

百喜草研究与应用进展

夏汉平, 蔡锡安, 刘世忠

(中国科学院华南植物研究所生态中心, 广东 广州 510650)

摘要: 系统总结了 20 世纪特别是近 10 年来有关百喜草的研究与推广利用情况。这些研究与应用成果表明, 百喜草这一原产南美地区的多年生禾草有着较强的抗逆性和较广的适应性, 在水土保持、环境治理、植物净化、土壤改良以及用作草坪与牧草等方面都有良好的效益, 在全球热带、亚热带地区有着十分广阔的应用前景。我国开展百喜草的研究与引种栽培也有 10 多年历史, 生态效益、经济效益和社会效益都较明显, 因而很值得在我国南方进一步推广应用。

关键词: 百喜草; 草地生态; 研究与应用

中图分类号: S543.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6311(2003)01-0044-10

Advance in Research and Application of Bahia Grass. XIA Han-ping, CAI Xi-an, LIU Shi-zhong (*South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China*): *Grassland of China* No. 1, 2003, pp. 44 ~ 53.

Abstract: Bahia grass (*Paspalum notatum* Flugge), is a deep-rooted perennial that spreads slowly by stout stolons or seeding. Native in South America and northward to Mexico, the plant has been introduced and utilized in the whole tropics and subtropics of the globe during the last century. In order to maximize its excellent characteristics and to enlarge its usages as many as possible, studies on bahia grass have been conducted in the past 100 years, especially in the last decade. These studies and applications indicate that bahia grass is strongly resistant and well adapted to adverse conditions, and what is more, it is an excellent species in the aspects of erosion control, ecological restoration, phytoremediation, soil amelioration and of course, using as turfgrass and forage. Therefore, bahia grass is quite promising in sustainable development of agriculture in the future. Bahia has been introduced into China and been studied in China for over 10 years, which has been testified that it can produce good ecological, economic, and social benefits in China, thereby it should be further disseminated and applied around the whole South area of China.

Key words: *Paspalum notatum* Flugge; Grassland ecology; Research and application

收稿日期: 2002-07-11; 修订日期: 2002-10-14

基金项目: 广东省科技攻关项目(99M05401G) 与中国科学院鹤山丘陵综合开放试验站开放基金资助项目

作者简介: 夏汉平(1966-), 男, 博士, 研究员, 湖南汉寿县人, 主要从事草地生态学与恢复生态研究, 发表论文 70 余篇, 出版专著 1 部。

1 引言

百喜草 (*Paspalum notatum* Flugge) 是禾本科雀稗属的一种多年生匍匐草本,株高 30~50cm,叶色深绿、光滑,叶长 20~50cm,弯曲下垂;根状茎粗壮,贴伏地表,匍匐延伸,贴伏地表的一面能节节生根入土,并牢固地粘贴地表,根系较发达,通常深达 80cm 左右;总状花序顶生,花穗长 10~14cm,夏秋间开花结实。百喜草原产南美洲及墨西哥湾的墨西哥和古巴等地^[1,2]。在巴西的天然草地中,百喜草的重要性指数是最高的^[3]。由于品种优良,用途广泛,目前全球的热带、亚热带地区几乎都引种栽培了这一植物。美国于 1913 年引入该种^[1],仅过 60 年就迅速覆盖了美国东南部几百万公顷的草地^[4]。目前,仅佛罗里达州就有至少 200 万 hm^2 的 Pensacola 百喜草品种,占该州改良草地的 2/5,其它品种的百喜草在该州也有栽培^[5]。我国台湾于 20 世纪 50 年代先后从美国和菲律宾引入该种,后迅速在全岛传播开,如今它已成为岛内分布最广、用途最多、使用最频的草种,其面积约占全岛草地面积的 90% 以上,台湾人普遍称它为“宝贝草”^[6]。在国内,江西省在 80 年代末从台湾引种,已被农业部列为农业新草种进行推广。目前,该草种已推广至四川、云南、贵州等 8 省区,并在

三峡库区建立了种草样板基地,以保障库区水土^[7]。由于百喜草的优良特性和多种用途,人们为了更好地利用它,在引种栽培和推广应用的同时也对它进行了大量的卓有成效的研究。本文试图对上世纪,特别是最近 10 年有关它的研究成果作一综述,以期为将来进一步研究和更广泛地利用这一植物提供依据。

2 形态特征与生理生态特性研究

2.1 形态与品系

百喜草是一个多态种,种质类型繁多,主要的栽培品系包括 Pensacola、Argentine、Paraguay、Tifton-7、Tifton-9、Wallace、Wilmington、Tampa 等,其中 Pensacola 与变种 *P. notatum* var. *saurae* 为 2 倍体,其余为 4 倍体(表 1)^[2,8]。在从野外收集到的 127 个百喜草种质中,有 116 个为四倍体,只有 11 个为 2 倍体^[9]。另外,还有 3 倍体的报道^[10]。这些种质类型在外形上也存在肉眼可见的差异,而且这些差异还会随收割频率的不同进一步变化^[11]。通常,人们还根据叶的宽度将百喜草分为 2 类:叶宽小于 0.65cm 者称细叶种(小叶种),大于 0.65cm 者为宽叶种(大叶种);细叶种的耐寒、耐阴性往往强于宽叶种^[12]。

表 1 百喜草的主要栽培品系及其植物学特性比较

品 系	叶宽 (mm)	叶长 (cm)	生物量 (g/株)	小花结颖果率 (%)	种子量 (g/株)	种子千粒重 (g)	染色体数 (2n)	抗 冻 能 力
Tifton	9.2	22.5	181	67.9	33.4	3.72	40	差
Wallace	7.1	11.9	123	66.0	46.9	3.77	40	较差
Paraguay	6.5	18.6	178	66.0	53.4	2.34	40	较强
Wilmington	5.4	17.3	160	43.9	17.9	2.72	40	强
Pensacola	5.2	19.9	339	73.6	67.4	1.75	20	很强

2.2 根系特征

百喜草根系发达,根量多,通常深达 0.8 ~ 1m,其中上层 40cm 的根量占总根量的 70%,40cm 以下的土层亦分布高达 30% 的根量。早在 60 年前,Burton^[13]就对百喜草的根系进行了观测,他发现其根系最长能达 110cm 左右,明显比同属的毛花雀稗 (*P. dilatatum*)、*P. malacophyllum* 和 *P. urvillei* 都长;不仅如此,其根量还相当大,是类地毯

草 (*Axonopus affinis*) 的 5.72 倍;由此他认为这是百喜草耐旱的重要原因。百喜草根量大还表现在主根多,平均每个分蘖对应 12.4 条主根^[14]。不过,不同品系之间的根系量可能相差甚远。“Argentine”品系的主根、侧根和总的根长均显著高于“Pensacola”品系(表 2)。有趣的是,不同品系的狗牙根 (*Cynodon dactylon*) 和结缕草 (*Zoysia* spp.) 亦表现出如此巨大的差异^[15]。

表 2 几种不同品系草坪草种的每株根系累积长度 (m/plant)

种类与品系	主 根		一级侧根		二级侧根		总根长	
	不计根毛	计根毛	不计根毛	计根毛	不计根毛	计根毛	不计根毛	计根毛
百喜草 Argentine	4.6	6.8	17.2	65.1	1.7	6.3	23.6	78.3
百喜草 Pensacola	0.7	1.6	2.0	3.2	0.0	0.0	2.6	4.8
狗牙根 FB119	7.2	202	71.4	648	17.7	108	96.3	958
狗牙根 Tifway	0.7	4.4	2.4	13.3	0.5	1.4	3.5	19.1
结缕草 Meyer	1.7	1.7	4.0	24.3	0.1	0.1	5.8	26.1
结缕草 Emerald	0.8	0.8	4.8	4.8	2.7	2.7	8.2	8.2

2.3 生理生态学特性

百喜草适应性较广,抗逆性较强,生长迅速,能耐一定程度的高温和干旱,耐修剪,耐践踏,较耐阴,抗微霜。在抗旱和抗冻方面,百喜草虽不及香根草 (*Vetiveria zizanioides*),但明显强于水花生 (*Alternanthera philoxeroides*);在抗热性方面,它亦好于水花生,且和香根草相差不大,但在长时间和高强度逆境胁迫下明显不如香根草^[16]。百喜草还具有一定的抗盐性,属中度抗盐种,导致其生物量下降 10% 和 50% 的土壤 EC_{se} 值分别为 4.3dS/m 和 11.5dS/m^[17]。该植物对土壤要求不严,在肥沃或瘠瘦的土壤上均可生长;也极少感染病虫害,至今我们尚未发现有病虫害危害,但有报道说它会受麦角菌 (ergot)、*Helminthosporium* spp. 和 *Rhizoctonia* spp. 的侵害^[18]。百喜草茎的水浸提液具有化感

作用,对多花黑麦草 (*Lolium multiflorum*) 等种子的萌发有明显的抑制作用^[19]。

3 繁殖与栽培研究

3.1 种植与管理

百喜草的种子发芽速率较慢,一般要在播种后 12d 左右才能出苗,1 个月后才长出 3 片新叶。发芽缓慢主要是由于种子的休眠特性所造成^[20]。用茎节插植繁殖时,应先剪除插条先端的部分叶片,再将基部斜插入土,插入深度以苗长的 2/3 为宜,先端的新叶露出地面,株行距保持在 15 ~ 20cm × 30 ~ 40cm 左右^[12]。春季播种 2 个月左右后,百喜草开始进入快速生长阶段,匍匐茎每年生长 35 ~ 40cm。百喜草对土壤要求不严,在 pH 5 左右的土壤中能正常生长,根系能扎入 Al 饱和度高达 70.9% 的土层中^[21]。百喜草是 C₄

植物,温度或 CO_2 浓度变化都对其生长产生影响^[22,23,24]。在生长期,叶片与匍匐茎的伸展速率在 7~8 月间最快,在 11 月份最慢,它与气温呈显著相关性 ($r = 0.778$, $P < 0.05$)^[25]。百喜草为长日照植物,它在光合作用期间受光照质量与光照时间的影响较大^[26],当每日光照时间延长至 15h,5 周后的生物量比对照显著增加,最高达 6.2 倍^[27]。从种植或移栽半年左右后,可开始收割或放牧,每年可割草多次,割下来的青草可供作家畜青饲料。饲草产量因品种不同而不同,通常每年在 3000~4000kg/hm²,其中 Tifton-7 和 Tifton-9 最高,分别为每年 3960kg/hm² 和 3860kg/hm²^[5]。2 年后,百喜草即可形成非常致密、厚实、磐根错节的草层,其根状茎的条数高达 3819~4791 条/m²^[28]。

与多数草坪草相比,百喜草显得较高,特别是抽穗后高且难看。因此,用于建植草坪的百喜草需要经常进行修剪,以便形成致密、厚实的草皮。一般来说,修剪越低百喜草所产生的分蘖数和根系数量就越多,匍匐茎也会长得越长,相应地固土效果就变得越明显。Hirata^[14]观测发现到为增加草皮密度,剪割高度不应超过 7cm,为增加主根数量,不得高于 12cm。除修剪外,喷洒植物生长调节剂也能起到一定的控制作用。如 sulfometuron 能降低 23% 的株高,减少 87%~92% 的穗头,而对草坪质量基本不产生影响^[29]。Baker 等^[30]发现,很多生长调节剂均能减少甚至在短期内完全控制百喜草的抽穗,根据喷药种类、方式和时间不同,穗头的抑制率达 10%~100%,抑制时间 4~16 周不等。

3.2 施肥效应

百喜草可在贫瘠的土壤上生长,在酸性土壤上 (pH 4.5) 施用石灰改良土壤后不会促进其产量或鲜草质量的提高,施用石膏甚至还降低之^[21]。但施肥能明显地促进它的生长发育,一般应每年施肥 2~3 次,以促进

其持续快速生长。对播种形成的草地,初次追肥应在播种 5 周之后,因为这时叶片开始生长,根系系统逐渐形成,并具备了捕获土壤养分的能力^[31]。N 肥对新叶形成有一定的促进作用,并能使叶片长得更大^[25]。当 N 肥用量分别为 56kg N/hm²、112kg N/hm²、224kg N/hm² 和 448kg N/hm² 时,百喜草的年生物量分别为 (干重) 6010kg/hm²、8240kg/hm²、11900kg/hm² 和 15200kg/hm²; 但是,随 N 肥用量从 56kg/hm² 增加到 448kg/hm² 时,鲜草中的干物质量从 354g/kg 下降到 307g/kg,表明 N 肥还使叶片的水分含量增加^[32]。当土壤测试 $P > 16\text{mg/kg}$ 或测试 $K > 35\text{mg/kg}$ 时,施 P 或施 K 对百喜草的生长不会再起促进作用^[33]。当土壤 Bh 层 (75~90cm 深处) 存在足够的有效 P 时,百喜草的产量和对 P 的吸收量与 P 肥的施用无关,不管所施用的是无机 P 还是有机 P 或者根本不施 P 肥^[34]。Rechigl 等^[35]认为,这可能是由于百喜草的根系穿透力强,能够深入到土壤深处,如 Bh 层甚至 1m 以下灰化淀积层,从而吸收到矿物 P 所致。不过,Burton 等^[32]观测到植株体的 N、P、K 含量随 N、P、K 肥用量的增加而升高,当 N 肥用量从 56kg/hm² 增加到 448kg/hm² 时,干物质中的 N 浓度从 10.6kg/hm² 上升至 17.0g/kg,当 P 肥 (P_2O_5) 或 K 肥 (K_2O) 的用量从 56kg/hm² 增加到 112kg/hm² 时,干物质中的 P 或 K 浓度分别从 1.4~1.5 或 14.8 上升至 1.7~1.8 或 21.1 g/kg。

3.3 抽穗结实

如果百喜草种植较密,且种植后未受到任何干扰的话 (不剪割、不啃食、不燃烧),则它往往停留在营养生长阶段而不进入生殖生长或只有极少部分抽穗开花。原因是厚实的植被层能抑制植物抽穗开花。清除残余物 (剪割或燃烧地上部分) 或施用 N 肥,可增加百喜草的种子产量^[36,37],其中在休眠阶段或

早期营养生长阶段清除残余物并施用 N 肥可使种子产量达到最高,是一般大田管理的 3~7 倍^[38]。修剪比燃烧能产生更多的小花或小穗,但两种处理的种子总产量并没有明显差异;施 N 肥显著地增加花枝数量和种子产量($P < 0.05$),但对种子质量和种子重量不产生影响^[38]。为了获得高质量的种子,清除残余物的工作在早期的营养生长阶段就应开展。另外,雨水对种子形成影响很大,抽穗灌浆期间如遇到长时间雨天或暴雨天气,则易产生低质量的不饱满种子,并形成大量空壳,使种子产量下降^[38];尽管多雨的天气可能有利于生物量的累积^[21]。

4 作用与生态功能研究

4.1 水土保持

由于百喜草能覆盖整个地表,其匍匐茎贴靠地表,根系纵深,穿透力强,且对土壤有一定的固着力,从而使得它具有较强的防治土壤冲刷和固土护坡的能力,尤其在缓坡地上表现出相当好的水土保持效果。台湾经过多年多项的水土保持试验观察后,认定该植物是岛内最佳的水土保持与坡地覆盖植物,并广泛用于高速公路两旁和水土流失坡地。例如,在坡度为 19.4 度的砂质土壤上种植百喜草覆盖后,年土壤流失量仅为 $0.09\text{t}/\text{hm}^2$,而裸露地高达 $82.89\text{t}/\text{hm}^2$ ^[39]。又如,在种植蔬菜的坡地上(11.3 度),受百喜草带状保护处理的年径流量与年侵蚀量分别为 620mm 和 $267\text{kg}/\text{hm}^2$,明显低于画眉草(*Eragrostis* sp.) 保护的處理(分别为 1369mm 和 $18400\text{kg}/\text{hm}^2$)、内斜式梯田处理(分别为 758mm 和 $400\text{kg}/\text{hm}^2$)和清耕对照区(分别为 2132mm 和 $2102133\text{kg}/\text{hm}^2$)^[40]。同时还由于百喜草紧贴地表,所形成的草皮能有效拦截雨水并使其下渗入土,从而使得土壤的含水量增加。百喜草的水土保持效应还来自于它能提高土壤稳定渗透系数,和对

照相比,幼龄果园套种百喜草 2 年后土壤稳定渗透系数提高 3.6 倍^[41]。另外,百喜草还表现出很强的耐淹特性。我们目前进行的有关试验表明,百喜草至少能抵抗 50 d 的淹水,其耐淹能力强于假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)、地毯草(*Axonopus compressus*)、钝叶草(*Stenotaphrum secundatum*)、竹节草(*Chrysopogon aciculatus*)、两耳草(*Paspalum conjugatum*)。Kalmbacher 等^[42]试验证明,百喜草种子在淹水 28d 后的发芽率仍高达 38%,而同样可用于水土保持的 *Paspalum atratum* 和 *Brachiaria humidicola*,它们的种子在淹水 28d 的时间后发芽率分别为 14%和 0。由此可知,将百喜草种植于河道、水库、湖泊的边坡,可很好地保护这些边坡免遭因间期性淹水或波涛作用所带来的侵蚀。不过,David^[43]发现百喜草的耐淹性似乎不如 *Panicum hemitomon*、铺地黍(*Panicum repens*)和 *Pontederia cordata*。

4.2 改良土壤,促进作物生长

百喜草有较发达的根系,每年可新增根系 $0.5\text{kg}/\text{m}^2$ 左右,而且每年有部分老根死亡,为新根所取代^[12]。死亡的根系及地上部分的枯茎落叶,在土壤中分解后能形成腐殖质,达到改良土壤理化性状、增加土壤养分之目的。在幼龄果园种植百喜草 14 个月,表层土壤有机质就从原来的 0.7%上升至 1.2%,全 N、全 P 和速效 K 也分别从 0.032%、0.62% 和 $71.2\text{mg}/\text{kg}$ 上升至 0.09%、0.96% 和 $121.9\text{mg}/\text{kg}$ ^[41]。用百喜草覆盖表土,与对照区(人工除草)相比表层土壤有机质增加 0.59%,有效 P 和 K 分别增加 $23\text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $92\text{kg}/\text{hm}^2$ ^[44]。百喜草与作物轮作亦能产生良好的生态效益^[45]。它与花生(*Arachis hypogaeas*) 轮作的效果好于玉米(*Zea mays*) 或棉花(*Gossypium hirsutum*) 与花生轮作的效果,具体表现在病虫害明显减少、花生增产 30%左右^[46]。和连作的大

豆 (*Glycine max*) 相比,与百喜草轮作的大豆产量增加 85% 之多^[47]。在土豆 (*Ipomoea batatas*)、甜玉米、大豆、百喜草等几种作物的轮作体系中,以百喜草—百喜草—土豆轮作的土豆年产量最高(表 3)^[48]。不仅如此,即使是与同科的狗牙根相比,在百喜草—花生和狗牙根—花生等几种轮作体系中,前者使得土壤中的根结线虫 (*Meloidoeyne arenaria*) 数量降至最低,并产生了最高的花生产量,而后的根结线虫的数量最多,并使花生产量最低^[49]。实际上,这种轮作还能使 southern blight (*Sclerotium rolfii*) 的危害大大降低^[50,51]。不过,百喜草轮作对抑制害虫和促进作物增产的效果往往只能持续 1 年,到第 2 年这种效果就明显下降^[52,45]。另外,百喜草接种菌根菌后能长出大量菌

根^[53],其数量多过和它间种的柑桔^[54]。然而,百喜草与作物间种难以表现出良好的促进作用。例如,将一种银合欢 (*Leucaena leucocephala*) 分别与大黍 (*Panicum maximum*)、双花草 (*Dichanthium annulatum*) 和百喜草间种,结果不论是播种 10 个月后还是放牧 1 年后,与百喜草间种的银合欢始终生长最差,其株高、每株干重和每株的叶片数均显著低于与大黍和与双花草间种的^[55]。百喜草覆盖在桃林里,不仅会使桃树 (*Prunus persica*) 发育迟缓、长得矮小,还会使其根系的密度和深度受到影响,尽管它也会消灭土壤中的根结线虫等害虫^[56,57];而且这种对树木的抑制作用即使辅以施肥与灌溉也不能排除^[58]。因此,树木底下可能不适宜间种百喜草。

表 3 几种轮作方式对不同级别土豆年平均产量的影响 (t/hm²)

轮作	土豆质量级别				总量
	U. S. No. 1	U. S. No. 2	Jumbo	Canner	
1. 百喜草 - 百喜草 - 土豆	1.29a *	1.16a	1.00a	1.34a	4.79a
2. 土豆 - 甜玉米 - 甜玉米	0.85b	1.04ab	0.79ab	1.00abc	3.68b
3. 土豆 - 大豆 - 甜玉米	0.84b	0.96abc	0.74ab	1.08ab	3.62b
4. 土豆 - 甜玉米	0.76bc	0.72bcd	0.64bc	1.06abc	3.18bc
5. 土豆 - 大豆	0.48bc	0.67cd	0.57bc	0.77bc	2.49cd
6. 土豆连作	0.46c	0.54d	0.40c	0.72c	2.12d

注:同一栏内相同字母的平均值表示在 $\alpha = 0.05$ 水平无显著性差异。

4.3 用作草坪

百喜草可作为绿化草坪草。虽然其观赏性不及结缕草等草坪草,但其较广的适应性、较强的抗逆性和能抑制杂草生长、病虫害少、易建植、易管理、成本低的优点为多数草坪草所不及,如今它已在我国台湾、美国、南美等地广泛用于建植草坪^[6,59]。目前,广州、深圳等地亦开始用百喜草建植草坪。据测定,百喜草叶片的释氧量在 $95\mu\text{mol}/\text{dm}^2/\text{h}$ 以上,因而它还具有较高效的净化空气的功

能^[39]。不过,百喜草生长较快,抽穗后穗头伸出较高,影响美观,因此用作草坪的百喜草要经常修剪,以提高其观赏性和美感^[59]。如前所述,喷施植物生长调节剂也是一种控制株高和抑制抽穗的手段,尽管这一措施对草坪颜色会产生一段时间的影响^[29,59,30]。

4.4 用作牧草

百喜草耐修剪、耐践踏、耐重牧,是一种较理想的热带亚热带放牧用牧草。百喜草在南美洲的许多国家以及美国、马来西亚、澳大

利亚等国都是重要的牧场牧草^[3,60];它甚至在日本低海拔的温暖地区(如九州岛)也是最有希望的放牧牧草之一^[25]。在茶园、果园种百喜草覆盖后,可明显减轻杂草的侵入,同时可以实行斜面种植,节省修筑梯田和清理杂草所需的大量人力、财力,并且可在园内开展畜牧业养殖,使果园能持续经营利用。百喜草叶片中的营养成分含量(g/kg 干重):粗蛋白 89;粗纤维 300;灰分 111;Ca 4.6;P 2.2^[12]。来自美国的结果似乎更高:粗蛋白 123;中性去污纤维素 639;酸性去污纤维素 318;体外真消化率 603;木质素 39g/kg;但不同品种之间存在一定差异^[11]。百喜草的营养成分和适口性虽不及黑麦草,但它的生态适应性与抗逆性要明显强于黑麦草,并且可常年提供草料。又由于百喜草是多年生植物,因此一次种植能多年受益。Mislevy 等^[61]发现,百喜草的粗蛋白含量与可消化性虽不及牛鞭草(*Hemarthria altissima*)和狗牙根的“Tifton-85”和“Florakirk”品种,但山羊似乎更爱吃它。

4.5 生态恢复

近年来,百喜草被试图用于改善生态环境,结果发现它还是一种理想的环境改良与生态恢复植物,这主要是由于它的抗逆性较强、适应性较广的缘故。例如,Reynolds 等^[62]发现,种植百喜草后土壤中的油类污染物含量显著下降,原因是它使土壤微生物数量增加了 287 倍,极大地加剧了污染物的生物降解。百喜草在生物修复方面也表现出良好效果,它不仅能在 Pb、Zn、Cd 含量分别高达 3251mg/kg、3523mg/kg、21.7mg/kg 且一般植物难以存活的 Pb/Zn 尾矿上生长,而且其根系中还能累积高达 33.3~218.5 mgpb/kg 和 50.5~331.8mgZn/kg^[63]。Ery 等^[64,65]发现,百喜草在含有放射性核废料的土壤中生长期 24 周后能从中吸收 32.7%~56%的⁹⁰Sr 和 24.5%~43.6%的¹³⁷Sr,施用

有机肥或给百喜草接种菌根菌都还能进一步增加它对放射性物质的吸收。百喜草还可用于污水的净化,在一个由百喜草和狗牙根组成的草篱对池塘养殖水的净化实验中,草篱清除 18%~82%的 TSS;养殖水经草篱过滤后,COD 和 TKN 分别降至 11.8 和 60.8 mg/L,而经地表漫灌后的 COD 和 TKN 分别 17.9 和 77.9mg/L,明显偏高^[66]。不过,夏汉平等人的观测发现,百喜草在垃圾污水中难以生长,基本起不到净化污水的作用^[67]。

5 结语

北半球对百喜草的利用已接近 1 个世纪,南半球特别是南美洲显然要更长,但有关它的研究仍在进行之中,尤其是近 10 年有关它的最新研究成果和应用不断问世,这表明百喜草的确是一种令人青睐的植物,而且这些研究成果与应用已经充分证明该植物品质优良、用途广泛,在牧草饲料、草坪绿地、环境保护与生态恢复方面都能产生良好的效果。无疑,它在中国南方地区也必将会有广阔的发展前景,并能取得良好的经济效益^[41]。大力推广这一植物,不仅能较好地解决饲料问题和生态环境问题,而且还能为畜牧业乃至整个大农业的持续发展打下良好的基础^[68]。但是,我们也应看到,由于百喜草是一个多品种,种质类型繁多,而且各品系之间的性能存在不同程度的差异,结果导致了一些研究结果的不一致性,甚至对同一品系的观测也出现了较大差异。如 Green 等^[15]观测到 Pensacola 品种根系很不发达,但 Ibrikci 等^[34]和 Rechcigl 等^[35]都测得该品种根系下扎深度超过 0.7m,因而其总的根长将肯定超过甚至远远高于 Green 等人的观测值。又如,多数植物生长调节剂抑制百喜草的生长与开花^[29,30],但也有一些(NAA, IBA, IAA 等)可能促进它开花^[69]。诚然,产生差异的原因也可能是由于开展实验的环境条件不同所

致,但不管怎样,今后在推广应用该植物之前还应进行必要的观测和野外测试,并将它与有关的其他植物结合起来,形成多物种的协同效应,以便产生更稳定、更理想的效果。

参考文献:

- [1] Scott J M. Bahia grass[J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1920, 12: 112 - 113.
- [2] Burton G W. Bahia grass types [J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1946, 38: 273 - 281.
- [3] Nunes G E, Iob B I. Phytosociology of an altered range from the Depressao Central of Rio Grande do Sul, Brasil [J]. Iheringia Serie Botanica, 1999, 52: 23 - 24.
- [4] Burton G W. Recurrent restricted phenotypic selection increases forage yields of Pensacola bahiagrass [J]. Crop Science, 1974, 14: 831 - 835.
- [5] Muchovej R M, Mullahey J J. Yield and quality of five bahiagrass cultivars in southwest Florida [J]. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings, 2000, 59: 82 - 84.
- [6] 夏汉平, 敖惠修. 我国台湾的主要禾草简介 [J]. 草原与草坪, 2000, (1): 43 - 45.
- [7] 寇勇, 丁频. 小草作用大, 丘陵换新装——百喜草生态经济价值引人注目 [N]. 科技日报, 1999 - 10 - 19(2).
- [8] Quarin C L, Espinoza F, Martinez E J, Pessino S C, Bovo O A. A rise of ploidy level induces the expression of apomixis in *Paspalum notatum* [J]. Sexual Plant Reproduction, 2001, 13(5): 243 - 249.
- [9] Pozzobon M T, Valls J F M. Chromosome number in germplasm accessions of *Paspalum notatum* (Gramineae) [J]. Brazilian Journal of Genetics, 1997, 20: 29 - 34.
- [10] Tischler C R, Burson B L. Evaluating different bahiagrass cytotypes for heat tolerance and leaf epicuticular wax content [J]. Euphytica, 1995, 84: 229 - 235.
- [11] Cuomo G J, Blouin D C, Corkern D L, McCoy J E, Walz R. Plant morphology and forage nutritive value of three bahiagrasses as affected by harvest frequency [J]. Agronomy Journal, 1996, 88: 85 - 89.
- [12] 夏汉平, 敖惠修. 百喜草——护坡、草坪植物新秀 [J]. 广东园林, 1997, (4): 33 - 34.
- [13] Burton G W. Factors influencing seed setting in several southern grasses [J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1943, 35: 465 - 474.
- [14] Hirata M. Response of bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge) sward to cutting height: 3. Density of tillers, stolons and primary roots [J]. Journal of the Japanese Society of Grassland Science, 1993, 39: 196 - 205.
- [15] Green R L, Beard J B, Oprisko M J. Root hairs and Root lengths in nine warmseason turfgrass genotypes [J]. Journal of the American Society of Horticultural Science, 1991, 116: 965 - 969.
- [16] 夏汉平, 李美茹. 香根草、百喜草和水花生三种植物的抗性比较 [A]. 香根草研究与展望 [C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998. 45 - 49.
- [17] 夏汉平, 刘世忠, 敖惠修. 香根草等三种植物的抗盐性比较 [J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(1): 7 - 17.
- [18] Burton G W. Breeding Pensacola bahiagrass, *Paspalum notatum*: I. Method of reproduction [J]. Agronomy Journal, 1955, 47: 311 - 314.
- [19] Martin L D, Smith A E. Allelopathic potential of some warm - season grasses [J]. Crop Protection, 1994, 13(5): 388 - 392.
- [20] Gates R N, Mullahey J J. Influence of seeding variables on "Tifton 9" bahiagrass establishment [J]. Agronomy Journal, 1997, 89: 134 - 139.
- [21] Rechcigl J E, Mislevy P, and Alva A K. Influence of limestone and phosphogypsum on bahiagrass growth and development [J]. Soil Science Society of American Journal, 1993, 57: 96 - 102.
- [22] Fritschi F B, Boote K J, Sollenberger L E, Allen L H, Sinclair T R. Carbon dioxide and temperature effects on forage establishment: photosynthesis and biomass production [J]. Global Change Biology, 1999, 5: 441 - 453.
- [23] Fritschi F B, Boote K J, Sollenberger L E, Allen L H. Carbon dioxide and temperature effects on forage establishment: tissue composition and nutritive value [J]. Global Change Biology, 1999, 5: 743 - 753.
- [24] Newman Y C, Sollenberger L E, Boote K J, Allen L H, Littell R C. Carbon dioxide and temperature effects on forage dry matter production [J]. Crop Science, 2001, 41(2): 399 - 406.
- [25] Hirata M. Effects of nitrogen fertilizer rate and cutting

- height on leaf appearance and extension in bahia grass (*Paspalum notatum*) swards[J]. *Tropical Grasslands*, 2000, 34: 7 - 13.
- [26] Marousky F J, and Blondon F. Red and far - red light influence carbon partitioning, growth and flowering of bahia grass (*Paspalum notatum*) [J]. *Journal of Agriculture Science*, 1995, 125: 355 - 359.
- [27] Sinclair T R, Mislvey P, Ray J D. Short photoperiod inhibits winter growth of subtropical grasses[J]. *Planta*, 2001, 213: 488 - 491.
- [28] Pakiding W, Hirata M. Tillering in a bahia grass (*Paspalum notatum*) pasture under cattle grazing: results from the first two years[J]. *Tropical Grasslands*, 1999, 33: 170 - 176.
- [29] Nelson L S, Getsinger K D, Luu K T. Effect of chemical treatments on bahiagrass (*Paspalum notatum*) suppression[J]. *Weed Technology*, 1993, 7: 127 - 133.
- [30] Baker R D, McCarty L B, Colvin D L, Higgins J M, Weinbrecht J S, Moreno J E. Bahiagrass (*Paspalum notatum*) seedhead suppression following consecutive yearly applications of plant growth retardants [J]. *Weed Technology*, 1999, 13: 378 - 384.
- [31] Busey P. Seedling growth, fertilization timing, and establishment of bahiagrass[J]. *Crop Science*, 1992, 32: 1099 - 1103.
- [32] Burton G W, Gates R N, Gascho G J. Response of Pensacola bahiagrass to rates of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer[J]. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, 1997, 56: 31 - 35.
- [33] Stanley R L Jr, Rhoads F M. Bahiagrass production, nutrient uptake, and soil - test P and K[J]. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, 2000, 59: 159 - 163.
- [34] Ibriki H, Hanlon E A, Rechcigl J E. Inorganic phosphorus and manure effects on bahiagrass production on a Spodosol[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1999, 54: 259 - 266.
- [35] Rechcigl J E, Payne G G, Bottcher A B, Porter P S. Reduced phosphorus application on bahiagrass and water quality[J]. *Agronomy Journal*, 1992, 84: 463 - 468.
- [36] Burton G W. A comparison of the first year's root production of seven south grasses established from seed[J]. *Journal of the American Society of Agronomy*, 1943, 35: 192 - 196.
- [37] Burton G W. Seed production of several southern grasses as influenced by burning and fertilization[J]. *Journal of the American Society of Agronomy*, 1944, 36: 23 - 529.
- [38] Adjei M B, Mislvey P, Chason W. Seed yield of bahiagrass in response to sward management by phenology [J]. *Agronomy Journal*, 1992, 84: 599 - 603.
- [39] 李镠. 草坪的栽培及管理[J]. *台湾农业*, 1991, 27 (2): 130 - 134.
- [40] 林昭雄, 郑庆生. 热带地区生产夏季蔬菜之坡地水土保持方法研究[J]. *中华农业研究*, 1985, 34 (2): 173 - 182.
- [41] 蔡志发. 幼龄果园套种百喜草的技术与效益研究初报[A]. 中国草原学会. 中国草地科学研究进展——中国草原学会第四届第二次年会暨学术讨论会文集 [C]. 北京: 中国农业大学出版社, 1998. 183 - 187.
- [42] Kalmbacher R S, Martin F G. Effects of flooding on seed germination and emergence of three pasture grasses[J]. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, 1998, 57: 73 - 77.
- [43] David P. Response of exotics to restored hydroperiod at Dupuis Reserve, Florida[J]. *Restoration Ecology*, 1999, 7: 407 - 410.
- [44] 夏汉平, 刘世忠, 敖惠修. 优良水土保持植物与坡地复合农林业[M]. 北京: 气象出版社, 2000. 50 - 55.
- [45] Sumner D R, Minton N A, Brenneman T B, Burton G W, Johnston A W. Root diseases and nematodes in bahiagrass - vegetable rotations. *Plant Disease*, 1999, 83: 55 - 59.
- [46] Johnson A W, Minton N A, Brenneman T B, Burton G W, Culbreath A K, Gascho G J, Baker S H. Bahiagrass, corn, cotton rotations, and pesticides for managing nematodes, diseases, and insects on peanut [J]. *Journal of Nematology*, 1999, 31: 191 - 200.
- [47] Weaver D B, Rodriguez K R, Carden E L. Velvetbean and bahiagrass as rotation crops for management of *Meloidogyne* spp. and *Heterodera Glycines* in soybean [J]. *Journal of Nematology*, 1998, 30 (4): 563 - 568.
- [48] Guertal E A, Bauske E M, Edwards J H. Crop rotation effects on sweet potato yield and quality[J]. *Journal of Production Agriculture*, 1997, 10: 70 - 73.
- [49] Rodriguez K R; Kokalis B N, Robertson D G, King P

- S, Wells L W. Rotations of coastal bermudagrass, cotton, and bahiagrass for management of *Meloidogyne arenaria* and southern blight in peanut [J]. *Journal of Nematology*, 1994, 26(4): 665 - 668.
- [50] Rodriguez K R, Robertson D G, Weaver C F, Wells L W. Rotations of bahiagrass and castor bean with peanut for the management of *Meloidogyne arenaria* [J]. *Journal of Nematology*, 1991, 23(4): 658 - 661.
- [51] Rodriguez K R; Kokalis B N, Robertson D G, Wells L W. Evaluation of sesame for control of *Meloidogyne arenaria* and *Sclerotium Rolfsii* in peanut [J]. *Nematropica*, 1994, 24: 55 - 61.
- [52] Rodriguez K R, Weaver D B, Robertson D G, Carden E L, Pegues M L. Additional studies on the use of bahiagrass for the management of root - knot and cyst nematodes in soybean [J]. *Nematropica*, 1992, 21: 203 - 210.
- [53] Ishii T, Kadoya K. Effects of charcoal as a soil conditioner on citrus growth and vesicular - arbuscular mycorrhizal development [J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 1994, 63: 529 - 535.
- [54] Cruz A F, Ishii T, Kadoya K. Distribution of vesicular - arbuscular mycorrhizal hyphae in the rhizospheres of trifoliolate orange and bahia grass seedlings under an intercropping system [J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 2000, 69: 237 - 242.
- [55] Ruiz T E, Febles G, Castillo E, Bernal G, Diaz L E. Establishment of *Leucaena leucocephala* intercropped on different grass pastures [J]. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 1997, 31: 85 - 89.
- [56] Meyer J R, Zehr E I, Meagher R L Jr, Salvo S K. Survival and growth of peach trees and pest populations in orchard plots managed with experimental ground covers [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 1992, 41: 353 - 363.
- [57] Parker M L, Meyer J R. Peach tree vegetative and root growth respond to orchard floor management [J]. *Hortscience*, 1996, 31: 330 - 333.
- [58] Evert D R, Bertrand P F, Mullinix B G Jr. Nematode populations and peach tree survival, growth, and nutrition at an old orchard site [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1992, 117: 6 - 13.
- [59] Goatley J M Jr, Maddox V L, Watkins R M. Bahia-grass response to a plant growth regulator as affected by mowing interval [J]. *Crop Sciences*, 1998, 38: 196 - 200.
- [60] Williams M J, Hammond A C. Rotational vs. continuous intensive stocking management of bahiagrass pasture for cows and calves [J]. *Agronomy Journal*, 1999, 91: 11 - 16.
- [61] Misley P, Martin F G, Neilson J T. Selectivity of tropical grasses by Spanish X Boer goats [J]. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, 2000, 59: 77 - 81.
- [62] Reynolds C M, Wolf D C, Gentry T J, Perry L B, Pidgeon C S, Koenen B A, Rogers H B, Beyrouy C A. Plant enhancement of indigenous soil micro - organisms: a low - cost treatment of contaminated soils [J]. *Polar Record*, 1999, 35: 33 - 40.
- [63] 夏汉平, 宋文圣. 香根草和百喜草对铅锌尾矿重金属的抗性 with 吸收差异研究 [J]. *生态学报*, 2001, 21: 1121 - 1129.
- [64] Entry J A, Watrud L S, Reeves M. Accumulation of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr from contaminated soil by three grass species inoculated with mycorrhizal fungi [J]. *Environmental Pollution*, 1999, 104: 449 - 457.
- [65] Entry J A, Watrud L S, Reeves M. Influence of organic amendments on the accumulation of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr from contaminated soil by three grass species [J]. *Water Air and Soil Pollution*, 2001, 126: 385 - 398.
- [66] Ghate S R, Burtle G J, Vellidis G, Nweton G L. Effectiveness of grass strips to filter catfish (*Ictalurus punctatus*) pond effluent [J]. *Aquaculture Engineering*, 1997, 16: 149 - 159.
- [67] 夏汉平, 王庆礼, 孔国辉. 垃圾污水的植物毒性与植物净化效果之研究 [J]. *植物生态学报*, 1999, 23(4): 289 - 301.
- [68] Capece J C, Mozaffari M. Agro - ecology research to develop sustainable cattle production practices for Florida [J]. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, 1997, 56: 131 - 135.
- [69] Alayon L P, Bovo O A. Effect of growth regulations on the in vitro anthesis of *Paspalum notatum* (Gramineae) [J]. *Phyton Buenos Aires*, 1997, 60: 147 - 153.