

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0231

王红林, 严旭, 左艳春, 周晓康, 寇晶, 杜周和. 高粱×苏丹草杂交种品种选育与饲用价值. 草业科学, 2018, 35(12):2940-2950.

WANG H L, YAN X, ZUO Y C, ZHOU X K, KOU J, DU Z H. Breeding progress and feeding value of *Sorghum bicolor* × *S. sudanense*. Pratacultural Science, 2018, 35(12):2940-2950.

高粱×苏丹草杂交种品种 选育与饲用价值

王红林¹, 严旭¹, 左艳春¹, 周晓康¹, 寇晶¹, 杜周和^{1,2}

(1. 四川省农科院牧业研究中心, 四川南充 637000; 2. 四川省农业科学院蚕业研究所, 四川南充 637000)

摘要:高粱×苏丹草杂交种(*Sorghum bicolor* × *S. sudanense*)是以收获地上营养体(茎、叶)为主要目标的一类高粱属饲用作物,其饲草品质好、抗性强、生产潜力大。本文综述了高粱野生近缘种的利用及高粱×苏丹草杂交种品种选育现状与饲用价值,指出高粱野生近缘种在选育饲草高粱方面具有重要利用价值;利用高粱细胞质雄性不育系与苏丹草种间杂交是选育高粱×苏丹草杂交种的主要途径;我国开展高粱×苏丹草杂交种育种研究起步虽晚,但成果显著,已选育出众多品质优良品种;褐色中脉(brown midrib)高粱×苏丹草杂交种木质素含量低、饲用消化率高,但如何解决木质素引起的产量降低是褐色中脉品种选育需要解决的问题;高粱×苏丹草杂交种青饲与青贮后饲喂都具有很高的饲用价值。

关键词:高粱×苏丹草杂交种;野生资源;雄性不育;褐色中脉;营养价值;饲喂效果

中图分类号:S816.15;S544⁺.103.51 文献标志码:A 文章编号:1001-0629(2018)12-2940-11*

Breeding progress and feeding value of *Sorghum bicolor* × *S. sudanense*

WANG Honglin¹, YAN Xu¹, ZUO Yanchun¹, ZHOU Xiaokang¹, KOU Jing¹, DU Zhouhe^{1,2}

(1. Animal Husbandry Research Center of Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, Sichuan, China;

2. Sericultural Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, Sichuan, China)

Abstract: Forage sorghum is a collective name covering a range of species and hybrids of the genus *Sorghum*, including *S. bicolor* × *S. sudanense*, *S. sudanense*, and *S. dochna*. *S. bicolor* × *S. sudanense* is planted as a forage crop for herbivores. Given its good forage quality, strong resistance, and high productivity, forage sorghum is an excellent fodder crop. In this paper, we review the utilization of wild relatives of sorghum and the breeding and feed value of *S. bicolor* × *S. sudanense* hybrids. *Sorghum* have several wild relatives, which are potential germplasm resources for future breeding of forage sorghum. Currently, utilizing the heterosis between *S. bicolor* and *S. sudanense* is the main approach for breeding *S. bicolor* × *S. sudanense*; Research on the breeding of *S. bicolor* × *S. sudanense* started in the 1990s in China, and the achievements to date have been notable, with the successful breeding of a large number of excellent varieties adapted to different ecological conditions. The brown midrib of *S. bicolor* × *S. sudanense* reduces the content of lignin, and, consequently, increases fodder digestibility. However, the lignin-induced reduction in yield is a key problem that needs to be solved in the breeding of the brown midrib *S. bicolor* × *S. sudanense*. Both fresh grass and silage have high feed value.

* 收稿日期:2018-04-17 接受日期:2018-08-09
基金项目:四川省财政创新能力提升工程项目(2016TSCY-007);四川省重点研发项目(18ZDYF0634);四川省科技支撑计划项目(2016NZ-0113)
第一作者:王红林(1989-),男,甘肃定西人,研究实习员,硕士,研究方向为饲草遗传育种。E-mail:563747088@qq.com
通信作者:杜周和(1968-),男,四川南充人,研究员,博士,研究方向为饲草遗传育种。E-mail:zhouhedu@263.net

Keywords: *S. bicolor* × *S. sudanense*; wild resource; male sterility; brown midrib; nutritional value; feeding effect

Corresponding author: DU Zhouhe E-mail:zhouhedu@263.net

高粱×苏丹草杂交种(*Sorghum bicolor* × *S. sudanense*)是以收获地上营养体(茎、叶)为主要目标的一类高粱属饲用作物,通常为大型、一年生、暖季、短日照、草本植物,是目前应用最广泛的优良草种之一。具有茎秆鲜嫩、营养丰富、适口性好、耐刈割和生物产量高等优点,既可青饲也可青贮^[1]。其生态适应性强,较玉米(*Zea mays*)耐旱,在相同低水平灌溉条件下其生物量高于玉米^[2]。近年来,选用具有褐色中脉(brown midrib, BMR)特性的高粱与苏丹草杂交显著降低了高粱×苏丹草杂交后代的木质素含量,将其消化率提高到接近玉米水平^[3-4]。我国饲草生产量远达不到实际需求,而且缺口仍在继续扩大^[6]。优良饲草尤其是高粱×苏丹草杂交种这类适应性广、生物量高的大型饲草作物的推广应用,将对缓解优质饲草供需矛盾、减少天然草地压力、维护生态平衡以及对草地畜牧业可持续发展、农业供给侧改革和乡村振兴战略起到推动作用。

我国开展高粱×苏丹草杂交种育种研究起步较晚,但成果显著,截止 2017 年,审定登记品种已超过 39 个,其中中国审育成品种 21 个、引进品种 5 个、地方审定品种 13 个。与其他牧草相比品种数量总体偏少且以北方品种为主,适应南方夏季高温高湿的品种较少。因此,对高粱野生近缘种的利用及高粱×苏丹草杂交种的品种选育研究现状和饲用价值进行概述,以期了解适应不同生境的优良高粱×苏丹草

杂交种的新品种选育并对其在畜禽养殖上的应用推广提供帮助。

1 高粱×苏丹草杂交种品种选育

1.1 高粱的野生近缘种及其利用

作物新品种的选育与其优良种质资源的发掘和利用密切相关。广泛搜集、准确鉴定和充分利用种质资源是选育和改良作物品种最有效的途径。要实现种质资源的合理利用首先需要掌握其在进化中的位置和亲缘关系,因此对其分类学的研究尤为重要。Wet 和 Huckabay^[7]将高粱属分为 5 个亚属(图 1),分别为多毛高粱(*Chaetosorghum*)、异高粱(*Heterosorghum*)、近似高粱(*Parasorghum*)、有柄高粱(*Stiposorghum*)和栽培高粱(*Sorghum*)。高粱亚属又分为 3 个种,即 *S. halepense* ($2n=40$)、*S. propinquum* ($2n=20$)和 *S. bicolor* ($2n=20$)。 *S. halepense* 为约翰逊草(俗称假高粱),是谷类作物、棉花(*Gossypium hirsutum*)、苜蓿(*Medicago sativa*)、甘蔗(*Saccharum officinarum*)、麻类等作物间的杂草;*S. propinquum* 为高粱野生种,中文名为拟高粱。*S. bicolor* 为栽培高粱。甜高粱(*S. dochna*)是栽培高粱的一个变种,因其含糖量高而得名,主要用于生产蜜糖,但近年来更多被用于生产生物燃料。高粱按其用途大致可分为饲草型高粱和籽粒型高粱两类,其中杂交饲用高粱、苏丹草、高粱×苏丹草杂交种和甜高粱都属于饲草型高粱^[8]。

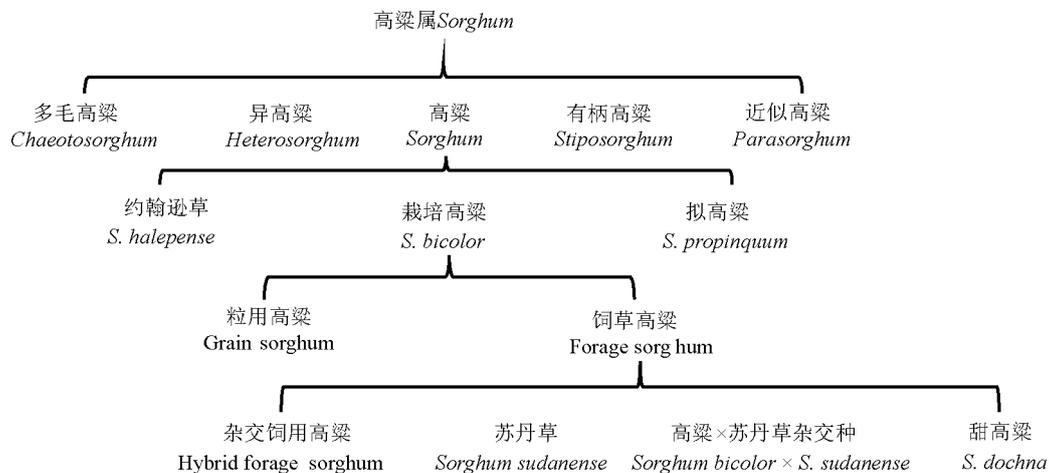


图 1 高粱属的分类

Fig. 1 Classification of sorghum species, with emphasis on *Sorghum bicolor*

作为高粱野生近缘种利用的主要有5个^[9]。苏丹草和突尼斯草(*S. virgatum*)染色体条数均为20条(表1),二者能与栽培高粱正常杂交结实,是一种草型高粱,代表品种如‘晋草1号’(不育系SX-1×苏丹草722)。突尼斯草具有抗蚜虫基因,可作为抗虫性育种的供体。约翰逊草($2n=40$)与栽培高粱($2n=20$)的杂交后代为三倍体且一般雄性不育,其后代逐渐演变成为一种田间杂草。但是,将高粱加倍成四倍体与约翰逊草杂交,后代杂种优势明显,饲草潜力相当大^[10-11]。

拟高粱为多年生草本植物,产生于斯里兰卡和南印度,也是一种具有饲草潜力的饲草高粱资源,福建农学院选育的‘明福1号’综合性状优良,饲用价值较高^[9,12-13]。高粱野生近缘种中含有许多有益性状,如抗病虫、耐盐碱和抗倒伏等,将这些外源的有益性状导入栽培高粱中,将对高粱的品质改良起到巨大的推动作用^[9]。目前,高粱×苏丹草杂交种为生产中应用最广泛的饲草高粱,褐色中脉高粱×苏丹草杂交种因提高饲草高粱的饲用品质极具发展潜力。

表1 高粱野生近缘种的类型、分布及利用

Table 1 Types, distribution and utilization of the wild relatives of sorghum

近缘种 The wild relatives of sorghum	倍性 Ploidy	分布区域 Distribution area	利用价值及典型代表 Value and typical representative
苏丹草 <i>S. sudanense</i>	$2n=20$	非洲、澳大利亚、中美洲以及美国等 Africa, Australia, Central America, and the USA, etc.	用作放牧草、干草和调制青贮饲料,以‘晋草1号’为代表 Used as pasture, hay and silage, ‘Jincao No. 1’ is typical representative
突尼斯草 <i>S. virgatum</i>	$2n=20$	土耳其等 Turkey etc.	含有耐蚜虫基因,美国已将耐蚜虫基因转移到高粱恢复系 Contained the aphid resistance gene, the aphid resistance gene has been transferred to the sorghum restorer line in the USA
约翰逊草 <i>S. halepense</i>	$2n=40$	南欧亚大陆东到印度 South Eurasia east to India	与四倍体高粱杂交后有作饲草的潜力,以“四沈甜”×约翰逊草为代表 Crossed with tetraploid sorghum, hybrid have a potential for forage, ‘Sishentian’ × <i>S. halepense</i> is typical representative
丰裕高粱 <i>S. almum</i>	$2n=30$	北美 North America	饲草 Forage
拟高粱 <i>S. propinquum</i>	$2n=20$	原产于斯里兰卡和印度,我国福建、广西等地也有分布。 It was native to Sri Lanka and India, and also distributed in Fujian and Guangxi in China	可作为饲草利用,以‘明福1号’为代表 As a forage application, ‘Mingfu No. 1’ is typical representative

1.2 高粱细胞质雄性不育系的利用

利用高粱细胞质雄性不育系与苏丹草杂交选育高粱×苏丹草杂交种是目前比较有效的选育手段,我国科研工作者在此方面也已经做了大量工作,并培育出众多优良品种(表2),这些品种除了品质优良,更能适应我国的气候和土壤条件,产量比引进国外品种高6.1%~65.7%^[6,14]。在品种选育过程中优良的细胞质雄性不育系的选择很重要,已确认的不育细胞质有

A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 、 A_6 和9E,育性恢复从易到难按照 A_1 、 A_6 、 A_5 、 A_2 、 A_4 、9E、 A_3 的顺序增加^[15]。其中,由于 A_3 细胞质不育系有很好的抗败育性能,不育性稳定,且恢复源较少,近年来被广泛应用于饲草高粱的品种选育。

国外对 A_3 细胞质的研究开展较早,技术较成熟。Aruna等^[16]通过研究不同的细胞质雄性不育类型对饲草高粱产量和品质的影响表明, A_3 细胞质源具有替

代 A₁ 细胞质选育饲草高粱的潜力,用 A₃ 细胞质生产的饲草高粱的饲草产量和质量可与用 A₁ 细胞质的品种相媲美。并且指出,将 A₃ 胞质和 A₁ 胞质结合用于饲草高粱选育,可使饲草高粱育种多样化。

我国目前也在广泛并有效地利用高粱 A₃ 细胞质型雄性不育系选育高粱×苏丹草杂交种新品种。张福耀等^[17]育成的山西省第 1 个高粱×苏丹草杂交种‘晋草 1 号’(表 2)就是 A₃ 细胞质型雄性不育系利用的典型代表。该品种是利用以 A₃398 为基础育成 A₃ 型细胞质不育系 A₃SX-1A 与高丹草杂交育成的,具有再生力强、生物量高、适应范围广的特点。之后,通过类似技术手段先后育成系列雄性不育系,通过与自选的苏丹草杂交育成的‘晋草 2-8 号’在山西及全国大部分地区推广种植^[18-23]。刘贵波等^[24]以不育系 A₃HG5A 为母本、苏丹草 S2006 为父本,育成的‘冀草 2 号’是第 1 个以 A₃ 型高粱不育系为母本的高丹草国审新品种,全国大部分地区可推广种植。平俊爱等^[25]以新型 A₃ 细胞质雄性不育系 A₃SX14A 为母本,苏丹草 SCR72 为父本组配的‘晋牧 1 号’具有适应性强、产量高的特

点,是优质的高粱×苏丹草杂交种品种。于卓等^[26]从引进的高粱雄不育系 A₃×黑壳苏丹草杂后代中通过单株及混合选择相结合的方法育成的‘蒙农 3 号’高粱×苏丹草杂交种,具有综合性状优良、氢氰酸含量低的优点,适宜在年有效积温 $\geq 2\ 400\ ^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ 的地区推广种植。

除了 A₃ 细胞质,其他胞质类型的细胞质雄性不育系也被广泛应用于高粱×苏丹草杂交种的新品种选育。林平等^[27]以高粱不育系 TX623 为母本、苏丹草 722 为父本,选育的‘皖草 2 号’在全国多省(市)推广种植,适宜饲养多种畜禽。闫鸿雁等^[28]以自选高粱不育系 T32A(314B×A2V4B)为母本、红壳苏丹草 YN2092 为父本,组配的饲草高粱杂交种‘吉草 2 号’抗性优,增产潜力大。于卓等^[29]将高粱雄性不育系 A₂/A₄ 分别与内蒙古当地黑壳苏丹草/白壳苏丹草栽培种杂交,然后从后代群体中历经多个世代选择分别育成‘蒙农青饲 1 号’、‘蒙农青饲 2 号’高粱×苏丹草杂交种,适宜于内蒙古及毗邻省(区)种植。

表 2 国内主要高粱×苏丹草杂交种选育单位及品种名称

Table 2 The main *S. bicolor* × *S. sudanense* breeding institutions and cultivars in China

选育单位 Breeding institution	主要品种 Cultivar
山西省农业科学院高粱研究所 Institute of Sorghum Research, Shanxi Academy of Agricultural Sciences	晋草 1-8 号,晋牧 1 号 Jincao No. 1, No. 2, No. 3, No. 4, No. 5, No. 6, No. 7, and No. 8, Jinmu No. 1
辽宁省农业科学院高粱所 Sorghum institute, Liaoning Academy of Agriculture Sciences	辽草 1、2、3 号 Liaocao No. 1, No. 2 and No. 3
黑龙江省农业科学院作物育种所 Crop Breeding Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences	龙草 1 号 Longcao No. 1
河北省农林科学院旱作农业研究所 Dryland Farming Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences	冀草 1 号,冀草 2 号、冀草 4 号 Jicao No. 1, Jicao No. 2, and Jicao No. 4
安徽技术师范学院农学系 Anhui Technology Normal Collage Agronomist	皖草 2 号,皖草 3 号 Wancao No. 2 and Wancao No. 3
吉林省农业科学院作物育种研究所 Crop Breeding Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences	吉草 1、2、3 号 Jicao No. 1, Jicao No. 2, and Jicao No. 3
内蒙古农业大学农学院 Inner Mongolia Agricultural University Agricultural Collage	蒙农青饲 1、2、3 号、9 号,蒙农 4 号、5 号、7 号 Monong qingsi No. 1, No. 2, No. 3, and No. 9, Monong No. 4, No. 5, and No. 7
天津农学院 Tianjin Agricultural College	天农 1 号、2 号,天农青饲 1 号、2 号 Tiannong No. 1 and No. 2, Tiannong qingsi No. 1, and No. 2

2 褐色中脉基因的利用

褐色中脉(brown midrib)特征由一个单基因隐性突变所致,现已发现 *bmr-2*、*bmr-6*、*bmr-12*、*bmr-14*、*bmr-18* 和 *bmr-19* 等基因类型(表 3),其中 *bmr-6*、*bmr-12* 和 *bmr-18* 育种潜力较高^[30]。第 1 个 *bmr* 突变现象由 Kuc 和 Nelson^[31] 于 1964 年在玉米中发现,与野生型相比具有更低的木质素含量和更高的体外消化率。褐色中脉高粱因纤维含量低而消化率提高,目前被广泛用于改善饲草高粱营养品质。Porter 等^[32] 在高粱上首次利用硫酸二乙酯诱导了一个双粒高粱 *bmr* 突变体,其茎和叶片中木质素含量显著下降。在评估的 13 个高粱突变体中,有 6 个(*bmr-2*, *bmr-6*, *bmr-12*, *bmr-14*, *bmr-18* 和 *bmr-19*)茎秆木质素浓度较低,减少范围为 18%~51%,类似的趋势也出现在叶中,木质素减少 5%~25%,体外干物质消化率增加 2%~19%。叶片的消化率也随着木质素浓度降低而增加,但仅比常规高粱叶高 2.8%。Hanna 等^[33] 发现 *bmr* 高粱茎和叶片的消化率与野生型相比增加幅度分别为 8.2% 和 6.1%。通常 *bmr* 性状导入受体作物中时会导致减产,但 Miron 等^[34] 通过对 Silobuster、Supersile20 和 BMR-101 高粱×苏丹草杂交种的产量研究,结果表明其干物质和干草产量差异均不显著。目前,

国外的褐色中脉品种体外干物质消化率与普通高粱×苏丹草杂交种相比提高约 40%,而且比青贮玉米更节水,饲喂奶牛产奶量与青贮玉米相当^[35]。世界范围内对 *bmr* 高粱×苏丹草杂交种的研究兴趣不断增加,但在实际应用中还需关注 *bmr* 高粱×苏丹草杂交种的倒伏性和产量减少等问题,这些都需要通过品种改良来解决^[36]。我国已引进部分 *bmr* 突变系,并育成了 *bmr* 高粱×苏丹草杂交种品系,预计不久适宜我国气候及地形特征的 *bmr* 高粱×苏丹草杂交种也将实现商品化^[35]。

3 饲用价值

3.1 基础营养组成

高粱×苏丹草杂交种作物具有茎秆鲜嫩、品质优良、营养丰富、适口性好的特点,为多种牲畜喜食。由于适应性和品种差异等原因我国选育的高粱×苏丹草杂交种粗蛋白含量均高于引进国外品种和目前国内种植面积比较大的青贮玉米品种,且鲜草产量也相对较高(表 4);中性洗涤纤维普遍较青贮玉米高,但是‘健宝’和‘晋草 7 号’中性洗涤纤维低于青贮玉米品种,其余品种中性洗涤纤维含量与青贮玉米接近;另一方面,高粱×苏丹草杂交种耐刈割、饲喂周期长、产量高,可以在一定程度上弥补其与青贮玉米品质之间的差异。国外一些大型畜牧场将高粱×苏丹草杂交种作为青

表 3 主要 *bmr* 基因类型、作用效应和结果

Table 3 Types, effects, and outcome of the main *bmr* gene

基因类型 Gene type	效应 Effect	结果 Result
<i>bmr-2</i>	编码 4-香豆酸 Encode 4-coumaric acid	降低木质素含量 Reducing lignin content
<i>bmr-6</i>	降低肉桂醇脱氢酶(CAD)活性 Reduction of cinnamyl alcohol dehydrogenase (CAD) activity	降低木质素含量,降低植株株高、干物质产量、再生性,分蘖减少,对环境敏感 Reduce lignin content, reduce plant height, dry matter yield, regenerative, tiller decreased, environmental sensitivity
<i>bmr-12</i>	降低咖啡-O-甲基转移酶(COMT)活性 Decrease the activity of -O-methyl transferase (COMT) in coffee	降低木质素含量,使花期提前,株高增高,秸秆产量增加,生育期缩短 Reduce lignin content, make the flowering time ahead of time, the height of the plant is high. The yield of straw is increased, shortening of the growth period
<i>bmr-18</i>	降低咖啡-O-甲基转移酶(COMT)活性 Decrease the activity of -O-methyl transferase (COMT)	降低木质素含量,不改变抗性,酸性洗涤纤维降低 Reduce lignin content, no change of resistance, acid washing fiber is reduced
<i>bmr-19</i>		降低木质素含量 Reduce lignin content

表 4 高粱×苏丹草杂交种与青贮玉米草产量及营养成分比较

Table 4 Comparison of yield and nutrient composition between *S. bicolor*×*S. sudanense* and corn silage

品种 Variety	鲜草产量 Fresh forage yield (kg·hm ⁻²)	粗蛋白 CP/%	酸性洗涤纤维 ADF/%	中性洗涤纤维 NDF/%	参考文献 Reference
健宝 Jumbo	94 538.0	12.11	27.54	43.58	[21]
乐食 Leshi	90 567.0	12.70	29.30	56.45	[25]
晋牧 1 号 Jinmu No. 1	115 857.5	14.71	30.00	55.95	[24]
皖草 3 号 Wancao No. 3	105 579.6	13.91	30.85	56.50	[41]
晋草 7 号 Jincao No. 7	128 494.5	15.68	26.92	42.79	[21]
中北 410 Zhongbei 410	100 613.5	9.02	28.75	46.97	[42]
雅玉 04889 Yayu 04889	107 566.5	8.09	23.15	48.87	[42-43]
雅玉 8 号 Yayu No. 8	89 833.0	8.97	30.32	56.92	[42-43]

饲、青贮或制作干草的饲料原料广泛应用。我国目前也在大力发展高粱×苏丹草杂交种,其在农业产业结构调整 and 畜牧渔业的可持续发展中有巨大潜力^[37]。

饲料作物营养价值和消化率的差异由植物组织类型的差异决定,具有 C₃ 光合作用途径的植物比 C₄ 途径植物一般更容易消化,并且具有更高的营养价值^[38]。尽管玉米和高粱×苏丹草杂交种的光合途径相同(都为 C₄ 植物),但其在叶、茎等部位上的营养价值存在一定差异。Schmid 等^[39]对玉米与饲草高粱的青贮营养品质进行了研究,试验样品包括 11 个玉米杂交种和 14 个饲草高粱品种的叶、茎和穗。平均下来,玉米的叶片和穗的比例较高,但茎的比例低于饲草高粱,在一个非褐色中脉饲草高粱中酸性洗涤纤维含量比玉米更高,这可能与更低的消化率有关。Cummins 等^[40]比较了 4 个饲草高粱品种在成熟期叶、茎和穗中营养成分的比例和组分,研究结果与 Schmid 的类似,即在所有成熟阶段,茎的比例更大。

3.2 饲喂效果

高粱×苏丹草杂交种饲草品质优良,既可青饲也可青贮后利用。林治安等^[44]以高粱×苏丹草杂交种(15 kg 高粱×苏丹草杂交种鲜草+15 kg 青贮玉米秸秆)替代部分青贮玉米秸秆(25 kg)饲喂奶牛,结果显示,饲喂高粱×苏丹草杂交种最高可使奶牛日产奶量平均增加 2.79 kg,增产 13.78%。冯杰等^[45]比较了在基础饲料相同的情况下高粱×苏丹草杂交种和皇竹草(*Pennisetum sinense*)对波本杂羔羊的饲喂效果,结果表明饲喂高粱×苏丹草杂交种羔羊的平均日增重(113 g)略优于对照组(109 g),差异不显著,说明高粱×苏丹草杂交种与皇竹草饲用效果相近。牟芝兰^[46]研究表明,草鱼对高粱×苏丹草杂交种的采食率为

36.56%,每条每天摄食量为 6.14 g,同时证明高粱×苏丹草杂交种中氢氰酸对草鱼无毒副作用。此外高粱×苏丹草杂交种与精饲料和化肥科学配比养鱼效果也较好^[47]。

饲草的加工贮存对调节其平衡供应具有十分重要的作用,青贮加工能够很好地保持饲草的营养物质,高粱×苏丹草杂交种实际应用中常用来作青贮饲料^[48]。高粱×苏丹草杂交种青贮发酵与玉米类似,pH 都低于 4.0,消化率等于或高于玉米^[49]。陈云鹏等^[50]研究了高粱×苏丹草杂交种和全株玉米青贮育肥肉牛的效果,高粱×苏丹草杂交种育肥牛总增重为 4 563.5 kg,日增重 1 152.4 g,比青贮玉米组提高 44.9%;饲喂高粱×苏丹草杂交种青贮料比全株玉米每头牛多盈利 471.63 元,且增重成本更低;屠宰率和净肉率也均高于全株玉米组,说明青贮高粱×苏丹草杂交种对肉牛育肥的效果要好于青贮玉米。Browning 和 Lusk^[51]通过将 bmr 高粱×苏丹草杂交种与传统饲用高粱和玉米青贮饲料进行比较,结果表明饲喂高粱×苏丹草杂交种的产奶量与玉米的相等或比其多 4%。Laura 等^[52]通过比较普通饲草高粱与 bmr 饲草高粱对放牧奶牛产奶量影响时指出,bmr 饲草高粱体内细胞壁消化率的增强提高了放牧奶牛的产奶量。Dann 等^[53]研究比较了褐色中脉高粱×苏丹草杂交种与青贮玉米对荷斯坦奶牛泌乳性能和养分消化率的影响,采食量以饲喂添加 35%(23.4 kg·d⁻¹)和褐色中脉高粱×苏丹草和 45%青贮玉米(23.2 kg·d⁻¹)组最高,饲喂 45%褐色中脉高粱×苏丹草杂交种(17.6 kg·d⁻¹)组最低;饲喂褐色中脉高粱×苏丹草杂交种组的奶牛增重量要显著高于饲喂青贮玉米组,产乳效率比饲喂青贮玉米组高 28%,可见,褐色中脉高粱×苏丹草杂交种是一种有效替代青贮玉米的饲料。Cattani 等^[54]

研究了利用饲草高粱青贮代替玉米青贮对牛奶产量、组成和品质的影响,结果表明,饲喂饲草高粱青贮饲料,适当补充玉米粉,可完全替代玉米青贮饲料,而且不会改变牛奶饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸的浓度。牛奶的凝乳特性在乳品工业中具有重要的经济意义,而用高粱青贮饲料并没有改变牛奶的凝乳特性。综上所述,高粱×苏丹草杂交种在饲喂畜禽方面有较高的饲用价值。

3.3 抗营养因子

高粱×苏丹草杂交种中存在的主要抗营养因子为氢氰酸和单宁。采食氢氰酸含量较高的高粱×苏丹草杂交种会使家畜中毒。因此,新生高粱幼苗及放置过夜的高粱×苏丹草杂交种鲜草不能直接饲喂家畜^[55]。不同品种饲草高粱氢氰酸含量不同,同一品种不同生长阶段或者不同组织中氢氰酸含量也不同^[56]。合理的利用方式可避免氢氰酸的危害。氢氰酸含量在 200 mg·kg⁻¹ 以下为饲喂的安全标准,目前选育的大部分饲草高粱氢氰酸含量远低于该值。‘吉草 2 号’叶片和茎秆氢氰酸含量分别为 0.22 和 0.35 mg·kg⁻¹。‘晋草 7 号’株高 181.0 cm 时叶中氢氰酸含量 0.26 mg·kg⁻¹,茎中氢氰酸含量 0.32 mg·kg⁻¹;株高 156.0 cm 时叶中氢氰酸含量 0.021 mg·kg⁻¹,茎中含量 0.020 mg·kg⁻¹^[21,28]。

单宁是一种多酚复合物,主要存在于植物的皮、根、叶、壳和果肉中,高粱单宁主要存在于籽粒。单宁味道苦涩,影响动物采食,其不良作用在单胃动物尤其是鸡、鸭中表现尤为明显,杨久仙等^[57]指出在蛋鸡和雏鸡养殖中高粱配比不合理会引起便秘。李平^[58]测定并比较了 28 种高粱在生长猪上的消化能、代谢能和能量的表观消化率后,认为单宁是影响生长猪对高粱消化代谢能和能量表观消化率的关键因子。Barry 等^[59]报道单宁浓度超过干物质含量的 5% 时由于口味较涩降低了适口性,影响反刍动物的消化率,从而降低动物的生产性能。因此,选育低单宁含量的高粱品种也是今后努力的方向。

4 应用前景

青贮玉米因饲用品质高,是重要的制作优质青贮

饲料的原料,国外相当重视青贮玉米的种植^[60]。与青贮玉米相比,高粱×苏丹草杂交种抗旱性强,虽然在干物质和叶面积指数上略低,但其土壤水分蒸发蒸腾损失总量比玉米低 27%^[61],由于根茎深且大,茎秆蜡质,能够在降水不足时仍能生存,在干旱玉米等作物大幅度减产甚至绝收的情况下仍能有较高的生物产量。种植高粱×苏丹草杂交种经济效益是玉米的 1.8 倍^[6],饲喂时可节省 50% 以上的精饲料,综合效益可观^[62]。因此,美国高度重视饲草高粱生产,2007 年生产了约 1 400 万 t 高粱,全年种植超过 240 万 hm² 饲料高粱,产生约 5 800 万 t 高粱生物质^[63]。高粱×苏丹草杂交种茎秆鲜嫩,适口性好,牲畜喜食,氢氰酸含量较低,产量高,是多种草食动物的优质饲草料。另外,其抗逆性、抗病性较强,对栽植条件要求不高,可在旱地、丘陵、盐碱地推广种植,充分利用闲置或者废弃土地,保护生态环境,为农民增收。

著名高粱育种家米勒教授直言,“21 世纪是高粱的世纪”,预示着高粱在当今气候环境不稳定条件下将发挥的巨大作用,高粱×苏丹草杂交种作为高粱的一部分是一种优质的饲草作物,经济效益高,已被世界众多国家重视,它的推广种植不仅可缓解生态压力,还可解决我国目前畜禽多、需求大、耕地少和粮食紧张等问题,符合当前畜牧业及农业发展的方向,前景广阔,尤其是在可利用水资源有限、土壤贫瘠的地区有更大的发展。但是目前也存在一些急需解决的问题:虽然育种取得了一些成绩,但是整体落后于其他农作物和籽粒高粱育种,尤其国内对 bmr 高粱×苏丹草杂交种研究还处于起步阶段;低氢氰酸含量的品种较少;育种单位分布不均匀,北方品种较多,引种至南方时容易出现水土不服现象。另外,对青贮饲料饲喂效果缺乏标准的评价体系及合理的添加比例。

因此,今后应加强对高粱×苏丹草杂交种的宣传力度,引进优良种质资源,充分利用其近缘种质及基因组学技术,加强育种投入,并注重选育适合南方气候类型的品种,加强草畜配套,强化饲喂标准,建立示范及推广区,从而带动农民及企业家的积极性,使其更好地服务于我国畜牧业的发展。

参考文献 References:

- [1] UNDERSANDER D J, SMITH L H, KAMINSKI A R, KELLING K A, DOLL J D. Forage Sorghum. *Corn Agronomy*, 2017; 1-4.
- [2] CONTRERASGOVEA F E, MARSALIS M A, LAURIAULT L M, BEAN B W. Forage sorghum nutritive value: A review. *Forage & Grazinglands*, 2010, 8(1): 1-7.

<http://cykx.lzu.edu.cn>

- [3] GRANT R J, HADDAD S G, MOORE K J, PEDERSEN J F. Brown midrib sorghum silage for midlactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 1995, 78(9): 1970-1980.
- [4] OLIVER A L, GRANT R J, PEDERSEN J F, REAR J O. Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87(3): 637-644.
- [5] GETACHEW G, PUTNAM D H, BEN C M D, PETERS E J D. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. *American Journal of Plant Sciences*, 2016, 7: 1106-1121.
- [6] 徐艳, 杨巍, 李文镭. 发展饲草高粱前景展望. *园艺与种苗*, 2006, 26(2): 152-153.
XU Y, YANG W, LI W L. Prospects for the development of forage sorghum. *Gardening and Seedling*, 2006, 26(2): 152-153.
- [7] WET J M J D, HUCKABAY J P. The Origin of *Sorghum bicolor*(II). Distribution and Domestication. *Evolution*, 1967, 21(4): 787-802.
- [8] VENDRAMINI J, NEWMAN Y, ERICKSON J, VERMERRIS W, WRIGHT A D. Forage sorghum. *Agronomy*, 2016: 1-13.
- [9] 卢庆善, 朱凯, 张志鹏, 王艳秋, 段有厚. 高粱的野生近缘种及其利用价值. *杂粮作物*, 2006, 26(5): 322-325.
LU Q S, ZHU K, ZHANG Z P, WANG Y Q, DUAN Y H. The wild species of sorghum and its utilization value. *Rain Fed Crops*, 2006, 26(5): 322-325.
- [10] 常金华, 罗耀武. 同源四倍体高粱与约翰逊草杂交及其后代表现. *草业学报*, 2002, 11(1): 56-58.
CHANG J H, LUO Y W. Studies on the hybrid between autotetraploid sorghum and Johnson grass and the subsequent generation. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(1): 56-58.
- [11] 常金华, 赵茜, 罗耀武. 四倍体高粱与约翰逊草杂交种饲用品质分析. *中国草地学报*, 2007, 29(6): 103-106.
CHANG J H, ZHAO Q, LUO Y W. The feeding quality analysis of the hybrids between tetraploid sorghum and Johnson grass. *Chinese Journal of Grassland*, 2007, 29(6): 103-106.
- [12] 李南田. 拟高粱. *科技简报*, 1981(6): 32.
Li N T. *Sorghum propinquum*. *Presentation of Science and Technology*, 1981(6): 32.
- [13] 还振举, 林洁荣, 张昭平, 张奇秀, 刘建秀. 华南高产优质牧草明福一号拟高粱的研究. *中国草地学报*, 1993(3): 9-14.
HUAN Z J, LIN J R, ZHANG S P, ZHANG Q X, LIU J X. Study on "MING FU-1" sorghum propinquum hitche fine variety suitable for south China. *Chinese Journal of Grassland*, 1993(3): 9-14.
- [14] 于福安, 段有厚, 吴庆凯, 王艳秋, 卜祥. 辽宁省饲料高粱的发展及推广应用. *杂粮作物*, 2008, 28(1): 55-56.
YU F A, DUAN Y H, WU Q K, WANG Y Q, PU X. Development and application of forage sorghum in Liaoning Province. *Rain Fed Crops*, 2008, 28(1): 55-56.
- [15] 周紫阳, 马英慧, 王江红, 李光华, 阎鸿雁. 浅述我国高粱雄性不育系研究历程与应用进展. *杂粮作物*, 2007, 27(6): 401-402.
ZHOU Z Y, MA Y H, WANG J H, LI G H, YAN H Y. Brief introduction research progress and application progress of sorghum male sterility line in China. *Rain Fed Crops*, 2007, 27(6): 401-402.
- [16] ARUNA C, SHROTRIA P K, PAHUJA S K, UMAKANTH A V, VENKATESH BHAT B, VISHALA DEVENDER A, PATIL J V. Fodder yield and quality in forage sorghum; Scope for improvement through diverse male sterile cytoplasm. *Crop & Pasture Science*, 2012, 63(12): 1114-1123.
- [17] 张福耀, 平俊爱, 程庆军, 杜志宏, 吕鑫, 常玉卉. 新型细胞质雄性不育系 A₃SX-1A 的创制与饲草高粱晋草 1 号的选育. *中国农业科技导报*, 2005, 7(5): 13-15.
ZHANG F Y, PING J A, CHENG Q J, DU Z H, LYU X, CHANG Y H. Release of new cytoplasmic male sterility line A₃SX-1A and forage sorghum Jincao 1. *Review of China Agricultural Science and Technology*, 2005, 7(5): 13-15.
- [18] 张福耀, 平俊爱, 程庆军, 杜志宏, 吕鑫, 常玉卉. 饲草高粱杂交种晋草 2 号的选育. *作物杂志*, 2007(1): 66-67.
ZHANG F Y, PING J A, CHENG Q J, DU Z H, LYU X, CHANG Y H. Breeding of forage sorghum hybrid Jincao 2. *Crops*, 2007(1): 66-67.
- [19] 张福耀, 平俊爱, 程庆军, 杜志宏, 吕鑫, 常玉卉. 新型饲草高粱杂交种晋草 3 号选育报告. *杂粮作物*, 2007, 27(1): 15-16.
ZHANG F Y, PING J A, CHENG Q J, DU Z H, LYU X, CHANG Y H. Breeding report of new forage horghum hybrid Jincao 3. *Rain Fed Crops*, 2007, 27(1): 15-16.
- [20] 吕鑫, 张福耀, 平俊爱, 杜志宏, 郭建文. 新型饲草高粱晋草 4 号的选育. *种子*, 2009, 28(9): 93-94.
LYU X, ZHANG F Y, PING J A, DU Z H, GUO J W. Breeding of a new forage sorghum variety Jincao 4. *Seed*, 2009, 28(9): 93-94.
- [21] 平俊爱, 张福耀, 吕鑫, 杜志宏, 郭建文. 新型饲草高粱晋草 5 号的选育及栽培技术. *作物杂志*, 2009(5): 115.

- PING J A, ZHANG F Y, LYU X, DU Z H, GUO J W. Breeding and cultivation techniques of a new forage grass sorghum Jincao 5. *Crops*, 2009(5): 115.
- [22] 平俊爱, 张福耀, 杜志宏, 吕鑫, 李慧明, 杨婷婷. 高丹草新品种晋草7号选育报告. *甘肃农业科技*, 2013(10): 5-7.
PING J A, ZHANG F Y, DU Z H, LYU X, LI H M, YANG T T. Breeding report of a new sorghum-sudan variety jincao 7. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2013(10): 5-7.
- [23] 王玉斌, 平俊爱, 杜志宏, 吕鑫, 李慧明, 牛皓, 张福耀. 新型饲草高粱晋草8号的选育及栽培技术要点. *中国种业*, 2018(1): 72-73.
WANG Y B, PING J A, DU Z H, LYU X, LI H M, NIU H, ZHANG F Y. Breeding and cultivation techniques of a new forage sorghum Jincao 8. *China Seed Industry*, 2018(1): 72-73.
- [24] 刘贵波, 李源, 赵海明, 谢楠. 2010年国审牧草新品种冀草2号高丹草. *现代农村科技*, 2010(23): 76.
LIU G B, LI Y, ZHAO H M, XIE N. In 2010, The new species of forage grass Jincao 2 Sorghum/Sultan grass in China. *Modern Rural Technology*, 2010(23): 76.
- [25] 平俊爱, 张福耀, 杜志宏, 吕鑫, 李慧明, 杨婷婷, 牛皓, 姚琳. 晋牧1号高丹草的选育研究. *桂林: 能源草产业发展战略暨学术研讨会*, 2014: 24-32.
PING J A, ZHANG F Y, DU Z H, LYU X, LI H M, YANG Z T, NIU H, YAO L. Breeding of a *Sorghum bicolor* × *S. sudanense* varieties Jinmu 1. Guilin: Energy Grass Industry Development Strategy and Symposium, 2014: 24-32.
- [26] 于卓, 马艳红, 李小雷, 刘志华, 周亚星, 李晓宇, 李长青. 蒙农3号高丹草选育. *中国草地学报*, 2008, 30(6): 1-9.
YU Z, MA Y H, LI X L, LIU Z H, ZHOU Y X, LI X Y, LI C Q. Breeding of *Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense* cv. Mengnong 3. *Chinese Journal of Grassland*, 2008, 30(6): 1-9.
- [27] 林平. 皖草2号. *江苏农业科技报*, 2001(3): 1.
LIN P. Wancao 2. *Jiangsu Agricultural Science and Technology Newspaper*, 2001(3): 1.
- [28] 闫鸿雁, 周紫阳, 马英慧, 李光华, 王江红. 饲草高粱杂交种吉草2号. *中国种业*, 2010, 35(5): 64.
YAN H Y, ZHOU Z Y, MA Y H, LI G H, WANG J H. Forage sorghum hybrids, Jicao 2. *Chinese Seed Industry*, 2010, 35(5): 64.
- [29] 于卓, 秦永梅, 赵晓杰, 赵娜, 闫文芝. 优良饲用作物新品种: 蒙农青饲1号高丹草选育. *中国草地学报*, 2004, 26(2): 1-9.
YU Z, QIN Y M, ZHAO X J, ZHAO N, YAN W Y. Breeding of Forage Crop; *Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense* cv. Mengnong No. 1. *Chinese Journal of Grassland*, 2004, 26(2): 1-9.
- [30] 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. *Acat Agrestia Sinica*, 2014, 22(4): 889-896.
- [31] LECHTENBERG V L, MULLER L D, BAUMAN L F, RHYKERD C L, BARNES R F. Laboratory and in vitro evaluation of Inbred and F₂ populations of brown midrib mutants of *Zea mays* L. *Agronomy Journal*, 1972, 64(5): 1432-1434.
- [32] PORTER K S, AXTELL J D, LECHTENBERG V L, COLENBRANDER V F. Phenotype, fiber composition, and in vitro dry-matter disappearance of chemically-induced brown midrib (bmr) mutants of sorghum. *Crop Science*, 1978, 18(2): 205-208.
- [33] HANNA W W, MONSON W G, GAINES T P. IVDMD, total sugars, and lignin measurements on normal and brown midrib (bmr) sorghums at various stages of development. *Agronomy Journal*, 1981, 73(6): 1050-1052.
- [34] MIRON J, SOLOMON R, ADIN G, NIR U, NIKBACHAT M. Effects of harvest stage and re-growth on yield, composition, ensilage and in vitro digestibility of new forage sorghum varieties. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2010, 86(1): 140-147.
- [35] 张福耀, 平俊爱, 王瑞. 褐色中脉 bmr 高粱研究与利用进展. *中国农业科技导报*, 2009, 11(2): 30-33.
ZHANG F Y, PING J A, WANG R. Progress on research and utilization of bmr sorghum. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2009, 11(2): 30-33.
- [36] BECK P A, HUTCHISON S, GUNTER S A, LOSI T C, STEWART C B, CAPPS P K, PHILLIPS J M. Chemical composition and in situ dry matter and fiber disappearance of sorghum × *Sudangrass hybrids*. *Journal of Animal Science*, 2007, 85(2): 545-555.
- [37] 崔凤娟, 田福东, 王振国, 李岩, 徐庆全, 胡瑞梅, 李默, 邓志兰, 周福荣. 饲用高粱品种品质性状的比较及评价. *草地学报*, 2012, 20(6): 1112-1116.
CUI F J, TIAN F D, WANG Z G, LI Y, XU Q S, HU R M, LI M, DENG Z L, ZHOU F R. Comparison and evaluation of quality traits of between forage forghum varieties. *Aact Agrestia Sinica*, 2012, 20(6): 1112-1116.

- [38] WILSON J R. Organization of forage plant tissues. *Biochemical Journal*, 1993, 213(2): 485-494.
- [39] SCHMID A R, GOODRICH R D, JORDAN R M, MARTEN G C, MEISKE J C. Relationships among agronomic characteristics of corn and sorghum cultivars and silage quality. *Agronomy Journal*, 1976, 68(2): 403-406.
- [40] CUMMINS D G. Yield and quality changes with maturity of silage-type sorghum fodder. *Agronomy Journal*, 1981, 73(6): 988-990.
- [41] 詹秋文, 林平, 钱章强. 皖草 3 号的选育及其特征特性. *作物杂志*, 2006(4): 35-36.
ZHAN Q W, LIN P, QIAN Z Q. Breeding and characteristics of Wancao 3. *Crops*, 2006(4): 35-36.
- [42] 张秋芝, 潘金豹, 南张杰, 郝玉兰. 不同种植密度对青贮玉米品质的影响. *北京农学院学报*, 2007, 22(2): 10-12.
ZHANG Q Z, PAN J B, NAN Z J, HAO Y L. Effect of planting densities on qualities of silage corn. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 2007, 22(2): 10-12.
- [43] 文建国, 万洁, 杨应东, 韦雷飞. 攀枝花干热河谷地带青贮玉米引种试验. *草业科学*, 2013, 30(1): 120-124.
WEN J G, WAN J, YANG Y D, WEI L F. Introduction experiment of silage corn cultivars in Panzhihua dry-hot valley area. *Pratacultural Science*, 2013, 30(1): 120-124.
- [44] 林治安, 许建新, 梁业森, 田昌玉, 杨守信. 优质青绿饲草饲喂奶牛试验初报. *中国奶牛*, 2004(4): 30-31.
LIN Z A, XU J X, LIANG Y S, TIAN C Y, YANG S X. Preliminary report on feeding dairy cows with high quality green forage forage. *China Dairy Cattle*, 2004(4): 30-31.
- [45] 冯杰, 熊光源, 夏先林, 杨通宽, 欧仁彪. 高丹草对波本杂羔羊的饲喂效果比较. *贵州畜牧兽医*, 2006, 30(6): 3-4.
FEN J, XIONG G Y, XIA X L, YANG T K, OU R B. Study of foraging effect on sorghum hybrid sudangrass for hybridized lamb. *Guizhou Animal Science and Veterinary Medicine*, 2006, 30(6): 3-4.
- [46] 牟芝兰. 饲用杂交高粱和苏丹草饲喂草鱼研究. *草业科学*, 2001, 18(6): 67-69.
MOU Z L. Forage Hybrid sorghumsultan grassfeed grass carp research. *Pratacultural Science*, 2001, 18(6): 67-69.
- [47] 苏爱莲. 最新优质饲草: 高丹草. *草业科学*, 2002, 19(2): 47-49.
SU A L. The latest high quality forage: Gaodan grass. *Pratacultural Science*, 2002, 19(2): 47-49.
- [48] VENDRAMINI J, NEWMAN Y, ERICKSON J, VERMERRIS W, WRIGHT A D. Forage sorghum. *Agronomy*, 2016, 4: 1-12.
- [49] FILYA I. The effect of lactobacillus buchneri and lactobacillus plantarum on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(11): 3575-3581.
- [50] 陈云鹏, 李莲芬, 沈丽坤, 蒋丽华, 李英, 张俊. 高丹草和全株玉米青贮育肥肉牛效果及屠宰测定. // 第三届中国牛业发展大会论文集. 北京: 中国畜牧业协会, 2008: 331-334.
CHEN Y P, LI L F, SHEN L K, JIANG L H, LI Y, ZHANG J. Fattening effect of Stak-sudanenses and whole maize silage on beef cattle and slaughter test. // Paper Collection of the Third China Development Conference on Cattle industry. Beijing: China Animal Husbandry Association, 2008: 331-334.
- [51] BROWNING C B, LUSK J W. Comparison of feeding value of corn and grain sorghum silages on the basis of milk production and digestibility. *Journal of Dairy Science*, 1966, 49(12): 1511-1514.
- [52] ASTIGARRAGA L, BIANCO A, MELLO R, MONTEDÓNICO D. Comparison of brown midrib sorghum with conventional sorghum forage for grazing dairy cows. *American Journal of Plant Sciences*, 2014, 5(7): 955-962.
- [53] DANN H M, GRANT R J, COTANCH, K W, THOMAS E D, BALLARD C S, RICE R. Comparison of brown midrib sorghum-sudangrass with corn silage on lactational performance and nutrient digestibility in holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2008, 91(2): 663-672.
- [54] CATTANI M, GUZZO N, MANTOVANI R, BAILONI L. Effects of total replacement of corn silage with sorghum silage on milk yield, composition, and quality. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2017, 8(3): 652-659.
- [55] 李玉清, 邹丽娟. 饲用高粱的特性及生产管理. *养殖技术顾问*, 2009(2): 46.
LI Y Q, ZOU L J. The characteristics and production management of forage sorghum. *Aquaculture Consultant*, 2009(2): 46.
- [56] 刘素云. 成熟高粱植株中氰化物研究. *中国饲料*, 1997(16): 31-32.
LIU S Y. Study cyanide in mature sorghum plants. *Chinese Feed*, 1997(16): 31-32.
- [57] 杨久仙, 刘建胜. *动物营养与饲料加工*. 北京: 中国农业出版, 2011.
YANG J X, LIU J S. *Animal nutrition and feed processing*. Beijing: China Agriculture Press, 2011.
- [58] 李平. 单宁是影响生长猪对高粱消化代谢能和能量表观消化率及其预测方程的关键因子. *广东饲料*, 2017(1): 50-51.
LI P. Tannin is a key factor affecting the digestibility and energy digestibility and prediction equation of sorghum. *Guangdong*

- Feed, 2017(1):50-51.
- [59] BARRY T N, ALLSOP T F, REDEKOPP C. The role of condensed tannins in the nutritional value of lotus pedunculatus for sheep; 5. effects on the endocrine system and on adipose tissue metabolism. *British Journal of Nutrition*, 1986, 55(1):123.
- [60] 张晓庆, 穆怀彬, 侯向阳, 闫伟红, 李平, 李鹏, 苏佳楼. 我国青贮玉米种植及其产量与品质研究进展. *畜牧与饲料科学*, 2013, 34(1):54-57.
- ZHANG X Q, MU H B, HOU X Y, YAN W H, LI P, LI P, SU J L. Review on the planting of forage corn in China and its yield and quality. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2013, 34(1):54-57.
- [61] COLAIZZI P D, BLIESNER R D, HARDY L A, BABCOCK R W, WALTON R. A review of evolving critical priorities for irrigated agriculture. *Hawaii: World Environmental and Water Resources Congress*, 2008:1-14.
- [62] 赵甘霖, 丁国祥, 熊洪, 曾庆曦. 我国高粱-苏丹草杂交种研究进展及应用前景. *西南农业学报*, 2003, 16(4):126-129.
- ZHAO G L, DING G X, XIONG H, ZENG Q X. Research advance and application of hybrid between sorghum and Sudan grass in Chian. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2003, 16(4):126-129.
- [63] CORREDOR D Y, SALAZAR J M, HOHN K L, BEAN S, BEAN B, WANG D. Evaluation and characterization of forage sorghum as feedstock for fermentable sugar production. *Appl Biochem Biotechnol*, 2009, 158(1):164-179.

(责任编辑 张瑾)

《草业科学》2019 年征订启事

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

《草业科学》1984 年创刊,由中国科学技术协会主管、中国草学会和兰州大学草地农业科技学院主办,是面向国内外公开发行的综合性科技期刊。本刊为“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”和 CSCD 核心库来源期刊,并被《中国核心期刊(遴选)数据库》、中国科学期刊文献数据库、英国 CABI、《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、中国科技期刊数据库、《中国生物学文摘》和“中国生物学文献数据库”收录为固定源期刊。2015 年《草业科学》入选第四期(2015—2017 年)中国科协精品科技期刊工程学术质量提升项目,2018 年入选中国科协中文科技期刊精品建设计划项目。近几年,《草业科学》相继获得“全国畜牧兽医优秀期刊一等奖”、“全国优秀农业期刊贰等奖”和“中国精品科技期刊”等荣誉。据 2018 年版科技部中国科技信息所《中国科技期刊引证报告》,总被引频次和影响因子分别为 3 602 和 1.528,在草学类期刊中综合排名第二。

《草业科学》主要刊载国内外草业科学及其相关领域,如畜牧学、作物学、园艺学、生物学、林学、环境工程与科学、经济学和管理学等领域的创新性理论研究、技术开发、成果示范推广等方面的论文、综述、专论和学科前沿动态等。本刊结合草业科学学科发展和科技期刊的定位,目前主要设有专论、前植物生产层、植物生产层、动物生产层、后生物生产层、简报、业界信息等栏目,不仅为高校、科研单位的师生提供交流平台,同时为基层科技人员的成果交流创造机会。另外,本刊广告服务项目范围为畜牧机械、草种、化学药剂、仪器设备以及科研机构、重点实验室、高科技农业企业的形象广告等。

《草业科学》为月刊,大 16 开本,亚芬纸印刷,彩色封面覆膜,国内外公开发行,邮发代号 54 51,每期定价 20 元,全年 240 元。全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系订阅。

标准刊号:ISSN 1001-0629

CN 62-1069/S

邮发代号:54-51

地址:兰州市城关区嘉峪关西路 9 号《草业科学》编辑部

邮编:730020

电话:0931-8912486

传真:0931-8912486

E-mail:cykx@lzu.edu.cn

网址:http://cykx.lzu.edu.cn

微信公众号:cykx-journal



<http://cykx.lzu.edu.cn>