎节和叶鞘难以做出营养价值的比较,需要进一步做其他试验评价。本试验中茎皮的木质素含量是茎髓的2倍,这一结果与Billa等测定甜高粱的化学成分得到结果相同^[16]。

2.2 玉米秸秆不同部位的活体外消化率

对玉米秸秆不同部位活体外消化率的测定结果进行统计分析(表2)表明,DM消化率(DMD)以苞叶为最高,达到了65.9%,其次是叶片、茎髓、茎节和叶鞘,最低的是茎皮,只有45.7%,比苞叶低30.7%。从NDFD和ADFD 2项指标来看,二者较为一致,都是以苞叶为最高,分别达到54.75%和48.7%,次高的为叶片,最低的都是茎皮,分别只有24.0%和28.0%,次低的为茎节和茎髓,叶鞘则居中。本试验叶片活体外消化率较高的结果与刑廷铄报道的稻草不同部位(叶片、叶鞘、茎节、节间茎秆、颖壳)体外消化率、Capper研究大麦秸不同部位(叶片、叶鞘和茎秆)体外消化率,Flachowsky等研究燕麦、春大麦、冬大麦、冬小麦、黑麦和小黑麦等的51个品种秸秆不同部位(叶、茎节、节间、颖壳)的体内消化率均以叶片最高^[17]相一致。

表2 玉米秸秆不同部位的活体外消化率

Table 2 *in vitro* digestibility of various sections in corn stalks

测定指标	质量分数/ %						SEM	P
	叶片	叶鞘	茎皮	茎髓	茎节	苞叶		
DMD	58.7 b	57.6 b	45.7 c	58.0 b	59.0 b	65.9 a	0.808	<0.001
NDFD	48.5 b	43.5 c	24.0 g	37.6 e	32.3 f	54.7 a	0.333	<0.001
ADFD	46.0 b	45.3 b	28.0 e	39.8 cd	39.2 d	48.7 a	0.564	<0.001

注:DMD为干物质消化率,NDFD为中性洗涤纤维消化率,ADFD为酸性洗涤纤维消化率;下同。

活体外消化率结果分析表明,玉米秸秆不同部位中以茎皮的DM、NDF和ADF消化率最低,苞叶中最高,叶片的次高,其他部位由于纤维组分消化率与DM消化率不尽一致,有待进一步试验研究。

2.3 瘤胃微生物对玉米秸秆不同部位的活体外发酵产气参数

由活体外瘤胃微生物发酵产气量的试验结果(图1和表3)可以看出,不同部位秸秆培养24h时,苞叶的产气量最高,随后为茎髓、叶片、叶鞘、茎节,茎皮最少。这种产气量的排列顺序一直维持到80h时才有所改变,茎髓由原来的第二位上升至与苞叶并列第一位,茎节和叶鞘的产气量达到与叶片差异不显著($P > 0.05$)的水平。一定时间内产气量的多少反映了底物被瘤胃微生物利用的程度,代表着底物营养价值的高低。最大产气量与实际产气量的变化情况相一致,苞叶和茎髓最多,随后为叶片、叶鞘、茎节,茎皮最少。产气速度茎皮最低,与其他部位差异显著($P < 0.05$),说明茎皮的营养价值最低。产

气延滞期是指底物被瘤胃微生物作用后开始产气的时间,也是表明纤维饲料成分被瘤胃微生物利用顺序的重要指标。本试验中玉米秸秆各部位产气延滞期长短的顺序为:茎皮 < 茎节和茎髓 < 叶鞘和叶片 < 苞叶,这与表1玉米秸秆不同部位主要化学成分的分析结果是一致的。

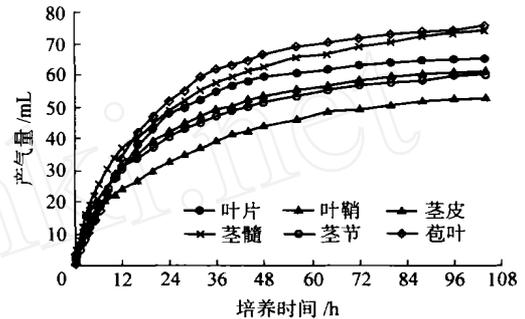


图1 瘤胃微生物对不同部位体外发酵产气量的动态变化
Fig. 1 Dynamic characteristic of gas produced *in vitro* by rumen flora digesting various sections

表3 玉米秸秆不同部位的阶段产气量和产气动态参数

Table 3 Gas production during different periods and the dynamic parameter of gas production in various sections of corn stalks

指标	叶片	叶鞘	茎皮	茎髓	茎节	苞叶	SEM	P
24 h 产气量/mL	48.0 b	42.0 c	32.4 d	48.5 b	40.7 c	51.8 a	0.76	< 0.001
80 h 产气量/mL	63.7 b	59.1 b	50.4 c	70.2 a	58.2 b	72.9 a	1.42	< 0.001
最大产气量/mL	64.9 b	59.7 bc	52.5 c	71.8 a	58.6 bc	74.5 a	1.65	0.001
产气速度/h ⁻¹	0.052 a	0.050 a	0.037 b	0.046 a	0.048 a	0.049 a	0.002	0.019
延滞期/h	- 0.74 b	- 0.83 b	- 3.23 d	- 1.91 c	- 2.08 c	0.09 a	0.11	< 0.001

2.4 玉米秸秆各部位占全株干物质比例

玉米秸秆6个部位干物质占全株的比例结果见图2。叶片干物质比例最高(29.2%),茎皮(20.5%)和叶鞘(18.7%)次之,随后为苞叶(14.1%)、茎节(9.4%)和茎髓(8.2%)。本试验结果与杨福有等测定渭北旱塬区的春玉米时得出叶片、茎皮、茎髓、苞叶和雄穗分别占玉米秸秆分别为25.54%、34.20%、18.57%、19.87%和1.80%的结果^[7],以及Adugna Tolera等研究8种普通玉米秸秆的不同部位占秸秆的平均比例后得出茎、叶鞘、叶片、雄穗和苞叶的比例分别为39%、13%、12%、2.2%和34%的结果^[17]不相一致,其原因可能主要有2个,一是各试验所用的玉米品种不同,二是划分玉米秸秆部位的标准不同:其中杨福有等的试验中没有叶鞘和茎节部位的划分,Adugna Tolera的研究

中无茎皮、茎髓、茎节部位的划分。

本试验中营养价值含量高的苞叶、叶片和茎髓在整个玉米植株中的比例总计为51.3%,而最容易在自然环境(风吹、雨淋、霉变和日晒)中损失或变质的叶片和苞叶总计为43.3%。这提示我们在玉米秸秆的收获、运输、保存和加工过程中,一定要特别注意保证其数量和质量不受影响。茎皮是玉米秸秆中营养价值最低的部位,在全株中的比例为20.5%,仅次于叶片,但利用其木质素和ADF含量高的特点加工成纤维板等产品,则是很好的原材料,采用皮糠分离技术可使秸秆的皮糠分离率达到95%^[5-6],达到物尽其用的目的。茎节的营养价值也较低,仅高于茎皮,但通过皮糠分离技术同样也能使其得到很好的利用。

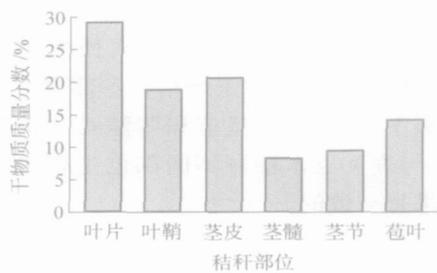


图2 玉米秸秆不同部位干物质占全株的比例

Fig.2 Dry matter in different sections of corn stalks

3 结论

玉米(“农大108”)秸秆各部位的营养价值有明显差异,其从高到低的排序为:苞叶>茎髓>叶片>叶鞘>茎节>茎皮。

参考文献

- [1] Capper B S. Genetic variation in the feeding value of cereal straw[J]. Anim Feed Sci Technol, 1988, 22:127-140
- [2] Flachowsky G, Tiroke K, Schein G. Botanical fractions of straw of 51 cereal varieties and in sacco of various fractions[J]. Anim Feed Sci Technol, 1991, 34: 279-289
- [3] 刑廷铄主编. 农作物秸秆营养价值及其利用[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1995:20-25,51-57
- [4] Shand W J, Orskov E R, Morrice, L A F. Rumen degradation of straw. 5. Botanical fractions and degradability of different varieties of oat and wheat straws[J]. Animal Production, 1988, 47(3): 387-392
- [5] 孙竹莹,梁鸿馨. 玉米秸皮糠分离及其综合利用研究[J]. 农牧产品开发,1999,(5):17-18
- [6] Crandell J H, Worley J W. Optimization of a device for separating sweet sorghum pith[J]. American Society of Agricultural Engineers, 1988(88): 6550
- [7] 杨福有,李彩凤,许彩萍,等. 玉米植株营养含量及变化规律研究[J]. 西北农业学报,1997,6(4):88-90
- [8] Xiong Y, Bartle S J, Preston R L. Improved enzymatic method to measure processing effects and starch availability in sorghum grain [J]. J Animal Sci, 1990, 68:3861-3870
- [9] Tilly J M A, Terry R A. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops[J]. J Br Grassland Soc, 1963, 18:104-111
- [10] Menke K H, Raab L, Salewski A, et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro[J]. J Agric Sci, 1979, 93:217-222
- [11] Broderick G A, Kang J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acid in ruminal fluids and in vitro media[J]. J Dairy Sci, 1980, 63(1): 64-75
- [12] Eriwin E S, Marco G J, Emery E M. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography[J]. J Dairy Sci, 1961, 44: 1768-1771
- [13] SAS. SAS/STAT (r) User 's Guide (Release 8.2). SAS Inst Inc, Cary, NC, 1999
- [14] 许国英,热合木都拉,马英杰. 棉花秸秆的饲用价值研究[J]. 新疆畜牧业,1998,(3):10-11
- [15] 陈喜斌主编. 饲料学[M]. 北京:科学出版社,2003:74-75,96-98
- [16] Billa E, Koullas D P, Monties B, et al. Structure and composition of sweet sorghum stalk components[M] Special issue. Selected papers from the Third European Symposium on Industrial Crops and Products, Reims, France, 22-24 April 1997, 6:3-4,297-302
- [17] Adugna Tolera. Integrated food and feed production on small-holder mixed farms: effect of early harvesting or variety on maize grain and stover yield and nutritive value of stover[M] Second National Maize Workshop of Ethiopia, 2001, 12-16: 187-194