

4 个高丹草品种在江淮地区的生物学及营养学特性比较

李争艳^{1,2}, 徐智明², 师尚礼¹, 贺春贵¹

(1. 甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 安徽省农业科学院 畜牧兽医研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要:在江淮地区选取海牛 Monster(HN)、帕卡 Pa Kahuna(PK)、大卡 Big Kahuna(DK)和高丹草 BJ0603(GDC)4 个品种,采用传统方法对不同品种高丹草生物学特性,产量及营养成分变化进行研究。结果表明:4 个品种中,海牛生育期最长,可以达到腊熟期,其他品种在江淮地区均不能完成生殖生长;灰色关联度分析表明,高丹草株高和叶重是决定鲜草产量高低的最为密切的性状;不同刈割次数下,刈割 2 次的鲜草产量略高于刈割 1 次,但标准草产量及干物质产量刈割 2 次的甚至低于刈割 1 次;不同品种草产量差异显著,高丹草 BJ0603 的鲜草产量显著高于其他品种($P<0.05$),标准草产量及干物质产量帕卡与高丹草 BJ0603 显著高于海牛与大卡 ($P<0.05$)。随着生育期的推进,酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)及粗蛋白(CP)含量逐步增加,粗蛋白(CP)含量在孕穗期达到最高值,粗灰分(ASH)含量随生育期增加逐步减小;茎秆中酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)、粗蛋白(CP)及粗灰分(ASH)含量均有品种差异。综上所述,在江淮地区春播的高丹草品种各指标均表现良好,作为青饲或青贮利用时,综合产量、营养含量等因素,适合刈割 1 茬,海牛和高丹草 BJ0603 收获期应选择在孕穗期,而帕卡与大卡可以提前收获。

关键词:高丹草;江淮地区;生物学特性;产量;营养成分

中图分类号:S544.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)05-0088-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2019.05.012

高丹草(*Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense*) 是高粱(*Sorghum bicolor*)与苏丹草(*Sorghum sudanense*)杂交的一年生禾本科作物,它聚集了高粱与苏丹草的优良特点,分蘖力强、再生性强,高产、营养丰

富、抗旱节水、超晚熟、营养生长期长及收割期灵活,因而,具有广阔的饲料开发利用前景^[1-2]。在我国高丹草种植及加工广泛,近年来国内外很多学者已经从高丹草的栽培育种、青贮加工、分子遗传等方面进行了相关研究。周亚星等^[3]育成蒙农系列多个高丹草新品种,詹秋文等^[4]在江淮地区成功选育出皖草系列品种,李团银等^[5]选育出晋杂系列。高丹草以其独特优势成为了牧、渔养殖业的优良饲草,除了育成品种,很多学者也从高丹草引种、栽培种植技术、青贮加工等方面进行了相关研究,Ferreira 等^[6]对高丹草不同收获阶段及成熟阶段的营养价值进行了研究,Edwards 等^[7]对高丹草不同刈割管理下生长速率及营养价值进行了比较;何振富等^[8]、李源等^[9]研究了种植密度及留茬高度对高丹草生产性能的影响。近年来由于牧草种植的企业化生产,所需高丹草优质

收稿日期:2019-02-29; **修回日期:**2019-06-04

基金项目:国家重点研发项目(2018YFD0502004,2017YFD0502102-4)和甘肃省科技厅重大科技专项(2015GS05915)资助

作者简介:李争艳(1982-),女,甘肃陇西人,助理研究员,在读博士。E-mail:lizhengyan1982@163.com
贺春贵为通讯作者。

E-mail:hechungui2018@163.com

师尚礼为通讯作者。

E-mail:shishl@gsau.edu.cn

种子量激增,国内育成品种已无法满足需求,但国外优良品种相关的引种及栽培加工技术却有滞后,虽然已有研究表明国外的优良高丹草品种在干旱半干旱地区有很好的适应性^[8,10],但在雨量充沛的江淮地区相关报道较少。

江淮地区不同品种高丹草产量表现,刈割差异及相关营养品质变化情况仍不清楚。我国中部地区拥有丰富的水热资源,有利于高丹草的生长,在选择具有高生产潜力高丹草品种基础上,针对不同的品种制定相适应的生产管理方案及加工措施尤其重要。因此,以 4 个高丹草品种海牛 Monster(HN)、帕卡 Pa Kahuna(PK)、大卡 Big Kahuna(DK)和高丹草 BJ0603(GDC)为研究对象,观测不同品种生育期,利用灰色关联度法分析高丹草不同性状与鲜草产量高低的联系;测定不同生长期粗蛋白(CP)、粗灰分(ASH)、中性洗涤纤维

(NDF)及酸性洗涤纤维(ADF)等指标,分析不同生长期营养生长及饲用品质等方面的变化。通过分析高丹草的生长变化规律,旨在为不同品种高丹草的应用推广、丰产栽培提供理论指导。

1 材料和方法

1.1 材料和样地

1.1.1 试验地概况 2016 年 4~10 月在安徽省五河县朱顶镇,秋实草业公司试验基地进行。基地地理位置 E 117°26'~118°04',N 32°55'~33°20',海拔 16 m,年降水量 800~1 000 mm,年平均气温 15.1℃,无霜期 216 d,土壤类型为当地典型的黄潮土。播种前 0~20 cm 土层土壤 pH 7.59,有机质 21.00 g/kg,总氮 1.79 g/kg,有效磷 7.60 mg/kg,速效钾 173.60 mg/kg。2016 年试验农场降水与气温分布见图 1。

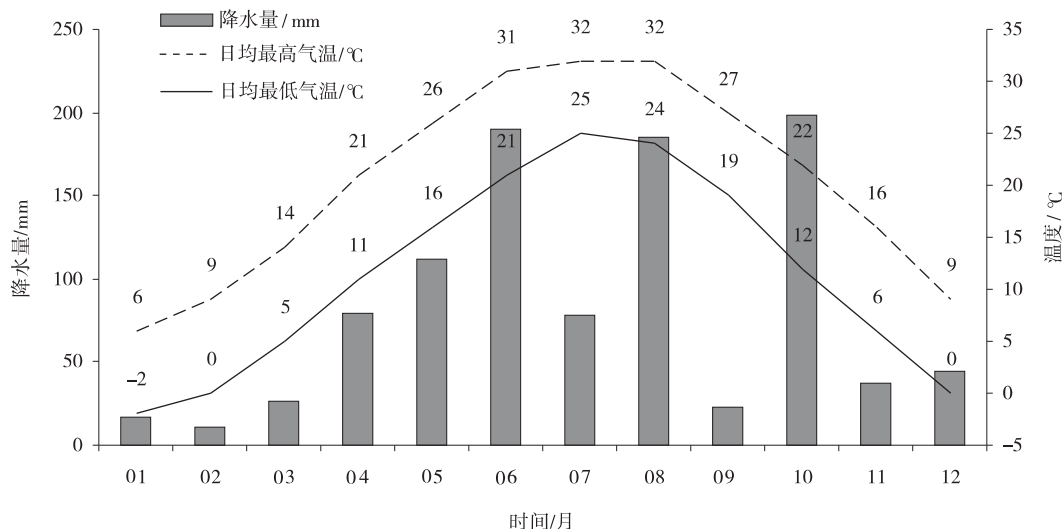


图 1 2016 年秋实草业降水与气温分布

Fig. 1 Temperature and precipitation at the experiment station in 2016

1.1.2 供试品种 供试高丹草(*Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense*)品种分别为海牛(光敏型,Monster)、大卡[光敏型+褐色中脉 brown midrib(BMR)型,Big Kahuna]、高丹草 BJ0603(光敏型),帕卡(光敏型,Pa Kahuna),草种由百绿(天津)国际草业有限公司提供。

1.1.3 试验设计 采用随机区组设计,3 次重复,试验小区 13 m × 6 m,行距 40 cm,株距 30 cm,深翻整地、穴播种植,密度 15 万株/hm²,前茬作物为苜蓿,4 个品种统一施 N 180 kg/hm²,P₂O₅ 240 kg/hm²和 K₂O 300 kg/hm²。刈割 2 茬的分别于 2016 年 7 月 20 日和 9 月 20 日进行,刈割 1 茬的于 2016 年 9 月 20 日

进行,重复 3 次,留茬高度 10 cm。整个试验期均不灌溉,苗期及拔节期各人工除草 1 次。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 物候期的观测 出苗期、拔节期、小喇叭口期、大喇叭口期、孕穗期、抽穗期、乳熟期、腊熟期以 75% 的植株达到各生育时期为标准。

1.2.2 农艺性状及草产量测定 各品种取 30 株进行农艺性状测定。株高取株丛由地面到株丛顶端高度,茎粗用游标卡尺测定,以植株主茎节间大茎为测定点,叶数为植株主茎的叶片数;叶重,植株主茎叶片的总重。测定单位面积(1.0 m × 1.0 m)鲜草产量及其水分,计算出公顷标准鲜草(含水量为 65%),干物质产

量用 105℃烘箱杀青 30 min,70℃烘干至恒重后测定地上部分干物质重量。鲜草产量为地上部分所有产量,刈割 2 次的为 2 次产量之和,刈割 1 次的为单次产量。

1.2.3 营养成分 不同品种不同生长阶段营养成分测定时取样为只刈割 1 茬植株,重复 3 次,样品取自植株地上部分,切碎混合均匀后进行各营养指标的测定。不同生长阶段在拔节前期,拔节后期及孕穗期,拔节前期选择样本播种后 15 d 采集,拔节后期选择在样本播种后 40 d 采集,孕穗期由于 4 个品种差异较大,因而,帕卡与大卡选择在样本播种后 148 d 采集,海牛与高丹草 BJ0603 选择在样本播种后 68 d 及 61 d 采集。ADF、NDF 采用改进滤袋法,CP 采用凯氏定氮法,ASH 采用马福炉灼烧法^[11],各成分由安徽省农业科学院畜牧兽医研究所饲料安全检测中心测定。

表 1 不同品种高丹草生育期
Table 1 Growth stages of different cultivars

品种	播种期	出苗期	拔节期	小喇叭口	大喇叭口	孕穗期	抽穗期	乳熟期	腊熟期
PK	0	8	17	31	58	148	158	—	—
HN	0	9	19	36	60	68	101	133	147
DK	0	8	17	31	58	148	158	—	—
GDC	0	9	19	36	60	81	114	151	—

注:PK(帕卡 Pa Kahuna);HN(海牛 Monster);DK(大卡 Big Kahuna);GDC(高丹草 BJ0603),下同

2.2 不同品种鲜草产量及农艺性状灰色关联度分析

2.2.1 参试品种数据标准化 用灰色关联度法对 4 个品种的鲜草产量与农艺性状进行相关性分析,将 4 个品种的鲜草产量及相关产量性状视为一个整体,即

表 2 参试品种各性状平均值
Table 2 Mean values of traits of tested cultivars

品种	<i>k</i>	<i>X</i> 1/cm	<i>X</i> 2/cm	<i>X</i> 3/枚	<i>X</i> 4/g	<i>X</i> 0/(t·hm ⁻²)
PK	1	299.33	2.92	16.33	223.47	94.46
HN	2	295.87	1.54	21.33	246.77	92.94
DK	3	303.53	3.03	17.00	258.67	92.85
GDC	4	286.97	1.58	21.33	217.86	101.09

注:*X*1 株高;*X*2 茎粗;*X*3 叶数;*X*4 叶重;*X*0 鲜草产量,下同

2.2.2 数据无量纲化处理 由于不同性状因素的量纲不同,因而需要原始数据的标准化(性状数据列平均值除以该数据列)即无量纲化。其中,大卡无量纲化的

1.3 数据处理

试验数据计算与图表绘制采用 Excel 2010 进行;采用 SPSS 15.0 统计分析,*P*<0.05 有统计学意义。采用单因素方差分析(ANOVA)和 Fisher 最小显著差异(LSD)检验进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同高丹草品种物候期

高丹草 4 个品种在大喇叭口期之前的物候期表现相似,帕卡和大卡的出苗期要早于海牛和高丹草 BJ0603,海牛与高丹草 BJ0603 小喇叭口期相比帕卡和大卡推迟 2 d;到孕穗期 4 个品种拉开差距,海牛与高丹草 BJ0603 提前 2 个月达到孕穗期,而帕卡和大卡都在 148 d 才达到孕穗期。4 个品种都能到达抽穗期,而帕卡和大卡无法成熟,海牛的生长期最长,可以达到腊熟期。4 个品种均长势良好(表 1)。

灰色系统,设产量为参考系列 *X*0,选取株高、茎粗、叶片数、叶重与高丹草产量紧密相关的性状,并依次用 *X*1、*X*2、*X*3、*X*4 表示,其中,品种名称序号用 *k* 表示,4 个品种的每个性状组成为一个数列(表 2)。

值在序列 *X*1(株高)中较大,大卡和帕卡无量纲化的值在序列 *X*2(茎粗)中较大,海牛和高丹草无量纲化的值在序列 *X*3(叶数)中较大,海牛和大卡无量纲化的值在

序列 X4(叶重)中较大,通过进一步计算各性状因素与鲜草产量相关性状的关联系数及关联度为了解鲜草产量与相关因素提供依据(表 3)。

2.2.3 求关联系数 根据得出的不同性状因素无量

纲化值,进一步求各品种鲜草产量与各性状因素的差值绝对值,即 $\Delta_i(k)=|X_0(k)-X_i(k)|$ (表 4)。表 4 可以得出最小绝对差值 $\min_i\min_k|x_0(k)-x_i(k)|=0.019\ 0$

表 3 数据无量纲化处理

Table 3 Dimensionless processing of data

品种	k	X1	X2	X3	X4	X0
PK	1	0.990 3	0.776 5	1.163 4	1.059 2	1.009 2
HN	2	1.001 9	1.472 4	0.890 6	0.959 2	1.025 8
DK	3	0.976 6	0.748 4	1.117 5	0.915 0	1.026 8
GDC	4	1.033 0	1.435 1	0.890 6	1.086 4	0.943 1

$\min_i\min_k|x_0(k)-x_i(k)|=0.005$ 和最大绝对差值 $\max_i\max_k|x_0(k)-x_i(k)|=0.492\ 1$, ρ 为分辨系数,取值为 0~1(通常取值为 0.5)。利用关联系数公式(表 5)。

$$\xi_i(k)=\frac{\min_i\min_k|x_0(k)-x_i(k)|+\rho\max_i\max_k|x_0(k)-x_i(k)|}{|x_0(k)-x_i(k)|+\rho\max_i\max_k|x_0(k)-x_i(k)|}$$
$$=\frac{0.019\ 0+0.5\times0.5\times0.492\ 1}{|x_0(k)-x_i(k)|+0.5\times0.492\ 1}$$
$$=\frac{0.265\ 1}{|x_0(k)-x_i(k)|+0.246\ 1}$$

计算出品种与各形状参数关联系数 $\xi_i(k)$,试验结果见表 5。

表 4 产量参考系列 X0 与各参考系列 Xi 的绝对差值

Table 4 The absolute difference between the reference series production with the reference series X0 and Xi

品种	k	$\Delta1(k)$	$\Delta2(k)$	$\Delta3(k)$	$\Delta4(k)$
PK	1	0.019 0	0.232 7	0.154 1	0.049 9
HN	2	0.023 9	0.446 6	0.135 1	0.066 6
DK	3	0.050 2	0.278 4	0.090 7	0.111 7
GDC	4	0.089 9	0.492 1	0.052 4	0.143 4

注: Δi 绝对差值

表 5 X0 与 Xi (i = 1,⋯4)在 k 点上的关联系数

Table 5 X0 and Xi (i = 1,⋯4) correlation coefficient on k point

品种	k	$\xi1$	$\xi2$	$\xi3$	$\xi4$
PK	1	1.000 1	0.553 7	0.662 4	0.895 6
HN	2	0.981 9	0.382 7	0.695 4	0.847 8
DK	3	0.894 8	0.505 4	0.787 0	0.740 9
GDC	4	0.789 0	0.359 1	0.888 0	0.680 7

注: ξi 关联系数

2.2.4 灰色关联度 将高丹草产量及相关性状视为 1 个灰色系统,按照灰色理论对关联度比较数列与参考数列进行分析,进行灰色关联度分析计算关联度:

$$ri=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^n\xi i(k)$$

式中:ri 为关联度;n 为品种数。关联度反映了构成该系统的各性状组成的比较数列和参考数列间的密切程度,关联度大的序列与参考序列的关系最为密切,关联度小的序列与参考序列的关系较远。X1(株高)与产量的关联度最大,为 0.916 5,其次是 X4(叶重)的关联度为 0.791 2,说明,高丹草株高和叶重是决定产量高低的最为密切的性状(表 6)。

表 6 产量与各主要性状的关联度

Table 6 Yield correlation with major traits

项目	X1	X4	X3	X2
关联度	0.916 5	0.791 2	0.758 2	0.450 2

2.3 刈割次数与草产量变化关系

刈割 1 次不同品种鲜草产量顺序依次为高丹草 BJ0603>海牛>帕卡>大卡,高丹草 BJ0603 显著高于 ($P<0.05$)其他 3 个品种;标准草产量顺序依次为帕卡>高丹草 BJ0603>大卡>海牛,其中,帕卡与高丹草 BJ0603 显著高于海牛;干物质产量,帕卡与高丹草 BJ0603 显著高于海牛与大卡($P<0.05$),高丹草与帕卡,海牛与大卡之间差异不显著($P>0.05$)。刈割 2 次鲜草产量变化趋势与刈割 1 茬相似,不同品种刈割 2 次的鲜草产量顺序依次为高丹草 BJ0603>大卡>海牛>帕卡;刈割 2 次标准草产量各品种间差异显著(P

<0.05),高丹草 BJ0603 显著高于其他 3 个品种($P<0.05$);所不同的是,帕卡鲜草及标准草产量一直较低,而干物质产量却又显著高于海牛及大卡,但与高丹草 BJ0603 差异不显著($P>0.05$)。不同品种高丹草在不

同刈割处理时,刈割 2 次的鲜草产量高于刈割 1 次处理,而标准草和干物质产量却略低于刈割 1 次的产量。刈割 2 次的帕卡鲜草产量虽然不高,但干物质质量要优于海牛及大卡(表 7)。

表 7 不同高丹草品种的草产量

Table 7 Yield change of different cultivars (mean±SE,n=3)

收获	品种	鲜草产量 /(t·hm ⁻²)	标准草产量(65%含水量) /(t·hm ⁻²)	干物质产量 /(t·hm ⁻²)
刈割 1 次	PK	94.46±1.25 ^b	54.08±0.37 ^a	18.10±0.49 ^a
	HN	92.94±1.23 ^b	51.30±0.65 ^b	15.06±1.43 ^b
	DK	92.85±0.54 ^b	52.71±1.57 ^{ab}	15.20±1.04 ^b
	GDC	101.09±0.45 ^a	53.84±1.55 ^a	18.26±1.84 ^a
刈割 2 次	PK	105.48±1.40 ^b	48.82±0.47 ^c	16.68±0.20 ^a
	HN	110.48±0.73 ^b	50.67±0.72 ^b	13.90±0.86 ^b
	DK	115.57±0.45 ^{ab}	50.18±0.59 ^{bc}	13.20±1.00 ^b
	GDC	140.66±31.76 ^a	52.97±1.33 ^a	16.70±1.55 ^a

注:同列不同小写字母表示同一指标不同处理差异显著($P<0.05$)

2.4 不同品种不同生育期营养成分的变化

2.4.1 ADF 含量 在拔节前期依次为帕卡>海牛>大卡>高丹草 BJ0603;在拔节后期趋势相同,帕卡与海牛显著高于高丹草 BJ0603($P<0.05$),孕穗期差异增大,帕卡>海牛>大卡>高丹草 BJ0603,所有品种 ADF 含量均随着生育期的增加而增加(图 2A)。

2.4.2 NDF 含量 在拔节前期排列顺序为帕卡>大卡>海牛>高丹草 BJ0603;在拔节后期,各品种间差异趋势与拔节前期完全一致;在孕穗期 4 个品种差异减小,帕卡与大卡显著高于海牛与高丹草 BJ0603 ($P<0.05$)。NDF 含量变化趋势也随着生育期的增加而增加(图 2B)。

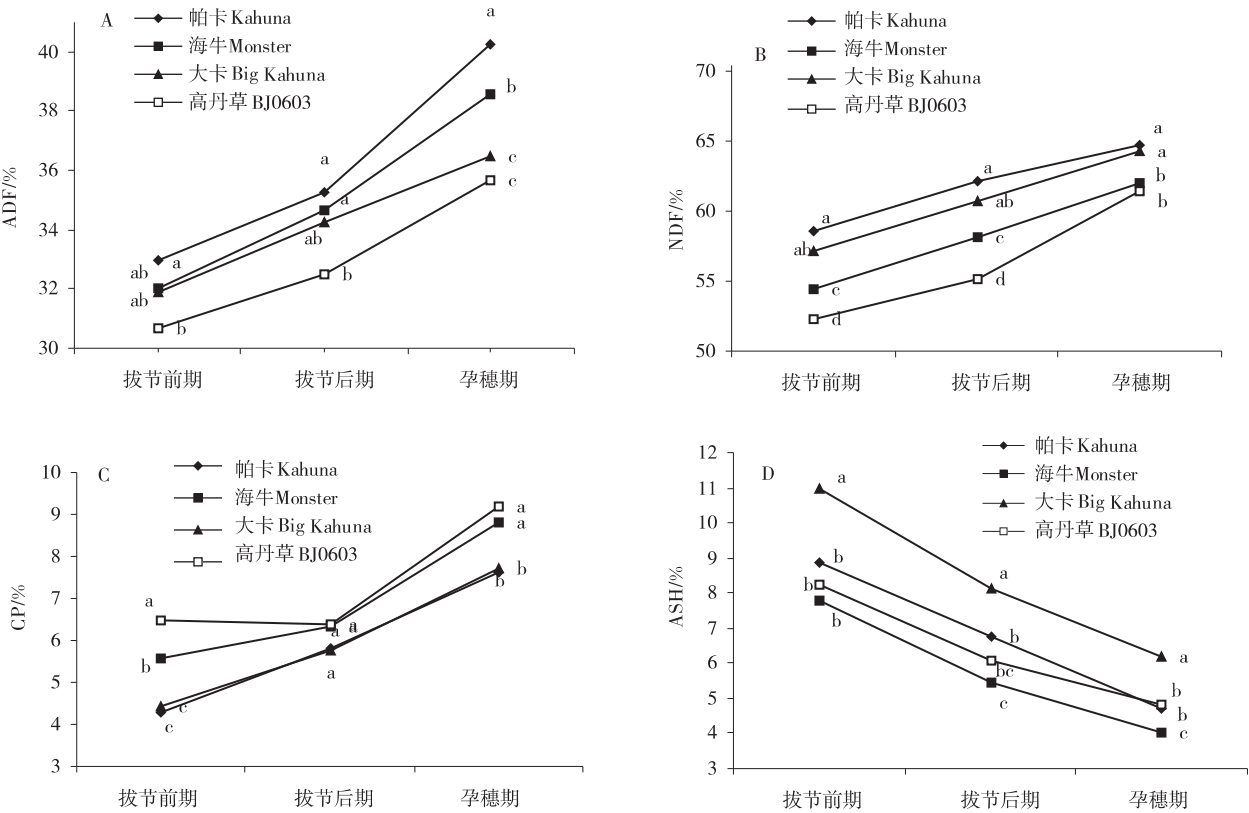


图 2 不同品种不同生长期的营养成分

Fig. 2 Comparison of nutrients in different cultivars at different growth stages (mean±SE,n=3)

2.4.3 CP 含量 在拔节前期,4 个品种差异显著($P < 0.05$),排列顺序为高丹草 BJ0603>海牛>大卡>帕卡;随着生育期的增加,到达拔节后期,4 个品种 CP 含量无显著差异($P > 0.05$);孕穗期,CP 含量达到峰值,海牛与高丹草 BJ0603 含量最高;CP 含量在各生育期变化趋势不一致,帕卡、海牛、大卡随着生长期的延长,含量增加,高丹草 BJ0603 的 CP 含量先降低后增高,因此,在利用高丹草时,可根据不同品种 CP 的变化来确定其最佳收获期,以便得到 CP 含量较高的饲草(图 2C)。

2.4.4 Ash 含量 在拔节前期大卡显著高于其他 3 个品种($P < 0.05$);在拔节后期,4 个品种排列顺序为大卡>帕卡>高丹草 BJ0603>海牛;到孕穗期,大卡显著高于帕卡与高丹草 BJ0603,海牛显著低于其他 3 个品种($P < 0.05$)。不同品种茎秆中 ASH 的含量在同一生育期有差异,随着生长期的延长变化比较规律,从拔节前期到孕穗期呈下降趋势(图 2)。

3 讨论

3.1 不同品种间生育期比较

江淮地区拥有丰富的水热资源,对种植饲料作物有巨大的潜力,而且江淮中部奶业发展呈现出产业化及规模化效应,选育营养价值高的牧草品种作为江淮地区饲料作物尤其重要。牧草的生育期受到内外很多因素的影响。高丹草的引种在我国北方地区,如甘肃陇东地区^[12],宁夏固原^[13]等地,10 月均处于营养生长期,在收获期仍然没有抽穗,整个生育期无法达到生殖生长,甘肃武威地区,在霜冻前,高丹草仍处于营养生长期^[14],王保全等^[15]发现西南地区的高丹草引种也无法完成生殖生长,三峡库区甜高粱为晚熟品种,较少开花。与前人的研究相似,研究发现除了海牛之外,其他 3 个品种高丹草在江淮地区也无法完成生殖生长,符合高丹草特性,而海牛具有较长的生长期也与前人研究相似^[16],在北方海牛的生长期较长,但只能进入开花期,无法达到孕穗期,而在江淮地区却能达到腊熟期,这可能由于地区差异引起。总之,引进的 4 个高丹草品种在当地春季播种均能正常生长,除海牛外均不能完全成熟。

3.2 不同品种间农艺性状与鲜草产量的关系研究

很多影响因素都制约着高丹草的产量,如品种的株高、叶长、叶宽、茎粗、叶重、分蘖数、单株重、栽培密

度等。为了克服单一性状评价品种优劣的弊端,近年来灰色关联度分析法广泛应用于农业研究^[17-18]。研究用灰色关联度法分析了高丹草产量与主要农艺性状的关系,结果表明影响高丹草产量的主要因素是株高和叶重,而何振富等^[16]的研究报道,产量受株高影响较小,主要受到叶片及单秆重的影响,这可能是由于饲草产量受多种农艺性影响^[12],像种植密度、栽培方式、留茬高度等对高丹草生长发育与产量都有影响^[8,19-20]。研究表明影响鲜草产量的主要因素是株高和叶重,因此,在江淮地区,要提高高丹草品种产量,关键在于制定合理的水肥管理,提高株高和叶重,而其他反映品种的产量和品质优劣的参数还有待进一步的研究。

3.3 草产量对品种及刈割次数的响应

高丹草产量在很大程度上受到品种的影响^[21],因而选择合适的品种增加产量尤为重要。4 个品种中,高丹草 BJ0603 的鲜草产量、标准草产量、总干重均最高,而帕卡鲜草产量并不突出,但标准草产量及干物质产量显著高于海牛和大卡,且标准草产量及干物质产量帕卡与高丹草 BJ0603 差异不显著($P > 0.05$)。4 个品种的鲜草产量、标准草产量和干物质产量均差异显著($P < 0.05$),鲜草产量顺序为高丹草 BJ0603>大卡>海牛>帕卡。

高丹草产量与收获茬次有很大关系^[7],不同品种高丹草全年刈割 2 次的鲜草产量高于刈割 1 次,但标准草产量及干物质产量刈割 2 茬反而要小于刈割 1 茬,这与何振富等^[16]的报道相一致。陆景标等^[22]比较了 5 个高丹草品种的生物学及产量水平,发现不同品种的草产量差异主要发生在地 2、3 次刈割后。试验从收获期和高丹草的生物量分析,收获 2 茬的草产量要低于 1 茬,这与徐怀中等^[13]在固原的试验结果一致。可能是由于江淮地区 7~8 月份该地区气温最高时期,而且降水量很高,第 2 茬高丹草生长时容易造成高丹草的高温热害及渍害,进而影响高丹草的产量与品质,2016 年当地 8 月与 10 月雨量均超过同期均值,受到雨量影响,很多株高丹草出现倒伏现象,草产量及品质受到影响,同时也说明几个品种耐涝能力不强。因而,从产量分析,江淮地区高丹草的种植适合收获 1 茬。

3.4 不同品种不同生育期营养成分的变化趋势

高丹草各品种从拔节前期到孕穗期,茎秆中 ADF, NDF 和 CP 的含量呈上升趋势;ASH 的含量总

体上呈直线下降的趋势。其中 CP、NDF 的含量变化趋势与李源等^[9]的研究结果一致。何振富等^[16,23]等研究结果表明,随着高丹草生长期推进,其 CP 含量降低,NDF 逐渐增加;Ferreira 等评估了 4 个不同成熟阶段收获的高丹草营养价值发现,随着成熟度的增加,干物质含量呈线性增加,CP 含量呈二次型变化,最大值估计为 55.8 d,杂交品种 br800、brs810 (bmr) 和 brs802 的成熟期越长,其 NDF 含量的二次效应越明显,最大值分别为播种后 62.0、61.7 和 60.4 d^[6];不同生育时期饲草的营养价值和干物质产量之间存在较大差异,越幼嫩的饲草适口性越好,营养价值高,但干物质产量较低;与其他的研究结果不同的是,江淮地区几个高丹草品种 CP 含量随生育期的推进而增加,到孕穗期达到最大值,是因为江淮地区进入 4 月后气温最高、降雨量骤然升高,容易造成高丹草的高温热害及渍害,因而不利于 CP 的积累,所以 CP 含量峰值错后。接近成熟期饲草的干物质产量较高,但营养价值较低^[6],因而需要根据不同生长期营养的动态变化选择合适的收获时间。通常,随着饲草生育天数的增加,饲草干物质积累量逐渐增加,而粗蛋白含量却逐渐下降^[24]。因此,只有在某一特定生育时期,干物质积累量和粗蛋白含量之积,即蛋白质产量达最大时进行刈割收获,才能获得较高的营养价值和饲草产量,而这一时期也就是牧草的最佳刈割时期^[25]。帕卡和大卡成熟较早,海牛和高丹草 BJ0603 品种较晚,在孕穗期 CP 含量较高,这与何振富等^[16]的研究结果不同,是由于地区差异引起的,海牛与高丹草 BJ0603 在江淮地区能够进入成熟期,因而后期植株营养成分要高于过早结束生育期的帕卡与大卡。因而,为获得较高的营养价值和饲草产量,江淮地区海牛和高丹草 BJ0603 收获期应选择在孕穗期,而帕卡与大卡可以提前收获。

4 结论

引进的 4 个高丹草品种均能在江淮地区种植且长势较好,营养生长周期长,是适合青饲或青贮的优质牧草资源;影响鲜草产量的主要因素是株高和叶重,因此,在江淮地区,要提高高丹草的产量,关键在于制定合理的水肥管理,提高株高和叶重;高丹草的品种不同对全株的产量、干物质含量、营养成分等都有显著影响;综合产量、营养含量等因素,江淮地区种植高丹草,适合刈割 1 茬,海牛和高丹草 BJ0603 收获期应选择在

孕穗期,而帕卡与大卡可以提前收获。

参考文献:

- [1] 詹秋文,林平,李军,等. 高粱-苏丹草杂交种研究与利用前景[J]. 草业学报,2001,10(2):56—61.
- [2] Penna A G, Borges A L CC, Gon alves L C, *et al.* Nutritional value of six sorghum-sudangrass hybrids submitted to three cuts and two planting times[J]. Revista Brasileira De Milho E Sorgo, 2010, 9(2):147—161.
- [3] 周亚星,于卓,房永雨,等. 超低氢氰酸高丹草新品系选育及 ISSR 分子标记验证[J]. 中国草地学报,2012,34(3):6—11.
- [4] 詹秋文,林平,钱章强. 皖草 3 号的选育及其特征特性[J]. 作物杂志,2006(4):35—36.
- [5] 李团银,柳青山,张福耀,等. 新型 A2 细胞质高粱杂交种晋杂 12 号选育及利用研究[J]. 中国农业科学,1999,32(1):102—104.
- [6] Ferreira P D S, Gon alves L C, Rodrigues J A S, *et al.* Nutritional value of sorghum-sudangrass hybrids (*Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense*) harvested at different stages of maturity[J]. Semina Ciências Agrárias, 2015, 36(1):547—552.
- [7] Edwards N C, Fribourg H A, Montgomery M J. Cutting Management Effects on Growth Rate and Dry Matter Digestibility of the *Sorghum-Sudangrass* Cultivar Sudax SX111[J]. Agronomy Journal, 1971, 63(2):267—271.
- [8] 何振富,贺春贵,魏玉明,等. 光敏型高丹草在陇东旱塬的生物学特性和营养成分比较研究[J]. 草业科学,2015,24(10):166—174.
- [9] 李源,谢楠,赵海明,等. 高丹草营养生长与饲用品质变化规律分析[J]. 草地学报,2011,19(5):813—820.
- [10] 李源,谢楠,赵海明,等. 不同高丹草品种对于旱胁迫的响应及抗旱性评价[J]. 草地学报,2010,18(6):891—896.
- [11] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993.
- [12] 何振富,蓝祖庆,贺春贵,等. 栽培方式对光敏型高丹草生长发育特性及产量的影响[J]. 中国草地学报,2018,40(2):116—120.
- [13] 徐怀忠,李自强,马瑞,等. 大力士饲用甜高粱引种试验[J]. 宁夏农林科技,2006(2):19—19.
- [14] 李玉华,吕生全. BJ0602、BJ0603 甜高粱在武威市的生产试验[J]. 农业科技通讯,2013(4):110—112.
- [15] 王保全,左福元,曾兵,等. 不同行距播种方式对大力士甜高粱生产性能的影响—以三峡库区石漠化地区为例

- [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(30): 16814—16816.
- [16] 王斐, 何振富, 贺春贵. 不同栽培方式下光敏型高丹草主要农艺性状与产草量相关性的因子分析[J]. 中国草食动物科学, 2018(1): 32—38.
- [17] 孙万斌, 冯刚刚, 马晖玲, 等. 不同紫花苜蓿品种在甘肃荒漠绿洲灌区和半干旱灌区的灰色关联度综合评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(5): 73—82.
- [18] 梁晓, 祁永, 吝亚杰, 等. 应用综合指标法和灰色关联度法对 10 个紫花苜蓿品种进行耐盐性评价[J]. 作物杂志, 2017(4): 44—49.
- [19] 李源, 赵海明, 谢楠, 等. 种植密度和留茬高度对高丹草生产性能的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(6): 1093—1098.
- [20] 刘杰淋, 唐凤兰, 张月学, 等. 刈割高度对一年生牧草再生性能及产量的影响[J]. 草原与草坪, 2009(6): 47—49.
- [21] 于卓, 山田敏彦, 高丹草品种主要农艺性状的比较研究[J]. 中国草地学报, 2006, 28(6): 1—6.
- [22] 陆景标, 詹秋文, 王维, 等. 5 个高丹草品种的生物学性状及产草量比较分析[J]. 安徽科技学院学报, 2010, 24(6): 11—14.
- [23] 何振富, 贺春贵, 王国栋, 等. 种植密度对光敏型高丹草营养成分及动态变化的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(10): 95—106.
- [24] 梁欢, 游永亮, 李源, 等. 高丹草青贮加工及饲喂利用技术研究进展[J]. 草地学报, 2015, 23(5): 936—943.
- [25] 柴继宽, 赵桂琴, 师尚礼. 7 个燕麦品种在甘肃二阴区的适应性评价[J]. 草原与草坪, 2011, 31(2): 1—6.

Comparison of biological and nutritional characteristics of four *Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense* cultivars in Jianghuai area

LI Zheng-yan^{1,2}, XU Zhi-ming², SHI Shang-li¹, HE Chun-gui¹

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Education Ministry/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 2. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: The biological characteristics, nutrient composition changes and yields of 4 *Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense* cultivars, including Big Kahuna (DK), BJ0603 (GDC), Pa Kahuna (PK) and Monster (HN), were studied. The results showed that except HN, the other 3 cultivars could not complete reproductive growth in Jianghuai area. Grey correlation analysis showed that plant height and leaf weight were the most closely related traits determining fresh grass yield. The fresh grass yield of GDC was significantly higher than other cultivars, the standard grass yields and dry matter yields of PK and GDC were significantly higher than that of HN and DK. The standardized grass yield and the dry matter production under one cut were higher than those under two cuts, while the fresh grass production under two cuts was significantly higher. The acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF) gradually increased with the growth period. The crude protein (CP) content reached the highest value at booting stage, crude ash content (ASH) gradually decreased with the growth period. The contents of ADF, NDF, CP and ASH in stems were different among cultivars. In summary, in the spring planting photosensitive *Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense* in Jianghuai area, all tested cultivars performed well and 1 cut harvest was suitable. The best cutting time was at booting stage for HN and GDC while PK and DK earlier.

Key words: *Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense*; Jianghuai area; biological characteristics; yield; nutrient