

留苗密度与行距对饲用甜高粱叶茎比·干鲜比和草产量的影响

周汉章¹, 刘环², 贾海燕¹, 魏志敏¹, 袁淑红², 李顺国^{1*}, 侯升林^{1*}

(1. 国家谷子改良中心, 河北省农林科学院谷子研究所, 河北省杂粮研究重点实验室, 河北石家庄 050035; 2. 深泽县农业局, 河北深泽 052560)

摘要 [目的]为了优化饲用甜高粱留苗密度与播种行距的最适配置, 探索其高产栽培技术。[方法]采用二因素裂区试验设计与软件 IBM. SPSS. Statistics. v22 的 LSD 法, 对饲用甜高粱的密度与行距进行叶茎比、干鲜比与草产量的对比试验。[结果]密度与行距对饲用甜高粱的叶茎比、干鲜比没有明显影响, 但对其草产量具有重要影响。明确了饲用甜高粱高产的密度与行距的最佳优化组合 A_2B_4 : 留苗密度 22.50 万株/hm² 与播种行距 40 cm 的处理组合。[结论]该研究为饲用甜高粱高产栽培提供理论依据和技术支撑。

关键词 饲用甜高粱; 留苗密度; 行距; 叶茎比; 干鲜比; 草产量

中图分类号 S548; S318 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)01-0042-05

Effects of Seedling Density and Line Spacing on Leaf Stem Ratio, DW/FW Ratio and Grass Yield of Forage Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

ZHOU Han-zhang¹, LIU Huan², JIA Hai-yan¹ et al (1. National Foxtail Millet Improvement Center, Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Minor Cereal Crops Laboratory of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050035; 2. Shenze County Agriculture Bureau, Shenze, Hebei 052560)

Abstract [Objective] The aim was to optimize the configuration of the seedling density and line spacing of forage sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), and explore its high yield cultivation techniques. [Method] Such two influencing factors as line spacing, seedling density on leaf stem ratio, DW/FW ratio and grass yield of forage sweet sorghum were compared using split-plot experiment design experiment method and LSD method of IBM. SPSS. Statistics. v22 statistics software. [Result] Effect of seedling density and line spacing on leaf stem ratio, DW/FW ratio of forage sweet sorghum wasn't obvious, but the two factors had important influence on grass yield. Moreover, the optimal combination for forage sweet sorghum high-yielding density and line spacing was A_2B_4 . The concrete disposition for keeping seedling density 22.5×10^4 plants/hm² and line spacing 40 cm processing combinations. [Conclusion] The research can provide a theoretical basis and technical support for high yield cultivation of forage sweet sorghum.

Key words Forage sweet sorghum; Seedling density; Line spacing; Leaf stem ratio; DW/FW ratio; Grass yield

甜高粱 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) 具有粮饲、糖料与能源兼用的多种功能。甜高粱/饲用甜高粱作为非常规饲料作物, 植株高大, 茎叶繁茂, 含糖分高, 适口性好, 可青饲, 也可调制成其他草产品^[1-2], 并以青贮饲料为主。利用秋闲田栽培饲用甜高粱, 既可利用秋季光、气、热、水、肥等资源, 又可提高土地复种指数, 对促进饲用甜高粱产业与草食畜牧业快速发展具有重要的意义。

多年来, 饲用甜高粱栽培技术研究的有关报道多侧重密度^[3-5]、施肥^[3-4]、生育期^[1,6-7]与刈割次数^[8]和产量的关系, 饲用甜高粱利用技术研究的有关报道多侧重青贮技术^[9-12]与奶牛饲喂技术^[2,13-16]。目前, 对秋闲田饲用甜高粱叶茎比、干鲜比、草产量有关的留苗密度与播种行距配置的栽培技术研究尚未见报道。以能饲 1 号 (*Sorghum bicolor* cv. Nengsi No. 1) 为供试材料, 研究留苗密度与播种行距互作的最适配置, 旨在探索饲用甜高粱栽培技术的最优方案, 为大田生产提供理论数据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验于 2015 年 8—10 月在石家庄市栾城区东客村进行。试验田地势平整, 墒情适宜, 肥力一般, 土质为壤土, 其有机质 1.73%, 碱解氮 79.5 mg/kg, 速效磷 22.3 mg/kg, 速效钾 113.9 mg/kg, 土壤 pH 7.2。

基金项目 农业部公益性行业科研专项 (20120304201)。

作者简介 周汉章 (1960—), 男, 河北宁晋人, 研究员, 本科, 从事植物保护与一年生饲用作物栽培技术研究。* 通讯作者: 李顺国, 研究员, 硕士, 从事谷子栽培与经济研究; 侯升林, 研究员, 博士, 从事高粱与牧草研究。

收稿日期 2017-09-30

1.2 试验材料 供试品种为能饲 1 号 (河北省农林科学院谷子研究所/国家高粱改良中心河北分中心提供)。

1.3 试验设计 采用二因素裂区试验设计^[17-18], 主区处理为留苗密度, 设 7.50 万株/hm² (A_1)、22.50 万株/hm² (A_2)、37.50 万株/hm² (A_3) 与 52.53 万株/hm² (A_4) 4 个水平, 副区处理为播种行距, 设 10 cm (B_1)、20 cm (B_2)、30 cm (B_3)、40 cm (B_4)、50 cm (B_5) 与 60 (B_6) cm 6 个水平, 主区与副区均随机排列, 重复 3 次。小区面积 20 m² (4 m × 5 m), 区组间留 1.0 m 宽的观察道, 四周留 1 m 宽的保护区。

前茬作物为油菜, 8 月 3—4 日耕地 (不施基肥), 8 月 7 日播种。采用人工条播方式播种, 播种深度 3~4 cm, 覆土均匀, 播后踩压。2~3 叶期间苗, 4~6 叶期按设定密度定苗。整个生长发育期内不追肥。在 10 月 28 日刈割测产。

1.4 叶茎比、干鲜比与草产量测定

1.4.1 草产量。刈割时先去掉小区两侧边行与小区行头长 0.5 m 的饲用甜高粱, 移出小区, 然后再刈割全部剩余部分, 用感量小于 0.01 kg 的称称量鲜重, 并通过干鲜比折算成单位面积的干草产量。记载相关调查数据时保留 2 位小数。

1.4.2 叶茎比。刈割、称量鲜重后从每小区随机取 10 株样本, 将其茎与叶 (含穗) 按两部分分开, 分别编号标记 (注明品种、处理编号、刈割与取样时间), 于通风遮雨处风干称重, 叶茎比 = 风干后叶的重量/风干后茎的重量。

1.4.3 干鲜比。刈割、称量鲜重后从每小区随机取 10 株样本, 分别编号标记 (注明品种、处理编号、刈割与取样时间), 称量鲜重后于通风遮雨处风干至含水量 13%~15% 时称量

干重,干鲜比=风干后植株总重量/风干前植株总鲜重。

1.5 数据处理与分析 试验调查数据采用 Excel 2010 软件整理,采用 IBM. SPSS. Statistics. v22 软件进行统计分析、制图,将区组(重复=R)作为 1 个因素纳入分析,对主区因素(A_i)进行检验时,用 E_a = MS(R(A))作为误差项,对副区因素(B_j)检验时,用 E_b = MS(e)作为误差项,通过 LSD 法进行方差分析与多重比较^[17,19-20],所有数据均以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 不同处理对饲用甜高粱叶茎比、干鲜比与草产量的影响 由表 1、表 2 可见,各处理对叶茎比、干鲜比与草产量的作用不同,其中,草产量随留苗密度(主处理)或播种行距(副处理)的逐级增大,均呈现出抛物线形状的变化趋势。经方差分析(表 3),该试验区组(重复)的叶茎比、干鲜比的 F 值(Sig.)分别为 3.463(Sig.=0.263,即 P>0.05)、1.457(Sig.=0.297>0.05),差异不显著,区组的鲜草产量与干草产量的 F 值(Sig.)分别为 0.840(Sig.=0.477>0.05)、3.657(Sig.=0.092>0.05),差异不显著,表明该试验在控制土壤肥力方面管控的较好,地力比较均匀,降低了地力不均导致的误差。

留苗密度或播种行距组间的叶茎比、干鲜比的 F(Sig.)值分别为 1.113(Sig.=0.415>0.05)、0.288(Sig.=0.833>0.05)或 0.731(Sig.=0.616>0.05)、0.606(Sig.=0.697>0.05),差异均不显著,表明不论留苗密度还是播种行距均对饲用甜高粱的叶茎比、干鲜比没有明显的影响。留苗密度组间的鲜草产量与干草产量的 F(Sig.)值分别为 120.608(Sig.=0.000<0.01)与 104.67(Sig.=0.000<0.01),差异均达到极显著水平,表明留苗密度对饲用甜高粱草产量具有非常重要的影响;播种行距组间的鲜草产量与干草产量的 F(Sig.)值分别为 3.563(Sig.=0.041<0.05)与 8.234(Sig.=0.003<0.05),其鲜草产量差异显著,其干草产量差异极显著,表明播种行距对饲用甜高粱的干草产量具有明显的影响。留苗密度与播种行距处理组合间的叶茎比、干鲜比与草产量的 F(Sig.)值分别为 0.888(Sig.=0.583>0.05)、0.725(Sig.=0.741>0.05)与 0.325[Sig.=0.988>0.05(FW)],0.489[Sig.=0.928>0.05(DW)],其差异均未达到显著水平,表明密度与行距之间没有交互作用,即留苗密度的作用不受播种行距的影响,播种行距的作用也不受留苗密度的影响。

表 1 不同留苗密度与行距下饲用甜高粱的叶茎比与干鲜比
Table 1 Leaf stem ratio and DW/FW ratio of forage sweet sorghum with different density and line spacing

处理组合 Combination		叶茎比 Leaf stem ratio				干鲜比 DW/FW ratio			
密度 Density	行距 Line spacing//cm	I	II	III	平均 Mean	I	II	III	平均 Mean
A ₁	B ₁	0.419	0.387	0.428	0.411	0.221	0.215	0.201	0.212
	B ₂	0.560	0.441	0.469	0.490	0.198	0.244	0.233	0.225
	B ₃	0.441	0.469	0.371	0.427	0.244	0.235	0.237	0.239
	B ₄	0.438	0.383	0.601	0.474	0.228	0.235	0.211	0.225
	B ₅	0.485	0.364	0.448	0.432	0.245	0.225	0.221	0.230
	B ₆	0.709	0.499	0.424	0.544	0.205	0.225	0.235	0.222
	平均 Mean	0.509	0.424	0.457	0.463	0.224	0.230	0.223	0.225
A ₂	B ₁	0.444	0.483	0.447	0.458	0.195	0.230	0.260	0.228
	B ₂	0.432	0.383	0.414	0.410	0.215	0.235	0.205	0.218
	B ₃	0.501	0.576	0.375	0.484	0.225	0.228	0.220	0.224
	B ₄	0.387	0.452	0.547	0.462	0.250	0.225	0.240	0.238
	B ₅	0.438	0.353	0.424	0.405	0.230	0.230	0.235	0.232
	B ₆	0.411	0.452	0.548	0.470	0.260	0.225	0.218	0.234
	平均 Mean	0.436	0.450	0.459	0.448	0.229	0.229	0.230	0.229
A ₃	B ₁	0.467	0.407	0.452	0.442	0.235	0.210	0.225	0.223
	B ₂	0.453	0.446	0.682	0.527	0.225	0.210	0.210	0.215
	B ₃	0.424	0.304	0.341	0.356	0.235	0.235	0.215	0.228
	B ₄	0.498	0.468	0.535	0.500	0.210	0.250	0.215	0.225
	B ₅	0.450	0.402	0.480	0.444	0.225	0.245	0.200	0.223
	B ₆	0.405	0.467	0.371	0.414	0.225	0.235	0.185	0.215
	平均 Mean	0.450	0.416	0.477	0.447	0.226	0.231	0.208	0.222
A ₄	B ₁	0.447	0.444	0.424	0.438	0.240	0.225	0.169	0.211
	B ₂	0.495	0.294	0.364	0.384	0.225	0.230	0.225	0.227
	B ₃	0.414	0.443	0.343	0.400	0.240	0.230	0.215	0.228
	B ₄	0.616	0.392	0.348	0.452	0.270	0.230	0.215	0.238
	B ₅	0.318	0.380	0.654	0.451	0.260	0.235	0.204	0.233
	B ₆	0.444	0.371	0.470	0.428	0.237	0.240	0.220	0.232
	平均 Mean	0.456	0.387	0.434	0.426	0.245	0.232	0.208	0.228

表2 不同留苗密度与行距对饲用甜高粱的产草量的影响

Table 2 Effect of different density and line spacing on grass yield of forage sweet sorghum

处理组合 Combination		鲜草产量 Fresh grass yield//kg/hm ²				干草产量 Hay yield//kg/hm ²			
密度 Density	行距 Line spacing//cm	I	II	III	平均 Mean	I	II	III	平均 Mean
A ₁	B ₁	41 295.00	43 987.50	44 632.50	43 305.00	9 134.11	9 442.50	8 977.50	9 184.70
	B ₂	44 767.50	43 237.50	44 700.00	44 235.00	8 842.50	10 545.00	10 425.00	9 937.50
	B ₃	44 992.50	45 487.50	46 470.00	45 650.00	10 987.50	10 687.50	11 025.00	10 900.00
	B ₄	50 009.50	49 462.50	47 760.00	49 077.30	11 399.89	11 625.00	10 072.50	11 032.50
	B ₅	44 370.00	45 127.50	45 615.00	45 037.50	10 867.50	10 155.00	10 080.00	10 367.50
	B ₆	44 632.50	42 330.00	44 070.00	43 677.50	9 150.00	9 525.00	10 357.50	9 677.50
	平均 Mean	45 011.17	44 938.75	45 541.25	45 163.72	10 063.58	10 330.00	10 156.25	10 183.28
A ₂	B ₁	82 147.00	77 759.50	30 500.00	63 468.83	16 019.90	17 887.38	7 939.90	13 949.06
	B ₂	82 934.50	77 849.50	81 629.50	80 804.50	17 819.89	18 292.38	16 739.90	17 617.39
	B ₃	76 972.00	82 979.50	84 397.00	81 449.50	17 324.89	18 899.89	18 562.39	18 262.39
	B ₄	78 974.50	83 159.50	86 129.50	82 754.50	19 754.87	18 719.89	20 677.38	19 717.38
	B ₅	76 072.00	80 639.50	85 229.50	80 647.00	17 504.88	18 539.89	20 024.88	18 689.88
	B ₆	75 149.50	80 324.50	82 979.50	79 484.50	19 529.87	18 067.39	18 112.39	18 569.88
	平均 Mean	78 708.25	80 452.00	75 144.17	78 101.47	17 992.39	18 401.14	17 009.47	17 801.00
A ₃	B ₁	77 662.00	56 849.50	68 549.50	67 687.00	18 262.38	11 924.90	15 412.39	15 199.89
	B ₂	79 162.00	60 187.00	65 174.50	68 174.50	17 812.39	12 637.40	13 687.39	14 712.39
	B ₃	74 999.50	63 674.50	67 087.00	68 587.00	17 624.88	14 962.38	14 437.39	15 674.89
	B ₄	69 749.50	65 812.00	72 562.00	69 374.50	14 662.39	16 462.37	15 599.89	15 574.89
	B ₅	62 287.00	63 487.00	69 299.50	65 024.50	14 024.89	15 562.38	13 874.90	14 487.39
	B ₆	60 674.50	64 162.00	68 924.50	64 587.00	13 649.89	15 074.88	12 749.91	13 824.89
	平均 Mean	70 755.75	62 362.00	68 599.50	67 239.08	16 006.14	14 437.38	14 293.65	14 912.39
A ₄	B ₁	26 880.00	33 337.50	55 439.50	38 552.33	6 457.50	7 507.50	9 344.92	7 769.97
	B ₂	33 127.50	32 130.00	55 124.50	40 127.33	7 455.00	7 402.50	12 389.89	9 082.46
	B ₃	53 812.00	43102.50	32 497.50	43 137.33	12 914.88	9 922.50	6 982.50	9 939.96
	B ₄	54 127.00	45 360.00	37 905.00	45 797.33	14 594.87	10 447.50	8 137.50	11 059.96
	B ₅	45 307.50	51 239.50	33 180.00	43 242.33	11 760.00	12 022.38	6 772.50	10 184.96
	B ₆	48 930.00	42 787.50	29 137.50	40 285.00	11 602.50	10 290.00	6 405.00	9 432.50
	平均 Mean	43 697.33	41 326.17	40 547.33	41 856.94	10 797.46	9 598.73	8 338.72	9 578.30

表3 不同留苗密度与行距对饲用甜高粱叶茎比、干鲜比与草产量的方差分析

Table 3 Variance analysis of different density and spacing on leaf stem ratio,DW/FW ratio and grass yield of forage sweet sorghum

项目 Item	变异来源 Source	Ⅲ 类平方和 Type Ⅲ sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	Sig.
叶茎比 Leaf stem ratio	密度	0.013	3	0.004	1.113	0.415
	误差	0.023	6	0.004 b		
	行距	0.026	5	0.005	0.731	0.616
	误差	0.071	10	0.007 c		
	重复	0.026	2	0.013	3.463	0.263
	误差	0.006	2	0.004 d		
	密度×行距	0.095	15	0.006	0.888	0.583
	误差	0.213	30	0.007 e		
	密度	0.000	3	0.000	0.288	0.833
	误差	0.003	6	0.001 b		
干鲜比 DW/FW Ratio	行距	0.001	5	0.000	0.606	0.697
	误差	0.003	10	0.000 c		
	重复	0.002	2	0.001	1.457	0.297
	误差	0.004	2	0.001 d		
	密度×行距	0.002	15	0.000	0.725	0.741
	误差	0.006	30	0.000 e		
鲜草产量 Fresh grass yield	密度	16 465 778 924.861	3	5 488 592 974.954	120.608	0.000
	误差	273 045 849.743	6	45 507 641.624 b		
	行距	489 545 774.069	5	97 909 154.814	3.563	0.041
	误差	274 822 466.826	10	27 482 246.683 c		
	重复	529 334 382.181	15	35 288 958.812	0.325	0.988
	误差	3 259 981 142.590	30	108 666 038.086 e		
	密度×行距	833 262 342.310	3	277 754 114.103	104.670	0.000
干草产量 Hay yield	误差	15 921 733.036	6	2 653 622.173 b		
	密度	55 336 163.264	5	11 067 232.653	8.234	0.003
	误差	13 441 063.639	10	1 344 106.364 c		
	行距	39 036 265.481	15	2 602 417.699	0.489	0.928
	误差	159 701 215.984	30	5 323 373.866 e		

注:b. MS[重复(密度)],c. MS(行距),d. MS[重复(密度)] + MS[重复(行距)] - MS(Error),e. MS(Error)
Notes:b. MS[R(Density)],c. MS(Line spacing),d. MS[R(D)] + MS[R(S)] - MS(Error),e. MS(Error)

2.2 留苗密度与播种行距对饲用甜高粱叶茎比、干鲜比的影响 由表 4 可以看出,饲用甜高粱的叶茎比随着留苗密度的增加由 0.463 降到 0.426,其变化略呈直线下降的趋势,差异不显著,没有生物学意义;饲用甜高粱的干鲜比随着留苗密度的增加先增后降,其变化略呈上弧线渐变趋势,差异不显著,作用不明显。饲用甜高粱的叶茎比随播种行距的变化,变化幅度为 0.417~0.472,饲用甜高粱的干鲜比随播种行距的变化,变化幅度为 0.219~0.231,差异均不显著。表明留苗密度与播种行距对饲用甜高粱叶茎比与干鲜比的作用均不明显。

表 4 不同留苗密度与行距对饲用高粱叶茎比、干鲜比的影响
Table 4 Effects of different density and spacing on leaf stem ratio and DW/FW ratio of forage sweet sorghum

处理 Treatment		叶茎比 Leaf stem ratio	干鲜比 DW/FW ratio
密度 Density	A ₁	0.463 ± 0.087 aA	0.225 ± 0.015 aA
	A ₂	0.448 ± 0.062 aA	0.228 ± 0.015 aA
	A ₃	0.447 ± 0.081 aA	0.226 ± 0.014 aA
	A ₄	0.426 ± 0.093 aA	0.221 ± 0.02 aA
行距 Line spacing	B ₁	0.437 ± 0.026 aA	0.224 ± 0.017 aA
	B ₂	0.453 ± 0.098 aA	0.224 ± 0.021 aA
	B ₃	0.417 ± 0.076 aA	0.226 ± 0.013 aA
	B ₄	0.472 ± 0.088 aA	0.219 ± 0.018 aA
	B ₅	0.433 ± 0.087 aA	0.231 ± 0.01 aA
	B ₆	0.464 ± 0.092 aA	0.227 ± 0.013 aA

注:表中字母代表纵向比较,小写和大写字母分别代表 0.05 和 0.01 水平的差异显著性,字母相同者差异不显著,反之显著
Notes: The letters in table represent the longitudinal comparison, the lowercase and capital letters represent significant differences at 0.05 and 0.01 level, respectively; the same letter represent the difference is not significant, or the different letters stand for the difference is significant

2.3 留苗密度对饲用甜高粱草产量的影响 由表 5 可以看出,留苗密度为 22.50 万株/hm² 处理的草产量最高,鲜草产量最高为 78 101.47 kg/hm²,与其他留苗密度处理的鲜草产

量进行比较,增幅为 16.15%~86.59%,差异极显著;而干草产量最高为 17 801.00 kg/hm²,与其他留苗密度处理的干草产量进行比较,增幅为 19.37%~85.85%,差异极显著。留苗密度为 37.50 万株/hm² 处理的草产量位列第二,鲜草产量为 67 239.08 kg/hm²,与其他留苗密度处理的鲜草产量间的差异达到极显著水平,而干草产量为 14 912.39 kg/hm²,与其他留苗密度处理的干草产量间的差异达到极显著水平。留苗密度为 52.53 万株/hm² 处理的草产量最低,鲜草产量与干草产量分别降为 41 856.94、9578.30 kg/hm²,明显低于留苗密度为 22.50 万株/hm²、37.50 万株/hm² 处理的草产量,但与留苗密度为 7.50 万株/hm² 处理的草产量差异不显著。结果表明,不同留苗密度对饲用甜高粱的草产量具有重大影响,留苗 22.50 万株/hm² 的密度为最适留苗密度。

2.4 播种行距对饲用甜高粱草产量的影响 由表 5 可以看出,播种行距为 40 cm 处理的草产量最高,鲜草产量最高为 61 750.92 kg/hm²,与行距为 10 cm 的鲜草产量(53 253.29 kg/hm²)相比增产 15.96%,差异显著,与播种行距 20、30、50 与 60 cm 处理的鲜草产量相比增产 3.43%~8.32%,差异不显著;干草产量最高为 14 346.17 kg/hm²,与行距为 10 cm 的干草产量(11 525.91 kg/hm²)相比增产 24.47%,差异极显著,与其他播种行距处理的干草产量相比增产 4.76%~11.75%,差异不显著。播种行距为 30 cm 处理的干草产量位列第二,鲜草产量为 59 705.96 kg/hm²,与行距 10 cm 的鲜草产量相比差异显著,与其他行距的鲜草产量相比差异不显著,而干草产量为 13 694.31 kg/hm²,与行距 10 cm 的干草产量相比差异显著,与其他行距的干草产量相比差异不显著。播种行距 10 cm 处理的草产量最低,明显低于行距为 30、40 cm 的干草产量,但与行距 20、50、60 cm 处理的草产量相比差异不显著。结果表明,行距对饲用甜高粱的草产量均具有重要影响,播种 40 cm 的行距为最适行距。

表 5 不同留苗密度与行距对饲用高粱产草量的影响
Table 5 Effects of different density and spacing on grass yield of forage sweet sorghum

处理 Treatment		鲜草产量 Fresh forage yield//kg/hm ²	增产率 Increasing rate//%	干草产量 Hay yield kg/hm ²	增产率 Increasing rate//%
密度 Density	A ₁	45 163.72 ± 516.40 cC	72.93	10 183.28 ± 200.34 cC	74.81
	A ₂	78 101.47 ± 2 899.50 aA	—	17 801.00 ± 640.35 aA	—
	A ₃	67 239.08 ± 1 426.09 bB	16.15	14 912.39 ± 422.37 bB	19.37
	A ₄	41 856.94 ± 2 305.61 cC	86.59	9 578.30 ± 600.91 cC	85.85
行距 Line spacing	B ₁	53 253.29 ± 5 638.04 bA	15.96	11 525.91 ± 1 222.63 bB	24.47
	B ₂	58 335.33 ± 5 465.39 abA	5.86	12 837.44 ± 1 171.20 abAB	11.75
	B ₃	59 705.96 ± 5 073.77 abA	3.43	13 694.31 ± 1 117.91 aAB	4.76
	B ₄	61 750.92 ± 4 708.69 aA	—	14 346.17 ± 1176.72 aA	—
	B ₅	58 487.83 ± 4 831.71 abA	5.58	13 432.43 ± 1 131.22 abAB	6.80
	B ₆	57 008.50 ± 5 025.80 abA	8.32	12 876.19 ± 1 186.20 abAB	11.42

注:表中字母代表纵向比较,小写和大写字母分别代表 0.05 和 0.01 水平的差异显著性,字母相同者差异不显著,反之显著
Notes: The letters in table represent the longitudinal comparison, the lowercase and capital letters represent significant differences at 0.05 and 0.01 level, respectively; the same letter represent the difference is not significant, or the different letters stand for the difference is significant

3 结论与讨论

3.1 留苗密度与播种行距对饲用甜高粱叶茎比、干鲜比的影响 饲用甜高粱叶茎比、干鲜比受留苗密度、播种行距的

影响虽各不相同,但留苗密度对叶茎比、干鲜比没有明显的作用,这与曾日秋等^[21]和李怀德等^[22]对栽培密度与干鲜比关系的研究结果一致;播种行距对饲用甜高粱的叶茎比、干

鲜比没有明显的作用,这与曾日秋等^[21]对行距与叶茎比关系的研究结果不同,其原因是否与秋闲田种植饲用甜高粱有关尚待进一步研究。

3.2 留苗密度与播种行距对饲用甜高粱草产量的影响

3.2.1 留苗密度对饲用甜高粱草产量的影响。合理密植是调控饲用甜高粱群体结构的重要栽培措施,留苗密度^[23-24]既可调整群体结构,又可调整群体内个体间的竞争力^[25],是饲用甜高粱获得高产的基本条件。该试验饲用甜高粱留苗密度为 22.50 万株/hm² 处理的草产量最高,鲜草产量(78 101.47 kg/hm²)与其他留苗密度处理的鲜草产量相比增幅为 16.15%~86.59%,干草产量(17801.00 kg/hm²)与其他留苗密度处理的干草产量相比增幅为 19.37%~85.85%,其草产量的变化趋势随着留苗密度的不断增大呈现先增后降^[25]的抛物线形状,表明留苗密度不宜过分偏大或偏小。若留苗密度偏大,不仅群体内竞争力加大、单株间竞争力降低^[26-28],而且植株拥挤、小环境郁闭、通风不好、透光较差,严重影响干物质的积累,减少草产量;若留苗密度偏低,虽然能发挥个体间竞争力,但由于单株生产潜力有一定的局限性,不能无限制发挥,且单位土地面积上群体不足,不能较好地利用水、肥、光、气资源,不能获得高产。可见留苗密度对饲用甜高粱草产量具有重要影响,这与李怀德等^[22]对栽培密度与草产量关系的研究结果一致。

3.2.2 播种行距对饲用甜高粱草产量的影响。适宜的播种行距是调控饲用甜高粱群体结构的重要栽培措施,适宜的播种行距能够调整群体结构,进而影响个体间的竞争力^[25-26]。该试验饲用甜高粱播种行距为 40 cm 处理的草产量最高,其鲜草产量高达 61 750.92 kg/hm²,与行距为 10 cm 的鲜草产量(53 253.29 kg/hm²)相比增产 15.96%,与其他行距的鲜草产量相比增产 3.43%~8.32%;其干草产量高达 14 346.17 kg/hm²,与播种行距 10 cm 处理的干草产量相比增产 24.47%,与其他行距的干草产量相比增产 4.76%~11.75%,其草产量随着播种行距的增大略呈先增后降^[18]的上弧形变化趋势,表明播种行距也不宜过分偏大或偏小。若群体株数不变、播种行距偏小,如播种行距为 10 cm 时,上下层叶片交叉而重叠,不利通风,光照不足,不能正常生长,草产量最低;若群体株数不变、行距偏大时,株间距变小,植株分布不匀,大苗欺小苗现象突出,且同一垄上的饲用甜高粱种内竞争力增大,单株不易发挥增产潜力,不能最大限度地利用光、气、水、肥资源^[29],也不能获得理想的草产量。可见,播种行距对饲用甜高粱草产量具有重要影响,这与曾日秋等^[21]对行距与草产量关系的研究结果一致。

3.3 饲用甜高粱草产量最高时的留苗密度与播种行距配置的优化组合 A₂B₄。在该试验条件下,由于留苗密度与播种行距之间无交互,获得饲用甜高粱最高产量的最优组合即可

由最佳留苗密度 A₂ 与最佳播种行距 B₄ 的效应直接相加,具体配置为留苗密度 22.50 万株/hm² 与播种行距 40 cm 的处理组合。

参考文献

- [1] 刘丽华,曾宪国,李红宇,等.青刈对饲用甜高粱产量和品质的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2011,23(1):5-7.
- [2] 赵通,王延飞.饲草甜高粱青贮饲喂肉牛的增重效果试验[J].甘肃畜牧兽医,2015,45(2):51-52,62.
- [3] 王维中,曹志东,马先锋,等.种植密度及方式对甜高粱生长发育及产量的影响[J].当代畜牧,2015(8):53-55.
- [4] 刘丽华,钱永德,吕艳东,等.不同施肥量、植株密度因素下饲用甜高粱生育动态及产量优化[J].湖北农业科学,2011,50(6):1231-1234.
- [5] 郑桂萍,刘沐江,汪秀志,等.不同种植方式及肥密因素下饲用甜高粱的产量表现[J].水土保持通报,2009,29(3):25-28.
- [6] 宋朝辉.收获时期与分蘖去留对饲用甜高粱产量及含糖的影响[J].中国糖料,2014(4):59-60.
- [7] 罗峰,陈鹏,裴忠有,等.播期对甜高粱不同生育时期生物产量及品质的影响[J].湖北农业科学,2013,52(14):3260-3263.
- [8] 郑庆福,杨恒山,赵兰坡.刈割次数对杂交甜高粱草产量及品质的影响[J].草业科学,2009,26(2):76-79.
- [9] 李权.甜高粱青贮饲料制作过程中的关键技术点[J].中国糖料,2016,38(5):60-62.
- [10] 李霞,张艳宜,梁军林,等.饲用甜高粱拉伸膜裹包青贮技术研究[J].中国奶牛,2016(6):19-22.
- [11] 王黎明,焦少杰,姜艳喜,等.黑龙江省饲用高粱品种及其青贮加工技术研究[J].黑龙江农业科学,2013(12):99-100.
- [12] 路登佑,李玉蓉,赵文峰,等.饲用甜高粱青贮制作技术[J].贵州畜牧兽医,2011,35(2):53-55.
- [13] 上官辉,徐丽欣.大力士甜高粱草特性及在奶牛养殖中的应用技术[J].中国奶牛,2008(1):60-61.
- [14] 宋金昌,范莉,牛一兵,等.不同甜高粱品种生产与奶牛饲喂特性比较[J].草业科学,2009,26(4):74-78.
- [15] 段军红.于天明,王吉成,等.青贮饲用型甜高粱饲喂奶牛试验报告[J].中国奶牛,2014(14):51-52.
- [16] 李俊,董书昌,陈孝军,等.青贮甜高粱与青贮玉米秸秆饲喂奶牛对比试验[J].中国牛业科学,2016,42(3):24-25.
- [17] 马育华.田间实验和统计方法[M].北京:中国农业出版社,1982:133-134,175-181.
- [18] 商娜,杨中旭,李秋芝,等.行距配置和密度对蒜荏花生生育性状及产量的影响[J].安徽农业科学,2016,44(26):27-30.
- [19] 刘小虎.SPSS12.0 for windows 在农业试验统计中的应用[M].沈阳:东北大学出版社,2007:57-77,174-194.
- [20] 高之仁,明道绪.第三讲 裂区设计与分析(续)[J].四川农业科技 1981(3):36-39.
- [21] 曾日秋,郑齐丹,洪月云,等.亚热带牧草刈牧 42 行距及留茬高度试验研究[J].中国草地,2000(4):16-18.
- [22] 李怀德,杨俊海,崔同霞,等.栽培密度对兰州地区一年生黄芩产量性状的影响[J].农业科技与信息,2016(32):86-87,92.
- [23] 张肖凌,唐桃霞,张秀华,等.种植密度对饲用型甜高粱产量及糖分的影响[J].中国糖料,2016,38(5):35-37.
- [24] 杨楠,丁玉川,焦晓燕,等.种植密度对高粱群体生理指标、产量及其构成因素的影响[J].农学报,2013,3(7):11-17.
- [25] 代旭峰,王国强,刘志斋,等.不同密度下不同行距对玉米光合及产量的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2013,35(3):15-21.
- [26] 许岳飞,毕玉芬,涂旭川,等.施肥与株行距对王草生产性状的影响[J].草原与草坪,2006(2):24-27.
- [27] 刘恩魁,段喜顺,刘红霞,等.春谷种植密度与产量的数量关系及其分析[J].中国农学通报,2013,29(30):118-123.
- [28] 翟广谦,陈永欣,田福海.玉米田间整齐度、单株生产力和群体产量的相关分析[J].玉米科学,1998,6(2):52-55.
- [29] 许章全,黄炳生,沈仲茂.春玉米密植定额和栽培方式研究[J].作物学报,1964,3(3):229-245.