



# 不同生长时期收获对甜高粱农艺性状及营养品质的影响

王海莲, 王润丰, 刘宾, 张华文

(山东省农业科学院作物研究所/山东省特色作物工程实验室, 济南 250100)

**摘要:** 【目的】甜高粱是重要的饲草作物之一, 种植广泛。研究甜高粱不同生长时期的生物产量、营养品质以及饲用价值, 可为确定甜高粱作为饲草的适宜收获期提供依据。【方法】以甜高粱杂交种济甜杂2号为研究材料, 在济南市历城区和济阳区大田以及东营市盐碱地种植, 分别在孕穗期、开花期、乳熟期、蜡熟期和完熟期收获取样, 对相关农艺性状和营养品质指标进行比较分析, 并对不同生长时期的相对饲用价值进行评价。【结果】济甜杂2号植株高大, 历城区和东营市株高在蜡熟期达到最大, 分别为440.0和390.0 cm, 济阳区在完熟期达到最大为445.9 cm。茎秆是构成济甜杂2号总生物量的主要部分, 在孕穗期、开花期、乳熟期、蜡熟期和完熟期茎秆鲜重分别占总鲜重的83.8%、83.3%、78.9%、78.4%和78.5%。随着生育期的推进, 从孕穗期到蜡熟期, 历城区和东营市总鲜重呈递增趋势, 在蜡熟期达到最大, 分别为1 970.5和1 977.5 g/plant, 在完熟期降低。济阳区从孕穗期到完熟期总鲜重呈递增趋势, 最大值为2 389.4 g/plant; 历城区和东营市总干重在蜡熟期达到最大, 分别为487.2和469.0 g/plant, 济阳区总干重在完熟期达到最大为573.5 g/plant。环境、生长时期以及环境和生长时期互作效应对株高、叶鲜重、秆鲜重、穗鲜重、总鲜重和总干重有显著影响。中性洗涤纤维含量随着生育期的推进逐渐增加, 济阳区和东营市均在孕穗期最小, 分别为45.27%和46.33%; 酸性洗涤纤维含量也表现出相同的增长趋势, 济阳区和东营市在孕穗期最小, 分别为29.06%和32.07%。粗蛋白质含量在各个生长时期变化较大, 没有明显的变化规律, 济阳区在孕穗期最大为6.29%, 东营市在开花期最大为6.83%。可溶性碳水化合物含量随着生育期的推进, 均在完熟期达到最大, 济阳区和东营市分别为14.09%和15.69%。灰分含量随着生育期的推进, 济阳区在完熟期达到最大为8.53%, 东营市在蜡熟期达到最大为5.36%。环境、生长时期以及环境和生长时期互作效应对中性洗涤纤维含量、酸性洗涤纤维含量、粗蛋白质含量、可溶性碳水化合物含量和灰分含量的影响达到显著性水平。干物质采食量在5个生长时期表现出逐渐降低的趋势, 济阳区和东营市在孕穗期最大, 分别为2.65%和2.59%, 可消化干物质也在孕穗期最大, 分别为66.26%和63.92%, 相对饲用价值也是在孕穗期最大, 在济阳区和东营市分别为136.17和128.35。环境、生长时期以及环境和生长时期互作效应对干物质采食量、可消化干物质和相对饲用价值有显著影响。【结论】甜高粱的生物量、营养品质和相对饲用价值受环境、生长时期以及环境和生长时期互作效应的显著影响。蜡熟期前后收获可获得最大生物量, 孕穗期收获干物质采食量、可消化干物质和相对饲用价值最高。但综合考虑生物量、营养品质和青贮品质, 乳熟期到蜡熟期是甜高粱的最佳收获时期。

**关键词:** 甜高粱; 不同生长时期; 农艺性状; 营养品质; 相对饲用价值

## Effects of Harvesting at Different Growth Stage on Agronomic and Nutritional Quality Related Traits of Sweet Sorghum

WANG HaiLian, WANG RunFeng, LIU Bin, ZHANG HuaWen

收稿日期: 2019-06-05; 接受日期: 2019-07-31

基金项目: 山东省重大科技创新工程(2019JZZY020807), 山东省“渤海粮仓”科技示范工程(2019BHLC002)、国家重点研发计划(2019YFD1002703)、山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2018D02)、国家谷子高粱产业技术体系(CARS-06-13.5-B23)

联系方式: 王海莲, E-mail: wanghailian11@163.com. 通信作者张华文, E-mail: zhwws518@163.com

(Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences/Featured Crops Engineering Laboratory of Shandong Province, Jinan 250100)

**Abstract:** 【Objective】 Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is one of the most important forage crops and is widely cultivated. Studies on biological yield, nutritional quality and forage value of sweet sorghum at different growth stages could provide theoretical guidance for determining the suitable harvesting time of sweet sorghum as forage. 【Method】 Sweet sorghum hybrid, Jitianza No.2, was used as an experiment material, planted in Licheng and Jiyang District in Jinan, and Dongying Cities, and mowed at booting, flowering, milky, dough and physiologic maturity stages. Agronomic and nutritional quality related traits were analyzed, and relative feed values (RFV) at five growth stages were evaluated. 【Result】 The largest value of plant height of Jitianza No.2 were 440.0 cm and 390.0 cm at dough stage in Licheng District and Dongying City, and 445.9 cm at physiologic maturity stage in Jiyang District. Stem is the main component of total fresh weight (TFW) and occupied 83.8%, 83.3%, 78.9%, 78.4% and 78.5% of TFW at five growth stages, respectively. With development of plant, TFW was gradually increased from boot stage to dough stage and decreased at physiologic maturity stage in Licheng District and Dongying City. The maximum TFW were 1 970.5 g/plant and 1 977.5 g/plant. TFW was increased from boot stage to physiologic maturity stage with the maximum TFW of 2 389.4 g/plant in Jiyang District. Total dry weight (TDW) showed the same change trend as TFW, and the maximum TDW of 487.2 g/plant and 469.0 g/plant were reached at dough stage in Licheng District and Dongying City, and 573.5 g/plant at physiologic maturity stage in Jiyang District. Significant effects by environment, growth stage and interaction between environment and growth stage were identified in plant height, leaf fresh weight, stem fresh weight, panicle fresh weight, TFW and TDW. The content of neutral detergent fiber (NDF) was gradually increased with development of plant and the minimum were 45.27% and 46.33% at booting stage, respectively, in Jiyang District and Dongying City. Acid detergent fiber (ADF) content had a similar trend with NDF and the minimum of 29.06% and 32.07% were found at booting stage in Jiyang District and Dongying City. Crude protein (CP) content varied largely in each growth period, with the highest values of 6.29% at booting stage in Jiyang District and 6.83% at flowering stage in Dongying City. Soluble carbohydrate (SC) content was increased significantly at each growth period and reached the maximum of 14.09% and 15.69% at physiologic maturity stage, respectively, in Jiyang District and Dongying City. Ash content was gradually increased with development of plant and the maximum of 8.53% and 5.36% were reached at physiologic maturity stage in Jiyang District and dough stage in Dongying City. Effects by environment, growth stage and interaction between environment and growth stage were significant in NDF, ADF, CP, SC and ash content. With growth of plant, dry matter intake (DMI) at five growth stages was gradually decreased, and the maximum were 2.65% and 2.59% at booting stage in two environments, respectively. Digestible dry matter (DDM) had the same change trend as DMI and the maximum were 66.26% and 63.92% in Jiyang District and Dongying City. Similarly, the maximum RFV of 136.17 and 128.35 were found at booting stage. Significant effects by the environment, growth stage and interaction between environment and growth stage were found in DMI, DDM and RFV. 【Conclusion】 Biomass, nutritional quality and RFV of sweet sorghum were significantly affected by environment, harvesting stage and environment-harvesting stage interaction. The largest biomass could be obtained at about dough stage, and the highest DMI, DDM and RFV could be reached at booting stage. However, considering the optimal combination of biomass, nutrient quality and silage quality, the optimum harvesting stage was between milk and dough stage.

**Key words:** sweet sorghum; different growth stage; agronomic traits; nutritional quality; relative feed value

## 0 引言

【研究意义】甜高粱为  $C_4$  作物, 是粒用高粱的一个变种, 杂种优势强, 生物量和茎秆含糖量高, 可粮秆兼收、能饲兼用、用途广泛<sup>[1-5]</sup>。甜高粱具有突出的抗旱、耐瘠、耐涝、耐盐碱能力, 可在中国降水稀少的西部地区、大面积盐碱地和贫瘠土地上种植。随着人们生活水平的提高, 对肉、蛋、奶等需求的大幅提高, 畜牧业快速发展, 人畜争粮争地矛盾日趋显著<sup>[6]</sup>。

甜高粱作为饲草, 不仅生物产量高, 抗逆性强, 而且营养丰富, 尤其是青贮发酵后, 饲用价值与青贮玉米相当, 甚至高于青贮玉米<sup>[7-11]</sup>。因此, 开展不同收获时期对甜高粱相关农艺性状、生物产量、营养品质和饲用价值的研究, 获得甜高粱收获的最佳时期, 可为中国甜高粱生产提供理论指导, 推动甜高粱饲草产业发展, 助推中国乡村振兴战略实施。【前人研究进展】甜高粱作为优质饲草, 有多种使用方式。株高 1.5 m 以上时直接收获鲜草, 喂食牛、羊、鸭、鹅等家畜和

家禽<sup>[12-13]</sup>；也可选择适宜的时期，多次刈割，晒成干草，喂食牲畜<sup>[14]</sup>；还可将甜高粱收获、粉碎制作成保存期长、消化率高、营养丰富的青贮饲料<sup>[4,15]</sup>。高粱作为优质的饲草作物，其生物产量和饲用品质受基因型、肥料、灌溉、种植密度和收获时期等因素的影响<sup>[16-18]</sup>。不同生长时期收获对甜高粱生物产量和营养品质的影响，前人开展了相关研究。通过对处于抽穗期和蜡熟期的3个甜高粱分别收获取样研究显示，干物质质量蜡熟期高于抽穗期，粗蛋白质含量和中性洗涤纤维含量蜡熟期低于抽穗期，水溶性碳水化合物含量在3个品种间表现不一致<sup>[18]</sup>。在孕穗期和成熟期各收获一次，总生物量要高于仅在成熟期收获一次的生物量<sup>[19]</sup>。从开花期到成熟期，随着生育进程的推进，生物量、干物质质量、蛋白质产量和相对饲料价值逐渐增加，而中性洗涤纤维含量，酸性洗涤纤维含量，蛋白质含量逐渐降低<sup>[20]</sup>。还有研究显示，随着生育进程的推进，中性洗涤纤维含量和酸性洗涤纤维含量均在完熟期最大，粗蛋白含量在开花期最大<sup>[21]</sup>。【本研究切入点】尽管前人对甜高粱不同生长时期收获对生物产量和营养品质的影响做了相关研究，但是由于不同研究者选用的品种不同，收获时所处的生长时期不同，另外，由于甜高粱对光照反应敏感<sup>[22-23]</sup>，生长环境的差异对生物量和营养品质有较大的影响。因此，每个研究者的研究结果不尽相同。在甜高粱大田生产中，收获时期的选择也缺乏相关理论的指导。为了获得生物产量、营养品质和饲用价值的最优组合，实现甜高粱种植效益的最大化，开展青贮用甜高粱最佳收获时期研究对提高甜高粱的饲用价值、缩短生长周期以及缓解中国饲草供应矛盾具有非常重要的意义。【拟解决的关键问题】本研究以甜高粱杂交种济甜杂2号为研究材料，在济南市历城区和济阳区大田以及东营市盐碱地种植，分别在孕穗期、开花期、乳熟期、蜡熟期和完熟期5个时期收获取样，通过对相关农艺性状、营养品质和饲用价值等指标的综合比较分析，获得济甜杂2号收获的最佳时期，以期对青贮用甜高粱在中国的栽培种植和推广应用提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与种植方式

济甜杂2号是山东省农业科学院作物研究所自主选育甜高粱杂交种，2014年通过山东省草品种委员会审定。将该杂交种于2017年5月12日播种于山东省农业科学院作物研究所试验基地（济南市历城区），

前茬为棉花，中壤土，播种时取土样测量土壤基础养分，有机质含量为22.52 g·kg<sup>-1</sup>，速效氮、磷、钾含量分别为46.59、18.13和262.33 mg·kg<sup>-1</sup>。2018年5月25日播种于山东省农业科学院试验基地（济南市济阳区），前茬为玉米，沙壤土，播种时取土样测量基础养分，土壤有机质含量为24.89 g·kg<sup>-1</sup>，速效氮、磷、钾含量分别为53.24、19.58和196.45 mg·kg<sup>-1</sup>。2018年5月18日播种于东营市山东省农业科学院试验基地，前茬为玉米，滨海盐化砂壤土，播种时取土样测量基础养分，土壤有机质含量为21.33 g·kg<sup>-1</sup>，速效氮、磷、钾含量分别为40.69、11.13和209.67 mg·kg<sup>-1</sup>，水溶性盐含量3.16 g·kg<sup>-1</sup>，pH 7.78。试验共设3个小区，每个小区15行，行长5 m，行距66 cm，株距20 cm，留苗密度75 000株/hm<sup>2</sup>。3个环境均采用相同的播种方式，其他管理同大田。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 农艺性状测定 根据不同生长时期农艺性状特点取样。5个生长时期的划分标准如下，孕穗期指幼穗已经发育成型，旗叶鞘明显鼓起，但幼穗还未从旗叶鞘抽出；开花期指穗子已经完全抽出，并且有一半以上小穗正在开花散粉；乳熟期指田间一半以上穗子胚乳成乳液状；蜡熟期指籽粒已完全成型，胚乳成蜡质状，用指甲可以将种子掐开；完熟期指籽粒完全变硬成熟。分别在孕穗期、开花期、乳熟期、蜡熟期和完熟期从每个小区固定的两行选取10株长势一致高粱植株，距离地面5 cm刈割，用米尺测量从茎秆底部到穗顶的垂直高度为株高，孕穗期的株高为从茎秆底部到旗叶叶鞘基部的高度；用游标卡尺测量植株从地表起第三节间的直径为茎粗；用电子天平称量整个植株的重量为总鲜重；然后将所有的叶片从叶鞘处剪下，穗子从叶痕处剪下，分别用电子天平称量叶片、穗子和茎秆的重量，称量完毕将每个小区所取的叶片、穗子和茎秆用秸秆粉碎机粉碎成2—3 cm的片段，放于105℃烘箱杀青30 min，70℃烘至恒重，称量总干重。

1.2.2 营养品质测定 将烘干后的样品用粉碎机粉碎成过0.5 mm筛的粉末，用于分析营养品质指标。用范氏洗涤法测定中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量；用凯氏定氮法测定粗蛋白含量；用蒽酮-硫酸比色法测定可溶性碳水化合物含量；用直接灰分法测量灰分含量。

1.2.3 相对饲用价值分析 相对饲用价值（relative feed value, RFV）、干物质采食量（dry matter intake,

DMI, %) 以及可消化干物质 (digestible dry matter, DDM, %) 计算公式如下<sup>[20,24]</sup>:

RFV=DMI×DDM/1.29;

DMI (%) =120/NDF;

DDM (%) =88.9-0.779×ADF。

1.3 数据分析

利用 Excel 2007 进行数据处理和作图, 采用 Minitab18 软件进行方差分析和 Duncan 氏多重比较分析。

2 结果

2.1 不同生长时期收获对济甜杂 2 号相关农艺性状的影响

从表 1 可以看出, 在历城区大田, 济甜杂 2 号随着生育期的推进, 株高、叶鲜重、秆鲜重、总鲜重和总干重呈递增趋势, 均在蜡熟期达到最大, 分别为

440.0 cm、299.1 g/plant、1 521.4 g/plant、1 970.5 g/plant 和 487.2 g/plant, 完熟期时均呈现下降趋势。蜡熟期的株高、叶鲜重和秆鲜重与乳熟期差异不显著, 与孕穗期、开花期和完熟期差异显著。蜡熟期总鲜重和总干重与其他 4 个时期差异显著。穗鲜重在完熟期达到最大为 169.7 g/plant, 与其他 2 个生长时期差异显著。

济阳区大田, 济甜杂 2 号随着生育期的推进, 株高、秆鲜重、穗鲜重、总鲜重和总干重呈递增趋势, 均在完熟期达到最大, 分别为 445.9 cm、1 900.4 g/plant、200.7 g/plant、2 389.4 g/plant 和 573.5 g/plant。但是, 完熟期的株高、秆鲜重和总干重与蜡熟期差异不显著, 与其他 3 个生长时期差异显著。穗鲜重和总鲜重与其他时期差异显著。叶鲜重在蜡熟期最大, 为 316.9 g/plant, 与乳熟期差异不显著, 与其他 3 个生长时期差异显著。

东营市盐碱地, 济甜杂 2 号随着生育期的推进,

表 1 3 种环境中济甜杂 2 号在 5 个生长时期农艺性状的统计分析

Table 1 Statistical analysis of agronomic traits at five growth stages in three environments

环境	时期	株高	叶鲜重	秆鲜重	穗鲜重	总鲜重	总干重
Environment	Stage	PH (cm)	LFW (g/plant)	SFW (g/plant)	PFW (g/plant)	TFW (g/plant)	TDW (g/plant)
E1	S1	415.9±6.5a	260.5±15.8ab	1373.7±31.0ab	—	1664.2±35.3a	371.9±3.8a
	S2	418.1±4.8a	267.9±10.7ab	1421.4±11.6ad	—	1689.3±20.8a	392.9±3.5b
	S3	427.3±6.4abc	275.6±14.7bc	1468.3±31.3cd	122.2±2.5a	1866.1±22.7b	441.6±3.6c
	S4	440.0±2.0b	299.1±20.8c	1521.4±37.3c	150.0±1.2b	1970.5±28.8c	487.2±2.7d
	S5	432.4±3.3c	217.3±13.1a	1363.0±23.0b	169.7±1.8c	1750.0±32.0d	432.3±1.5e
E2	S1	380.9±2.9a	240.4±14.6a	1716.2±19.6 a	—	1956.6±29.6a	430.2±1.4a
	S2	415.6±3.0b	248.1±10.7a	1648.5±27.0b	—	1896.6±30.2a	425.5±1.7b
	S3	433.9±4.2c	304.8±12.0bc	1834.9±20.6c	80.5±1.6a	2220.3±19.6b	525.1±1.5c
	S4	443.6±7.7d	316.9±18.0c	1887.2±28.5d	122.7±3.5b	2326.7±44.9c	551.8±1.9d
	S5	445.9±4.2d	288.2±11.8b	1900.4±33.5d	200.7±1.4c	2389.4±33.0d	573.5±2.2d
E3	S1	360.2±1.6a	319.4±12.7a	1376.3±18.2a	—	1695.8±23.5a	373.0±0.6a
	S2	369.9±1.6b	364.2±12.6b	1373.4±16.2a	—	1737.6±25.4a	386.2±3.2b
	S3	378.8±3.5c	366.4±11.3b	1472.0±30.7b	111.8±1.8a	1950.2±26.8b	458.4±1.7b
	S4	390.0±2.3d	296.2±5.0c	1520.4±18.8b	160.9±2.9b	1977.5±14.7b	469.0±2.4c
	S5	380.3±3.0c	265.0±5.1d	1475.6±17.9c	151.2±2.6c	1891.8±19.8c	456.00±3.5d
E	F 值 F value	716.58**	110.66**	1683.48**	145.23**	1240.61**	4325.24**
S	F 值 F value	128.07**	43.17**	113.52**	3581.47**	419.63**	3696.88**
E×S	F 值 F value	19.09**	37.21**	24.19**	400.55**	47.48**	220.76**

E1、E2 和 E3 分别代表 2017 年济南市历城区、2018 年济南市济阳区和 2018 年东营市; S1—S5 分别代表孕穗期、开花期、乳熟期、蜡熟期和完熟期。PH: 株高; LFW: 叶鲜重; SFW: 秆鲜重; PFW: 穗鲜重; TFW: 总鲜重; TDW: 总干重。同列不同字母表示同一环境不同生长时期期间差异显著性 ( $P<0.05$ ), \*\*:  $P<0.01$ 。下同

E1, E2 and E3 represent Licheng District in 2017, Jiyang District in 2018 and Dongying City in 2018, respectively. S1-S5 represents booting, flowering, milky, dough and physiologic maturity stage. PH: Plant height; LFW: Leaf fresh weight; SFW: Stem fresh weight; PFW: Panicle fresh weight; TFW: Total fresh weight; TDW: Total dry weight; Different letter within a column means significant difference at  $P<0.05$ . \*\* indicates significant difference at 0.01 level. The same as below

株高、秆鲜重、穗鲜重、总鲜重和总干重呈递增趋势，均在蜡熟期达到最大，分别为 390.0 cm、1 520.4 g/plant、160.9 g/plant、1 977.5 g/plant 和 469.0 g/plant。株高、穗鲜重和总干重与其他 4 个生长时期差异显著，秆鲜重和总鲜重与乳熟期差异不显著，但是与其他 3 个生长时期差异显著。叶鲜重在乳熟期达到最大为 366.4 g/plant，与开花期差异不显著，与其他 3 个生长时期差异显著。

环境、生长时期以及环境和生长时期互作效应对济甜杂 2 号的株高、叶鲜重、秆鲜重、穗鲜重、总鲜重和总干重均有极显著性影响 ( $P<0.01$ )。

表 2 济甜杂 2 号植株不同生长时期叶、秆和穗占总鲜重的比例

Table 2 Proportion of leaves, stem and panicle in total fresh weight at different growth stage of Jitianza No.2

环境	时期	叶占比例	秆占比例	穗占比例
Environment	Stage	Proportion of leaves (%)	Proportion of stem (%)	Proportion of panicle (%)
E1	S1	17.5	82.5	0.0
E2	S1	12.3	87.7	0.0
E3	S1	18.8	81.2	0.0
平均 Average		16.2	83.8	0.0
E1	S2	15.9	84.1	0.0
E2	S2	13.1	86.9	0.0
E3	S2	21.0	79.0	0.0
平均 Average		16.7	83.3	0.0
E1	S3	14.8	78.7	6.5
E2	S3	13.7	82.6	3.6
E3	S3	18.8	75.5	5.7
平均 Average		15.8	78.9	5.3
E1	S4	15.2	77.2	7.6
E2	S4	13.6	81.1	5.3
E3	S4	15.0	76.9	8.1
平均 Average		14.6	78.4	7.0
E1	S5	12.4	77.9	9.7
E2	S5	12.1	79.5	8.4
E3	S5	14.0	78.0	8.0
平均 Average		12.8	78.5	8.7

2.3 不同生长时期收获对济甜杂 2 号全株营养成分的影响

从表 3 可以看出，济阳区中性洗涤纤维含量随着生育期的推进呈递增趋势，在孕穗期为 45.27%，在完熟期达到最大，为 62.04%，并且各个生长时期间差异显著。酸性洗涤纤维含量从孕穗期到蜡熟期呈递增趋势，直到完熟期呈现下降趋势，孕穗期最小，为

2.2 不同生长时期穗鲜重、秆鲜重和叶鲜重占总鲜重的比例和动态变化

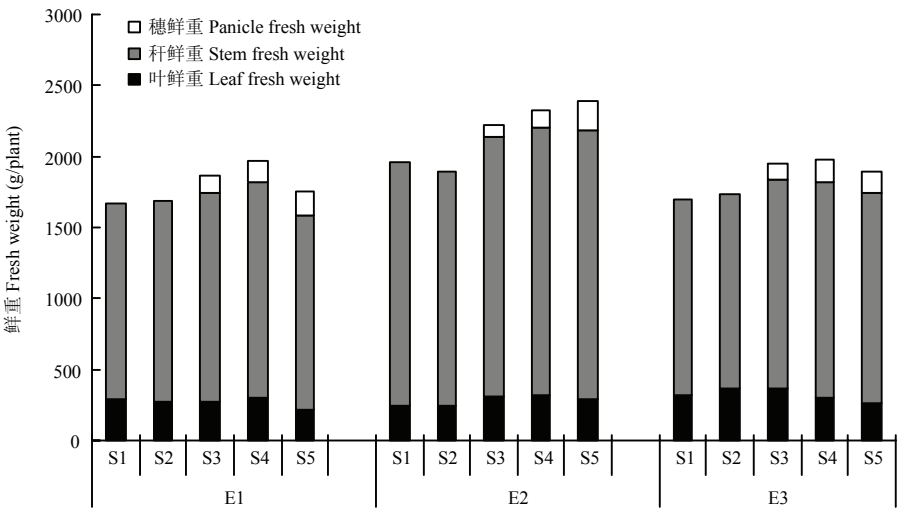
从表 2 和图 1 可以看出，3 个环境无论哪个生长时期济甜杂 2 号的秆鲜重在总鲜重中占的比例最大，5 个生长时期平均所占比例分别为 83.8%、83.3%、78.9%、78.4%和 78.5%，其中，在孕穗期和开花期所占比例最大。叶鲜重所占比例历城区在孕穗期最大，为 17.5%，济阳区在灌浆期最大，为 13.7%，2018 年东营市在开花期最大，为 21.0%。穗鲜重在 3 个环境中所占比例不同，分别为 5.3%、7.0%和 8.7%。

29.06%，蜡熟期最大，为 39.44%，各个生长时期间差异显著。粗蛋白含量从孕穗期到灌浆期逐渐减少，直到蜡熟期和完熟期又逐渐增高，孕穗期最大，为 6.29%，灌浆期最小，为 5.42%，各个生长时期间差异显著。可溶性碳水化合物含量随着生育期的推进递增，在完熟期达到最大，为 14.09%。灰分含量从孕穗期到开花期降低，开花期后又逐渐增加，开花期最小，为

5.53%，与孕穗期和灌浆期差异不显著，与其他 2 个生长期差异显著。完熟期最大，为 8.53%，与蜡熟期差异不显著。

东营市中性洗涤纤维含量随着生育期的推进呈递增趋势，在孕穗期最小，为 46.33%，到了完熟期达到最大，为 56.63%，各个生长时期差异达显著性水平。

酸性洗涤纤维含量从孕穗期到完熟期呈递增趋势，孕穗期最小，为 32.07%，蜡熟期最大，为 35.43%，各生长时期差异显著。粗蛋白含量从孕穗期到完熟期呈现出增加-降低-增加-降低的趋势，开花期最大，为 6.83 %。可溶性碳水化合物含量随着生育期的推进呈递增趋势，在完熟期达到最大，为 15.69%，与其他 4



E1、E2 和 E3 分别代表 2017 年济南市历城区、2018 年济南市济阳区和 2018 年东营市；S1—S5 分别代表孕穗期、开花期、乳熟期、蜡熟期和完熟期  
E1, E2 and E3 represent Licheng District in 2017, Jiyang District in 2018 and Dongying City in 2018, respectively. S1-S5 represents booting, flowering, milky, dough and physiologic maturity stage

图 1 济甜杂 2 号在 5 个生长时期的穗鲜重、秆鲜重和叶鲜重的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of panicle, stem and leaf fresh weight of Jitianza No.2 at five growth stages

表 3 2 个环境中济甜杂 2 号在 5 个生长时期全株营养品质统计分析

Table 3 Statistical analysis of nutritional quality at five growth stages in two environments

环境 Environment	时期 Stage	中性洗涤纤维 NDF (%)	酸性洗涤纤维 ADF (%)	粗蛋白 CP (%)	可溶性碳水化合物 SC (%)	灰分 Ash (%)
E2	S1	45.27±0.21a	29.06±0.05a	6.29±0.065a	9.73±0.044a	5.93±0.56a
	S2	51.53±0.25b	32.72±0.021b	6.18±0.04b	9.30±0.036b	5.53±0.031ba
	S3	56.17±0.091c	35.34±0.046c	5.42±0.085c	12.50±0.02c	5.75±0.021b
	S4	60.53±0.55d	39.44±0.051d	5.57±0.043d	13.79±0.04d	8.33±0.035c
	S5	62.04±0.051e	38.48±0.036e	5.92±0.039e	14.09±0.025e	8.53±0.025c
E3	S1	46.33±0.11a	32.07±0.067a	6.51±0.044a	12.28±0.062a	4.68±0.015a
	S2	51.58±0.45b	32.33±0.091b	6.83±0.043b	12.93±0.065b	5.04±0.025ab
	S3	52.37±0.06c	33.56±0.055c	6.47±0.062a	12.96±0.049b	5.16±0.015b
	S4	55.00±0.2d	34.31±0.076d	6.54±0.074a	13.70±0.026c	5.36±0.021b
	S5	56.63±0.38e	35.43±0.031e	6.32±0.035c	15.69±0.027d	5.34±0.032b
E	F 值 F value	679.29**	5145.78**	1762.85**	3571.5**	405.16**
S	F 值 F value	2092.54**	14680.76**	213.2**	1735.34**	134.57**
E×S	F 值 F value	197.47**	4430.13**	72.75**	238.69**	76.49**

NDF：中性洗涤纤维；ADF：酸性洗涤纤维；CP：粗蛋白；SC：可溶性碳水化合物  
NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber; CP: Crude protein; SC: Soluble carbohydrate

个生长时期差异显著，但开花期和灌浆期差异不显著。灰分含量从孕穗期到蜡熟期呈递增趋势，蜡熟期最大，为 5.36%，但是与完熟期、灌浆期和开花期差异不显著。

环境、生长时期以及环境与生长时期互作效应对济甜杂 2 号全株中性洗涤纤维含量、酸性洗涤纤维含量、粗白质含量、可溶性碳水化合物含量和灰分含量的影响均达到极显著水平。

2.4 不同生长时期收获对济甜杂 2 号饲用价值的影响

从表 4 可以看出，在济阳区 and 东营市济甜杂 2 号

的干物质采食量随着生育进程的推进逐渐降低。2 个环境中均在孕穗期最大，分别为 2.65%和 2.59%，且与其他 4 个时期的差异达到显著性水平。2 个环境中可消化干物质均是在孕穗期最大，分别为 66.26%和 63.92%，且与其他 4 个生长时期的差异均达到显著性水平。从孕穗期到成熟期济甜杂 2 号的相对饲用价值逐渐降低，2 个环境中均是在孕穗期最高，分别为 136.17 和 128.35。

环境、生长时期以及环境与生长时期互作对干物质采食量、可消化干物质和相对饲用价值有显著性影响。

表 4 5 个生长时期济甜杂 2 号的干物质采食量、可消化干物质和相对饲用价值分析  
Table 4 Analysis of dry matter intake (DMI), digestible dry matter (DDM) and relative feed value (RFV) at five growth stages of Jitianza No.2

环境 Environment	时期 Stage	干物质采食 DMI (%)	可消化干物质 DDM (%)	相对饲用价值 RFV
E2	S1	2.65±0.012a	66.26±0.04a	136.17±0.56a
	S2	2.33±0.011b	63.41±0.02b	114.46±0.59b
	S3	2.14±0.003c	61.37±0.04c	101.64±0.22c
	S4	1.98±0.018d	58.17±0.04d	89.40±0.75d
	S5	1.93±0.002d	58.92±0.03e	88.35±0.040d
E3	S1	2.59±0.006a	63.92±0.05a	128.35±0.40a
	S2	2.33±0.020b	63.71±0.07b	114.90±1.08b
	S3	2.29±0.003c	62.75±0.04c	111.47±0.20c
	S4	2.18±0.008d	62.17±0.06d	105.15±0.28d
	S5	2.12±0.014e	61.30±0.02e	100.70±0.69e
E	F 值 F value	511.29**	5145.78**	875.16**
S	F 值 F value	2493.6**	14680.76**	4342.28**
E×S	F 值 F value	175.6**	4430.13**	435.6**

DMI: 干物质采食; DDM: 可消化干物质; RFV: 相对饲用价值  
DMI: Dry matter intake; DDM: Digestible dry matter; RFV: Relative feed value

3 讨论

3.1 不同生长时期收获对济甜杂 2 号相关农艺性状的影响

甜高粱的生物产量与生育期呈显著正相关。对 100 份甜高粱资源春播和夏播的生育期比较分析显示，春播生育期 97—176 d，夏播生育期 90—145 d，大部分品种资源春播生育期大于夏播生育期<sup>[25]</sup>。高粱是短日照作物，在中国北方夏季，由于日照时间增长，高粱生育期变长。因此，对于春播生育期大于 150 d 和夏播生育期大于 110 d 的甜高粱品种均不能成正常抽穗或成熟，这不仅影响甜高粱的产量和品质，而且

还影响后续的加工利用。因此，既能有效缩短生长周期，又不会显著降低甜高粱产量和品质最佳收获时期的筛选对提高甜高粱的利用价值具有非常重要的意义。本研究通过对 2 个大田和一个盐碱地环境中 5 个生长时期甜高粱相关农艺性状进行分析，结果显示，自孕穗期到蜡熟期总鲜重和总干重是显著增加的，历城区和东营市在完熟期总鲜重和总干重显著减少，蜡熟期到完熟期是济甜杂 2 号生物产量变化的一个转折时期。因此，在这个时间段收获有助于获得最大的生物产量。济甜杂 2 号同中国大多数春播甜高粱杂交种一样，植株高大、健壮，生物产量高。成熟期茎秆、叶片和穗子鲜重分别占总鲜重的 78.5%、12.8%和

8.7%，茎秆是构成该品种鲜重的主要组成部分。并且随着生育期的推进，叶片和茎秆所占比例下降，穗子所占比例上升。研究表明，甜高粱的干物质重随着生育期的推进，在完熟期达到最大<sup>[20]</sup>，还有研究显示开花期和灌浆期甜高粱鲜重和干重显著高于乳熟期和完熟期<sup>[21]</sup>。上述研究结果的差异可能与品种的农艺性状特点、衰老速度以及干物质积累和转运方式有关。

### 3.2 不同生长时期收获对济甜杂 2 号营养品质的影响

甜高粱作为营养丰富的禾本科牧草，评价其营养品质的指标主要有中性洗涤纤维含量、酸性洗涤纤维含量、粗蛋白含量、可溶性碳水化合物含量和粗灰分含量等。在国家非主要农作物品种（高粱）登记申请中，甜高粱无论是用作青饲还是青贮，中性洗涤纤维含量、酸性洗涤纤维含量和粗蛋白含量是必测指标。这是因为酸性洗涤纤维是饲料中最难消化的部分，酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量的高低直接影响牧草的消化率和采食量<sup>[23]</sup>；粗蛋白含量也是评价饲草的重要指标之一，粗蛋白含量越高，营养价值越高。本研究结果显示济甜杂 2 号全株中性洗涤纤维含量和酸性洗涤纤维含量随着生育期的推进，从孕穗期到完熟期显著递增。粗蛋白含量在孕穗期和开花期显著高于其他 3 个时期，环境、生长时期以及环境和生长时期互作效应均对上述 3 个性状有极显著性影响，因此，仅从 3 个营养品质指标分析，孕穗期收获可获得最高的营养价值，而且这个时期收获可使甜高粱的生长周期缩短 2—3 周。前人对 4 个甜高粱品种在开花期、灌浆期、乳熟期和蜡熟期的营养品质研究显示，酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量均在完熟期达到最大，粗蛋白含量在开花期最大<sup>[21]</sup>，这与本研究结果相似。但对饲用高粱 4 个不同发育时期的营养品质分析显示，乳熟期末、蜡熟早期、蜡熟期和蜡熟后期叶片中酸性洗涤纤维含量逐渐增加，茎秆中酸性洗涤纤维含量在 4 个发育时期差异不显著<sup>[26]</sup>。对孕穗期、乳熟期、蜡熟期和完熟期 4 个生长时期的甜高粱营养品质研究显示，酸性洗涤纤维含量在孕穗期最高，中性洗涤纤维含量在孕穗期和开花期也显著高于蜡熟期和晚熟期。蛋白质含量在品种间的表现也不一致<sup>[19]</sup>。尽管前人研究指出禾本科牧草随着生育期的推进，茎叶比的增加，粗蛋白含量降低，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量增加；抽穗期是粗蛋白含量的转折点，抽穗后粗蛋白含量显著下降<sup>[27]</sup>。但是，由于不同品种茎叶比不同，穗子占总鲜重的比例不同，以及每个品种的衰老方式

不同，应根据品种自身营养品质指标变化特点，来选择最佳的收获时期。

### 3.3 济甜杂 2 号饲用价值的综合评价

甜高粱生物产量高、茎秆含糖量高、营养丰富，尤其是青贮发酵后，适口性、消化率、营养价值和经济效益等于或优于玉米秸秆青贮，是一种具有发展潜力的新型饲草作物，被认为是替代和补充青贮玉米饲料的首选作物<sup>[26-28]</sup>。由于一直没有统一的饲草料饲用价值评价标准，目前一般采用相对饲用价值来对饲草进行评级<sup>[29-30]</sup>。该指标也已经应用在饲用玉米和饲草高粱饲用价值评价中<sup>[20,33-34]</sup>。本研究结果显示无论是在济阳区还是东营市，济甜杂 2 号的相对饲用价值均是在孕穗期最大，分别为 136.17 和 128.35，且随着生育期的推进相对饲用价值逐渐降低，到了完熟期相对饲用价值最小。但是，甜高粱主要用于青贮，在收获时不仅要考虑单位面积的生物量和营养品质，而且还要考虑收获时植株的含水量和可溶性碳水化合物含量等适宜青贮的品质指标<sup>[18,35]</sup>。营养生长阶段收获进行青贮，虽然营养品质好，但是植株含水量较高，凋萎程度大，抑制乳酸菌的活性，导致青贮饲料中乳酸菌含量低，pH 较高<sup>[9]</sup>。在生长发育后期收获，甜高粱全株可溶性碳水化合物含量随着生育期的推进逐渐增加，在完熟期达到最大（表 3）。可溶性碳水化合物可以为乳酸菌的活动提供充足的底物，迅速降低 pH，抑制其他杂菌的活动，保证甜高粱在青贮时获得较好的发酵品质<sup>[30]</sup>。因此，综合考虑生物产量、营养品质和青贮品质，甜高粱可在乳熟期到蜡熟期前后实时收获青贮，这样即可有效缩短生育期，还可获得较高的经济效益。

## 4 结论

蜡熟期到完熟期是甜高粱生物量变化的转折点，这个时间段适时收获可获得最大的生物量；孕穗期收获中性洗涤纤维含量和酸性洗涤纤维含量最小，干物质采食量和可消化干物质最大，相对饲用价值最高；综合考虑生物量、营养品质和青贮品质，乳熟期到蜡熟期是甜高粱收获的最佳时期。

## References

- [1] 黎大爵. 甜高粱可持续农业生态系统研究. 中国农业科学, 2002, 35(8): 1021-1024.
- LI D J. Studies on sustainable agro-ecology system of sweet sorghum. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(8): 1021-1024. (in Chinese)



- [2] 刘公社, 周庆源, 宋松泉, 景海春, 谷卫彬, 李晓峰, 苏蔓, RAMACHANDRAN SRINIVASAN. 能源植物甜高粱种质资源和分子生物学研究进展. 植物学报, 2009, 44(3): 253-261.  
LIU G S, ZHOU Q Y, SONG S Q, JING H C, GU W B, LI X F, SU M, RAMACHANDRAN S. Research advances into germplasm resources and molecular biology of the energy plant sweet sorghum. *Chinese Bulletin of Botany*, 2009, 44(3): 253-261. (in Chinese)
- [3] MATHUR S, UMAKANTH A V, TONAPI V A, SHARMA R, SHARMA M K. Sweet sorghum as biofuel feedstock: Recent advances and available resources. *Biotechnology Biofuels*, 2017, 10: 146.
- [4] HU S W, WU L M, STAFFAN PERSSON, PENG L C, FENG S Q. Sweet sorghum and Miscanthus: Two potential dedicated bioenergy crops in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(6): 1236-1243.
- [5] 景海春, 刘智全, 张丽敏, 吴小园. 饲草甜高粱分子育种与产业化. 科学通报, 2018, 63(17): 1664-1676.  
JING H C, LIU Z Q, ZHANG L M, WU X Y. Molecular breeding and industrialization of forage sweet sorghum. *Chinese Science Bulletin*, 2018, 63: 1664-1676. (in Chinese)
- [6] XIE Q, XU Z H. Sustainable agriculture: from sweet sorghum planting, ensiling to ruminant feeding. *Molecular Plant*, 2019, 12(5): 603-606.
- [7] CONTRERASGOVEA F E, MARSALIS M A, LAURIAULT L M, BEAN B W. Forage sorghum nutritive value: A review. *Forage & Grazinglands*, 2010, 8(1): 1-6.
- [8] MARSALIS M A, ANGADI S V, CONTRERAS-GOVEA F E. Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. *Field Crops Research*, 2010, 116(1/2): 52-57.
- [9] 渠晖, 沈益新. 甜高粱用作青贮作物的潜力评价. 草地学报, 2011, 19(5): 808-812.  
QU H, SHEN Y X. Evaluation the potential of sweet sorghum grown for silage crop. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(5): 808-812. (in Chinese)
- [10] 李春喜, 冯海生, 闫慧颖, 裴剑民, 李永仁. 不同海拔生态区甜高粱和玉米及甜高粱不同刈割次数的养分含量. 草地学报, 2016, 24(2): 425-432.  
LI C X, FENG H S, YAN H Y, PEI J M, LI Y R. Nutrient content of sweet sorghum and corns in different altitude regions and sweet sorghum in different clipping frequency. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(2): 425-432. (in Chinese)
- [11] 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(15): 1-8.
- [12] 刘丽华, 曾宪国, 李红宇, 吕艳东, 郑桂萍. 青刈对饲用甜高粱产量和品质的影响. 黑龙江八一农垦大学学报, 2011, 23(1): 5-7.  
LIU L H, ZENG X G, LI H Y, LÜ Y D, ZHENG G P. Influence of harvest by stages on the sweet sorghum yield and quality. *Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University*, 2011, 23(1): 5-7. (in Chinese)
- [13] 贾春林, 盛亦兵, 张华文, 赵逢涛, 王国良, 毕玉波, 李新华, 管延安. 黄河三角洲盐碱地甜高粱产草量和饲用价值. 草业科学, 2013, 30(1): 116-119.  
JIA C L, SHENG Y B, ZHANG H W, ZHAO F T, WANG G L, BI Y B, LI X H, GUAN Y A. Comparisons on forage yield and feeding value of sweet sorghum in saline soil of yellow river delta. *Pratacultural Science*, 2013, 30(1): 116-119. (in Chinese)
- [14] 麦麦提敏·乃依木. 四种甜高粱干草品质比较研究. 草食家畜, 2018, 3(2): 47-51.  
MAIMAITIMIN NAIYIMU. Comparative study on quality of four kinds of sugar sorghum hay. *Grass-feeding Livestock*, 2018, 3(2): 47-51. (in Chinese)
- [15] 李春宏, 张培通, 郭文琦, 殷剑美, 韩晓勇. 甜高粱青贮饲料研究与利用现状及展望. 江苏农业科学, 2014, 42(3): 150-152.  
LI C H, ZHANG P T, GUO W Q, YIN J M, HAN X Y. Prospect and present situation of research and utilization of sweet sorghum silage. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(3): 150-152. (in Chinese)
- [16] PHOLSEN S, HIGGS D E B, SUKSRI A. Effects of nitrogen and potassium fertilisers on growth, chemical components, and seed yields of a forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) grown on *Oxis paleustults* soil, Northeast Thailand. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2001, 4: 27-31.
- [17] CARMİ A Y, AHARONI M, EDELSTEIN N, UMIEL A, HAGILADI, YOSEF E, NIKBACHAT M, ZENOU A, MIRON Z. Effects of irrigation and plant density on yield, composition and *in vitro* digestibility of a new forage sorghum variety, Tal, at two maturity stages. *Animal Feed Science and Technology*, 2006, 131: 120-132.
- [18] MIRON J, SOLOMON R, ADIN G, NIR U, NIKBACHAT M, YOSEF E, CARMİ A, WEINBERG Z G, KIPNIS T, ZUCKERMAN E, BEN-GHEDALIA D. 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 and Agriculture*, 2006, 86(1): 140-147.
- [19] 崔凤娟, 田福东, 王振国, 李岩, 徐庆全, 呼瑞梅, 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 Q, HU R M, LI M, DEGN Z L, ZHOU F R. Comparison and evaluation of quality traits between forage sorghum varieties. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(6): 1112-1116. (in Chinese)
- [20] ATIS I, KONUSKAN O, DURU M, GOZUBENLI H, YILMAZ S. Effect of harvesting time on yield, composition and forage quality of some forage sorghum cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2012, 14(6): 1560-8530.
- [21] 李春宏, 苏衍菁, 张培通, 王仪明, 郭文琦, 殷剑美, 韩晓勇, 王立, 火恩杰. 不同刈割时期对甜高粱产量和品质的影响. *南方农业学报*, 2018, 49(2): 239-245.
- LI C H, SU Y J, ZHANG P T, WANG Y M, GUO W Q, YIN J M, HAN X Y, WANG L, HUO E J. Effects of different mowing times on yield and quality of sweet sorghum. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(2): 239-245. (in Chinese)
- [22] QUINBY J R. The fourth maturity gene locus in sorghum. *Crop Science*, 1966, 6: 516-518.
- [23] MULLWR J E, ROONEY W L. Method for production of sorghum hybrids with selected flowering times. United State Patent, 2013/0298274 A1, 2013-9-12.
- [24] ROHWEDER D A, BARNES R E, JORGENSEN N. Proposed hay grading standards based on laboratory analysis for evaluating quality. *Journal of Animal Science*, 1978, 47: 747-759.
- [25] 张华文, 秦岭, 王海莲, 杨延兵, 管延安. 春夏两种播期甜高粱主要生物学性状比较分析. *山东农业科学*, 2009, 9: 11-13.
- ZHANG H W, QIN L, WANG H L, YANG Y B, GUAN Y A. Comparison of main biological characters of spring and summer sowing sweet sorghum. *Shandong Agricultural Sciences*, 2009, 9: 11-13. (in Chinese)
- [26] CUMMINS D G. Yield and quality changes with maturity of silage-type sorghum fodder. *Agronomy Journal*, 1981, 73: 988-990.
- [27] 裴彩霞, 董宽虎, 范华. 不同刈割期和干燥方法对牧草营养成分含量的影响. *中国草地*, 2002, 24(1): 32-37.
- PEI C X, DONG K H, FAN H. Effect of different harvest time and drying methods on nutrient as water soluble carbon hydrates of herbage. *Grassland of China*, 2002, 24(1): 32-37. (in Chinese)
- [28] OLIVER A L, GRANT R J, PEDERSEN J F, O'REAR J. 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: 637-644.
- [29] JABBARI H, TABATABAEI S N, KORDNEJAD E, MODARRESI M, TABEIDIAN S A. Effect of dietary corn silage replacement with sorghum silage on performance and feed cost of growing steers. *Journal of Animal and Feed Research*, 2011, 1: 14-21.
- [30] ZHANG S J, CHAUDHRY A S, RAMDANI D, OSMAN A, GUO X F, EDWARDS GRANT RAYMOND, LONG C. Chemical composition and *in vitro* fermentation characteristics of high sugar forage sorghum as an alternative to forage maize for silage making in Tarim Basin, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15(1): 175-182.
- [31] 张吉鹏. 反刍家畜粗饲料品质评定的指标及其应用比较. *中国畜牧杂志*, 2006, 42(5): 47-50.
- ZHANG J K. Quality evaluation parameters of ruminant coarse fodder and their application comparison. *Chinese Journal of Animal Science*, 2006, 42(5): 47-50. (in Chinese)
- [32] 陈谷, 邵建辉. 美国商业应用中的牧草质量及质量标准. *中国畜牧业*, 2010(11): 48-49.
- CHEN G, TAI J H. Forage quality and quality standard in American commercial application. *China Animal Husbandry*, 2010(11): 48-49. (in Chinese)
- [33] 陈柔屹, 唐祈林, 荣廷昭, 任勇, 冯云超. 刈割方式对饲草玉米 SAUMZ1 产量和饲用品质的影响. *四川农业大学学报*, 2007, 25(3): 244-248.
- CHEN R Y, TANG Q L, RONG T Z, REN Y, FENG Y C. Effects of clipping style on forage yield and quality of forage maize SAUMZ1. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2007, 25(3): 244-248. (in Chinese)
- [34] 彭安琪, 李小梅, 王红, 李昌华, 李小铃, 闫艳红, 张新全. 8 种一年生饲料作物生产性能及相对饲用价值. *草业科学*, 2019, 36(2): 510-521.
- PENG A Q, LI X M, WANG H, LI C H, LI X L, YAN Y H, ZHANG X Q. Production performance and relative feed value of eight annual forage crops. *Pataacultural Science*, 2019, 36(2): 510-521. (in Chinese)
- [35] 张苏江, 艾买尔江·吾斯曼, 薛兴中, 张晓, 郭雪峰, 陈立强. 新疆玉米和不同糖分甜高粱的青贮品质分析. *草业学报*, 2014, 23(3), 232-240.
- ZHANG S J, AMERJAN O, XUE X Z, ZHANG X, GUO X F, CHEN L Q. Quality analysis on different sweet sorghum silages in Southern Xinjiang compared with a corn silage. *Acta Agrestia Sinica*, 2014, 23(3): 232-240. (in Chinese)

(责任编辑 李莉)