

影响甜高粱主要农艺和品质性状的环境因子剖析

罗峰 李欣禹 唐朝臣 刘惠芬 裴忠有 孙守钧*

(天津农学院 农学与资源环境学院,天津 300384)

摘要 为探究影响甜高粱主要农艺和品质性状的环境因子,选取不同基因型甜高粱品种(系)为材料,在天津市、新疆维吾尔自治区、内蒙古自治区和辽宁省4个省市自治区开展试验,分析主要目标性状与环境因子间的关系,并构建目标性状的预测模型。结果表明,影响株高、茎粗和茎节数以基因型效应为主;影响穗长以基因型×环境互作和基因型效应为主;影响穗重以环境效应为主;影响锤度和粗蛋白含量是基因型、环境和基因型×环境互作三者平均作用的结果。锤度与土壤pH、有机质含量和速效磷含量呈极显著正相关;粗蛋白含量与昼夜温差和有机质含量无显著关系,与降水量等8个其他因子均达极显著正相关。通径分析和逐步回归分析结果表明,日均温度、昼夜温差、土壤pH以及速效磷含量是影响穗重的主要因子,其中土壤pH效应最大且为负效应; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温、土壤pH和有机质含量是影响锤度的重要因子;土壤有机质含量贡献率最高,为正效应;影响粗蛋白含量的关键因子为降水量。

关键词 甜高粱; 性状; 环境因子; 基因型; 环境; 互作效应

中图分类号 S566.5

文章编号 1007-4333(2019)10-0010-08

文献标志码 A

Analysis of environmental factors affecting the main agronomic and quality traits of sweet sorghum

LUO Feng, LI Xinyu, TANG Chaochen, LIU Huifen, PEI Zhongyou, SUN Shoujun*

(College of Agronomy & Resources and Environment, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

Abstract In order to analyze the environmental factors affecting the main agronomic and quality traits of sweet sorghum, experiments were conducted in four regions of Tianjin, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Inner Mongolia Autonomous Region and Liaoning Province with different genotypes of sweet sorghum as study materials. The relationship between the target traits and environmental factors were analyzed and a prediction model for target traits was established. The results showed that: The plant height, stem diameter and the number of stem nodes of sweet sorghum were dominated by genotype effect; Its panicle length was dominated by genotype × environment interaction and genotype effect and panicle weight was dominated by environment effect; Brix and crude protein content were the result of the average interaction of genotype, environment and genotype with environment. The brix was positively correlated with soil pH value, organic matter content and available phosphorus content, while the crude protein content had no significant correlation with diurnal temperature difference and organic matter content, but it was positively correlated with eight other factors such as precipitation; Path analysis and stepwise regression analysis showed that daily average temperature, diurnal temperature difference, soil pH value and available phosphorus content were the main factors affecting panicle weight, among which soil pH value had the greatest and negative effect; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ effective accumulated temperature, soil pH value and organic matter content were the important factors affecting the brix, and the contribution rate of organic matter content was the highest, which had a positive effect on crude protein content. The key factor affecting the crude protein content was precipitation.

Keywords sweet sorghum; traits; environmental factors; genotype; environment; interaction effect

收稿日期: 2018-11-27

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项项目(201503134);天津市科技支撑计划项目(16YFZCNC00630)

第一作者: 罗峰,副研究员,主要从事甜高粱育种研究,E-mail:luofeng1868@126.com

通讯作者: 孙守钧,教授,主要从事饲用作物遗传改良研究,E-mail:sunshoujun@tjau.edu.cn

甜高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] 是粒用高粱的一个变种, 其具有植株高大、生物产量高、茎秆多汁多糖和乙醇转化率高优点, 是一种新型可再生的高效能源作物^[1-2]。同时, 甜高粱也是一种优质的饲料作物, 其青贮饲料产量远高于玉米等其他饲料, 而且营养价值十分高。因此, 发展甜高粱产业对于提高土地利用效率, 解决能源危机问题, 大力发展畜牧业以及促进农业可持续发展具有重要的战略意义。

甜高粱的产量、锤度和粗蛋白含量等性状, 属于数量性状, 易受环境、基因型×环境互作的影响^[3-5]。研究表明, 甜高粱产量及其他品质性状在单一环境下其遗传力较高, 但在不同环境条件下, 其变异幅度较大, 环境效应超过基因型的作用和基因型与环境互作效应^[6-8]。因此, 研究甜高粱不同环境条件下的性状表现, 是十分必要的。影响甜高粱性状的环境因素包括可控的和非可控的环境因素。其中可控的环境因素包括播期、密度、灌溉、土壤养分和土壤 pH 等, 非可控的环境因素包括降水、温度和光照等。大量研究表明, 甜高粱全生育期内的光照、温度和降水量等气象因子, 土壤因子以及栽培管理措施对其的产量形成和茎秆锤度均有较大的影响^[9-12]。谢光辉等^[13] 研究认为, 从播种到种子成熟需要 > 10 °C 有效积温 1 500~2 500 °C/d。严洪冬等^[14] 研究表明, 甜高粱从出苗到成熟日照时数在 659.2~856.6 h, 解婷婷等^[15] 认为甜高粱全年日照时数在 1 055.3~3 045.0 h。Ferraris 等^[16] 研究发现, 甜高粱对光能的利用率随播种期的延迟和密度的增加而减少。土壤 pH 对甜高粱也有一定影响, 通常 pH 在 5.0~8.5, 甜高粱能够正常生长^[17-18]。此外, 关于氮、磷、钾肥对甜高粱产量和锤度的影响方面也有许多报道^[19-21]。

目前, 针对甜高粱性状研究方面, 是根据田间试验来研究可控环境因素^[5-7], 而对非可控环境因素研究鲜有报道。因此, 本研究采用多点试验系统分析基因型、环境及二者互作效应对甜高粱主要农艺和品质性状的影响, 明确起主导作用的关键环境因子, 并量化其作用程度, 构建出预测模型, 以期为我国甜高粱育种和栽培研究提供理论依据。

1 材料与试验方法

1.1 供试材料

供试材料为甜高粱品种(系)96 份, 见表 1。其中,

1~42 号为引进的品种(系), 43~96 号为自选品系。

1.2 试验设计及测定方法

本试验于 2014 年在天津市静海良种场(38.59°N、116.59°E)、新疆维吾尔自治区阜康市土墩子农场(44.54°N、88.17°E)和内蒙古乌拉特前旗市北圪堵乡(45.54°N、108.31°E)进行, 分别在 2014 年 5 月 16 日、5 月 10 日和 5 月 25 日播种。于 2015 年在天津市静海良种场(38.59°N、116.59°E)和辽宁省北票市北塔乡(42.19°N、120.80°E)进行, 2015 年 5 月 2 日和 5 月 9 日播种。采用随机区组设计, 3 次重复, 行长 5 m, 3 行区, 行距 0.5 m, 株距 0.2 m, 小区面积 7.5 m²。新疆维吾尔自治区和内蒙古自治区的试验点采用覆膜保墒的方式精量点播, 天津市和辽宁省的试验点进行条播。其他田间管理同大田生产。

成熟期每小区于中间行连续选取 8 株, 测定株高、中间节的茎粗、茎节数、穗长和锤度等性状。用 ATAGO 公司 PAL-1 型数显锤度计测定植株茎秆上数第 3 节的汁液锤度, 并对数值进行校正。室内考种调查单株穗重。每小区取地上部分 3 株, 在 105 °C 下杀青 30 min, 再降至 65 °C 烘至恒重, 样品粉碎过 40 目筛。用杜马斯燃烧法测定样品粗蛋白含量, 仪器为 Elementar 公司产 Rapid N Cube 定氮仪。

1.3 气象数据及土壤数据

气象因子包括降水量(x_1)、日均温度(x_2)、日照时数(x_3)、≥10 °C 有效积温(x_4)和昼夜温差(x_5)。天津市和内蒙古自治区试验点气象数据由当地气象局提供, 新疆维吾尔自治区和辽宁省试验点气象数据由中国气象科学数据共享服务网提供(<http://www.escience.gov.cn/metdata/page/index.html>)。气象因子采用下列公式计算:

$$\text{降水量}(P) = \sum_{i=1}^n P_i$$

$$\text{日均温度}(T_{DM}) = \sum_{i=1}^n T_{DMi} / n$$

$$\text{日照时数}(H_S) = \sum_{i=1}^n H_{Si}$$

$$\text{有效积温}(T_A) = \sum_{i=1}^n T_{Ai} (\geq 10 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\text{昼夜温差}(\Delta T) = \sum_{i=1}^n \Delta T_i / n$$

式中: n 为生育期天数。

表1 供试材料名称及来源

Table 1 Names and origins of test materials

编号 Code	名称 Name	来源 Origin	编号 Code	名称 Name	来源 Origin
1	绿能1号	中国 China	49	PZY-1	中国 China
2	绿能2号	中国 China	50	PZY-2	中国 China
3	绿能3号	中国 China	51	PZY-3	中国 China
4	原341	中国 China	52	PZY-4	中国 China
5	原甜1号	中国 China	53	CQL-243	中国 China
6	Roma	美国 America	54	CQL-236-2	中国 China
7	Rio	美国 America	55	CQL-238	中国 China
8	雷伊	美国 America	56	CQL-239-1	中国 China
9	凯勒	美国 America	57	P1	中国 China
10	意达利	澳大利亚 Australia	58	P3-2	中国 China
11	九甜梁	中国 China	59	P5-2	中国 China
12	九甜R	中国 China	60	P8-1	中国 China
13	81101	中国 China	61	P9	中国 China
14	81102	中国 China	62	P11-2	中国 China
15	81103	中国 China	63	P13-1	中国 China
16	W453	中国 China	64	P14	中国 China
17	W454	中国 China	65	P17	中国 China
18	W455	中国 China	66	P19	中国 China
19	W456	中国 China	67	P22-1	中国 China
20	W457	中国 China	68	P23	中国 China
21	W461	中国 China	69	P30	中国 China
22	IS4555	印度 India	70	P32	中国 China
23	Early honey	美国 America	71	P34	中国 China
24	HONEY-2	美国 America	72	P35	中国 China
25	MN-3460	美国 America	73	P36-1	中国 China
26	MN-3461	美国 America	74	P38	中国 China
27	MN-4251	美国 America	75	P39-1	中国 China
28	Saccaline-5	美国 America	76	P44	中国 China
29	Straitneck-1	美国 America	77	P46	中国 China
30	Straitneck-3	美国 America	78	P47	中国 China
31	B35	印度 India	79	P48	中国 China
32	BJ166	中国 China	80	P50-2	中国 China
33	BJ298	中国 China	81	P53	中国 China
34	BJ299	中国 China	82	P54-2	中国 China
35	BJ338	中国 China	83	P55	中国 China
36	BJ320 贝利	中国 China	84	P56-1	中国 China
37	8142	中国 China	85	P57	中国 China
38	8143	中国 China	86	P59	中国 China
39	8147	中国 China	87	P60	中国 China
40	8161	中国 China	88	P62	中国 China
41	M-81E	美国 America	89	P63	中国 China
42	Sugar drip	美国 America	90	P64	中国 China
43	甜1	中国 China	91	P66	中国 China
44	甜2	中国 China	92	P67	中国 China
45	甜3	中国 China	93	P69	中国 China
46	甜4	中国 China	94	P70	中国 China
47	甜5	中国 China	95	P71	中国 China
48	WPW	中国 China	96	P72	中国 China

土壤因子包括 pH (x_6)、有机质 (x_7)、全氮 (x_8)、有效钾 (x_9) 和速效磷 (x_{10})。各试点均采用五点取样法采集距地面 0~20 cm 的耕层土壤,四分法取土样 1 kg,分别过 0.90 和 0.15 mm 筛孔。用 pH 计测定土壤 pH,采用重铬酸钾容量法-外加热法测定土壤有机质含量,火焰原子吸收法测定土壤有效钾含量,紫外分光光度法测定速效磷含量,凯氏定氮法测定全氮含量。

1.4 数据处理

利用 Excel 2007 和 SPSS 20.0 软件对试验数

据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同基因型甜高粱农艺和品质性状的差异

表 2 可知,5 个农艺性状中,穗重和株高变幅较大,变异系数分别为 37.86% 和 30.86%。茎节数变异系数最小,为 20.01%。锤度和粗蛋白 2 个品质性状的变异系数较大,其中粗蛋白的变异系数最大,为 38.69%。上述结果表明,不同基因型甜高粱各性状间均存在较大差异,供试材料具有较大遗传变异。

表 2 甜高粱品种(系)性状表现

Table 2 Characters of sweet sorghum varieties (lines)

性状 Characters	变幅 Amplitude	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV
株高/cm Plant height	175.26~428.35	278.51	83.16	0.3086
茎粗/cm Stem diameter	0.99~1.86	1.46	41.46	0.2840
茎节数/个 Number of stem nodes	9.00~20.00	13.00	2.60	0.2001
穗长/cm Spike length	16.80~36.40	20.27	5.01	0.2471
穗重/g Spike weight	30.61~170.50	58.20	22.03	0.3786
锤度/% Brix	13.20~25.90	17.70	5.84	0.3299
粗蛋白含量/% Crude protein content	1.89~5.84	3.83	1.48	0.3869

2.2 甜高粱主要农艺和品质性状基因型、环境及二者互作效应分析

表 3 是 7 个性状的基因型、环境及二者互作效应分析。结果表明,株高、茎节数、穗重、锤度及粗蛋白含量的基因型、环境及基因型×环境互作的 F 值均达极显著差异水平。从基因型、环境及二者间互作所占总平方和的百分比(P)来看,株高、茎粗和茎节数 3 个性状均为基因型>(基因型×环境)>环境,说明基因型起着最主要的作用。穗长的表现为(基因型×环境)>基因型>环境,三者所占的比率分别为 53.55%、42.02% 和 4.43%,表明其主要受基因型×环境互作和基因型效应的影响。穗重的表现为环境>(基因型×环境)>基因型,说明环境对穗重的影响最大。锤度和粗蛋白含量的结果一致,基因型、环境及基因型×环境互作所占总平方和百分比相差不大。

2.3 甜高粱主要农艺和品质性状与环境因子的相关分析

4 个试验点甜高粱各性状表现与 10 个环境因

子的相关性分析结果见表 4。结果表明,株高与土壤速效磷含量无显著关系,与昼夜温差和土壤有机质含量呈极显著正相关,与其他环境因子呈极显著负相关。穗长、穗重与降水量等气象因子呈极显著正相关,与土壤 pH 等土壤环境因子呈极显著负相关。锤度与全部 5 个气象因子及土壤全氮含量呈极显著负相关,与土壤的 pH、有机质含量和速效磷含量呈极显著正相关。粗蛋白含量与昼夜温差和土壤有机质含量无显著关系,与其他因子均达极显著正相关。

2.4 粗蛋白含量与环境因子的通径分析

粗蛋白含量是衡量甜高粱饲用品质的指标,其与环境因子的通径分析结果见表 5。环境因子对粗蛋白含量的直接作用效应由大到小的顺序依次为: $x_2 > x_1 > x_4 > x_8 > x_5 > x_{10} > x_6 > x_9 > x_7 > x_3$ 。其中 ≥ 10 °C 有效积温、昼夜温差和有机质含量的作用为负效应,其余因子为正效应。

降水量对粗蛋白的直接通径系数为 0.137,且降水量通过昼夜温差、pH、有机质含量和全氮含量的间接作用为较大的正向作用。因此,降水量对粗

表3 甜高粱各性状的基因型、环境、基因型×环境互作效应分析
Table 3 Analysis on genotypes, environment and genotype×environment interaction effects of sweet sorghum characters

性状 Characters	项目 Item	基因型 Genotypes	环境 Environment	基因型×环境 Genotype×Environment
株高/cm Plant height	F-value	16.62**	102.78**	2.57**
	P/%	73.54	4.56	21.90
茎粗/cm Stem diameter	F-value	4.24**	26.30**	1.10
	P/%	65.79	2.21	32.00
茎节数/个 Number of stem nodes	F-value	5.44**	17.55**	1.76**
	P/%	55.80	11.70	32.50
穗长/cm Spike length	F-value	3.86**	0.27	1.14**
	P/%	42.02	4.43	53.55
穗重/g Spike weight	F-value	4.68**	842.08**	2.07**
	P/%	19.32	46.51	34.17
锤度/% Brix	F-value	4.12**	65.50**	1.71**
	P/%	31.48	35.60	32.92
粗蛋白含量/% Crude protein content	F-value	6.79**	484.81**	1.81**
	P/%	33.11	31.62	35.27

注: P 为基因型、环境、基因型×环境占平方和的百分比。* 表示同行数据在 0.05 区间达到显著水平, ** 表示在 0.01 区间达到极显著水平。

Note: P is the percentage to total sum of squares for genotype, environment and Interaction effect. *, significant at the 0.05 probability level for data in the same row; **, significant at the 0.01 probability level for data in the same row.

蛋白含量正向的直接作用加上较大的正向间接作用总和为 0.209, 使其净效应较大, 故增加降水量有利于提高粗蛋白含量。全氮含量直接通径系数为 0.114, 并通过昼夜温差和速效磷含量而获得较大的正向作用, 使其净效应较大, 0.288。因此, 增加土壤全氮含量, 可使更多的氮转化为蛋白, 促进甜高粱粗蛋白含量的增加。

2.5 甜高粱主要农艺和品质性状与环境因子的逐步回归分析

采用逐步回归分析方法, 建立穗重、锤度及粗蛋白的最优回归方程, 表 6。结果表明, 日均温度、昼夜温差、土壤 pH 值以及速效磷含量为影响甜高粱穗重的主要环境因子, 其中土壤 pH 的影响效应最大且为负值。≥10℃有效积温、土壤 pH 和有机质含量为影响锤度的主要环境因子, 有机质含量的贡献率最高且为正效应, 表明增加其含量有利于提高

茎秆锤度。影响粗蛋白含量的主要环境因子为降水量、土壤 pH 和全氮含量, 降水量的效应值最高且为正。

3 讨论

本试验选用 96 份不同基因型的甜高粱材料, 在 4 个非可控环境因素差异较大的地区开展试验, 以明确基因型、环境及二者互作效应对目标性状的影响。结果表明, 株高、茎粗和茎节数主要受基因型影响, 穗长受基因型×环境互作和基因型的共同影响, 两者所占平方和百分比达到 95.57%。环境效应对穗重的影响最大, 大于基因型及二者互作效应, 因此, 甜高粱育种中不宜通过亲子代的表现对穗重进行选择。品质性状锤度和粗蛋白含量的基因型、环境及基因型×环境互作效应所占总平方和百分比均接近 1/3, 表明这两个性状均受基因型、环境和基因

表 4 甜高粱主要农艺和品质性状与环境因子的相关分析

Table 4 Correlation analysis of main agronomic and quality traits and environmental factors in sweet sorghum

性状 Characters	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
株高	0.058**	-0.123**	-0.054**	-0.130**	0.122**	-0.145**	0.073**	-0.126**	-0.132**	0.031
茎粗	0.108**	0.073**	-0.091**	0.064**	-0.067**	-0.036**	0.058**	0.115**	-0.079**	0.065**
茎节数	0.175**	-0.138**	-0.109**	-0.162**	-0.063**	0.180**	0.192**	-0.108**	-0.077**	0.126**
穗长	0.054**	0.025	0.038*	0.031	0.076**	-0.139**	-0.063**	-0.014	-0.011	-0.056**
穗重	0.089**	0.221**	-0.013	0.119**	0.381**	-0.482**	-0.137**	-0.168**	-0.304**	-0.267**
锤度	-0.263**	-0.269**	-0.106**	-0.284**	-0.157**	0.364**	0.297**	-0.142**	0.014	0.247**
粗蛋白含量	0.346**	0.197**	0.124**	0.120**	-0.023	0.116**	-0.015	0.288**	0.205**	0.148**

注： x_1 ，降水量，mm； x_2 ，日均温度， $^{\circ}\text{C}$ ； x_3 ，日照时数，h； x_4 ， 10°C 有效积温 $^{\circ}\text{C}$ ； x_5 ，昼夜温差， $^{\circ}\text{C}$ ； x_6 ，pH； x_7 ，有机质%， x_8 ，全氮%， x_9 ，有效钾，mg/kg； x_{10} ，速效磷，mg/kg；* 表示同行数据在 0.05 达到显著水平，** 表示在 0.01 达到极显著水平。

Note: x_1 , precipitation, mm; x_2 , daily mean temperature, $^{\circ}\text{C}$; x_3 , sunshine hours, h; x_4 , accumulated temperature ($\geq 10^{\circ}\text{C}$), $^{\circ}\text{C}$; x_5 , diurnal temperature difference, $^{\circ}\text{C}$; x_6 , pH; x_7 , organic matter, %; x_8 , total nitrogen, %; x_9 , available phosphorus, mg/kg. * and ** express distinctness at 5% and 1% level for data at the same row.

表 5 10 个环境因子对粗蛋白含量(y)的途径系数

Table 5 Path coefficient of 10 environmental factors for crude protein content (y)

环境因子 Environmental factor	r	间接作用 Indirect effect										
		直接作用 Direct action	总和 Total	$x_1 \rightarrow y$	$x_2 \rightarrow y$	$x_3 \rightarrow y$	$x_4 \rightarrow y$	$x_5 \rightarrow y$	$x_6 \rightarrow y$	$x_7 \rightarrow y$	$x_8 \rightarrow y$	$x_9 \rightarrow y$
x_1	0.346	0.137	0.209	0.020	0.023	0.007	0.069	0.072	0.118	0.092	-0.131	-0.061
x_2	0.197	0.138	0.059	-0.105	0.021	0.013	-0.002	0.037	0.053	-0.168	0.106	0.104
x_3	0.124	0.024	0.100	0.032	-0.098	0.026	0.017	0.008	0.032	-0.064	0.082	0.065
x_4	0.120	-0.121	0.241	-0.092	0.075	-0.078	0.023	0.054	0.142	0.018	0.013	0.086
x_5	-0.023	-0.112	0.089	-0.015	0.023	0.029	0.008	0.008	-0.083	0.090	0.062	0.031
x_6	0.116	0.082	0.034	0.112	0.098	0.028	0.017	0.008	-0.069	0.020	-0.116	0.027
x_7	-0.015	-0.029	0.014	0.072	0.004	-0.027	0.105	-0.094	0.036	0.036	-0.181	0.019
x_8	0.288	0.114	0.174	0.031	0.044	-0.068	0.069	0.024	0.015	0.016	0.016	0.072
x_9	0.205	0.052	0.153	0.013	-0.086	0.027	0.045	0.056	0.017	0.022	0.041	0.041
x_{10}	0.148	0.099	0.049	0.024	0.018	-0.013	0.017	0.025	-0.014	0.046	-0.035	0.006

表6 环境因子与甜高粱产量及品质性状间的逐步回归分析

Table 6 Stepwise regression analysis of environmental factors and sweet sorghum Yield and quality traits

性状 Character	回归方程 Regression equation	R^2	F 值 F-value	标准误 SD
穗重 Spike weight	$y=32.013+3.219x_2+1.729x_5-12.382x_6+0.912x_{10}$	0.751	21.602	4.362
锤度 Brix	$y=5.176-0.782x_4+4.362x_6+11.781x_7$	0.671	18.575	3.961
粗蛋白含量 Crude protein content	$y=2.132+7.356x_1-6.931x_6+0.836x_8$	0.549	12.551	0.781

型×环境互作效应三者的平均作用。鉴于决定性状表现差异的效应不同,因此,甜高粱育种中应根据性状的基因型、环境和基因型×环境互作效应大小对其选择,以提高育种效率。

从以往长期的育种和栽培研究实践中可以得出,甜高粱的性状在不同种植地区间存在着明显差异。由于各地区环境因子存在差异,这些因子综合作用结果造成甜高粱农艺和品质性状的地域差异。为此,本试验研究环境因子对甜高粱目标性状的影响。由于难以兼顾所有环境因子的作用,此方面研究一般采用气象和土壤作为主要环境因子^[22-23],为此本研究重点研究降水量等 10 个环境因子对甜高粱主要农艺和品质性状的影响。

本研究得出,甜高粱的穗重主要受日均温度、昼夜温差、土壤 pH 以及速效磷含量等因子的影响。 $\geq 10\text{ }^\circ\text{C}$ 有效积温、土壤 pH 和土壤有机质含量为影响锤度的主要环境因子,其中土壤有机质含量影响最大,为关键因子。因此,生产中应增加有机肥用量以提高甜高粱茎秆的锤度。粗蛋白含量主要受降水量、土壤 pH 和全氮含量的影响,关键因子为降水量,表现出正效应。甜高粱生育期内通过增加灌溉及氮肥用量,可提高粗蛋白含量,从而提高其饲用营养品质。上述结果可知,土壤 pH 与各目标性状关系密切,为关键环境因子,这与唐朝臣等研究结果一致^[24]。因此,今后甜高粱生产中应首先注重选地问题,并结合当地气候条件相应调整栽培措施,以实现高产、优质的目标。

参考文献 References

[1] 王荣华,李红侠,张文彬,刘乃新.甜高粱生物燃料相关特性研究进展[J].中国农学通报,2017,33(15):91-98
Wang R H, Li H X, Zhang W B, Liu N X. Research progress on correlation characteristics of sweet sorghum biofuels [J].

Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(15): 91-98 (in Chinese)

- [2] 张晓英,赵威军.甜高粱茎秆含糖量的研究进展[J].山西农业科学,2011,39(6):616-618
Zhang X Y, Zhao W J. Research progress of sugar content in sweet sorghum stalk[J]. *Shanxi Agricultural Sciences*, 2011, 39(6): 616-618 (in Chinese)
- [3] 岳美琪.甜高粱主要农艺性状和茎秆能源组分的基因型与环境互作分析[D].北京:中国农业科学院,2010
Yue M Q. Genotype and environment interaction analysis of main agronomic traits and stem energy components in sweet sorghum[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010 (in Chinese)
- [4] 张桂香,史红梅,张海燕.高粱主要品质性状的基因型与环境及互作效应分析[J].中国农学通报,2010,26(5):68-71
Zhang G X, Shi H M, Zhang H Y. Genotype, environment and interaction effects of main quality traits in sorghum[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(5): 68-71 (in Chinese)
- [5] Rao P S, Reddy P S, Rathore A, Reddy B V, Panwar S. Application GGE biplot and AMMI model to evaluate sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) hybrids for genotype x environment interaction and seasonal adaptation [J]. *Indian Journal Agricultural Sciences*, 2011, 81(5): 438-444
- [6] Elangovan M, Kiran B P, Seetharama N, Patil J V. Genetic diversity and heritability characters associated in sweet sorghum [*Sorghum bicolor* L. Moench][J]. *Sugar Tech*, 2014, 16(2): 200-210
- [7] Rao S S, Patil J V, Prasad P V, Reddy D C, Mishra J S, Umakanth, A V. Sweet sorghum planting effects on stalk yield and sugar quality in semi-arid tropical environment[J]. *Agronomy Journal*, 2013, 105(5): 1458-1465
- [8] 陈展宇,邓川,边鸣镝,白忠义,杨振明.不同生态环境对甜高粱生长、糖锤度及产量的影响[J].作物杂志,2013(1):58-62
Chen Z Y, Deng C, Bian M D, Bai Z Y, Yang Z M. Effects of different ecological environments on sweet sorghum growth, sugar brix and yield[J]. *Crop Magazine*, 2013(1): 58-62 (in Chinese)
- [9] 王永慧,高进,陈建平,张培通,李春宏,蔡立旺,施庆华,王海洋.不同播期对滩涂盐碱地甜高粱成苗及主要性状的影响[J].江苏农业科学,2015,43(1):106-107

- Wang Y H, Gao J, Chen J P, Zhang P T, Li C H, Cai L W, Shi Q H, Wang H Y. Effects of different sowing dates on seedling formation and main characters of sweet sorghum in saline alkali soil in tidal flat[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43(1):106-107 (in Chinese)
- [10] 罗峰, 陈鹏, 裴忠有, 高建明, 孙守钧. 播期对甜高粱不同生育时期生物产量及品质的影响[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(14): 3260-3263
- Luo F, Chen P, Pei Z Y, Gao J M, Sun S J. Effects of sowing date on biological yield and quality of sweet sorghum at different growth stages[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(14): 3260-3263 (in Chinese)
- [11] 罗利红. 密度及氮磷钾肥料配施对甜高粱含糖量和生物产量影响的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012
- Luo L H. Effects of density and application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on sugar content and biological yield of sweet sorghum[D]. Changchun: Jilin University, 2012 (in Chinese)
- [12] 陈维维, 再吐尼古丽·库尔班, 涂振东, 叶凯. 不同种植密度对甜高粱糖分积累及 SS、SPS 活性的影响[J]. *作物学报*, 2013, 39(8): 1507-1513
- Chen WW, Zaituniguli K, Tu Z D, Ye K. Effects of different planting densities on sugar accumulation and SS and SPS activities in sweet sorghum[J]. *Journal of Crop*, 2013, 39(8): 1507-1513 (in Chinese)
- [13] 谢光辉, 庄会永, 危文亮, 卓岳, 郭兴强. 非粮能源植物生产原理和边际地栽培[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011
- Xie G H, Zhuang H Y, Wei W L, Zhuo Y, Guo X Q. *Production Principles and Marginal Cultivation of Non-grain Energy Plants*[M]. Beijing: China Agricultural University press, 2011 (in Chinese)
- [14] 严洪冬, 焦少杰, 王黎明, 姜艳喜, 苏德峰, 孙广全. 气象条件对甜高粱农艺性状的影响[J]. *黑龙江农业科学*, 2011(11): 7-9
- Yan H D, Jiao S J, Wang L M, Jiang Y X, Su D F, Sun G Q. Effects of meteorological conditions on agronomic traits of sweet sorghum[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2011 (11): 7-9 (in Chinese)
- [15] 解婷婷, 苏培玺. 干旱胁迫对河西走廊边缘绿洲甜高粱产量、品质和水分利用效率的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(2): 300-304
- Xie T T, Su P X. Effects of drought stress on yield, quality and water use efficiency of sweet sorghum in marginal oasis of Hexi Corridor[J]. *Chinese Journal of Eco Agriculture*, 2011, 19(2): 300-304 (in Chinese)
- [16] 卢庆善. 甜高粱[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008: 103-104
- Lu Q S. *Sweet Sorghum*[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008: 103-104 (in Chinese)
- [17] Soileau J M, Bradford B N. Biomass and sugar yield response of sweet sorghum to lime fertilizer[J]. *Agronomy J Journal*, 1985, 77: 471-475
- [18] Amaducci S, Monti A, Venturi G. Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques[J]. *Industrial Crops and Products*, 2004, 20(1): 111-118
- [19] 王艳秋, 邹剑秋, 张志鹏, 朱凯, 张飞. 密度及氮、磷、钾配比对甜高粱生物产量和茎秆含糖锤度的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(6): 103-110
- Wang Y Q, Zou J Q, Zhang Z P, Zhu K, Zhang F. Effects of density and nitrogen, phosphorus and potassium ratio on yield and sugar content of sweet sorghum[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, 17(6): 103-110 (in Chinese)
- [20] 王志春, 王永慧, 陈建平, 张萼, 王海洋, 赫明涛. 氮磷钾肥配施对盐碱地甜高粱产量及干物质积累的影响[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(11): 80-81
- Wang Z C, Wang Y H, Chen J P, Zhang E, Wang H Y, He M T. Effects of combined application of NPK fertilizer on yield and dry matter accumulation of sweet sorghum in saline alkali soil[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(11): 80-81 (in Chinese)
- [21] 苏富源, 郝明德, 张晓娟, 牛育华, 龚晓德, 陈志霞, 郭胜安. 施肥对甜高粱产量、养分吸收及品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2016, 25(3): 396-405
- Su F Y, Hao M D, Zhao X J, Niu Y H, Gong X D, Chen Z X, Guo S A. Effects of Fertilization on yield, nutrient uptake and quality of sweet sorghum[J]. *Northwest Agricultural Journal*, 2016, 25(3): 396-405 (in Chinese)
- [22] 李新华, 郭洪海, 杨丽萍, 杨萍, 万书波. 气象因子对花生品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(16): 90-94
- Li X H, Guo H M, Yang L P, Yang P, Wan S B. Effects of meteorological factors on peanut quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(16): 90-94 (in Chinese)
- [23] 刘明, 齐华, 张振平, 梁熠, 于吉琳, 吴亚男, 贾倩. 不同环境因子对玉米叶绿素荧光特性的影响[J]. *华北农学报*, 2010, 25(6): 198-204
- Liu M, Qi H, Zhang Z P, Liang Y, Yu J L, Wu Y N, Jia Q. Effects of different environmental factors on chlorophyll fluorescence characteristics of maize[J]. *Acta Agriculturae Boreali-sinica*, 2010, 25(6): 198-204 (in Chinese)
- [24] 唐朝臣, 罗峰, 李欣禹, 裴忠有, 高建明, 孙守钧. 甜高粱产量及品质相关性状对环境因子反应度分析[J]. *作物学报*, 2015, 41(10): 1612-1618
- Tang CC, Luo F, Li X Y, Pei Z Y, Gao J M, Sun S J. Response analysis of correlation between yield and quality of sweet sorghum to environmental factors[J]. *Journal of Crop*, 2015, 41(10): 1612-1618 (in Chinese)