

张建丽,吴娟子,钱晨,等. 不同品系象草的生物产量及木质纤维素乙醇生产潜力研究[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):503-505.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.145

不同品系象草的生物产量及木质纤维素乙醇生产潜力研究

张建丽,吴娟子,钱晨,钟小仙,刘智微,潘玉梅

(江苏省农业科学院畜牧研究所,江苏南京 210014)

摘要:为探讨不同品系象草的生物产量及生物乙醇生产潜力,以不同品系象草为材料,研究不同品系象草的生物产量及利用干物质组成成分中纤维素、半纤维素含量计算乙醇理论产量,并进行比较,旨在为象草作为生物质能源开发利用的品种选择提供技术指导。结果表明,不同品系象草株高、分蘖数、茎叶比等指标均存在品系间显著或极显著差异,总体趋势是植株高大、分蘖数较少的品系生物产量高;结构组成中纤维素、半纤维素和木质素含量在不同品系间存在显著或极显著差异。综合不同品系的生物产量及生物乙醇产量表现,品系 P118、P115 和 P33 表现较好,具有较高的木质纤维素乙醇生产潜力,可作为生物质能源植物新品种开发利用。

关键词:象草;品系;生物产量;生物乙醇;生产潜力

中图分类号: S543 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)08-0503-03

能源短缺是当前人类面临的重大挑战。生物质能是仅次于石油、煤炭和天然气而位居世界第4位的能源,作为一种产

量巨大的可再生能源,可以替代化石能源,缓解能源危机,因而越来越受到世界各国的高度关注^[1]。在生物质能中植物生物质能又具有基础地位,能源植物通过光合作用吸收二氧化碳,有利于气候环境的改善,使能源植物开发与利用成为世界各国的研究重点。

收稿日期:2015-11-24

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(13)5011];国家自然科学基金(编号:31302025);江苏省农业三新工程项目[编号: SXGC(2015)334]。

作者简介:张建丽(1979—),女,江苏东台人,助理研究员,主要从事牧草育种工作。Tel: (025) 84390239; E-mail: zhangjianli79@163.com。

象草(*Pennisetum purpureum*)是禾本科狼尾草属多年生草本植物,原产于热带非洲,是热带和亚热带地区普遍栽培的牧草^[2],具有无病虫害、产量高等很多优点,已受到不少欧美国家的重视,报道预测,若欧盟25个国家的适当土地上都种植

the salkowski reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1995, 61(2):793-796.

[14] Schwyn B, Neilands J B. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores [J]. Analytical Biochemistry, 1987, 160:47-56

[15] 沈萍,范秀容,李广武. 微生物学试验[M]. 北京:高等教育出版社,2003:26-31.

[16] 东秀珠,蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京:科学出版社,2001:370-380.

[17] Aragno M, Schlegel H G, Balows A, et al. The mesophilic hydrogen-oxidizing (knallgas) bacteria[M]//Balows A, Trüper H G, Dworkin M, et al. The prokaryotes: a handbook on the biology of bacteria; ecology, physiology, isolation, identification, applications. Berlin: Springer-Verlag, 1992:344-384.

[18] Golding A L, Zou Y, Yang X, et al. Plant growth promoting H₂-oxidizing bacteria as seed inoculants for cereal crops[J]. Agricultural Sciences, 2012, 3(4):510-516.

[19] Nain M L, Yadav R C, Saxena J. Characterization of multifaceted *Bacillus* sp. RM-2 for its use as plant growth promoting bioinoculant for crops grown in semi arid deserts[J]. Applied Soil Ecology, 2012, 59:124-135.

[20] 魏素娜,蒋帅,黄锡云,等. 旱地小麦根际细菌中产生1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)脱氨酶菌株的分离和鉴定[J]. 微生物学通报,2011,38(5):722-728.

[21] Grichko V P, Glick B R. Amelioration of flooding stress by ACC deaminase-containing plant growth-promoting bacteria[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2001, 39:11-17.

[22] 吉云秀,黄晓东. 不同盐分条件下植物促生菌对燕麦和黑麦草幼苗的促生效应[J]. 中国土壤与肥料,2008,2:65-68.

[23] Rashid R, Charles T C, Glick B R. Isolation and characterization of new plant growth-promoting bacterial endophytes[J]. Applied Soil Ecology, 2012, 61:217-224.

[24] Jalili F, Khavazi K, Pazira E, et al. Isolation and characterization of ACC deaminase producing fluorescent pseudomonads, to alleviate salinity stress on canola (*Brassica napus* L.) growth[J]. Journal of Plant Physiology, 2009, 166:667-674.

[25] Tsavkelova E A, Cherdynseva T A, Botina S G, et al. Bacteria associated with orchid roots and microbial production of auxin[J]. Microbiological Research, 2007, 162:69-76.

[26] Hu B, Zhao C, Yang S. Influence of iron on siderophore and photosynthetic pigments biosynthesis by siderophore-producing *Rhodospirillum rubrum* [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2014, 54(4):408-416.

象草,就此一项所带来的发电量将超过目前欧盟发电总量的9%,其整体经济效益十分可观^[3]。自20世纪30年代象草从缅甸引入我国广东、四川等省试种,取得了良好的成效,至20世纪80年代象草的种植地区已发展到云南、贵州、福建、湖南、湖北、四川、江西、江苏、浙江等省,其利用已不仅局限于优良的饲料作物,而开始向造纸工业、生物质能源以及生态护坡等领域拓展^[4]。国内外有关象草作为生物质能源应用的研究已有一些报道,20世纪70年代美国率先将象草作为能源作物开展研究工作,经过40多年的研究,证明其可用于乙醇、沼气和电能的生产^[5-8]。目前关于象草的研究主要集中在针对其单位面积生物产量的提高以及抗性的增强,在耐性方面的研究主要针对象草的抗寒性进行研究,旨在提高象草在较高纬度地区的自然越冬率,减少栽植频率,节省劳动力,拓展象草的种植范围,提高象草的可利用性^[9]。象草为多年生四倍体种,遗传背景相对较复杂^[9],不同品种(系)的植物学特征和生物学特性差异较大,本研究旨在综合评价不同品系象草的生产力以及作为生物质能源利用的潜力,为筛选适于生物质能源利用的象草新种质材料,以及为象草生物质能源利用提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在江苏省农业科学院试验田进行,地处长江中下游,32°32'N、118°48'E,属亚热带季风气候,年平均温度15.7℃,年均降水量1100mm左右,全年无霜期220~240d,不小于10℃年积温约4800℃。试验区土壤为低山丘陵黄棕壤土,前茬为蚕豆。

1.2 供试材料

供试材料为江苏省农业科学院畜牧研究所经多年选育的植株较高大、生长繁茂的象草新品系13个。

1.3 试验方法

田间试验于2014年5月至11月间进行,试验采用随机区组设计,3次重复,小区面积3.0m×4.2m。2014年5月23日进行分苗移栽,株距45cm,行距60cm,每个小区栽6行,移栽活棵后施尿素1次,119.4kg/hm²,并进行锄草1次。2014年

10月30日进行一次性刈割,刈割时调查株高、分蘖数。刈割后测鲜草产量,取样测定水分,计算干草产量、茎叶比。

1.3 测定项目和方法

取鲜草样1000g左右,将茎叶分离并分别烘干称质量,计算茎叶比。烘干的茎和叶分别粉碎,过80目筛(筛孔尺寸0.18mm),冷却后于密封袋中保存,待进一步分析。纤维素(cellulose,CEL)、半纤维素(hemicellulose,HMC)和酸性木质素(acid detergent lignin,ADL)采用范氏洗涤纤维法测定^[10]。

1.4 生物乙醇理论产量

参照 Zhao 等的方法^[11]计算,即木质纤维素乙醇产量(L/hm²)=(CEL+HMC)%×干物质产量(t/hm²)×1.11(CEL和HMC转化为糖的转换因子)×0.85(CEL和HMC转化为糖的过程效率)×0.51(糖转化为乙醇的转换因子)×0.85(糖转化为乙醇的过程效率)×1000/0.79(乙醇比重g/mL)。

1.5 数据处理

数据采用 Excel 进行整理,运用 SPSS 16.0 软件中的单因素方差分析,并采用新复极差法在 α=0.05 和 α=0.01 水平上进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同品系象草的主要植物学特征、生物产量及主要组成成分

13个不同品系象草的株高在1.98~3.32m,不同品系间存在显著或极显著差异,其中品系P33最高,为3.81m,品系P15最矮,为1.98m。单株分蘖数差异较大,在6.0~18.7之间,P18单位平均分蘖数最多,为18.7个,品系P05和P99单株分蘖数较少,分别仅为6.0和6.3个。不同株系的茎叶比在1.87~3.44之间,不同品系间存在显著或极显著差异,其中品系P01的茎叶比极显著高于其他各品系,品系P18的茎叶比最低,极显著低于其他各品系。不同品系的干物质产量在30477~50678kg/hm²,但不同品系间的干物质产量差异较明显,分别达显著或极显著水平,其中品系P118干物质产量最高,极显著高于其他各品系,达50678kg/hm²,品系P33干物质产量其次,极显著高于其他11个品系的干物质产量,品系P18的单位面积干物质产量表现最差,仅为30477kg/hm²,极显著低于其他各品系(表1)。

表1 不同品系象草的植物学性状及生物产量

品系	株高(m)	分蘖(个)	茎/叶	干物质率(%)	干物质产量(kg/hm ²)
P01	3.32±0.20cB	12.0±0.3dD	3.44±0.09aA	25.83±0.87aA	46014±45dD
P03	2.82±0.02eC	8.7±0.1fF	2.90±0.08bB	19.57±1.42cC	42192±173eE
P05	3.23±0.05cdB	6.0±0.1jJ	2.31±0.05eDE	18.38±0.15dC	41355±166fF
P15	1.98±0.05fD	17.7±0.7bB	2.04±0.08hG	16.87±0.66eD	31625±654jJ
P18	2.77±0.10eC	18.7±0.4aA	1.87±0.05iH	15.48±0.39fEF	30477±83kK
P33	3.81±0.12aA	12.7±0.3cC	2.21±0.11fEF	15.24±0.22fF	50018±45bB
P34	3.32±0.23cB	7.0±0.2hH	2.37±0.02eD	18.26±0.28dC	37139±196hH
P48	2.78±0.10eC	10.0±0.4eE	2.31±0.02eDE	19.35±0.50cC	39909±171gG
P56	3.17±0.05cdB	6.7±0.3hiHI	2.50±0.05dC	16.19±0.69efDEF	34153±190iI
P99	3.57±0.09bA	6.3±0.3ijIJ	2.98±0.07bB	21.53±0.58bB	42395±160eE
P110	3.08±0.09dB	8.0±0.2gG	2.14±0.03fgFG	16.67±0.31eDE	32037±181jJ
P115	3.32±0.03cB	10.3±0.2eE	2.10±0.01ghFG	19.58±0.39cC	47714±123cC
P118	3.10±0.13dB	9.0±0.3fF	2.60±0.05cC	21.62±0.26bB	50678±184aA

2.2 不同品系象草的纤维素、半纤维素、木质素含量及木质纤维素乙醇理论产量

不同品系象草的纤维素含量在 30.11% ~ 38.47% 之间,不同品系间存在显著或极显著差异,其中品系 P115 的纤维素含量最高,其次是品系 P01,分别达 38.47% 和 37.80%,极显著高于除 P48 之外的其他各品系,P99 的纤维素含量最低,为 30.11%,极显著低于其他各品系(表 2)。不同品系的半纤维素含量介于 23.47% ~ 29.19% 之间,品系间存在显著或极显著差异,品系 P118 和 P110 的半纤维素含量较高且含量较接

近,极显著高于除 P15 之外的其他品系,品系 P05 的半纤维素的含量最低,仅 23.47%,极显著低于其他各品系。不同品系的酸性木质素含量在不同品系之间的差异达显著或极显著差异,最低的仅为 6.53% (品系 P110),最高的为 11.56% (品系 P01),但主要集中在 7.10% ~ 9.84% 之间。从表 2 中可以看出,不同品系纤维素乙醇理论产量介于 9 419 ~ 16 784 L/hm²,不同品系间存在显著或极显著差异,其中品系 P118、P115 和 P33 等 3 个品系的纤维素乙醇产量较高,极显著高于其他各品系,品系 P18 的最低,仅 9 419 L/hm²。

表 2 不同品系象草的纤维素、半纤维素、木质素含量及生物乙醇理论产量

品系	纤维素含量 (%)	半纤维素含量 (%)	酸性木质素含量 (%)	生物乙醇产量 (L/hm ²)
P01	37.80 ± 0.84abAB	25.92 ± 0.26dD	11.56 ± 0.20aA	15 179 ± 390bB
P03	35.15 ± 0.48efEF	24.31 ± 0.09eE	9.53 ± 0.32cBC	12 989 ± 1053cC
P05	36.61 ± 0.56cdCD	23.47 ± 0.37fF	9.44 ± 0.08cBC	12 865 ± 642cC
P15	35.88 ± 0.47deDE	28.67 ± 0.34abAB	8.53 ± 0.39dDE	10 569 ± 381deDE
P18	34.17 ± 0.29gF	25.52 ± 0.20dD	7.45 ± 0.24FG	9 419 ± 283fF
P33	35.45 ± 0.22eE	27.11 ± 0.28cC	8.55 ± 0.30dDE	16 198 ± 338aA
P34	32.15 ± 0.60hG	26.01 ± 0.38dD	8.87 ± 0.62dCD	11 181 ± 356dD
P48	37.24 ± 0.36bcBC	25.68 ± 0.47dD	8.92 ± 0.23dCD	13 000 ± 365cC
P56	32.53 ± 0.34hG	24.68 ± 0.29eE	7.98 ± 0.42eEF	10 116 ± 593eEF
P99	30.11 ± 0.23iH	27.08 ± 0.50cC	10.97 ± 0.55bA	12 552 ± 440cC
P110	34.11 ± 0.14gF	28.99 ± 0.63aA	6.53 ± 0.21gH	10 465 ± 496eDE
P115	38.47 ± 0.41aA	28.14 ± 0.22bB	9.84 ± 0.55cB	16 454 ± 229aA
P118	34.78 ± 0.66fgEF	29.19 ± 0.31aA	7.10 ± 0.24fGH	16 784 ± 295aA

3 讨论与结论

生物乙醇主要由植物体内的糖类物质,如可溶性糖、纤维素和半纤维素等经生物酶的作用转化而来,植物特别是禾本科植物在生长的过程中,随着生长期的延长,其体内可溶性糖的含量积累到一定程度不再增加,随着植株衰老还表现为含量逐渐减少的趋势,而纤维素和半纤维素的积累呈不断积累增加趋势^[12-13]。Dolciotti 等研究表明,植物的茎是糖类积累的主要器官,也是生产生物乙醇的重要器官^[14]。茎中积累大量的纤维素和半纤维素,约占茎干物质的 50% 以上。因此生物产量的高低以及茎叶比的大小直接影响其生物乙醇的产率。木质素是植物茎中被纤维素、半纤维素紧密结合的一类不易被降解的物质,木质素的存在以及含量的多少直接影响生物酶的作用,进而影响生物乙醇的产率。本研究中的生物乙醇产率是以纤维素和半纤维素的含量通过经验公式计算而来,而没有考虑不同木质素含量对生物乙醇产率的影响^[6],有关木质素对生物乙醇的转化率的影响有待进一步研究。综合考虑不同品系的生物产量及生物乙醇产量,品系 P118、P115 和 P33 具有较高的生物质能源开发利用价值。

参考文献:

[1] 侯新村,范希峰,武菊英,等. 纤维素类能源草在京郊地区的经济效益与生态价值评价[J]. 草业学报,2011,20(6):12-17.
 [2] 顾洪如,白淑娟,杨运生,等. 美洲狼尾草与象草杂交种生产的花期相遇及积温稳定性研究[J]. 草地学报,1994,2(2):27-32.
 [3] Lee M K, Tsai W T, Tsai Y L, et al. Pyrolysis of napier grass in an induction - heating reactor[J]. Journal of Analytical and Applied

Pyrolysis,2010,88(2):110-116.

[4] 周定国,张晓伟,徐咏兰,等. 杨木/狼尾草复合中密度纤维板工艺研究[J]. 林业科技开发,2007,21(5):58-60.
 [5] Stricker J A, Smith D W H. Economic development through biomass systems integration in central Florida [M]. University of Florida Center for Natural Resources,2004.
 [6] Jewell W J, Cummings R J, Richards B K. Methane fermentation of energy crops: maximum conversion kinetics and *in situ* biogas purification[J]. Biomass and Bioenergy,1993,5(3/4):261-278.
 [7] Schank S C, Chynoweth D P, Turick C E, et al. Napiergrass genotypes and plant parts for biomass energy [J]. Biomass and Bioenergy,1993,4(1):1-7.
 [8] Woodard K R, Prine G M, Bachrein S. Solar energy recovery by elephantgrass, energycane, and elephantmillet canopies [J]. Crop Science,1993,33(4):824-830.
 [9] 丁成龙,张建丽,许能祥,等. 象草种子苗的遗传变异及种间杂交研究[J]. 江苏农业科学,2008(5):194-196.
 [10] 杨 胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:北京农业出版社,1993:58-63.
 [11] Zhao Y L, Dolat A, Steinberger Y, et al. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel [J]. Field Crops Research,2009,111(1):55-64.
 [12] 张 霞,顾洪如,丁成龙,等. 象草产量及生物学性状的品系间差异及聚类分析[J]. 中国草地学报,2009,31(1):58-63.
 [13] 吴娟子,张建丽,潘玉梅,等. 象草和杂交狼尾草细胞壁组分及乙醇理论产量动态分析[J]. 草业学报,2014,23(4):153-161.
 [14] Dolciotti I, Mambelli S, Grandi S, et al. Comparison of two sorghum genotypes for sugar and fiber production [J]. Industrial Crops and Products,1998,7(2):265-272.