

香根草优良生态型筛选研究

夏汉平, 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: 对国内外收集到的 12 个香根草的生态型进行了生长发育观测。结果表明来自印度的 Karnataka 长得最矮, 原因是它不抽穗开花, 斯里兰卡的 Kandy 产生的分蘖最多, 而且抽穗率是除 Karnataka 之外的最低者; 在根系生长方面, 来自中国广东的 Wild 根系生物量最低, 马拉维的 Zomba 最高; 直径 < 1 mm 的根量占总根量的比例以 L ilongwe 最低, Karnataka 则最高; 在株型方面, Karnataka 在成熟时因茎节上长出大量的新生植株体压弯了茎秆而使得株型不佳, 尽管它呈现出比其他生态型最绿的叶色。总的评价来看, Karnataka 表现最好, Kandy 次之, 而本地的野生种 Wild 最差。

关键词: 香根草; 生态型; 引种栽培; 生态型选育; 生物多样性

中图分类号: S543 033 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2003)02-0097-09

* 香根草 (*Vetiveria zizanioides*) 这一原产热带的多年生禾草, 因其具有纵深发达的根系和坚硬的茎秆等特性, 从而使得它具有较强的固土护坡能力而成为一种优良的水土保持植物^[1, 2]。香根草在被推广用于侵蚀控制的过程中, 还被发现有很强的抗逆性, 它对贫瘠、强酸、强碱、有机物、重金属等都表现出了较强的抗性, 这又使得它成了一种优良的环境改良与生态恢复型植物。由于香根草的这些优良特性, 目前它已在热带与亚热带的 100 多个国家和地区推广应用, 广泛用于水土流失治理与污染环境的改良, 绝大多数都取得了良好效果^[1~5]。

我国曾于 20 世纪 50 年代从印度与印度尼西亚等国家引进香根草, 但那时引入仅仅是为了提炼精油。由于当时提炼成本过高且精油质量不是太好等原因, 产品难以在国际市场上打开局面, 结果几年之后, 有关香根草的栽培、加工与提炼工作便渐渐停顿了。随后, 这个从国外引入栽培的香根草品种因荒芜而变成了“野草”^[6, 7]。20 世纪 80 年代末, 当香根草用于水土保持的技术从国外传入到中国后, 这个荒芜了近 30 年的“野草”又被人们重新利用, 并在水土保持与环境治理两方面都取得了较好的效果^[8, 9]。然而, 香根草在我国南方地区推广应用过程中, 发现还存在这样那样的问题, 其中最突出的问题表现在: 一是香根草长得太高, 株高通常在 2 m 左右, 抽穗能达到 2.5 m, 过高使得株形不佳; 二是冬季变得枯黄, 结果使香根草的景观在冬季变得更加难看。虽然剪割能基本保持冬季青绿并保持植株低矮, 但如果常年持续剪割无疑会大大增加管理成本, 而且有些是种植陡坡上用于护坡或是种在湿地中用于净化污水, 在类似这样的生境中本身就很难开展剪割工作。因此, 要想这一技术今后能在中国南方更大面积推广应用, 首先必须要克服香根草的这些弱点, 即在不减弱其生态效益的前提下寻找到株形低矮且能基本保持常年青绿的新品种。

目前, 香根草的生态型很多。由于在数百年前该植物就开始被多个国家引入用于提炼精油, 结果它在不同的生境条件下经过长期的适应或驯化后形成了数十种形态特征或生理生态特性不同的生态型 (Ecotype)。例如, 在 1996 年召开的首届国际香根草大会上, 就展示了来自世界各地的 20 多个香根草生态型。然而, 迄今为至, 除了有人对少数几个生态型进行过一些初步观测外^[10], 尚未见到对这些生态型开展比较观测或从中筛选优良生态型的研究报道, 在我国, 除了在 50 年前从国外引入的生态型以及 1 个在广东吴川自然分布的野生品种外, 再没有发现其他类型, 更没有人进行过引种筛选或品种比较工作。众所周知, 从不同的品种中观测筛选优良品种是引种栽培研究中一项非常重要的工作^[9~11]。鉴于此, 本研究对不同生态型的香根草开展了一些初步的引种观测工作, 以期

* 收稿日期: 2001-12-31
基金项目: 中国科学院院长基金和国家自然科学基金(39870155)资助项目。
作者简介: 夏汉平(1966-), 男, 湖南汉寿人, 研究员, 博士。

筛选出能在我国南方地区正常生长并在冬季保持青绿且较低矮的生态型,同时弥补有关这方面研究的一些空白。

1 试验材料与方法

1.1 供试材料

供试材料一共有 12 个香根草的生态型(表 1),其中生态型 1~ 10 是来自 5 个不同的国家,它们在当地都被认为是表现出色,值得推广的品种。这 10 个生态型先被引种到美国马里兰州的一个实验基地,种植一段时间后,于 1999 年 7 月用邮寄方式从美国寄来,收件后立即在阴凉处种下。尽管邮件在炎热的夏季投寄了 10 天(7 月 28 日~ 8 月 7 日),而且全部苗都是裸根寄来,但它们种下后均有部分成活了(表 1)。可见香根草的确具有顽强的生命力,能抵抗高温和较长时间的干旱。但是不同生态型的成活率相差较大,从 17%~ 91% 不等,这也说明不同的生态型抵抗高温和干旱的能力还是有差异的。

表 1 供试材料的来源及引种栽培情况

Table 1 Resource of the tested materials and their performance at the time of introduction

序号 No.	生态型名称 Ecotype	来源 Origin	引种时株数 Tiller number at planting	15 天后返青时株数 Tiller number 15 d after planting	成活率(%) Survival rate
1	Capitol	美国 U. S. A.	6	1	17
2	Huffman	美国 U. S. A.	5	3	60
3	Sunshine	美国 U. S. A.	3	1	33
4	Lilongwe	马拉维 Malawi	11	10	91
5	Zomba	马拉维 Malawi	7	5	71
6	Kandy	斯里兰卡 Sri Lanka	4	2	50
7	Karnataka	印度 India	3	2	67
8	Malaysia	马来西亚 Malaysia	5	2	40
9	Parit buntar	马来西亚 Malaysia	3	2	67
10	Sabak bernam	马来西亚 Malaysia	7	2	29
11	Domesticated	中国广东 Guangdong, China	-	-	-
12	Wild	中国广东 Guangdong, China	-	-	-

生态型 11 即为前面所述的在 20 世纪 50 年代从国外引入的品种,虽然 DNA 电泳谱带分析表明,它和目前热带亚热带地区引种栽培最广泛的 Sunshine 生态型(生态型 3)为同一基因型^[12],但因它在中国南方地区栽培了近 50 年,因此其生理生态特性或形态特征亦可能会产生一些变化。因此,将它定名为引种驯化的 Domesticated 生态型。生态型 12 采自广东吴川县的野生香根草群落。该群落位于河流入海口的湿生地,在当地已经存在数百年,目前还无人知道它的真正起源,而且群落中的香根草与目前推广应用的这个栽培品种(Domesticated)在形态特征与生态特性方面都有较明显的不同^[7]。鉴于此,将它命名为野生的“Wild”生态型以便和 Domesticated 区分开来。

1.2 研究方法

10 个从国外引进的生态型在华南植物所的苗圃地生长 1 年后,都自我繁殖到了一定的数量,于是连同该苗圃原有的 2 个生态型——Domesticated 和 Wild,一同起苗后在原地开展田间小区试验。

试验于 2000 年 10 月 9 日开始,分成 2 组。第 1 组用于观测地上部分,设 4 个重复,即每个处理种植 4 丛,随机排列,每丛种 3 个分蘖。种前将香根草的地上部分均剪至 30 cm,根系剪至 5 cm,按 50 cm × 70 cm 的株行距种

植, 以保证它们有足够的生长空间且互不影响。所有处理与重复的栽培管理条件一致。种植完成后每月观测 1 次, 包括株高、株型、分蘖数、抽穗情况等, 其中株高是指茎叶完全拉直向上时整个植株所能达到的高度, 而不是其自然高度。第 2 组试验用于观测地下部分, 种植前处理、种植规格以及种后管理与第 1 组基本相同, 只是本组每个处理种植 3 丛, 生长 1 年后统计每丛分蘖数, 然后观测根系。方法是将地下 60 cm 深度内的所有根系连土全部挖出, 再用水冲尽泥土, 剪下全部根系, 洗净, 凉干(风干), 称重; 然后再将直径 > 1 mm 与 < 1 mm 的根系分开, 再称重。

2 结果与讨论

2.1 不同生态型的株高生长状况

图 1 是 12 种供试生态型的株高生长速度。从该图可看出: 1) 株高生长出现 3 个“平台”。第 1 个发生在 2000 年 12 月~ 2001 年 3 月间, 这是由于香根草在冬季基本停止了生长, 而且除生态型 4(L ilongwe) 和 8(M alaysia) 外, 其余的均出现叶梢冻枯现象, 结果植株不仅没长高, 反而“变矮”了。不过, 它们“变矮”的幅度都不超过 5 cm, 也就是说冻害对它们的影响并不大, 尽管香根草是一种热带植物。第 2 个出现在 6~ 7 月间, 这时香根草营养生长高峰阶段基本结束, 生殖生长即将开始, 因而在由营养生长向生殖生长的过渡阶段出现了株高生长变缓的现象。最后 1 个出现在观测后期, 即香根草抽穗开花之后, 这时香根草进入完熟阶段, 因而不可能再长高。2) 从营养生长到生殖生长, 不同生态型的株高生长产生了显著性差异。在营养生长阶段, 即在 6、7 月之前, 12 个生态型的植株高度与生长速度是基本一致的。例如, 在 6 月观测时, 最高的生态型(Capitol) 平均株高为 197 cm, 而最矮的(Zomba) 为 153 cm, 二者相差仅 44 cm。但进入生殖生长后, 不同生态型的生长速度开始产生明显不同, 到 12 月观测时, 最高的生态型为 Huffman, 平均株高达 288 cm, 最高一丛 305 cm, 而最矮为 Karnataka, 平均为 176 cm, 最矮一丛仅为 170 cm, 也就是说高度的极差已经达到 135 cm, 为 6 月极差的 3 倍多。因而, 从株高角度来看, Karnataka 在这 12 个生态型中无疑是最好的。另外, 该生态型在整个观测期间, 特别是在早期生长阶段, 其叶色明显比其他 11 个生态型深绿, 而 L ilongwe 的叶色最浅, 几乎呈现为黄绿色, 其他 10 个生态型的叶色介于二者之间, 肉眼难以分辨其差异。

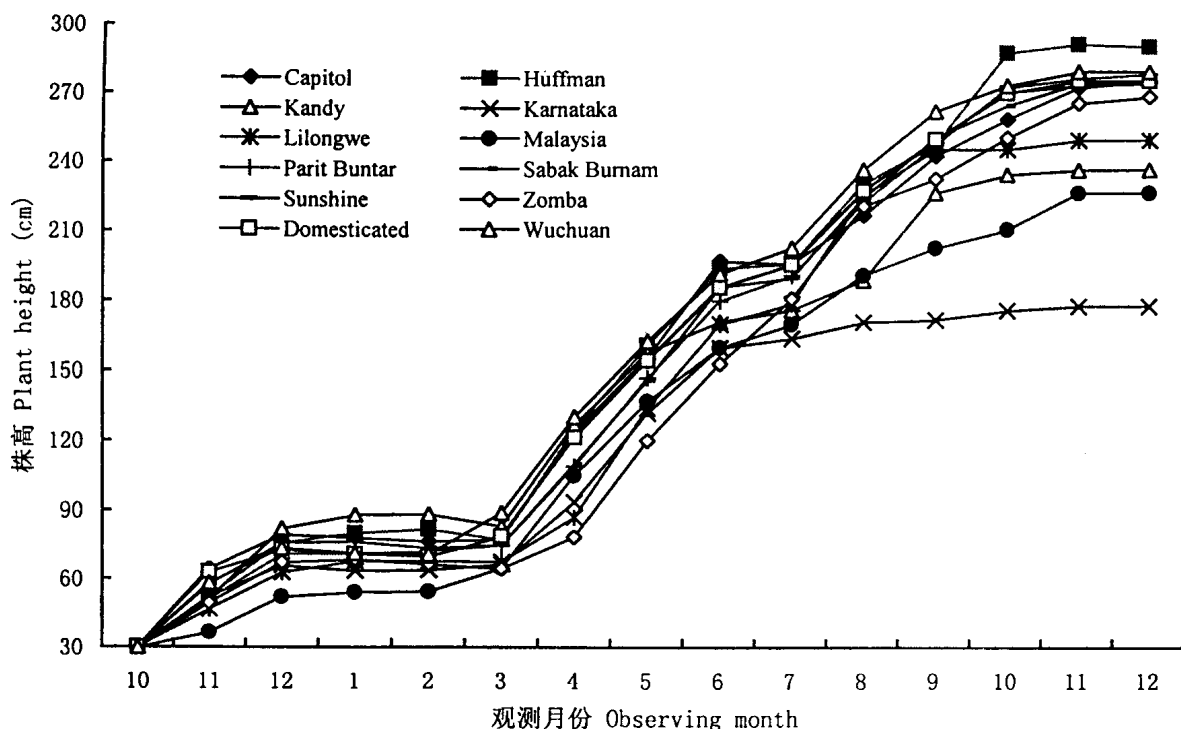


图 1 12 种香根草生态型的株高生长情况

Fig 1 Growth situation of 12 vetiver ecotypes

2.2 不同生态型的分蘖形成状况

2.2.1 产生分蘖的能力 试验布置后的第1个月(2000年11月),各生态型之间的分蘖数便开始产生显著性差异,随着时间推移,这种差异变得越来越大。14个月后,即到最后1次观测时,分蘖数最多的Kandy平均每丛达82.5株,而最少的Zomba仅31.5株,二者相差51株(表2)。因此,从产生分蘖的情况来看,Kandy无疑比其他类型好得多,其次是Karnataka和Domesticated,最差为Zomba。

2.2.2 分蘖形成的速度 香根草的分蘖速度可用分蘖率来表示。分蘖率是指一定时间内产生新分蘖的速度,即在一定时间内下一次观测的分蘖数和上一次观测的分蘖数之比。显然,如果分蘖率大于1,说明分蘖数增加,反之,则分蘖数减少^[13]。从表3可看出,12个生态型在观测期间的分蘖率呈现出一定的规律。刚种植的第1个月,部分分蘖死亡,且基本无新分蘖产生,结果分蘖率普遍低于1(表3)。不过,由于每丛都至少有1株成活,因此,如果以丛(蔸)计,12个生态型的成活率均为100%。从第2个月开始,分蘖率都开始超过1,尽管12~2月的干旱与寒冷使香根草的株高生长基本停止(图1),但分蘖仍呈现较旺的势头。以前认为香根草在冬天基本停止生长发育,包括分蘖也很难再产生^[12],但本观测表明,南方地区的冬天只要不是太冷,对分蘖形成的影响并不是很明显。分蘖率的最高值出现在2001年3月,这显然与气温开始升高且雨季到来有密切关系;而且这时每丛香根草的基数都不大,一旦产生相对多一点的分蘖,就很容易使分蘖率大幅度提高。这也说明,在秋冬季节种植香根草可能更有利于它在春夏快速生长发育。但在5月,分蘖率又跌至营养生长期的最低点,这可能与该月雨水过多而阳光相对不足有一定关系。随后,在6~7月间分蘖率又出现一个峰值,即进入营养生长的第2个高峰(表3)。然而,从8月开始,香根草转入生殖生长阶段,这时植株体内的养分大部分用于抽穗开花,结果分蘖速度逐渐下降,到生殖生长最旺盛的10月时,分蘖率降至最低。以往有研究认为,香根草进入生殖生长后为了使香根草尽可能多地产生分蘖,在抽穗前应地上部分割掉,以人为阻止它进入生殖生长^[13,14]。从11月开始,分蘖率又呈现回升势头,这显然是由于生殖生长和株高生长在这个时候都基本停止,植株体内的营养物质又重新转运到分蘖生长上面来,尽管这时的天气并不利于植物的生长发育。这也进一步证明,香根草的分蘖在一年四季都可产生,而株高生长会在冬天受到抑制,且在抽穗后不再长高。另外,从各个生态型在整个观测期的平均分蘖率来看,它们的值都非常接近,从最高的Kandy为1.283到最低的Zomba为1.211,仅相差0.07%(表3),而最终的分蘖数前者是后者的2.62倍(表2)。看来,不管是那种生态型,只要能采取一定措施使其分蘖率略有提高,就有可能使它的总分蘖数大幅度提高。

2.3 不同生态型的抽穗开花情况

香根草虽不产生种子,但如果不定期修剪,每年秋季仍会抽穗开花,这不仅会使株高大大增加,而且开花的分蘖枝会渐渐衰老变黄,从而影响整个香根草的外貌。虽然喷施植物生长延缓剂能延迟香根草的开花并能起到一定程度的矮化效果,但这些效果只是暂时的^[15]。因此,如果能从不同的生态型中寻找出不开花或少开花的品种,也许能从根本上解决其外观不佳的问题。

本试验中,最先出现抽穗的为Zomba,然后依次为Wild, Sabak bernam, L ilongwa, Kandy, Sunshine, Domesticated, Malaysia, Parit buntar, Huffman 和 Capitol, 它们首次抽穗的时间分别是在8月9日、8月12日、8月18日、8月21日、8月23日、8月30日、9月1日、9月8日、9月8日、9月17日、9月25日,前后相差46d。这其中Karnataka品种始终没有抽穗。由于香根草的主穗轴长一般在50~70cm左右,因此这也是为什么各生态型会在秋季突然窜高而Karnataka却比其他生态型矮得多的根本原因(图1)。在此后2个多月时间内,各生态型的抽穗开花速度也大不相同,但抽穗高峰基本上都发生在9月中下旬至11月上旬间,11月中下旬后抽穗活动基本停止。最早抽穗的Zomba最终的抽穗数并非最多,但它的抽穗时间持续最长,最晚抽穗的Capitol由于后期表现出较旺盛的生殖生长,结果成为抽穗最多的生态型之一(表4)。另外值得注意的是,Karnataka虽然不抽穗开花,但

表 2 不同生态型平均每丛逐月的累积分蘖数
Table 2 Accumulative tiller number of each clump of different ecotype in each month

序号 No.	生态型 Ecotype	11 月 Nov.	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 March	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
1	Capitol	2.5 bc (0.29)	3.5 bc (1.19)	5.3 bc (1.65)	7.5 abcd (1.94)	11.0 abc (2.00)	14.3 cd (2.66)	16.0 bcd (2.71)	21.8 cde (2.84)	26.5 bcd (3.86)	33.8 cde (4.19)	38.3 cde (5.50)	44.5 bcd (4.66)	47.8 bcde (4.09)	51.0 cdef (4.67)
2	Huffman	2.5 bc (0.29)	3.3 bc (0.63)	4.8 c (0.85)	5.3 bcd (1.31)	9.3 bc (1.90)	10.8 cd (2.17)	13.3 cd (2.02)	18.5 de (3.07)	25.8 bcd (4.01)	30.8 cde (4.82)	36.3 cde (4.91)	41.8 bcd (4.17)	49.0 bcde (3.54)	56.5 bcde (2.53)
3	Sunshine	2.5 bc (0.29)	3.8 abc (0.48)	5.0 bc (0.41)	7.0 abcd (0.58)	13.0 abcd (0.7)	14.5 bcd (1.26)	16.0 bcd (1.35)	22.0 cde (1.87)	29.3 bcd (2.84)	36.5 cd (3.30)	40.5 bcd (4.31)	43.5 bcd (4.99)	50.5 bcde (4.77)	59.0 bcde (6.94)
4	Lilongwe	2.5 bc (0.29)	3.5 bc (0.50)	4.5 c (0.65)	5.8 bcd (0.25)	8.3 cd (0.90)	13.5 cd (1.32)	16.0 bcd (0.91)	21.0 cde (1.73)	25.8 bcd (1.65)	30.5 cde (2.47)	34.0 de (2.08)	34.0 de (2.08)	37.2 ef (2.81)	39.5 fg (3.29)
5	Zomba	1.8 c (0.48)	2.3 c (0.48)	3.5 c (0.50)	4.3 d (0.63)	7.3 d (0.50)	10.0 d (0.58)	11.3 d (1.31)	15.3 e (2.29)	17.3 d (1.49)	20.0 e (0.91)	22.0 e (0.71)	24.5 e (1.19)	27.3 f (1.32)	31.5 g (1.04)
6	Kandy	3.3 ab (0.25)	5.3 a (0.85)	7.5 ab (1.26)	9.5 a (1.71)	15.0 ab (3.00)	24.3 a (5.76)	27.5 a (6.65)	42.5 a (7.90)	46.8 a (7.97)	55.0 a (8.30)	59.5 a (7.77)	66.8 a (7.41)	75.5 a (6.95)	82.5 a (8.03)
7	Karnataka	3.3 ab (0.25)	5.5 a (0.65)	6.8 ab (1.11)	9.0 ab (1.41)	14.0 abc (2.10)	19.8 abc (3.75)	24.8 ab (3.68)	36.0 ab (3.46)	45.3 a (3.45)	52.5 ab (4.29)	55.5 ab (5.07)	55.8 ab (4.72)	62.5 ab (4.79)	68.0 ab (3.94)
8	Malaysia	3.3 ab (0.25)	3.5 bc (0.29)	4.0 c (0.58)	4.8 c (1.03)	7.3 d (1.30)	9.8 d (1.89)	13.3 cd (1.03)	17.0 e (1.22)	21.5 cd (2.02)	29.5 de (4.13)	33.8 de (4.70)	37.3 cde (7.20)	40.0 def (7.08)	44.0 efg (7.56)
9	Parit buntar	3.0 ab (0.41)	4.3 ab (0.63)	5.5 bc (1.19)	6.8 abcd (1.11)	11.0 abcd (3.90)	17.0 abcd (5.34)	19.0 abcd (4.95)	23.0 cde (4.24)	32.3 bc (5.36)	39.0 bcd (7.55)	43.3 abc (9.10)	47.5 bcd (8.29)	51.8 bcd (8.10)	66.0 bcd (6.92)
10	Sabak burnam	3.0 ab (0)	4.5 ab (0.65)	6.5 ab (0.65)	7.8 abcd (1.11)	12.0 abcd (2.30)	16.5 abcd (2.50)	22.0 abc (2.48)	28.8 bcd (3.20)	31.8 bc (4.33)	41.5 abcd (4.29)	46.5 abc (4.87)	49.0 bcd (4.93)	56.5 bc (5.17)	62.3 bcd (5.55)
11	Domesticated	3.5 a (0.50)	5.5 a (0.29)	8.3 a (0.85)	10.3 a (1.55)	16.0 a (2.70)	23.8 ab (5.11)	25.8 ab (5.42)	31.3 abc (7.00)	36.5 ab (7.01)	45.5 abc (8.31)	50.0 abc (8.78)	52.3 abc (8.14)	61.3 ab (8.33)	67.5 ab (8.30)
12	Wild	2.5 bc (0.29)	4.3 ab (0.25)	6.7 ab (0.63)	8.0 abc (1.08)	13.0 abcd (1.60)	17.0 abcd (1.29)	19.5 abcd (2.06)	25.0 bcde (2.65)	31.8 bc (3.97)	35.8 cd (4.84)	37.0 cde (5.90)	40.0 bcde (4.67)	44.0 cde (3.72)	49.0 defg (4.42)
最大值-最小值 Max-Min		1.7	3.2	4.8	6	8.7	14.3	16.2	27.2	29.5	35.0	37.5	42.3	48.5	51.0

() 内的值为标准误 (SE, $n=4$)。同一栏内, 标有相同字母的平均值表示在 5% 水平无显著性差异, LSD 检验。

Data in () refers to SE, $n=4$; means followed by same letters in the same column indicates there is no significant difference at 5% level according to LSD Test.

表 3 12 个生态型逐月分蘖率
Table 3 Tillering rate of 12 ecotypes in each month %

序号 No.	生态型 Ecotype	11 月 Nov.	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 March	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	平均 Average
1	Capitol	0.83	1.40	1.51	1.42	1.47	1.30	1.12	1.36	1.22	1.28	1.13	1.16	1.07	1.07	1.238
2	Huffman	0.83	1.32	1.45	1.10	1.75	1.16	1.23	1.39	1.39	1.19	1.18	1.15	1.17	1.15	1.250
3	Sunshine	0.83	1.52	1.32	1.40	1.86	1.12	1.10	1.38	1.33	1.25	1.11	1.07	1.16	1.17	1.258
4	Lilongwe	0.83	1.40	1.29	1.29	1.43	1.63	1.19	1.31	1.23	1.18	1.11	1.00	1.09	1.06	1.217
5	Zomba	0.60	1.28	1.52	1.23	1.70	1.37	1.13	1.35	1.13	1.16	1.10	1.11	1.11	1.15	1.211
6	Kandy	1.10	1.61	1.42	1.27	1.58	1.62	1.13	1.55	1.10	1.18	1.08	1.12	1.13	1.09	1.283
7	Karnataka	1.10	1.67	1.24	1.32	1.56	1.41	1.25	1.45	1.26	1.16	1.06	1.01	1.12	1.09	1.263
8	Malaysia	1.10	1.06	1.14	1.20	1.56	1.24	1.43	1.28	1.26	1.37	1.15	1.10	1.07	1.10	1.219
9	Parit buntar	1.00	1.43	1.28	1.24	1.62	1.55	1.12	1.21	1.40	1.21	1.11	1.10	1.15	1.20	1.258
10	Sabak burnam	1.00	1.50	1.44	1.20	1.54	1.38	1.33	1.31	1.10	1.31	1.12	1.05	1.15	1.10	1.253
11	Domesticated	1.17	1.57	1.51	1.24	1.55	1.49	1.08	1.21	1.17	1.25	1.10	1.05	1.17	1.10	1.261
12	Wild	0.83	1.72	1.56	1.19	1.63	1.31	1.15	1.28	1.27	1.13	1.03	1.08	1.10	1.11	1.242
平均 Average		0.94	1.46	1.39	1.26	1.60	1.38	1.19	1.34	1.24	1.22	1.11	1.08	1.13	1.12	1.246

表 4 不同生态型的总抽穗数与抽穗率
Table 4 Total ear number and earing rate of 12 different ecotypes of vetiver

序号 No.	生态型 Ecotype	总抽穗数 Total ear number					抽穗率 Earing rate (%)				
		8 月 9 日	9 月 9 日	10 月 9 日	11 月 9 日	12 月 9 日	8 月 9 日	9 月 9 日	10 月 9 日	11 月 9 日	12 月 9 日
		Aug 9	Sept 9	Oct 9	Nov 9	Dec 9	Aug 9	Sept 9	Oct 9	Nov 9	Dec 9
1	Capitol	0	0	13	34	44	0	0	7.30	17.78	21.57
2	Huffman	0	0	16	22	23	0	0	9.57	11.22	10.18
3	Sunshine	0	1	24	30	30	0	0.62	13.79	14.85	12.71
4	Lilongwe	0	4	19	25	28	0	2.94	13.97	16.80	17.72
5	Zomba	1	5	21	26	30	1.25	5.68	21.43	23.81	23.81
6	Kandy	0	2	7	7	7	0	0.84	2.62	2.31	2.13
7	Karnataka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Malaysia	0	1	16	33	36	0	0.74	10.72	20.63	20.45
9	Parit buntar	0	1	22	27	27	0	0.58	11.58	12.32	10.23
10	Sabak burnam	0	3	30	36	36	0	1.61	15.31	15.93	14.45
11	Domesticated	0	4	26	36	37	0	2.00	12.43	14.68	13.70
12	Wild	0	5	35	45	45	0	3.38	21.88	25.57	22.96

它在 9、10 月间的分蘖率是 12 个生态型中最低的(表 3), 原来, Karnataka 在这期间也在进行另一种生殖生长——茎节上长出新的、完整的植株体, 植株体长度一般在 40~50 cm 左右, 一个成熟的分蘖能长出 3~9 个, 一丛能长 30~40 个这样的植株体。由于有了这些新生体, 使得该生态型在秋冬季节仍基本保持青绿状态, 而其他生态型都呈现不同程度的枯黄。然而, 也正是由于这些新生体的重压, 结果该生态型在这时呈明显的歪斜甚至部分倒伏状态, 在外观上显得有些零乱。

抽穗率指抽穗枝数占分蘖总数的百分比^[15]。显然, 用抽穗率来比较各处理间的抽穗开花情况比用穗枝数更准确。例如, Kandy 最终的穗枝数大概是其他生态型的 1/3~1/6, 但它的抽穗率仅为其他生态型的 1/5~1/10(表 4), 原因是它产生的分蘖数明显多于其他生态型。

2.4 不同生态型之间的根系生物量

香根草之所以能用来固土护坡与治理环境, 在很大程度上是由于它纵深发达的根系作用的结果, 其根系的抗张力平均高达 75 MPa, 是同等直径软钢的 1/6^[16]。如果香根草没有了发达的根系, 那么它的生态作用效果将会受到极大的削弱, 因此, 选择香根草的优良生态型, 还须考虑它的根系生长情况。从表 5 可看出, 不同生态型的根系生长状况亦相差较大。平均每个分蘖根量最少者为 Wild, 最多者为 Zomba, 尽管后者形成分蘖的能力是最差的。

表 5 不同生态型的根系生长状况

Table 5 Root performance of 12 different vetiver ecotypes

项目 Measurement	生态型序号 Ecotype No.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A (DW g/分蘖 tiller)	0.87	0.82	0.88	1.25	1.44	0.77	0.42	0.51	0.97	0.58	0.57	0.39
B (%)	50	60	60	20	30	40	80	70	60	70	40	30

A 为平均每个分蘖根重, B 为直径 < 1 mm 的根占总根量的比例。

A is the mean root weight per tiller, B is percentage of the root amount with diameter < 1 mm to the total root amount.

香根草的固土护坡效果除了来自根系的发达外, 还与根系直径有密切关系。香根草的根系直径几乎都位于 0.2~2 mm 之间, 在根量相同的情况下, 细根(特别是直径 < 1 mm 根系)所占的比例越大, 则它的抗张力越强^[16]。在本研究中, 直径 < 1 mm 根系的比例在这 12 个生态型中同样有很大差异, 生态型 7(Karnataka) 的细根比例最高, 因此将它用于固土护坡时也许能弥补其根量相对较少的缺憾; 反过来, 生态型 4(Lilongwe) 和 5(Zomba) 虽然有最高的单株根量, 但细根所占比例太低, 因此二者用于侵蚀控制时也不一定会产生最好的固土效果(表 5)。

3 生长表现综合评价

从上述结果可看出, 香根草的不同生态型在生长发育方面存在着明显不同的差异, 各生态型都有一定的优点, 也都存在一些不足, 没有一种生态型在任何一方面都是表现最优秀的。为了从中筛选出总体表现最好的生态型, 在此借用一种常规打分方法^[9, 17]: 将 12 个生态型分成 12 个等级, 每个等级给 1 分, 即在某一方面表现最好的记 12 分, 最差的记 1 分, 表现相同的记相同的平均分, 然后将每个生态型在不同方面所得的分进行累计, 总分最高者即为最优者。表 6 即是根据 12 个生态型在上述各个方面的表现不同所赋予的分值及其总分。Karnataka 总体表现排位第一, 这在很大程度上得益于它的不抽穗以及由此导致的低矮。此外, 它的茎节所产生的新生个体也是良好的繁殖材料, 因此, 当母株上长出新生体后将其剪下种植, 不仅可增加新的种源, 还能防止母株不被压弯而维持其株形。Kandy 表现排位第二, 它有最快的分蘖速度, 而且抽穗率最低, 株形较好, 因而也是可考虑推广应用的品种。Domesticated 和 Sunshine 为同一基因型, 二者在本试验中的得分较为接近, 表明 Domesticated 在中国引种栽培 50 年后, 其形态特性并未发生多大变化。至于 Wild 生态型, 其得分最低的原因显然与它长期生长在湿生环境中密切相关, 因为水湿环境是不利于根系生长和分蘖形成的。虽然在开展本试验之前, Wild 已在旱地栽植

表 6 12 个生态型的综合评价结果

Table 6 A comprehensive evaluation for the 12 ecotypes of vetiver

序号 No.	生态型 Ecotype	植株高度 Plant height	总的分蘖数 Total tillers	分蘖率 Tillering rate	抽穗率 Earing rate	A (DM g/分蘖 tiller)	B (%)	总分 Total points	排位 Rank
1	Capitol	5	5	4	3	8	6	31	9
2	Huffman	1	6	6	10	7	8	38	7
3	Sunshine	6	7	8.5	8	9	8	46.5	4
4	Lilongwe	9	2	2	5	11	1	30	10
5	Zomba	8	1	1	1	12	2.5	25.5	11
6	Kandy	10	12	12	11	6	4.5	55.5	2
7	Karnataka	12	11	11	12	2	12	60	1
8	Malaysia	11	3	3	4	3	10.5	34.5	8
9	Parit buntar	3	9	8.5	9	10	8	47.5	3
10	Sabak burnam	7	8	7	6	5	10.5	43.5	5
11	Domesticated	4	10	10	7	4	4.5	39.5	6
12	Wild	2	4	5	2	1	2.5	16.5	12

A 为平均每个分蘖根重,B 为直径< 1 mm 的根占总根量的比例。

A is the mean root weight per tiller, B is percentage of the root amount with diameter < 1 mm to the total root amount

了 2 年, 但如此短的时间还不可能使它恢复到象 Domesticated 或其他生态型那样的特性。

然而, 本研究还只是对这 12 个生态型, 特别是从国外引入的 10 个生态型做了生长发育方面的观测。众所周知, 香根草强大的水土保持功能主要来自它纵深发达的根系, 移栽 1 年, 根系可长到 2 m 深, 2 年可达 3 m, 最深可达 5 m^[1, 4, 16]。但本试验仅考察了 60 cm 以内的根系。此外, 有关这些生态型——特别是本试验筛选出来的优良生态型的生态功能还有待进一步中试, 尤其是它们的固土护坡与生态恢复的效果还须另做系统观测。

致谢: 本试验中的前 10 个香根草生态型由美国德克萨斯州 Baylor 大学植物生物技术中心主任 Robert P. Adams 教授和美国国家科学院(National Academy of Sciences)的 Mark R. Dafforn 博士提供, 特此谢忱。

参考文献:

[1] National Research Council. Vetiver grass: a thin green line against erosion [M]. Washington D. C.: National Academy Press, 1993

[2] 夏汉平, 敖惠修, 何道泉, 等. 香根草在土壤改良与水土保持中的作用[J]. 热带地理, 1996, 16(3): 265-270

[3] 徐礼煜. 香根草研究与展望[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998

[4] 夏汉平, 敖惠修, 刘世忠. 香根草生态工程——实现可持续发展的生物技术[J]. 生态学杂志, 1998, 17(6): 44-50

[5] 夏汉平, 束文圣. 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(7): 1121-1129

[6] 夏汉平. 中国在 50 年代对香根草的繁殖栽培与管理研究[J]. 热带作物科技, 1997, (5): 23-26

[7] 夏汉平, 敖惠修. 中国野生的香根草种及其保护与分类问题[J]. 生物多样性, 1998, 6(4): 292-297

[8] Kaveeta L., Sopa R., Nakorn M. N., et al. Development variation of four selected vetiver ecotypes[A]. In: Proceedings of the Second International Conference on Vetiver[C]. Bangkok: Office of the Royal Development Projects Board, 2002. 430-435

[9] 刘虎俊, 郭有祯, 王继和, 等. 二十八个冷季型草坪草品种的耐盐性比较[J]. 草业学报, 2001, 10(3): 52-59

[10] 周永红. 三种鹅观草的生物系统学研究[J]. 草业学报, 2000, 9(2): 45-52



- [11] 李亚, 刘建秀, 向其柏 结缕草属种质资源研究进展[J] 草业学报, 2002, 11(2): 7-14
- [12] Adams R P, Zhong M, Turuspekov Y, *et al* DNA fingerprinting reveals clonal nature of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash, Gramineae sources of potential new germplasm [J] Molecular Ecology, 1998, 7: 813-818
- [13] 夏汉平, 敖惠修, 何道泉 环境因子对香根草生长习性的影响[J] 生态学杂志, 1994, 13(2): 23-26
- [14] 陈法杨, 李风, 程洪 香根草引种试验研究[J] 水土保持通报, 1991, 11(3): 60-64
- [15] 夏汉平, 刘世忠 几种生长延缓剂对香根草矮化与分蘖形成的影响[J] 草原与草坪, 2000, (3): 29-33
- [16] Hengchaovanich D, Nilaweera N S An assessment of strength properties of vetiver grass roots in relation to slope stabilization[A] In: Proceedings of the First International Conference on Vetiver[C] Thailand: Chiang Rai, 1988 153-158
- [17] Bell L C Establishment of native ecosystems after mining - Australian experience across diverse biogeographic zones[J] Ecological Engineering, 2001, 17: 179-186

Study on screening for excellent ecotypes of *Vetiveria zizanioides*

XIA Han-ping, LI Shir-zhong

(South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract An observation for growth and development of 12 ecotypes of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) collected from home and abroad was conducted. The results showed that Karnataka from India grew lowest because it did not flower; and Kandy sampled from Sri Lanka yielded the most tillers and the least earing rate other than Karnataka. As to root biomass, wild was the lowest, Zomba from Malawi the highest. The percentage of root amount with diameter < 1 mm to total root amount of Lilongwe was the lowest and Karnataka the highest among the 12 ecotypes. Regarding the plant appearance, Karnataka assumed more green than the other ecotypes, especially in their young stage; but it grew out lots of new tillers from axillary buds when it grew up, which bent the mother plants and therefore gave a negative influence on its appearance. On the whole, Karnataka performed the best, Kandy the second, and Wild collected from a natural vetiver community of Guangdong, China, the worst with reference to their growth and development, but research on their ecological benefits, such as erosion control and pollution mitigation, might be further conducted.

Key words: *Vetiveria zizanioides*; ecotype; introduction and cultivation; ecotype selection; biodiversity