

# 灌溉和施磷对紫花苜蓿干草产量及营养成分的影响

霍海丽<sup>1</sup>, 王琦<sup>1</sup>, 张恩和<sup>2</sup>, 师尚礼<sup>1</sup>, 王田涛<sup>2</sup>, 刘青林<sup>2</sup>

(1. 甘肃农业大学 草业学院, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学 农学院, 兰州 730070)

**摘 要:** 采用完全随机裂区设计, 灌溉[常规灌溉(330 mm)、节水 20% 灌溉(264 mm)和节水 40% 灌溉(198 mm)]作为主处理, 施磷(0, 60, 120, 180 kg/hm<sup>2</sup>)作为副处理, 研究不同灌溉量和施磷量对紫花苜蓿干草产量、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和粗灰分的影响。结果表明, 紫花苜蓿干草产量、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量随灌溉量增加而增加, 粗纤维含量随灌溉量增加而降低; 紫花苜蓿干草产量、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量随施磷量增加先增加后降低, 粗纤维含量随施磷量增加先降低后增加。当施磷量达到 60 kg/hm<sup>2</sup> 时, 种植第 3 年的紫花苜蓿粗蛋白含量(23.87%)和粗脂肪含量(2.48%)均达到最大值; 当施磷量达到 120 kg/hm<sup>2</sup> 时, 种植第 3 年的紫花苜蓿干草产量(19 114 kg/hm<sup>2</sup>)达到最大值。

**关键词:** 灌溉; 施磷; 紫花苜蓿; 产量; 品质

**中图分类号:** S541.1; S143.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2014)01-0117-05

## Effects of Irrigation and Phosphorus Supply Levels on Hay Yield and Quality of Alfalfa

HUO Hai-li<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>1</sup>, ZHANG En-he<sup>2</sup>, SHI Shang-li<sup>1</sup>, WANG Tian-tao<sup>2</sup>, LIU Qing-lin<sup>2</sup>

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The study was conducted to establish an accurate irrigation and phosphorus (P) management system for alfalfa planting for the purpose of high hay yield and high contents of crude protein and crude fat by using a randomized complete block split plot design with irrigation levels (conventional irrigation: 330 mm, 20% water-saving irrigation, 264 mm and 40% water-saving irrigation, 198 mm) and P fertility rates (0, 60, 120, 180 kg/hm<sup>2</sup>) as the main-plot and split-plot, respectively. The hay yield, the contents of crude protein, the crude fat and the crude ash of alfalfa increased with the increase of irrigation levels, but the content of crude fiber decreased. The hay yield, the content of crude protein and the crude fat of alfalfa increased at first, and then decreased with increase of P supply rate. But the content of crude fiber of alfalfa decreased at first, and then increased with increase of P supply rate. When the P application rate was 60 kg/hm<sup>2</sup>, the content of crude protein (23.87%) and crude fat (2.48%) of alfalfa reached to the highest level. And the total hay yield (19 114 kg/hm<sup>2</sup>) of alfalfa reached the maximum as the P application rate reached to 120 kg/hm<sup>2</sup>.

**Key words:** irrigation; phosphorus fertilization; alfalfa; hay yield; hay quality

石羊河流域位于甘肃河西走廊东部, 是甘肃河西走廊 3 大内陆河流域之一。甘肃河西走廊土地平整广阔, 光热资源丰富, 是国家重要的商品粮、棉、油生产基地。但该地区降水量较小、蒸发量较大, 生态环境脆弱, 近些年出现水资源短缺、植被退化、土壤盐渍

化、水质恶化等问题<sup>[1]</sup>。该地区农业生产主要采取大水漫灌和不合理施肥, 造成水肥等资源浪费, 土壤结构被破坏, 环境污染等。近年来, 随着生态环境改善和农牧种植结构调整, 紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 种植已成为本区域农业经济持续快速发展的首

选作物<sup>[2-3]</sup>。通常认为紫花苜蓿是养地和农田倒茬牧草,不进行精细灌溉和施肥,但粗放管理限制紫花苜蓿产量形成和品质提高。

紫花苜蓿在我国已有 2 000 多年栽培历史,具有适应性广、产量高、蛋白质丰富、适口性好等特点<sup>[4]</sup>,既能为家畜提供优质蛋白饲料,又能利用根瘤固氮,是我国西北干旱和半干旱地区人工草地的首选牧草<sup>[5]</sup>。水分是构成紫花苜蓿的主要成分,直接或间接影响着其产量和品质<sup>[6-7]</sup>。在适当灌溉范围内,紫花苜蓿干草产量随灌溉量增加而增加<sup>[8]</sup>。韩德梁等<sup>[9]</sup>的研究显示,粗蛋白、粗脂肪含量随灌溉量增加而增加,粗纤维含量随灌溉量增加而减少,灌溉对粗灰分含量无显著影响。

磷是植物体内能量传递和转化的重要元素,对农作物早熟、高产和优质具有重要作用,缺磷对牧草各种代谢产生抑制作用,导致植株生长缓慢和植株矮小。施磷能促进牧草的生长和繁殖,提高蛋白质、磷与钙的含量,改善饲草饲用价值,提高土壤生产力<sup>[10]</sup>。温洋<sup>[11]</sup>的研究表明,适宜施磷可以提高苜蓿粗蛋白和粗脂肪含量,过量施磷会降低牧草营养成分含量,施磷对紫花苜蓿灰分含量无显著影响。

大多数研究集中于灌溉对紫花苜蓿干草产量和营养成分的影响,而施磷对紫花苜蓿干草产量和营养成分的研究相对较少。本试验以甘农 1 号紫花苜蓿为指示作物,探讨灌溉和施磷肥对种植 3 a 的紫花苜蓿产量和营养成分的影响,为我国干旱区紫花苜蓿合理灌溉和施肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地位于甘肃省河西绿洲石羊河流域武威市凉州区,甘肃农业大学试验站(101°49'E,36°29'N),该区常年平均地下水位 65 m 以下,主要依赖石羊河水和地下水灌溉,地下水对紫花苜蓿根系层的补给可忽略不计<sup>[12]</sup>。该地区为温带大陆性干旱气候,日照充足,热量丰富,气候干燥,春季风沙大,夏季偶发干热风。地势平坦,平均海拔高度 1 776 m,季节和年际降水变化均较大,年平均降水量 160 mm,主要集中在 7—9 月份,春冬季较干旱,年蒸发量约为 2 021 mm,年平均气温 7.7℃,1 月份最低气温-27℃,7 月份最高气温 34℃,≥10℃年积温 2 985.4℃。全年无霜期约 155 d,太阳总辐射量 140~158 kJ/cm<sup>2</sup>,年日照时数平均 3 050 h。土壤以绿洲灌淤土为主,粉砂壤质,土层深厚。有机质含量 80.05 g/kg,全氮 0.40 g/kg,全磷 0.29 g/kg,全钾 6.22 g/kg,速

效磷 21.00 mg/kg,速效钾 119.32 mg/kg。

### 1.2 试验材料

供试材料为甘肃农业大学草业学院提供的紫花苜蓿甘农 1 号。

### 1.3 试验设计

试验采用完全随机裂区设计,灌溉为主处理,施磷为副处理。灌溉量的 3 个水平为当地紫花苜蓿节水 40%灌溉量 198 mm、节水 20%灌溉量 264 mm 和常规灌溉量 330 mm,分别以 I<sub>0.6</sub>、I<sub>0.8</sub>和 I<sub>1.0</sub>表示,4 个施磷水平分别为 0、60、120 和 180 kg P/hm<sup>2</sup>,分别以 P<sub>0</sub>、P<sub>60</sub>、P<sub>120</sub>和 P<sub>180</sub>表示。灌溉水平中以常规灌溉为对照,施磷水平中以不施磷为对照,共有 12 个处理组合(4 个施磷水平×3 个灌溉水平),每个处理重复 3 次,共计 36 个小区,每个小区面积为 9 m×4 m=36 m<sup>2</sup>。为了减小磷素和水分侧向移动的影响,主区之间设置宽 1.25 m 走道,副区之间设置宽 1 m 走道。灌溉量用水表进行计量,试验设计详见表 1。

| 表 1 紫花苜蓿生育期灌水量和灌溉时间 mm |        |              |              |          |
|------------------------|--------|--------------|--------------|----------|
| 日期<br>(月-日)            | 生育时期   | 节水 40%<br>灌溉 | 节水 20%<br>灌溉 | 常规<br>灌溉 |
| 3-28                   | 返青期    | 48           | 64           | 80       |
| 4-27                   | 分枝期    | 48           | 64           | 80       |
| 6-14                   | 第一茬刈割后 | 51           | 68           | 85       |
| 7-28                   | 第二茬刈割后 | 51           | 68           | 85       |
| 总灌溉量                   |        | 198          | 264          | 330      |

### 1.4 种植管理

紫花苜蓿播种时间为 2009 年 3 月 24 日,播种量为 18 kg/hm<sup>2</sup>,行间距 15 cm,采用条播方式按行播种,播种深度为 1~2 cm。播种前根据当地农民施肥经验,各处理 P 肥和 K 肥施加量相同,P 肥(过磷酸钙,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 16%)和 K 肥(硫酸钾,含 K<sub>2</sub>O 为 50%)用量分别为 41 kg/hm<sup>2</sup> 和 39 kg/hm<sup>2</sup>。2011 年进行灌溉和施磷试验,供试肥料为粒状过磷酸钙,其 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、S 和 Ca 的含量分别为 12%、10%和 10%。在紫花苜蓿分枝期(2011 年 4 月 26 日)和第 1 茬刈割后(2011 年 6 月 13)进行施磷,分枝期和第 1 茬刈割后施磷量各占总施磷量的 50%。开沟 10 cm 施入磷肥,后进行灌溉。在紫花苜蓿返青期(2011 年 3 月 28 日)、分枝期(2011 年月 4 月 27 日)、第 1 茬刈割后(2011 年 6 月 14 日)和第 2 茬刈割后(2011 年 7 月 28 日)进行灌溉,灌溉量见表 1。分别于 2011 年 5 月 8 日、6 月 1 日、6 月 20 日和 7 月 15 日进行手工除草。2011 年紫花苜蓿生育期降雨量为 214.7 mm(图 1)。

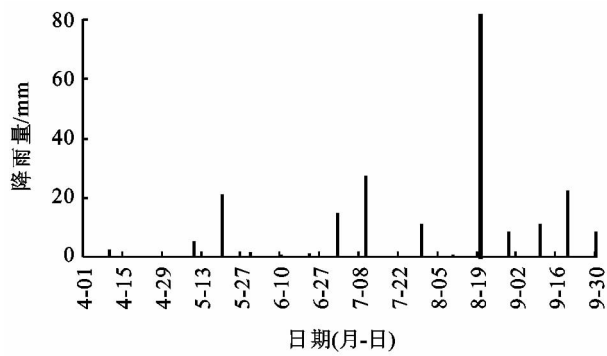


图 1 2011 年紫花苜蓿生育期降雨量

### 1.5 样品采集及测定

紫花苜蓿初花期(2011 年的 6 月 11 日、7 月 26 日和 10 月 5 日),在每个小区中间选取面积为  $3\text{ m}\times 4\text{ m}=12\text{ m}^2$  生长均匀的区域进行刈割,留茬高度 5 cm,紫花苜蓿地上部分自然风干至恒重,测定干草产量。然后称取 1 kg 干草,用 0.5 mm 孔筛粉碎机将初花期刈割后风干的干草粉碎,混和均匀,称取 250 g 粉碎样品,用于测定其粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、粗灰分的含量。

粗蛋白采用凯氏定氮法测定,粗脂肪采用索氏浸提法测定,粗纤维采用酸碱法测定,粗灰分采用高温灼烧法测定。

### 1.6 数据分析

利用完全随机模型分析灌溉和施磷对紫花苜蓿干草产量、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和粗灰分的影响,将 3 次重复收集的参数采用 SPSS 15.0 与 Excel 软件进行方差分析和显著性检验;方差分析多重比较采用 Duncan 法( $P<0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌溉和施磷对紫花苜蓿干草产量的影响

在各施磷水平下,将紫花苜蓿全生育期干草产量与灌溉量进行回归分析,得到  $P_0$ ,  $P_{60}$ ,  $P_{120}$  与  $P_{180}$  施磷水平的干草产量( $Y$ )与灌溉量( $I$ )的线性关系(图 2),通过直线回归方程可以看出,除  $P_0$  外,其它施磷的紫花苜蓿干草产量( $Y$ )与灌溉量( $I$ )之间具有很好的相关性( $R^2=0.9871\sim0.9934$ ),紫花苜蓿全生育期干草产量随灌水量增加直线上升。同样将各灌溉处理下紫花苜蓿全生育期干草产量与施磷量进行回归分析,得到  $I_{0.6}$ 、 $I_{0.8}$  与  $I_{1.0}$  灌溉水平下的干草产量( $Y$ )与施磷量( $P$ )的二次抛物线关系(图 3),通过回归方程看出,产量( $Y$ )与施磷量( $P$ )之间具有很好的相关性( $R^2=0.9666\sim0.9964$ )。通过图 2 和图 3 可以看出,常规灌溉( $I_{1.0}$ )和节水 20%灌溉( $I_{0.8}$ )的干草产量显著高于节水 40%灌溉( $I_{0.6}$ ), $I_{1.0}$  与  $I_{0.8}$  之间相

差不显著。各施磷水平的平均值, $I_{0.6}$  的干草产量比  $I_{0.8}$  和  $I_{1.0}$  分别减少 14.19%与 29.10%。在所有灌溉处理下,施磷  $120\text{ kg/hm}^2$  ( $P_{120}$ ) 的干草产量达到最大(各灌溉水平的平均值为  $19\ 114\text{ kg/hm}^2$ ),超过这一施磷量,干草产量下降,就其平均值而言,施磷 0, 60, 180  $\text{kg/hm}^2$  的干草产量比施磷  $120\text{ kg/hm}^2$  分别减产 28.61%, 10.75%, 8.01%。

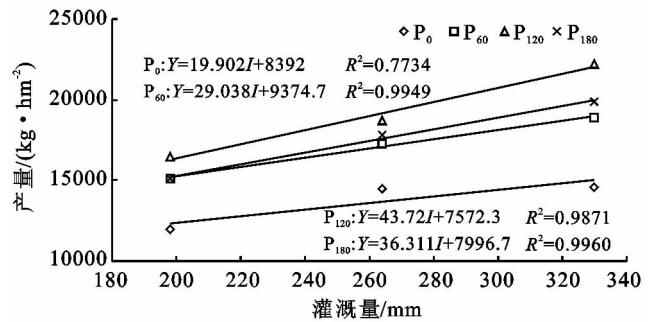


图 2 4 个施磷水平下紫花苜蓿干草产量 ( $Y$ )与灌溉量( $I$ )的回归方程

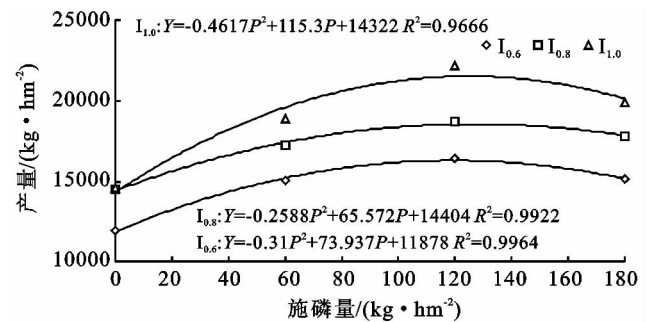


图 3 3 个灌溉水平下紫花苜蓿干草产量 ( $Y$ )与施磷量( $P$ )的回归方程

### 2.2 灌溉和施磷对紫花苜蓿粗蛋白含量的影响

紫花苜蓿粗蛋白含量是反映紫花苜蓿营养价值的重要指标之一,是家畜必不可少的营养物质,由纯蛋白质和非蛋白质含氮物组成。在节水 40%灌溉(灌溉量 198 mm)水平下,施磷  $60\text{ kg/hm}^2$  和  $120\text{ kg/hm}^2$  的粗蛋白含量显著高于施磷  $180\text{ kg/hm}^2$ ,施磷  $180\text{ kg/hm}^2$  显著高于不施磷;在节水 20%灌溉(灌溉量 264 mm)水平下,施磷  $60\text{ kg/hm}^2$  的粗蛋白含量显著高于不施磷;在常规灌溉(灌溉量 330 mm)水平下,施磷 60, 120, 180  $\text{kg/hm}^2$  的粗蛋白含量显著高于不施磷。在同一灌溉水平下,将 4 个施磷处理(每个施磷处理有 3 重复,共 12 个重复)粗蛋白含量统计求均值得到灌溉量 198, 264, 330 mm 的平均粗蛋白含量(平均值)(表 2)可以看出,随着灌溉量增加,紫花苜蓿粗蛋白含量随之增加,节水 40%灌溉、节水 20%灌溉和常规灌溉的紫花苜蓿粗蛋白含量分别为 22.02%, 22.04%和 24.07%。常规灌溉的粗蛋白含量显著高于节水 20%灌溉和节水 40%灌溉。灌

既能促进植物生长和营养物质合成,从而提高紫花苜蓿粗蛋白含量。在同一施磷水平下,将 3 个灌溉处理(每个灌溉处理有 3 重复,共 9 个重复)的粗蛋白含量求平均值(表 2)可以看出,紫花苜蓿粗蛋白含量随施磷量增加而先增加后降低。施磷 0, 60, 120, 180 kg/hm<sup>2</sup> 的紫花苜蓿平均粗蛋白含量分别为 20.40%, 23.87%, 23.83% 和 22.74%。施磷 60, 120, 180 kg/hm<sup>2</sup> 的粗蛋白含量显著高于不施磷处理。磷是含氮化合物代谢中许多酶的组成成分,因此适量施磷能促进植物对氮的吸收和转化,提高豆科植物根瘤菌的固氮能力,间接改善植物的氮素营养状况,进而提高植株粗蛋白含量。

| 表 2 灌溉和施磷对紫花苜蓿品质的影响 |                               |         |       |        |        | % |
|---------------------|-------------------------------|---------|-------|--------|--------|---|
| 灌溉/<br>mm           | 施磷/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 粗蛋白     | 粗脂肪   | 粗纤维    | 粗灰分    |   |
| 198                 | 0                             | 19.48c  | 1.45a | 21.72a | 10.89a |   |
|                     | 60                            | 23.43a  | 2.52a | 21.12a | 10.93a |   |
|                     | 120                           | 23.63a  | 2.08a | 20.05a | 11.76a |   |
|                     | 180                           | 21.52b  | 1.85a | 20.59a | 11.30a |   |
| 264                 | 0                             | 20.60b  | 1.85a | 21.72a | 10.98a |   |
|                     | 60                            | 23.09a  | 2.21a | 19.79b | 11.73a |   |
|                     | 120                           | 22.54ab | 1.99a | 18.47b | 12.22a |   |
|                     | 180                           | 21.94ab | 1.84a | 18.60b | 10.79a |   |
| 330                 | 0                             | 21.12b  | 1.87a | 20.36a | 10.90a |   |
|                     | 60                            | 25.08a  | 2.72a | 19.71a | 11.14a |   |
|                     | 120                           | 25.31a  | 2.36a | 18.48a | 12.46a |   |
|                     | 180                           | 24.75a  | 2.19a | 19.41a | 11.74a |   |

注:根据 Duncan 多重比较,同列同一灌溉水平下施磷处理和不同处理平均值(灌溉或施磷)后的不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

### 2.3 灌溉和施磷对紫花苜蓿粗脂肪含量的影响

脂肪是热能的主要原料,具有芳香气味,是牧草适口性的重要指标之一。在各灌溉水平下,不同施磷处理的紫花苜蓿粗脂肪含量相差并不显著。就各施磷处理的平均值而言,粗脂肪含量随灌溉量的增加而增加,节水 40%灌溉、节水 20%灌溉和常规灌溉的紫花苜蓿平均粗脂肪含量分别为 1.97%, 1.98% 和 2.29%,不同处理间的差异未达到显著水平。就各灌溉水平的平均值而言,粗脂肪含量随施磷量的增加先增加后降低,施磷 0, 60, 120, 180 kg/hm<sup>2</sup> 的紫花苜蓿平均粗脂肪含量分别为 1.72%, 2.48%, 2.14%, 1.96%,不同处理间的差异未达到显著性水平。

### 2.4 灌溉和施磷对紫花苜蓿粗纤维含量的影响

粗纤维直接影响家畜对牧草的采食率和消化率,牧草粗纤维含量越高,则牧草适口性越差,但一定粗纤维含量有助于家畜消化系统排泄和畅通。在节水 40%灌溉(灌溉量 198 mm)水平下,施磷对紫花苜蓿

粗纤维含量的影响不显著;在节水 20%灌溉(灌溉量 264 mm)水平下,不施磷处理的粗纤维含量显著高于施磷 60, 120, 180 kg/hm<sup>2</sup>;在常规灌溉(灌溉量 330 mm)水平下,施磷对紫花苜蓿粗纤维含量的影响不显著。就各施磷处理的平均值而言,粗纤维含量随灌溉量的增加而降低,节水 40%灌溉、节水 20%灌溉和常规灌溉的紫花苜蓿粗纤维含量分别为 20.87%, 19.65% 和 19.49%。节水 40%灌溉的紫花苜蓿粗纤维含量显著高于节水 20%灌溉和常规灌溉。就各灌溉水平的平均值而言,紫花苜蓿粗纤维含量随施磷量的增加先降低后增加,施磷 0, 60, 120, 180 kg/hm<sup>2</sup> 的紫花苜蓿粗纤维含量分别为 21.27%, 20.21%, 19.00% 和 19.53%。不施磷处理的粗纤维含量显著高于施磷 120 kg/hm<sup>2</sup> 和 180 kg/hm<sup>2</sup>, 施磷 60 kg/hm<sup>2</sup> 的粗纤维含量显著高于施磷 120 kg/hm<sup>2</sup>。缺磷不仅限制植株的生长,还会影响苜蓿根瘤氮的固定与吸收;过量施磷能导致生育期提前和早衰,进而增加粗纤维含量,降低牧草的适口性。

### 2.5 灌溉和施磷对紫花苜蓿粗灰分含量的影响

粗灰分含量代表牧草中的矿物质含量。在各灌溉水平下,不同施磷处理对紫花苜蓿粗灰分含量影响均不显著。就各施磷处理的平均值而言,粗灰分含量随灌溉量增加而增加,节水 40%灌溉、节水 20%灌溉和常规灌溉的紫花苜蓿粗灰分含量分别为 11.22%, 11.43% 和 11.56%,但不同处理间的差异未达到显著性水平。就各灌溉水平的平均值而言,粗灰分含量随施磷量增加先增加后降低,施磷 0, 60, 120, 180 kg/hm<sup>2</sup> 的紫花苜蓿粗灰分含量分别为 10.92%, 11.27%, 12.15% 和 11.28%,施磷 120 kg/hm<sup>2</sup> 的紫花苜蓿粗灰分含量显著高于不施磷处理。过量施磷会降低土壤中锌、铁、铜等的有效性,从而引起植株缺锌、铁、铜等元素,进而降低牧草粗灰分含量。

## 3 讨论

紫花苜蓿作为重要的栽培牧草,其干草产量受多种因素的影响,水肥是影响紫花苜蓿干草产量和能被种植者控制的两个因素。灌水能调节肥料效应,同样施肥影响牧草对水分的吸收<sup>[13]</sup>,水肥相互协调才能显著提高紫花苜蓿干草产量和干草营养成分。Grimes 等<sup>[14]</sup>的研究表明,灌溉对紫花苜蓿产量形成有显著影响,紫花苜蓿干草产量与灌溉量之间存在正线性关系。孟林等<sup>[15]</sup>发现,紫花苜蓿干草产量随灌溉量增加而增加,适当灌溉可以增加紫花苜蓿干草产量,但过量灌溉会增加紫花苜蓿倒伏性,从而不利于光合作用和干物质积累,降低紫花苜蓿干草产量。孙

洪仁等<sup>[16]</sup>的研究表明,灌溉量从 0 增至 400 mm,紫花苜蓿总干草产量从 3 304.7 kg/hm<sup>2</sup> 增至 7 423.3 kg/hm<sup>2</sup>。本研究结果表明,灌溉量从 198 mm 增加到 330mm,第 3 年种植紫花苜蓿全生育期干草产量从 14 626 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 18 882 kg/hm<sup>2</sup>。适量施入磷肥,不仅可以提高紫花苜蓿的干草产量,而且有利于根系下扎,吸收深层水,增强植物抗旱性;而过量施磷对植物生长发育产生负面影响,可引起生育期提前和早衰,从而降低牧草产量。戴建军等<sup>[17]</sup>的研究表明,紫花苜蓿干草产量随施磷量增加而增加,增产幅度为 45.0%~185.5%,温洋等<sup>[18]</sup>的研究表明,当施磷量为 90 kg/hm<sup>2</sup> 时,紫花苜蓿鲜草产量到达最大值(20 092.69 kg/hm<sup>2</sup>);当施磷量为 120 kg/hm<sup>2</sup> 时,紫花苜蓿鲜草产量略有下降。本研究结果表明,当施磷量超过 120 kg/hm<sup>2</sup>,第 3 年种植紫花苜蓿干草产量达到最大值(19 114 kg/hm<sup>2</sup>)。

灌溉和施磷不仅显著影响紫花苜蓿干草产量,而且对紫花苜蓿营养成分产生一定的影响。陈萍等<sup>[19]</sup>的研究表明,紫花苜蓿粗蛋白和粗脂肪含量与灌溉量呈正相关( $P<0.05$ ),紫花苜蓿粗纤维和酸性洗涤纤维含量与灌溉量呈负相关( $P<0.05$ ),灌溉对紫花苜蓿粗灰含量不产生显著性影响。本研究结果表明,灌溉水量从 198 mm 增加到 330 mm,紫花苜蓿粗蛋白含量从 22.02%增加到 24.07%,粗脂肪含量从 1.97%增加到 2.29%,粗纤维含量从 20.87%降低到 19.49%。适量施磷可在一定程度上提高紫花苜蓿粗蛋白和粗脂肪含量,降低粗纤维含量,从而提高紫花苜蓿营养价值<sup>[20]</sup>,但过量施磷会增加紫花苜蓿对于旱胁迫的敏感程度,从而使蒸腾速率和光合速率下降,最后导致紫花苜蓿干草产量和营养成分下降。杨恒山等<sup>[21]</sup>认为,当施磷量为 200 kg/hm<sup>2</sup> 时,紫花苜蓿粗蛋白含量最高(17.34%);当施磷量为 400 kg/hm<sup>2</sup> 时,紫花苜蓿粗蛋白含量略有降低(16.67%)。本研究表明,当施磷量达到 60 kg/hm<sup>2</sup> 时,种植第 3 年的紫花苜蓿粗蛋白含量(23.87%)和粗脂肪含量(2.48%)均达到最大值。

## 4 结论

紫花苜蓿干草产量、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量随灌溉量增加而增加,粗纤维含量随灌溉量增加而降低。节水 40%灌溉的紫花苜蓿干草产量、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和粗灰分含量分别为 14 626 kg/hm<sup>2</sup>,22.02%,1.97%,20.87%和 11.22%;节水 20%灌溉的紫花苜蓿干草产量、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和粗灰分含量分别为 17 045 kg/hm<sup>2</sup>,22.04%,

1.98%,19.65%和 11.43%;常规灌溉的紫花苜蓿干草产量、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和粗灰分含量分别为 18 882 kg/hm<sup>2</sup>,24.07%,2.29%,19.49%和 11.56%。紫花苜蓿干草产量、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量随施磷量增加先增加后降低,粗纤维含量随施磷量增加先降低后增加。当施磷量达到 60 kg/hm<sup>2</sup> 时,紫花苜蓿粗蛋白含量(23.87%)和粗脂肪含量(2.48%)均达到最大值;当施磷量达到 120 kg/hm<sup>2</sup> 时,紫花苜蓿干草产量(19 114 kg/hm<sup>2</sup>)和粗灰分含量(12.15%)达到最大值,粗纤维含量(19.00%)达到最小值。

## 参考文献:

- [1] 陈俭煌,魏晓妹,马岚.石羊河流域绿洲农业发展对水资源转化影响研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(4):229-234.
- [2] Rampino P, Pataleo S, Gerardi C, et al. Drought stress response in wheat: Physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes [J]. Plant Cell Environment,2006,29(12):2143-2152.
- [3] 田军仓,郭文裕,彭文栋.苜蓿水肥耦合模型及其优化组合方案研究[J].武汉水利电力大学学报,1997,30(2):18-22.
- [4] 胡守林,顾明德,王汉全,等.不同紫花苜蓿品种营养价值分析[J].水土保持研究,2005,12(4):217-219.
- [5] John F. Advance in forage legume technology [J]. Acta Prataculturae Sinica,2001,10(4):1-17.
- [6] 田海燕,张岁岐,王小林.水分条件对冬小麦生长发育及产量的影响[J].水土保持研究,2011,18(3):217-220.
- [7] 邓洁,陈静,贺康宁.灌溉量和灌溉时期对冬小麦耗水特性和生理特性的影响[J].水土保持研究,2009,16(2):191-194.
- [8] 王田涛,师尚礼,张恩和,等.灌溉与施氮对紫花苜蓿干草产量及水分利用效率的影响[J].生态学杂志,2010,29(7):1301-1307.
- [9] 韩德梁,曾会明,梁小红,等.三种供水处理对紫花苜蓿播种当年生长及品质的影响[J].中国草地学报,2008,30(5):59-64.
- [10] 王栋.牧草学通论[M].北京:高等教育出版社,1957.
- [11] 温洋.磷钾营养对紫花苜蓿产量和品质的影响及相关机理研究[D].北京:中国农业科学院,2005.
- [12] 刘小刚,张富仓,田育丰,等.水氮互作对石羊河流域春小麦群体产量和水氮利用的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(3):107-113.
- [13] 孙霞,柴仲平,蒋平安,等.水氮耦合对苹果光合特性和果实品质的影响[J].水土保持研究,2010,17(6):271-274.
- [14] Grimes D W, Wiley P L, Sheesley W R. Alfalfa yield and plant water relations with variable irrigation[J]. Crop Science,1992,32(6):1381-1387.

养分循环和再利用以及可持续农业发展中,有机无机肥配合施用的效果和作用已得到普遍的证实和肯定。因此,在片麻岩新成土地区进行田间施肥时,要根据种植农作物的需肥量确定肥料品种和施肥量,宜选用有机无机混合肥,少量多次施用。

### 3 结论

(1) 在片麻岩新成土土柱模拟试验中,尿素、有机无机复混肥、氮磷复合肥中硝态氮淋失总量比值为  $1:0.87:0.94$ ,中等施氮量  $225\text{ kg/hm}^2$  下有机无机复混肥可以减少氮素淋失,增加土壤氮含量,提高肥料利用率。低施氮量和高施氮量下,随着施氮量的增加,三种肥料硝态氮淋溶浓度增大,但肥料品种间无明显差异。三种肥料中氮素主要以硝态氮形式淋失,硝态氮淋失量占无机氮总量的  $83\%\sim 91\%$ 。

(2) 在本试验条件下,尿素硝态氮淋失率平均为  $29\%$ ,氮磷复合肥平均为  $27.8\%$ ,有机无机混合肥平均为  $23.7\%$ 。

(3)  $60\text{ cm}$  处和  $90\text{ cm}$  处硝态氮累计淋出量比为  $1:1.03$ ,且差异不显著。

(4) 淋溶结束后,有机无机混合肥在不同土层各处理中硝态氮含量最高,尿素硝态氮含量最低。

#### 参考文献:

- [1] 曹建生,张万军,刘昌明,等. 岩土二元介质坡地非饱和渗流特征试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(8):9-15.
- [2] 李丹,孙志梅,王艳群,等. 有机组分对 N 素在砂壤土中淋溶运移的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(3):23-26.
- [3] 聂斌,李文刚,江丽华,等. 不同灌溉方式对设施番茄土壤剖面硝态氮分布及灌溉水分效率的影响[J]. 水土保持研究,2012,6(3):102-107.
- [4] 刘瑞,戴相林,周建斌,等. 不同氮肥用量下冬小麦土壤剖面累积硝态氮及其与氮素表现盈亏的关系[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(6):1335-1341.
- [5] 宋庆丰,杨新兵,王晓燕,等. 不同肥料对花岗岩片麻岩山地土壤微生物与有机质的影响[J]. 水土保持研究,2010,8(4):243-246.
- [6] 周国娜,宋庆丰,杨新兵. 华北花岗岩片麻岩山地土壤促成技术研究:室内模拟肥料对岩石金属元素释放作用 I [J]. 水土保持研究,2011,18(3):255-260.
- [7] 陈效民,邓建才,柯用春,等. 硝态氮垂直运移过程中的影响研究[J]. 水土保持学报,2003,17(2):12-15.
- [8] 杜春先,聂俊华,王祥峰. 室内模拟有机肥中  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$  的淋失规律及其对土壤环境的影响[J]. 山东农业科学,2004(6):48-50.
- [9] 张丽娟,巨晓棠,文宏达,等. 土壤剖面不同土层硝态氮植物利用及运移规律研究[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(1):82-91.
- [10] Nkrumah M, Griffith S M, Ahmad N. Lysimeter and field studies on  $^{15}\text{N}$  in a tropical soil. II: Transformation of  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}-^{15}\text{N}$  in a tropical loam in lysimeter and field plots [J]. Plant Soil,1989,114(1):13-18.
- [11] 习金根,周建斌. 不同灌溉施肥方式下尿素态氮在土壤中迁移转化特性的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(3):271-275.
- [12] Tong Y A, Emteryd O, Lü D Q, et al. Effect of organic manure and chemical fertilizer on nitrogen uptake and nitrate leaching in a Eum-orthic anthrosols profile [J]. Nutr. Cycl. Agroeco.,1997,48(3):225-229.
- [13] 黄东风,王果,李卫华,等. 不同施肥模式对蔬菜生长、氮肥利用及菜地氮流失的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(3):631-638.
- [14] 杜伟,赵秉强,林治安,等. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究. I:有机物料与尿素复混对玉米产量及肥料养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(3):579-586.
- [15] 张迪,赵牧秋,牛明芬,等. 有机肥对设施土壤硝态氮垂直分布的影响[J]. 土壤通报,2011,14(5):1149-1152.
- [16] 曾曙才,吴启堂,陈水莲,等. 肥料混施对赤红壤氮磷淋失特征的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(3):82-86.
- [17] 王慧,张民,尹秀华,等. 控释肥在黑麦草草坪中氮素淋失的研究[J]. 水土保持学报,2009,23(1):64-68.
- [18] 高伟,朱静华,李明悦,等. 有机无机肥料配合施用对设施条件下芹菜产量、品质及硝酸盐淋溶的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(3):657-664.
- [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):21-24.
- [20] 陈萍,咎林森,陈林. 不同灌溉量对紫花苜蓿生长和品质的影响[J]. 家畜生态学报,2011,32(5):43-47.
- [21] 温洋,金继运. 施磷对紫花苜蓿光合特性以及生长的影响[J]. 中国土壤与肥料,2007(6):36-38.
- [22] 杨恒山,曾敏建,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.

(上接第 121 页)

- [15] 孟林,毛培春,张国芳. 京郊平原区苜蓿生产能力与耗水规律的研究[J]. 草业科学,2007,24(4):36-40.
- [16] 孙洪仁,马令法,何淑玲,等. 灌溉量对紫花苜蓿水分利用效率和耗水系数的影响[J]. 草地学报,2008,16(6):636-639.
- [17] 戴建军,石发庆,张海军,等. 黑龙江省西部草地土壤磷素状况及调控[J]. 中国草地,2001,23(3):45-48.