

能源高粱在盐碱地上的品种筛选

金宝森 张伟 谢光辉*

(中国农业大学 农学与生物技术学院/国家能源非粮生物质原料研发中心,北京 100193)

摘要 以本实验室新培育的4个甜高粱杂交种(S1~S4)和6个生物质高粱杂交种(B1~B6)作为参试材料,在吉林省长岭县和山东省滨州市的盐碱地进行2年大田试验,旨在筛选出适合当地及周边盐碱地区生产试验和推广种植的能源高粱杂交种,为我国发展生物质能源提供原料基础。研究结果表明:1)在2个试验点的2年试验中,各参试杂交种株高与茎粗分别为347.4~496.3 cm和14.8~20.3 mm,生物质高粱杂交种要优于甜高粱杂交种;2)2年中各参试杂交种地上部总干重为9.1~28.5 t/hm²,其中生物质高粱杂交种B2、B4和甜高粱杂交种S2分别在各试验点的2年试验中表现突出;3)结合2年试验数据,得出适合长岭试验点推广种植的杂交种为生物质高粱杂交种B3、B4以及甜高粱杂交种S2,适宜滨州试验点推广栽培的为生物质高粱杂交种B2、B3以及甜高粱杂交种S4。

关键词 生物质高粱;甜高粱;盐碱地;杂交种筛选

中图分类号 S 566.5

文章编号 1007-4333(2015)02-0027-08

文献标志码 A

Screening of sweet sorghum and biomass sorghum on saline-alkali land

JIN Bao-sen, ZHANG Wei, XIE Guang-hui*

(College of Agronomy and Biotechnology/National Energy R&D Center for Non-food Biomass,
China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In this study, four sweet sorghum hybrids (S1-S4) and six biomass sorghum hybrids (B1-B6) bred by our laboratory were used as the testing materials for two-year field experiments on saline-alkali land in Changling Jilin and Binzhou Shandong. The aim was to screen energy sorghum hybrids which were the most suitable to grow and promote in the study sites. The results showed that: 1) In the two study sites, plant height and stem diameter of all hybrids ranged from 347.4 to 496.3 cm and 14.8 to 20.3 mm, respectively. While biomass sorghum hybrids had better performance than sweet sorghum hybrids; 2) The aboveground dry weight (ADW) of all hybrids in two sites was changed from 9.1 to 28.5 t/hm², which biomass sorghum hybrids B2, B4 and sweet sorghum hybrids S2 performed best in their corresponding sites and years; 3) Through the analysis of the data, it was found that biomass sorghum hybrids B3, B4 and sweet sorghum hybrids S2 were suitable to cultivate and promote in Changling site. While for Binzhou site the biomass sorghum hybrids B2, B3 and sweet sorghum hybrids S4 performed well.

Key words biomass sorghum; sweet sorghum; saline-alkali land; hybrid screening

在能源危机和环境污染的双重因素下,人们开始寻找新能源。生物质能源作为唯一一种可以生产固、液和气3种形式能源的可再生能源逐渐被人们所重视,成为仅次于煤、石油和天然气的第四大资源^[1]。

能源高粱(*Sorghum bicolor* L. Moench)包括甜高粱和生物质高粱。在“不与民争粮、不与粮争地”

的方针下,由于有较高的地上部生物量、广泛的适应性以及较强的抗逆性^[2-6],能源高粱逐渐成为非粮生物质原料作物的主力军。我国盐碱地资源丰富、分布较广、类型多样^[7],可为我国能源作物生产提供适宜的土地资源。根据王遵亲等^[8]对土壤盐化分级的研究可知,长岭试验点土壤为轻度盐碱化土,而滨州

收稿日期:2014-07-15

基金项目:国家“973”计划项目(2012CB215301)

第一作者:金宝森,硕士研究生,E-mail:jimbaosen1990@126.com

通讯作者:谢光辉,教授,主要从事非粮生物质原料和能源植物研究,E-mail:xiegh@cau.edu.cn

试验点因地处滨海盐渍带,土壤含盐量达到重度标准,因此在2个试验点种植能源高粱符合我国发展非粮生物质能源的国情。

甜高粱在国内外的研究较多,包括其茎秆可溶性碳水化合物含量、养分元素、抗病、抗旱以及耐盐碱等理化性状在不同水肥处理或品种选育下的变化规律,前人^[6]研究表明甜高粱的茎秆生物量可达到45~75 t/hm²。生物质高粱含糖量较低,主要成分是木质纤维素,作为二代纤维素乙醇的原料作物在国内研究较少。国外研究^[9]表明生物质高粱较甜高粱生长季短,且生物产量相近。在茎秆成分方面生物质高粱可溶性碳水化合物要远低于甜高粱,而纤维素和半纤维素等成分却比甜高粱高40%左右^[10]。随着生物质能源的发展,选育适宜当地种植的能源高粱品种就显得至关重要。生物质高粱品种在我国研究较少,本研究中的生物质高粱品种即为主要的创新点。

我国传统甜高粱品种属于粮、能两用型,在生产含糖量较高的秸秆的同时,也生产一定量的籽粒^[3]。但从能源利用角度讲,由于甜高粱植株高大,穗子很不整齐,难以实现机械化收获籽粒,当前主要靠人工

而导致成本较高,因此不结实的能源高粱品种更合适。本研究所选参试杂交种多为自交不结实或结实率低的品种,旨在从农艺性状与产量性状等方面挑选适合当地种植的能源高粱杂交种,为山东省滨海盐碱地以及吉林省半干旱地区能源高粱推广生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 地点

本试验于2012和2013年分别在吉林省长岭县东北师范大学松嫩草地生态研究站(44°34'N, 123°31'E, 147 m A)和山东省滨州市利国乡(37°42'N, 118°17'E, 6 m A)进行,试验地所在地区分别属于半干旱大陆性气候和大陆性季风气候。长岭试验点2012和2013年的年均日照时数分别为6.6和6.7 h;年平均气温分别为8.5和3.0℃;年均降水量分别为1.7和1.2 mm,多集中在6—9月。滨州试验点2012和2013年的年均日照时数均为6.7 h;年平均气温分别为13.5和13.7℃;年降水量分别为1.8和2.0 mm,多集中在6—8月。2年基础土样主要理化性状见表1。

表1 试验点土壤主要理化性状

Table 1 Physic and chemical properties of the soil in the study site

地点 Site	年份 Year	质地 Texture			pH	土壤各主要成分的质量分数 Mass fraction of main components of soil				
		粉粒/% Silt	粘粒/% Clay	砂粒/% Sand		有机碳/ (g/kg) Organic carbon	全氮/ (g/kg) Total nitrogen	有效钾/ (mg/kg) Available potassium	速效磷/ (mg/kg) Available phosphorus	含盐量/ % Salinity
长岭 Changling	2012	9.9	37.9	52.2	7.7	9.8	0.60	128.7	4.1	0.13
	2013	15.6	0.9	83.5	7.6	5.1	0.40	221.5	6.7	0.11
滨州 Binzhou	2012	43.5	51.6	4.9	7.7	9.7	0.29	296.3	42.4	1.35
	2013	31.0	2.7	66.3	8.2	5.4	0.38	194.6	4.6	0.78

1.2 品种

采用本实验室选配组合的10个能源高粱杂交种,包括6个生物质高粱(B1~B6)和4个甜高粱杂交种(S1~S4)。其中,长岭试验点种植5个生物质高粱杂交种(B1~B5)和3个甜高粱杂交种(S1~S3);滨州试验点种植5个生物质高粱杂交种(B2~B6)及2个甜高粱杂交种(S3和S4)。由于本试验选用的均为不结实或结实率低的品种,因此不设对照品种。

1.3 试验设计

采用完全随机区组设计。2012年长岭和滨州2个试验点中各杂交种设4个重复,小区面积为5.0 m×4.8 m,株行距20 cm×60 cm。所有小区在播前施用N(尿素)80 kg/hm²、P₂O₅(过磷酸钙)60 kg/hm²和K₂O(硫酸钾)30 kg/hm²,拔节期一开花期追施N(尿素)60 kg/hm²和K₂O(硫酸钾)30 kg/hm²。全生育期在保证作物正常生长的情况下不进行灌溉。2013年各杂交种设2个重复,小区

面积为 16 m×25 m, 株行距 20 cm×65 cm。施肥与灌溉处理同 2012 年, 所有小区植株抽穗后均不套袋以保证开放授粉。

1.4 方法

长岭试验点 2012 和 2013 年分别于 5 月 25 日和 5 月 17 日进行人工播种, 滨州试验点分别于 4 月 29 日和 5 月 1 日进行人工播种, 每穴播种子 2~3 粒。播后第 2 天喷施阿特拉津除草剂(辽宁三征化学有限公司)。

中期管理: 2013 年长岭试验点在苗期一拔节期间受到严重风害, 导致大部分小区出现不同程度的缺苗情况。由于植株过大, 加上该地区灌溉设施缺乏, 导致移苗困难, 最终仅进行了除草和间苗。

收获取样: 2012 年成熟期时分别在除边行外的中间 6 行进行取样, 选取 10 穴, 分别记录 10 穴取样株总茎数, 计算单株分蘖率, 公式为: 单株分蘖率 = (10 穴总茎数 - 10 穴主茎数) / 穴数 × 100。然后按株高排序后各选取 10 株测定株高、茎粗(测茎中部节间)和锤度(测茎中部节间, 非甜高粱不测锤度), 甜高粱锤度测定方法为将茎秆中部折断, 挤出汁液滴到手持式折光仪(wi79577, 北京金泉水科技有限公司)上进行读数, 既得锤度值。继而将这 10 株进行脱叶和去穗, 分别称量其总茎、总叶和总穗鲜重。称重后将叶和茎切成 2~3 cm 的小段, 以四分法选取 400~500 g 带回实验室在 105 °C 烘箱中杀青 30 min, 75 °C 烘至恒重后记录茎与叶干重, 以重量法求得含水量。取样后将取样行(10.5 m²)全部收获测产, 记录植株地上部鲜重。根据茎与叶的含水量求得地上部总干重, 即为生物质产量。2013 年采用 5 点法进行取样, 每点取 2 穴, 指标测定过程同上。取样后各小区划出 1 个 50 m² 左右的测产区收获地上部, 测鲜重。

1.5 数据分析及处理

用 Excel 进行数据整理及均值计算, PASW Statistics 18 软件进行数据的方差分析、多重比较以及各指标间的相关性分析, 差异显著性采用最小显著差异法(Least significant difference test, LSD)在 $P < 0.05$ 水平上进行比较。

2 结果与分析

2.1 农艺性状

2.1.1 成熟期株高及茎粗

长岭试验点 2012 和 2013 年各参试杂交种的含

水量分别为 60.0%~67.4% 和 54.2%~65.5%, 甜高粱杂交种 S2 在 2 年中含水量均最高(表 2)。滨州试验点 2 年各参试杂交种的含水量分别为 61.8%~72.7% 和 56.2%~69.7%, 甜高粱杂交种 S4 和 S3 在 2 年中分别表现最高。总体来说, 除个别生物质高粱杂交种出现反常外, 甜高粱杂交种的含水量总体上要高于生物质高粱杂交种, 但是不同类型之间没有达到显著水平($P > 0.05$)。

2012 与 2013 年长岭试验点各参试杂交种的株高分别为 347.4~480.4 cm 和 374.8~473.7 cm, 不同参试杂交种的株高达到显著差异($P < 0.05$) (表 2)。不同类型的杂交种在株高上的表现不同, 其中生物质高粱杂交种 B1 和 B4 在 2 年中均表现较好, 株高显著高于其他杂交种; 甜高粱杂交种 S3 的株高在 2 年中均为最低。2012 年生物质高粱杂交种的株高显著高于甜高粱杂交种($P < 0.05$), 2013 年除生物质高粱杂交种 B5 外, 其余生物质高粱杂交种也要显著高于甜高粱杂交种($P < 0.05$)。2012 年生物质高粱杂交种的株高均高于 2013 年同杂交种的株高, 而甜高粱杂交种则规律不明显。如表 2 所示, 滨州试验点 2 年各参试杂交种的株高分别为 371.7~481.2 和 358.0~496.3 cm, 生物质高粱杂交种 B6 在 2 年中均表现最好。除生物质高粱杂交种 B5 外, 2 年中所有生物质高粱杂交种的株高均显著高于甜高粱杂交种($P < 0.05$)。

2012 和 2013 年长岭试验点各参试杂交种的茎粗分别为 16.6~19.1 和 16.7~19.1 mm。与株高表现不同, 2 种类型间的茎粗差异并没有达到显著水平($P > 0.05$)。2012 年生物质高粱杂交种 B2 表现最好, 茎粗为 19.1 mm, 生物质高粱杂交种 B4 表现最差(16.6 mm), 其余杂交种之间没有显著差异($P > 0.05$)。2013 年生物质高粱杂交种 B3 表现突出(21.6 mm), 显著高于其参试杂交种($P < 0.05$), 甜高粱杂交种 S1 表现最差, 茎粗仅有 16.7 mm。2012 年除了杂交种 B4 以外, 生物质高粱杂交种的茎粗总体上要优于甜高粱杂交种, 而 2013 年生物质高粱杂交种的茎粗均大于甜高粱杂交种, 但没有达到显著水平($P > 0.05$)。由表 2 可知, 滨州试验点各杂交种 2 年的茎粗为 17.0~20.3 和 14.8~18.2 mm, 生物质高粱杂交种 B6 和 B3 分别在 2 年中表现最好, 甜高粱杂交种 S3 表现最差。2012 年各参试杂交种之间没有显著差异($P > 0.05$), 但生物质高粱杂交种的茎粗均大于甜高粱杂交种。2013

表2 不同参试高粱杂交种株高与茎粗

Table 2 Plant height and stem diameter of different hybrids in two years

地点 Site	参试品种 Testing cultivar	指标 2012年 Item in 2012			指标 2013年 Item in 2013		
		含水量/% Moisture	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	含水量/% Moisture	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter
长岭 Changling	生物质高粱 B1 Biomass sorghum B1	63.7 bc	478.8 a	17.4 bcd	56.8 de	473.7 a	19.1 b
	生物质高粱 B2 Biomass sorghum B2	63.2 bc	455.1 b	19.1 a	58.1 cde	437.3 b	17.5 b
	生物质高粱 B3 Biomass sorghum B3	62.6 c	437.4 b	18.0 abc	57.3 cde	426.7 b	21.6 a
	生物质高粱 B4 Biomass sorghum B4	65.3 ab	480.4 a	16.6 d	54.2 e	439.1 ab	17.8 b
	生物质高粱 B5 Biomass sorghum B5	60.0 d	449.4 b	18.3 ab	59.5 bcd	411.9 bc	17.5 b
	甜高粱 S1 Sweet sorghum S1	64.2 bc	382.3 d	17.6 bcd	61.5 abc	385.5 c	16.7 b
	甜高粱 S2 Sweet sorghum S2	67.4 a	400.9 c	17.7 bcd	65.5 a	416.2 bc	17.2 b
	甜高粱 S3 Sweet sorghum S3	64.2 bc	347.4 e	17.0 cd	62.2 ab	374.8 c	17.2 b
	<i>F</i>	6.38	58.45	3.71	7.55	7.44	3.26
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	0.007	0.005	0.008	0.011
滨州 Binzhou	生物质高粱 B2 Biomass sorghum B2	61.8 c	445.1 a	20.1	63.7 a	464.4 a	17.0 a
	生物质高粱 B3 Biomass sorghum B3	71.1 ab	447.9 a	17.7	56.4 b	466.9 a	18.2 a
	生物质高粱 B4 Biomass sorghum B4	61.9 c	460.8 a	18.6	64.9 a	468.9 a	16.9 a
	生物质高粱 B5 Biomass sorghum B5	69.5 b	383.2 b	18.9	56.2 b	398.7 bc	16.5 ab
	生物质高粱 B6 Biomass sorghum B6	70.9 ab	481.2 a	20.3	62.5 a	496.3 a	18.0 a
	甜高粱 S3 Sweet sorghum S3	65.3 b	371.7 b	17.0	69.7 a	358.0 c	14.8 b
	甜高粱 S4 Sweet sorghum S4	72.7 a	375.0 b	17.5	68.7 a	401.2 b	17.3 a
	<i>F</i>	5.88	9.37	1.85	6.25	12.93	3.18
	<i>P</i>	0.001	<0.001	0.140	0.002	<0.001	0.030

注:每个地点同列不同小写字母代表品种间在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Note: Different letters within cultivar of the same site indicate significant difference at $P<0.05$.

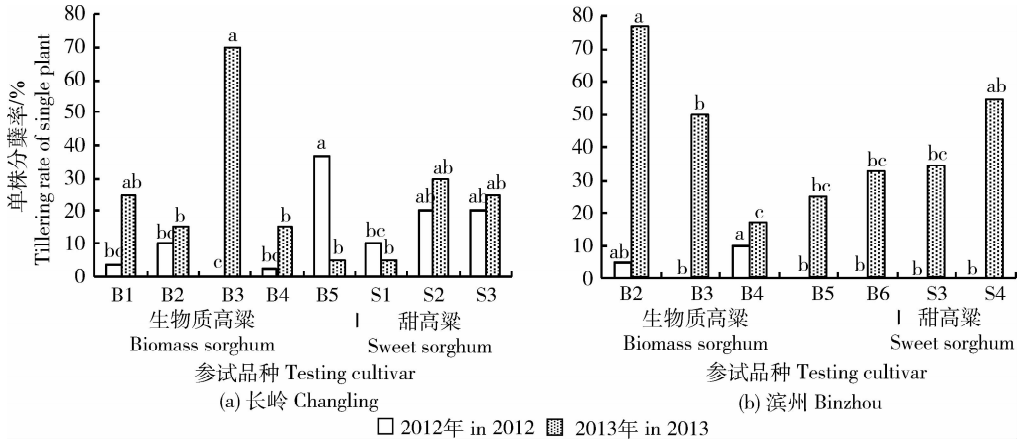
年甜高粱杂交种 S3 要显著低于除生物质高粱杂交种 B5 之外的其余参试杂交种 ($P < 0.05$), 其余杂交种之间没有显著差异。总体来说, 在株高和茎粗这 2 个农艺性状上, 生物质高粱杂交种要优于甜高粱杂交种。

2.1.2 成熟期单株分蘖率

长岭试验点成熟期各参试杂交种 2 年单株分蘖率的变化见图 1, 2012 和 2013 年分别为 0~36.7% 和 5.0%~70.0%。2012 年生物质高粱杂交种 B5 的单株分蘖率最高, 显著高于除甜高粱杂交种 S2 (20.0%) 和 S3 (20.0%) 以外的其他杂交种 ($P < 0.05$), 其余杂交种之间没有显著差异 ($P > 0.05$), 生物质高粱杂交种 B3 表现最差 (0%)。总体而言, 2012 年甜高粱杂交种的单株分蘖率要强于生物质高粱杂交种。2013 年情况与 2012 年的有所不同,

生物质高粱杂交种 B3 表现最好, 单株分蘖率为 70.0%, 显著高于除生物质高粱杂交种 B1 (25.0%)、甜高粱杂交种 S2 (30.0%) 和 S3 (25.0%) 以外的其他杂交种 ($P < 0.05$), 杂交种 B5 和 S1 的单株分蘖率只有 5%, 表现最差, 2013 年各参试杂交种的单株分蘖率除杂交种 B5 和 S1 外均高于 2012 年同一杂交种的水平。

由图 1 可知, 滨州试验点年份与参试杂交种之间单株分蘖率的差异较大, 2012 年除生物质高粱杂交种 B2 (5.0%) 和 B4 (10.0%) 以外, 其余各参试杂交种的单株分蘖率均为 0。2013 年各参试杂交种单株分蘖率为 17.5%~77.5%, 其中生物质高粱杂交种 B2 表现最好, 显著高于除甜高粱杂交种 S4 (55.0%) 以外的其余杂交种 ($P < 0.05$)。



每个地点同一年不同小写字母代表品种间在 $P < 0.05$ 水平上的差异显著。下图同。
 Different letters within cultivars of the same year and same site indicate significant difference at $P < 0.05$. The same as following figures.

图 1 不同参试高粱杂交种单株分蘖率变化

Fig. 1 Change of tillering rate of single plant for different hybrids in two years

2.1.3 甜高粱杂交种成熟期锤度

由图 2 可知, 长岭试验点不同甜高粱杂交种 2 年间锤度变化不大。2012 年各参试杂交种对锤度的影响达到显著水平 ($P < 0.05$), 杂交种 S3 的锤度为 20.1 Brix, 显著高于杂交种 S1 (17.6 Brix)。2013 年各杂交种间锤度为 16.6~18.0 Brix, 各杂交种之间的差异没有达到显著水平 ($P > 0.05$)。长岭试验点甜高粱杂交种 S1、S2 和 S3 2 年锤度差异分别为 0.4、1.5 和 2.9 Brix, 其中杂交种 S3 2 年间差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。滨州试验点甜高粱杂交种 S3 (17.6、22.4 Brix) 和 S4 (16.6、21.3 Brix) 2 年杂交中间没有显著差异 ($P > 0.05$), 杂交种 S3

表现较好。滨州试验点 2 个甜高粱杂交种年份间差异较大, S3 和 S4 的 2 年锤度差异分别为 4.8 和 4.7 Brix。

2.2 产量性状

长岭试验点 2 年各参试杂交种地上部生物质 (干重) 积累量与分配规律见图 3(a) 和 (c)。2012 与 2013 年地上部总干重分别为 14.8~22.1 和 9.3~13.0 t/hm², 其中甜高粱杂交种 S2 和生物质高粱杂交种 B4 分别表现最好, 且 S2 在 2012 年的地上部总干重显著高于同年份的其余参试杂交种 ($P < 0.05$), 生物质高粱杂交种 B3、B4 和 B5 的地上部生物量均在 18 t/hm² 以上。2013 年各参试杂交种的

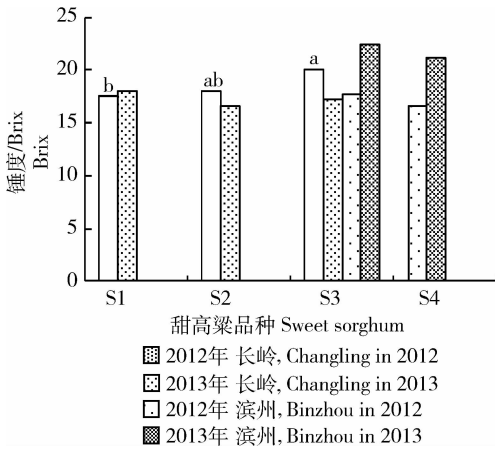


图2 甜高粱茎秆汁液锤度变化

Fig. 2 Change of brix for sweet sorghum hybrids

地上部总干重没有显著差异 ($P > 0.05$), 但总体趋势与2012年相近, 其中甜高粱杂交种 S2、S3 以及生物质高粱 B3、B4 表现较好, 地上部生物量均在 12 t/hm^2 以上, B5 表现最差, 仅有 9.3 t/hm^2 。由图3可知相同杂交种不同年份之间的差异较大, 2012年各参试杂交种的地上部总干重要明显高于2013年同杂交种。

如图3所示, 长岭试验点2012和2013年各参

试杂交种茎干重占地上部总干重的比例分别为 $64.2\% \sim 79.1\%$ 和 $62.0\% \sim 77.8\%$, 叶干重所占比例分别为 $8.7\% \sim 14.0\%$ 和 $14.5\% \sim 20.7\%$, 穗干重所占比例分别为 $10.6\% \sim 22.0\%$ 和 $7.8\% \sim 17.4\%$ 。2012年各部分所占比例除生物质高粱杂交种 B2 和甜高粱杂交种 S1 以外均表现为茎干重 $>$ 穗干重 $>$ 叶干重, 2013年各参试杂交种均表现为茎干重 $>$ 叶干重 $>$ 穗干重。

滨州试验点2年各参试杂交种地上部总干重的积累与分配规律见图3(c)和(d), 2年分别为 $19.0 \sim 28.5$ 和 $9.1 \sim 13.6 \text{ t/hm}^2$ 。其中生物质高粱杂交种 B2 在2年中均表现最好, 2012年其地上部总干重要显著高于除生物质高粱杂交种 B3 和 B4 以外的其余杂交种 ($P < 0.05$)。2年中甜高粱杂交种 S3 均表现最差。如图3所示, 2012年各参试杂交种的地上部干重分配规律除 B6 以外均表现为茎干重 $>$ 叶干重 $>$ 穗干重, 三者所占比例分别为 $69.5\% \sim 86.2\%$ 、 $7.4\% \sim 28.2\%$ 和 $1.6\% \sim 11.2\%$ 。2013年情况有所不同, 穗干重比例明显增加, 地上部总干重的分配规律为茎干重 $>$ 穗干重 $>$ 叶干重, 三者所占比例分别为 $46.9\% \sim 66.3\%$ 、 $21.5\% \sim 40.5\%$ 以及 $9.3\% \sim 12.7\%$ 。

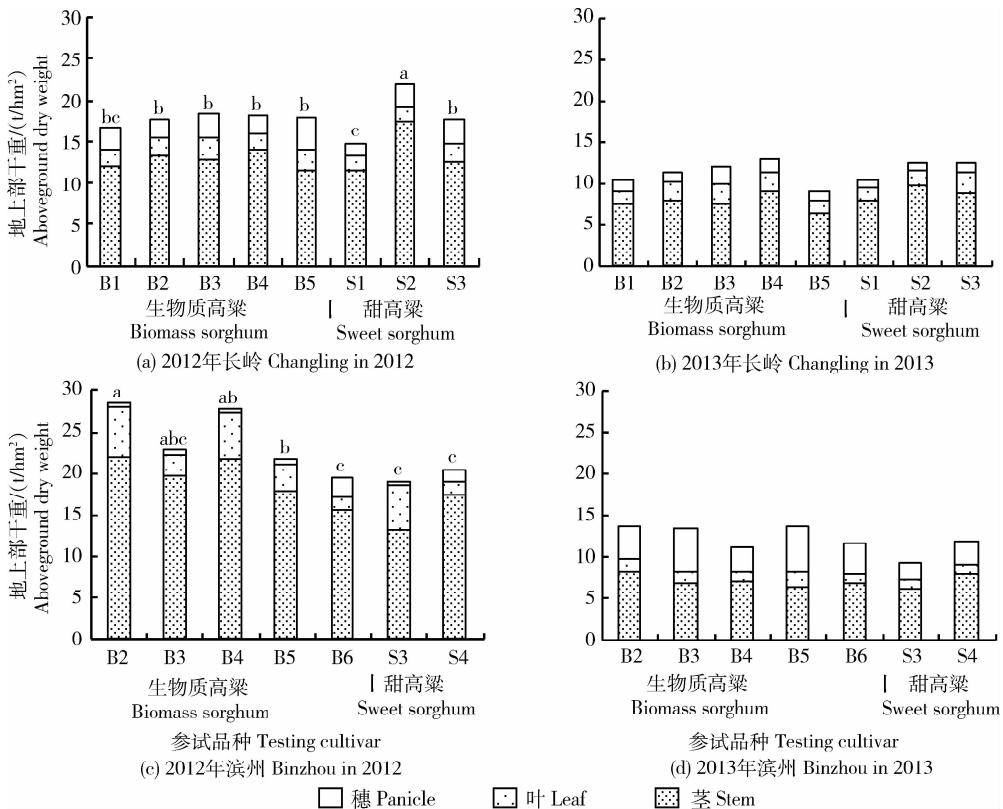


图3 高粱两年地上部总生物量积累和在茎、叶、穗部的分配

Fig. 3 Accumulation and distribution of dry weight in panicle, leaf and stem in mature stage

2.3 农艺与产量性状的相关关系

综合2个试验点2年试验数据,选取7个主要农艺与产量性状进行相关性分析,其中农艺性状包括株高、茎粗和单株分蘖率,产量性状包括茎干重、叶干重、穗干重和地上部总干重。由表3可知,株高与茎粗、穗干重分别呈显著与极显著正相关关系(R^2 为0.24*和0.28**),茎粗和茎干重、叶干重以及地上部总干重均呈极显著的正相关关系(R^2 为0.35**、0.27**和0.38**)。单株分蘖率与茎干重、叶干重、地上部总干重之间均呈极显著负相关关系(R^2 为-0.46*、-0.28**和-0.37**),却与穗干重

呈极显著的正相关关系($R^2=0.54^{**}$),说明单株分蘖率增高,茎干重、叶干重以及地上部总干重呈下降趋势,而穗干重则会相应增加。茎干重、叶干重与穗干重是地上部总干重的主要组成部分,其中穗干重与茎干重和叶干重均呈极显著的负相关关系($R^2=-0.47^{**}$),茎干重与叶干重之间为极显著正相关关系($R^2=0.57^{**}$)。因此茎干重、叶干重均与地上部总干重之间呈极显著正相关关系(R^2 为0.96**和0.68**),而穗干重则与地上部总干重呈极显著的负相关关系($R^2=-0.30^{**}$)。

表3 长岭和滨州试验点高粱7个主要农艺、产量性状间相关分析

Table 3 Pearson correlation coefficients among 7 agronomy and yield traits in two sites

性状 Characters	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	单株分蘖率 Tillering rate of single plant	茎干重 Stem biomass dry weight	叶干重 Leaf biomass dry weight	穗干重 Panicle biomass dry weight
株高 Plant height						
茎粗 Stem diameter	0.24*					
单株分蘖率 Tillering rate of single plant	0.10	-0.09				
茎干重 Stem biomass dry weight	0.04	0.35**	-0.46**			
叶干重 Leaf biomass dry weight	-0.08	0.27**	-0.28**	0.57**		
穗干重 Panicle biomass dry weight	0.28**	-0.18	0.54**	-0.47**	-0.47**	
地上部总干重 Aboveground dry weight	0.09	0.38**	-0.37**	0.96**	0.68**	-0.30**

注:*,在 $P<0.05$ 水平显著相关;** ,在 $P<0.01$ 水平显著相关。

Note: *, significant correlation at $P<0.05$ level; **, significant correlation at $P<0.01$ level.

3 讨论与结论

1)长岭试验点生物质高粱杂交种B1在株高上表现最好,2年株高稳定性最强。茎粗方面则是生物质高粱杂交种B2和B3分别在2年中表现最好。滨州试验点试验结果显示生物质高粱杂交种B6在2年的株高上表现突出,分别达到481.2和496.3 cm,均为同年份2个试验点中的最高值。滨州试验点各参试杂交种的茎粗在2年间差异较大,稳定性不强,总体上生物质高粱杂交种B2、B3和B6表现较好。从2个试验点的株高与茎粗数据来看,生物质高粱

杂交种要明显优于甜高粱杂交种。对于株高与茎粗之间的相关性,不同的研究结果不同。杨伟光等^[11]和赵香娜等^[12]的研究表明甜高粱的株高与茎粗之间呈显著正相关关系,而王继师^[13]的研究结果则指出高粱株高与茎粗之间存在着显著负相关关系,即茎粗会随着株高的增长而变细。本研究中综合2个试验点的2年试验结果得出能源高粱杂交种株高与茎粗之间存在显著正相关关系,与杨伟光等^[11]的研究相似。通过不同前人的研究成果以及本研究结果可以看出,株高与茎粗之间的相关性不是固定不变的,会随着品种的不同而呈现出相反的结果。因此

在今后的育种过程中可以向同时增加两者的方向进行研究,以增加总产量。

2) 2个试验点2年各品种单株分蘖率的差异表明该性状属于数量性状,受环境因素影响较大,这与李继洪等^[14]的研究相似,不同年份之间同一杂交种的单株分蘖率也会有显著差异。虽然分蘖可以增加茎数以提高地上部生物量,但分蘖增多会消耗过多养分,使主茎生长缓慢最终导致地上部生物量降低。同时过多的分蘖会导致植株株高不齐,不利于未来的机械化收获,因此适当去除无效或过多的分蘖有利于提高生物产量及作物集约化生产。通过本研究中对单株分蘖率与其他性状之间的相关性分析可以看出,除与穗干重之间呈极显著正相关关系外,单株分蘖率的增加不利于地上部生物量的积累,因此适当的控制分蘖数也是增产的有效措施。

3) 地上部生物量是作为能源高粱杂交种筛选的主要依据,甜高粱杂交种则是在此基础上通过对比锤度的高低进行筛选。通过长岭试验点2年试验结果可以看出,生物质高粱杂交种B3和B4在地上部总干重上表现较好,虽然由于2013年的环境因素造成整体产量的下降,但这2个杂交种在生物质高粱中保持了较为稳定的优势,抗逆性以及稳产性较为突出。甜高粱杂交种S2除地上部总干重高于其他2个杂交种,在锤度方面表现居中且2年中变化较小,稳定性较强。因此综合以上因素建议在吉林省长岭县范围内进行推广种植的能源高粱杂交种为生物质高粱杂交种B3、B4以及甜高粱杂交种S2。同理可知,滨州试验点中,生物质高粱杂交种B2和B3在地上部总干重表现较好。与长岭试验点的情况相同,滨州试验点2013年由于气候因素导致各参试杂交种的产量有所降低,但这2个杂交种表现出较强的抗逆性,在不利环境下仍可以保持产量的优势。该试验点2个甜高粱杂交种中,杂交种S4在地上部总干重有较明显的优势,同时两者的锤度差异不显著,且2年中的变化趋势相似。因此本研究结果表明,适合山东省滨州市范围推广种植的能源高粱杂交种为生物质高粱杂交种B2、B3以及甜高粱杂交种S4。

本试验只是为能源高粱杂交种的推广及品种审定进行初步筛选工作,后续还需要进一步由权威部门组织区域试验和生产试验,以及相应的抗病性鉴定工作等。由于只是为得到能源高粱品种的最高生

物量,因此统一安排了在初霜期前进行收获,没有进行生育期的调查。这也是本试验需要改进的地方,在后续的品种审定前会进行生育期的采集工作。

能源高粱株高较高,相对于一般的能源作物较易倒伏,而在吉林省长岭地区易出现大风天气,尤其是在苗期,应做好防风及补苗工作,以减少生物量的损失。由于山东省滨州市属于临海城市,在作物生长期间易发生涝害,对能源高粱影响较大,因此需要注重排水工作。对于能源作物来说,生物质产量以及化学成分含量直接影响其作为能源作物的潜力,本研究只针对生物产量进行分析筛选,其化学成分分析尚需要进一步研究予以论证。

参 考 文 献

- [1] 卢建兵. 应对能源危机: 新能源发电技术[J]. 企业技术开发, 2012, 31(4/5/6/7): 120-121
- [2] 谢光辉. 非粮生物质原料体系研发进展及方向[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 1-19
- [3] 黎大爵, 廖馥荪. 甜高粱及其利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992
- [4] 韩立朴, 马凤娇, 谢光辉, 等. 甜高粱生产要素特征、成本及能源效率分析[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 56-69
- [5] Walter Z-L, Andrea M. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices[J]. Biomass and Bioenergy, 2012, 40: 1-12
- [6] 张丽敏, 李素英, 吕芃, 等. 甜高粱生产生物燃料关键因素分析[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 76-82
- [7] 李彬, 王志春, 孙志高, 等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158
- [8] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 130-132
- [9] Lorenzo B, Silvia G, Angela V, et al. Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads[J]. European Journal of Agronomy, 2006, 25(1): 30-39
- [10] Ivano D, Stefania M, Silvia G, et al. Comparison of two sorghum genotypes for sugar and fiber production [J]. Industrial Crops and Products, 1998, 7(2/3): 265-272
- [11] 杨伟光, 杨福, 高春福, 等. 甜高粱主要农艺性状相关性研究[J]. 吉林农业大学学报, 1995, 17(1): 29-31, 45
- [12] 赵香娜, 李桂英, 刘洋, 等. 国内外甜高粱种质资源主要性状遗传多样性及相关性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(3): 302-307
- [13] 王继师. 基于生物质能源利用的高粱种质资源评价与筛选[D]. 北京: 中国农业大学, 2013
- [14] 李继洪, 刘晓辉, 李淑杰, 等. 主成分分析在甜高粱育种中的应用[J]. 杂粮作物, 2007, 27(1): 17-18