

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0385

严琳玲,张瑜,白昌军.13 份柱花草品系生产性能比较.草业科学,2018,35(4):867-875.

Yan L L, Zhang Y, Bai C J. Comparative study on the production performance of 13 *Stylosanthes* germplasms. Pratacultural Science, 2018, 35(4): 867-875.

13 份柱花草品系生产性能比较

严琳玲, 张瑜, 白昌军

(中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所 农业部华南作物基因资源与种质创制重点实验室, 海南 儋州 571737)

摘要:为筛选出性状优良的柱花草(*Stylosanthes*)品种,2011—2014 年对 13 份柱花草品种(系)的株高、存活率、茎叶比、抗炭疽病能力、干草产量、种子千粒重和产量及养分进行测定分析,并采用隶属函数法对其综合生产性能进行评价。结果表明,13 份柱花草品系初花期在 9—11 月;TPRC2001-84 柱花草植株存活率最高(72.6%),TPRC 2001-81 其次(56.6%);13 份柱花草品系均较抗柱花草炭疽病;TPRC 2001-84 柱花草年均干草产量最高(15 968 kg·hm⁻²),TPRC 2001-81 和热研 20 号其次(12 206 和 12 724 kg·hm⁻²);TPRC 2001-85 柱花草种子产量最高(56.7 kg·hm⁻²);热研 21 号柱花草粗蛋白含量最高(21.57%),热研 20 号和热研 21 号柱花草粗脂肪和磷含量较高,热研 20 号(CK)柱花草钙含量最高,TPRC 2001-85 柱花草钾含量最高。TPRC 2001-84、热研 21 号、TPRC 2001-85 和 TPRC 2001-1 柱花草的综合生产性能较优,适于在热带亚热带地区推广种植。

关键词:柱花草;生育期;产量;存活率;抗炭疽病能力;营养成分;隶属函数

中图分类号:S541⁺.9

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2018)04-0867-09*

Comparative study on the production performance of 13 *Stylosanthes* germplasms

Yan Lin-ling, Zhang Yu, Bai Chang-jun

(Tropical Crops Genetic Resources Institute, CATAS/Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement in Southern China, Ministry of Agriculture, Danzhou 571737, Hainan, China)

Abstract: In order to screen *Stylosanthes* varieties of excellent comprehensive properties, the adaptability of 13 *Stylosanthes* germplasms were studied by testing the height, survival rate, stem/leaf ratio, anthrax disease, hay yield, seed yields, 1000-grain weight, and nutrition components from 2011 to 2014; the production performances were compared and evaluated by membership function. The results showed that their initial blossoming stage was from September to November. The survival rate of TPRC2001-84 was the highest, up to 72.6% followed by TPRC 2001-81 with 56.6%. The 13 *Stylosanthes* germplasms were all resistant to anthracnose. Forage DM yield of TPRC 2001-84 was the highest, up to 15 968 kg·ha⁻¹, followed by TPRC2001-81 and Reyan No. 20, 12 206, and 12 724 kg·ha⁻¹, respectively. It was also found that the highest seed yield was in TPRC 2001-85, up to 56.7 kg·ha⁻¹, and the highest crude protein content was in Reyan No. 21 with up to 21.57%. The highest crude fat and phosphorus content was in Reyan No. 20 and Reyan No. 21. The highest calcium content was in Reyan No. 21. The highest potassium content was in TPRC 2001-85. Therefore, among all the *Stylosanthes* germplasm, TPRC 2001-84, Reyan No. 21, TPRC 2001-85, and TPRC 2001-1 had been found to have excellent production performance and were suitable for promotion and cultivation in the tropical area.

* 收稿日期:2017-07-14 接受日期:2017-09-01

基金项目:农业部物种资源保护“热带牧草种质资源保存”项目;热带牧草种质资源收集鉴定编目繁殖更新与保存分发利用(12RZZY-09);中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所非营利项目;主要热带豆科牧草种质资源收集鉴定评价研究(pzsfyl-201816)

第一作者:严琳玲(1983-),女,福建三明人,助理研究员,硕士,主要从事热带牧草种质评价与选育种研究。E-mail:yanlinling0624@163.com

通信作者:白昌军(1967-),男,甘肃民勤人,研究员,硕导,博士,主要从事热带牧草种质资源收集评价鉴定研究。E-mail:baichangjun@126.com

Key word: *Stylosanthes guianensis*; growth period; yield; survival rate; resistant anthracnose; nutrition; membership function

Corresponding author: Bai Chang-jun E-mail:baichangjun@126.com

柱花草(*Stylosanthes*)原产中南美洲及加勒比海地区^[1],其富含粗蛋白,产量高,适应性强^[2]。我国于1962年首次从马来西亚引进,将其作为胶园绿肥植物。因其间作效果良好,在华南地区被广泛推广^[3]。目前,我国已先后从哥伦比亚、澳大利亚、巴西等国引进大量柱花草种质^[1],并选育出适合我国推广种植的热研2号柱花草(*S. guianensis* ‘Reyan 2’)、热研5号柱花草(*S. guianensis* ‘Reyan 5’)、西卡柱花草(*S. scabra* ‘Seca’)、热引18号柱花草(*S. guianensis* ‘Reying 18’)等抗柱花草炭疽病(*Colletotrichum gloeosporioides*)品种^[4],累计推广种植近30多万hm²,成为我国南方热带、亚热带地区种植面积最广的豆科牧草^[5]。由于柱花草的农艺性状和经济性状与我国北方种植的苜蓿(*Medicago sativa*)相似,故称之为“北方苜蓿”(Tropical alfalfa)^[3]。

近年来,随着草牧业的发展,粮食、经济作物、饲草料三元种植结构协调发展。柱花草种植面积逐年扩大,逐步向规模化、集约化方向发展,并成为农业种植结构调整中的一个重要牧草^[6]。目前,国内对柱花草的育种研究主要集中在逆境胁迫方面,包括抗炭疽病^[7-9]、耐酸铝^[10-12]、抗旱^[13-16]、抗寒^[17-20]等,最终解决目的均为柱花草在不同地区的适应性问题,但逆境胁迫解决的问题较单一,不能有效获得综合性状优良的柱花草品种。因此,对目前推广面积最广、综合性状优

良的热研2号柱花草进行了空间诱变辐射育种,预期获得一些不可预见性的变异体,首先通过对抗柱花草炭疽病的单株筛选,获得SP5代的85个抗病品系,再从中筛选出耐酸铝、高产、早花等的综合性状优良的柱花草品系。本研究即对筛选出的11份综合性状优良的品系进行品种比较试验,希望能从中获得适合热带亚热带地区种植的高产抗病优质柱花草品种。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所牧草研究室试验基地,地处19°30′N、109°30′E,海拔149m,属热带季风气候类型,夏秋季高温多雨,冬春季低温干旱,干湿季节明显^[21]。试验地土壤为花岗岩发育的砖红壤,肥力较差,0—40cm土壤养分中全氮含量0.06%~0.09%,有机质含量0.73%~1.38%,速效磷含量0.3~1.8mg·kg⁻²,速效钾含量40.0~60.0mg·kg⁻²,pH5.0~5.5^[8]。

1.2 试验材料

供试柱花草共13个,其中编号1—11为中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所空间诱变筛选的优良品系,编号12的热研20号(2010年国审品种)和编号13的热研21号圭亚那柱花草(2011年国审品种)为对照(表1)。

表 1 柱花草品系
Table 1 The variety of *Stylosanthes*

编号 Code	品系名 Name of variety	学名 Latin name
1	TPRC 2001-1	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-1
2	TPRC 2001-5	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-5
3	TPRC 2001-7	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-7
4	TPRC 2001-9	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-9
5	TPRC 2001-15	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-15
6	TPRC 2001-55	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-55
7	TPRC 2001-79	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-79
8	TPRC 2001-80	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-80
9	TPRC 2001-81	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-81
10	TPRC 2001-84	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-84
11	TPRC 2001-85	<i>Stylosanthes guianensis</i> TPRC 2001-85
12	热研 20 号	<i>Stylosanthes guianensis</i> ‘Reyan No. 20’
13	热研 21 号	<i>Stylosanthes guianensis</i> ‘Reyan No. 21’

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 采用单因子随机区组设计,4次重复;其中3个重复用于牧草产量、株高及存活率测定,1个重复用于观测柱花草植物学性状、炭疽病病级和种子潜在产量测定。小区面积 $3.5\text{ m}\times 4.5\text{ m}$,株行距 $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}$,每小区共56穴;试验地四周设置保护行。于2011年12月24日育苗,2012年2月15日移栽于小区。2012—2014年测定牧草各生长特性指标。

1.3.2 测定指标 物候期:记录各小区内柱花草物候期,本研究仅对初花期进行分析,即小区内有20%的植株开花的时期。

干草产量:在移栽后3个月首次刈割,以生长速度居中的品系株高达60 cm时刈割测产,2012年、2013年和2014年分别测产4次、5次和5次,留茬高度30 cm。测产时,去除小区边行,实测所留 8.8 m^2 鲜草产量。每次刈割后,先从每小区随机取3~5把草样,将3个重复草样混合均匀,再取约1 000 g样品称重后烘干测干重,计算各品系干鲜比和干草产量。

相对株高及植株存活率:每次测产前,每小区随机取10株柱花草,测相对株高;每次刈割后,统计各小区柱花草存活株数(即计算小区内每穴存活的株丛数)。

茎叶比:每年第1次刈割时,各小区取1 000 g样品,按茎、叶分开后,烘干测茎叶比。

炭疽病:采用0—9级指标,观察各小区柱花草炭疽病^[22]。首次观察在移栽后4周,其后每隔1月观察一次,2012年、2013年和2014年分别观测8次、11次和8次,试验期间共计观测27次。

种子潜在产量及千粒重:每年收获期,测定各柱花草品系重复4的种子产量,并从筛选后无杂质的柱花草种子中,4次取样,测千粒重。

牧草养分:将2012年各小区第1茬干重测定草样留作养分分析用,参照张丽英^[23]的方法测定其粗蛋白(CP)、粗纤维(CF)、粗脂肪(EE)、无氮浸出物(NFE)、粗灰分(Ash)及钙(Ca)、磷(P)、钾(K)含量。其中粗蛋白含量采用凯式定氮仪法测定;粗脂肪含量采用索式抽提法测定;粗灰分含量采用高温灰化法测定;粗纤维含量采用酸碱消煮法测定;钙、钾元素采用吸收原子火焰法测定;磷元素采用钒钼黄比色法测定。

1.3.3 牧草生产性能评价 以各品系柱花草的相对株高、年干草产量、炭疽病病级、存活率、茎叶比、粗蛋白、粗纤维和种子产量数据为基础,采用模糊数学隶属函数法,对13份柱花草品系生产性能进行综合评价^[24]。其中,炭疽病病级、茎叶比和粗纤维指标为反隶属函数,其他均为正隶属函数。隶属函数均值越大,

说明牧草综合生产性能越好。

1.4 数据处理

用Excel 2003及SAS 9.0对多次测定的牧草各生产特性指标均值进行不同品系之间的差异显著性分析及多重比较。

2 结果与分析

2.1 牧草初花期

经3年观测,13份柱花草品系初花期不一致,时间在9—11月,其中,TPRC 2001-5、TPRC 2001-7和热研20号柱花草的初花期在9月,TPRC 2001-1、TPRC 2001-15、TPRC 2001-55、TPRC 2001-79、TPRC 2001-81、TPRC 2001-84、TPRC 2001-85和热研21号柱花草的初花期在10月,TPRC 2001-9和TPRC 2001-80柱花草的初花期在11月。与热研20号柱花草比较,TPRC 2001-1、TPRC 2001-9、TPRC 2001-15、TPRC 2001-55、TPRC 2001-79、TPRC 2001-80、TPRC 2001-81、TPRC 2001-84和TPRC 2001-85柱花草的花期均延迟;与热研21号柱花草比较,TPRC 2001-1、TPRC 2001-9、TPRC 2001-15、TPRC 2001-55、TPRC 2001-79、TPRC 2001-80和TPRC 2001-84柱花草的花期均延迟(表2)。

2.2 牧草相对株高、存活率及茎叶比

柱花草株高和茎叶比在不同品系之间差异不显著($P>0.05$),而其植株存活率则在不同品系之间差异极显著($P<0.01$)(表2)。其中,TPRC 2001-84柱花草植株存活率最高,达72.6%,极显著高于除TPRC 2001-81和热研21号柱花草外的其他10份材料,其次为TPRC 2001-81柱花草,植株存活率达56.6%,极显著高于TPRC 2001-5、TPRC 2001-9和TPRC 2001-55柱花草。

2.3 牧草抗炭疽病能力

13份柱花草的炭疽病病级在不同品系之间差异显著($P<0.05$),且其病级指数一般在1.1~1.6,表明柱花草均较抗炭疽病;其中,TPRC 2001-84的病级指数最低,仅为1.1,表现强抗炭疽病;其次为热研21号(1.2)、TPRC 2001-1(1.3)和TPRC 2001-85(1.3)(表2)。

2.4 干草产量

2012—2014年每年及3年平均的柱花草干草产量均在不同品系之间呈极显著差异($P<0.01$)(表3)。其中,2012年,有10个柱花草品系的干草产量高于热研20号和热研21号,且TPRC2001-1柱花草年的干草产量最高,达 $13\ 045.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,极显著高于

TPRC2001-55 柱花草,且前者为后者的 3.89 倍。2013 kg · hm⁻²,极显著高于 TPRC2001-7、TPRC2001-9、年,TPRC2001-84 柱花草年干草产量最高,达20 338.1 TPRC 2001-55 和热研21号;其次为热研20号、

表 2 柱花草花期、株高、存活率、茎叶比及炭疽病病级
Table 2 The flowering stage, plant height, survival rate, stem leaf ratio, and anthrax disease of 13 *Stylosanthes*

品系 Variety	始花期 Flowering stage/ (MM-DD)	相对株高 Plant height/ cm	存活率 Survival rate/%	茎叶比 Stem leaf ratio	炭疽病病级 Anthrax disease
TPRC 2001-1	10-29	62.0±5.3	32.1±3.1BCD	1.1±0.2	1.3±0.2ab
TPRC 2001-5	09-16	56.7±4.5	14.9±5.3D	1.1±0.2	1.6±0.4ab
TPRC 2001-7	09-16	53.3±13.5	34.5±5.4BCD	1.1±0.2	1.4±0.3ab
TPRC 2001-9	11-01	59.8±2.9	23.2±6.3CD	1.2±0.2	1.4±0.3ab
TPRC 2001-15	10-29	54.3±6.8	31.6±6.3BCD	1.2±0.2	1.5±0.4ab
TPRC 2001-55	10-29	55.7±12.5	21.4±7.2CD	1.2±0.1	1.4±0.2ab
TPRC 2001-79	10-29	57.4±1.9	39.9±7.6BCD	1.2±0.1	1.4±0.3ab
TPRC 2001-80	11-01	50.1±7.0	32.7±9.0BCD	1.2±0.1	1.4±0.2ab
TPRC 2001-81	10-15	59.5±2.6	56.6±8.1AB	1.3±0.1	1.4±0.3ab
TPRC 2001-84	10-29	57.7±2.4	72.6±3.6A	1.0±0.1	1.1±0.2a
TPRC 2001-85	10-15	52.2±11.8	35.1±7.6BCD	1.2±0.1	1.3±0.2ab
热研 20 号 Reyán No. 20	09-25	52.0±6.1	41.7±5.9BCD	1.2±0.0	1.6±0.4b
热研 21 号 Reyán No. 21	10-15	53.8±5.4	48.2±4.1ABC	1.0±0.2	1.2±0.1ab
标准误 SE	—	3.67	7.03	0.08	0.13
显著性 Significance	—	ns	* *	ns	*

* , $P<0.05$; * *, $P<0.01$; ns, $P>0.05$ 。同列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
* , $P<0.05$; * *, $P<0.01$; ns, $P>0.05$ 。Different capital and lowercase letters with the same column indicate significant difference at 0.01 and 0.05 level, respectively; similarly for the following tables.

表 3 2012—2014 年 13 份柱花草干草产量
Table 3 The hay yield of 13 *Stylosanthes* in 2012—2014

品系 Variety	干草产量 Hay yield/(kg · hm ⁻²)			
	2012	2013	2014	平均 Mean
TPRC 2001-1	13 045.2±2 043.8A	14 577.1±4 117.4ABC	6 790.1±1 858.4BC	11 470.8±1 314.4B
TPRC 2001-5	11 566.2±3 282.0A	13 511.4±3 336.7ABC	3 329.7±1 892.4C	9 469.1±841.4BC
TPRC 2001-7	10 256.5±2 043.7A	12 654.7±1 114.6BC	6 722.5±1 814.4BC	9 877.9±823.1BC
TPRC 2001-9	12 345.8±1 468.1A	11 307.9±4 548.1BC	6 382.3±2 833.2BC	10 012.0±2 043.2BC
TPRC 2001-15	10 289.9±3 37.5A	15 029.1±2 714.2ABC	8 241.4±3 103.4BC	11 186.7±1 672.3B
TPRC 2001-55	3 372.2±511.5B	10 813.4±2 548.4BC	6 303.6±3 786.7BC	6 829.7±1 868.2C
TPRC 2001-79	10 749.8±1 833.5A	15 165.4±1 715.1ABC	9 099.6±2 181.4ABC	11 671.6±1 892.8B
TPRC 2001-80	10 825.5±2 146.6A	16 004.2±1 510.2AB	8 700.3±4 356.1BC	11 843.4±1 981.7B
TPRC 2001-81	9 934.6±1 290.8A	16 058.5±1 825.7AB	12 179.3±1 239.3AB	12 724.1±583.9AB
TPRC 2001-84	11 529.7±1 948.5A	20 338.1±3 064.1A	16 036.1±3 445.3A	15 968.3±1 447.1A
TPRC 2001-85	10 569.8±1 337.8A	14 978.0±3 438.5ABC	7 888.6±3 372.2BC	11 145.5±2 141.9B
热研 20 号 Reyán No. 20	9 844.3±1 566.9A	16 318.6±1 545.6AB	10 455.2±2 268.6ABC	12 206.0±280.5B
热研 21 号 Reyán No. 21	8 959.1±1 604.2A	8 641.1±585.8C	12 617.3±2 590.6AB	10 072.5±1 453.0BC
标准误 SE	951.1	1 424.0	1 542.9	814.6
显著性 Significance	* *	*	* *	* *

TPRC2001-81 和 TPRC2001-80,其产量极显著高于热研 21 号,且较热研 21 号分别增长 88.85%、85.84%和 85.21%。2014 年,TPRC 2001-84 柱花草产量最高,达 16 036.1 kg·hm⁻²,极显著高于 TPRC 2001-80、TPRC 2001-15、TPRC 2001-85、TPRC 2001-1、TPRC 2001-7、TPRC 2001-9、TPRC 2001-55 和 TPRC 2001-5 柱花草;其次为热研 21 号和 TPRC 2001-81,其产量分别为 TPRC 2001-84 的 78.68%和 75.95%,且二者极显著高于 TPRC 2001-5。

2012—2014 年的年均干草产量,仍以 TPRC 2001-84 柱花草最高,极显著高于除 TPRC 2001-81 外的其他 11 份柱花草品系;其次为 TPRC 2001-81,极显著高于 TPRC 2001-55;另外,TPRC 2001-84、TPRC 2001-81、TPRC 2001-80、TPRC 2001-79、TPRC 2001-1、TPRC 2001-15 和 TPRC 2001-85 柱花草的干草产量高于热研 21 号,仅 TPRC 2001-84 和 TPRC 2001-81 的干草产量高于热研 20 号。

2.5 牧草种子潜在产量和千粒重

13 份柱花草品系间种子潜在产量和千粒重均差异极显著($P<0.01$)(表 4)。其中,TPRC 2001-85 柱花草种子潜在产量最高,达 56.7 kg·hm⁻²,极显著高于 TPRC 2001-1、TPRC 2001-7、TPRC 2001-79、TPRC 2001-80、TPRC 2001-81、热研 21 号和热研 20 号;其次为 TPRC 2001-84、TPRC 2001-9 和 TPRC 2001-15,其种子潜在产量分别为 TPRC 2001-85 的 94.18%、77.95%和 69.84%;且三者极显著高于 TPRC 2001-7、TPRC 2001-79、TPRC 2001-80、TPRC 2001-81 和热研 21 号。TPRC 2001-9、TPRC 2001-15 和 TPRC 2001-55 柱花草种子千粒重均大于 3.0 g,其他柱花草种子千粒重在 2.0~3.0 g;其中 TPRC 2001-55 柱花草种子千粒重最大,达 3.2 g,极显著高于 TPRC 2001-5、TPRC 2001-79、TPRC 2001-85、TPRC 2001-81、TPRC 2001-84、热研 20 号和热研 21 号。

2.6 牧草养分

13 份柱花草之间的粗蛋白、粗脂肪、粗灰分及钙、磷、钾含量差异极显著($P<0.01$),粗纤维及无氮浸出物含量差异不显著($P>0.05$)。其中热研 21 号粗蛋白含量最高,达 21.57%,极显著高于 TPRC 2001-1、TPRC 2001-5、TPRC 2001-7、TPRC 2001-15、TPRC 2001-79、TPRC 2001-81 和 TPRC 2001-84;13 份柱花草的粗脂肪含量在 1.52%~3.28%,其中热研 21 号的粗脂肪含量最高,为 3.28%,极显著高于除热研 20 号的其他 11 个柱花草品系;其次为热研 20 号,

表 4 13 份柱花草种子年均产量和千粒重

Table 4 The seed yield of average annual and 1 000 grains weight of 13 *Stylosanthes*

品系 Variety	种子产量 Seed yield/ (kg·hm ⁻²)	千粒重 Seed weight per 1 000 grains/g
TPRC 2001-1	35.8±1.5BC	2.9±0.0ABC
TPRC 2001-5	38.9±4.8ABC	2.7±0.0BCD
TPRC 2001-7	14.6±2.0EFG	2.9±0.1ABC
TPRC 2001-9	44.2±3.6AB	3.1±0.0AB
TPRC 2001-15	39.6±5.5AB	3.1±0.1AB
TPRC 2001-55	36.6±2.1ABC	3.2±0.0A
TPRC 2001-79	30.0±1.8CDE	2.7±0.4BCD
TPRC 2001-80	24.6±2.6DE	2.8±0.1ABCD
TPRC 2001-81	16.2±3.5EFG	2.6±0.2CDE
TPRC 2001-84	53.4±6.9AB	2.5±0.0DE
TPRC 2001-85	56.7±5.8A	2.6±0.1CDE
热研 20 号 Reyan No. 20	33.3±4.9BCD	2.6±0.1CDE
热研 21 号 Reyan No. 21	20.1±3.9DE	2.3±0.2E
标准误 SE	5.57	0.16
显著性 Significance	* *	* *

其粗脂肪含量为热研 21 号的 84.85%。13 份柱花草的粗灰分含量在 6.40%~8.42%,最高为热研 20 号(8.42%),极显著高于其他品系;其次为 TPRC 2001-80,为热研 20 号的 88.12%,且极显著高于 TPRC 2001-5、TPRC 2001-1、TPRC 2001-9 和 TPRC 2001-7。13 份柱花草的粗纤维含量和无氮浸出物含量分别在 25.98%~30.55%和 35.07%~42.51%,且均无显著差异。热研 20 号的钙含量最高,为 1.23%,极显著高于其他品系。热研 20 号和热研 21 号的磷含量最高,均为 0.17%,极显著高于除 TPRC 2001-15 和 TPRC 2001-80 外的其他品系($P<0.01$);钾含量最高是 TPRC 2001-85,为 2.06%,为钾含量最低 TPRC 2001-5 的 1.54 倍,且极显著高于除热研 20 号和 TPRC 2001-15 外的其他柱花草品系。

2.7 牧草生产性能综合评价

供试 13 份柱花草的生产性能综合评价结果为:TPRC 2001-84 最优,热研 21 号、TPRC 2001-85 和 TPRC 2001-1 较优,热研 20 号、TPRC 2001-81、TPRC 2001-79、TPRC 2001-9 和 TPRC 2001-15 居中,TPRC 2001-7、TPRC 2001-5、TPRC 2001-80 和 TPRC 2001-55 较差(表 6)。

表 5 13 份柱花草品系牧草养分
Table 5 The herbage nutritional contents of 13 *Stylosanthes*

品系 Variety	粗蛋白 Crude protein/%	粗纤维 Crude fibre/%	粗脂肪 Crude fat/%	粗灰分 Crude ash/%
TPRC 2001-1	16.19±0.46B	29.88±2.57	1.55±0.37E	6.64±0.04DEF
TPRC 2001-5	15.24±1.35B	28.87±3.39	1.53±0.25E	6.85±0.42CDEF
TPRC 2001-7	16.32±2.91B	28.67±3.31	1.85±0.14CDE	6.40±0.04F
TPRC 2001-9	18.06±3.86AB	30.55±2.85	1.63±0.36E	6.60±0.13EF
TPRC 2001-15	15.84±1.38B	29.05±2.18	2.35±0.32BCD	7.17±0.14BC
TPRC 2001-55	16.59±1.84AB	29.15±3.30	2.32±0.28BCD	7.09±0.07BCD
TPRC 2001-79	15.91±0.93B	29.59±2.85	1.87±0.16CDE	7.17±0.21BC
TPRC 2001-80	16.78±0.34AB	28.43±1.53	1.52±0.38E	7.42±0.09B
TPRC 2001-81	15.97±3.17B	28.62±2.07	2.51±0.05BC	7.17±0.19BC
TPRC 2001-84	15.18±0.28B	29.24±2.17	1.60±0.15E	6.94±0.12BCDE
TPRC 2001-85	17.54±2.34AB	26.83±1.17	1.69±0.31DE	7.32±0.21BC
热研 20 号 Reyan No. 20	17.10±1.43AB	25.98±0.72	2.84±0.17AB	8.42±0.26A
热研 21 号 Reyan No. 21	21.57±2.37A	28.01±1.12	3.28±0.38A	7.07±0.18BCD
标准误 SE	1.01	1.30	0.15	0.09
显著性 Significance	* *	ns	* *	* *

品系 Variety	无氮浸出物 N free extract/%	钙 Ca/%	磷 P/%	钾 K/%
TPRC 2001-1	40.74±1.93	0.64±0.03C	0.14±0.00CDE	1.69±0.05CD
TPRC 2001-5	42.51±4.91	0.91±0.06B	0.13±0.00EF	1.34±0.02E
TPRC 2001-7	41.76±6.20	0.64±0.07C	0.12±0.02F	1.49±0.19DE
TPRC 2001-9	38.17±6.09	0.68±0.01C	0.14±0.00DE	1.57±0.04D
TPRC 2001-15	40.60±3.03	0.68±0.04C	0.16±0.00AB	1.92±0.02AB
TPRC 2001-55	39.85±4.74	0.70±0.03C	0.15±0.00BCD	1.67±0.07CD
TPRC 2001-79	40.46±2.08	0.86±0.05B	0.15±0.00BC	1.64±0.11CD
TPRC 2001-80	40.85±0.94	0.91±0.01B	0.16±0.00AB	1.85±0.08BC
TPRC 2001-81	40.74±5.25	0.96±0.16B	0.14±0.01CDE	1.68±0.04CD
TPRC 2001-84	42.04±2.06	0.80±0.04BC	0.13±0.00EF	1.66±0.09CD
TPRC 2001-85	41.61±2.77	0.70±0.05C	0.15±0.00BCD	2.06±0.03A
热研 20 号 Reyan No. 20	40.66±2.13	1.23±0.10A	0.17±0.00A	2.05±0.12AB
热研 21 号 Reyan No. 21	35.07±3.53	0.67±0.01C	0.17±0.00A	1.68±0.05CD
标准误 SE	2.03	0.03	0.002	0.04
显著性 Significance	ns	* *	* *	* *

3 讨论与结论

本研究中,3 年干草最高产量的柱花草品系不一致,这可能与最后一茬刈割时的气温及不同品系最适温度不同有关,如 2012 年月最低气温为 16.9 ℃,2013 年月最低气温为 13.5 ℃,2014 年月最低气温为 14.1 ℃。从刈割年份看,2013 年 13 份柱花草品系产量均较高,可以推断种植的第 2 年是柱花草利用饲喂的最

佳时期。
以往研究表明,牧草营养价值与粗蛋白含量呈正相关关系,与粗纤维含量呈负相关关系^[25],且二者为评价牧草营养价值的最重要指标^[26]。白昌军和刘国道^[27]对栽培两年热研 5 号柱花草养分研究发现,营养初期最高,放牧刈割利用以 4~6 月效果最佳。张亚格等^[28]对热研 2 号、热研 20 号及热研 21 号柱花草进行不同生育期营养成分测定,结果发现,随着生育期的变

表 6 13 份柱花草品系生产性能隶属函数值

Table 6 The membership function analysis of production performance of 13 *Stylosanthes* accessions

品系 Variety	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	u ₇	u ₈	平均 Mean
TPRC2001-1	1.00	0.51	0.47	0.70	0.30	0.16	0.15	0.50	0.47
TPRC2001-5	0.55	0.29	0.55	0.16	0.00	0.00	0.37	0.58	0.31
TPRC2001-7	0.27	0.33	0.49	0.49	0.34	0.18	0.41	0.00	0.31
TPRC2001-9	0.81	0.35	0.14	0.45	0.14	0.45	0.00	0.70	0.38
TPRC2001-15	0.35	0.48	0.30	0.36	0.29	0.10	0.33	0.59	0.35
TPRC2001-55	0.47	0.00	0.15	0.53	0.11	0.22	0.31	0.52	0.29
TPRC2001-79	0.61	0.53	0.36	0.44	0.43	0.11	0.21	0.37	0.38
TPRC2001-80	0.00	0.55	0.18	0.44	0.31	0.25	0.46	0.24	0.30
TPRC2001-81	0.79	0.65	0.00	0.40	0.72	0.12	0.42	0.04	0.39
TPRC2001-84	0.64	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.29	0.92	0.73
TPRC2001-85	0.17	0.47	0.24	0.55	0.35	0.37	0.81	1.00	0.50
热研 20 号 Reyan No. 20	0.16	0.59	0.29	0.00	0.46	0.30	1.00	0.44	0.40
热研 21 号 Reyan No. 21	0.31	0.35	0.83	0.75	0.58	1.00	0.56	0.13	0.56

u₁ 表示相对株高的隶属函数值, u₂ 表示干草产量的隶属函数值, u₃ 表示茎叶比的隶属函数值, u₄ 表示炭疽病病级的隶属函数值, u₅ 表示存活率的隶属函数值, u₆ 表示粗蛋白含量的隶属函数值, u₇ 表示粗纤维含量的隶属函数值, u₈ 表示种子产量的隶属函数值。

u₁-u₈ mean the membership value of the plant height, dry herbage yield, stem leaf ratio, anthrax disease, survival rate, crude protein content, crude fiber content and seed yield, respectively.

化,营养成分中粗蛋白、中性及酸性洗涤纤维呈规律性变化,营养期中性及酸性洗涤纤维含量低,体外干物质消化率、相对饲喂价值、微生物蛋白量高,推荐营养期为利用柱花草饲喂动物的最佳时期。本研究中,营养生长初期头茬柱花草营养价值较高,故柱花草可在营养期刈割作青饲料。但由于本研究未对其余各茬柱花草养分深入测试,故为明晰各生育期柱花草养分变化规律,还需对其开花期及种子成熟期养分进行深入系统的分析。

在牧草选育研究中,筛选和综合评定种质的生产性能一直是最重要内容之一。研究者多将关注点放在对作物产量的分析上^[29],对其他的植物学性状及生

育期等性状也只是进行单一评价^[30],即使是单因子突出表现的品系,也不意味着是可以适合推广的品种,只有综合性状优良的品系才是适合栽培推广的品种。而应用隶属函数综合评价法,既能消除由于单因子不足给生产性能带来的不便,又可综合考虑各个性状的互补。本研究通过对 13 份柱花草的相对株高、年干草产量、炭疽病病级、存活率、茎叶比、粗蛋白、粗纤维和种子产量数据进行隶属函数分析,发现 TPRC2001-84 的综合生产性能表现最优,热研 21 号、TPRC 2001-85 和 TPRC2001-1 柱花草品系次之,可进一步试验将其进行推广种植。

参考文献 References:

[1] 白昌军,刘国道,王东劲,蔡碧云.高产抗病圭亚那柱花草综合性状评价.热带作物学报,2004,25(2):87-94.
Bai C J, Liu G D, Wang D J, Cai B Y. Evaluation of synthetic characteristics of *Stylosanthes guianensis* with high yield and anthracnose resistance. Chinese Journal of Tropical Crops, 2004, 25(2): 87-94. (in Chinese)

[2] 蒋亚君,申晴,丁西朋,严琳玲,刘国道,白昌军.柱花草种质资源表型性状的多样性分析.草业科学,2017,34(5):1032-1041.
Jiang Y J, Shen Q, Ding X P, Yan L L, Liu G D, Bai C J. Phenotypic diversity analysis of *Stylosanthes* germplasms. Pratacultural Science, 2017, 34(5): 1032-1041. (in Chinese)

[3] 白昌军,刘国道.柱花草良种繁育技术与管理.南京:江苏凤凰科学技术出版社,2014:1-2.
Bai C J, Liu G D. Techniques and Management for Stylo Seed Production. Nanjing: Jiangsu Fenghuang Science & Technology Press, 2014: 1-2. (in Chinese)

- [4] 白昌军,刘国道,陈志权,严琳玲,姚庆群.热研 20 号太空柱花草选育研究报告.热带作物学报,2011,32(1):33-41.
Bai C J, Liu G D, Chen Z Q, Yan L L, Yao Q Q. The selecting and breeding of *Stylosanthes guianensis* cv. Reyan No.20 induced by space flight. Chinese Journal of Tropical Crops, 2011, 32(1): 33-41. (in Chinese)
- [5] 杨继春,杜贵锋,彭建宗.6 种热带亚热带豆科牧草抗寒性及营养品质比较.草业科学,2017,34(4):794-801.
Yang J C, Du G F, Peng J Z. Comparison of cold resistance and nutritional quality of six tropical and subtropical leguminous forages during overwintering period. Pratacultural Science, 2017, 34(4): 794-801. (in Chinese)
- [6] 田玮,王成章,杨雨鑫,廉红霞,李新慧.国内外 10 个紫花苜蓿品种生产性能比较研究.华中农业大学学报,2003,22(4):370-373.
Tian W, Wang C Z, Yang Y X, Lian H X, Li X H. Comparative researches on the production performance of 10 alfalfa varieties selected from home and abroad. Journal of Huazhong Agricultural University, 2003, 22(4): 370-373. (in Chinese)
- [7] 伍康荣,刘凤民,张伟丽,陈梓健,许戴奇,黎志辉,罗喜梅,林国森.茉莉酸甲酯和磷酸氢二钾诱导柱花草对炭疽病的抗性.草业科学,2015,32(7):1124-1129.
Wu K R, Liu F M, Zhang W L, Chen Z J, Xu D Q, Li Z H, Luo X M, Lin G S. The resistance of *Stylosanthes guianensis* to colletotrichum gloeosporioides induced by methyl jasmonate and K_2HPO_4 . Pratacultural Science, 2015, 32(7): 1124-1129. (in Chinese)
- [8] 杨茂霞.柱花草炭疽病的病原鉴定及侵染的细胞生物学研究.海口:海南大学硕士学位论文,2015.
Yang M X. Identification of stylo colletotrichum fungus and the exobiology of infecting process to Stylo. Master Thesis. Haikou: Hainan University, 2015. (in Chinese)
- [9] 易克贤,郑金龙,习金根,高建明,张世清,陈河龙,贺春萍,吴伟怀.中国柱花草炭疽病病原菌遗传多态性的 AFLP 分析.热带作物学报,2014,35(5):909-917.
Yi K X, Zheng J L, Xi J G, Gao J M, Zhang S J, Chen H L, He C P, Wu W H. Genetic diversity analysis of Chinese Stylo an-thracnose pathogens using AFLP. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(5): 909-917. (in Chinese)
- [10] 刘建乐,白昌军,严琳玲,张瑜,张龙.16 份柱花草材料的耐铝性评价.热带作物学报,2014,35(3):476-482.
Liu J L, Bai C J, Yan L L, Zhang Y, Zhang L. Evaluation on the Aluminum tolerance of sixteen *Stylosanthes* varieties. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(3): 476-482. (in Chinese)
- [11] 文稀.圭亚那拉花草品质、耐铝特性评价及耐铝差异生理机理研究.海口:海南大学硕士学位论文,2013.
Wen X. Research on the appraisal of *Stylosanthes guianensis* quality, Al-tolerance character and the physiological mechanisms of Al-tolerance diversity. Master Thesis. Haikou: Hainan University, 2013. (in Chinese)
- [12] 黄冬芬,王朋,文稀,白昌军,刘国道,郇恒福.4 份柱花草耐铝胁迫的差异.热带作物学报,2012,33(1):15-19.
Huang D F, Wang P, Wen X, Bai C J, Liu G D, Huan H F. The difference in the stress to the Aluminum of four *Stylosanthes* varieties. Chinese Journal of Tropical Crops, 2012, 33(1): 15-19. (in Chinese)
- [13] 龙会英,张德.22 个柱花草材料幼苗期抗旱鉴定初步结果.热带农业科学,2015,35(4):26-30.
Long H Y, Zhang D. Preliminary conclusion on the drought resistance of 22 *Stylosanthes guianensis* materials during their infancy. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2015, 35(4): 26-30. (in Chinese)
- [14] 韦锦益,姚娜,赖志强,赖大伟,丘金花,邓素媛.干旱胁迫下柱花草种子的萌发特性.南方农业学报,2013,44(12):1977-1980.
Wei J Y, Yao N, Lai Z Q, Lai D W, Qiu J H, Deng S Y. Seed germination characteristics of *Stylosanthes guianensis* under different drought stress. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(12): 1977-1980. (in Chinese)
- [15] 姚娜,赖志强,韦锦益,易显凤,赖大伟,邓素媛,丘金花,梁永良.不同强度干旱胁迫下 6 种柱花草种子的萌发特性及抗旱性评价.广东农业科学,2012,39(24):9-11,20.
Yao N, Lai Z Q, Wei J Y, Yi X F, Lai D W, Deng S Y, Qiu J H, Liang Y L. Effect on seed germination and drought resistance of six types of *Stylosanthes guianensis* under different drought stress. Guangdong Agriculture Science, 2012, 39(24): 9-11, 20. (in Chinese)
- [16] 薛瑞,周广奇,胡新文,郭建春,唐燕琼.柱花草种质抗旱性综合评价.中国农学通报,2009,25(11):224-233.
Xue R, Zhou G Q, Hu X W, Guo J C, Tang Y Q. Comprehensive evaluation of drought resistance in *Stylosanthes* germplasms. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(11): 224-233. (in Chinese)
- [17] 董琛,丁西朋,王文强,白昌军,刘国道.24 份柱花草资源抗冷性评价.分子植物育种,2016,14(5):1309-1320.
Dong C, Ding X P, Wang W Q, Bai C J, Liu G D. Evaluation of cold tolerance among 24 *Stylosanthes* varieties. Molecular Plant Breeding, 2016, 14(5): 1309-1320. (in Chinese)

- [18] 莫亿伟,钱善勤,陈泰林.水杨酸和硝普钠处理增强柱花草抗寒性.草业科学,2010,27(11):77-81.
Mo Y W, Qian S Q, Chen T L. Improved chilling resistance of *Stylosanthes guianensis* by combining salicylic acid with sodium nitroprusside treatments. Partacultural Science, 2010, 27(11): 77-81. (in Chinese)
- [19] 王小华,庄南生,王英,高和琼,韩平原. DES 诱变与离体培养结合筛选柱花草抗寒突变体的研究. 草业学报, 2010, 19(1): 263-267.
Wang X H, Zhuang N S, Wang Y, Gao H Q, Han P Y. Research on screening of *Stylosanthes mutants* with enhanced chilling resistance by a combination of DES mutagenesis and in vitro selection. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(1): 263-267. (in Chinese)
- [20] 王文强,付玲玲.圭亚那柱花草抗寒性初步鉴定.热带作物学报,2009,30(11):1562-1564.
Wang W Q, Fu L L. Identification of cold tolerance of *Stylosanthes guianensis* Swartz. Chinese Journal of Tropical Crops, 2009, 30(11): 1562-1564. (in Chinese)
- [21] 刘国道,白昌军,何华玄,王东劲,周家锁. 热研 5 号柱花草选育研究.草地学报,2001,9(1):1-7.
Liu G D, Bai C J, He H X, Wang D J, Zhou J S. The selection and utilization of *Stylosanthes guianensis* cv. Reyan No.5. Acta Agrestia Sinica, 2001, 9(1): 1-7. (in Chinese)
- [22] 尹晓畅.柱花草品种(系)评价及部分性状与分子标记的关联分析.海口:海南大学硕士学位论文,2014.
Yin X C. Assessment and association analysis of part of traits with molecular markers in *Stylosanthes* varieties. Master Thesis. Haikou: Hainan University, 2014. (in Chinese)
- [23] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术.北京:中国农业大学出版社,2004.
Zhang L Y. Feed Analysis and Feed Quality Detection Technology. Beijing: China Agricultural University Press, 2004. (in Chinese)
- [24] 王志泰,马瑞,马彦军,李毅.利用隶属函数法分析胡枝子抗旱性.干旱区资源与环境,2013,27(9):119-123.
Wang Z T, Ma R, Ma Y J, Li Y. The drought resistance of 5 species of *Lespedeza*. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(9): 119-123. (in Chinese)
- [25] 高杨,张新全,谢文刚.鸭茅的营养价值评定.草地学报,2009,17(2):222-226.
Gao Y, Zhang X Q, Xie W G. Evaluation of nutritive value of new lines of *Dactylis glomerata* L. Acta Agrestia Sinica, 2009, 17(2): 222-226. (in Chinese)
- [26] 杨继春,杜贵锋,彭建宗.6 种热带亚热带豆科牧草抗寒性及营养品质比较.草业科学,2017,34(4):794-801.
Yang J C, Du G F, Peng J Z. Comparison of cold resistance and nutritional quality of six tropical and subtropical Leguminous forages during overwintering period. Partacultural Science, 2017, 34(4): 794-801. (in Chinese)
- [27] 白昌军,刘国道.热研 5 号柱花草营养价值动态评价.热带农业科学,2002,22(2):11-16.
Bai C J, Liu G D. Dynamic evaluation of nutrition value of *Stylosanthes guianensis* cv. Reyan No.5. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2002, 22(2): 11-16. (in Chinese)
- [28] 张亚格,李茂,周汉林,胡琳,李韦,徐铁山.3 个品种柱花草的营养成分和产气特征.草业科学,2017,34(1):165-172.
Zhang Y G, Li M, Zhou H L, Hu L, Li W, Xu T S. Influence of variety and growth period on the nutrient content and in vitro gas production characteristics of *Stylosanthes*. Partacultural Science, 2017, 34(1): 165-172. (in Chinese)
- [29] 唐军,何华玄,白昌军,虞道耿.柱花草属 7 个品种适应性比较试验报告.热带作物学报,2010,31(11):1902-1906.
Tang J, He H X, Bai C J, Yu D G. A report on the adaptability and comparison evaluation of seven *Stylosanthes* varieties. Chinese Journal of Tropical Crops, 2010, 31(11): 1902-1906. (in Chinese)
- [30] 龙会英,何华玄,张德,金杰,史亮涛,张明忠,白昌军.干热河谷退化山地柱花草品种(系)比较试验.草业学报,2011,20(6):230-236.
Long H Y, He H X, Zhang D, Jin J, Shi L T, Zhang M Z, Bai C J. Comparison of *Stylosanthes guianensis* in degraded mountain Yuanmou of the dry-hot valley. Acta Prataculturae Sinica, 2011, 20(6): 230-236. (in Chinese)

(责任编辑 张瑾)