

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0295

李珊珊,白彦福,王婷,张娇娇,刘筱嘉,丁路明,王虎成,冯强,贺春贵,龙瑞军,尚占环.饲用高粱营养价值及人工瘤胃降解特性.草业科学,2018,35(5):1273-1286.

Li S S, Bai Y F, Wang T, Zhang J J, Li X J, Ding L M, Wang H C, Feng Q, He C G, Long R J, Shang Z H. Evaluation of the nutritive value and *in vitro* digestibility of forage sorghum. Pratacultural Science, 2018, 35(5): 1273-1286.

饲用高粱营养价值及人工瘤胃降解特性

李珊珊¹, 白彦福², 王 婷¹, 张娇娇², 刘筱嘉³, 丁路明²,
王虎成¹, 冯 强⁴, 贺春贵⁵, 龙瑞军², 尚占环²

(1. 兰州大学草地农业科技学院 兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 兰州大学生命科学学院, 甘肃 兰州 730000; 3. 番禺出入境检验检疫局, 广州 番禺, 510000;

4. 定西市畜牧兽医局, 甘肃 定西 743020; 5. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要:为了探讨甘肃河西盐碱地区海牛、大卡、大奖 1180、大奖 3180 四个饲用高粱(*Sorghum bicolor*)品种各生育期不同部位的营养价值变化规律,利用常规化学成分分析和体外模拟发酵产气技术测定了 4 种饲用高粱品种分蘖期、拔节期、抽穗期的主要营养成分、体外消化率和瘤胃微生物体外发酵产气量。结果表明,随着生育期的推进,4 个品种饲用高粱株高、鲜重、茎叶比在显著增加,其中海牛鲜重和茎叶比最高,大奖 1180 鲜重和茎叶比最低。同一品种不同部位的粗蛋白含量也不同,大致为茎秆<全株<叶。随着生育期的推进,各品种植株内粗蛋白、粗灰分含量显著下降($P<0.05$),中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量显著上升,在拔节期和抽穗期海牛和大卡全株的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维较另外 2 个品种低,使得饲草的饲喂价值也相对较高,同时海牛和大卡茎秆、叶及全株也含有较高的可溶性糖。海牛和大卡的 72 h 体外发酵产气量、瘤胃液氨态氮浓度及干物质消失率较其他 2 个品种高,甲烷产量在 4 个品种间无显著差异($P>0.05$)。综合考虑来看,海牛和大卡具有较高的营养价值及饲喂价值,是优良的饲草品种,很适合在甘肃河西干旱盐碱地种植。

关键词:饲用高粱;生育期;农艺性状;生物学特性;营养价值;饲喂价值;体外发酵

中图分类号:S816.15;S512.6

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2018)05-1273-14*

Evaluation of the nutritive value and *in vitro* digestibility of forage sorghum

Li Shan-shan¹, Bai Yan-fu², Wang Ting¹, Zhang Jiao-jiao², Liu Xiao-jia³, Ding Lu-ming²,
Wang Hu-cheng¹, Feng Qiang⁴, He Chun-gui⁵, Long Rui-jun², Shang Zhan-huan²

(1. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, State Key Laboratory of
Grassland Agro-ecosystems, Lanzhou University, Lanzhou 730020, Gansu, China;

2. Life Sciences College of Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China;

3. Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau of Fanyu, Fanyu, 510000, Guangdong, China;

4. Animal Husbandry and Veterinary Bureau of Dingxi City, Dingxi 743020, Gansu, China;

5. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the changes in nutritional value of four sorghum varieties of Hainiu, Big kahuna, Dajiang 3180, and Dajiang 1180 at different stages of development, in the Hexi saline-alkali area of Gansu Province. The main nutrient components, *in vitro* digestibility, and *in vitro* fermentation gas production of the four varieties during branching period, jointing stage, and heading stage were determined by proximate analysis and *in vitro* gas production techniques. The results showed that the height and fresh

* 收稿日期:2017-06-05 接受日期:2017-09-28

基金项目:甘肃省重大科技专项计划项目“饲用甜高粱种质创新及栽培饲用技术研究与示范”(1502NKDA005-3)

第一作者:李珊珊(1991-),女,甘肃张掖人,在读硕士生,主要从事动物营养与饲料研究。E-mail:lishsh15@lzu.edu.cn

通信作者:尚占环(1978-),男,河北玉田人,教授,博士,主要从事草地生态学和生物多样性研究。E-mail:shangzh@lzu.edu.cn

weight of the four varieties were significantly different. Furthermore, a significant increase in the height and fresh weight of the four varieties was observed ($P>0.05$). The results also revealed that the fresh weight and ratio of stems to leaves of Hainiu was the highest, while those of Dajiang 1180 were the lowest with prolonged harvest. Further, the crude protein content in different parts of the same species was also different, in the order stem<whole plant<leaves. The NDF and ADF decreased significantly ($P<0.05$). The NDF and ADF of Hainiu and Big kahuna were significantly lower at the jointing and heading stages than those of the other two cultivars. The higher NDF and ADF positively affected the relative feeding value. At the same time, the stalks, leaves, and whole plants of Hainiu and Big kahuna also contained high sugar contents. The gas production, VFA concentration, and dry matter disappearance rate of Hainiu and Big kahuna was higher than those of the other two cultivars at 72 h. There were no significant differences in the yield of methane among the four varieties. The results suggest that Hainiu and Big kahuna are the best forage varieties with high nutritional and feeding values. Thus the varieties can be recommended for large-scale planting on dry saline lands of Hexi, Gansu.

Key words: Forage sorghum; growth stage; agronomic trait; biological characteristic; nutritional value; feeding value; *in vitro* degradation

Corresponding author: Shang Zhan-huan E-mail: shangzh@lzu.edu.cn

饲草作物作为反刍动物的主要饲料来源,在畜牧业中占很重要的位置^[1]。研究表明,同种饲草在不同的生育期,其营养物质在茎叶之间不断的变化会导致全株饲用价值改变^[2]。饲用高粱(*Sorghum bicolor*)是一种多年生的饲草,生物产量高,具有耐贫瘠、耐干旱的生物学特性,种质资源丰富且应用价值高^[3],特别适合在甘肃河西地区干旱盐碱地种植。目前,该地区已种植的饲用高粱有海牛(Monster)、大卡(Big Kahuna)、大奖 1180 和大奖 3180 四个品种,其中大卡为 PPS+BMR 型,即除含光周期敏感(photoperiod-sensitive,PPS)基因外,还含褐色中脉基因(brown midrib,BMR)^[4]。

本研究主要利用常规化学成分分析以及体外发酵产气技术,较全面地评价 4 种饲用高粱品种的营养价值、生物学特性以及了解其在动物体内的消化代谢,筛选出适合甘肃河西干旱盐碱地适宜种植以及适合家畜饲喂的优质高粱品种。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

分别于 2016 年 7 月 31 日、8 月 23 日和 9 月 19 日在甘肃省金昌市(102°08'16" E, 38°13'38" N)进行采样,该地区属温带大陆性气候,平均海拔 1 882 m,年平均气温 4.8 °C,平均降水量 185.1 mm,无霜期 134 d。试验所选用的饲用高粱品种分别是海牛、大卡、大奖 1180 和大奖 3180 四个品种,种子由北京猛犸种业有限公司提供。试验田采用平铺覆膜种植,膜厚度为 0.01 mm、膜面宽度为 1.2 m,在 2016 年 6 月 3 日用玉

米穴播机进行播种,株距 15 cm、行距 35 cm,每穴播种高粱种子 2~4 粒,种植密度约为 9 000 穴·666.7 m⁻²。田间种植和管理由甘肃民生牧草饲料有限公司在甘肃省金昌市永昌县六坝乡玉宝村牧草基地实施。

1.2 试验材料

分别于饲用高粱分蘖期(07-31)、拔节期(08-23)、抽穗期(09-19)在各小区刈割 0.25 m²,留茬高度 10~15 cm,刈割后先称鲜重,然后将其风干后称重。每个品种随机取 10 株,测定其株高,然后将其带回实验室风干后分别称量叶和茎,测得茎叶比,65 °C 烘干 72 h,并用粉碎机粉碎过 1 mm 筛后测定常规养分。

1.3 测试方法

1.3.1 常规养分分析 饲草营养成分测定参照《饲料分析及饲料质量检测技术》^[5],干物质(dry matter, DM)含量使用 105 °C 烘干法测定;中性洗涤纤维(neutral detergent fibre, NDF)和酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)含量使用 ANKOM-2000i 型全自动纤维分析仪(美国)测定;粗蛋白质(crude protein, CP)含量使用 JK-9830 全自动凯氏定氮仪测定;粗灰分(Ash)含量使用 550 °C 高温灼烧法测定;总单宁的测定利用 Folin-Ciocalteu 法,冻干鲜样测定;可溶性糖含量使用分光光度计蒽酮-硫酸法进行比色测定。

1.3.2 体外发酵测定 选择健康的肉牛于晨饲前用瘤胃管采集瘤胃液,在 39 °C 厌氧条件下,将提前分装在尼龙袋的 400 mg 待测样品放入特制的 100 mL 玻璃注射器(德国制造)中,用约 45 mL 经过滤后的瘤胃液消化,记录 2、4、6、8、10、12、24、48、72 h 共 9 个时间点的产气量;并分别于 12、24、48、72 h 收集气体,将抽

取的气体迅速打入密封性完好的真空采血管中,4 ℃保存,带回实验室使用气相色谱仪进行 CH₄ 和 H₂ 的测定;发酵 72 h 后,迅速测定发酵液 pH,并将发酵液分装到多个 5 mL 离心管中,迅速投进液氮罐中,带回实验室-80 ℃保存,测定其挥发性脂肪酸(VFA)和 NH₃-N 的含量。发酵结束后将装有底物的尼龙袋放进冰水中终止发酵反应,反复用水洗涤后,晾干,105 ℃烘 4 h 后称重测定其干物质降解率。每个样品设 3 个重复。

采用模型 $y=a'+b'[1-e^{-a}t]$ 对 0-72 h 产气规律进行拟合。模型中 y 是 t 时刻的产气量(mL), a' 是快速降解部分的产气量(mL), b' 是慢速降解部分的产气

量(mL), c' 是慢速降解部分的产气速率($\% \cdot h^{-1}$), $a'+b'$ 是理论总产气量(mL), t 是发酵的时间(h)。

1.4 数据处理

试验结果使用 SPSS 21.0 一般线性模型中多因素方差分析进行统计分析,用 Duncan 氏法比较显著性,数据结果用平均值表示。

2 结果

2.1 田间农艺性状

在采样过程中,对 4 个品种(海牛、大卡、大奖 3180、大奖 1180)不同生育期植株的生产性能进行了数据记录,包括株高、单株鲜重、鲜草产量及茎叶比(表 1)。

表 1 不同饲用高粱品种各生育期农艺性状

Table 1 Agronomic traits of different forage sorghum varieties at different growth stages

项目 Item	生育期 Growth stage	品种 Cultivar				SEM	P		
		海牛 Hainiu	大卡 Big kahuna	大奖 3180 Dajiang 3180	大奖 1180 Dajiang 1180		品种 Cultivar	生育期 Growth stage	品种×生育期 Cultivar× Growth stage
单株鲜重 Fresh weight of single plant/g	分蘖期 Branch stage	477.000aA	295.557bB	211.500cBC	185.000cC				
	拔节期 Jointing stage	494.943aA	421.943bB	359.050bB	425.000bB	17.480	0.006	<0.001	0.633
	抽穗期 Heading stage	725.330aA	662.510aA	618.677aA	567.930aA				
鲜草产量 Yield/ (kg · 666.7 m ⁻²)	分蘖期 Branch stage	5 336.000cA	4 268.800cB	3 735.200cC	3 201.600cD				
	拔节期 Jointing stage	5 853.590bA	5 077.200bB	4 461.960bC	4 108.720bD	25.287	<0.001	<0.001	0.007
	抽穗期 Heading stage	6 776.240aA	6 483.080aA	5 682.280aB	5 095.880aC				
茎叶比 Stem to leaf ratio	分蘖期 Branch stage	1.037aA	0.950bA	0.890bA	0.360cB				
	拔节期 Jointing stage	1.097aA	1.000abAB	1.067aA	0.837bB	0.019	<0.001	<0.001	0.024
	抽穗期 Heading stage	1.230aA	1.160aAB	1.200aA	0.980aB				
株高 Plant height/m	分蘖期 Branch stage	1.330bA	1.310cA	1.200cB	0.889cC				
	拔节期 Jointing stage	1.852aA	1.719bB	1.389bC	1.708bB	0.012	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	2.000aAB	2.120aA	1.890aB	2.020aA				

同行大写字母不同表示品种间差异显著($P<0.05$),同列小写字母不同表示不同生育期差异显著($P<0.05$)。下同。

Different capital letters within the same row indicate significant difference between varieties at the 0.05 level, and different lowercase letters within the same column indicate significant difference between different growth stage at the 0.05 level; similarly for the following tables.

不同品种各生育期的农艺性状表现不同(表 1)。总体上,饲用高粱株高、鲜草产量、单株鲜重及茎叶比随着生育期的推移呈现上升趋势。品种对饲用高粱单株鲜重、鲜草产量、茎叶比及株高影响显著($P < 0.05$),在分蘖期和拔节期,海牛单株鲜重显著高于其他 3 个品种($P < 0.05$),分别为 477.000 和 494.943 g,但在抽穗期,单株鲜重在 4 个高粱品种之间差异不显著($P > 0.05$)。在分蘖期和拔节期,鲜草产量 4 个高粱品种之间差异显著($P < 0.05$),其中海牛均为最高。品种对茎叶比影响显著($P < 0.001$),3 个时期海牛的茎叶比均显著高于大奖 1180($P < 0.05$)。4 个品种的株高在分蘖期和拔节期均以海牛最高,抽穗期海牛和其他 3 个品种之间差异不显著($P > 0.05$)。生育期对饲用高粱单株鲜重、鲜草产量、茎叶比及株高有极显著影响($P < 0.001$)。品种和生育期对饲用高粱鲜草产量、茎叶比及株高有显著的交互作用($P < 0.05$),海牛各生育期农艺性状均较高,大奖 1180 略低。在不同的生育期,海牛的单株鲜重、鲜草产量和茎叶比均高于其他 3 个品种,在这方面表现较弱的是大奖 1180 品种。通过上述对比,发现这 4 个饲用高粱品种中海牛和大卡的农艺性状在整体上具有相对优势。

2.2 植株营养成分比较

随着生育期的推进,各品种饲用高粱不同部位营养成分表现出了各不相同的变化规律(表 2、表 3、表 4)。品种、生育期对饲用高粱叶片、茎秆全株粗灰分、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、相对饲喂价值、粗蛋白、酚类物质及可溶性糖含量均有极显著的影响($P < 0.001$),而且品种和生育期对叶片、茎秆、全株有极显著的交互作用($P < 0.001$)。

就粗灰分含量而言,随着生育期的推进,海牛和大卡叶片的粗灰分表现出直线下降的趋势,大奖 1180 和大奖 3180 呈现先下降后上升的趋势(表 3),而 4 个品种茎秆和全株的粗灰分含量为直线下降的趋势(表 2、表 4),同一品种在分蘖期和拔节期其茎秆的粗灰分含量均高于叶片含量,但在抽穗期相反。

海牛、大卡、大奖 3180 叶片中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量均随着生育期的推进呈现上升的趋势,大奖 1180 叶片中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量呈先上升后下降的趋势(表 3)。分蘖期和拔节期茎秆中性洗涤纤维 4 个品种间差异显著($P < 0.05$),海牛酸性洗涤纤维含量在分蘖期和抽穗期与其他 3 个品种

之间差异显著($P < 0.05$);拔节期茎秆中性洗涤纤维大奖 1180 最高,达 59.29%,大卡最低,为 55.76%;抽穗期海牛最高,达到 57.14%,大卡依然是最低,为 51.23%(表 2)。海牛酸性洗涤纤维随着生育期先降后升,其相对饲喂价值(RFV)对应下降,而且同一品种不同生育期之间差异显著($P < 0.05$)。大奖 3180 全株在分蘖期相对饲喂价值最高,拔节期时大卡最高,到抽穗期时海牛最高、大奖 1180 最低(表 4)。

随着生育期的推进,同一品种饲用高粱叶片、茎秆、全株粗蛋白含量均呈现下降趋势。4 个品种茎秆中的粗蛋白含量在分蘖期海牛与大卡差异不显著($P > 0.05$),与大奖 1180 和大奖 3180 差异显著,其中大奖 3180 含量最高、大奖 1180 含量最低;在拔节期海牛与其他品种间差异显著($P < 0.05$),其中大奖 1180 最高、大卡最低;在抽穗期四者间差异显著,其中大奖 3180 最高、大奖 1180 最低(表 2)。4 个品种叶中的粗蛋白含量在分蘖期大奖 3180 与其他 3 个品种差异显著($P < 0.05$),其中大奖 3180 粗蛋白含量最高,达 18.763%,大卡最低;在拔节期四者差异显著($P < 0.05$),其中大奖 3180 同样最高,大卡最低;在抽穗期四者差异显著,其中大奖 3180 最高,达 14.303%,大奖 1180 最低,为 7.453%(表 3)。整体上看,每个品种所含的粗蛋白含量随着生育期均表现为较明显的下降趋势,且发生在各个部位的下降趋势具有很好的相关性,并且,同一品种不同部位的粗蛋白含量也不同,大致为茎秆 < 全株 < 叶。

4 个品种叶中单宁含量均随着生育期的推进呈先下降后上升趋势,而全株和茎秆中单宁含量则是直线下降,且叶中单宁的含量均高于茎中含量。叶中可溶性糖先降低后升高,茎秆、全株中可溶性糖均随着生育期的推进逐渐上升,且茎秆糖含量高于叶片;分蘖期叶片含糖量最高为大卡,海牛最低;拔节期大卡最高,大奖 3180 最低;抽穗期大奖 1180 含糖量较高,大奖 3180 最低;茎和全株含糖量在分蘖期、拔节期、抽穗期 3 个时期大卡含糖量均最高,大奖 3180 最低。

2.3 全株体外发酵参数比较

海牛和大卡的 24 h 体外发酵产气量各个生育期无显著差异($P > 0.05$),且随着生育期的推进逐渐升高。而大奖 3180 和大奖 1180 呈现先下降后上升的趋势,大奖 3180 三个时期均为最低(图 1)。48 h 各品种的体外发酵产气量变化趋势均不同。品种、生育期分

表 2 不同饲用高粱品种各生育期茎秆营养成分比较
Table 2 Comparison of stem nutritional components of different forage sorghum varieties at different growth stages

项目 Item	生育期 Growth stage	品种 Cultivar				SEM	P		
		海牛 Hainiu	大卡 Big kahuna	大奖 3180 Dajiang 3180	大奖 1180 Dajiang 1180		品种 Cultivar	生育期 Growth stage	品种×生育期 Cultivar× Growth stage
粗灰分 Ash/%	分蘖期 Branch stage	16.260aB	16.640aA	13.420aC	11.720bD	0.018	<0.001	<0.001	<0.001
	拔节期 Jointing stage	13.257bB	11.910bC	11.100bD	14.880aA				
	抽穗期 Heading stage	7.200cC	6.757cD	7.850cA	7.390cB				
中性洗涤纤维 NDF/%	分蘖期 Branch stage	56.760aA	53.190bC	50.510cD	55.520bB				
	拔节期 Jointing stage	57.720B	55.760aC	59.210aA	59.290aA	0.067	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	57.140aA	51.230cC	56.970bA	55.760bB				
酸性洗涤纤维 ADF/%	分蘖期 Branch stage	33.670aA	33.070aB	29.270cC	29.310cC				
	拔节期 Jointing stage	34.010aA	31.920aC	33.160aB	34.090aA	0.053	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	33.060aA	29.117bC	31.787bB	32.060bB				
相对饲喂价值 RFV/%	分蘖期 Branch stage	102.710aD	111.930bB	121.750aA	110.690aC				
	拔节期 Jointing stage	100.600aB	106.840cA	99.087cBC	97.810cC	0.173	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	102.807aB	120.250aA	104.740bBC	106.650bC				
粗蛋白 CP/%	分蘖期 Branch stage	12.370aB	12.490aB	13.237aA	11.117bC				
	拔节期 Jointing stage	9.780bB	8.740bC	9.060bC	11.453aA	0.025	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	5.270cC	5.530cB	6.200cA	4.350cD				
总酚 Total phenol/%	分蘖期 Branch stage	0.138aD	0.180aB	0.159aC	0.230aA				
	拔节期 Jointing stage	0.139aA	0.096cB	0.139bA	0.135bA	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	0.142aA	0.147bA	0.108cC	0.130bB				
简单酚 Simple phenol/%	分蘖期 Branch stage	0.117aC	0.150aB	0.126aC	0.175aA				
	拔节期 Jointing stage	0.133bA	0.074cC	0.126aB	0.133bA	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	0.134bA	0.138bA	0.105bC	0.121bB				
单宁 Tannin/%	分蘖期 Branch stage	0.022aB	0.031aB	0.032aB	0.055aA				
	拔节期 Jointing stage	0.006bBC	0.022bA	0.013bB	0.002bC	0.001	0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	0.009bA	0.009cA	0.003cB	0.010bA				
可溶性糖 WSC/%	分蘖期 Branch stage	5.740cC	9.793cA	5.028cD	8.325cB				
	拔节期 Jointing stage	10.050bC	12.385bA	7.638bD	10.285bB	0.115	<0.001	<0.001	0.024
	抽穗期 Heading stage	12.668aB	15.603aA	12.415aB	15.088aA				

表 3 不同饲用高粱品种各生育期叶营养成分比较
Table 3 Comparison of leaf nutritional components of different forage sorghum varieties at different growth stages

项目 Item	生育期 Growth stage	品种 Cultivar				SEM	P		
		海牛 Hainiu	大卡 Big kahuna	大奖 3180 Dajiang 3180	大奖 1180 Dajiang 1180		品种 Cultivar	生育期 Growth stage	品种×生育期 Cultivar× Growth stage
粗灰分 Ash/ %	分蘖期 Branch stage	12.113aB	12.353aA	10.787aD	11.300aC				
	拔节期 Jointing stage	10.750bB	11.177bA	9.087bC	8.777cD	0.014	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	10.620bA	9.810cB	9.167bC	9.067bC				
中性洗涤纤维 NDF/ %	分蘖期 Branch stage	55.950cA	53.693cC	54.497cB	52.873cD				
	拔节期 Jointing stage	59.290bB	57.637bC	59.517bB	63.627aA	0.058	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	61.690aA	59.417aC	61.797aA	60.703bB				
酸性洗涤纤维 ADF/ %	分蘖期 Branch stage	29.147cA	27.340bB	27.560bB	26.390cC				
	拔节期 Jointing stage	29.760bB	29.323aB	27.833bC	31.997aA	0.062	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	30.787aA	28.900aC	28.910aC	29.960bB				
相对饲喂价值 RFV/ %	分蘖期 Branch stage	110.063aD	117.123aB	115.103aC	120.243aA				
	拔节期 Jointing stage	103.107bA	106.643bB	105.063bAB	93.533cC	0.178	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	97.893cC	103.940bA	99.927cB	100.473bB				
粗蛋白 CP/ %	分蘖期 Branch stage	17.430aB	16.557aC	18.763aA	16.830aBC				
	拔节期 Jointing stage	13.807bC	12.623bD	17.013bA	14.733bB	0.066	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	9.730cC	12.410bB	14.303cA	7.453cD				
总酚 Total phenol/ %	分蘖期 Branch stage	0.407aA	0.429aA	0.346bB	0.408bA				
	拔节期 Jointing stage	0.279cB	0.276cB	0.311cA	0.265cB	0.002	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	0.343bC	0.416bB	0.460aA	0.470aA				
简单酚 Simple phenol/ %	分蘖期 Branch stage	0.244cB	0.272bA	0.222cC	0.278bA				
	拔节期 Jointing stage	0.266bA	0.258cA	0.277bA	0.183cB	0.002	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	0.287aC	0.370aAB	0.380aA	0.362aB				
单宁 Tannin/ %	分蘖期 Branch stage	0.164aA	0.157aA	0.124aB	0.130aB				
	拔节期 Jointing stage	0.013cB	0.018cB	0.035cB	0.082cA	0.002	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	0.056bC	0.047bC	0.080bB	0.107bA				
可溶性糖 WSC/ %	分蘖期 Branch stage	7.698aA	6.473bB	5.610bC	7.733bA				
	拔节期 Jointing stage	3.670bD	8.508aA	4.000cC	4.755cB	0.073	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	8.268aC	11.750aB	8.128aC	12.735aA				

表 4 不同饲用高粱品种各生育期全株营养成分比较
Table 4 Comparison of nutrient composition of whole plant of forage sorghum varieties at different growth stages

项目 Item	生育期 Growth stage	品种 Cultivar				SEM	P		
		海牛 Hainiu	大卡 Big kahuna	大奖 3180 Dajiang 3180	大奖 1180 Dajiang 1180		品种 Cultivar	生育期 Growth stage	品种×生育期 Cultivar× Growth stage
粗灰分 Ash/%	分蘖期 Branch stage	12.860aA	12.330aB	11.357aC	10.460aD				
	拔节期 Jointing stage	8.480bC	9.670bB	10.130bA	10.227bA	0.011	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	8.473bB	9.120cA	9.223cA	9.140cA				
中性洗涤纤维 NDF/%	分蘖期 Branch stage	52.900cA	49.107cB	48.413cB	51.930cA				
	拔节期 Jointing stage	56.547bC	54.720bD	57.500bB	61.830bA	0.088	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	57.933aC	59.200aB	63.740aA	63.397aA				
酸性洗涤纤维 ADF/%	分蘖期 Branch stage	28.827bA	27.330cB	25.480cD	26.600cC				
	拔节期 Jointing stage	27.747cC	28.143bC	28.780bB	31.403bA	0.055	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	32.043aC	31.497aC	34.100aB	35.103aA				
相对饲喂价值 RFV/%	分蘖期 Branch stage	116.847aD	128.117aB	132.727aA	122.133aC				
	拔节期 Jointing stage	110.693bB	113.863bA	107.553bC	96.950bD	0.259	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	102.670cA	101.137cB	90.983cC	90.320cC				
粗蛋白 CP/%	分蘖期 Branch stage	14.100aC	14.960aB	18.790aA	14.090aC				
	拔节期 Jointing stage	12.347bB	9.590bC	13.363bA	8.503bD	0.019	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	7.693cC	8.250cB	9.353cA	8.477bB				
总酚 phenol/%	分蘖期 Branch stage	0.237bC	0.289bAB	0.273aB	0.293aA				
	拔节期 Jointing stage	0.285aA	0.148cD	0.203cC	0.241bB	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	0.242bB	0.342aA	0.241bB	0.140cC				
简单酚 Simple phenol/%	分蘖期 Branch stage	0.191bC	0.202bB	0.195bBC	0.220aA				
	拔节期 Jointing stage	0.188bA	0.119cD	0.134cC	0.162bB	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	0.222aB	0.304aA	0.204aB	0.126cC				
单宁 Tannin/%	分蘖期 Branch stage	0.046bB	0.087aA	0.078aA	0.073aA				
	拔节期 Jointing stage	0.097aA	0.029bD	0.068bC	0.079aB	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	0.020cB	0.038bA	0.038cA	0.014bB				
可溶性糖 WSC/%	分蘖期 Branch stage	3.698cC	9.160bA	3.313cC	6.245cB				
	拔节期 Jointing stage	8.690bB	12.763aA	4.608bD	7.608bC	0.093	<0.001	<0.001	<0.001
	抽穗期 Heading stage	11.543aB	12.923aA	8.505aC	13.020aA				

表 5 不同饲用高粱品种各生育期全株体外发酵挥发性脂肪酸
Table 5 Volatile fatty acids of *in vitro* fermentation of whole plant of different forage sorghum varieties at the different growth stage

项目 Item	生育期 Growth stage	品种 Cultivar				P			
		海牛 Hainiu	大卡 Big kahuna	大奖 3180 Dajiang 3180	大奖 1180 Dajiang 1180	SEM	品种 Cultivar	生育期 Growth stage	品种×生育期 Cultivar× Growth stage
乙酸 Acetate/ (mmol·L ⁻¹)	分蘖期 Branch stage	27.067BC	28.738B	24.430C	32.268aA				
	拔节期 Jointing stage	30.255A	30.050A	24.720B	25.700bB	0.354	<0.001	0.053	0.002
	抽穗期 Heading stage	30.675A	26.805AB	21.643C	25.068bBC				
丙酸 Propionate/ (mmol·L ⁻¹)	分蘖期 Branch stage	13.160bA	13.850aA	11.005B	13.733aA				
	拔节期 Jointing stage	13.635abA	14.628aA	11.658B	11.488bB	0.110	<0.001	0.036	<0.001
	抽穗期 Heading stage	14.153aA	12.348bB	10.885C	11.698bBC				
异丁酸 Isobutyrate/ (mmol·L ⁻¹)	分蘖期 Branch stage	0.460	0.463a	0.450a	0.458a				
	拔节期 Jointing stage	0.485A	0.503aA	0.413abB	0.410bB	0.005	0.002	<0.001	0.007
	抽穗期 Heading stage	0.455A	0.385bB	0.385bB	0.413bB				
丁酸 Butyrate/ (mmol·L ⁻¹)	分蘖期 Branch stage	4.603bBC	4.783bB	4.388C	5.658aA				
	拔节期 Jointing stage	5.350aA	5.445aA	4.438B	4.140cB	0.038	<0.001	0.661	<0.001
	抽穗期 Heading stage	5.218aA	4.725bB	4.343C	4.828bB				
异戊酸 Isovalerate/ (mmol·L ⁻¹)	分蘖期 Branch stage	0.870bAB	0.913bA	0.830B	0.940aA				
	拔节期 Jointing stage	1.003aA	1.040aA	0.830B	0.830bB	0.008	<0.001	0.177	<0.001
	抽穗期 Heading stage	0.998aA	0.885bB	0.803C	0.913aB				
戊酸 Valerate/ (mmol·L ⁻¹)	分蘖期 Branch stage	0.703	0.843	0.710b	0.875a				
	拔节期 Jointing stage	0.975A	0.810A	0.928aA	0.568bB	0.023	0.267	0.785	0.002
	抽穗期 Heading stage	0.940A	0.805AB	0.613bB	0.888aA				
总挥发性脂肪酸 Total VFA/ (mmol·L ⁻¹)	分蘖期 Branch stage	46.853B	49.588abB	41.813C	53.931aA				
	拔节期 Jointing stage	51.700A	52.475aA	42.985B	43.135bB	0.487	<0.001	0.051	<0.001
	抽穗期 Heading stage	52.443A	45.948bB	38.670C	43.806bBC				
乙酸/丙酸 A/P	分蘖期 Branch stage	2.057C	2.073C	2.220aB	2.348aA				
	拔节期 Jointing stage	2.218A	2.053B	2.113aAB	2.238abA	0.019	0.037	0.498	0.032
	抽穗期 Heading stage	2.160	2.193	1.985b	2.145b				

表 6 不同饲用高粱品种各生育期全株体外发酵参数

Table 6 <i>In vitro</i> fermentation parameters of different forage sorghum varieties at different growth stages									
项目 Item	生育期 Growth stage	品种 Cultivar				SEM	P		
		海牛 Hainiu	大卡 Big kahuna	大奖 3180 Dajiang 3180	大奖 1180 Dajiang 1180		品种 Cultivar	生育期 Growth stage	品种×生育期 Cultivar× Growth stage
72 h pH	分蘖期 Branch stage	6.850aB	6.840B	6.900A	6.780bC				
	拔节期 Jointing stage	6.790bC	6.827CB	6.880A	6.847aAB	0.003	<0.001	0.522	0.001
	抽穗期 Heading stage	6.810abB	6.817B	6.877A	6.830aAB				
干物质降 解率 DMD/%	分蘖期 Branch stage	0.800AB	0.820AB	0.747aB	0.840aA				
	拔节期 Jointing stage	0.757	0.810	0.707ab	0.777b	0.007	0.003	<0.001	0.872
	抽穗期 Heading stage	0.727A	0.730A	0.660bB	0.710cA				
72 h 产气量 72 h Gas production/mL	分蘖期 Branch stage	132.250b	129.750c	130.000	126.500				
	拔节期 Jointing stage	155.000aA	152.500aA	123.500B	131.500B	1.593	0.001	0.008	0.091
	抽穗期 Heading stage	154.750aA	144.750bAB	126.250C	141.250B				
NH ₃ -N/ (mmol·L ⁻¹)	分蘖期 Branch stage	13.300aC	13.683C	16.085aA	14.5000aB				
	拔节期 Jointing stage	13.885aA	12.458B	14.188bA	12.47bB	0.165	0.006	<0.001	0.023
	抽穗期 Heading stage	11.878b	11.855	12.655c	11.78b				
a'	分蘖期 Branch stage	-2.808b	-5.060b	-4.163c	-3.798				
	拔节期 Jointing stage	-2.285b	-1.901ab	-1.902b	-3.538	0.313	0.435	<0.001	0.672
	抽穗期 Heading stage	0.334aA	0.694aA	-0.368aAB	-1.803B				
b'	分蘖期 Branch stage	147.777b	148.747b	150.133	144.552				
	拔节期 Jointing stage	173.430aA	170.835aA	144.189B	164.520AB	2.138	0.101	0.024	0.403
	抽穗期 Heading stage	164.486abA	152.592bAB	144.945B	153.936AB				

续表 6

项目 Item	生育期 Growth stage	品种 Cultivar				SEM	P		
		海牛	大卡	大奖 3180	大奖 1180		品种	生育期	品种×生育期
		Hainiu	Big kahuna	Dajiang 3180	Dajiang 1180		Cultivar	Growth stage	Cultivar× Growth stage
c'	分蘖期 Branch stage	0.037b	0.036	0.034	0.035a				
	拔节期 Jointing stage	0.035b	0.035	0.030	0.026b	0.001	0.001	0.001	0.041
	抽穗期 Heading stage	0.040aAB	0.042A	0.030C	0.039aB				
a'+b'	分蘖期 Branch stage	144.969b	143.687c	145.970	140.755				
	拔节期 Jointing stage	171.146aA	168.935aA	142.287B	160.982AB	1.949	0.050	0.006	0.340
	抽穗期 Heading stage	164.820abA	153.286bAB	144.577B	152.133AB				

a'表示快速降解组分;b'表示慢速降解组分;c'表示慢速降解部分的产气速率;a'+b'表示理论总产气量。
a' represent rapid degradation of components; b' represent a slow degradation component; c' represent the gas production rate of the slow degraded fraction; a'+b' represents the theoretical total gas production.

别对 72 h 产气量影响显著($P<0.05$)但无交互作用, 72 h 产气量在分蘖期 4 个品种之间无显著差异($P>0.05$),拔节期海牛最高,为 155 mL,显著高于大奖 3180 和大奖 1180,抽穗期海牛的产气量依然最高,大奖 3180 最低(表 6)。

产气动态曲线显示,在培养 0—24 h 这段时间反应剧烈,在 24—72 h 动态曲线逐渐趋于缓慢,海牛和大卡两个品种分蘖期的产气动态曲线在拔节期和抽穗期之下,拔节期和抽穗期产气动态曲线基本重合,而大奖 1180 和大奖 3180 三个时期的动态变化趋势无显著差别(图 1)。另外,4 个高粱品种快速降解组分(a)随着生育期推迟逐渐上升,不同品种同生一育期之间差异不显著($P>0.05$);慢速降解组分(b)各个品种生育期变化规律均为先升高后降低;而(c)慢速降解部分的产气速率及随生育期是先降低后上升,(a+b)理论总产气量则是先上升后降低(表 6)。

72 h 干物质降解率随着生育期逐渐降低,分蘖期大奖 1180 干物质降解率与海牛和大卡无显著差异($P>0.05$),但与大奖 3180 差异显著,其降解率最高,达到 84%,最低为大奖 3180,为 75%;拔节期大卡的降解率最高,最低为大奖 3180;抽穗期大奖 3180 与其他 3 个品种差异显著($P<0.05$)(表 6)。72 h 瘤胃液

氨态氮随着生育期有降低的趋势,分蘖期大奖 3180 氨态氮最高,显著高于大卡和海牛,拔节期和抽穗期均是大奖 3180 氨态氮略高,品种对 72 h 瘤胃液氨态氮无显著影响($P>0.05$),生育期和品种对氨态氮有显著的交互作用($P<0.05$),同时生育期也极显著影响氨态氮含量($P<0.001$)。

72 h 瘤胃液总挥发性脂肪酸与 pH 的变化趋势正好相反,在分蘖期乙酸含量最高为大奖 1180,达到 $32.27\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,与其他品种之间差异显著($P<0.05$);拔节期海牛的乙酸较高,其与大卡无显著差异,但与大奖 1180 和大奖 3180 有显著差异($P<0.05$);抽穗期依然是海牛乙酸最高,大奖 3180 最低。生育期对乙酸无显著影响($P>0.05$)。丙酸含量在分蘖期和拔节期均为大卡最高,抽穗期海牛丙酸含量较高,为 $14.15\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,且与其他三个品种间有显著的差异,大奖 3180 最低,为 $10.89\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。生育期、品种对丙酸均有显著影响($P<0.05$),同时生育期和品种对丙酸有极显著的交互作用($P<0.001$)。

4 个品种的甲烷随着生育期的推进以及发酵时间的增加呈现逐渐上升的趋势,氢气的含量则下降(图 3)。

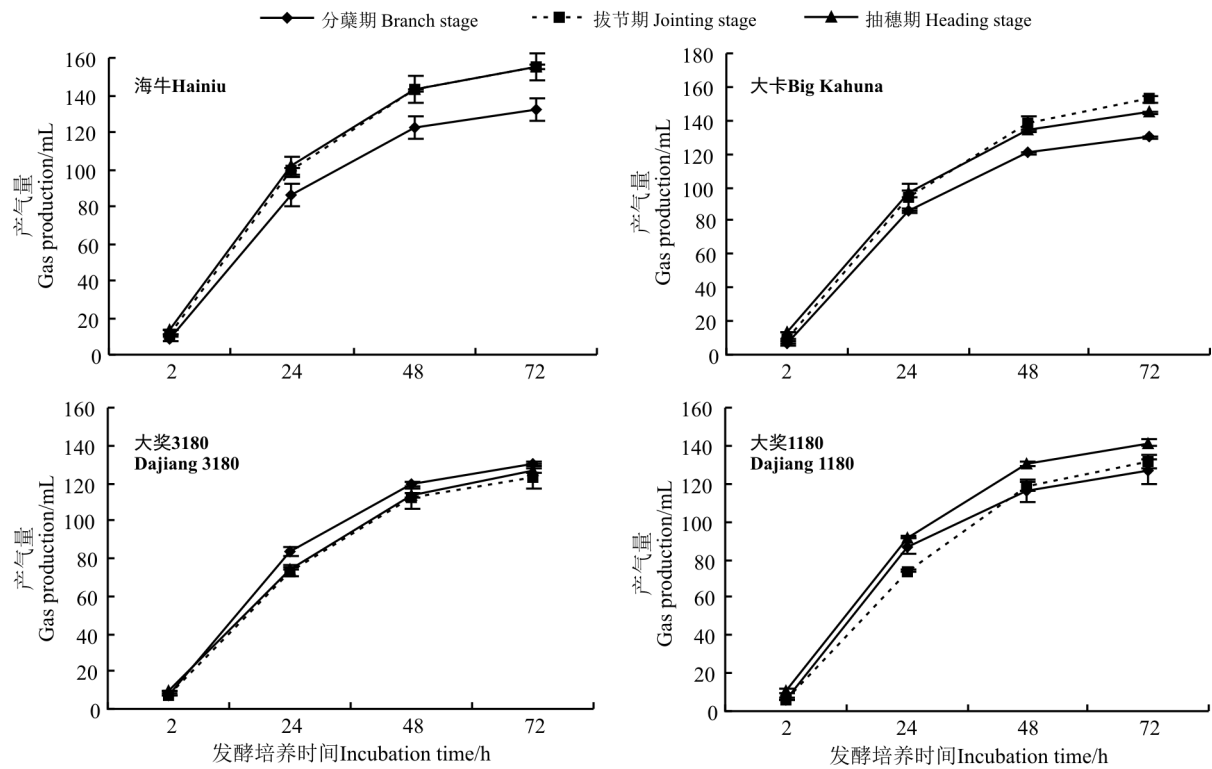


图 1 不同生育期不同饲用高粱体外发酵产气量动态变化

Fig. 1 Dydamics of *in vitro* gas production for different forage sorghum varieties in different growth stages

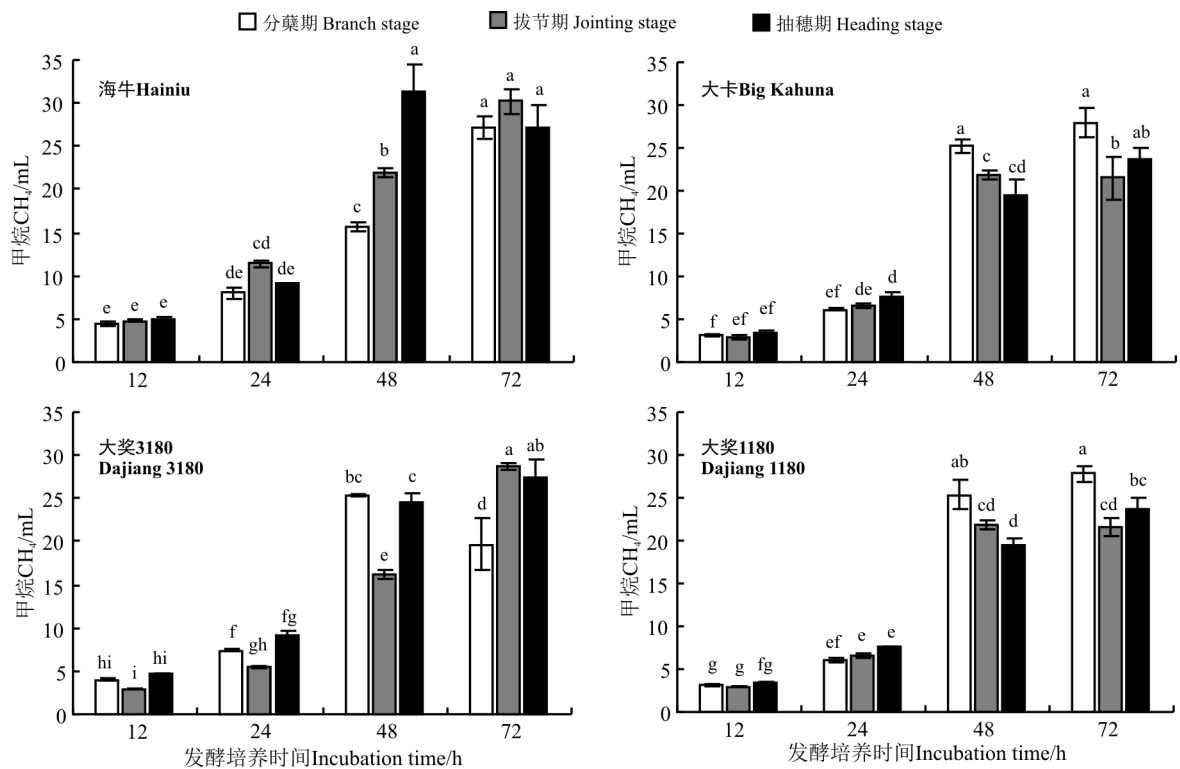


图 2 不同生育期不同饲用高粱品种体外发酵甲烷产气量动态变化

Fig. 2 Dydamics change of *in vitro* methane production for different forage sorghum varieties in different growth stages

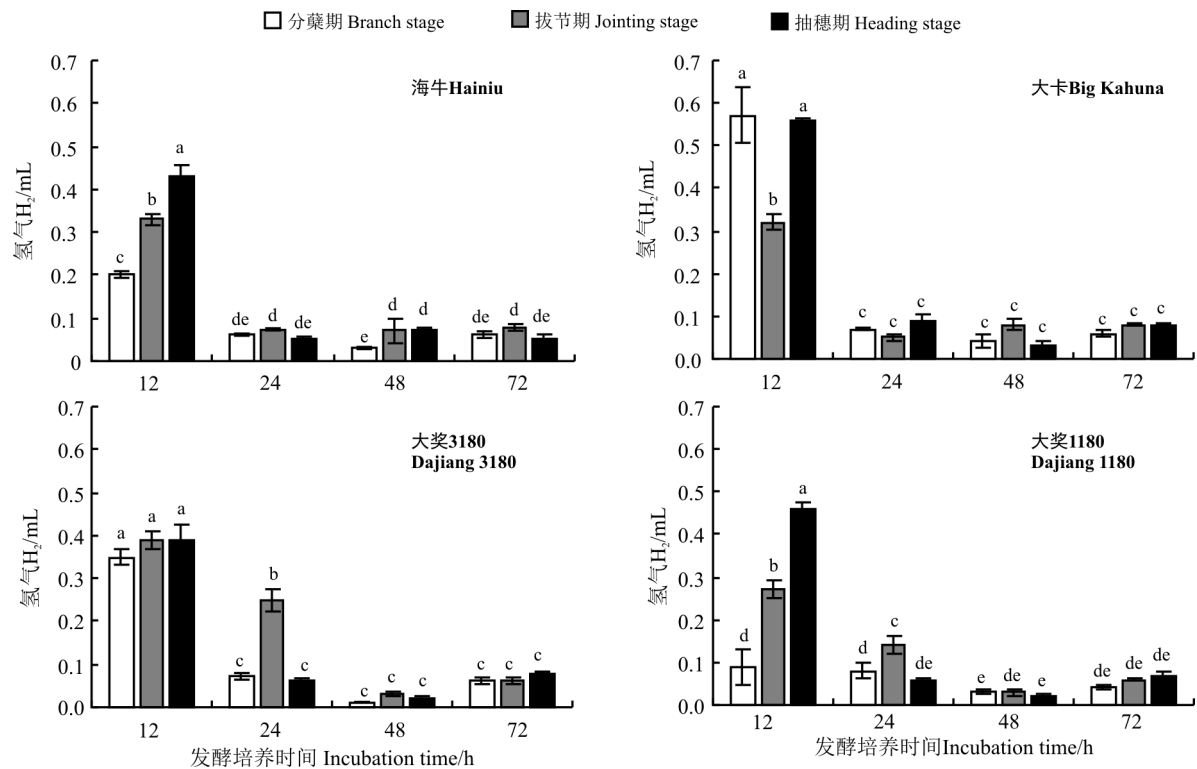


图 3 不同生育期不同饲用高粱品种体外发酵氢气动态变化
Fig. 3 Dydamics change of *in vitro* hydrogen production for different forage sorghum varieties in different growth stages

3 讨论

3.1 不同饲用高粱品种农业性状与各生育期营养价值

本研究发现,不同品种饲用高粱各生育期农艺性状以及营养成分具有一定差异,海牛品种无论在什么生育期阶段均具有高于其他 3 个品种的单株鲜重、茎叶比以及鲜草产量,而大奖 1180 品种表现较为弱势。茎叶比除了大奖 1180 在 1 以下,其他 3 个品种在抽穗期达到 1.2 左右,与有关研究报道最高达 4.35 不符合^[6],可能的原因是与高粱种植方式以及种植密度有关。郑庆福等^[7]在内蒙古西辽河平原研究了不同种植密度对杂交甜高粱生长、品质及产量的影响,结果表明不同种植密度下,高粱的株高、茎叶比和单株干物质积累在后期均呈显著差异。

饲用高粱茎秆和全株的粗灰分含量随着生育期的推移呈现显著下降趋势,这与 Weaver^[8]报道相符合。粗灰分含量下降也说明随着生育期的推进,茎秆内有机物的含量逐步提高,相对粗灰分占比降低。本研究中 4 个品种的茎秆粗蛋白变化趋势与罗峰等^[9]报道相符合,在分蘖期,各品种饲用高粱茎秆的粗蛋白质含量均较高,但随着生育期的推移,其茎秆粗蛋白质含量相

对减少;与陈鹏等^[10]及李建平^[3]的研究结果均吻合。从相对饲喂价值来看,品种对其影响十分显著,这与李源等^[11]研究相符合。从生育期来看,随着生育期的推进,植株纤维增加,粗蛋白降低,适口性降低,动物的随意采食量也会降低,植物的可消化干物质同样降低,最终导致饲草相对饲喂价值降低。从饲用高粱不同部位的饲喂价值来看,茎秆呈现先降低后上升的趋势,叶与全株呈现下降趋势,变化趋势与其部位所包含的 NDF 和 ADF 含量恰好相反。

含糖量是牧草品质的另一项重要指标,本研究中茎、全株中 WSC 均随着生育期的推进逐渐上升,而叶中 WSC 呈先下降后上升的趋势,其含量大小表现为茎秆>全株>叶片,这与李建平^[3]的研究趋势相似,其中大卡含糖量在 4 个品种中占有一定优势。有研究表明,当植株中的单宁含量超过 2% 时,植株体的饲用价值就会显著降低^[12];超过 5% 时,较涩,降低了适口性,影响反刍动物的消化率从而降低动物的生产性能^[13]。本研究中,4 个品种无论是茎、叶还是全株单宁含量均低于 2%,这说明其不会对家畜产生不利的影响。

3.2 不同甜高粱品种各生育期体外发酵参数

Clark 等^[14]研究指出,瘤胃微生物活性与饲草中

可发酵的有机物含量呈正比。本研究中,72 h 总产气量海牛和大卡随着生育期先升高后降低,大奖 3180 则是先降低后升高,大奖 1180 逐渐升高。总体来说海牛和大卡产气量均高于大奖 1180 和大奖 3180。

不同品种饲用高粱体外发酵 72 h 的干物质降解率随生育期的推进逐渐降低,这是因为后期由于植株的老化,木质素含量增加,植株内纤维品质下降,随之干物质降解率下降,其中大卡和海牛降解率较其他两个品种高。此变化规律与李建平^[3]的研究结果一致。

氨态氮浓度的高低由瘤胃微生物分解蛋白质和合成微生物蛋白质的速度所决定。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度过高表明氨释放的速度高于其被吸收和利用的速度,最终造成氨损失,过低则会影响微生物蛋白的合成^[15]。本研究中氨态氮的浓度为 $11.78\sim 16.09\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,均在氨态氮的正常范围($4\sim 35\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)内^[16]。72 h 瘤胃液氨态氮的浓度均随着饲用高粱生育期的推迟逐渐下降,分蘖期和拔节期海牛和大卡均比大奖 3180 和大奖 1180 高,抽穗期 4 个品种间无显著性差异,可能是由于随着植物的成熟,细胞壁中难溶的结构性碳水化合物含量相对增加,从而导致 CP 消化率降低,最终使得发酵液中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度降低^[15]。

反刍动物瘤胃中 VFA 是由微生物发酵日粮中碳水化合物产生的,其浓度的多少及其组成成分反映了瘤胃微生物对养分吸收利用情况^[17]。本研究中,在抽穗期海牛总挥发性脂肪酸显著高于其他 3 个品种;拔节期海牛的乙酸较高,与大奖 1180 和大奖 3180 有显著的差异;抽穗期依然是海牛乙酸最高,大奖 3180 最

低;丙酸含量在分蘖期和拔节期均为大卡最高,抽穗期海牛丙酸含量较高,大奖 3180 最低,综合来说,海牛具有较高的 VFA。

王丽凤^[18]报道,当饲粮中纤维含量较高时,反刍动物瘤胃内纤维素分解菌迅速增加,大量的 H_2 被产生,从而刺激甲烷菌大量繁殖,利用 H_2 还原 CO_2 以合成 CH_4 。72 h 甲烷的产气量在分蘖期为大奖 $3180>\text{海牛}>\text{大卡}>\text{大奖 1180}$,但大奖 3180、海牛、大卡之间无显著差异;拔节期为海牛 $>\text{大奖 1180}>\text{大卡}>\text{大奖 3180}$,但大奖 1180、海牛、大卡之间无显著性差异;抽穗期为大奖 $1180>\text{海牛}>\text{大卡}>\text{大奖 3180}$,大奖 1180、海牛、大卡之间无显著差异。

4 结论

品种、生育期对饲用高粱的农艺性状、营养成分及发酵参数均有显著影响。随着生育期的推进,海牛和大卡在农艺性状上具有较其他两个品种的相对优势。各品种植株内粗蛋白、粗灰分随生育期显著下降,NDF、ADF 含量显著上升,在拔节期和抽穗期海牛和大卡全株的 NDF 和 ADF 较另外两个品种低,使得其饲草的相对饲喂价值也相对较高,同时海牛和大卡茎秆、叶及全株含糖量也相对较高。发酵结束后,海牛和大卡 72 h 总产气量、VFA 和干物质消失率较高。

综合考虑来看,海牛和大卡具有较高的营养价值及饲喂价值,是优良的饲草品种,很适合在甘肃河西干旱盐碱地种植。

参考文献 References:

- [1] 张桂杰,王红梅,罗海玲,张英俊,王海,朱虹,孟慧.应用体外产气与体外消化法评定不同生育期豆科牧草营养价值.动物营养学报,2011,23(3):387-394.
Zhang G J, Wang H M, Luo H L, Zhang J Y, Wang H, Zhu H, Meng H. Evaluation of nutritional values of leguminous forages in different growing periods by in vitro gas production and in vitro digestion techniques. Acta Zoonutrientia Sinica, 2011, 23(3):387-394. (in Chinese)
- [2] 杨恩忠,蒋瑞芬,陈容.牧草营养物质及消化动态的研究.中国草地,1987(6):36-39.
Yang E Z, Jiang R F, Chen R. Study on forage nutrition and digestion dynamics. Grassland of China, 1987(6):36-39. (in Chinese)
- [3] 李建平.不同饲用高粱品种的营养价值及其人工瘤胃降解动态的研究.晋中:山西农业大学硕士学位论文,2004.
Li J P. Study on the nutrient of different forage sorghums and the trend of rumen degradation. Master Thesis, Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- [4] 贺春贵,何振富,王斐.夏播复种光敏型高丹草的养分含量与产量.草业学报,2017,26(7):177-189.
He C G, He F Z, Wang F. Nutrient contents and yields of photoperiod-sensitive sorghum; Sudangrass hybrids grown in summer after a winter wheat crop. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(7):177-189. (in Chinese)

- [5] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术.2版.北京:中国农业大学出版社,2003.
Zhang L Y.Feed Analysis and Feed Quality Inspect Technology,2nd edition.Beijing:China Agriculture Press,2003.(in Chinese)
- [6] 牟芝兰.种植方式与种植密度对大力士高粱的影响.四川草原,2004(3):27-28.
Mou Z L.Effects of planting density and methods on Hunnigreen forage sorghum.Journal of Sichuan Grassland,2004(3):27-28.
(in Chinese)
- [7] 郑庆福,李凤山,杨恒山,赵雅莲,郑威,王振国.种植密度对杂交甜高粱“甜格雷兹”生长、品质及产量的影响.草原与草坪,2005(4):61-65.
Zheng Q F,Li F S,Yang H S,Zhao Y L,Zheng W,Wang Z G.Effect of sowing density on growth,quality and yield of Sorghum bicolor sugargrass.Prairie and Lawn,2005(4):61-65.(in Chinese)
- [8] Weaver R M,Goldstein H M,Green B,Perkins C.Gray scale ultrasonographic evaluation of hepatic cystic disease.American Journal of Roentgenology,1978,130(5):849-852.
- [9] 罗峰,高建明,李子芳,裴忠有,孙守钧.不同类型饲用高粱粗蛋白积累规律研究.中国作物学会 50 周年庆祝会暨 2011 年学术年会论文集,2011.
Luo F,Gao J M,Li Z F,Pei Z Y,Sun S J.Accumulation laws of crude protein of different type of sorghum.//Proceedings of the Crop Science Society of China in 2011.Chengdu:The Crop Science Society of China,2011.(in Chinese)
- [10] 陈鹏,罗峰,高建明,姜连彬,胡鹏果,郭佳丽,孙守钧,裴忠有.不同播期对不同生育时期甜高粱品质性状的影响.安徽农业科学,2012,40(5):2608-2609.
Chen P,Luo F,Gao J M,Jiang L B,Hu P G,Guo J L,Sun S J,Pei Z Y.Effects of different sowing times on qualities of sweet sorghum(*Sorghum dochna*) at different growth stages.Journal of Agricultural Sciences,2012,40(5):2608-2609.(in Chinese)
- [11] 李源,游永亮,赵海明,谢楠,翟兰菊,刘贵波.褐色中脉饲草高粱品种产量品质与抗逆性分析.草地学报,2014,22(4):889-896.
Li Y,You Y L,Zhao H M,Xie N,Zhai L J,Liu G B.Analysis on the yield,quality and stress resistance of brown midrib forage sorghum varieties.Acta Agrestis Sinica,2014,22(4):889-896.(in Chinese)
- [12] Butler L G,Riedl D J,Lebryk D G,Blytt H J.Interaction of proteins with sorghum tannin:Mechanism,specificity and significance.Journal of the American Oil Chemists Society,1984,61(5):916-920.
- [13] Barry T N,Manley T R.The role of condensed tannins in the nutritional value of Lotus pedunculatus for sheep.Quantitative digestion of carbohydrates and proteins.The British Journal of Nutrition,1984,5(13):21-25.
- [14] Clark J K,Klusmeyer T H,Cameron M R.Nitrogen metabolism and amino acid nutrition in dairy cattle:Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows.Journal of Dairy Science,1992,75:2304-2323.
- [15] 余苗,钟荣珍,周道玮,高凤仙.不同生育期虎尾草的体外发酵产气特性.草业科学,2014,31(5):956-964.
Yu M,Zhong R Z,Zhou D W,Gao F X.Research on in vitro fermentation characteristics of *Chloris virgata* at different growth stages.Pratacultural Science,2014,31(5):956-964.(in Chinese)
- [16] Preston T,Leng R.Manipulation of Feeding and the Rumen Ecosystem.Arnlidale,Australia:Penambul Books,1987:83-101.
- [17] Mao H L,Wang J K,Zhou Y Y,Liu J X.Effect of addition of tea saponins and soybean oil on methane production,fermentation and microbiol population in the rumen of growing lambs.Livestock Science,2010,129:56-62.
- [18] 王丽凤.日粮中添加甲烷抑制剂对绵羊瘤胃中甲烷产量影响的研究.呼和浩特:内蒙古农业大学硕士学位论文,2004.
Wang L F.The effect of dietary addition of different methane inhibitors on sheep rumen methane production.Master Thesis.Huhot:Inner Mongolia Agricultural University,2004.(in Chinese)

(责任编辑 武艳培)