

施肥对宁夏干旱区弃耕地牧草叶片特征及产量的影响

陈科元¹, 贾倩民¹, 陈彦云^{1,2}

(1. 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学 生命科学学院, 宁夏 银川 750021)

摘要:利用 $L_{18}(6^1 \times 3^6)$ 多因素混合正交设计, 在宁夏干旱区弃耕地选择 6 种牧草(紫花苜蓿、草木樨、沙打旺、扁穗冰草、蒙古冰草和披碱草)、有机肥、化肥及苦豆子秸秆 4 个因素安排试验, 探讨牧草品种、有机肥、氮磷钾配施及苦豆子秸秆对牧草叶片特征及产量的影响。结果表明: 禾本科牧草的叶面积和叶片干重均显著高于豆科($P < 0.05$), 其中披碱草的平均叶面积和叶片干重显著高于扁穗冰草和蒙古冰草; 豆科牧草的比叶面积显著低于禾本科, 叶面积指数显著高于禾本科($P < 0.05$), 其中紫花苜蓿的平均比叶面积显著低于草木樨和沙打旺, 草木樨的平均叶面积指数显著高于紫花苜蓿和沙打旺; 综合分析得出, 种植禾本科牧草的最佳施肥组合为有机肥 24 t/hm^2 + 氮磷钾高肥配比($\text{N } 275 \text{ kg/hm}^2 + \text{P } 225 \text{ kg/hm}^2 + \text{K } 225 \text{ kg/hm}^2$) + 苦豆子秸秆 10 t/hm^2 , 禾本科利用此方案上种植的披碱草鲜草产量最高, 为 $11\,256.43 \text{ kg/hm}^2$; 种植豆科牧草的最佳施肥组合为有机肥 36 t/hm^2 + 氮磷钾中肥配比($\text{N } 165 \text{ kg/hm}^2 + \text{P } 135 \text{ kg/hm}^2 + \text{K } 135 \text{ kg/hm}^2$) + 苦豆子秸秆 10 t/hm^2 , 在相似方案上种植的紫花苜蓿鲜草产量最高, 达 $25\,444.52 \text{ kg/hm}^2$ 。

关键词:弃耕地; 有机肥; NPK; 叶片特征; 产量

中图分类号: S 156.5; S 543 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2015)13-0070-06

近年来, 随着人口的不断增长, 天然草地逐渐被开垦为农田, 而宁夏干旱区降水量少, 土壤养分贫瘠, 地下水含盐量高, 加之不合理的灌溉, 在强烈蒸发下致使土壤产生次生盐渍化, 导致大面积土地被弃耕^[1-3]。改良和利用盐碱地, 可缓解人口与土地的矛盾, 对推动当地经济和社会的可持续发展具有重要意义^[4-5]。种植牧草是改良利用盐碱地、发展草地畜牧业以及提高农民经济收入的重要措施^[6-8]。牧草的生理功能会对土壤理化性质产生影响, 从而达到改良盐碱土的目的^[9-11]。盐池县位于宁夏回族自治区东部, 地表水资源贫乏, 地下水的品质较差, 春季干旱且风蚀严重, 夏季高温, 造成该地区种植牧草的难度较大^[12-15]。施肥是提高草地生产力的关键, 但是由于长期大量化肥的不合理使用, 牲畜粪便的不合理堆放以及秸秆的就地焚烧, 使土壤与大气污染加剧, 不仅造成大量资源严重浪费, 而且影响作物的正

常生长和品质^[16-18]。有机肥可改善土壤结构、增加土壤养分及蓄水保墒能力, 可有效改良盐碱地, 同时可提高作物产量和品质^[19-24]。植物秸秆作为肥料不仅能提高作物产量, 而且可以节约资源、保护地力和生态环境^[25-26]。现通过正交设计对牧草种类、有机肥、化肥及秸秆安排试验, 研究不同牧草种类与施肥对牧草叶片特征及产量的影响, 以期改良利用弃耕盐碱地、发展草产业以及干旱地区生态治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏回族自治区盐池县(东经 $106^{\circ}30'$ ~ $107^{\circ}47'$, 北纬 $37^{\circ}04'$ ~ $38^{\circ}10'$)花马池镇北王卷自然村, 属于毛乌素沙地西南缘, 是黄土高原向鄂尔多斯台地过渡地带, 气候为典型中温带大陆性气候, 年均气温 7.7°C , 极端最高气温 38.1°C , 最低气温 -29.6°C , 年均降水量约 280 mm , 主要集中在 7、8、9 月, 蒸发量约 $2\,710 \text{ mm}$, 年均无霜期 165 d 。研究区为弃耕 9 年的盐碱地, 土壤类型为风沙土, 水资源匮乏, 灌溉用水为地下水, 含盐量及矿化度高, 水质较差。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 采用 $L_{18}(6^1 \times 3^6)$ 多因素混合正交

第一作者简介: 陈科元(1989-), 男, 宁夏银川人, 硕士研究生, 研究方向为植物生态学。E-mail: 13581678@qq.com.

责任作者: 陈彦云(1965-), 男, 宁夏平罗人, 研究员, 现主要从事植物生理科研与教学工作。E-mail: nxchenyy@163.com.

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2011BAC07B03)。

收稿日期: 2015-01-22

设计,正交实验设计见表1。共4个因素,因素A为牧草种类,6个水平依次为A₁:扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、A₂:蒙古冰草(*Agropyron mongolicum*)、A₃:沙打旺(*Astragalus adsurgens*)、A₄:紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、A₅:草木樨(*Melilotus suaveolens*)、A₆:披碱草(*Elymus dahuricus*)。因素B为有机肥羊粪,3个水平依次为B₁:12 t/hm²、B₂:24 t/hm²、B₃:36 t/hm²。因素C为氮磷钾配比(N:P:K=11:9:9),3个水平依次为C₁:低肥配比(N 55 kg/hm²+P 45 kg/hm²+K 45 kg/hm²)、C₂:中肥配比(N 165 kg/hm²+P 135 kg/hm²+K 135 kg/hm²)、C₃:高肥配比(N 275 kg/hm²+P 225 kg/hm²+K 225 kg/hm²)。因素D为当地工厂加工后的苦豆子秸秆废渣,3个水平依次为D₁:5 t/hm²、D₂:10 t/hm²、D₃:15 t/hm²。试验共18个处理,3次重复,54个小区,随机区组排列,小区面积25 m²(5 m×5 m),各小区之间埋深50 cm的地膜隔离。

表1 正交实验

Table 1 The orthogonal test

列号 No.	1	2	3	4	5	6	7
水平 Level	品种 Species (A)	有机肥 Organic fertilizer (B)	氮磷钾 NPK (C)	空列	空列	空列	苦豆子秸秆 Straw of <i>Sophora alopecuroides</i> (D)
1	A ₁	B ₁	C ₁				D ₁
2	A ₂	B ₂	C ₂				D ₂
3	A ₃	B ₃	C ₃				D ₃
4	A ₄						
5	A ₅						
6	A ₆						

1.2.2 田间管理 2012年6月2日播种,禾本科播种量约15 kg/m²,播深1~2 cm,豆科播种量约30 kg/m²,播深2~3 cm,均采用条播,行距30 cm。试验期间采用相同的管理措施,有机肥和秸秆作为基肥,在土壤翻耕前一次性把肥料均匀撒于地表翻入土中。磷肥和钾肥作为种肥,在播种时采用沟内条施。氮肥按总氮量的28%作基肥,返青后追肥72%。在播种前、苗期、返青期及首次刈割后各灌溉1次,每次灌水量约为400 m³/hm²,常规除草,禁止放牧。试验使用的有机肥为当地农户家腐熟羊粪,秸秆为当地工厂加工后的苦豆子秸秆废渣。氮肥为尿素(N 46%),磷肥为磷酸二铵(N 16%、PO₄ 46%),K肥为硫酸钾(K₂O 50%)。

1.3 项目测定

2013年6月7日9:00—11:30各小区选择向阳、无病虫害且保持完整的5个成熟叶片,用SPAD-502叶绿素仪测定相对叶绿素含量。各小区将测定相对叶绿素含量后的5个叶片,用数字扫描仪和图像分析软件Delta-T测定5个叶片的总叶面积计算单叶面积。将扫描后的叶片分别装入纸信封于105℃下杀青15min,65℃下烘干至恒量,称量总叶片干重计算单叶干重。2013年6

月9日各小区选1 m²样方,刈割(不留茬)后立即称其鲜重作为鲜草产量,烘干后(105℃烘箱内杀青15min后,65℃烘24 h至恒重)将茎、叶分离,称量1 m²样方的叶总干重,重复3次。计算公式如下:单叶面积(cm²)=总叶片面积/叶片个数;单叶干重(mg)=总叶片干重/叶片个数;比叶面积SLA(cm²/g)=单叶面积/单叶干重;叶面积指数LAI=(叶总干重/单叶干重)×单叶面积/10 000。

1.4 数据分析

试验数据采用Excel 2003软件进行整理;采用SPSS 18.0软件进行方差分析,因素间进行F检验,并用Duncan法对因素内各水平进行多重比较;根据极差R和公式 $R'=d \times R \times M^{0.5}$ (d为折算系数,M为因素水平重复数)计算同水平等价极差 $R'^{[27]}$ 。利用Pearson相关系数进行相关性评价。

2 结果与分析

2.1 施肥对牧草叶面积的影响

叶面积是衡量植物生长发育状况的重要指标,各处理的叶片特征指标与鲜草产量见表2,对叶面积进行因素间效应检验表明(表3),因素A对叶面积影响极显著($P<0.01$),因素B和C影响显著($P<0.05$),因素D影响不显著($P>0.05$)。再由 R' 大小得出各因素影响程度为 $A>C>B>D$ 。多重比较得知,因素A叶面积均值大小为 $A_6>A_2>A_1>A_5>A_3>A_4$, A_6 、 A_2 、 A_1 之间差异显著($P<0.01$),三者均显著高于 A_5 、 A_3 和 A_4 ($P<0.05$), A_5 与 A_3 差异不显著,与 A_4 差异显著($P<0.05$)。以上表明,禾本科的叶面积大小为披碱草>蒙古冰草>扁穗冰草,各牧草之间差异显著;豆科的叶面积大小为草木樨>沙打旺>紫花苜蓿,草木樨、沙打旺与紫花苜蓿差异显著。因素B叶面积均值大小为 $B_2>B_3>B_1$, B_2 与 B_3 差异不显著,二者均与 B_1 差异显著($P<0.05$)。因素C叶面积均值大小为 $C_3>C_2>C_1$, C_3 、 C_2 显著高于 C_1 ($P<0.05$)。分析得出叶面积的最优组合为 $A_6B_2C_3D_x$ ($x=1,2,3$),与叶面积最大的组合 $A_6B_2C_3D_2$ (处理17)相一致,表明叶面积的正交设计结果是可靠的。

2.2 施肥对牧草叶片干重的影响

对18个处理的叶片干重(表2)进行统计分析,因素间效应检验表明(表3),因素A和C对叶片干重影响极显著($P<0.01$),因素D影响不显著($P>0.05$)。由 R' 大小比较得出,各因素影响程度为 $A>C>B>D$ 。多重比较结果得知,因素A叶片干重均值大小为 $A_6>A_2>A_1>A_5>A_4>A_3$, A_6 、 A_2 、 A_1 各水平之间差异显著($P<0.05$),三者均显著高于 A_5 、 A_4 和 A_3 ($P<0.05$), A_5 与 A_4 差异不显著($P>0.05$),与 A_3 差异显著($P<0.05$)。以上表明,禾本科的叶面积均显著大于豆科,大小为披碱草>蒙古冰草>扁穗冰草,各牧草之间差异显著,豆科的叶面积大小顺序为草木樨>紫花苜蓿>沙打旺,草

木樨与沙打旺差异显著。因素 B 叶片干重均值大小为 $B_2 > B_3 > B_1$, B_2 与 B_3 差异不显著,二者均与 B_1 差异显著。因素 C 叶片干重均值大小顺序为 $C_3 > C_2 > C_1$,各水

平之间差异极显著($P < 0.01$)。分析得出叶片干重的最优组合为 $A_5 B_2 C_3 D_x$ ($x=1,2,3$),与叶片干重最大的组合 $A_5 B_2 C_3 D_2$ (处理 17)相一致。

表 2

不同处理的叶片特征与鲜草产量

Table 2

Leaf characteristics and fresh yield under different treatments

处理 Treatment	叶面积 Leaf area/cm ²	叶片干重 LDW/mg	比叶面积 SLA/(cm ² ·g ⁻¹)	叶面积指数 LAI	叶绿素含量 Chlorophyll content/%	鲜草产量 Fresh yield/(kg·hm ⁻²)
1(A ₁ B ₁ C ₁ D ₂)	3.42	22.57	151.46	2.85	33.44	8 129.39
2(A ₁ B ₂ C ₂ D ₁)	3.76	27.53	136.58	3.09	35.80	9 212.72
3(A ₁ B ₃ C ₃ D ₃)	3.96	30.28	130.78	3.32	38.16	9 980.64
4(A ₂ B ₁ C ₂ D ₁)	4.15	33.95	122.24	2.53	35.30	7 237.80
5(A ₂ B ₂ C ₃ D ₃)	4.27	36.78	116.17	2.86	37.19	8 971.43
6(A ₂ B ₃ C ₁ D ₂)	3.91	29.81	131.11	2.41	33.10	8 350.61
7(A ₃ B ₁ C ₁ D ₂)	0.98	9.10	107.69	3.84	44.83	19 761.87
8(A ₃ B ₂ C ₂ D ₁)	1.05	9.92	105.85	4.25	48.10	21 763.59
9(A ₃ B ₃ C ₃ D ₃)	1.11	11.36	97.71	4.49	51.37	23 245.97
10(A ₄ B ₁ C ₃ D ₃)	0.94	10.66	88.18	3.97	45.64	22 530.62
11(A ₄ B ₂ C ₁ D ₂)	0.96	11.01	87.19	3.82	45.90	22 109.07
12(A ₄ B ₃ C ₂ D ₁)	1.03	12.29	83.81	4.27	47.74	25 444.52
13(A ₅ B ₁ C ₃ D ₁)	1.15	11.56	99.13	4.29	53.28	19 717.58
14(A ₅ B ₂ C ₁ D ₃)	1.20	11.98	100.17	4.50	53.70	19 103.96
15(A ₅ B ₃ C ₂ D ₂)	1.29	13.35	96.63	4.76	56.12	24 952.18
16(A ₆ B ₁ C ₂ D ₃)	4.36	36.34	119.98	3.16	38.67	9 029.13
17(A ₆ B ₂ C ₃ D ₂)	4.71	39.98	117.81	3.91	43.73	11 256.43
18(A ₆ B ₃ C ₁ D ₁)	4.45	36.37	122.35	3.28	40.20	9 419.80

表 3 叶面积和叶片干重的方差分析及极差

Table 3 The variance analysis and rang of leaf area and LDW

水平 Level	叶面积 Leaf area/cm ²				叶片干重 LDW/mg			
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	3.71c	2.50b	2.49b	2.60a	26.79c	20.70b	20.14c	21.94ab
2	4.11b	2.66a	2.61a	2.54a	33.51b	22.87a	22.23b	20.97b
3	1.05de	2.62a	2.69a	2.64a	10.13e	22.24a	23.44a	22.90a
4	0.98f				11.32de			
5	1.21d				12.30d			
6	4.51a				37.56a			
R	3.53	0.16	0.20	0.10	27.44	2.17	3.30	1.93
R'	2.26	0.20	0.26	0.12	17.58	2.76	4.20	2.46
F	803.56	4.02	4.66	0.01	522.27	8.73	13.28	0.33
P	<0.01	0.03	0.02	0.99	<0.01	0.01	<0.01	0.72

2.3 施肥对牧草比叶面积的影响

比叶面积可反映叶片的厚薄与质量,与植物光合作用、呼吸作用、叶寿命和发育等相联系^[28-29]。对表 2 中叶片干重进行统计分析,因素间效应检验表明(表 4),因素 A 对比叶面积影响极显著($P < 0.01$),因素 C 影响显著($P < 0.05$),因素 B 和 D 影响不显著($P > 0.05$)。再由 R' 大小比较得出,各因素对比叶面积的影响程度大小为 $A > C > D > B$ 。多重比较结果得知,因素 A 比叶面积均值大小为 $A_1 < A_5 < A_3 < A_6 < A_2 < A_4$, A_4 与 A_5 、 A_3 差异显著($P < 0.05$),三者均显著低于 A_6 、 A_2 和 A_1 ($P < 0.05$), A_6 与 A_2 之间差异不显著,二者均与 A_1 差异显著($P < 0.05$)。以上表明,豆科的比叶面积显著小于禾本科,大小顺序为紫花苜蓿 < 草木樨 < 沙打旺,紫花苜蓿与草木樨、沙打旺差异显著。禾本科牧草的比叶面积

大小顺序披碱草 < 蒙古冰草 < 扁穗冰草,披碱草、蒙古冰草与扁穗冰草差异显著。因素 C 比叶面积均值大小为 $C_3 < C_2 < C_1$, C_3 与 C_2 差异不显著,二者均与 C_1 差异显著。得出比叶面积的最优组合为 $A_4 B_x C_3 D_y$ ($x, y=1, 2, 3$),与比叶面积最小的组合 $A_4 B_3 C_2 D_1$ (处理 12)中的牧草品种(因素 A)相一致。

2.4 种类与施肥对牧草叶面积指数的影响

对 18 个处理的叶面积指数(表 2)进行统计分析,因素间效应检验表明(表 4),因素 A、B 和 C 对叶面积指数影响极显著($P < 0.01$),因素 D 影响不显著($P > 0.05$)。再由 R' 大小比较得出,各因素的影响程度为 $A > C > B > D$ 。多重比较得知,因素 A 叶面积指数均值大小为 $A_5 > A_3 > A_4 > A_6 > A_1 > A_2$, A_5 与其它水平之间差异均显著($P < 0.05$), A_3 与 A_4 差异不显著,二者均显著高于 A_6 、 A_1 和 A_2 ($P < 0.05$), A_6 、 A_1 和 A_2 各水平之间差异均显著。以上表明,豆科的叶面积指数均显著大于禾本科,大小为草木樨 > 沙打旺 > 紫花苜蓿,草木樨与紫花苜蓿、沙打旺之间差异显著,禾本科的叶面积指数大小为披碱草 > 扁穗冰草 > 蒙古冰草,各禾本科之间差异显著。因素 B 叶面积指数均值大小为 $B_3 > B_2 > B_1$, B_2 与 B_3 之间差异不显著,二者均与 B_1 差异显著。因素 C 叶面积指数均值大小为 $C_3 > C_2 > C_1$, C_2 与 C_3 差异不显著,二者均与 C_1 差异显著。正交设计得出叶面积指数的最优组合为 $A_5 B_3 C_3 D_x$ ($x=1,2,3$),与叶面积指数最高的组合 $A_5 B_3 C_2 D_2$ (处理 15)基本一致。

表 4

比叶面积和叶面积指数的方差分析及极差

Table 4

The variance analysis and range of SLA and LAI

水平 Level	比叶面积 SLA/(cm ² ·g ⁻¹)				叶面积指数 LAI			
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	139.10a	114.53a	116.41a	111.66ab	3.09d	3.44b	3.45b	3.60a
2	123.17b	110.63a	110.85b	115.06a	2.60e	3.74a	3.68a	3.62a
3	103.75c	110.40a	108.30b	108.83b	4.19b	3.76a	3.81a	3.72a
4	86.39d				4.02b			
5	98.64c				4.52a			
6	120.05b				3.45c			
R	52.71	4.13	8.11	6.23	1.92	0.31	0.36	0.12
R'	33.77	5.26	10.33	7.94	1.23	0.40	0.45	0.15
F	93.79	2.77	4.70	0.86	104.63	12.30	12.58	1.20
P	<0.01	0.07	0.01	0.43	<0.01	<0.01	<0.01	0.31

2.5 种类与施肥对牧草叶绿素含量的影响

叶绿素在植物的光合作用中起着重要作用^[30],各处理的叶绿素含量(表 2)统计分析结果见表 5,因素间效应检验表明,因素 A、B 和 C 对叶绿素含量影响极显著($P<0.01$),因素 D 影响不显著($P>0.05$),再由 R' 大小分析得出,各因素影响程度为 $A>C>B>D$ 。多重比较结果得知,因素 A 叶绿素含量均值大小为 $A_5>A_3>A_4>A_6>A_1>A_2$,除 A_1 与 A_2 、 A_3 与 A_4 差异不显著外($P>0.05$),其它水平之间差异均显著($P<0.05$)。因素 B 叶绿素含量均值大小为 $B_3>B_2>B_1$, B_2 与 B_3 差异不显著($P>0.05$),二者均与 B_1 差异显著($P<0.05$)。因素 C 叶绿素含量均值大小为 $C_3>C_2>C_1$, C_2 与 C_3 差异不显著($P>0.05$),二者均与 C_1 差异显著($P<0.05$)。分析得出叶绿素含量的最优组合为 $A_5B_3C_3D_x$ ($x=1,2,3$),与叶绿素含量最高的组合 $A_5B_3C_2D_2$ (处理 15)基本一致。

2.6 施肥对牧草鲜草产量的影响

对 18 个处理的鲜草产量(表 2)进行统计分析,因素间效应检验表明(表 5),因素 A、B 和 C 对鲜草产量影响极显著($P<0.01$),因素 D 影响显著($P<0.05$),再由 R' 大小综合比较得出,各因素的影响程度为 $A>B>C>D$ 。

表 5

叶绿素含量和鲜草产量的方差分析及极差

Table 5

The variance analysis and range of chlorophyll content and fresh yield

水平 Level	叶绿素含量 Chlorophyll content/%				鲜草产量 Fresh yield/(kg·hm ⁻²)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	35.80d	41.86b	41.86b	43.40a	9 118.19cd	14 428.39b	14 497.39b	15 185.31b
2	35.20d	44.07a	43.62a	42.85a	8 194.73d	15 423.17b	16 295.73a	16 388.67a
3	48.10b	44.45a	44.90a	44.12a	21 618.68b	16 922.26a	15 980.70a	15 199.84b
4	46.43b				23 395.35a			
5	54.37a				21 304.41b			
6	40.87c				9 916.28c			
R	19.17	2.59	3.04	1.27	15 200.62	2 493.87	1 798.34	1 203.36
R'	12.28	3.30	3.87	1.62	9 740.56	3 175.94	2 290.19	1 532.48
F	93.26	6.44	6.45	0.13	169.17	10.31	9.53	3.69
P	<0.01	<0.01	<0.01	0.88	<0.01	<0.01	<0.01	0.03

2.7 产量与叶片特征参数的相关关系

从表 6 产量与叶片特征参数间的相关分析看出,禾本科的鲜草产量与禾本科叶面积、叶面积指数和叶绿素

多重比较结果得知,因素 A 鲜草产量均值大小为 $A_4>A_3>A_5>A_6>A_1>A_2$, A_4 与其它水平之间差异显著($P<0.05$), A_3 与 A_5 之间差异不显著($P>0.05$),二者均显著高于 A_6 、 A_1 和 A_2 ($P<0.05$), A_6 与 A_1 差异不显著,与 A_2 差异显著($P<0.05$)。以上表明,豆科牧草的平均鲜草产量均显著高于禾本科,大小为紫花苜蓿>沙打旺>草木樨,紫花苜蓿与沙打旺、草木樨差异显著($P<0.05$)。禾本科的平均鲜草产量大小为披碱草>扁穗冰草>蒙古冰草,披碱草与扁穗冰草差异不显著,与蒙古冰草差异显著。因素 B 鲜草产量均值大小为 $B_3>B_2>B_1$, B_3 与 B_2 、 B_1 差异显著,表明有机肥 36 t/hm² 较 12、24 t/hm² 显著提高了鲜草产量。因素 C 鲜草产量均值大小为 $C_2>C_3>C_1$, C_2 与 C_3 差异不显著($P>0.05$),与 C_1 差异显著($P<0.05$),说明氮磷钾高肥配比与中肥配比之间差异不显著,二者较低肥配比显著提高了牧草的鲜草产量。因素 D 均值大小为 $D_2>D_3>D_1$, D_2 与 D_3 、 D_1 之间差异显著($P<0.05$)。正交设计得出鲜草产量的最优组合为 $A_4B_3C_2D_2$,与 18 个处理中鲜草产量最高的组合 $A_4B_3C_2D_1$ (处理 12)基本一致。

含量呈极显著正相关,与叶片干重呈显著正相关;豆科的鲜草产量与豆科叶面积指数呈极显著正相关,与叶面干重和叶绿素含量呈显著正相关。说明在宁夏干旱区

弃耕地叶面积指数是影响禾本科及豆科牧草产量的关键因素。

表 6 叶片特征参数与产量间的相关分析

Table 6 Correlation coefficients between leaf characteristics and yield

	叶面积 Leaf area	叶片干重 LDW	比叶面积 SLA	叶面积指 数 LAI	叶绿素含量 Chlorophyll content
禾本科鲜草产量 Fresh yield of Gramineae	0.563**	0.453*	-0.095	0.844**	0.776**
豆科鲜草产量 Fresh yield of Legume	0.243	0.461*	-0.143	0.591**	0.412*

3 讨论与结论

植物的叶片性状可以反映植物对环境的适应状况^[31-32]。牧草种类对叶面积、叶片干重、比叶面积和叶面积指数影响极显著,这说明虽然叶片生理和结构对外界环境条件的适应与响应比较复杂^[33],但这些差异主要是由遗传特性决定的,在长期的进化过程中,不同牧草已经形成不同的适应方式^[34]。禾本科牧草的叶面积和叶片干重显著大于豆科,其中披碱草叶片生长状况较好。豆科的叶绿素含量显著高于禾本科,比叶面积显著低于禾本科,其中草木樨的叶绿素含量和叶面积指数显著高于紫花苜蓿和沙打旺,表明草木樨叶片的光合作用能力较强。紫花苜蓿的比叶面积显著小于草木樨和沙打旺,表明紫花苜蓿单位叶面积叶片积累的干物质较多。牧草种类对鲜草产量影响极显著($P<0.01$),豆科牧草的鲜草产量大小为紫花苜蓿>草木樨>沙打旺,其中紫花苜蓿的鲜草产量显著高于沙打旺和草木樨。各禾本科的鲜草产量均显著低于豆科,大小顺序为披碱草>扁穗冰草>蒙古冰草,其中披碱草的鲜草产量显著大于蒙古冰草,生产性能较好,可作为该地区种植的禾草。

有机肥对叶片干重、叶面积指数、叶绿素含量和鲜草产量影响极显著($P<0.01$),对叶面积影响显著。有机肥 36 t/hm² 处理下牧草的平均叶面积指数和叶绿素含量高于 24 t/hm² 处理,种植以提高光合能力和叶面积指数来增加产量的豆科较好,此水平下鲜草产量均值显著大于 24 t/hm² 和 12 t/hm² 处理($P<0.05$)。有机肥 24 t/hm² 较 12 t/hm² 显著提高牧草的叶面积和叶片干重,但与 36 t/hm² 处理差异不显著,在种植以增大叶面积和叶片干重来积累物质的禾本科时,为节约资源,选择有机肥 24 t/hm² 作为最佳施肥量。氮磷钾对叶片干重、叶绿素含量、叶面积指数和鲜草产量影响极显著($P<0.01$),对叶面积和比叶面积影响显著。氮磷钾高肥配比与中肥配比处理的平均叶绿素含量、叶面积指数和鲜草产量差异不显著,二者均显著高于低肥配比($P<0.05$),比叶面积均显著低于低肥配比($P<0.05$),而高肥配比的平均叶片干重显著高于中肥和低肥配比($P<0.05$)。因此,在种植豆科牧草时应选择氮磷钾中肥配比

以节约资源,在种植禾本科时应选择氮磷钾高肥配比以增大叶片干重来积累物质。苦豆子秸秆对叶面积、叶片干重、比叶面积、叶面积指数和叶绿素含量影响不显著,对鲜草产量影响显著($P<0.05$),苦豆子秸秆还田 10 t/hm² 处理下牧草的鲜草产量均值显著高于 15 t/hm² 和 5 t/hm² 处理。适量的苦豆子秸秆还田可显著提高牧草的鲜草产量,原因可能是过量秸秆的施入使秸秆分解缓慢,造成微生物与作物争氮,影响植株苗期生长,这与顾炯明等^[35]的研究结论相一致。

禾本科牧草的叶面积和叶片干重均显著大于豆科,其中披碱草的平均叶面积和叶片干重显著高于扁穗冰草和蒙古冰草;豆科牧草的比叶面积显著小于禾本科,叶面积指数显著高于禾本科,其中紫花苜蓿的平均比叶面积显著低于草木樨和沙打旺,草木樨的平均叶面积指数显著高于紫花苜蓿和沙打旺。综合分析得出,种植禾本科的最佳施肥组合为有机肥 24 t/hm² + 氮磷钾高肥配比(N 275 kg/hm² + P 225 kg/hm² + K 225 kg/hm²) + 苦豆子秸秆 10 t/hm²,禾本科中在此方案上种植的披碱草鲜草产量最高,为 11 256.43 kg/hm²。种植豆科的最佳施肥组合为有机肥 36 t/hm² + 氮磷钾中肥配比(N 165 kg/hm² + P 135 kg/hm² + K 135 kg/hm²) + 苦豆子秸秆 10 t/hm²,在相似方案上种植的紫花苜蓿鲜草产量最高,达 25 444.52 kg/hm²。

参考文献

- [1] 李凤霞,王学琴,郭永忠,等.宁夏不同类型盐渍化土壤微生物区系及多样性[J].水土保持学报,2011,25(5):107-111.
- [2] 杜国华.宁夏中部干旱带产业结构与生态环境状况调查分析[J].北方园艺,2011(22):186-188.
- [3] 温学飞,左忠,王峰.宁夏中部干旱带草地畜牧业发展措施的研究[J].草业科学,2003,20(11):44-46.
- [4] 安慧,杨新国,刘秉儒,等.荒漠草原区弃耕地植被演替过程中植物群落生物量及土壤养分变化[J].应用生态学报,2011,22(12):3145-3149.
- [5] 杨自辉,王继和,纪永福,等.干旱区盐渍化土地三系统治理技术研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(4):92-96.
- [6] 山仑,徐炳成.黄土高原半干旱地区建设稳定栽培草地的探讨[J].草业学报,2009,8(2):1-2.
- [7] 贾倩民,陈彦云,杨阳,等.不同人工草地对于干旱区弃耕地土壤理化性质及微生物数量的影响[J].水土保持学报,2014,28(1):178-182.
- [8] 王建丽,申忠宝,潘多锋,等.几种多年生禾本科牧草栽培比较试验[J].北方园艺,2014(14):62-64.
- [9] Ashraf M. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants[J]. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 2004,199(5):361-376.
- [10] 贾倩民,陈彦云,刘秉儒,等.干旱区盐碱地不同栽培草地土壤理化性质及微生物数量[J].草业科学,2014,31(7):1218-1225.
- [11] 哈玲津,马媛媛,杨静慧.四种野生植物对天津盐碱地土壤改良效果的研究[J].北方园艺,2009(4):181-184.
- [12] 牛书丽,蒋高明.人工草地在退化草地恢复中的作用及其研究现状[J].应用生态学报,2004,15(9):1662-1666.
- [13] 贾倩民,陈彦云,陈科元,等.若干牧草在宁夏盐池干旱风沙区的引

种试验[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(12): 154-158.

[14] 宋乃平, 汪一鸣, 陈晓芳. 宁夏中部风沙区的环境演变[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(4): 8-12.

[15] 贾倩民, 陈彦云, 韩润燕, 等. 宁夏盐池次生盐碱地 4 种禾本科牧草的适应性及生产性能[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2): 167-170.

[16] 张亚丽, 张娟, 沈其荣, 等. 秸秆生物有机无机配施的施用对土壤供氮能力的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1575-1578.

[17] 贾倩民. 农牧交错区弃耕地施肥对牧草生长及生态特征的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.

[18] Bhattacharya T, Banerjee D K, Gopal B. Heavy metal uptake by *Scirpus littoralis* Schrad. from fly ash dosed and metal spiked soils[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2006, 121(1-3): 361-378.

[19] 杜连凤, 刘文科, 刘建. 3 种秸秆有机肥改良土壤次生盐渍化的效果及生物效应[J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 309-313.

[20] Marathe R A, Bharambe P R, Sharma R, et al. Soil properties of vertisol and yield of sweet orange (*Citrus sinensis*) as influenced by integrated use of organic manures, inorganic and bio-fertilizers[J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2009, 79(1): 3-7.

[21] 帕提曼·阿不都热合曼, 松中照夫, 秦勇. 有机肥和化肥对菠菜产量及品质的影响[J]. 北方园艺, 2007(11): 28-30.

[22] 贾倩民, 陈彦云, 陈科元, 等. 荒漠草原区牧草品种与施肥对牧草产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2014(6): 168-172.

[23] 王晓娟, 贾志宽, 梁连友, 等. 不同有机肥量对旱地玉米光合特性和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 419-425.

[24] Parfitta R L, Yeates G W, Rossa D J, et al. Relationships between soil biota, nitrogen and phosphorus availability, and pasture growth under organic

and conventional management[J]. Applied Soil Ecology, 2005, 28: 1-13.

[25] 蒙静, 曹运娥, 姚英, 等. 秸秆还田对土壤理化及生物性状影响的研究进展[J]. 北方园艺, 2013(11): 184-186.

[26] 高飞, 贾志宽, 路文涛, 等. 秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 777-783.

[27] 苑玉凤. 正交试验结果的分析[J]. 统计与决策, 2006(3): 138-139.

[28] Ackerly D D, Knight C A, Weiss S B, et al. Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses[J]. Oecologia, 2002, 130: 449-457.

[29] Yamashita N, Koike N, Ishida A. Leaf ontogenetic dependence of light acclimation in invasive and native subtropical trees of different successional status[J]. Plant Cell Environment, 2002, 25(10): 1341-1356.

[30] Baker N R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo[J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59(1): 89-113.

[31] 郑淑霞, 上官周平. 黄土高原油松和刺槐叶片光合生理适应性比较[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 16-22.

[32] Kazakou E, Navas M L. Variation in intensity of competition along a Mediterranean successional gradient[C]//Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems. Proceedings of the X MEDECOS Conference, 2004: 26-30.

[33] Wright I J, Reich P B, Westoby M, et al. The worldwide leaf economics spectrum[J]. Nature, 2004, 428(6985): 821-827.

[34] 韦兰英, 曾丹娟, 张建亮, 等. 岩溶石漠化区四种牧草植物光合生理适应性特征[J]. 草业学报, 2010, 19(3): 212-219.

[35] 顾焱明, 郑险峰, 黄婷苗, 等. 秸秆还田配施氮肥对冬小麦产量及氮素调控的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(5): 48-53.

Effect of Fertilization on Leaf Characteristics and Yield of Pastures on Abandoned Cultivated Land in Arid Area of Ningxia

CHEN Keyuan¹, JIA Qianmin¹, CHEN Yanyun^{1,2}

(1. Breeding Base of State Key Laboratory for Preventing Land Degradation and Ecological Restoration, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Taking six kinds of pasture (*Medicago sativa*, *Melilotus suaveolens*, *Astragalus adsurgens*, *Agropyron cristatum*, *Agropyron mongolicum* and *Elymus dahuricus*), organic fertilizer, fertilizer and bitter bean stalks as four factors, in arid regions of Ningxia abandoned farmland, its impact on leaf characteristics and their forage production were studied by $L_{18}(6^1 \times 3^6)$ orthogonal test. The results showed that the leaf area and leaf dry weight of the Gramineae forages were significantly higher than those of legumes ($P < 0.05$), and the average leaf area and leaf dry weight of *Elymus dahuricus* were significantly higher than those of *Agropyron cristatum* and *Agropyron mongolicum*. The specific leaf area (SLA) of the leguminous forages was significantly lower than that of Gramineae forages, but the leaf area index was significantly higher than those of Gramineae forages ($P < 0.05$), and the average SLA of the *Medicago sativa* was significantly lower than that of *Melilotus suaveolens* and *Astragalus adsurgens*. The average leaf area index of *Melilotus suaveolens* was significantly higher than those of *Medicago sativa* and *Astragalus adsurgens*. Ultimately, the comprehensive analysis showed that the organic fertilizer 24 t/hm² + high levels of NPK (N 275 kg/hm² + P 225 kg/hm² + K 225 kg/hm²) was the best fertilizer combination for planting Gramineae forages, the output of *Elymus dahuricus* could reach the highest, 11 256.43 kg/hm². The organic fertilizer 36 t/hm² + moderate levels of NPK (N 15 kg/hm² + P 135 kg/hm² + K 135 kg/hm²) + straw of *Sophora alopecuroides* 10 t/hm² was the best fertilizer combination for planting Leguminous forage, the output of *Medicago sativa* could reach the highest, 25 444.52 kg/hm².

Keywords: abandoned cultivated land; organic manure; NPK; leaf characteristics; yield