第19卷 第4期
Vol. 19, No. 4
草 业 学 报
ACTA PRATACULTURAE SINICA
149－158
2010年8月

不同居群狗牙根的叶片解剖结构比较研究

李亚男，罗丽娟*

（海南大学园艺园林学院，海南 儋州 571737）

摘要：对20个不同生长环境的狗牙根叶片进行了比较解剖学的研究。结果表明，参试材料在角质层厚度、表皮细胞厚度、叶表皮细胞的长宽、气孔的大小及密度、叶片厚度、维管束个数及直径大小，机械组织厚度等方面有显著的差异。其中变异系数较大的是气孔密度及中脉维管束与上表皮间的机械组织厚度，气孔密度的变幅为77.49～335.46个/mm^2，变异系数达36.93%，机械组织厚度的变幅为7.50～45.00 μm，变异系数达64.20%。将测定的数量指标进行了聚类分析，20个不同居群的狗牙根可分为4大类。聚类结果与狗牙根的生境分布相互吻合。

关键词：狗牙根；居群；叶片解剖

中图分类号：Q944.52；S543^{+}.9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1004-5759(2010)04-0149-10

* 狗牙根（*Cynodon dactylon*）又名百慕大草，属禾本科（Gramineae）画眉草亚科（Eragrostoideae）虎尾草族（Chlorideae）C_4型多年生植物[1]。植株低矮、繁殖能力强、抗旱、耐盐、耐践踏、质地细腻、色泽好，是暖季型草坪草中最重要的世界广布型草种之一，也是优质牧草[2]。狗牙根起源于非洲，欧亚大陆、印度尼西亚、马来西亚和印度也是其分布中心[3-6]。狗牙根属在全世界共有9种10个变种，我国有2种1变种，即普通狗牙根（*C. dactylon*）、弯穗狗牙根（*C. arcuatus*）2个种，变种为双花狗牙根（*C. dactylon* var. biflorus）[6,7]。国内外狗牙根之间表现出丰富的多样性[8]，普通狗牙根是最重要的、应用最广泛的一个种。在我国，普通狗牙根主要分布在黄河及以南各省区，此外，北京、天津、新疆、甘肃、河北、西藏等地也有分布，甚至记载海拔4 000 m的喜马拉雅山也有分布[9]，种内显示出丰富的多态性。

植物叶片是光合作用的重要器官，受水分、温度、光照、降水量、海拔等环境因子的影响显著，主要表现为叶形的变化、叶片的大小厚度及解剖结构的差异[10,11]。国内的研究对同科不同种、同属不同种植物叶的形态解剖比较研究较多，对不同生境下同种植物叶的形态解剖特征比较研究相对较少。并且主要对沙冬青（*Ammopiptanthus mongolicus*）、野决明属（*Thermopsis*）、高山栎（*Quercus*）、羊草（*Aneurolepidium chinense*）、竹类以及干旱区沙生植物叶的比较解剖学进行研究[12-20]。海南地处我国的最南部，生境类型多样，野生狗牙根在不同生境均有分布，资源十分丰富，但对其研究和开发却较少。由于叶片的表现型是基因型与环境因子共同作用的结果，因此探讨不同地理居群狗牙根的叶片解剖结构与大小差异对了解其遗传基础及差异有十分重要的意义。

本试验采用比较解剖学的方法对海南20个不同地理居群普通狗牙根的叶片进行研究，探讨了其在叶片解剖学方面的差异，并根据解剖数量特征进行分类，以期为开发和利用热带地区丰富的狗牙根资源提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料来源

2008年9月18日－29日从海南各地采集了20个不同居群的普通狗牙根，各居群的地理位置与生境概况见表1。大部分材料采集于海南西部、中部各县市，东部的材料少许，材料生境多样，包括路边荒地，海边等。

1.2 研究方法

材料采集回来后，种植于塑料盆内进行保种。采用石蜡切片和徒手切片法对各狗牙根材料进行解剖结构的研究。

* 收稿日期：2009-07-22；改回日期：2009-10-09
基金项目：国家重点基础研究发展规划“973”项目（2007CB108903）资助。
作者简介：李亚男（1985-），女，云南保山人，在读硕士。E-mail：liyanan55wangyi@163.com
*通迅作者。E-mail：luoljd@126.com

表 1　20 个居群的狗牙根及其采集地点

Table 1　20 populations of *C. dactylon* and the areas of collection

居群号 Population No.	采集地点 Locality	海拔 Altitude (m)	生境 Habitat
1	海南万宁市后安镇 Hou'an township, Wanning city, Hainan	24.5	路边荒地 Wasteland of roadside
2	海南三亚市 Sanya city, Hainan	39.6	路边荒地 Wasteland of roadside
3	海南五指山市南圣镇 Nansheng township, Wuzhishan city, Hainan	342.4	路边荒地 Wasteland of roadside
4	海南琼中县什运乡 Shiyun township, Qiongzhong county, Hainan	689.9	路边荒地 Wasteland of roadside
5	海南白沙县天堂村 Tiantang village, Baisha county, Hainan	294.9	路边荒地 Wasteland of roadside
6	海南保亭县大本村 Daben village, Baoting county, Hainan	81.9	路边荒地 Wasteland of roadside
7	海南昌江县叉河镇 Chahe township, Changjiang county, Hainan	54.2	荒坡地 Wasteland of hillside
8	海南琼中县什运乡 Shiyun township, Qiongzhong county, Hainan	227.0	路边荒地 Wasteland of roadside
9	海南临高市新盈镇和光村 Heguang village, Xinying township, Lingao city, Hainan	0.7	灌木丛 Under the bush
10	海南临高市高山岭 Gaoshan mountain, Lingao city, Hainan	159.0	路边荒地 Wasteland of roadside
11	海南乐东县乐东镇 Ledong township, Ledong county, Hainan	181.9	路边荒地 Wasteland of roadside
12	海南乐东县加巴村 Jiaba village, Ledong county, Hainan	202.7	路边荒地 Wasteland of roadside
13	海南东方市大田镇 Datian township, Dongfang city, Hainan	55.5	路边荒地 Wasteland of roadside
14	海南儋州市王五镇 Wangwu township, Danzhou city, Hainan	44.3	路边荒地 Wasteland of roadside
15	海南儋州市海头镇 Haitou township, Danzhou city, Hainan	−13.0	路边荒地 Wasteland of roadside
16	海南三亚市亚龙湾 Yalongwan, Saya city, Hainan	4.0	海边沙滩地 Seabeach
17	海南昌江县海尾镇 Haiwei township, Changjiang county, Hainan	62.4	海边沙滩地 Seabeach
18	海南文昌市冯家湾 Fengjiawang, Wenchang city, Hainan	4.5	海边沙滩地 Seabeach
19	海南三亚市蜈支州岛 Wuzhizhou island, Saya city, Hainan	4.2	海边沙滩地 Seabeach
20	海南三亚市安游镇 Anyou township, Saya city, Hainan	2.9	海边沙滩地 Seabeach

1.2.1　石蜡切片法　为了保证材料的可靠性，在每个居群中随机选取 15 株直立枝完全展开的倒数第 3 片叶，采用常规石蜡切片法[21,22]，在其中部切下 0.5 cm 长叶段用福尔马林－醋酸－酒精液（formalin－acetic acid－alcohol）固定 24 h 以上，然后用 70%→85%→95%→95%→100%→100%酒精脱水，经 van-clear 剂透明后，渗蜡并包埋，手动旋转切片机切片，切片厚 10～12 μm，对每个居群的叶片制作 15 张切片。染色方法采用番红－固绿二重染色法[21,22]。加拿大树胶封片。

1.2.2　临时刮片方法　随机选取各居群 15 株直立枝相同部位的成熟叶片，截取叶中部 2 cm 左右叶段，用蒸馏水冲洗干净，将叶片放在干净的载玻片上，制下表皮切片，则将上表皮朝上放置，用刀片轻轻刮去叶表皮及叶肉部分直至透亮为止，剪切后用番红染色，甘油封片。

全部制片在 Nikon Eclipse 80i 生物显微镜下观察、测量并统计以下指标：角质层厚度、表皮细胞的厚度、叶片厚度、大小维管束的直径、机械组织厚度，下表皮细胞的长、宽及气孔的密度、长、宽，维管束的直径分别用水平直径与垂直直径来表示。每个测定指标重复 30 次后求其平均值。取具有代表性的区域进行拍照。

1.3　数据分析

将测定指标进行方差分析，用 SAS 9.0 软件对不同居群的狗牙根叶解剖数量特征进行聚类分析。

2　结果与分析

2.1　狗牙根叶片解剖结构的共同特征

狗牙根叶是等面叶，不同居群的叶片在形态、大小、色泽等方面均存在一定的差异。从横切面看，都具有中脉处最厚、叶缘处最薄的特点。它具有典型的禾本科 C_4 植物叶片结构特征：叶片均由表皮、叶肉和叶脉 3 部分组

成。表皮由长细胞、短细胞和气孔器组成，上表皮有泡状细胞；叶脉为平行脉，叶脉维管束为有限外韧维管束，维管束鞘由 1～2 层薄壁细胞组成，细胞大，排列整齐，细胞内有许多大型叶绿体；维管束鞘细胞外侧密接 1 层叶肉细胞，形成“花环型”结构(图 1)。

普通狗牙根叶片结构的特征是：

1) 上、下表皮各由 1 层细胞构成，并具不同程度和密度的乳状突起，上表皮中有泡状细胞分布。泡状细胞嵌入于每 2 个维管束间的叶肉组织中，形成“绞合细胞”，达叶肉的 3/5～4/5，几乎贴近下表皮。表皮细胞外壁上染成红色的为角质层，但泡状细胞外壁上未见染成红色(图 1-5～1-9)。

2) 叶肉组织较简单，由 1 层围绕维管束的薄壁细胞组成，叶肉组织分布在维管束的左右两边，上下则无或很少分布，维管束上下分布着厚壁细胞，即机械组织，机械组织与上、下表皮相连(图 1-5～1-9)。

3)同一叶片从基部最宽处到叶尖，边缘的维管束逐渐减少；叶脉维管束分布于叶肉中，数目不等，有大小维管束之分，中脉不发达，只有 1 个大维管束(即中脉维管束)，但比其他平行脉维管束稍大；平行脉有小维管束和介于小维管束和中脉维管束之间的大维管束，一般与中脉相隔 2 个小维管束是 1 个大维管束(图 1-1)，但有的叶片可见中脉与大维管束之间相隔 3 个(图 1-2)或 4 个(图 1-3)小维管束。较宽的叶片再隔 3 个小维管束又是 1 个大维管束，叶边缘一般是 1 个小维管束内靠 1 个较大的维管束(图 1-4)；中脉维管束和其他大维管束的维管束鞘，除了 1 圈典型的大型薄壁细胞(即维管束外层鞘细胞)外，其内侧还可以看到细胞壁染成红色的 1 层厚壁细胞，位于韧皮部外侧并稍延伸至木质部成大半圈的内层鞘细胞，即大维管束含 2 层维管束鞘细胞，并且外层鞘细胞明显大于叶肉细胞，且含较大的叶绿体，内层鞘细胞为厚壁细胞，维管束两端的机械组织较为发达。小维管束含鞘细胞 1 层，明显比叶肉细胞大，叶绿体也较大，维管束两端有时也会有机械组织分布(图 1-5～1-9)。

2.2 不同居群狗牙根叶片结构的比较

2.2.1 不同居群狗牙根叶片表皮结构的比较　狗牙根叶片上、下表皮细胞外切向壁上都有角质层，即上、下角质层。其表面染成红色的外层即为角质层。叶片上角质层厚度的变化范围是 2.50～5.63 μm(表 2)，最大的是 5 号居群，最小的是 3，6，8，12，13，14 号居群；下角质层厚度的变化范围是 3.13～5.63 μm，最大的是 7 号居群，最小的是 11 号居群。角质层厚度虽有差异，但差异不十分明显，通常下角质层厚于上角质层。除此之外，狗牙根叶片上、下表皮的外切向壁均具乳状突起，有时可见叶脉上具有刺毛(图 1-9)。

观测结果表明，狗牙根叶表皮细胞排列紧密，形状差异不大，上表皮细胞厚度的变化范围是 3.75～8.75 μm(表 2)，变异系数是 21.22%，最大的是 3 号居群，最小的是 8 号居群；下表皮细胞厚度的变化范围是 3.13～7.50 μm，变异系数是 21.74%，最大的是 15 和 17 号居群，最小的是 6 号居群。不同居群直立枝叶片上、下表皮细胞的厚度有差异，且多数情况下上表皮细胞厚于相应的下表皮细胞。上、下表皮细胞厚度的变异系数相差不大，即变异程度相当。

此外，狗牙根叶片下表皮长细胞是长方柱形，垂周壁波状弯曲，与短细胞交替排列或数个相连，分布于叶脉的两侧和 2 条叶脉之间；其短细胞为正方形或稍扁，位于长细胞之间，短细胞可分为硅质细胞和栓质细胞 2 种，栓质细胞壁栓质化(图 1-10)。长细胞长度的变化范围是 37.50～65.83 μm(表 2)，变异系数是 16.43%；其宽度的变化范围是 13.33～20.83 μm，变异系数是 10.72%。硅细胞长度的变化范围是 10.00～17.50 μm，变异系数是 14.59%；其宽度的变化范围是 10.58～19.17 μm，变异系数是 14.22%。栓细胞长度的变化范围是 10.00～17.67 μm，变异系数是 17.31%；其宽度的变化范围是 10.83～17.08 μm，变异系数是 11.00%。

狗牙根叶的上、下表皮都有气孔，气孔排列成行与叶的长轴平行，只分布在各叶脉之间，叶脉上不见气孔分布(图 1-10)。气孔的形状无显著差异，都是由 2 个狭长的哑铃型保卫细胞和 2 个副卫细胞组成，但其分布的密度、长与宽的大小有差异。叶下表皮气孔长度的变化范围是 17.75～33.75 μm(表 2)，最大的是 17 号居群，最小的是 2 号居群，变异系数是 19.28%；气孔宽度的变化范围是 13.33～22.29 μm，最大的是 17 号居群，最小的是 5 号居群，变异系数是 13.59%。气孔密度的变化范围是 77.49～335.46 个/mm^2，13 号居群最大，17 号居群最小，变异系数是 36.93%。气孔密度的变异系数较大，说明这一性状变异较大。

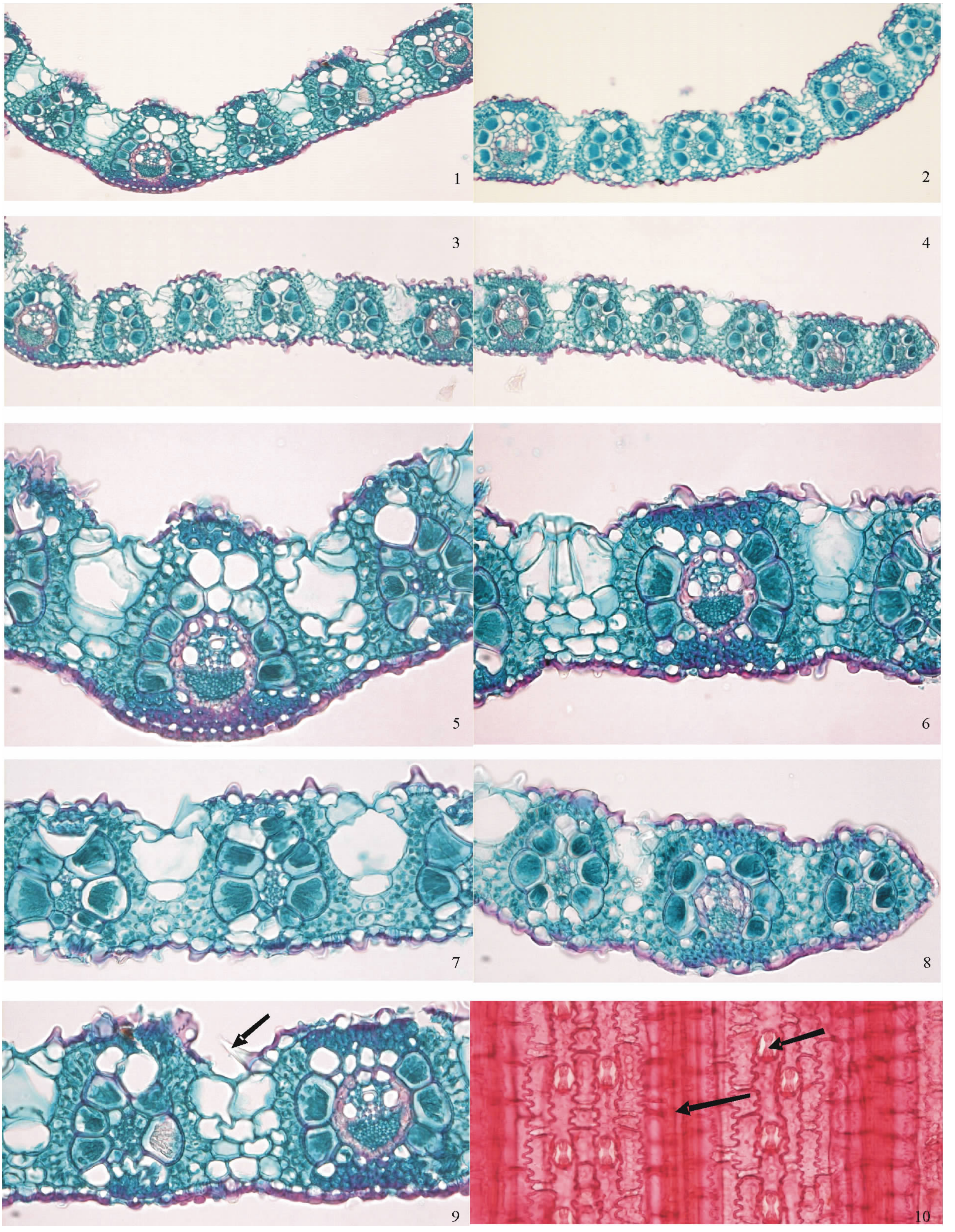

图 1　普通狗牙根叶片横切面及叶表皮显微结构

Fig. 1　The microstructure of transverse section and epidermis of leaves of *C. dactylon*

1～3. 叶片中部特征(×200)；4. 叶缘特征(×200)；5. 中脉(×400)；6. 平行脉中的大维管束(×400)；7. 平行脉中的小维管束(×400)；8. 边缘维管束(×400)；9. 大维管束(箭头示表皮刺毛)(×400)；10. 叶片下表皮(箭头示气孔与叶脉)(×400)　1－3. The characteristic of the middle part of leaf (×200); 4. The characteristic of leaf-margin (×200); 5. The characteristic of midrib (×400); 6. The characteristic of large vascular bundles in the parallel venation (×400); 7. The characteristic of small vascular bundles in the parallel venation (×400); 8. The characteristic of vascular bundles in the edge area (×400); 9. The characteristic of large vascular bundles (×400); 10. The characteristic of abaxial epidermis of leaf (×400)

表 2　狗牙根叶片表皮解剖数量特征

Table 2　Anatomical quantity characteristics for leaf epidermis of *C. dactylon*

居群号 Population No.	角质层厚度 Thickness of cuticular layer		表皮 Leaf epidermis								气孔 Stomata		
			下表皮细胞厚度 Thickness of abaxial epidermis (μm)	下表皮长细胞 Long cell		下表皮短细胞 Short cell				上表皮细胞厚度 Thickness of adaxial epidermis (μm)	长度 Length (μm)	宽度 Width (μm)	密度 Density (个 Number/mm²)
						硅细胞 Silica-cell		栓细胞 Cork-cell					
	下角质层 Abaxial cuticular layer (μm)	上角质层 Adaxial cuticular layer (μm)		长度 Length (μm)	宽度 Width (μm)	长度 Length (μm)	宽度 Width (μm)	长度 Length (μm)	宽度 Width (μm)				
1	3.75	3.33	4.17	55.83	15.00	13.33	15.83	14.83	15.00	4.17	21.67	15.83	249.12
2	4.38	3.13	5.63	37.50	15.00	13.75	15.58	10.75	15.00	6.25	17.75	15.42	283.09
3	3.75	2.50	6.25	43.33	15.69	12.64	15.78	12.56	14.39	8.75	23.03	15.47	278.60
4	5.25	4.38	3.75	58.33	15.00	15.83	15.00	11.25	12.50	5.63	21.92	15.83	213.02
5	5.25	5.63	4.63	47.50	14.17	11.67	17.08	11.67	14.17	7.13	19.83	13.33	258.32
6	3.75	2.50	3.13	59.17	17.50	13.75	17.50	13.75	15.83	5.00	24.17	18.92	200.28
7	5.63	3.75	5.00	49.17	17.92	12.92	16.25	10.42	14.58	5.63	18.75	14.58	283.09
8	5.00	2.50	5.00	60.00	15.00	12.50	15.42	12.50	12.50	3.75	21.67	15.83	198.87
9	5.00	3.13	5.63	60.83	16.67	11.67	10.58	11.67	10.83	5.63	25.42	17.50	170.56
10	5.00	3.75	5.00	47.50	15.83	10.83	16.67	10.83	11.25	4.75	17.92	17.33	280.25
11	3.13	3.13	5.00	62.50	16.67	14.42	17.92	12.08	13.75	5.00	26.25	16.67	194.62
12	4.38	2.50	4.38	65.83	17.50	13.75	19.17	12.92	15.42	5.00	19.83	15.83	301.49
13	5.00	2.50	3.75	40.00	16.25	11.25	14.58	10.42	14.17	6.25	19.17	15.00	335.46
14	3.75	2.50	5.00	46.67	18.33	10.83	15.00	11.67	14.17	7.50	22.50	16.67	278.13
15	5.00	3.50	7.50	61.67	13.33	15.83	12.50	10.00	12.92	7.50	28.75	19.17	87.76
16	4.38	4.38	5.00	65.83	20.83	17.50	11.67	17.67	14.58	5.00	32.33	18.50	87.76
17	3.75	5.00	7.50	56.67	18.42	12.50	17.08	16.75	17.08	7.50	33.75	22.29	77.49
18	5.00	4.38	5.00	53.33	17.50	15.00	13.33	10.42	14.17	6.25	26.67	21.67	102.62
19	5.00	3.50	4.58	40.83	17.50	10.00	18.33	14.58	16.25	5.83	23.33	18.33	270.35
20	4.59	3.73	5.61	55.93	18.26	14.38	15.10	14.73	14.71	6.26	27.94	19.87	154.65

2.2.2 不同居群狗牙根叶片内部结构的比较　狗牙根叶片无栅栏组织与海绵组织之分，由于维管束较多，且每 2 个维管束间嵌入泡状细胞，形成靠维管束部位的叶厚，而靠泡状细胞部位的叶薄的特点。叶片中脉部位叶厚的变化范围为 110.00～198.75 μm(表 3)，最大的是 5 号居群，最小的是 3 号居群，平均值为 152.13 μm，标准差是 21.84 μm，变异系数是 14.39%；侧脉部位叶厚的变化范围是 101.25～166.25 μm，最大的是 18 号居群，最小的是 11 号居群，平均值为 126.31 μm，标准差是 14.69 μm，变异系数是 11.63%；靠泡状细胞部位叶厚的变化范围是 55.00～120.50 μm，最大的是 5 号居群，最小的是 15 号居群，平均值为 90.94 μm，标准差是 17.40 μm，变异系数是 19.13%，靠泡状细胞部位的叶厚变异系数是最大的，其次是中脉部位。

不同居群狗牙根叶片维管束的数量与直径有差异。叶片维管束的变化范围是 15～25 个(表 3)，最大的是 4 号与 8 号居群，最小的是 15 号居群，变异系数是 14.23%。中脉维管束水平直径的变化范围是 80.00～125.00 μm，最大的是 8 号居群，最小的是 3 号居群，变异系数是 10.58%；垂直直径的变化范围是 70.00～136.13 μm，最大的是 5 号居群，最小的是 3 号居群，变异系数是 15.16%。平行脉中的大维管束水平直径的变化范围是 82.50～113.75 μm，最大的是 5 号居群，最小的是 3 号居群，变异系数是 8.82%；垂直直径的变化范围是 63.75～116.50 μm，最大的是 17 号居群，最小的是 3 号居群，变异系数是 15.72%。平行脉小维管束水平直径的变化

范围是 55.00～83.75 μm，最大的是 18 号居群，最小的是 3 号居群，变异系数是 10.40%；垂直直径的变化范围是 61.25～97.50 μm，最大的是 17 号与 18 号居群，最小的是 11 号居群，变异系数是 14.21%。

表 3 狗牙根叶片内部解剖数量特征

Table 3 Anatomical quantity characteristics for leaves of *C. dactylon*

居群号 Population No.	叶片厚度 Thickness of leaves			维管束 Vascular bundles							机械组织厚度 Thickness of strengthening tissue					
				维管束个数 Number of vascular bundle	中脉维管束 Vascular bundle of midrib		平行脉大维管束 Large vascular bundle of parallel venation		平行脉小维管束 Small vascular bundle of parallel venation		中脉维管束 Vascular bundle of midrib		平行脉大维管束 Large vascular bundle of parallel venation		平行脉小维管束 Small vascular bundle of parallel venation	
	中脉部位 Midrib (μm)	侧脉部位 Lateral vein (μm)	靠泡状细胞部位 Close to athleticcell (μm)		水平直径 Horizontal diameter (μm)	垂直直径 Vertical diameter (μm)	水平直径 Horizontal diameter (μm)	垂直直径 Vertical diameter (μm)	水平直径 Horizontal diameter (μm)	垂直直径 Vertical diameter (μm)	与上表皮间 Between adaxial epidermis (μm)	与下表皮间 Between abaxial epidermis (μm)	与上表皮间 Between adaxial epidermis (μm)	与下表皮间 Between abaxial epidermis (μm)	与上表皮间 Between adaxial epidermis (μm)	与下表皮间 Between abaxial epidermis (μm)
1	125.83	110.00	80.83	20	99.17	91.67	91.67	69.58	73.33	72.50	9.58	9.17	15.00	10.00	10.42	7.50
2	145.00	122.50	110.00	20	113.75	103.13	96.25	80.63	60.00	66.25	12.50	10.00	12.50	10.00	13.75	10.00
3	110.00	108.75	78.75	21	80.00	70.00	82.50	63.75	55.00	62.50	7.50	11.25	12.50	11.25	10.63	5.63
4	155.00	113.75	92.50	25	116.25	116.00	92.50	77.88	62.50	68.75	11.25	8.75	8.75	8.13	7.50	6.25
5	198.75	133.75	120.50	23	123.75	136.13	113.75	75.88	80.00	73.75	18.75	21.25	21.25	14.00	15.14	16.38
6	140.75	125.00	70.00	22	97.50	107.63	96.25	86.88	67.50	78.75	10.00	8.75	12.50	11.25	8.75	11.25
7	172.50	132.50	97.50	19	115.00	131.25	101.88	92.50	78.75	88.75	10.00	11.25	10.00	10.00	8.75	6.25
8	187.50	130.00	92.50	25	125.00	101.25	112.50	91.25	75.00	87.50	45.00	25.00	12.50	10.00	10.00	7.50
9	163.75	132.50	115.00	21	102.50	114.38	102.50	83.13	68.75	80.00	16.25	13.75	16.25	13.75	13.75	11.25
10	165.00	120.63	100.50	21	98.75	94.63	99.50	78.38	77.50	71.75	41.25	10.63	15.00	8.75	13.00	6.75
11	145.00	101.25	101.25	22	116.25	97.50	87.50	69.38	73.75	61.25	13.75	17.50	6.88	8.75	7.50	9.38
12	153.75	122.50	102.50	22	113.75	120.00	103.75	88.75	71.25	70.00	11.25	6.25	10.00	7.50	7.50	5.00
13	158.75	120.00	102.50	21	108.75	122.50	95.00	83.75	67.50	75.00	10.00	8.75	10.00	8.75	10.00	7.50
14	125.00	125.00	75.00	17	105.00	91.25	97.50	91.25	67.50	65.00	7.50	7.50	10.00	5.00	7.50	5.00
15	121.25	118.75	55.00	15	92.50	80.25	86.25	79.00	68.75	66.25	11.25	6.25	10.00	6.25	10.00	7.50
16	147.50	131.25	60.75	19	101.25	111.25	111.25	95.00	82.50	85.00	10.00	7.50	10.00	7.50	11.25	7.50
17	160.00	150.25	78.75	16	120.00	106.25	102.50	116.50	75.00	97.50	17.50	12.50	5.00	5.00	12.50	10.00
18	170.00	166.25	88.50	17	113.75	114.38	101.25	111.88	83.75	97.50	27.50	7.50	25.00	8.75	27.50	12.50
19	143.33	120.83	100.83	17	97.50	103.58	87.50	78.58	67.50	72.50	14.17	6.67	13.33	10.00	7.50	5.83
20	153.93	140.80	95.68	17	107.74	107.50	99.27	101.99	76.58	83.46	17.96	8.28	11.73	6.89	12.61	7.94

狗牙根叶片中脉维管束与平行脉的大维管束上下两端的机械组织较为发达，小维管束两端也会有机械组织分布，且此机械组织都与上、下表皮相连。该结构对研究狗牙根的抗旱与耐磨性有着重要意义。中脉维管束与上表皮间的机械组织厚度变化范围是 7.50～45.00 μm(表 3)，最大的是 8 号居群，最小的是 3 与 14 号居群，变异系数是 64.20%；其与下表皮间的机械组织厚度变化范围是 6.25～25.00 μm，最大的是 8 号居群，最小的是 12 与 15 号居群，变异系数是 46.05%。平行脉中的大维管束与上表皮间的机械组织厚度变化范围是 5.00～25.00

μm，最大的是18号居群，最小的是17号居群，变异系数是36.97％；其与下表皮间的机械组织厚度变化范围是5.00～14.00 μm，最大的是5号居群，最小的是14与17号居群，变异系数是26.76％。平行脉小维管束与上表皮间的机械组织厚度变化范围是7.50～27.50 μm，最大的是18号居群，最小的是4，11，12，14和19号居群，变异系数是40.00％；其与下表皮间的机械组织厚度变化范围是5.00～16.38 μm，最大的是5号居群，最小的是12与14号居群，变异系数是34.38％。

2.3 聚类分析

根据叶的解剖数量特征（表2，3），对20个居群的狗牙根进行聚类分析，将这些狗牙根分为4大类（图2）。

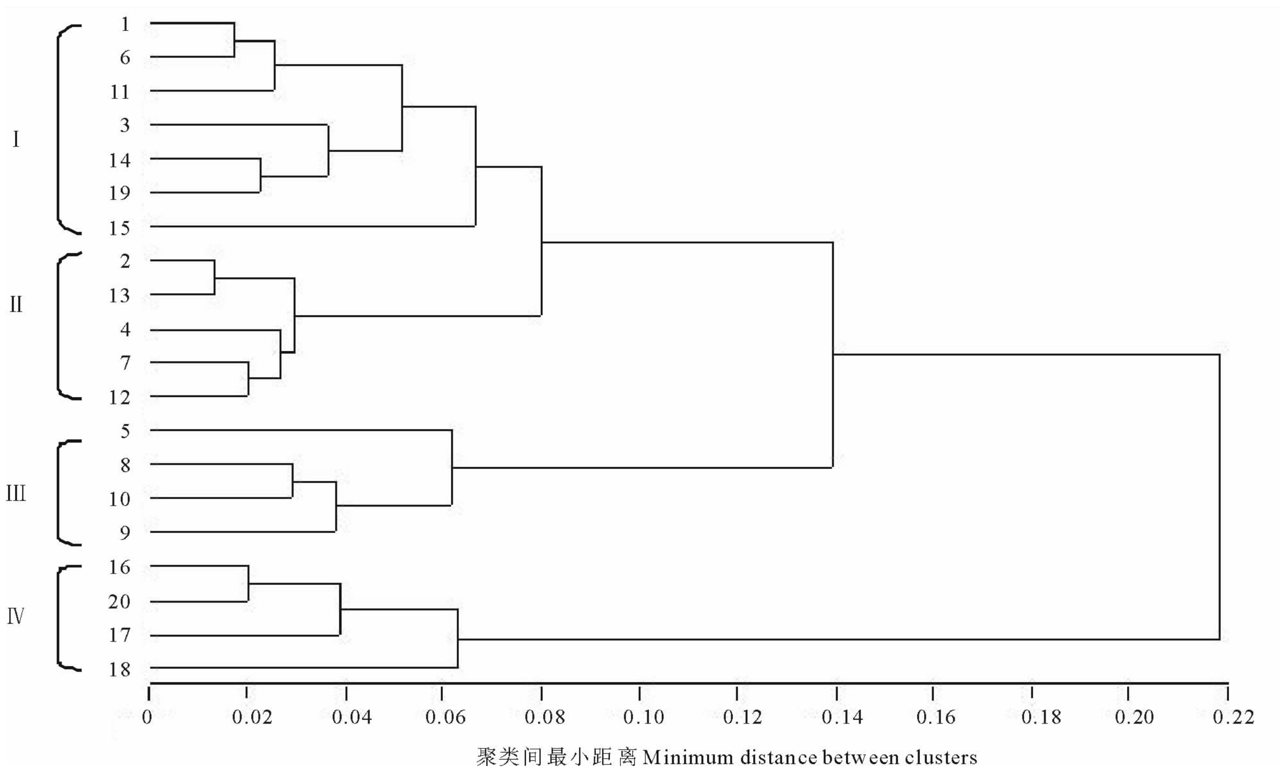

图2 狗牙根各居群的聚类分析（方法：离差平方和法，标准化）

Fig. 2 Cluster analysis of *C. dactylon* among various populations among various populations

Ⅰ类：包括1，6，11，3，14，19和15号居群，这7个居群大部分采集于海南西部，除了19号居群生境为海边，其他皆为路边荒地。该类居群叶片厚度都比较小，维管束的直径也小，且相连于上下叶表皮的机械组织厚度也较小，气孔的大小及密度中等。3，6与14号居群的角质层较薄，6号居群的叶表皮细胞最薄，3号居群维管束的直径最小，14号居群的机械组织最少。

Ⅱ类：包括2，13，4，7和12号居群，这5个居群的地理分布位置较集中，都位于海南的西南部，生境皆为路边荒地。该类居群叶片厚度整体处于中等程度，其靠泡状细胞部位的叶片厚度较大，由于泡状细胞占叶肉组织的绝大部分体积，说明其泡状细胞较厚大，维管束大小中等，但维管束较多，机械组织中等，气孔体积较小，但气孔密度较大。13号居群的气孔体积较小，气孔密度最大。

Ⅲ类：包括5，8，10和9号居群，5与8号居群来自于海南的中部，地理位置接近，9及10号居群都来自于海南临高，生境为路边荒地及灌木丛旁。该类居群叶片的角质层较厚，其中脉以及靠泡状细胞部位的叶片厚度较大，侧脉部位的叶片厚度中等，维管束的直径中等但个数较多，周围的机械组织较厚，气孔的大小及密度中等。5号居群上下角质层都较厚，且其中脉以及靠泡状细胞部位的叶片厚度最大，8号居群中脉部位的机械组织最多。

Ⅳ类：包括16，20，17和18号居群，这4个居群地理分布位置虽不集中，但均分布于海边，生境皆为海边沙滩

地。该类居群的叶表皮细胞较长且厚，侧脉部位的叶片厚度较大，但靠泡状细胞部位的叶片厚度却较小，维管束个数较少且直径较大，机械组织中等，气孔体积较大，但气孔密度较小。17 号居群的叶表皮细胞最厚，气孔体积最大但密度最小。

3 结论与讨论

狗牙根的叶片特征决定了其具有较强的抗旱性，20 个居群狗牙根叶的结构都呈中脉部位厚、两边逐渐变薄的特点，上下叶表面都覆有 1 层角质层，表皮有较多突起，气孔在叶的上下表面都有，无栅栏与海绵组织之分，维管束为双层鞘，与周围的叶肉细胞组成了典型的 C_4 植物"花环状"结构，这种结构既保证了极高的光合效率，又在一定程度上增强了叶片的耐旱性。其叶肉细胞较小，紧密围绕叶脉维管束的左右两边，细胞间隙小，且维管束与叶表皮间的机械组织较多，说明了狗牙根具有较强抗旱与耐磨能力。除此之外，狗牙根较其他草坪草，如台湾草(*Zoysia tenuifolia*)、海雀稗(*Paspalum vaginatum*)、假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)等[23,24]抗旱性强，其最明显的特征就是泡状细胞下陷于叶肉中，体积较大，几乎达下表皮，形成"绞合细胞"，更增大了叶片卷叠运动的幅度，这种结构是其最大的旱生特性。本试验还发现狗牙根上表皮叶脉上具有刺毛，这种结构可使其更适应干旱的环境。本研究发现狗牙根材料在叶的解剖学结构方面没有显著的差异，但是在大小方面有明显的差异。本研究结果与陆静梅和李建东[18]对生长在不同土壤类型的羊草，丁雨龙等[19]对不同生态类型的竹子的解剖结构及白史且等[25]对不同居群假俭草叶片比较解剖的研究结果相似。

植物叶片是进化过程中对环境变化比较敏感且可塑性较大的器官，环境变化常导致叶的长、宽及厚度，叶表皮细胞及其附属物等形态解剖结构的响应与变化[26,27]。不同居群下叶片结构的差异，从一个侧面反映了狗牙根具有适应不同生境的能力。通过对狗牙根的解剖学数量特征进行分析，发现在多数情况下，狗牙根因生长环境的不同，其结构大小的变异系数较大，尤其是气孔密度与机械组织，初步说明环境对二者的影响较大；狗牙根上表皮的细胞虽比下表皮细胞厚，但其角质层较薄，这可能是由于光照的影响；叶片厚度变异较大的是靠泡状细胞部位，由于泡状细胞与抗旱性有着紧密的联系，由此初步判定不同生境的狗牙根其旱生结构有着很大的不同；维管束的水平直径与垂直直径相差不大；20 个参试材料平行脉的大小维管束周围均有机械组织分布，与上下表皮相连，中脉周围的机械组织最多；叶表皮的长细胞较长，但宽与短细胞相当；短细胞中的硅细胞与栓细胞大小相差不大；气孔密度差异较大，变化范围是 77.49～335.46 个/mm^2。Carpenter 和 Smith[28]认为气孔器的密度、大小主要受光照、温度和降水的影响，随着温度的增加和水分的减少，气孔器密度增加，在本研究中，不同居群狗牙根的气孔密度差异可能是由于狗牙根所处的生境不同引起的。但狗牙根的气孔密度、大小与降水、海拔等生态因子的关系如何，还需作进一步研究。

根据邢毅等[29]研究得出的具有相似生境特点的居群具有相似表型特征，本研究综合叶的解剖学研究结果，采用聚类的方法对狗牙根 20 个居群进行聚类，把这 20 个居群分为 4 大类，聚类结果与观察到的形态学特征、生境类型、地理分布的划分基本一致，由此说明该方法在禾本科植物种内居群的划分上是可行的。用叶子的解剖学资料对禾本科植物进行分类早前已有大量的报道[19]，并成功地分出了大的类型。Brawn[20]在前人工作的基础上，通过对 72 属、101 种禾本科植物进行比较解剖学研究后，将禾本科植物叶的解剖构造分为竹型(Bambusoid)、羊茅型(Festucoid)、黎型(Pinicoid)、虎尾草型(Chloridoid)、芦竹型(Bambusoid)和三芒草型(Aristidoid)6 大类。随着技术的不断完善，如果能够把形态学、解剖学、分子标记等几方面结合起来，再对其进行分类可能更为全面。

在本研究中，把 20 个居群划分为 4 大类，发现除了 19 号居群外，前 3 类的材料均来自于路边旱地，第Ⅳ大类的狗牙根材料生境都是海边的盐碱地，聚类结果与生境类型的划分基本一致。19 号居群来自于海边，但划为第Ⅰ类，这可能是材料所处的生境所影响的。从解剖学数量特征来看，第Ⅳ类包括的 16，20，17 和 18 号居群的叶表皮细胞较长且厚，泡状细胞的体积较其他几类居群小，维管束个数较少但直径较大，最明显的特征就是气孔体积较大，但气孔密度较小，17 号居群的叶表皮细胞最厚，上下表皮均厚达 7.5 μm，角质层中等，其气孔体积最大但密度最小，气孔长为 33.75 μm，宽为 22.29 μm，气孔密度仅为 77.49 个/mm^2，与其他旱地材料的气孔密度差异较大。由于气孔密度直接影响内部阻力，气孔密度大且气孔大时，内部阻力小，蒸腾较强[30,31]，抗旱性加强。从这种角度来说，海边采集的狗牙根材料相对于旱地采集的材料，其气孔器较大，叶脉较稀，气孔密度较小，初步说

明其抗旱能力较旱地的小，这有待于进行抗旱生理试验来验证。至于与生境的关系还需做进一步的研究。

参考文献：

[1] Gatschet M J，Taliaferro C M. Cold acclimation and alterations in protein synthesis in bermudagrass-crowns[J]. American Society for Horticultural Science，1994，119(3)：477-480.

[2] 陈志一. 草坪栽培与管理(第一版)[M]. 北京：农业出版社，1993：73-95.

[3] Harlan J R，De Wet J M. Sources of viration in *Cynodon dactylon*(L.)Pers.[J]. Crop Science，1969，36：744-748.

[4] 王栋. 牧草学各论[M]. 南京：江苏科学技术出版社，1989：69-72.

[5] 孙吉雄. 草坪学[M]. 兰州：甘肃科技出版社，1989：64-70.

[6] 周寿荣. 草坪地被与人类环境[M]. 成都：四川科学技术出版社，1996：74-88.

[7] Taliaferro C M. Diversity and vulnerability of bermuda turfgrass species[J]. Crop Science Society of America，1995，35：327-332.

[8] 王志勇，刘建秀，郭海林. 狗牙根种质资源营养生长特性差异的研究[J]. 草业学报，2009，18(2)：25-32.

[9] 张小艾，张新全，杨春华，等. 狗牙根种质资源遗传多样性的研究概况[J]. 草原与草坪，2003，(3)：17-21.

[10] Wylie R B. Principles of foliar organization shown by sun-shade leaves from ten species of deciduous dicotyledonous trees[J]. American Journal of Botany，1951，38：335-361.

[11] Jackson L W R. Effect of shade on leaf structure of deciduous trees species[J]. Ecology，1967，48：498-499.

[12] Bongers F，Popma J. Leaf characteristics of the tropical rain forest flora of Los Tuxtlas[J]. Mexico Botanical Gazette，1990，151：354-365.

[13] 贺金生，陈伟烈，王力陵. 高山栎叶的形态结构及其与生态环境的关系[J]. 植物生态学报，1994，18(3)：219-227.

[14] Liu J Q，Qiu M X. Ecophysiological and anatomical study on *Ammopiptanthus mongolicus*[J]. Acta Botanica Sinica，1982，24：568-574.

[15] Yuan Y M，Peng Z X. The systematic and ecological significance of anatomical characters of leaves in the tribe Thermopsideae (Fabacene)[J]. Acta Botanica Sinica，1991，33：840-847.

[16] 沈宗根，李景原. 9 种芦荟属植物叶的结构和芦荟素含量的比较研究[J]. 西北植物学报，2001，21(2)：278-286.

[17] 刘全宏，王孝安，田先华，等. 太白红杉叶的形态解剖学特征与环境因子的关系[J]. 西北植物学报，2001，21(5)：885-893.

[18] 陆静梅，李建东. 同种不同生态环境植物解剖结构比较研究[J]. 东北师范大学学报，1994，(3)：100-103.

[19] 丁雨龙，赵奇僧，陈志银，等. 竹叶结构的比较解剖及其对系统分类意义的评价[J]. 南京林业大学学报，1994，18(3)：1-5.

[20] Brawn W V. Leaf anatomy in grass systematica[J]. Botanical Gazette，1958，3：170-178.

[21] 郑国昌. 生物显微技术[M]. 北京：人民教育出版社，1979.

[22] 李正理. 植物制片技术[M]. 北京：科学出版社，1978.

[23] 耿世磊，赵晟，吴鸿. 三种草坪草的茎、叶解剖结构及其坪用性状[J]. 热带亚热带植物学报，2002，10(2)：145-151.

[24] 李志东，黎可华，何会蓉，等. 华南地区 7 个暖季型草坪草种的抗旱性与灌溉节水的初步研究[J]. 草业科学，2008，25(11)：120-124.

[25] 白史且，苟文龙，张新全，等. 不同居群假俭草叶片比较解剖学的研究[J]. 北京林业大学学报，2003，25(2)：36-41.

[26] 中国科学院植物研究所. 草类纤维(禾本科)[M]. 北京：科学出版社，1982：10.

[27] 李扬汉. 禾本科植物的形态与解剖[M]. 北京：农业出版社，1979：66-68.

[28] Carpenter S B，Smith N B. Stomata distribution and size in southern appalachian hardwoods[J]. Canadian Journal of Botany，1975，(52)：153-156.

[29] 邢毅，赵祥，董宽虎，等. 不同居群达乌里胡枝子形态变异研究[J]. 草业学报，2008，17(4)：26-31.

[30] 曾广文，蒋德安. 植物生理学[M]. 杭州：浙江大学出版社，2003：23.

[31] 曲涛，南志标. 作物和牧草对干旱胁迫的响应及机理研究进展[J]. 草业学报，2008，17(2)：126-135.

A comparative study on the anatomical structure of leaves from different populations of bermudagrass

LI Ya-nan, LUO Li-juan

(College of Horticulture, Hainan University, Danzhou 571737, China)

Abstract: A study of the anatomical structure of leaves from 20 populations of bermudagras growing in different environments found that there were significant differences in cuticular thickness, epidermal cells thickness, leaf epidermal cell lengths and widths, stomata size and density, leaf thickness, number and diameter of vascular bundles, and strengthening tissue thickness. The coefficients of variability were greater in stomatal density and in strengthening tissue thickness than in vascular bundles of midribs and the abaxial epidermis. Stomatal density ranged from 77.49 to 335.46 per mm^2, with a coefficient of variability up to 36.93%. Strengthening tissue thickness ranged from 7.50 to 45.00 μm, with a coefficient of variability up to 64.20%. Using the indexes measured, the 20 populations of bermudagrass could be divided into four categories by cluster analysis. The results of cluster analysis were identical with the population distributions of the bermudagrass.

Key words: bermudagrass; populations; anatomical structure of leaves