

涂远璐, 孟梅娟, 高立鹏, 等. 体外产气法评价南方农区非常规饲料资源的营养价值[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(4): 855-864.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.04.023

体外产气法评价南方农区非常规饲料资源的营养价值

涂远璐, 孟梅娟, 高立鹏, 白云峰, 宋 谦

(江苏省农业科学院六合动物科学基地, 江苏 南京 210014)

摘要: 为筛选适宜南方农区推广的非常规饲料资源, 采用体外产气法测定从南京周边搜集到的 32 种非常规饲料 2 h、4 h、6 h、8 h、10 h、12 h、17 h、24 h、48 h 累积产气量(*GP*)、发酵参数(*A*、*b*、*LAG*)、干物质体外消化率(*IVDMD*)和纤维体外消化率(*IVNDFD*、*IVADFD*), 评定其对反刍动物的营养价值。结果表明: 理论最大产气量大于 200 ml 的非常规饲料由高到低依次为大豆皮、玉米苞叶、喷浆玉米皮、桔子皮、蚕豆荚、苹果渣、高粱壳、米糠粕、京甜紫花糯 2 号秸秆, 其中大豆皮、桔子皮、苹果渣、高粱壳的产气延滞时间较长(大于 3 h), 桔子皮、苹果渣产气速率较低(小于 10 ml/h), *IVDMD* 最高为大豆皮(85.41%), 最低为京甜紫花糯 2 号秸秆(56.85%); 纤维消化率排名前 5 的依次为大豆皮、喷浆玉米皮、玉米苞叶、桔子皮和大蒜叶, *IVNDFD* 均大于 60%, 最高为大豆皮(92.42%); 秸秆荚壳的 *NDF*、*ADF* 含量是影响其发酵产气特性的主要因素。米糠粕、大豆皮、喷浆玉米皮、桔子皮、苹果渣、玉米苞叶、蚕豆荚具有较高的营养价值, 适合在南方农区推广。

关键字: 体外产气法; 杂粕; 秸秆荚壳; 非常规饲料

中图分类号: S816.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)04-0855-10

Nutritive value evaluation of unconventional feeds in south China agriculture region using *in vitro* gas production technique

TU Yuan-lu, MENG Mei-juan, GAO Li-peng, BAI Yun-feng, SONG Qian

(*Liuhe Animal Science Base of Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China*)

Abstract: To select unconventional feeds suitable in south China agriculture area, thirty-two unconventional feeds collected from Nanjing and its surrounding areas were evaluated for the nutritive values to ruminants by measuring cumulative gas productions in 2 h, 4 h, 6 h, 8 h, 10 h, 12 h, 17 h, 24 h, 48 h, fermentation parameters and *in vitro* digestibilities of dry matter, acid detergent fiber and neutral detergent fiber. There were nine feeds showing maximum gas productions above 200 ml, which were soybean hull, corn bract, corn bran, orange peel, broad bean pod, apple pomace, sorghum hull, rice bran meal, and corn stalk, from the highest to the lowest. Among them, four feeds took longer time to start gas production, which were soybean hull, orange peel, apple pomace, and sorghum hull and two feeds, orange peel and apple pomace, displayed lower gas production speeds. Soybean hull had the highest *in vitro* dry matter digestibility (85.41%) and corn stalk had the lowest (56.85%). The top five feeds with higher fiber digestibility were soybean hull, corn bran, corn bract, orange peel and garlic leaves, with neutral detergent fiber digestibility all above 60%. For crop there are seven different kinds feeds including rice bran meal, hull, corn bran, orange peel, apple pomace, corn bract and broad bean pod owning high nutritional values suitable for ruminants in south China agriculture region.

Key words: *in vitro* gas production technique; miscellaneous meal; crop stalk and husk; unconventional feed

收稿日期: 2015-01-16

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(14)2103]; 行业科技(农业)专项(201203050-4)

作者简介: 涂远璐(1983-), 女, 汉族, 硕士, 助理研究员, 主要从事家畜营养与生态研究。(Tel)13851804073; (E-mail) tuyuan-lu1110@126.com

通讯作者: 白云峰, (Tel)025-84390204; (E-mail) Blinkeye@126.com

一直以来,畜牧业发展过度依靠粮食用作饲料,非常规饲料资源由于其成本低廉,且充分利用了农业生产废弃资源,逐渐引起人们的关注,美国已发布杏仁皮等多达 400 余种非常规饲料的营养成分数据^[1]。然而地域差异是影响饲料养分含量的重要因素之一,尤其对非常规饲料而言,区域不同可能导致饲料养分含量差别很大^[2],因此,针对不同区域开展本地非常规饲料资源的营养价值评定十分必要,这其中不仅包含营养成分分析,饲料消化率对动物生产性能也有很大影响,用体内法测定费时费力且无法同时测定大量样品,国内外学者目前大都采用体外产气法^[3]。刘华^[4]分析测定了新疆地区薰衣草和番茄渣等 23 种非常规饲料的营养成分及其瘤胃降解特性。李袁飞^[5]等利用体外法评定了麦壳、羊草等 10 种粗饲料及菜粕、芝麻粕等 5 种蛋白质饲料的体外发酵特性。然而针对南方农区本地非常规饲料资源的系统研究较少,本研究将南京市周边地区搜集到的 32 种非常规饲料资源采用 Menke 体外产气法^[6],通过测定主要营养成分、体外产气量、干物质、中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)的体外消化率,对其营养价值进行评价,为筛选适宜本地区推广的非常规饲料资源提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

非常规饲料资源取自江苏省南京市周边地区,将青绿饲料与青贮饲料置于 120 ℃ 恒温鼓风干燥箱中烘 10 ~ 15 min,随后温度设为 65 ℃ 烘 8 ~ 12 h,回潮,制备风干样品,其他样品如干草均为自然风干,所有样品粉碎过 40 目筛。水稻秸秆、小麦秸秆、玉米秸秆、豆秸秆、蚕豆荚、菱藤、花生藤、大蒜叶均取自江苏省农业科学院;杏仁壳采自浙江省临安市昌化镇;高粱壳为淮阴市洋河酒厂酿酒的下脚料;DDGS 是玉米等谷物及薯类生产酒精过程中剩余的发酵残留物,来自南京某加工厂;醋糟是固态发酵法酿造食醋过程中的副产物,来自镇江市某醋厂;木薯渣来自安徽省某加工厂;啤酒糟是啤酒厂麦芽进行糖化工艺过滤后的滤渣,购自江苏某酒厂;苹果渣、梨渣、桔子皮是新鲜水果经破碎压榨提汁后的剩余物经晾晒或烘干后的产品,购自江苏丰县;大豆皮是大豆制油工艺的副产品,来自南京市某加工厂;喷浆玉米皮是用玉米加湿后生产淀粉及胚芽后的副产

品,购自宿迁市沭阳县某加工厂;米糠粕为宿迁市某粮油加工厂提取稻米油后的剩余物;芝麻粕、菜粕取自江苏省某饲料厂,分别为芝麻和菜籽榨油后的副产物。

1.2 试验设计与操作

1.2.1 发酵底物 分别取非常规饲料样品 1 g 作为发酵底物,设 3 个重复,同一批次培养中设定空白组、标准干草组,以优质美国苜蓿作为标准干草。

1.2.2 瘤胃液采集 选择 2 头健康、体质质量接近、安装有永久性瘤胃瘘管的成年波杂山羊作为瘤胃液供体,晨饲前采集瘤胃液。

1.2.3 培养液的配置 采用 Menke^[7]的方法配置人工唾液,并将人工唾液与瘤胃液按照 9 : 1 (体积比)的比例混合作为培养液。

1.2.4 产气量测定 向血清瓶中加入配好的培养液 100 ml,放置到恒温振荡培养箱中开始培养计时,在 2 h、4 h、6 h、8 h、10 h、12 h、17 h、24 h、48 h 各时间点取出血清瓶,用注射器扎入产气瓶,根据注射器刻度读取产气量数据。待体外培养 48 h 后,将血清瓶取出放入冰水中停止发酵。

1.3 测定的指标及计算方法

1.3.1 常规营养成分测定 水分测定采用直接烘干法(GB6438-86);粗蛋白的测定采用凯氏定氮法(GB6432-94);粗灰分的测定采用马弗炉灰化法(GB6438-92);酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)的测定采用 Van soest 纤维分析法。

1.3.2 体外产气量的测定 产气量 = 血清瓶气体产生量 - 空白血清瓶气体产生量。

1.3.3 产气动力学数据计算 根据不同时间点的产气量,采用 Gompertz 模型

$$GP = A_{\exp} \{ -\exp[1 + be/A(LAG - t)] \}$$

式中,GP 为时间 t 的产气量(ml), A 表示理论最大产气量(ml), b 表示产气速率常数(ml/h),LAG 表示体外发酵产气延滞时间(h), e 为欧拉常数, t 表示产气时间点(h)。

1.3.4 体外消化率 试验结束后将发酵液经 10 000 r/min 离心 10 min 后,弃去上清液,剩余残渣烘 24 h 后称质量,计算体外干物质消化率(IVDMD),之后采用 Van Soest 等的方法测定 NDF 含量和 ADF 含量,计算体外 NDF 消化率(IVNDFD)和体外 ADF 消化率(IVADFD)。

1.4 统计分析

采用 SAS9.1 软件进行统计分析,多重比较($P<0.05$),Gompertz 模型产气动力学发酵参数通过 Origin9.0 软件非线性拟合工具获得,相关分析采用 SAS 软件 CORR 方法。

2 结果与分析

将 32 种非常规饲料资源分为 3 类:一是杂粕类,包含芝麻粕、菜籽粕和米糠粕;其次为作物秸秆、荚壳类,包含稻秸秆、小麦秸秆、玉米秸秆、高粱壳、豆秸秆、花生藤等;三是农副产品糟渣类,包括大豆皮、醋糟、果渣等。

2.1 不同类型杂粕的营养成分

由表 1 可见,杂粕类饲料粗蛋白含量差异较大,芝麻粕粗蛋白(CP)含量最高,米糠粕粗蛋白含量最低。纤维素(ADF、NDF)含量三者间差异较小,灰分值普遍较高,均大于 9%。

表 1 杂粕类的基本营养水平(风干基础)

Table 1 Basic nutrient levels of miscellaneous meal feeds(air-dried-basis)

杂粕	中性 洗涤纤维 (%)	酸性 洗涤纤维 (%)	粗蛋白 (%)	灰分 (%)	干物质 (%)
芝麻粕	25.90	15.04	44.22	13.48	91.70
菜粕	28.70	15.76	36.56	9.66	90.46
米糠粕	27.29	12.09	15.94	12.44	91.35

2.2 不同类型杂粕的体外发酵特性

由图 1 可见,米糠粕 48 h 的累积产气量(GP)最高,发酵速度最快,其次为菜粕,芝麻粕最低。谢春元等^[8]指出体外产气曲线并非单相,更多时候是两相或者多相,即开始快速降解发酵产气,后期慢速降解发酵产气。

结合体外发酵产气参数(表 2)分析,理论最大产气量(A),米糠粕最高,比菜粕高 27.3%,比芝麻粕高 73.9%,三者差异显著($P<0.05$);产气速率(b),菜粕和米糠粕相近,均显著高于芝麻粕($P<0.05$);发酵延滞时间(LAG)三者均大于 1 h 且差异不显著($P>0.05$)。芝麻粕的 CP 含量高于菜粕和米糠粕,但其 A 值远低于菜粕和米糠粕,说明饼粕料的降解利用率并不与其粗蛋白含量呈正比。

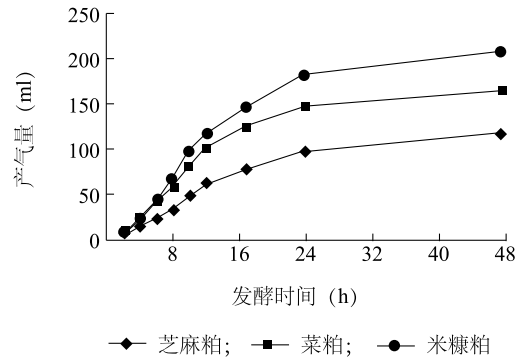


图 1 杂粕类体外发酵 48 h 的累积产气量(GP)动态变化曲线
Fig. 1 Dynamic changes of gas production of miscellaneous meal feeds after 48 h in vitro fermentation

表 2 杂粕类的体外产气参数

Table 2 In vitro gas production parameters of miscellaneous meal feeds

杂粕	理论最大产气量 (ml)	产气速率 (ml/h)	延滞时间 (h)
芝麻粕	117.15±0.50c	5.31±0.16b	1.15±0.03a
菜粕	160.00±1.07b	10.27±0.98a	1.39±0.41a
米糠粕	203.67±0.18a	10.69±0.54c	1.39±0.30a

同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 不同类型杂粕的体外消化率

由表 3 可知,干物质体外消化率(IVDMD),菜粕和米糠粕差异不显著,但二者显著高于芝麻粕($P<0.05$)。NDF 体外消化率(IVNDFD)和 ADF 体外消化率(IVADFD)值芝麻粕最高,菜粕和米糠粕相近。

表 3 杂粕类的体外消化率

Table 3 In vitro digestibilities of miscellaneous meal feeds

名称	NDF 体外消化率 (%)	ADF 体外消化率 (%)	干物质体外消化率 (%)
芝麻粕	45.10	28.63	59.46±1.27b
菜粕	31.01	13.66	66.95±0.36a
米糠粕	31.05	15.14	66.81±0.03a

同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。由于每个样品 3 个重复经过体外产气发酵后残渣数量有限仅够测定 1 次 ADF 和 NDF 值含量,因此 IVNDFD 和 IVADFD 未进行差异性分析。

2.4 不同类型作物秸秆、荚壳的营养成分

本研究搜集了 20 个作物秸秆、荚壳样品,其中包括 7 个不同品种的小麦秸秆和 2 个品种的玉米秸秆。从粗蛋白含量来看,菱藤最高,蚕豆荚其次,均大于 10.00%,水稻秸秆、豆秸秆、玉米苞叶、小麦秸秆的粗

蛋白含量较低,均小于 5.10%,杏仁壳最低(3.16%),7 个不同品种的小麦秸秆中宁 09-72 最高,宁麦 21 最低,两者相差 1.80 个百分点;2 个玉米品种秸秆的粗蛋白含量相近;中性洗涤纤维(NDF)含量,宁 09-72 小麦秸秆最高(74.75%),7 个不同品种小麦秸秆的中性洗涤纤维含量为 67.08%~74.75%,杏仁壳其次(71.43%),水稻秸秆、青贮玉米秸秆、玉米苞叶、青贮花生藤、豆秸秆居中,均大于 55%,蚕豆荚、菱藤和高粱壳中性洗涤纤维含量较低,小于 40%;酸性洗涤纤维

含量,杏仁壳最高(46.37%),小麦秸秆其次,7 个不同品种小麦秸秆的酸性洗涤纤维含量为 41.52%~45.97%,豆秸秆、水稻秸秆、青贮花生藤、大蒜叶、花生藤、青贮玉米秸秆居中,均大于 36%,玉米苞叶、菱藤、高粱壳较低,小于 29%,蚕豆荚最低,仅为 14.99%;灰分,青贮花生藤、菱藤、水稻秸秆、花生藤、大蒜叶偏高,均大于 10%,其中青贮花生藤最高达到 17.09%;干物质含量,除杏仁壳和大蒜叶外均高于 90%,最高为玉米苞叶(表 4)。

表 4 作物秸秆、荚壳类的基本营养水平(风干基础)

Table 4 Basic nutrient levels of crop straw stalk husk (air-dried-basis)

作物秸秆或荚壳	中性洗涤纤维 (%)	酸性洗涤纤维 (%)	粗蛋白 (%)	灰分 (%)	干物质 (%)
水稻秸秆	67.53	41.67	5.04	12.61	90.04
宁麦 13 秸秆	67.08	42.06	4.92	9.04	90.94
宁麦 16 秸秆	73.22	45.97	4.10	6.02	91.89
宁麦 17 秸秆	73.81	44.73	3.62	6.91	91.51
宁麦 19 秸秆	72.93	44.03	3.27	5.20	90.96
宁 09-72 秸秆	74.75	42.53	5.05	6.68	91.34
生选 6 号秸秆	69.14	41.52	4.04	8.02	90.84
宁麦 21 秸秆	72.97	45.52	3.25	5.28	91.72
苏玉糯 11 号秸秆	51.20	28.65	8.14	6.34	91.45
京甜紫花糯 2 号秸秆	48.26	24.72	8.01	4.14	91.61
玉米苞叶	58.26	27.46	3.94	2.29	94.43
青贮玉米秸秆	60.65	36.39	7.27	7.49	91.85
菱藤	33.76	21.26	15.74	16.29	90.36
豆秸秆	55.97	42.33	4.86	5.75	90.75
大蒜叶	50.53	39.14	7.10	11.29	87.75
花生藤	50.22	36.66	7.80	11.33	90.69
青贮花生藤	57.00	39.80	8.60	17.09	92.08
杏仁壳	71.43	46.37	3.16	5.02	89.72
高粱壳	39.06	19.46	6.97	7.26	94.41
蚕豆荚	32.42	14.99	12.69	4.69	91.91

2.5 不同类型作物秸秆、荚壳的体外发酵特性

由表 5 可知,20 种作物秸秆、荚壳的理论最大产气量(A)由高到低依次为玉米苞叶、蚕豆荚、高粱壳、京甜紫花糯 2 号秸秆、大蒜叶、苏玉糯 11 号秸秆、豆秸秆、小麦秸秆、花生藤、青贮玉米秸秆、菱藤、青贮花生藤、水稻秸秆和杏仁壳。其中大于 200 ml 的有玉米苞叶、蚕豆荚、高粱壳和京甜紫花糯 2 号秸秆,它们均显著高于其他作物秸秆、

荚壳($P<0.05$),且两两间差异显著($P<0.05$);大蒜叶、苏玉糯 11 号秸秆和豆秸秆的理论最大产气量相近,均在 180 ml 以上,差异不显著($P>0.05$);7 个品种的小麦秸秆,A 值为 119~158 ml,其中宁麦 21 秸秆的 A 值显著高于其他品种($P<0.05$),宁麦 13 秸秆的 A 值显著低于其他品种($P<0.05$),其余品种间差异不显著($P>0.05$);花生藤的 A 值显著高于青贮玉米秸秆($P<0.05$);菱藤、

青贮花生藤、水稻秸秆、杏仁壳 A 值较低,均小于 120 ml,其中杏仁壳最低。

表 5 作物秸秆、荚壳类的体外产气参数值

Table 5 *In vitro* gas production parameters of crop stalk and husk

作物秸秆或荚壳	理论最大产气量 (ml)	产气速率 (ml/h)	产气延滞时间 (h)
杏仁壳	64.64±4.58m	2.68±0.06k	-0.30±0.20g
水稻秸秆	107.11±2.35l	2.42±0.06k	8.23±0.76a
青贮花生藤	111.21±8.63lk	9.02±0.19f	2.25±1.03ef
菱藤	118.04±1.74jk	5.94±0.04g	3.46±0.98d
宁麦 13 秸秆	119.86±0jk	4.84±0hji	8.18±0a
青贮玉米秸秆	126.15±6.79ji	4.27±0.16j	2.47±0.76edf
宁麦 19 秸秆	132.86±3.69i	4.49±0.30ji	5.78±0.21cb
宁 09-72 秸秆	132.88±1.02i	5.07±0.21hjgi	7.53±0.28a
宁麦 16 秸秆	132.92±2.52i	5.58±0.10hg	7.69±0.83a
宁麦 17 秸秆	134.47±0hi	5.44±0hgi	7.46±0a
生选 6 号秸秆	143.57±4.29hg	5.68±0.28hg	5.52±0.07cb
花生藤	144.40±3.76g	11.90±0.47cd	1.45±0.12f
宁麦 21 秸秆	158.47±2.18f	6.11±0.28g	6.29±0.40b
豆秸秆	180.77±7.79e	9.41±0.27f	4.97±0.19c
苏玉糯 11 号秸秆	186.17±2.64e	10.38±0.26e	-0.44±0.29g
大蒜叶	188.16±5.52e	13.17±1.48b	5.21±0.40cb
京甜紫花糯 2 号秸秆	203.37±6.91d	11.42±0.50d	-0.59±0.25g
高粱壳	224.73±0.81c	11.68±0.11cd	3.16±0.06ed
蚕豆荚	235.89±2.45b	18.07±0.67a	0.29±0.52g
玉米苞叶	253.20±0.08a	12.61±0.71cb	1.39±0.05f

同列数据不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

从表 5 可以看出体外产气速率 (b) 与 A 值关系密切,通过 SAS 相关性分析表明, b 与 A 值存在极显著的正相关关系,相关系数为 0.84 ($P<0.001$)。然而需要指出的是玉米苞叶虽然 A 值略高于蚕豆荚,但产气速率仅为蚕豆荚的 69.8%,菱藤和青贮花生藤的 A 值与水稻秸秆相似,但其 b 值分别为水稻秸秆 b 值的 2.5 倍和 3.7 倍,花生藤与生选 6 号秸秆 A 值相近,但其产气速率达到生选 6 号秸秆的 2 倍。由 Gompertz 模型参数与营养成分相关性分析结果(表 6)可见,秸秆、荚壳类的产气速率 b 与其 NDF 含量、ADF 含量极显著负相关 ($P<0.001$),而与 CP 含量显著正相关 ($P<0.05$),由表 4 可知蚕豆荚的 NDF 含量为玉米苞叶的 56%,而 CP 含量为玉米苞叶的 3.2 倍,其产气速率高于玉米苞叶。

产气延滞时间(LAG)是指底物被瘤胃微生物作

用后开始产气的时间,20 种作物秸秆、荚壳的 LAG 值差异较大,水稻秸秆最高(8.23 h),玉米秸秆最低(-0.59 h)。由表 6 可见,秸秆、荚壳类的延滞时间与 NDF 含量和 ADF 含量呈极显著正相关关系 ($P<0.01$),汤少勋等^[9]也指出发酵底物中纤维含量较高其体外发酵将滞后。水稻秸秆、小麦秸秆的纤维素(NDF、ADF)含量较高,因此其 LAG 也较大。但 NDF 含量较低的菱藤、高粱壳其 LAG 也较大,这可能是由于 LAG 除了受到纤维含量的影响外,还受到其他因子影响,有待进一步研究。杏仁壳产气量最小,纤维含量最高,但其 LAG 仅为-0.3 h,可能是其易发酵碳水化合物占可发酵碳水化合物比例较高,发酵启动快,但随着发酵时间延长,易发酵部分耗尽,而不易发酵部分的消化率很低,从而导致总产气量少,这点也可以从其较低的纤维体外消化率看出。

表 6 作物秸秆、荚壳类 Gompertz 模型参数与营养成分的相关关系 ($n=20$)Table 6 Correlation coefficients ($n=20$) between parameters of Gompertz model and chemical compositions

参 数	中性洗涤纤维	酸性洗涤纤维	粗蛋白	灰分
理论最大产气量	-0.55 *	-0.67 **	0.19	-0.45 *
产气速率	-0.74 **	-0.69 **	0.46 *	-0.15
延滞时间	0.59 **	0.61 **	0.44	0.16

* 为显著相关 ($P<0.05$); ** 为极显著相关 ($P<0.01$)。

2.6 不同类型作物秸秆、荚壳的体外消化率

20 种作物秸秆、荚壳的体外消化率测定结果见表 7, 体外干物质消化率 (IVDMD) 与产气量结果基本一致, 许多研究结果也证明, 产气量的高低与底物降解率呈正比^[7]。从 IVDMD 排名来看排名较前的仍然为蚕豆荚、玉米苞叶、大蒜叶这类产气量较大的饲料, 杏仁壳、菱藤、水稻秸秆这类产气量较低的饲料其 IVDMD 值也低。7 个不同品种的小麦秸秆在产气量上略有差异, 但各品种间 IVDMD 值差异均不显著, Nsahlai^[10]指出同一品种内的牧草产气特性差异较小, 而品种间则存在显著差异。需要说明的是, 一般来说秸秆经过青贮后消化率应该提高, 但本研究青贮玉米秸秆和青贮花生藤的 IVDMD 均低于未青贮玉米秸秆和花生藤, 这一方面可能是由于用于青贮的玉米秸秆和花生藤与未青贮玉米秸秆、花生藤样品不是同一批次导致, 另一方面由于玉米秸秆和花生藤青贮后, 大部分的可溶性碳水化合物都被厌氧菌分解生成有机酸, 而制样过程在 65 °C 条件下烘干时, 其中的有机酸受热挥发, 原有乳酸菌等细菌在有氧及高温下被杀死, 也可能导致其产气量和体外干物质消化率均不及未青贮, 在生产实践中, 青贮料被直接拿来饲喂, 其营养物质损失较小。

IVNDFD 和 IVADFD 指标较为一致, 玉米苞叶最高, 分别为 74.66% 和 71.98%, 这一结果虽然高于闫贵龙^[11]等对阉生活体外玉米秸秆不同部位消化率的测定值, 但其指出玉米苞叶的木质素含量为 6.7%, 主要分布的是淀粉和果胶, 玉米秸秆各部位 DM 消化率、NDF 消化率、ADF 消化率和产气量以苞叶为最高, 与本研究结果一致。产气量低的水稻秸秆、麦秸秆、杏仁壳其纤维消化率也低, 这可能与其纤维中木质素含量较高有关。高粱壳的 IVDMD 在 20 种作物秸秆、荚壳中排名第 4, 但其 IVNDFD 和 IVADFD 均较低, 分别为 34.66% 和 29.55%, 说明其纤维的利用率低。花生藤和豆秸秆从产气量来看, 处于中等水平, 但纤维消化率也很低, 小于 35%。

袁翠林等^[12]用体外产气法测定的豆秸秆和玉米秸秆的干物质体外消化率, 均低于本研究结果。

表 7 作物秸秆、荚壳类的体外消化率

Table 7 In vitro digestibilities of crop stalk and husk

作物秸秆或荚壳	NDF 体外 消化率 (%)	ADF 体外 消化率 (%)	干物质体外 消化率 (%)
杏仁壳	7.31	0.77	22.16±0.53j
菱藤	21.59	28.49	37.20±4.96ih
水稻秸秆	43.77	44.35	38.32±1.41i
宁麦 19 秸秆	49.06	46.05	38.55±0.87ihg
宁麦 17 秸秆	51.53	48.08	40.57±0.0fihg
宁麦 16 秸秆	48.59	48.13	41.32±0.96fihg
宁 09-72 秸秆	43.08	42.17	42.14±1.90fihg
宁麦 13 秸秆	48.64	46.93	43.78±0.0efg
青贮花生藤	41.72	43.36	43.87±1.04efg
生选 6 号秸秆	53.29	51.20	45.15±1.45efg
豆秸秆	32.22	32.84	45.48±5.53fihg
青贮玉米秸秆	49.55	46.75	45.77±2.98fe
宁麦 21 秸秆	57.76	57.77	47.16±0.69fe
花生藤	33.83	31.69	50.91±0.0de
苏玉糯 11 号秸秆	53.92	49.10	55.64±4.44ed
京甜紫花糯 2 号秸秆	51.27	45.63	56.85±2.98cd
高粱壳	34.66	29.55	57.84±0.30c
大蒜叶	63.24	63.28	60.00±3.91c
玉米苞叶	74.66	71.98	70.65±2.40b
蚕豆荚	57.03	55.67	77.34±1.07a

同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。由于每个样品 3 个重复经过体外产气发酵后残渣数量有限仅够测定 1 次 ADF 和 NDF 值含量, 因此 IVNDFD 和 IVADFD 未进行差异性分析。

2.7 不同类型农副产品糟渣类饲料的营养成分

农副产品糟渣类饲料多是酿造业、制糖业、食品加工工业的副产物, 与秸秆、荚壳类相比, 一般营养水平较高, 营养成分差异较大。由表 8 可见, 农副产品糟渣类饲料 CP 含量在 4.90% ~ 22.38%, DDGS 的 CP 含量最高, 梨渣最低; 灰分差异较大, 最低值为苹果渣

(1.76%),木薯渣、醋糟则较高,均大于20%;NDF含量与秸秆荚壳类相比偏低,但也均大于34%,最高为

梨渣(63.80%);ADF含量差异也较大,喷浆玉米皮最低,仅为10.26%,而大豆皮最高,为46.64%。

表8 农副产品糟渣类的基本营养水平(风干基础)

Table 8 Basic nutrient levels of residues of industry byproducts(air-dried-basis)

农副产品糟渣	中性洗涤纤维 (%)	酸性洗涤纤维 (%)	粗蛋白 (%)	灰分 (%)	干物质 (%)
DDGS	34.52	15.37	22.38	8.64	88.12
醋糟	62.65	33.55	6.65	21.38	91.96
木薯渣	56.42	43.38	11.21	21.40	92.17
啤酒糟	52.50	33.81	17.48	12.66	92.50
梨渣	63.80	41.52	4.90	2.66	92.34
苹果渣	45.85	32.62	7.96	1.76	90.12
桔子皮	50.33	28.03	9.05	1.93	90.19
大豆皮	62.56	46.64	8.09	4.21	90.58
喷浆玉米皮	40.27	10.26	19.58	6.16	91.82

2.8 不同类型农副产品糟渣类饲料的体外发酵特性

由图2可见,大豆皮、喷浆玉米皮的累积产气量(GP)较高,发酵速度快,在0~10 h大豆皮发酵速度与喷浆玉米皮基本一致,但在10 h后大豆皮发酵速度迅速提高。啤酒糟GP最低,发酵速度最慢,其产气在12 h后基本结束。梨渣虽然在0~12 h的产气速率高于啤酒糟、木薯渣、醋糟甚至是GP较大的桔子皮和苹果渣,但其发酵在12 h后也基本结束,GP仅略高于啤酒糟,说明其可发酵碳水化合物中易发酵部分含量较高,但是随着发酵时间延长,其不易发酵结构性碳水化合物部分利用率很低,从而GP较小。

从表9可以看出,理论最大产气量(A)大于300 ml的仅有大豆皮,200~250 ml有苹果渣、桔子皮和喷浆玉米皮,其中喷浆玉米皮和桔子皮显著高于苹果渣($P<0.05$),大于100 ml的有梨渣、木薯渣、醋糟和DDGS,其中醋糟和DDGS差异不显著($P>0.05$),但两者显著高于梨渣和木薯渣($P<0.05$),啤酒糟最低。产气速率(b),木薯渣最低,大豆皮最高,为喷浆玉米皮的1.8倍,需要指出的是虽然桔子皮A值与喷浆玉米皮相近,但产气速率仅为喷浆玉米皮的60%。发酵延滞时间(LAG),各饲料间差异较大,A值最高的大豆皮其LAG值也最大(4.52 h),苹果渣、桔子皮其次,均大于3 h且显著高于其他饲料

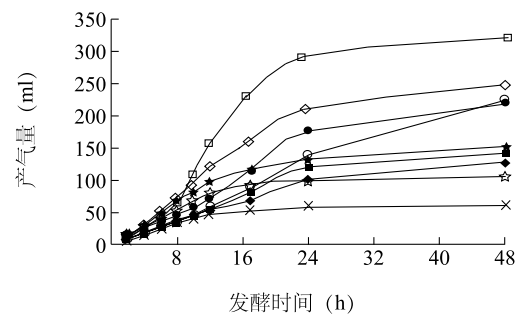


图2 不同农副产品糟渣类体外发酵48 h的GP动态变化曲线
Fig. 2 Dynamic changes of gas production of the residue of industry by product after 48 h in vitro fermentation

图2 不同农副产品糟渣类体外发酵48 h的GP动态变化曲线
Fig. 2 Dynamic changes of gas production of the residue of industry by product after 48 h in vitro fermentation

($P<0.05$),与大豆皮相比,喷浆玉米皮虽然A略低但LAG仅为1.49 h,显著低于大豆皮($P<0.05$)。

表10为农副产品糟渣类Gompertz模型参数与营养成分的相关关系,与秸秆、荚壳类不同,产气特性除LAG与饲料灰分含量呈显著负相关关系外,与其他营养成分均无显著关系。谢春元^[3]等指出当饲料组分差异较大(如蛋白质含量相差太大)时,产气量不能直接用于比较营养价值,农副产品糟渣类产气特性A、b、LAG与营养成分之间规律性不明显可能与其纤维组成、营养成分和可消化性差异大有关。

表 9 农副产品糟渣类的体外产气参数值

Table 9 *In vitro* gas production parameters of the residue of industry by product

农副产品糟渣	理论最大产气量 (ml)	产气速率 (ml/h)	延滞时间 (h)
啤酒糟	63.75±2.09g	4.40±0.31g	0.21±0.08de
梨渣	107.95±2.67f	6.97±0.08e	0.05±0.01e
木薯渣	138.64±1.36e	3.60±0.16h	-3.03±0.12f
醋糟	148.56±0.06d	5.59±0.46f	1.02±1.97de
DDGS	149.02±3.86d	8.32±0.16d	0.29±0.05de
苹果渣	225.94±5.76c	9.00±0.39c	3.46±0.42ba
桔子皮	244.39±7.99b	6.55±0.08e	3.28±0.21ba
喷浆玉米皮	247.79±2.08b	10.89±0.49b	1.49±0.13dc
大豆皮	321.97±3.39a	19.89±0.35a	4.52±0.16a

同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 10 农副产品糟渣类 Gompertz 模型参数与营养成分的相关关系 ($n=9$)Table 10 Correlation coefficients ($n=9$) between parameters of Gompertz model and chemical compositions

参 数	中性洗涤纤维	酸性洗涤纤维	粗蛋白	灰分
理论最大产气量	-0.08	-0.06	-0.16	-0.49
产气速率	0.06	0.09	-0.07	-0.50
延滞时间	-0.02	-0.05	-0.25	-0.69*

* 表示显著相关 ($P<0.05$); ** 表示极显著相关 ($P<0.01$)。

表 11 农副产品糟渣类的体外消化率

Table 11 *In vitro* digestibility of the residue of industry by product

农副产品糟渣	NDF 体外消化率 (%)	ADF 体外消化率 (%)	干物质体外消化率 (%)
啤酒糟	35.36	35.99	39.97±1.27c
梨渣	14.61	8.63	29.91±0.31d
木薯渣	35.57	27.81	40.07±1.24c
醋糟	40.17	35.91	41.84±0.64c
桔子皮	67.85	73.72	60.31±2.36b
苹果渣	53.26	47.25	60.36±1.13b
DDGS	45.06	36.08	61.50±1.49b
喷浆玉米皮	83.75	77.68	84.09±1.02a
大豆皮	92.42	94.72	85.41±1.85a

同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。由于每个样品 3 个重复经过体外产气发酵后残渣数量有限仅够测定 1 次 ADF 和 NDF 值,因此 NDF 体外消化率和 ADF 体外消化率未进行差异性分析。

3 讨 论

研究指出通过饲料降解过程中的产气量能较精确地评定饲料在动物体内的消化率,从而有效评价

2.9 不同类型农副产品糟渣类饲料的体外消化率

如表 11 所示,大豆皮虽然 A 显著高于喷浆玉米皮,但从 *IVDMD* 来看两者差异不显著 ($P>0.05$),不过两者 *IVDMD* 均显著高于其他饲料 ($P<0.05$); DDGS *IVDMD* 排第 3,与桔子皮、苹果渣相近;梨渣最低仅为 29.91%。

从纤维的体外消化率来看,大豆皮不但纤维素含量高且 *IVNDFD* 和 *IVAFD* 均非常高,分别为 92.42% 和 94.72%,有研究者指出反刍动物对大豆皮的干物质消化率可高达 90% 以上^[13],大豆皮木质素与 NDF 之比较小,也使得其具有较高的纤维消化率^[14],与本研究结果一致。喷浆玉米皮虽然纤维消化率略低于大豆皮但也高于 75%,纤维的可消化性好。梨渣纤维消化率最差,其 *IVNDFD* 仅为 14.61%,因此其产气量也很低。

营养物质的利用率^[15],产气延滞时间也反映了瘤胃微生物活动的指标,底物中有机质 (OM) 和粗蛋白含量的增加能缩短发酵的延滞时间,而木质素则相反,会抑制瘤胃微生物的活动,延长发酵启动时间^[16]。非常规饲料一般粗纤维含量高,反刍动物比单胃动物更能够充分利用,由于纤维的组成和结构具有多样性,不同来源的纤维其品质差异很大,因此还需结合纤维体外消化率指标来综合评定其营养价值。

本研究 32 种非常规饲料资源,理论最大产气量均大于 200 ml 的有杂粕类的米糠粕,农副产品糟渣类的大豆皮、喷浆玉米皮、桔子皮和苹果渣,秸秆类玉米苞叶、蚕豆荚、高粱壳、玉米秸,共计 9 种,它们的产气量高,营养物质在动物体内的利用率也应优于其他非常规饲料。其中,杂粕类非常规饲料粗蛋白含量高,但由于其本身存在抗营养因子的缺陷,降解利用率并不与其粗蛋白含量呈正比,从本试验结果来看,米糠粕 A 最高、产气速率最快,营养价值最高,菜粕其次,芝麻粕最低,这与郝建祥^[17]利

用体外发酵法评定菜粕和芝麻粕营养价值的结论一致。

大豆皮在 32 种非常规饲料中产气量最高,产气速率最快,从干物质和纤维的体外消化率来看,也均排在第 1 位,但其产气延滞时间长,虽然低于水稻秸秆这类低质粗饲料,但远大于产气量同样较高的喷浆玉米皮和玉米苞叶。Preston^[14]的研究结果指出,影响饲料中纤维消化率的主要因素是纤维素的木质化程度,大豆皮木质素含量仅为 1.8%,因此具有很高的纤维消化率,能够刺激瘤胃液中某些分解纤维的微生物快速增长,其产气延滞时间长,可能是由于其淀粉含量低,仅为 0~9.4%,发酵启动慢,因此它需要在瘤胃中停留较长的时间,最适宜用于进食量低的高纤维日粮,而不适用于高精料日粮。大量试验结果也证明了这点,在产奶牛和采食低精料的架子牛饲料中,大豆皮的饲用价值与玉米相当,而在采食高精料日粮的肥育牛饲料中,其饲用价值低于玉米^[18]。有关喷浆玉米皮的营养价值评定研究未见报道,韩晓洁等^[19]用体外产气法评定了玉米皮、麦麸、DDGS、鱼粉、豆腐渣和米糠的营养价值,得出玉米皮产气量和有机物消化率最高,营养价值较高。曹香林等^[20]也指出玉米皮的纤维类物质在瘤胃中能很好地降解。本试验中喷浆玉米皮的产气量大,仅次于大豆皮,同时具有较高的干物质和纤维消化率,而且产气延滞时间远小于大豆皮,且经过喷浆后,玉米皮的能量、蛋白质和氨基酸含量大为提高,因此是一种可用于部分替代玉米及蛋白原料的优质非常规饲料。桔子皮、苹果渣、梨渣均为果渣类,但营养价值差异较大,桔子皮和苹果渣营养价值较高且桔子皮的纤维消化率高于苹果渣,梨渣的营养物质利用率则很低,还不及水稻秸秆。有关桔子皮的饲用价值研究未见报道,说明其有待进一步开发。曹香林等^[20]指出苹果渣粗纤维中木质素含量少,多半纤维素和纤维素,同时还有丰富的维生素和果胶,IVDMD 为 69.53%,IVNDFD、IVADFD 分别为 64.42% 和 60.83%,略高于本研究结果。陈晓琳^[21]等用半体内法比较了梨渣和苹果渣在肉羊瘤胃中的降解特点,得出苹果渣的 DM、NDF、ADF 的有效降解率高于梨渣,而梨渣的粗蛋白有效降解率高于苹果渣,其中梨渣 48 h NDF 瘤胃降解率仅为 14.66%,与本研究结果一致。有一点需要特别指出的是,农副产品糟渣类 A 大于 200 ml 的,除了喷浆

玉米皮外,产气延滞时间均较长,都在 3 h 以上,因此大豆皮、桔子皮、苹果渣在实际应用中,需注意它们需要较长的瘤胃停留时间,不适合高精料日粮。啤酒糟 A 在 32 种非常规饲料中最低,梨渣虽然 A 高于啤酒糟,但纤维消化率极低,两者的营养价值均较低。韦升菊等^[22]用注射器体外产气法评定广西木薯渣、啤酒糟的营养价值,得出木薯渣潜在产气量高于啤酒糟,24 h 中产气量为啤酒糟的 2 倍多,与本研究结论一致。DDGS、醋糟、木薯渣产气量在农副产品糟渣类中居中,与小麦秸秆的产含量相近,营养价值一般。

秸秆、荚壳类由于其低能、低蛋白、低消化率以及高木质素的特点,营养价值较低,在很大程度上限制了动物生产性能的发挥。本研究选取的 20 种农作物秸秆、荚壳中,玉米苞叶营养价值最高,其产气量在所有饲料中仅次于大豆皮,比喷浆玉米皮略高,纤维消化率也高,仅次于大豆皮和喷浆玉米皮。邹彩霞等^[23]应用注射器体外产气法评定广西的木薯渣和玉米苞叶及芯等的营养价值,指出木薯渣与玉米苞叶及芯的理论最大产气量相近,但木薯渣的产气速率是玉米苞叶及芯的 2 倍,本研究木薯渣的理论最大产气量约为玉米苞叶的一半,产气速率仅为 3.6 ml/h,而玉米苞叶达到 12.61 ml/h,与其结论不一致,这可能是由于样品的地域性差异导致。刘富强等^[24]评定了 32 种农作物副产物及其茎叶等部位的营养价值与干物质降解率,得出玉米苞叶的 72 h 降解率在 80% 以上,降解率 70%~80% 的有花生藤、豌豆荚,降解率 60%~70% 的有玉米秸秆,50%~60% 的有大豆秸秆,40%~50% 的有小麦秸秆、水稻秸秆,降解率略高于本研究但趋势基本一致。本试验中高粱壳虽然产气量达到 200 ml 以上,但其 IVNDFD 还不及水稻秸秆,花生藤、豆秸藤这类产气量居中的饲料,其纤维的利用率却很低,因此综合营养价值不是较优。杏仁壳、水稻秸秆、青贮花生藤和菱藤的 A 值、纤维消化率都很低,因此营养价值较低。

本研究综合考虑营养成分和体外消化情况,得出南方农区搜集到的 32 种非常规饲料资源营养价值表现为:杂粕类中米糠粕最优,菜粕其次,芝麻粕最低。其余 29 种中,大豆皮、喷浆玉米皮、玉米苞叶、桔子皮、蚕豆荚、苹果渣都具有较高的营养价值,适宜在南方农区本地区推广利用。啤酒糟、杏仁壳、

梨渣的营养价值较低,水稻秸秆、麦秸秆等低质粗饲料最好是经过青贮或者氨化提高其营养价值后再使用。

参考文献:

- [1] JOHN C, WALLER. Byproducts & unusual feedstuffs [J]. Feedstuffs, 2011, 9(14):18-23.
- [2] AMY BATAL, NICK DALE. 美国 FEEDSTUFFS 饲料成分分析表(2008 版)[J]. 李 玫,译. 饲料广角,2009(1):41-45.
- [3] 谢春元,杨红建,黎大洪,等. 体外发酵产气技术在饲料营养价值评定中的应用[J]. 中国饲料,2007(10):16-21.
- [4] 刘 华. 新疆地区 23 种饲料营养成分及其瘤胃降解特性比较研究[D]. 新疆:新疆农业大学,2012.
- [5] 李袁飞,郝建祥,马艳艳,等. 体外瘤胃发酵法评定不同类型粗饲料的营养价值[J]. 动物营养学报,2013,25(10):2403-2413.
- [6] MENKE K H, STEINGASS. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and gas production using rumen fluid [J]. Animal Res Dev, 1998, 28:7-55.
- [7] MENKE K H, RAAB L, SALEWSKI A, et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro* [J]. Journal of Animal Science, 1979, 93:217-222.
- [8] 谢春元,杨红建,么学博,等. 瘤胃尼龙袋法和体外产气法评定反刍动物饲料的营养价值比较[J]. 中国畜牧杂志,2007,43(17):39-41.
- [9] 汤少勋,姜海林,周传社,等. 不同牧草品种对体外发酵产气特性的影响[J]. 草业学报,2005,14(3):72-77.
- [10] NSAH LAI I V, UMUNNA N N, NEGASSA D. The effect of multi-purpose tree digesta on *in vitro* gas production from napier grass or neutral detergent fiber [J]. Journal Science of Food and Agriculture, 1995, 69:519-528.
- [11] 闫贵龙,曹春梅,鲁琳,等. 玉米秸秆不同部位主要化学成分和活体外消化率比较[J]. 中国农业大学学报,2006,11(3):70-74.
- [12] 袁翠林,于子洋,王利华,等. 羊常用粗饲料的营养价值评定[J]. 中国饲料,2014(11):23-25.
- [13] HSU J T, FAULKNER D B, GARLEB K A, et al. Evaluation of corn fiber cotton seed hulls, oat hulls and soybean hulls as roughage sources for ruminations [J]. Journal of Animal Science, 1987, 65:244-255.
- [14] PRESTON R L. 大豆皮在奶牛、肉牛和猪饲养中的应用(1)[J]. 饲料广角,2005(7):21-22.
- [15] SALLAM S M A, NASSER M E A, EI-WAZIRY A M, et al. Use of an *in vitro* rumen gas production technique to evaluate some ruminant feedstuffs [J]. Journal of Applied Sciences Research, 2007, 3(1):34-41.
- [16] HADDI M L, FILACORDA S, MINIAI K, et al. *In vitro* fermentation kinetics of some halophyte shrubs sampled at three stages of maturity [J]. Animal Feed Science and Technology, 2003, 104:215-225.
- [17] 郝建祥. 体外发酵法评定反刍动物饲料营养价值的研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [18] 闵晓梅,孟庆翔. 大豆皮在饲料中的应用[J]. 中国饲料,2001(12):27-28.
- [19] 韩晓洁,李凌云,莘海亮,等. 体外产气法评定黔北麻羊常用饲料营养价值研究[J]. 家畜生态学报,2014,35(4):40-45.
- [20] 曹香林,陈建军,郑 琛. 反刍动物常用饲料的体外消化率[J]. 贵州农业科学,2012,40(3):150-152.
- [21] 陈晓琳,孙 娟,李艳玲,等. 常见果渣和花生壳在肉羊瘤胃中的降解特点[J]. 饲料研究,2014(17):58-62.
- [22] 韦升菊,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):46-49.
- [23] 邹彩霞,梁 坤,梁贤威,等. 应用体外产气法评定几种广西饲草的营养价值[J]. 饲料研究,2009(8):33-35.
- [24] 刘富强,冀一伦,黄应祥. 农作副产物饲用价值的研究[J]. 中国动物营养学报,1991,3(1):25-29.

(责任编辑:陈海霞)