

宁南扬黄灌区最优混合施肥对苜蓿鲜草产量的影响

王 峰¹, 温学飞^{1*}, 马 明², 邹 军², 杨彩霞²

(1. 宁夏农林科学院荒漠化治理研究所, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏发展和改革委员会, 宁夏 银川 750001)

摘 要: 应用三因素最优设计构造试验方案, 研究氮肥、磷肥、钾肥不同水平与组合对苜蓿产量的动态关系。结果表明, 磷肥对产量的影响最大, 其次氮肥较小, 钾肥最小。产量大于 850 kg/667m² 为优域, 在 63 套方案中, 在本试验条件下, 苜蓿产量大于 850 kg/667m² 的农艺措施为: 施氮肥 5.524~7.805 kg/667m²、磷肥 10.86~12.856 kg/667m²、钾肥 0.583~3.749 kg/667m²。

关键词: 苜蓿; 施肥处理; 三因素最优设计; 扬黄灌区

中图分类号: S551⁺.7; S143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)05-0050-05

随着种植业结构调整和生态环境治理建设的不断深化, 宁夏扬黄灌区草业得到了快速发展, 优良苜蓿 (*Medicago sativa*) 种植面积的增大^[1]。在苜蓿的种植管理中由于没有合理的施肥方法, 一方面使苜蓿没有发挥高产的优势, 另一方面也造成了生产成本的增加。本试验通过氮磷钾混合施肥试验, 以确定宁南扬黄灌区城西滩灌区苜蓿的合理施肥配比, 为制订适合此区苜蓿产业化发展, 促进草产业高产增值提供科学依据。

1 试验材料与方法

试验地点在城西滩新开灌区, 苜蓿品种为 3 a 龄宁夏苜蓿; 氮肥为尿素 (N: 46%, 1.85 元/kg), 磷肥为云南产粒状过磷酸钙 (P₂O₅: 44%, 2.7 元/kg), 钾肥为氯化钾 (K₂O: 57%, 2.6 元/kg)。肥料于

2005 年 4 月 6 日撒施后中耕, 再进行灌水。在 6 月份收割第一茬后进行灌水。松耙方法, 在返青时用四轮拖拉机带圆盘耙对试验地进行一次性的平行耙耱深度为 5~7 cm。6 月份第一茬苜蓿收割后再进行一次松耙。苜蓿鲜草价格为 0.22 元/kg。

2 试验设计

试验设计采用 311A 氮磷钾最优混合试验, 试验重复 3 次^[2], 共需小区 33 个, 每小区面积 40 m²。在试验前对试验地土壤基础肥力进行采样分析。试验前试验地基本肥力状况测试值全盐 0.45 g/kg、有机质 1.8 g/kg、全氮 0.08 g/kg、全磷 0.46 g/kg、全钾 24.8 g/kg、速效氮 18 mg/kg、速效磷 2.6 mg/kg、速效钾 76 mg/kg。产量在 6 月 4 日和 8 月 10 日收割时统计, 具体施肥方案和苜蓿草产量见表 1。

表 1 苜蓿肥效试验施肥方案及产量统计(kg/667m²)

Table 1 Fertilizer experiment scheme and statistics of alfalfa yield

处理号 Treatment code	编码 Coding X ₁	施肥量 Dose N	编码 Coding X ₂	施肥量 Dose P	编码 Coding X ₃	施肥量 Dose K	第一茬 First reaping	第二茬 Second reaping	合计 Total
1	0	7.5	0	10	2	15	569.5	345.8	915.3
2	0	7.5	0	10	-2	0.0	590.5	296.4	886.9
3	-1.414	2.2	-1.414	2.93	1	11.25	525.0	253.3	778.3
4	1.414	12.8	-1.414	2.93	1	11.25	551.7	184.5	736.2
5	-1.414	2.2	1.414	17.07	1	11.25	416.3	377.6	793.9
6	1.414	12.8	1.414	17.07	1	11.25	486.2	299.1	785.3
7	2	15.0	0	10.0	-1	3.75	427.4	314.9	742.3
8	-2	0.0	0	10.0	-1	3.75	457.1	405.2	862.3
9	0	7.5	2	20.0	-1	3.75	425.0	273.2	698.2
10	0	7.5	-2	0.0	-1	3.75	466.1	249.2	715.3
11	0	7.5	0	10	0	7.5	567.4	386.2	953.6
Σ		82.5		110		82.5	5482.2	3385.4	8867.6

收稿日期: 2006-03-03
基金项目: 宁夏回族自治区发展和改革委员会科技攻关项目“城西滩扬黄灌区节水型高效生态农业建设技术与示范”。
作者简介: 王 峰 (1956—), 男, 宁夏吴忠人, 研究员, 主要从事生态农业治理与推广方面的研究。
(C)1994-2024 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 数据分析整理

数据统计处理采用 Excel 和 DPS 数据处理系统进行处理分析。

3.1 肥料产量效应方程

通过处理分析,得到苜蓿产量与氮磷钾之间的数学方程式如下: $Y = 653.55 + 21.30X_1 + 40.76X_2 + 6.40X_3 - 2.29X_1^2 - 2.24X_2^2 - 0.93X_3^2 + 0.22X_1X_2 + 0.75X_1X_3 + 0.42X_2X_3$ 式中, Y 为苜蓿鲜草产量, X_1 、 X_2 、 X_3 分别为氮、磷、钾肥施肥量,以下方程中变量同上。

对方程的显著性进行检验,各回归系数 P 值均小于 0.05(见表 2),说明各回归系数可以应用于方程。回归模型的复相关系数 R 、 F 检验值及显著水平 P ,一般要求显著水平小于等于 0.05,相关系数 $R = 0.99986$,决定系数 $R^2 = 0.9997$, F 值 = 388.5322, $df(9, 1)$ P 值 = 0.0394,剩余标准差 S

= 4.586,调整后的相关系数 $Ra = 0.9986$,表明该模型可以应用。表 3 中为 $X_0 - X_{10}$ 为方程中 10 个变量系数之间相关性比较表,反映各变量之间的关系。

表 2 方程系数显著性检验

Table 2 Significance test of equation coefficients

项目 Item	回归系数 Regression coefficient	标准系数 Standard coefficient	T 检验值 T test value	P 值 P value
b_1	21.3034	1.1778	19.9014	0.0025
b_2	40.7641	3.0056	50.7794	0.0004
b_3	6.4007	0.3540	5.1541	0.0356
b_4	-2.2895	-1.9883	40.3358	0.0006
b_5	-2.2433	-3.4642	70.2704	0.0002
b_6	-0.9334	-0.7992	13.2195	0.0057
b_7	0.2235	0.1854	5.1653	0.0355
b_8	0.7478	0.4651	12.9674	0.0059
b_9	0.4190	0.3476	9.6910	0.0105

表 3 变量之间相关性比较
Table 3 Correlation among variables

相关系数 Correlation coefficient	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	P 值 P value
X_1	1.000	0.000	0.000	0.955	0.000	0.000	0.667	0.667	0.000	-0.287	0.392
X_2	0.000	1.000	0.000	0.000	0.955	0.000	0.667	0.000	0.667	0.053	0.878
X_3	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.969	0.000	0.667	0.667	0.122	0.721
X_4	0.955	0.000	0.000	1.000	-0.026	-0.026	0.637	0.636	0.000	-0.339	0.308
X_5	0.000	0.955	0.000	-0.026	1.000	-0.026	0.637	0.000	0.637	-0.182	0.592
X_6	0.000	0.000	0.969	-0.026	-0.026	1.000	0.000	0.646	0.646	0.213	0.530
X_7	0.667	0.667	0.000	0.637	0.637	0.000	1.000	0.444	0.445	-0.136	0.691
X_8	0.667	0.000	0.667	0.636	0.000	0.646	0.444	1.000	0.445	-0.058	0.865
X_9	0.000	0.667	0.667	0.000	0.637	0.646	0.445	0.445	1.000	0.155	0.649
X_{10}	-0.287	0.053	0.122	-0.339	-0.182	0.213	-0.136	-0.058	0.155	1.000	0.000

3.2 单因子效应分析(其他因子为零水平)

$Y = 653.55 + 21.30X_1 - 2.29X_1^2$

$Y = 653.55 + 40.76X_2 - 2.24X_2^2$

$Y = 653.55 + 6.40X_3 - 0.93X_3^2$

由上述 3 个子模型直接看出:线性项对产量影响的大小顺序为施磷量(正效应)>施氮量(正效应)>施钾量(正效应);二次项反映各因子变化速率的快慢,施钾量(正效应)>施磷量(正效应)>施氮量(负效应)。由主效应模式得出各因子不同水平下的产量情况。从图 1 及表 4 中看出,当某两个因子为零水平时,氮肥用量表现为:随着施肥量增加,产量先略有高后又下降,且增加或减少的幅度较小,氮肥施肥量为 5.0 kg 时产量最大为 702.8 kg;磷肥用量

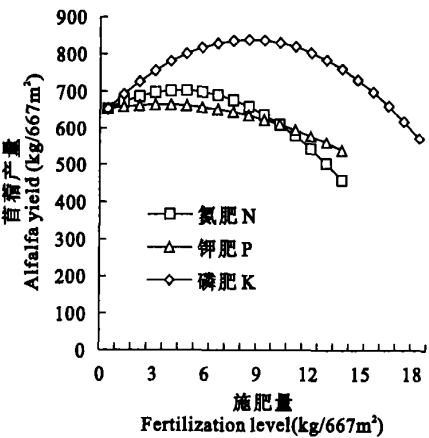


图 1 氮磷钾主因子对苜蓿产量影响

Fig. 1 Effect of N, P and K on yield of alfalfa

表现为:随着施肥量增加,产量先降低后又升高,且增加或减少的幅度最大,说明在低磷的情况下产量低而不稳定,磷肥施肥量为 9.30 kg 时产量最大为 838.6 kg;钾肥用量表现为:随着施肥量增加,产量

表现为下降趋势,城西滩土壤不缺钾肥^[3]。从变异系数上来看,钾肥施肥量多少,对产量影响小于氮肥和磷肥。

表 4 单因子效应分析(其他因子为零水平)

Table 4 Effect analysis of single factor (with other factors at 0 level) (kg/667m²)

N 施肥量 N fertilizer dose	苜蓿产量 Alfalfa yield	P 施肥量 P fertilizer dose	苜蓿产量 Alfalfa yield	K 施肥量 K fertilizer dose	苜蓿产量 Alfalfa yield
0.0	653.5	0.0	653.5	0.0	653.5
1.0	672.6	1.3	703.9	1.0	659.0
2.0	687.0	2.7	746.3	2.0	662.6
3.0	696.9	4.0	780.7	3.0	664.3
4.0	702.1	5.3	807.1	4.0	664.2
5.0	702.8	6.7	825.6	5.0	662.2
6.0	698.9	8.0	836.1	6.0	658.4
7.0	690.5	9.3	838.6	7.0	652.6
8.0	677.4	10.7	833.1	8.0	645.0
9.0	659.8	12.0	819.7	9.0	635.6
10.0	637.6	13.3	798.3	10.0	624.2
11.0	610.9	14.7	768.9	11.0	611.0
12.0	579.5	16.0	731.5	12.0	596.0
13.0	543.6	17.3	686.1	13.0	579.0
14.0	503.1	18.7	632.8	14.0	560.2
15.0	458.0	20.0	571.5	15.0	539.5
平均 Mean	638.75	平均 Mean	757.09	平均 Mean	630.38
S	72.40	S	76.56	S	38.48
CV(%)	11.33	CV(%)	10.11	CV(%)	6.1

3.3 两因子互作效应分析

3.3.1 氮肥、磷肥交互作用 $Y = 653.55 + 21.30X_1 + 40.76X_2 - 2.29X_1^2 - 2.24X_2^2 + 0.22X_1X_2$

表 5 中数据说明,在低 N 量及高 N 量下,产量随 P 肥增加逐渐增加;在施肥量为 8~12 kg/667m² 之间产量最高,随着 P 肥用量的增加又逐渐下降。在同一施磷水平下,施氮对产量的影响相对较大,其变异系数变化为 12.79%~17.23%。在低 P 和高 P 条件下,产量随 N 肥的增加先增加后减少;在同一施氮水平下,施磷对产量的影响相对稳定,变异系数为 9.52%~14.10%。说明氮肥与磷肥对苜蓿鲜草量而言存在一定的施肥区间,合理配合后可以增加苜蓿鲜草产量,施氮和施磷互作的最佳区域施用量为:施 N 2.5~7.5 kg/667m²,施 P 8~12 kg/667m²,可获得 850 kg/667m² 以上的产量。

3.3.2 氮肥、钾肥交互作用 $Y = 653.55 + 21.30X_1 + 6.40X_3 - 2.29X_1^2 - 0.93X_3^2 + 0.75X_1X_3$

表 6 中数据说明,在低 N 量及高 N 量下,产量随 K 肥增加逐渐增加;在施肥量为 5~7.5

kg/667m² 之间产量最高,随着 K 肥用量的增加又逐渐下降,在同一施 K 水平下,施 N 对产量的影响相对较大,其变异系数变化为 9.05%~14.10%。在低 K 和高 K 条件下,产量随 N 肥的增加先增加后减少;在同一施 N 水平下,施 K 对产量的影响变化不大,变异系数为 3.28%~7.43%。从表中可以看出施 N 和施 K 互作苜蓿产量低于 730.20 kg/667m²,也反映出 N、K 交互作用低于 N、P 交互作用。

3.3.3 磷肥、钾肥交互作用 $Y = 653.55 + 40.76X_2 + 6.40X_3 - 2.24X_2^2 - 0.93X_3^2 + 0.42X_2X_3$

表 7 中数据说明,在低 P 量及高 P 量下,产量随 K 肥增加先增加后下降,在同一施 K 水平下,施 P 对产量的影响相对较大,其变异系数变化为 12.96%~14.60%。在低 K 和高 K 条件下,产量随 N 肥的增加先增加后减少;在同一施 P 水平下,施 K 对产量的影响相对稳定,变异系数为 2.97%~7.43%。合理配合后可以增加苜蓿鲜草产量,施 N 和施 K 互作的最佳区域施用量为:施 P 8~12 kg/667m²,施 K 2.5~7.5 kg/667m²,可获得 850 kg/667m² 以上的产量。

表 5 N、P 交互作用对产量的影响
Table 5 Effect of N×P interaction on yield of alfalfa (kg/667m²)

N (kg/667m ²)	P (kg/667m ²)						CV (%)	平均 Average
	0	4	8	12	16	20		
15	457.96	598.53	667.32	664.32	589.53	442.96	17.23	570.10
12.5	562.10	700.44	766.99	761.76	684.73	535.93	14.74	668.66
10.0	637.63	773.73	838.05	830.58	751.32	600.28	13.41	738.60
7.5	684.54	818.41	880.49	870.78	789.29	636.01	12.79	779.92
5	702.83	834.46	894.31	882.36	798.64	643.12	12.69	792.62
2.5	692.50	821.89	879.51	865.33	779.37	621.62	13.08	776.70
0	653.55	780.71	836.09	819.68	731.48	571.49	14.04	732.16
CV (%)	14.10	11.12	9.84	9.52	10.11	12.23		
平均 Average	627.30	761.17	823.25	813.54	732.05	578.77		

表 6 N、K 交互作用对产量的影响
Table 6 Effect of N×K interaction on yield of alfalfa (kg/667m²)

K (kg/667m ²)	N (kg/667m ²)							CV (%)	平均 Average
	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15		
15	457.96	496.17	522.71	537.59	540.80	532.34	512.21	5.70	514.25
12.5	562.10	595.64	617.51	627.71	626.25	613.12	588.32	3.93	604.38
10	637.63	666.49	683.69	689.22	683.08	665.27	635.80	3.28	665.88
7.5	684.54	708.73	721.25	722.10	711.29	688.81	654.67	3.48	698.77
5	702.83	722.34	730.19	726.37	710.89	683.73	644.91	4.29	703.04
2.5	692.50	707.34	710.51	702.02	681.86	650.03	606.54	5.58	678.69
0	653.55	663.72	662.22	649.05	624.22	587.72	539.55	7.43	625.72
CV (%)	14.10	12.38	11.06	10.06	9.39	9.05	9.11		
平均 Average	627.30	651.49	664.01	664.87	654.05	631.58	597.43		

表 7 P、K 交互作用对效益的影响
Table 7 Effect of P×K interaction on yield of alfalfa (kg/667m²)

P (kg/667m ²)	K (kg/667m ²)							CV (%)	平均 Average
	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15		
20	571.49	602.61	622.07	629.85	625.97	610.42	583.21	3.67	606.52
16	731.48	758.41	773.67	777.27	769.19	749.46	718.05	2.97	753.93
12	819.68	842.42	853.49	852.89	840.63	816.70	781.11	3.12	829.56
8	836.09	854.64	861.52	856.73	840.28	812.16	772.37	3.80	833.40
4	780.71	795.07	797.76	788.78	768.14	735.83	691.85	5.06	765.45
0	653.55	663.72	662.22	649.05	624.22	587.72	539.55	7.43	625.72
CV (%)	14.04	13.38	13.02	12.96	13.17	13.70	14.60		
平均 Average	732.16	752.81	761.79	759.10	744.74	718.72	681.02		

4 产量模型的优化

根据 311-A 试验,模式在-2~2 之间共有 7³ = 343 方案,其中:产量最高为 Y = 957.15 kg/667m²,对应的氮肥取值 6.51 kg/667m²、磷肥取值 10.19 kg/667m²、钾肥取值 8.32 kg/667m²;效益最高施肥方案,产量为 Y = 872.63 kg/667m²,产值为 191.82 元/667m²,效益为 168.62 元/667m²,对应的氮肥取值 3.13 kg/667m²、磷肥取值 6.51 kg/667m²、钾肥取值 0 kg/667m²。

产量模型优化寻优,产量大于 900 kg/667m² 的方案有 19 套,大于 850 kg/667m² 小于 900 kg/667m² 的有 44 套,其他见表 10。根据盐池县城西滩苜蓿生产状况,选择产量大于 850 kg/667m² 为优域,在 63 套方案中,肥料试验编码取值频率分布情况见表 8。频率分析表明,在本试验条件下,苜蓿产量大于 850 kg/667m² 的农艺措施为:施氮肥 5.524~7.805 kg/667m²、磷肥 10.86~12.856 kg/667m²、钾肥 0.583~3.749 kg/667m²。

表 8 苜蓿肥料试验的频率分析
Table 8 Frequency analysis of alfalfa fertilizer experiment

因素水平 Factor level	施 N N application		施 P ₂ O ₅ P ₂ O ₅ application		施 K ₂ O K ₂ O application	
	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency
2	0	0.00	0	0.00	4	6.35
1.414	4	6.35	1	1.59	9	14.29
1	9	14.29	16	25.40	11	17.46
0	19	30.16	33	52.38	13	20.63
−1	17	26.98	13	20.63	10	15.87
−1.414	11	17.46	0	0.00	9	14.29
−2	3	4.76	0	0.00	7	11.11
Σ	63	100	63	100	63	100
X _i	−0.2229		0.3719		−0.4224	
S _{X_i}	0.7843		0.5137		1.0886	
95%置信域 95% believable range	−0.5270~0.0812		0.1727~0.5711		−0.8446~−0.0003	
农艺措施 Agronomic measures	5.524~7.805		10.86~12.856		0.583~3.749	

5 小 结

1) 试验结果表明,磷肥是影响城西滩扬黄灌区苜蓿的主要因素,可看出对产量影响大小顺序为:磷>氮>钾。在不同肥料的交互作用中,P、K 的交互作用对产量影响最大,P×K>N×P>N×K,N、K 的交互效应较小。

2) 施肥效果除受土壤基础养分影响以外,还受到降水、气温等其它气候因素及耕作方式的影响。施肥决策考虑的因素多,是一个复杂的过程,本试验对此作了初步分析和探讨^[4~6]。此外,本试验所在试验地为新开垦 3 a 灌区,在施肥选择上有别于成熟多年耕作的井灌区,因此在具体施肥时,应根据具体情况,参考本试验结果,进行合理施肥决策。城西滩新灌区属于不缺钾肥地区,因此,施肥以氮肥、磷

肥为主,施肥量以 1:2 比较合适。

参 考 文 献:

[1] 温学飞,王 峰,石治林,等.盐池县城西滩扬黄灌区生态农业建设[A].谢应忠,孙权.宁夏生态环境恢复重建的理论与实践[C].银川:宁夏人民出版社,2004,12:250—252.

[2] 王 峰,王顺霞,王占军,等.不同施肥水平与组合对玉米生产性能的影响研究[J].干旱区资源与环境,2005,19(4):167—161.

[3] 孙兆敏,尚爱军,杨世琦,等.宁南山区不同施肥模式对苜蓿地上生物量的影响研究[J].中国农学通报,2005,21(3):55—56.

[4] 储国良,丁剑英,付反生,等.南方丘陵坡地紫花苜蓿施肥效应初探[J].饲草饲料,2003,3:17—19.

[5] 李德荣,舒俭民,程建峰,等.氮磷钾配施对百喜草干物质积累及其动态变化的影响[J].草业学报,2004,13(5):60—65.

[6] 邓 蓉,向清华.合理施肥改善牧草营养提高草食家畜的生产能力[J].草食家畜,2003,3:60—65.

Effects of optimum mixed fertilization on yield of alfalfa in irrigation area of Yellow River in south Ningxia

WANG Feng¹, WEN Xue-fei¹, MA Ming², ZOU Jun², YANG Cai-xia²

(1. Desert Institute, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China;
2. Ningxia Development and Reform Committee, Yinchuan 750001, China)

Abstract: The 3-factors optimum design experiment was conducted to investigate the dynamic relation between different levels and combinations of nitrogenous, phosphate and potassium fertilizers and yield of alfalfa. The results showed that the influence of phosphate fertilizer to yield was the largest, that of nitrogenous fertilizer was the second, and that of potassium fertilizer was the smallest. The optimum range of alfalfa yield was larger than 850 kg/667 m². In the 63 sets of scheme under test condition, the agronomic measures for the yield of more than 850 kg/667m² was: nitrogenous fertilizer 5.524~7.805 kg/667m², phosphate fertilizer 10.86~12.856 kg/667m², and potassium fertilizer 0.583~3.749 kg/667m².

Keywords: alfalfa; fertilizer application; 3-factors optimum design; irrigation area of Yellow River
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>