

文章编号:1003-8701(2014)04-0062-06

农牧交错区品种与施肥对牧草适应性及产量的影响

贾倩民¹, 陈彦云^{1,2*}, 陈科元¹, 仇红燕², 李旺霞¹

(1. 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021; 2. 宁夏大学生命科学学院, 银川 750021)

摘要:在宁夏农牧交错区通过 $L_{18}(6 \times 3^6)$ 正交设计进行人工草地建植试验, 目的是筛选出该地区草地建植的最优组合, 并分析正交设计的可靠性。结果表明: 正交设计得到牧草适应性的最优组合为紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) + 有机肥 $36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ + NPK 中肥配比 ($\text{N}165 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + $\text{P}135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + $\text{K}135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) + 苦豆子 (*Sophora alopecuroides*) 秸秆废渣 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 这与适应性最强的处理 12 基本一致, 各因素中品种与有机肥对适应性的影响程度较大, NPK 与植物废渣的影响程度较小; 产量的最优组合为草木樨 (*Melilotus suaveolens* L.) + 有机肥 $36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ + NPK 中肥配比 ($\text{N}165 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + $\text{P}135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + $\text{K}135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) + 苦豆子秸秆废渣 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 这与处理 15 完全一致, 各因素中品种和 NPK 对株高和产量的影响程度较大, 植物废渣的影响程度较小; 同时证明用正交设计方法进行草地建植是可靠的。

关键词: 农牧交错区; 人工草地; 肥料; 品种; 产量

中图分类号: S548

文献标识码: A

Effects of Species and Fertilizer on Adaptation and Yield of Pasture in Agro-Pastoral Region

JIA Qian-ming¹, CHEN Yan-yun^{1,2*}, CHEN Ke-yuan¹, QIU Hong-yan², LI Wang-xia¹

(1. Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwestern China of the Ministry of Education Ningxia University, Yinchuan 750021; 2. College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Study on artificial pasture planting in agro-pastoral region in Ningxia was carried out by $L_{18}(6 \times 3^6)$ orthogonal test to selecting the best set of artificial pasture planting and analyzing the reliability of orthogonal test. The results showed that the optimal combination of pasture adaptation is *Medicago sativa* + organic manure $36 \text{ tons} \cdot \text{hm}^{-2}$ + moderate levels of NPK ($\text{N} 165 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + $\text{P}135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + $\text{K} 135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) + straw residues of *Sophora alopecuroides* $10 \text{ tons} \cdot \text{hm}^{-2}$, which has the best adaptability and it is consistent with Test 12. The impact of species and organic manure on forage adaptability was greatly, while effect of NPK and plant residue was smaller. The optimal combination of yield is *Melilotus suaveolens* L. + organic manure $36 \text{ tons} \cdot \text{hm}^{-2}$ + Moderate levels of NPK ($\text{N} 165 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + $\text{P} 135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + $\text{K} 135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) + straw residues of *Sophora alopecuroides* $10 \text{ tons} \cdot \text{hm}^{-2}$, which has the highest yield and it is consistent with Test 15. Among of all factors, effect of species and NPK on plant height and yield was greater and plant residue was smaller. At the same time it proved that using the orthogonal test was reliable for the establishment of artificial pasture.

Keywords: Agro-pastoral region; Artificial pasture; Fertilizer; Species; Yield

宁夏盐池县是一个以牧为主、半农半牧的北

方典型农牧交错区, 也是我国荒漠化的主要分布区^[1]。由于脆弱的生态环境及经济活动强度的加大, 造成该地区大面积草地生产力下降^[2], 加之农田长期大量化肥的使用及施用不当, 使土壤环境污染逐年加剧, 影响作物的正常生长和品质^[3-4], 严重制约着农牧业经济和社会的可持续发展^[5]。

收稿日期: 2014-04-16

基金项目: 国家科技支撑课题(2011BAC07B03)

作者简介: 贾倩民(1985-), 男, 在读硕士, 研究方向: 植物生理生态。

通讯作者: 陈彦云, 男, 研究员, E-mail: nxchenyy@163.com

因而,实施科学的栽培技术,尤其是合理的施肥是迅速提高草地生产力的关键。国内外研究表明,有机肥富含作物生长所需要的多种元素及有机物质,并可以降解土壤中的碳化合物,提高化肥利用率和土壤养分供给能力,从而提高作物产量和品质^[6-12]。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^[13-15]。如果能将农牧交错区大量牲畜粪便及植物废渣科学地运用,充分利用自然资源,则可以减少化肥的使用量^[16]。在人工草地建植方面有机肥、化肥、植物废渣配合施肥的研究较少,本试验利用正交表对牧草品种、有机肥、化肥及加工后的植物废渣安排试验,研究不同牧草品种及施肥对人工草地适应性及产量的影响,旨在通过这种方法得到适合该地区人工草地建植的最优组合,为稳定人工植被建设及全面发展草地畜牧业提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验地位于宁夏盐池县(106°30'~107°47'E, 37°04'~38°10'N)花马池镇北王卷村,属于毛乌素沙地西南缘,气候为大陆性气候,年均气温 7.7℃,极端最高和最低气温分别是 38.1℃和-29.6℃,年均降水量约 280 mm,主要集中在 7、8、9 三个月,蒸发量高达 2710 mm,年均无霜期 165 d。试验地为弃耕盐碱地,土壤为风沙土,表层土壤(0~20 cm)pH 值 9.15,含盐量 0.31%,有机质含量 0.5%~0.8%。灌溉用水为地下水,矿化度 4~6 g·L⁻¹,含盐量高,水质较差。

1.2 试验设计

采用正交设计 L₁₈(6×3⁶),表头与因素水平设计见表 1。共 4 因素,因素 A 为品种,6 个水平依次为扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)(A₁)、蒙古冰草(*Agropyron mongolicum* Keng)(A₂)、沙打旺(*As-tragalus adsurgens*)(A₃)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)(A₄)、草木樨(*Melilotus suaveolens*)(A₅)和披碱草(*Elymus dahuricus*)(A₆)。因素 B 为有机肥羊粪,3 个水平依次为 12 t·hm⁻²(B₁)、24 t·hm⁻²(B₂)和 36 t·hm⁻²(B₃)。因素 C 为化肥氮磷钾(N:P:K=11:9:9),3 个水平依次为低肥配比(N 55 kg·hm⁻²、P 45 kg·hm⁻²和 K 45 kg·hm⁻²)(C₁)、中肥配比(N 165 kg·hm⁻²、P 135 kg·hm⁻²和 K 135 kg·hm⁻²)(C₂)、高肥配比(N 275 kg·hm⁻²、P 225 kg·hm⁻²和 K 225 kg·hm⁻²)(C₃)。因素 D 为植物废渣,3 个水平依次为 5 t·hm⁻²(D₁)、10 t·hm⁻²(D₂)和 15 t·hm⁻²(D₃),共 18 个处理,重复 3 次。小区面积 25 m²(5 m×5 m)。

1.3 田间管理

2012 年 5 月 12 日播种,禾本科播种量约 15 kg·hm⁻²,播深 1~2 cm,豆科播种量约 30 kg·hm⁻²,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,有机肥和植物废渣在土壤翻耕前,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 30%作基肥,返青后再追肥 70%。试验用有机肥为当地农户家用羊粪,植物废渣为当地工厂苦豆子秸秆废渣。氮肥为尿素(N46%),磷肥为磷酸二铵(N16%、P 46%),钾肥为硫酸钾(K₂O 50%)。

表 1 正交试验表头与因素水平设计

列号 No	1	2	3	4	5	6	7
水平	品种	有机肥(B)	空列	氮磷钾(C)	空列	空列	植物废渣(D)
1	A1	B1		C1			D1
2	A2	B2		C2			D2
3	A3	B3		C3			D3
4	A4						
5	A5						
6	A6						

1.4 测定内容与方法

2012 年各小区选取 1 m 代表性样条,全苗后于 6 月 18 日数其出苗数,于 8 月 25 日数其存活数,2013 年 4 月 15 日测定返青数,计算出苗率、存活率、越冬率,重复 3 次,取平均值。2013 年 6

月 5 日各小区选代表性植株 10 株测定绝对高度(从地面至植株最高部位的高度),之后挖取完整植株测量根长,分别计算平均值作为株高和根长。2013 年 6 月 5 日和 8 月 12 日各小区选 1 m²样方刈割,烘干后称其干重,重复 3 次,取平均值,两

荏产草量之和作为干草产量。

1.5 数据分析

用 Excel 2003 软件进行数据整理;用 SPSS 18.0 软件进行因素间效应检验,并用 Duncan 法进行多重比较,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 $R'^{[17]}$ 。

2 结果与分析

2.1 品种与施肥对出苗率的影响

对表 2 中 18 个处理的出苗率进行方差分析,结果见表 3,因素间效应检验表明,4 个因素对出苗率的影响程度都达到极显著水平 ($P < 0.01$),同水平等价极差 R' 大小为 $B > A > C > D$ (表 4),比较得出,各因素的影响程度为 $B > A > C > D$ 。因素内多重

比较可知,因素 A 的出苗率均值大小为 $A_4 > A_3 > A_6 > A_5 > A_1 > A_2$, A_4 与 A_3 之间差异不显著 ($P > 0.05$),与 A_6 、 A_5 、 A_1 、 A_2 之间差异显著 ($P < 0.05$), A_3 与 A_6 、 A_5 之间差异不显著,与 A_1 、 A_2 间差异显著 ($P < 0.05$)。因素 B 的出苗率均值大小为 $B_3 > B_2 > B_1$, B_2 与 B_3 之间差异不显著,两者与 B_1 差异均显著。因素 C 的出苗率均值大小为 $C_2 > C_3 > C_1$, C_2 与 C_3 之间差异不显著,与 C_1 差异显著。因素 D 的出苗率均值大小为 $D_2 > D_1 > D_3$, D_2 与 D_1 之间差异不显著,与 D_3 差异显著。分析得出,出苗率的最优组合为 $A_4B_3C_2D_2$,与出苗率最高的处理 $A_4B_3C_2D_1$ (处理 12)相比,只有因素 D 不一致,而因素 D 的影响程度最小,且 D_1 与 D_2 之间差异不显著,表明出苗率的正交设计结果是可靠的。

表 2 试验各指标的测定结果

处理	因素水平				出苗率(%)	存活率(%)	越冬率(%)	根长(m)	株高(cm)	干草产量(kg/hm ²)
	A	B	C	D						
1	1	1	1	2	66.82	62.51	80.81	47.41	47.50	2893.02
2	1	2	2	1	72.36	65.92	82.40	52.62	52.01	3040.50
3	1	3	3	3	74.82	69.37	82.62	52.99	54.87	3158.43
4	2	1	2	1	67.63	60.57	76.39	57.23	51.67	2700.67
5	2	2	3	3	68.70	64.53	80.26	59.81	51.90	3104.30
6	2	3	1	2	74.55	65.06	83.97	57.64	50.82	2982.36
7	3	1	1	2	73.20	66.85	85.89	76.10	82.80	7600.72
8	3	2	2	1	77.85	70.60	87.56	83.39	89.13	7745.05
9	3	3	3	3	76.33	73.66	88.85	84.80	91.50	8185.20
10	4	1	3	3	71.68	71.91	87.28	92.41	79.34	8502.12
11	4	2	1	2	79.97	73.83	90.32	95.46	77.93	8602.75
12	4	3	2	1	82.56	75.98	92.50	104.78	81.07	9286.32
13	5	1	3	1	70.21	65.31	79.39	59.98	151.89	8390.46
14	5	2	1	3	70.12	66.15	76.34	54.04	139.41	8378.93
15	5	3	2	2	79.69	70.73	86.79	60.26	156.62	10353.60
16	6	1	2	3	72.85	65.02	81.05	51.64	76.19	3201.82
17	6	2	3	2	78.31	72.10	86.20	61.16	80.78	3894.96
18	6	3	1	1	69.29	67.75	84.03	54.12	74.96	3400.65

2.2 品种与施肥对存活率的影响

牧草的存活率可反映牧草在当地的适应情况,对存活率进行因素间效应检验表明(表 4),因素 A 和 B 对存活率的影响极显著 ($P < 0.01$),因素 C 影响显著 ($P < 0.05$),因素 D 影响不显著 ($P > 0.05$)。再由 R' 大小分析得出,各因素的影响程度为 $B > A > C > D$ 。对影响显著或极显著的因素进行多重比较,因素 A 的存活率均值大小为 $A_4 > A_3 > A_6 > A_5 > A_1 > A_2$, A_4 显著高于其他水平

($P < 0.05$), A_3 与 A_5 、 A_6 之间差异不显著 ($P > 0.05$),与 A_1 、 A_2 差异显著, A_5 、 A_6 与 A_1 之间差异不显著,与 A_2 差异显著。因素 B 的存活率均值大小为 $B_3 > B_2 > B_1$, B_3 与 B_2 之间差异不显著,两者与 B_1 差异均显著。因素 C 的存活率均值大小为 $C_3 > C_2 > C_1$, C_3 与 C_2 差异不显著,与 C_1 差异显著。由于因素 D 对存活率的影响程度不显著,得出存活率的最优组合为 $A_4B_3C_3D_x$ ($x=1,2,3$),与存活率最高的组合 $A_4B_3C_2D_1$ (处理 12)基本一致。

2.3 品种与施肥对越冬率的影响

牧草越冬受遗传性以及干旱、低温、土壤等环境因素的影响^[18-19]。对 18 个处理的存活率进行分析,因素间效应检验表明(表 4),因素 A 和 B 对越冬率影响极显著 ($P<0.01$), 因素 D 影响显著 ($P<0.05$), 因素 C 影响不显著 ($P>0.05$)。同水平等价极差 R' 大小为 $A>B>D>C$, 比较得出, 各因素的影响程度为 $A>B>D>C$ 。对影响显著或极显著的因素进行多重比较得知, 因素 A 的越冬率均值大小为 $A_4>A_3>A_6>A_1>A_5>A_2$, A_4 与 A_3 差异不显著, 两

者均显著高于 A_1 、 A_5 和 A_2 ($P<0.05$), A_6 、 A_1 、 A_5 和 A_2 之间差异均不显著 ($P>0.05$)。因素 B 越冬率均值大小为 $B_3>B_2>B_1$, B_3 与 B_2 差异不显著, 与 B_1 差异显著。因素 D 越冬率均值大小为 $D_2>D_1>D_3$, D_2 与 D_1 之间差异不显著, 与 D_3 差异显著。以上分析得出, 越冬率的最优组合为 $A_4B_3CxD_2$ ($x=1, 2, 3$), 与越冬率最高的组合 $A_4B_3C_2D_1$ (处理 12) 相比只有因素 D 不一致, 而 D_2 与 D_1 差异不显著, 表明正交设计结果是可靠的。

表 3 出苗率因素间的方差分析

变异来源	自由度	平方和	均方	F	P
A	5	367.107	73.421	4.555	0.002
B	2	321.597	160.798	9.975	<0.001
C	2	216.177	108.089	6.705	0.003
D	2	208.191	104.096	6.458	0.004
误差	6	677.029	16.12		

表 4 出苗率、存活率和越冬率的统计分析

水平	出苗率(%)				存活率均值(%)				越冬率均值(%)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	71.33c	70.40b	72.33b	73.32ab	66.03cd	65.36b	67.03b	67.69a	81.94c	81.84c	83.56a	83.71ab
2	70.29c	74.55a	75.49a	75.42a	63.59d	68.86a	68.14ab	68.52a	80.21c	83.85ab	84.45a	85.66a
3	75.78ab	76.20a	73.33ab	72.41b	70.35b	70.42a	69.47a	68.43a	87.43ab	86.46a	84.10a	82.73b
4	78.07a				73.61a				90.03a			
5	73.34bc				67.40bc				80.84c			
6	73.48bc				68.29bc				83.76bc			
R	7.78	5.80	3.16	3.01	10.02	5.06	2.44	0.83	9.83	4.66	0.89	2.93
R'	4.99	7.39	4.03	3.84	6.42	6.44	3.12	1.05	6.30	5.93	1.13	3.73
F	4.56	9.98	6.71	6.46	10.59	10.73	3.36	1.29	8.40	5.96	1.83	4.04
P	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.29	<0.01	<0.01	0.17	0.03

注 R 为极差 R' 为同水平等价极差, 同列不同小写字母间表示差异显著 ($P<0.05$), 下同

2.4 品种与施肥对根长的影响

干旱情况下根长越长, 说明植物抗旱性越强^[20]。对 18 个处理的根长进行统计分析, 因素间效应检验表明(表 5), 因素 A、B 和 C 对根长影响极显著 ($P<0.01$), 因素 D 影响显著 ($P<0.05$)。同水平等价极差 R' 大小为 $A>B>C>D$, 比较得出, 各因素的影响程度为 $A>B>C>D$ 。多重比较得知, 因素 A 根长均值大小为 $A_4>A_3>A_2>A_5>A_6>A_1$, A_4 与 A_3 之间差异显著 ($P<0.05$), 两者均显著大于其他水平, A_2 、 A_5 、 A_6 之间差异不显著 ($P>0.05$), 均显著大于 A_1 。因素 B 根长均值大小为 $B_3>B_2>B_1$, B_2 与 B_3 差异不显著, 两者与 B_1 差异显著。因素 C 根长均值大

小为 $C_3>C_2>C_1$, C_3 与 C_2 差异不显著, 两者均显著高于 C_1 。因素 D 根长均值大小为 $D_1>D_2>D_3$, D_1 与 D_2 差异不显著, 与 D_3 差异显著。得出根长的最优组合为 $A_4B_3C_3D_1$, 与根长最大的组合 $A_4B_3C_2D_1$ (处理 12) 基本一致。

2.5 品种与施肥对株高的影响

株高是重要的生产要素之一, 因素间效应检验表明(表 5), 因素 A 和 C 对株高影响极显著 ($P<0.01$), 因素 B 和 D 影响显著 ($P<0.05$), 再由同水平等价极差 R' 大小综合比较得出, 各因素影响程度为 $A>C>B>D$ 。多重比较结果得知, 因素 A 株高均值大小为 $A_5>A_3>A_4>A_6>A_2>A_1$, A_5 与 A_3 之间

差异显著($P<0.05$),两者均显著大于其他水平, A_4 与 A_6 之间差异不显著,两者均显著大于 A_2 和 A_1 。因素 B 株高均值大小为 $B_3>B_2>B_1$, B_3 与 B_2 、 B_1 之间差异显著, B_2 与 B_1 差异不显著。因素 C 株高均值大小为 $C_3>C_2>C_1$, C_3 与 C_2 差异不显著,两者均与 C_1 差异显著。因素 D 株高均值大小为 $D_1>D_2>D_3$, D_1 与 D_2 差异不显著,均显著大于 D_3 。得出株高的最优组合为 $A_5B_3C_3D_1$,与 18 个处理中株高最大的组合 $A_5B_3C_2D_2$ (处理 15)基本一致。

2.6 品种与施肥对干草产量的影响

对 18 个处理的干草产量进行统计分析,因素间效应检验表明(表 5) 4 个因素对干草产量的影响程度均达到极显著水平($P<0.01$),同水平等价极

差 R' 大小为 $A>B>C>D$, 比较得出各因素的影响程度为 $A>B>C>D$ 。因素内多重比较得知,因素 A 干草产量均值大小为 $A_5>A_4>A_3>A_6>A_1>A_2$, A_5 与 A_4 之间差异不显著($P>0.05$),两者均显著高于其他水平, A_6 显著高于 A_1 和 A_2 ($P<0.05$), A_1 和 A_2 差异不显著。因素 B 干草产量均值大小为 $B_3>B_2>B_1$,各水平之间差异显著。因素 C 干草产量均值大小为 $C_2>C_3>C_1$, C_2 与 C_3 差异不显著($P>0.05$),与 C_1 差异显著($P<0.05$)。因素 D 干草产量均值大小为 $D_2>D_1>D_3$, D_2 与 D_1 、 D_3 差异显著。正交设计得出干草产量的最优组合为 $A_5B_3C_2D_2$,与 18 个处理中干草产量最高的组合 $A_5B_3C_2D_2$ (处理 15)完全一致,充分证明了正交设计结果的可靠性。

表 5 根长、株高和干草产量的方差分析及极差

水平	根长(m)				株高(cm)				干草产量(kg/hm ²)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	51.01d	64.13b	64.13b	68.69a	51.46d	81.57b	78.90b	83.95a	3030.65d	5548.14c	5643.07b	5760.61b
2	58.22c	67.75a	68.32a	66.34ab	51.47d	81.86b	84.45a	83.94a	2929.11d	5794.42b	6054.66a	6054.57a
3	81.41b	69.09a	68.52a	65.94b	87.81b	84.97a	85.05a	80.60b	7841.84b	6226.85a	5871.67ab	5754.22b
4	97.55a				79.44c				8797.06a			
5	58.09c				149.31a				9041.00a			
6	55.64c				77.31c				3499.14c			
R	46.54	4.96	4.39	2.75	97.85	3.41	6.14	3.35	6111.89	678.72	411.59	300.34
R'	29.83	6.32	5.59	3.50	62.70	4.34	7.83	4.27	3916.50	864.34	524.16	382.49
F	234.64	9.19	10.12	4.62	701.51	3.87	16.81	4.76	640.10	16.85	15.47	13.61
P	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.03	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

3 讨 论

宁夏农牧交错区干旱少雨,灌溉条件差,冬寒夏热,土壤贫瘠且盐碱化严重,人工草地建植的难度较大,18 个处理的存活率都在 75%以下。正交设计得到出苗率、存活率和越冬率的最优组合分别为 $A_4B_3C_2D_2$ 、 $A_4B_3C_3D_x$ ($x=1,2,3$) 和 $A_4B_3C_xD_2$ ($x=1,2,3$),与出苗率、存活率和越冬率均为最高的处理 12 基本一致。4 个因素中有机肥对出苗率和存活率的影响程度最大,品种次之,这两个因素对越冬率的影响也达到极显著水平($P<0.01$)。氮磷钾和植物废渣对存活率和越冬率的影响程度较小。豆科牧草的适应性均大于禾本科牧草,以紫花苜蓿的适应性最强,沙打旺次之,禾本科中披碱草的适应性较好。有机肥对适应性的影响较大,施肥量以 36 t/hm² 最好,原因可能是大量有机肥的施入改善了土壤环境,从而促进了牧草苗期生长,这与汤镜秋等^[21]的研究相一致。

正交设计得出根长和株高的最优组合分别为 $A_4B_3C_3D_1$ 和 $A_5B_3C_3D_1$,分别与根长最大的处理 12 和株高最高的处理 15 基本一致,表明正交设计结果是可靠的。因素中品种和氮磷钾对根长和株高的影响达到极显著水平($P<0.01$),有机肥对根长影响极显著($P<0.01$),对株高影响显著($P<0.05$),植物废渣对根长和株高影响均显著($P<0.05$)。植物废渣 10 t/hm² 可提高牧草的出苗率和越冬率,而 15 t/hm² 的处理阻碍了牧草的出苗、越冬及根的生长。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,影响苗期生长,这与顾炽明等^[22]研究相一致。产量的最优组合是 $A_5B_3C_2D_2$,与产量最高的处理 15 完全一致。因素中品种和氮磷钾对产量的影响程度较大,有机肥与植物废渣的影响程度较小。草木樨的干草产量最高,紫花苜蓿次之,但草木樨是两年生牧草,长期利用价值不及多年生的紫花苜蓿,在宁夏农牧交错区紫花苜蓿一般可利用 5 年以上^[23]。氮磷钾以中肥配比的

干草产量最高,与高肥配比差异不显著,原因可能是干旱区盐碱地降雨量较少,中肥配比的出苗率较高,牧草密度大从而产量高,而高水平的氮磷钾配合施肥并不能显著提高肥料的利用效率。对正交设计结果综合分析,适应性最好且可长期利用的人工草地最优组合为 $A_4B_3C_2D_2$,干草产量最高的人工草地最优组合为 $A_5B_3C_3D_2$ 。

4 结 论

4.1 正交设计方法得到适应性的最优组合为紫花苜蓿 + 有机肥 $36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ + 氮磷钾中肥配比 ($N165 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} + P135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} + K135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) + 苦豆子秸秆渣 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,这与适应性最好的处理 12 基本一致,各因素中品种与有机肥对牧草适应性的影响程度较大,氮磷钾与植物废渣影响程度较小。

4.2 正交设计方法得到干草产量的最优组合与处理 15 完全一致,与适应性的最优组合相比,除牧草品种不同,其他因素组合均为有机肥 $36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ + 氮磷钾中肥配比 ($N165 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} + P135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} + K135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) + 苦豆子秸秆渣 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,此组合是否为其他品种产量的最优施肥组合有待进一步研究。

4.3 各因素中品种对越冬率、根长、株高及干草产量的影响程度最大,表明在农牧交错区建植草地,品种的选择较为重要。牧草品种以紫花苜蓿的适应性最强,可作为长期利用的优良牧草。两年生草木樨的干草产量最高,短期利用较好。有机肥 $36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和苦豆子秸秆渣 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有利于牧草的生长,可显著提高干草产量。

参考文献:

- [1] 刘满仓. 盐池县草原沙漠化的现状、成因与对策[J]. 草业科学, 2002, 19(6): 5-6.
- [2] 马红彬, 谢应忠. 宁夏中部干旱带草地生态农业体系建设研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 180-184.
- [3] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 656-660.
- [4] Bhattacharya T, Banerjee D K, Gopal B. Heavy metal up take by *Scirpus littoralis* Schrad from fly ash dosed and metal spiked soils[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2006(121): 363-380.
- [5] 李世忠, 徐 坤, 谢应忠. 浅谈宁夏半干旱地区牧草产业的可持续发展[J]. 中国草地, 2005, 27(3): 75-77.
- [6] 张余莽, 周海军, 张景野, 等. 生物有机肥的研究进展[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(3): 37-40.
- [7] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3133-3139.
- [8] 李红梅, 陕 方, 边俊生, 等. 品种与肥料对苦荞麦产量及水肥利用的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006(4): 252-255.
- [9] Beckwith C P, Lewis P J, Chalmers A G, et al. Successive annual applications of organic manures for cut grass: short-term observations on utilization of manure nitrogen [J]. Grass & Forage Science, 2002, 57(3): 191-202.
- [10] Haynes R J, Naidu R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2004, 51(2): 123-137.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213.
- [14] 闫翠萍, 裴雪霞, 王姣爱, 等. 秸秆还田与施氮对冬小麦生长发育及水肥利用率的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 271-275.
- [15] 李万良, 刘武仁. 玉米秸秆还田技术研究现状及发展趋势 [J]. 吉林农业科学, 2007, 32(3): 32-34.
- [16] Courtens J P. Fertility management at roxbury farm [J]. Bio-dynamics, 2001(235): 10-17.
- [17] 苑玉凤. 正交试验结果的分析 [J]. 统计与决策, 2006(3): 138-139.
- [18] 李子忠, 王 皓. 冬灌对农牧交错带人工草地越冬期土壤水热状况的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 6-13.
- [19] 刘秀位, 苗文芳, 王艳哲, 等. 冬前不同管理措施对土壤温度和冬小麦早期生长的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(9): 1135-1141.
- [20] 韩清芳, 贾志宽. 紫花苜蓿种质资源评价与筛选[M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2004.
- [21] 汤镜秋, 张泉福, 徐苏标. 红壤新开地牧草基肥效应研究[J]. 浙江农业学报, 1995, 7(5): 408-411.
- [22] 顾炽明, 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.
- [23] 刘沛松, 贾志宽, 李 军, 等. 宁南旱区草粮轮作系统中紫花苜蓿适宜利用年限研究[J]. 草业学报, 2008, 17(3): 31-39.