

施肥对不同品种苜蓿生产力及土壤肥力的影响

韩清芳, 周芳, 贾珺, 贾志宽*, 聂俊峰

(西北农林科技大学干旱半干旱农业研究中心, 农业部旱地作物生产与生态重点开放实验室, 陕西杨陵 712100)

摘要:研究了不同施肥处理对生长 7 年的 3 个紫花苜蓿品种的产量及土壤养分的影响。结果表明, 氮、磷配施和单施钾肥对苜蓿均有显著的增产效果, 不同施肥对不同品种的生产力影响效果不同。 $N_{30}P_{120}$ 处理巨人 201 + Z 和牧歌 401 + Z 产量最高, 分别比对照增产 41.1% 和 74.8%; 单施 K_{60} 处理, 路宝比对照增产了 76.7%。种植苜蓿可以提高土壤氮的有效性, 生长 7 年的苜蓿根系固氮在土壤仍有累积。种植苜蓿, 不施肥处理土壤全氮含量均有不同程度的增加, 而土壤全磷和全钾略有下降。3 个品种苜蓿的土壤速效磷含量随磷肥用量的增加而增加, $N_{30}P_{120}$ 处理土壤速效磷增加 11.45 ~ 41.7 mg/kg; 单施钾肥, 土壤速效磷含量提高了 3.71 ~ 4.41 mg/kg, 全钾含量增加了 0.06 ~ 1.69 mg/kg。

关键词: 施肥; 紫花苜蓿品种; 土壤肥力; 干草产量

中图分类号: S541.4.06

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)06-1413-06

Effect of fertilization on productivity different producing performance alfalfa varieties and soil fertility

HAN Qing-fang, ZHOU Fang, JIA Jun, JIA Zhi-kuan*, NIE Jun-feng

(The Arid and Semi-arid Areas Agriculture Research Center, Key Laboratory of Crop Production and Ecology, Minister of Agriculture/Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The report studied the effects of different fertilizer treatments on the growth of the 7th years-old of 3 different production performance alfalfa (*Medicago sativa*) varieties, as well as changes in soil nutrients. The results showed: NP combined application and K fertilization alone can significantly increase the yield of all different alfalfa varieties. Different fertilization shows different impact on the productivity of different varieties. When applied $N_{30}P_{120}$, the highest forage production was obtained for both Ameri Stand 201 + Z and Ameri Graze 401 + Z reached, increasing 41.1% and 74.8% more than that of non-fertilizer respectively. When applied K_{60} , Lobo will gain the largest production increase (76.7%). Planting alfalfa can improve the soil N availability, and it is accumulated in soil that the nitrogen was fixed by roots of the 7th years-old alfalfa (sentence is not clear). The soil N content of non-fertilization increases with alfalfa planting, but total P, total K in soil decreased. The impacts of fertilization on soil fertility are different with different alfalfa varieties planting. The soil available P content increases with increases of P fertilization. Applying K alone can raise the soil available P content (3.71-4.41 mg/kg) and total K content (0.06-1.69 mg/kg).

Key words: fertilization; alfalfa variety; soil fertility; dry forage yield

苜蓿为多年生植物, 连续多年生长对土壤养分的持续消耗是影响其草地生产力的重要因素。多年来的生产实践证明, 施肥与苜蓿高产有着很大的关系。有研究认为, 种植苜蓿能够提高土壤肥力^[1]。

多年连续种植苜蓿对土壤水分过耗是影响其轮作后茬作物产量的主要原因; 大量研究集中于种植苜蓿对其他作物的影响及不同生长年限苜蓿的土壤肥力差异分析方面^[2-3], 关于苜蓿品种间的生产力及引

收稿日期: 2008-10-13 接受日期: 2009-01-04

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2006BAD29B03); 陕西省自然科学基金(2006CI05); 西北农林科技大学植物育种专项(05YZ019)资助。

作者简介: 韩清芳(1969-), 女, 陕西周至人, 副教授, 主要从事旱区农业资源管理与牧草资源开发研究。

Tel: 029-87080168, E-mail: hanqf88@126.com * 通讯作者 E-mail: zhikuan@tom.com

起的土壤养分差异研究甚少。许多研究表明,适时适量的施入氮肥对苜蓿有一定的增产效果,施磷肥对苜蓿增产有重要作用^[4-6],认为紫花苜蓿获得高产的主要决定因素为磷^[7]。传统的观念认为,豆科牧草苜蓿属养地作物,但作为高蛋白植物,收获时平均每吨干草带走氮素约 27 kg^[8-9],多年连续生长会显著消耗土壤氮素^[10]。目前国内外关于苜蓿的施肥研究结论不尽相同,最突出的是氮、磷、钾的施用种类及其合理配比问题,我国关于 NP、NPK 配施对苜蓿产量的影响已有许多报道^[11-12],而苜蓿施钾肥的作用研究却不多,且认为我国北方地区苜蓿地施钾肥生产意义较小^[13]。由于钾对苜蓿早期生长很关键^[14],作为耗钾作物,在土壤不施钾肥的情况下,苜蓿生长长期消耗土壤钾素,会造成固氮酶活性降低,进而影响苜蓿生长。国外有研究表明,在富钾地区,施钾肥可提高苜蓿产量^[15]。本试验对不同苜蓿品种施氮、磷、钾肥后的产草量差异以及苜蓿草地土壤养分的变化状况进行分析,旨在为紫花苜蓿高产优质栽培提供科学依据和施肥管理技术。

1 材料与方方法

1.1 试验地概况

试验于陕西杨凌西北农林科技大学农作试验一站进行。该站位于秦岭北麓,渭河平原西部的头道塬上,北纬 34°21',东经 108°10',海拔 454.8m,平均日照时数 2150 h,年平均气温 12~14℃,极端最高气温 39~40℃,极端最低气温 -15~-21℃,年平均降水量 580.5 mm,平均蒸发量 933 mm。春季降水量偏少、干旱,雨量主要集中在 7、8、9 三个月,属暖温带半湿润易旱气候。土壤属褐土类塬土亚类,土层深厚,通气良好。

3 个紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 于 2001 年春季毗邻而种,品种为巨人 201 + Z(持续生产力较高,简称巨人),牧歌 401 + Z(简称牧歌)、路宝(持续生产力均较低)。6 年均未施肥,20 cm 耕层土壤养分状况见表 1。苜蓿生长第 6 年(2006 年)三茬干草总产量为:巨人 12181 kg/hm²、牧歌 10184 kg/hm²、路宝 9486 kg/hm²。

表 1 试验地 0—20 cm 土壤基础养分状况

Table 1 Initial fertility of experimental soil for 0—20 cm layer

品种 Varieties	有机质	全氮	全 P	全 K	碱解氮	速效 P	速效 K	
	OM	Total N	Total P	Total K	Alkali-hydr. N	Avail. P	Avail. K	
		(g/kg)				(mg/kg)		
巨人 201 + Z	Ameri Stand 201 + Z	13.47	1.12	0.15	12.91	56.26	5.64	96.47
牧歌 401 + Z	Ameri Graze 401 + Z	13.95	1.12	0.15	11.70	61.98	4.41	84.83
路宝	Lobo	12.97	1.05	0.15	11.78	47.11	3.76	85.03

1.2 试验设计

试验设 4 个施肥处理: 1) 不施肥(CK); 2) 单施钾肥, K₂O 60 kg/hm² (K₆₀); 3) 氮、磷配施, N₃₀ kg/hm²、P₂O₅ 60 kg/hm² (N₃₀P₆₀); 4) 氮、磷加量配施, N₃₀ kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm² (N₃₀P₁₂₀)。随机区组设计,小区面积 2 m × 4.5 m, 3 次重复。供试氮肥为尿素(N ≥ 46%), 磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ ≥ 12%), 钾肥为硫酸钾(K₂O ≥ 50%)。按设计要求, N₃₀为施尿素 65.22 kg/hm²; P₆₀为施过磷酸钙 500 kg/hm², P₁₂₀为施过磷酸钙 1000 kg/hm²; K₆₀为施硫酸钾 120 kg/hm²。肥料分别于 2007 年前三茬每茬再生期(返青或刈割后 5 d)按施肥量的 1/3 沟施,深度约 15~20 cm。生育期间不灌水,田间适时人工除草。2007 年 3 茬生长期降水量分别为 12.2、94.2、141.8 mm。

1.3 测试项目及方法

各茬初花期齐地刈割,测定各施肥处理下不同品种苜蓿的产草量,取样方面积 1.0 m²,称鲜重,当年刈割 3 次。鲜样于 105℃ 杀青 15 min, 65℃ 烘干 24 h 至恒重,计算苜蓿的鲜、干比,换算干草产量。

分别于每茬收获后各处理小区采集 0—20 cm 土壤混合样,自然风干,研磨、过筛,密封袋保存。全氮用半微量开氏法测定,全磷用高氯酸-浓硫酸外加热消煮,钼锑抗比色法测定;全钾采用高氯酸-浓硫酸外加热消煮,火焰光度计法测定;碱解氮用碱解扩散法;速效磷用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提,分光光度计法;速效钾用 1.0 mol/L 醋酸铵浸提,火焰光度法测定。

试验数据用 Excel 软件和 DPS 统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 施肥对不同苜蓿品种的增产效应

2007 年第一茬于 5 月 16 日,第二茬 6 月 20 日,第三茬 8 月 3 日收割。不同施肥处理对紫花苜蓿干草产量的影响(表 2)看出,苜蓿连续种植 7 年,3 个品种生产力存在差异。巨人的 3 茬总干草产量最高,路宝最低。氮、磷配施和单施钾肥对生长 7 年的

苜蓿均有显著的增产作用。其中, $N_{30}P_{120}$ 处理, 巨人获最大干草产量, 3 茬总产量达 13139 kg/hm^2 ; 牧歌增产幅度最大, 达 74.8%。巨人和牧歌 2 个品种在氮肥水平相同条件下增施磷肥, 获得的干草产量随磷肥用量的增加而升高。 K_{60} 处理的各苜蓿品种中, 路宝产量增幅达 76.7%。表明氮磷肥配施对巨人和牧歌 2 个苜蓿品种的增产作用最显著, 钾肥对路宝增产作用明显。

表 2 不同施肥处理的苜蓿品种各茬次干草产量(kg/hm^2)

Table 2 The dry forage yield of alfalfa with different treatments

品种 Varieties	处理 Treatments	第 1 茬 1st harvest	第 2 茬 2nd harvest	第 3 茬 3rd harvest	年总产 Total yield	增产(%) Increase
巨人 201 + Z <i>Ameri Stand</i> 201 + Z	CK	3611	1937	3763	9311 cC	
	K_{60}	4298	2533	5267	12098 bB	30.0
	$N_{30}P_{60}$	4361	2852	5395	12608 bAB	35.4
	$N_{30}P_{120}$	4415	2690	6034	13139 aA	41.1
牧歌 401 + Z <i>Ameri Graze</i> 401 + Z	CK	2693	1303	2873	6869 cC	
	K_{60}	3769	2137	5022	10928 bB	59.1
	$N_{30}P_{60}$	3868	2040	5932	11840 aA	72.4
	$N_{30}P_{120}$	4349	1939	5720	12008 aA	74.8
路宝 <i>Lobo</i>	CK	2325	1310	2684	6319 cC	
	K_{60}	2756	3272	5137	11165 aA	76.7
	$N_{30}P_{60}$	3096	1859	5301	10256 bAB	62.3
	$N_{30}P_{120}$	2733	2143	5014	9890 bB	56.5

注: 同列数值后不同大、小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平, 下同。

Note: Values followed by different capital and small letters within a column mean significant at 1% and 5% levels, respectively. The same as other tables.

2.2 施肥对不同品种苜蓿地土壤肥力的影响

2.2.1 全氮与碱解氮的变化 不施肥小区苜蓿收获 3 茬后, 3 品种 20 cm 土层全氮含量略有增加(表 3) 增加幅度在 $0.03 \sim 0.07 \text{ g/kg}$ 。说明其根系固氮除生长消耗外有富余, 但品种间差异较大。施肥前 3 个苜蓿品种已种植 6 年, 主要依靠根瘤菌固氮及土壤基础肥力来维持自身生长对氮的需要, 由于品种生长特性差异而导致土壤全氮有一定的差异。

施肥对不同苜蓿品种的土壤全氮含量影响并不一致。巨人各施肥区的土壤全氮含量均较对照区有所增加, 而牧歌和路宝各施肥处理的全氮含量均低于对照(不施肥), 且差异显著。这可能是由于持续生产力较高的品种巨人施肥后在产量增加的同时, 提高了根系活力, 固氮能力增强, 使土壤全氮含量提高; 持续生产力较低品种牧歌和路宝, 施肥后伴随产量的提高, 加速了土壤氮素的吸收消耗, 土壤全氮含量下降。3 个品种不施肥处理的 20 cm 土层碱解氮含量均有不同程度的增加($0.68 \sim 5.68 \text{ mg/kg}$),

表 3 不同施肥处理对不同品种苜蓿地土壤氮素的影响

Table 3 Effect of different treatments on soil N content

品种 Varieties	处理 Treat.	全氮(g/kg) Total N		碱解氮(mg/kg) Alkali-hydro N	
		含量 Content	增减 Changes	含量 Content	增减 Changes
巨人 201 + Z <i>Ameri Stand</i>	CK	1.17 b		56.94 c	
	K_{60}	1.22 b	0.05	66.24 b	9.30
	$N_{30}P_{60}$	1.22 b	0.05	64.27 b	7.33
201 + Z	$N_{30}P_{120}$	1.37 a	0.20	71.85 a	14.91
牧歌 201 + Z <i>Ameri Graze</i>	CK	1.19 a		63.69 a	
	K_{60}	1.13 b	-0.06	62.78 a	-0.91
	$N_{30}P_{60}$	1.10 b	-0.09	57.99 a	-5.70
401 + Z	$N_{30}P_{120}$	1.07 c	-0.12	48.17 b	-15.52
路宝 <i>Lobo</i>	CK	1.08 a		52.79 a	
	K_{60}	1.03 b	-0.05	46.71 b	-6.08
	$N_{30}P_{60}$	0.83 d	-0.25	24.78 d	-28.01
	$N_{30}P_{120}$	0.98 c	-0.10	41.94 c	-10.85

但品种间存在差异。巨人各施肥区的土壤碱解氮含量均高于不施肥区,而牧歌和路宝各施肥处理的土壤碱解氮含量均低于对照(不施肥),与全氮含量变化一致。

相同氮肥水平下增施磷肥,3个品种土壤全氮和碱解氮含量变化不同。巨人和路宝2个品种的土壤全氮和碱解氮含量随着磷肥用量的提高而增加,牧歌则随着P肥的增加而降低。单施K肥,提高了巨人品种土壤全氮和碱解氮含量,而牧歌和路宝的土壤全氮和碱解氮含量均下降,碱解氮含量的降幅较氮、磷配施低。

2.2.2 全磷与速效磷的变化 苜蓿收获后,巨人和牧歌2个品种的不施肥小区土壤全磷含量基本无变化,路宝则略有下降(表4)。磷肥的施入有助于稳定和增加土壤磷库水平,除巨人 $N_{30}P_{60}$ 处理外,3个品种其余各施肥处理土壤全磷含量均大于相应品种的对照,且各品种 $N_{30}P_{120}$ 处理土壤全磷含量显著高于 $N_{30}P_{60}$ 处理;牧歌和路宝2品种与对照差异显著。单施钾肥,巨人和牧歌2个品种土壤全磷含量与对照差异不显著,路宝 K_{60} 处理显著高于对照。相对低量的氮磷肥施入对土壤全磷含量贡献不大,较高量的氮磷肥施入后,牧歌和路宝2个品种的土壤全磷含量显著高于不施肥处理,巨人土壤全磷含量较不施肥处理也有所增加(0.02 g/kg)。

随着苜蓿生长消耗,3个品种的不施肥处理土壤速效磷含量均呈下降趋势。除巨人 $N_{30}P_{60}$ 处理

外,各品种其余各施肥处理的土壤速效磷含量均显著高于对照;3个苜蓿品种 $N_{30}P_{120}$ 处理的土壤速效磷含量均显著高于 $N_{30}P_{60}$ 和 K_{60} 处理,单施钾肥处理的土壤速效磷含量也显著高于对照,说明适量施用钾肥可适当提高土壤磷的有效性。相同氮素水平条件下, P_{120} 比 P_{60} 处理更能有效的提高土壤全磷和速效磷含量,牧歌品种的土壤磷素增加最明显,路宝次之。

2.2.3 全钾与速效钾的变化 除了苜蓿的吸收利用外,土壤中钾素的固定及淋洗,对土壤供钾能力及其肥效影响很大。表5可见,不施肥区的3个苜蓿品种经过3茬的生长、刈割,带走了土壤中的部分钾素,土壤全钾含量略有降低,下降程度因品种不同存在差异。巨人下降幅度最大(0.52 g/kg),牧歌最小(0.06 g/kg)。3个品种各施肥处理中,氮、磷配施在一定程度上促进了土壤自然钾素的迁徙上移, $N_{30}P_{120}$ 处理的0—20 cm土壤全钾含量均较对照高,但差异不显著。单施钾肥,路宝品种土壤全钾含量显著高于对照区,巨人和牧歌2个品种与对照差异不显著。

在不施肥的情况下,土壤的钾库处于不断被苜蓿吸收利用的状态,3个品种不施肥区的土壤速效钾含量均存在不同程度的下降(表5),路宝下降幅度最大(7.38 mg/kg),说明路宝对速效钾的吸收和消耗相对较大。各施肥处理中,3个品种NP配施处理的土壤速效钾含量均较不施肥处理低,说明氮、磷肥配施促进生长的同时,增加了对土壤钾素的消耗,

表4 不同施肥处理对不同品种苜蓿地土壤磷素的影响

Table 4 Effect of different treatments on soil P content

品种 Varieties	处理 Treat.	全磷 (g/kg) Total P		速效磷 (mg/kg) Avail. P	
		含量 Content	增减 Changes	含量 Content	增减 Changes
		巨人 201 + Z	CK	0.15 ab	
Ameri Stand 201 + Z	K_{60}	0.15 ab	0	9.35 b	5.47
	$N_{30}P_{60}$	0.13 b	-0.02	1.15 c	-2.73
	$N_{30}P_{120}$	0.17 a	0.02	17.09 a	13.21
牧歌 401 + Z	CK	0.15 b		3.87 d	
Ameri Graze 401 + Z	K_{60}	0.16 b	0.01	8.82 c	4.95
	$N_{30}P_{60}$	0.16 b	0.01	10.06 b	6.19
	$N_{30}P_{120}$	0.25 a	0.10	46.11 a	42.24
路宝	CK	0.10 d		1.06 d	
Lobo	K_{60}	0.17 b	0.07	7.54 b	6.48
	$N_{30}P_{60}$	0.13 c	0.03	2.99 c	1.93
	$N_{30}P_{120}$	0.20 a	0.10	32.02 a	30.96

表5 不同施肥处理对不同品种苜蓿地土壤钾素的影响

Table 5 Effect of different treatments on soil K content

品种 Varieties	处理 Treat.	全钾 (g/kg) Total K		速效钾 (mg/kg) Avail. K	
		含量 Content	增减 Changes	含量 Content	增减 Changes
		巨人 201 + Z	CK	12.39 a	
Ameri Stand 201 + Z	K_{60}	12.45 a	0.06	92.02 a	0.17
	$N_{30}P_{60}$	11.75 a	-0.64	70.43 c	-21.42
	$N_{30}P_{120}$	12.83 a	0.44	88.13 b	-3.72
牧歌 401 + Z	CK	11.64 ab		80.73 a	
Ameri Graze 401 + Z	K_{60}	13.33 a	1.69	78.57 b	-1.16
	$N_{30}P_{60}$	11.14 b	-0.50	72.65 c	-8.18
	$N_{30}P_{120}$	12.15 ab	0.51	67.43 d	-13.30
路宝	CK	11.51 b		77.65 a	
Lobo	K_{60}	12.39 a	0.88	66.84 b	-10.81
	$N_{30}P_{60}$	11.77 b	0.26	62.23 c	-15.42
	$N_{30}P_{120}$	12.11 ab	0.60	57.97 c	-19.68

不施用钾肥,土壤中钾处于潜在性耗竭状态。单施钾肥(K_{60})处理的土壤速效钾含量显著高于 $N_{30}P_{60}$ 和 $N_{30}P_{120}$ 处理,这是由于施钾肥在一定程度上补充了土壤中由苜蓿生长所带走的钾素。但是,由于路宝吸收土壤中的钾素的能力较其余2个品种强,虽施钾肥,土壤速效钾仍下降了 10.81 mg/kg 因此施钾增产效果高于其余2个品种。

施入相同量氮肥,3个品种的土壤全钾含量随磷肥用量的增加而增加,表明在苜蓿生产中可以通过“以磷促钾”提高表层土壤养分含量。牧歌和路宝的速效钾含量随着磷肥量的增加而减少,这是由于不同苜蓿品种的需肥特性不同。单施钾肥,3个品种的土壤全钾含量均大于对照,说明增施钾肥可以适当的提高表层土壤全钾含量。

3 讨论

1) 长期土壤肥力试验表明^[16],不施肥而极度贫瘠的土壤,一旦施以足量化肥,即可使作物产量跃升到高产水平。苜蓿产草量随着生育年限的延长而出现下降的趋势,种植7年后开始衰退^[17],通过施肥可以提高产草量,延缓苜蓿的衰老。本试验表明,苜蓿施肥的增产作用主要表现在第3茬,3个品种 $N_{30}P_{60}$ 、 $N_{30}P_{120}$ 处理的平均增产幅度达 82.5% 、 82.1% 。但品种间存在较大差异, $N_{30}P_{60}$ 、 $N_{30}P_{120}$ 处理,生长第7年巨人的增产幅度在 $43.6\%\sim 60.4\%$;而牧歌和路宝增产幅度在 $74.8\%\sim 106.5\%$ 。这是由于试验区域苜蓿第3茬生长期为雨季,降雨量较多,产生水肥耦合效应所致;也说明在半湿润易旱区,对于随着生长年限的延长出现的生产力衰退主要受土壤肥力下降影响,可以通过在雨季施肥恢复。

有试验表明,相对较低施钾水平有利于鲜草产量的提高,而较高施钾水平对苜蓿增产效应不明显,甚至有负作用^[7]。本试验表明,对苜蓿而言,钾肥的增产效果在品种间表现出很大差异。对于巨人和牧歌2个品种,在保证氮素供应的基础上增施磷肥,可以获得较大干草产量;对于路宝品种,施用钾肥是增加干草产量的关键。同种作物因品种间生产力的差异,需要的营养也存在差异,可见,苜蓿施肥需因品种而异。

2) 苜蓿根系的固氮作用主要表现在 $0\sim 10\text{ cm}$ 土层内,土壤各养分含量均有表聚现象^[18],表土养分的变化是表征紫花苜蓿对土壤养分作用的重要方面。长期以来,人们普遍认为,苜蓿可以固氮来满足自身生长发育的需要,生长过程中氮的供应与否对

其影响并不大。本试验看出,种植苜蓿可以提高土壤氮的有效性,生长第7年苜蓿根系固氮除生长消耗外仍有富余,但品种间差异较大。

苜蓿喜磷,其为根瘤的固氮作用提供能量,但随着生长消耗磷、钾素而补充有限(仅为根系腐败提供)。在不施肥或少施肥的情况下,种植苜蓿几年后,大量消耗土壤中的磷,不仅速效磷含量下降^[2],而且土壤中不易溶解的磷也会因转化消耗而导致磷水平下降,从而导致苜蓿产量下降^[19]。施磷可促进豆科作物核糖核酸的合成,从而使根瘤固氮活性提高,达到以磷促氮的效果,增施磷肥能显著提高土壤速效磷含量^[20-21]。本试验的3个苜蓿品种中,巨人品种在增施磷肥后能够增加土壤的氮素含量,而牧歌和路宝2个品种均表现为下降趋势,说明磷肥的施入,提高了生产性能较差的苜蓿品种的生产力,从而增加其对氮素的消耗。增施磷肥能显著提高3个苜蓿品种的土壤全磷和速效磷含量,单施钾肥的3个品种的速效磷含量均显著高于对照,说明磷、钾肥能有效增加表土磷素含量。

苜蓿是需高钾植物,土壤速效钾容易受施肥、温度、水分和作物吸收等影响而变化。张效朴^[22]研究表明,作物不施钾肥处理的土壤速效钾含量大幅度下降,而施钾肥的土壤速效钾含量也有下降的趋势,与本试验结果相同。土壤中存在矿物钾、缓效钾和速效钾之间的动态平衡关系,因此,施肥对土壤钾库的影响存在复杂性。

3) 大田生产中紫花苜蓿的产量影响因素很复杂,水分、养分及温度、湿度等气候因素都是重要的影响因子。施肥是苜蓿获得高产的关键环节。合理施肥不仅能够改善苜蓿的生长,还能增强苜蓿对病、虫害等逆境胁迫的抗性。慕韩铎^[23]的研究认为, $0\sim 20\text{ cm}$ 为土壤全磷显著累积层,磷素向下的移动性很小,深耕施肥有利于作物产量的提高。另外,肥效的发挥还受时间的影响。依据目前已有的研究资料,我国的氮肥当季利用率为 $30\%\sim 40\%$,磷肥的当季利用率只有 $10\%\sim 25\%$,钾肥的当季利用率一般在 45% 左右^[24]。磷肥当季利用率虽低,但其后效明显,一般基施一次可发挥肥效 $2\sim 3$ 茬,因此可利用豆科作物喜磷和吸磷能力较强的特点,在较长年限的苜蓿田增施磷肥来提高生产效益,但不宜盲目大量施入磷肥,磷素过多会降低一些微量元素的有效性,而且土壤磷素的过量积累也会导致环境污染。苜蓿地长期施用磷肥后,其适宜用量调整有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 万素梅, 胡建宏, 胡守林, 等. 不同紫花苜蓿品种水分利用效率研究[J]. 西北农业学报, 2004, 13(2): 133-137.
Wan S M, Hu J H, Hu S L *et al.* The study on water use efficiency of alfalfa cultivars in Weibei High Plateau[J]. *Acta Agric. Bor.-Occid. Sin.*, 2004, 13(2): 133-137.
- [2] 杨恒山, 曹敏建, 范富, 等. 紫花苜蓿生长年限对土壤理化性状的影响[J]. 中国草地学报, 2006, 28(6): 29-32.
Yang H S, Cao M J, Fan F *et al.* Effects of the number of growth years of alfalfa on the physical and chemical properties of soil[J]. *Chin. J. Grassl.*, 2006, 28(6): 29-32.
- [3] 王俊, 李凤民, 贾宇, 等. 半干旱黄土区苜蓿草地轮作农田土壤氮、磷和有机质变化[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 439-444.
Wang J, Li F M, Jia Y *et al.* Dynamics of soil nitrogen, phosphorus and organic matter in alfalfa-crop rotated farmland in semiarid area of Northwest China[J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(3): 439-444.
- [4] 陈磊, 郝明德, 张少民, 等. 黄土高原旱地施肥对小麦与苜蓿土壤水分养分含量的影响[J]. 草地学报, 2007, 15(4): 371-375.
Chen L, Hao M D, Zhang S M *et al.* Effect of long-term fertilization on the soil water and nutrient contents of rainfed wheat and alfalfa lands in Loess Plateau[J]. *Acta Agraria Sin.*, 2007, 15(4): 371-375.
- [5] Griffith W K. Satisfying the nutritional requirements of established legumes[A]. May D A (ed.). Forage fertilization[M]. Madison: Wis, 1974. 147-169.
- [6] 张积祥, 李松. 紫花苜蓿 NP 肥配施研究[J]. 草业科学, 1990, 7(4): 70-72.
Zhang J X, Li S. A study on N and P applied of alfalfa[J]. *Pratacul. Sci.*, 1990, 7(4): 70-72.
- [7] 杨恒山, 曹敏建, 李春龙, 等. 苜蓿施用磷、钾肥效应的研究[J]. 草业科学, 2003, 20(11): 19-22.
Yang H S, Cao M J, Li C L *et al.* Effects of superphosphate and potassium chloride fertilization on alfalfa[J]. *Pratacul. Sci.*, 2003, 20(11): 19-22.
- [8] 蒂斯代尔 S L, 纳尔逊 W L, 毕滕 J D (金继运, 等译). 土壤肥力与肥料[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
Tisdale S L, Nelson W L, Beaton J D (Transl. by Jin J Y *et al.*). Soil fertility and fertilizers[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998.
- [9] Miller D A. Forage crops[M]. McGRAW-HILL: Book Company, 1984.
- [10] 樊军, 郝明德, 邵明安. 黄土高原沟壑区草地土壤深层干燥化与氮素消耗[J]. 自然资源学报, 2004, 19(2): 201-205.
Fan J, Hao M D, Shao M A. Soil desiccation and nitrogen consumption of artificial meadow in the Loess Plateau[J]. *J. Nat. Resour.*, 2004, 19(2): 201-205.
- [11] 郝明德, 张春霞, 魏孝荣, 等. 黄土高原地区施肥对苜蓿生产力的影响[J]. 草地学报, 2004, 12(3): 195-198.
Hao M D, Zhang C X, Wei X R *et al.* Effect of rotation and fertilization to alfalfa productivity on the Loess Plateau[J]. *Acta Agraria Sin.*, 2004, 12(3): 195-198.
- [12] Sanderson M A, Jones R M. Stand dynamics and yield components of alfalfa as affected by phosphorus fertility[J]. *Agron. J.*, 1993, 85: 241-246.
- [13] 王维敏. 中国北方旱地农业技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
Wang W M. Dryland agricultural technology in Northern China[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1994.
- [14] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
Lu J L. Plant nutrition[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2003.
- [15] Barbarick K A. Potassium fertilization of alfalfa grown on a soil high in potassium[J]. *Agron. J.*, 1985, 77: 442-445.
- [16] 沈善敏. 长期土壤肥力试验的科学价值[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(1): 1-9.
Shen S M. The scientific value of long-term soil fertility experiment[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 1995, 1(1): 1-9.
- [17] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报, 2002, 35(3): 404-411.
Li Y S. Productivity dynamic of alfalfa and its effects on water eco-environment[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2002, 35(3): 404-411.
- [18] 张国盛, 黄高宝, 张仁陟, 等. 种植苜蓿对黄绵土表土理化性质的影响[J]. 草业学报, 2003, 11(5): 88-93.
Zhang G S, Huang G B, Zhang R Z. The effects of lucerne on top soil properties of Huangmian soil[J]. *Acta Pratacul. Sci.*, 2003, 12(5): 88-93.
- [19] 温洋, 金继运, 黄绍文, 等. 不同磷水平对紫花苜蓿产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 2005, 2(2): 21-24.
Wen Y, Jin J Y, Huang S W. Effect of phosphorus levels on herbage yield and quality of lucerne[J]. *Soils Fert.*, 2005, (2): 21-24.
- [20] 周宝库, 张喜林. 长期施肥对黑土磷素积累、形态转化及其有效性影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(2): 143-147.
Zhou B K, Zhang X L. Effect of long-term phosphorus fertilization on the phosphorus accumulation and distribution in black soil and its availability[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(2): 143-147.
- [21] 陈磊, 郝明德. 黄土高原旱地长期施肥对小麦养分吸收和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 230-235.
Chen L, Hao M D. Effects of long-term application of fertilizer on wheat nutrient uptake and soil fertility in Loess Plateau[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2007, 13(2): 230-235.
- [22] 张效朴, 詹其厚, 尹楚良. 砂姜黑土连续施肥对作物生长及土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2000, 33(1): 131-135.
Zhang X P, Zhan Q H, Yin C L. Effect of continuous applying fertilizer on crop growth and soil fertility in vertisol[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2000, 33(1): 131-135.
- [23] 慕韩锋, 王俊, 刘康, 等. 黄土旱塬长期施磷对土壤磷素空间分布及有效性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 424-430.
Mu H F, Wang J, Liu K *et al.* Effect of long-term fertilization on spatial distribution and availability of soil phosphorus in Loess Plateau[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2008, 14(3): 424-430.
- [24] 吴萍萍, 刘金剑, 周毅, 等. 长期不同施肥制度对红壤稻田肥料利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2): 277-283.
Wu P P, Liu J J, Zhou Y *et al.* Effects of different long term fertilizing systems on fertilizer use efficiency in red paddy soil[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2008, 14(2): 277-283.