

# 宁南山区苜蓿地土壤水分和养分变异规律研究

潘占兵, 李生宝, 蔡进军, 董立国, 王月玲, 季波

(宁夏农林科学院 荒漠治理研究所, 宁夏 银川 750002)

**摘要:**以宁南半干旱黄土丘陵区 3 年生、7 年生、11 年生、19 年生,以及 7 年生上坡、中坡、下坡苜蓿地为研究对象,分析了苜蓿地 0—5 m 土壤干层及土壤养分的消长规律。研究表明:(1)坡位与种植年限均对土壤水分产生影响,上坡苜蓿地 0—5 m 土壤平均含水量为 6.34%,显著小于中坡和下坡;不同旱作年限苜蓿地 0—5 m 土壤含水量排序为:3 年生>7 年生>19 年生>11 年生;土壤干燥化指数 SDI 排序为:上坡>中坡>下坡;3 年生>7 年生>19 年生>11 年生,土壤干燥化程度随着土层深度的增加而减弱。待苜蓿老化后土壤水分可以得到恢复,土壤干燥化程度降低,但这一过程需要较长的时间。(2)在土壤旱化过程中,随着坡位的下降,苜蓿地 0—100 cm 层土壤平均有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷、速效钾含量增加;随着土层深度的增加,土壤有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷下降。随着苜蓿旱作时间的延长,土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、全磷、速效磷含量呈下降的趋势;待苜蓿老化严重时,土壤有机质、全氮开始逐渐积累,但仍然处于低水平状态。

**关键词:**苜蓿地;含水量;坡位;干层;土壤养分

文献标识码:A

文章编号:1000-288X(2011)02-0061-07

中图分类号:S152.7, S153.6

## Variations of Soil Moisture and Nutrients in Alfalfa Field in Southern Ningxia Hui Autonomous Region

PAN Zhan-bing, LI Sheng-bao, CAI Jin-jun, DONG Li-guo, WANG Yue-ling, JI Bo

(Desert Institute of Academy of Agriculture and Forestry Sciences of Ningxia, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

**Abstract:** In the semi-arid hilly region of South Ningxia Hui Autonomous Region, three-year, seven-year, eleven-year, and nineteen-year old alfalfa fields and seven-year old alfalfa fields at uphill, middle slope, and downhill were taken as study objects. The dynamics of the dried soil layer(0—5 m) and soil moisture and nutrients were analyzed. The results show that both slope position and plant age affected soil moisture contents. The average moisture content of 0—5 m soil profile on the uphill alfalfa field was 6.34%, which was substantially lower than that on middle slope and downhill fields. The average moisture contents in 0—5 m soil profile decreased on the alfalfa fields as in order of three-year, seven-year, nineteen-year, and eleven-year, and soil drying index(SDI) decreased as in order of uphill, middle slope, downhill and three-year, seven-year, nineteen-year, and eleven-year. The dying degree declined as soil depth increased. After the alfalfa aged, soil moisture content could recover but took a long time. On all the alfalfa fields in this study, the average content of soil organic matter, total N, available N, total P, available P, and available K all increased in the fields from uphill to downhill. As the soil depth increased, the soil organic matter, total N, available N, total P, and available P decreased. As the age of alfalfa increased, the soil organic matter, total N, total P, available P, and available K exhibited a declining trend, but the available N increased first and then decreased with the age of alfalfa in the field. When alfalfa field was very old, the soil organic matter and total N began to accumulate but was still at a relatively low level.

**Keywords:** alfalfa fields; soil moisture content; slope position; dried soil layer; soil nutrients

收稿日期:2010-07-15

修回日期:2010-08-29

资助项目:国家自然科学基金项目“宁南黄土丘陵区苜蓿旱化特征及其对土壤养分与微生物的影响”(41061034);国家“十一五”科技支撑计划项目“半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复技术研究”(2006BAC01A07);宁夏自然科学基金(NZ0969)

作者简介:潘占兵(1975—),男(汉族),宁夏自治区惠农县人,助理研究员,主要从事荒漠化防治与生态环境建设等方面研究。E-mail:pan7536@163.com。

通信作者:李生宝(1958—),男(汉族),宁夏自治区惠农县人,研究员,主要从事水土保持及荒漠化防治研究。E-mail:nxnlkxy-lsb\_hi@163.com。

土壤作为动植物生产的基础,农业的基本生产资料,人类耕作的劳动对象,与社会经济紧密联系<sup>[1]</sup>。土壤干燥化及土壤水分问题是目前有关生态、农业等方面研究的热点问题。许多研究者<sup>[2-8]</sup>为了解土壤干层的成因及其缓减对策,先后研究了我国北方和黄土高原人工林下土层含水量的垂直变化,使人们认识到土壤干层的危害。人工草地不仅是生态系统的重要组成部分,而且在黄土高原水土保持及生态环境建设占据主要地位<sup>[9]</sup>。为了遏制草原退化,保护生态环境,促进区域畜牧业经济发展,宁夏回族自治区政府以西部大开发为契机,先后通过实施退耕还林还草、退牧还草等工程,使宁夏地区人工种草面积达到约  $5.33 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,其中,紫花苜蓿为主的多年生人工草地迅速增加至约  $4.00 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,极大地促进了宁夏地区草畜产业的快速发展。

目前,植被建设成为西部大开发中心任务之一。但由于树、草种选择及种植密度不当,引发了多年生人工林草地土壤旱化,土壤肥力下降等土地退化问题。土壤持续旱化将导致植物群落衰败和生态系统退化,直接威胁到植被的稳定性及经济、生态效益的持续稳定发挥。旱作苜蓿地土壤旱化、土地退化等问题,使许多学者认识到研究苜蓿地土壤旱化特性,揭示土壤旱化诱发土壤养分失调的机理的紧迫性和重要性。本研究通过测试 3 年生、7 年生、11 年生、19 年生,以及 7 年生上坡、中坡、下坡苜蓿地土壤干层与土壤养分,旨在阐明不同生长年限及上、中、下坡苜蓿草地土壤旱化过程中土壤养分的消耗规律,为指导旱作苜蓿地土壤旱化预测及土壤培肥生产实践提供理论依据。

## 1 研究区概况

研究区隶属宁夏回族自治区固原市彭阳县白阳镇中庄村,地理坐标在  $105^{\circ}9' - 106^{\circ}58'E$ ,  $34^{\circ}14' - 37^{\circ}04'N$  之间,地处黄土高原腹地的宁夏回族自治区南部半干旱黄土丘陵区,地貌类型属黄土高原腹地梁峁丘陵区,区内梁峁相间,沟壑纵横,地形破碎,平均海拔在 1 600~1 700 m 之间;气候属温带大陆性气候,夏季潮湿炎热,冬季干燥寒冷,年均气温  $7.5^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的积温  $2\ 500 \sim 2\ 800^{\circ}\text{C}$ ,年平均蒸发量  $1\ 360.6 \text{ mm}$ ,无霜期 140~160 d。年均降雨量 442 mm,年际间差异较大,降水季节分布极不均匀,且主要集中在 7—9 这 3 个月,占全年降水的 60%,常以暴雨形式出现,易发生局部地区暴雨洪水。水土流失和土地退化等问题已成为困扰该区社会经济可持续发展和农民脱贫致富的主要瓶颈<sup>[10]</sup>。自 2000 年实施退耕还林还草工程以来,中庄

村旱作苜蓿种植面积累计达到  $157.33 \text{ hm}^2$ ,部分苜蓿地土壤旱化严重,苜蓿干草产量甚至低于  $300 \text{ kg}$ ,对该区草畜产业的可持续发展产生了极大地影响。

## 2 研究方法

为使试验具有可比性,以坡度为  $15^{\circ}$  左右的 3 年生、7 年生、11 年生、19 年生,以及 7 年生上坡、中坡、下坡苜蓿地为研究对象,以种植坡耕地为对照(CK)。测定土壤干层与土壤养分,研究苜蓿地旱化过程中土壤养分的变化规律。

### 2.1 土壤干层测定

土壤含水量采用烘干法分层测定,土壤干层采用杨文治等关于土壤干层划分标准判断土壤干层的上下限。土壤干层的上限指标为土壤稳定湿度定(8.65%),占田间持水量的 30%,其下限指标为土壤凋萎湿度(4.7%)。

### 2.2 土壤养分测定

在不同旱作年限及不同坡位苜蓿地上各选取 3~5 个典型样地,每个样地面积大约  $20 \text{ m}^2$ 。在各地内,以“S”形多点(5~8 个)分层(每 20 cm 为一层)采样,相同样地同一土层的土样混合风干后,剔除根系、石块等杂物,混匀磨细,分别过 1 和 0.25 mm 筛,待测定后,分析旱作苜蓿地土壤养分的时空变化规律。土壤养分测定项目主要有:土壤有机质,全氮,全磷,全钾,速效氮,速效钾,速效磷,pH 值。采用常规方法测定土壤养分指标。有机质采用电热板加热— $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  容量法<sup>[11]</sup>;全氮采用凯氏法;全磷用酸溶—钼锑抗比色法;全钾采用 NaOH 熔融火焰光度计法;速效氮采用碱解扩散法;速效磷采用 0.5 M  $\text{NaHCO}_3$  浸提比色法;速效钾采用 1 M  $\text{NH}_4\text{OAC}$  浸提—火焰光度计法测定。

## 3 结果与分析

### 3.1 苜蓿地土壤水分变异

由图 1 可以看出,坡位对苜蓿地土壤水分影响较大。上坡苜蓿地土壤含水量最低,0—5 m 平均含水量为 6.34%,显著小于中坡位(7.14%)和下坡(7.39%);上、中、下坡苜蓿地土壤含水量均在凋萎湿度与稳定湿度之间,处于干燥化状态,而且土壤含水量垂直变化趋势相似,均呈现先增加再降低,然后再增加的趋势。

因此,退耕还林还草改善了大气降水在地表再分配,使降水不下山,减弱了土壤侵蚀强度,但不同坡位土壤水分在坡面上仍然受叠加再分配的影响,造成上坡土壤含水量显著小于下坡与中坡。

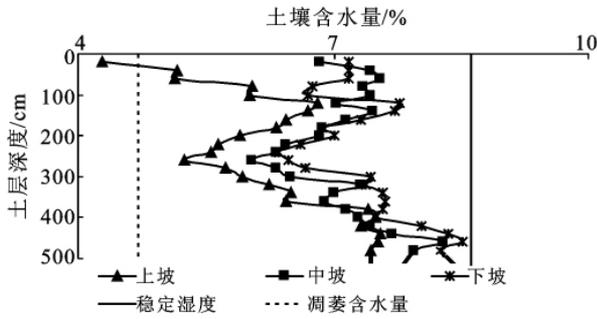


图 1 不同坡位苜蓿地土壤水分垂直变化

多年生苜蓿耗水量大,土壤含水量随着苜蓿生长年限的延长而显著减少(图 2)。不同旱作年限苜蓿地 0—5 m 土壤平均含水量排序为:3 年生(9.30%) > 7 年生(8.27%) > 11 年生(5.98%)。待苜蓿生长第 6 年,开始老化,对土壤水分消耗能力减弱,降雨对土壤水分的补给量高于土壤蒸散量时,土壤水分开始得到恢复,19 年生苜蓿地 0—5 m 土壤含水量为 7.80%。由此可得出,苜蓿旱作时间对土壤含水量影响较大,且随着苜蓿生长年限的延长,土壤含水量呈现降低,待紫花苜蓿衰退后,土壤水分才得以恢复,但在干旱条件下,土壤水分恢复需要的时间较长。

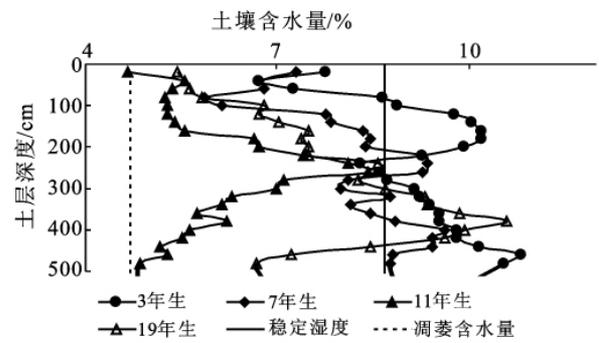


图 2 不同生长年限苜蓿地 0—5 m 土壤剖面水分分布

### 3.2 苜蓿地土壤干燥化

根据不同的水分亏缺程度对植被生长的影响状况,本文采用李军等人于 2007 年<sup>[12]</sup>提出的土壤干燥化指数 SDI(soil desiccation index)方法来评价土壤干燥化强度。

$$SDI = \frac{M_s - M_w}{M_{ss} - M_w} \times 100\%$$

式中:SDI——土壤干燥化指数;  $M_s$ ——土壤湿度;  $M_w$ ——凋萎湿度;  $M_{ss}$ ——土壤稳定湿度。土壤干燥化强度划分为 6 级(表 1)。

表 1 土壤剖面干层分级标准

土壤干层等级	土壤干燥程度	干燥化指数范围	危害特征
I	无旱化	$SDI \geq 100\%$	植被生长正常,发育良好
II	轻度干燥化	$75\% \leq SDI < 100\%$	生长受到抑制,植被生长不良
III	中度干燥化	$50\% < SDI < 75\%$	生长受到严重抑制,植被出现萎蔫
IV	严重干燥化	$25\% \leq SDI < 50\%$	生长受到严重抑制,植被出现干梢
V	强烈干燥化	$0 \leq SDI < 25\%$	植被生长受到严重抑制,植被开始死亡
VI	极度干燥化	$SDI < 0$	植被成片死亡

表 2 苜蓿地土壤干燥化指数 %

项目	土层深度					平均值
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	
上坡	15.85	44.02	23.58	53.82	69.88	41.43
中坡	66.65	60.14	41.33	61.71	78.84	61.73
下坡	58.31	66.93	51.01	71.87	92.54	68.13
3 年生	80.07	135.28	104.70	121.99	140.15	116.44
7 年生	47.02	87.75	104.22	103.32	110.45	90.55
11 年生	13.24	31.19	73.71	33.13	10.89	32.43
19 年生	28.86	63.76	91.91	129.69	78.59	78.56

由干燥化指数计算不同坡位、不同种植年限苜蓿地土壤干燥化指数(表 2)可以看出,苜蓿地土壤干燥化程度随坡位的下降而减弱,上坡 0—5 m 土壤干燥化指数 SDI 为 41.43%,属于严重干燥化,中坡位 0—5 m 土壤干燥化指数 SDI 为 61.73%,属于中度干燥化,下坡位苜蓿地 0—5 m 土壤干燥化指数 SDI 为 68.13%,也属于中度干燥化;同时,随着土层深度的

增加,上、中、下坡苜蓿地土壤干燥化程度减弱,其中上坡由表层的强烈干燥化程度减弱到深层的中度干燥化程度;中坡和下坡苜蓿地土壤干燥化程度由中度干燥化下降为深层的轻度干燥化程度。

多年生苜蓿由于耗水量大,土壤水分得不到补充,土壤干化被进一步激发和强化,苜蓿的生长年限越长,干化程度越严重。不同生长年限苜蓿地土壤干燥化指数 SDI 排序为:3 年生(116.44%) > 7 年生(90.55%) > 11 年生(32.43%),随着苜蓿旱作年限的延长,苜蓿地 0—5 m 土壤干燥化程度由无旱化状态转变为轻度干燥化,甚至严重干燥化程度。待苜蓿开始老化,密度降低,对土壤水分消耗能力减弱,降雨对土壤水分的补给量高于土壤蒸散量时,土壤水分开始得到恢复,土壤干燥化程度减弱。

19 年生苜蓿地 0—5 m 土壤干燥化指数 SDI 达到 78.56%,处于轻度干燥化,但 1 m 以上土壤干燥

化指数 SDI 达到 28.86%，处于严重干燥化，1—2 m 土壤干燥化指数为 63.76%，处于中度干燥化，2—5 m 各层土壤含水量均处于轻度或未干燥化状态，因此，苜蓿老化后，土壤水分可以得到恢复，但需要时间较长。

### 3.3 苜蓿地土壤养分消长规律

3.3.1 土壤有机质的变化 根据土壤养分状况系统研究法和中国土壤肥力中所设定土壤有机质临界指

标<sup>[12-13]</sup>，除下坡苜蓿地外，上坡和中坡旱作 3 年生、7 年生、19 年生苜蓿地剖面 0—100 cm 土壤平均有机质含量均低于 10 g/kg，处于贫瘠状态，且土壤有机质含量随着土层深度的增加而下降（表 3）。不同坡位苜蓿地剖面土壤有机质含量表明，随着坡位的下降，苜蓿地 0—100 cm 层土壤有机质平均含量增加，其中，下坡苜蓿地土壤最高，达到 9.61 g/kg，其次为中坡苜蓿地。

表 3 不同坡位及不同旱作年限苜蓿地剖面土壤有机质分布

g/kg

土层深度/ cm	坡位			旱作年限			CK
	上坡	中坡	下坡	3 a	7 a	19 a	
0—20	11.60	14.80	14.00	8.75	6.86	10.60	10.20
20—40	8.59	11.60	10.80	8.02	3.72	5.24	7.95
40—60	6.44	8.89	6.97	7.08	3.21	3.96	9.04
60—80	5.11	6.66	6.67	5.90	2.99	4.95	5.69
80—100	6.00	5.78	—	5.62	3.14	5.02	5.47
平均值	7.55±2.60	9.55±3.70	9.61±3.48	7.07±1.34	3.98±1.63	5.95±2.64	7.67±2.07

不同旱作年限苜蓿地土壤有机质相比，旱作苜蓿生长初期，土壤有机质较高，3 年生苜蓿地剖面 0—100 cm 层土壤有机质含量平均为 7.1 g/kg，随着苜蓿进入盛产期，苜蓿生长吸收土壤有机质，并随着刈割带离生境，导致土壤有机质含量迅速下降，7 年生苜蓿地 0—100 cm 层土壤平均有机质含量仅为 4.0 g/kg，且显著小于坡耕地 ( $p < 0.01$ )。随着苜蓿旱作年限的进一步延长，苜蓿退化越来越严重，天然草成为人工草地的优势植物，苜蓿刈割利用频率减少，土壤有机质开始逐渐积累，到 19 年时，苜蓿地 0—100 cm 土壤平均有机质恢复到 6.0 g/kg，仍然处于低水平状态，而且显著小于坡耕地 ( $p < 0.05$ )。

3.3.2 旱作苜蓿对土壤氮素的影响 在半干旱黄土丘陵区，土壤全氮水平处于中偏下水平，苜蓿旱作后，粗放经营，农户对旱作苜蓿的经营方式主要以刈割收草为主，不再施肥，根据土壤养分状况系统研究法和

中国土壤肥力中所设定临界指标，土壤全氮处于中偏下水平。由于苜蓿地土壤氮素受苜蓿根系固氮、生长耗氮影响，以及大气降水淋溶作用的影响，土壤氮素变化较为复杂。

(1) 土壤全氮的变化。由表 4 可见，苜蓿地土壤全氮含量较低，处于贫瘠状态或一般水平，随着土层深度的增加，土壤全氮含量由表层(0—20 cm)的中等水平下降到贫瘠状态。

不同坡位苜蓿地土壤剖面全氮含量结果表明，随着坡位的下降土壤全氮含量增加，下坡苜蓿地 0—100 cm 层土壤平均全氮达到 0.79 g/kg，据常用土壤养分分级标准判断，处于中间水平，上坡苜蓿地 0—100 cm 层土壤平均全氮含量较低，仅为 0.52 g/kg，而坡耕地 0—100 cm 土壤平均全氮含量为 0.59 g/kg。可见，相对于种植作物的坡耕地，中坡与下坡土壤全氮随着坡位的下降，土壤全氮量有所增加，且均高于 CK。

表 4 不同坡位及不同旱作年限苜蓿地剖面土壤全氮分布

g/kg

土壤深度/ cm	坡位			旱作年限			CK
	上坡	中坡	下坡	3 a	7 a	19 a	
0—20	0.83	1.04	1.03	0.56	0.58	0.73	0.76
20—40	0.58	0.81	0.78	0.51	0.34	0.32	0.59
40—60	0.42	0.60	0.58	0.44	0.28	0.26	0.66
60—80	0.33	0.50	0.53	0.34	0.30	0.36	0.46
80—100	0.44	0.37	1.04	0.38	0.29	0.31	0.46
平均值	0.52±0.20	0.66±0.27	0.79±0.24	0.45±0.09	0.36±0.13	0.40±0.19	0.59±0.13

不同旱作年限苜蓿地剖面土壤全氮含量结果表明，随着苜蓿种植年限的增加，土壤全氮含量先下降，

再增加。3 年生苜蓿地 0—100 cm 土壤平均全氮含量较高，随着苜蓿进入盛产期，需要消耗土壤氮素，使

0—100 cm 土壤平均全氮含量由 3 年生的 0.45 g/kg 显著下降到第 7 年的 0.36 g/kg; 旱作 19 a 时, 苜蓿严重退化, 此时苜蓿密度、产量明显下降, 天然草为优势植物, 土壤全氮含量开始恢复, 但仍小于坡耕地。

(2) 土壤速效氮的变化。苜蓿地土壤速效氮处于贫瘠状态, 而且随着土层深度的增加, 土壤速效氮

贫瘠化程度加剧。不同坡位苜蓿地土壤剖面速效氮含量结果(表 5)表明, 随着坡位的下降土壤速效氮含量增加, 下坡苜蓿地 0—100 cm 土壤平均速效氮达到 39.4 mg/kg, 上坡苜蓿地 0—100 cm 层土壤平均全氮含量最低, 仅为 25.4 mg/kg, 低于坡耕地全氮含量(26 mg/kg)。

表 5 不同坡位及不同旱作年限苜蓿地剖面土壤速效氮分布

mg/kg

土壤深度/ cm	坡 位			旱作年限			CK
	上坡	中坡	下坡	3 a	7 a	19 a	
0—20	53.0	61.0	46.0	40.0	56.0	34.0	57.0
20—30	28.0	38.0	35.0	27.0	28.0	13.0	27.0
40—60	24.0	24.0	24.0	55.0	21.0	9.0	19.0
60—80	8.0	17.0	30.0	24.0	23.0	12.0	14.0
80—100	14.0	18.0	62.0	26.0	25.0	10.0	13.0
平均值	25.4±17.34	31.6±18.45	39.4±14.99	34.4±13.13	30.6±14.43	15.6±10.41	26.0±18.19

不同旱作年限苜蓿地剖面土壤速效氮含量分析结果表明, 随着苜蓿种植年限的增加, 土壤速效氮含量降低。3 年生苜蓿地 0—100 cm 土壤平均效氮含量最高, 为 34.4 mg/kg, 苜蓿旱作 7 a 时, 由于苜蓿固氮能力小于生长耗氮能力, 导致 7 年生苜蓿地 0—100 cm 层土壤速效氮含量低于 3 年生。待苜蓿处于严重退化期, 苜蓿密度与产草量下降, 天然草为优势植物时, 苜蓿固氮能力减弱, 19 年生苜蓿地 0—100 cm 土壤平均速效氮含量下降到 15.6 mg/kg。可见, 宁南黄土丘陵区旱作苜蓿粗放经营管理, 加剧了苜蓿速效氮的亏缺。

3.3.3 旱作苜蓿对土壤磷素的影响 土壤全磷含量的高低, 通常不能直接表明土壤供应磷素能力的高低, 它是一个潜在的肥力指标, 但是当土壤全磷含量

低于 0.03% 时, 土壤往往缺磷。在土壤全磷中, 只有很少一部分是对当季作物有效的, 称为土壤有效性磷。

(1) 土壤全磷的变化。苜蓿地土壤剖面全磷含量均处于贫瘠状态, 随着土层深度的增加, 土壤全磷呈下降趋势, 但垂直变化较小, 变异系数在 0.041~0.105 之间。

不同坡位苜蓿地土壤全磷含量结果(表 6)表明, 随着坡位的下降土壤全磷含量增加, 下坡苜蓿地 0—100 cm 层土壤全氮平均含量达到 0.57 g/kg, 据常用土壤养分分级标准判断, 处于中间水平, 上坡苜蓿地 0—100 cm 层土壤全氮平均含量最低, 仅为 0.49 g/kg, 显著小于坡耕地(0.59 g/kg)。由于人为施肥作用的影响, 坡耕地土壤全氮平均含量最高。

表 6 不同坡位及不同旱作年限苜蓿地剖面土壤全磷分布

g/kg

土壤深度/ cm	坡 位			旱作年限			CK
	上坡	中坡	下坡	3 a	7 a	19 a	
0—20	0.56	0.60	0.58	0.58	0.58	0.50	0.64
20—30	0.48	0.58	0.56	0.54	0.54	0.50	0.58
40—60	0.48	0.56	0.54	0.51	0.50	0.46	0.62
60—80	0.41	0.54	0.50	0.52	0.44	0.51	0.55
80—100	0.51	0.49	0.68	0.56	0.53	0.52	0.56
平均值	0.49±0.05	0.55±0.04	0.57±0.07	0.54±0.03	0.52±0.05	0.50±0.02	0.59±0.04

不同旱作年限苜蓿地土壤全磷含量分析结果表明, 随着苜蓿种植年限的增加, 土壤全磷也呈下降趋势。3 年生苜蓿地 0—100 cm 土壤平均全磷含量为 0.54 g/kg, 虽然低于坡耕地, 但并不显著; 随着苜蓿进入盛产期, 需要消耗土壤磷素, 使土壤全磷含量快速下降。7 年生苜蓿地 0—100 cm 土壤平均全磷含量

为 0.52 g/kg, 19 年生苜蓿地 0—100 cm 土壤平均全磷含量为 0.50 g/kg, 7 年生与 19 年生苜蓿地土壤全磷显著低于坡耕地。可见, 苜蓿长期种植, 可导致土壤全磷含量下降, 土壤磷素失调。

(2) 土壤速效磷的变化。土壤速效磷含量均小于 5 mg/kg, 处于贫瘠, 且随土层深度的增加而呈现

降低的趋势。不同坡位苜蓿地剖面土壤速效磷含量结果(表 7)表明,随着坡位的下降土壤速效磷含量明显增加,苜蓿地 0—100 cm 层土壤平均速效磷由上坡位的 2.20 mg/kg 增加到 2.86 mg/kg,但仍然显著低于坡耕地(5.18 mg/kg)。

不同旱作年限苜蓿地剖面土壤速效磷含量的分析

结果表明,随着苜蓿种植年限的增加,土壤速效磷也呈下降的趋势。3 年生苜蓿地 0—100 cm 土壤速效磷平均含量较高,为 2.38 mg/kg,苜蓿旱作 7 a 时,随着苜蓿生物产量的增加,土壤速效磷被苜蓿消耗,造成土壤速效磷含量降低为 2.36 mg/kg;旱作 11 a 时,苜蓿明显进入退化期,苜蓿地土壤速效磷下降至 1.64 mg/kg。

表 7 不同坡位及不同旱作年限苜蓿地剖面土壤速效磷分布

mg/kg

土壤深度/ cm	坡位			旱作年限			CK
	上坡	中坡	下坡	3 a	7 a	19 a	
0—20	3.1	2.8	2.7	3.7	2.8	1.7	8.4
20—30	2.1	2.0	2.2	1.8	2.5	1.5	5.7
40—60	2.2	2.1	2.6	2.1	2.4	1.5	6.9
60—80	1.8	2.3	2.1	2.0	2.0	2.0	2.6
80—100	1.8	2.6	4.7	2.3	2.1	1.5	2.3
平均值	2.20±0.53	2.36±0.34	2.86±1.06	2.38±0.76	2.36±0.32	1.64±0.22	5.18±2.67

3.3.4 苜蓿种植对土壤速效钾的影响 钾能减少植物蒸腾,调节植物组织中的水分平衡,提高植物的抗旱性。土壤中钾素供应不足会引起作物体内生理功能失调,导致浸染性病害和生理性病害发生。

不同坡位与不同旱作年限的苜蓿地各层土壤全钾含量均大于 50.0 mg/kg,处于中等水平到丰富状态,且随着土层深度的增加,土壤速效钾含量下降。研究区土壤钾素丰富,不同坡位苜蓿地剖面土壤速效钾受坡位影响不大(表 8)。下坡苜蓿地 0—100 cm 层

土壤平均速效钾仅为 59.0 mg/kg,中坡苜蓿地 0—100 cm 层土壤平均速效钾含量最高,达到 74.2 mg/kg,但均低于坡耕地(83.6 mg/kg)。

不同旱作年限苜蓿地剖面土壤速效钾含量的分析结果表明,随着苜蓿种植年限的增加,土壤速效钾呈下降的趋势,7 年生苜蓿地 0—100 cm 层土壤速效钾平均值为 98.0 mg/kg,随着旱作时间的增加,土壤速效钾降为 19 年生苜蓿地的 67.0 mg/kg,仍小于坡耕地(83.6 mg/kg)。

表 8 不同坡位及不同旱作年限苜蓿地剖面土壤速效钾分布

mg/kg

土壤深度/ cm	坡位			旱作年限			CK
	上坡	中坡	下坡	3 a	7 a	19 a	
0—20	90.0	79.0	68.0	74.0	—	95.0	120.0
20—30	64.0	64.0	57.0	60.0	97.0	62.0	74.0
40—60	70.0	63.0	56.0	62.0	96.0	60.0	83.0
60—80	60.0	63.0	60.0	63.0	99.0	58.0	67.0
80—100	65.0	102.0	54.0	64.0	100.0	60.0	74.0
平均值	69.8±11.84	74.2±16.96	59.0±5.48	64.6±5.46	98.0±1.83	67.0±15.72	83.6±21.13

## 4 结论

(1) 土壤含水量受剖面土壤水分叠加再分配的影响,随着坡位的下降,土壤含水量显著增加,干燥化程度减弱。上坡苜蓿地 0—5 m 土壤平均含水量为 6.34%,显著小于中坡和下坡;土壤干燥化指数 SDI 排序为:上坡(41.43%)>中坡(61.73%)>下坡(68.13%)。

(2) 土壤含水量随着苜蓿生长年限的延长,显著减少。不同旱作年限苜蓿地 0—5 m 土壤平均含水量排序为:3 年生(9.30%)>7 年生(8.27%)>19 年生(7.80%)>11 年生(5.98%);土壤干燥化指数 SDI

排序为:3 年生(116.44%)>7 年生(90.55%)>19 年生(78.56%)>11 年生(32.43%),可见,苜蓿老化后土壤水分是可以恢复,但这一过程需要较长的时间,因此,草田轮作是快速回复土壤水分的有效措施。

(3) 研究区上坡、中坡、下坡苜蓿地 0—100 cm 土壤磷素处于贫瘠状态,而钾素、有机质处于适量状态,全氮较丰富;在苜蓿地旱化过程中,随着坡位的下降,苜蓿地土壤养分增加,随着土层深度的增加,土壤有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷呈下降的趋势。3 年生、7 年生、19 年生苜蓿地 0—100 cm 土壤全磷、速效磷处于贫瘠状态,钾素处于适量状态,19 年生苜蓿

地土壤有机质处于适量状态,全氮较丰富;3年生、7年生有机质、全氮、速效氮处于贫瘠状态。随着苜蓿旱作时间的延长,土壤有机质、全氮、速效氮、速效钾、全磷、速效磷含量呈下降的趋势;待苜蓿开时老化,土壤有机质、全氮开始逐渐积累。

(4) 除氮素外,苜蓿地土壤全磷、全钾、速效磷、速效钾、有机质均低于坡耕地(CK),说明宁南半干旱黄土丘陵区旱作苜蓿粗放经营,加剧了土壤养分的贫瘠化。因此,在苜蓿经营过程中,有必要进行土壤培肥,在苜蓿退化严重时,可以通过轮作培肥等措施提高土壤肥力。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张大克,叶海江. 水稻土肥力水平分类中主要土壤肥力因素指标的筛选模型[J]. 农业工程学报,1997,13(2): 91-95.
- [2] 杨维西. 试论我国北方地区人工植被的土壤干化问题[J]. 林业科学,1996,32(1):78-85.
- [3] 杨文治,田均良. 黄土高原土壤干燥化问题探源[J]. 土壤学报,2004,41(1):1-6.
- [4] 侯庆春,韩蕊莲,韩仕峰. 黄土高原人工林草地“土壤干层”问题初探[J]. 中国水土保持,1999(5):11-14.

- [5] 王力,邵明安,侯庆春. 延安试区土壤干层现状分析[J]. 水土保持通报,2000,20(3):35-37.
- [6] 陈洪松,邵明安,王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征[J]. 地理学报,2005,25(10):2491-2493.
- [7] 李瑜琴. 西安地区丰水年后人工林地土壤水分恢复与消耗[D]. 陕西 西安:陕西师范大学,2006:12-13.
- [8] 赵景波,孙桂贞,岳应利,等. 关中平原人工林地的干层及其成因[J]. 地理研究,2007,26(4):763-772.
- [9] 程杰,高亚军. 云雾山封育草地土壤养分变化特征[J]. 草地学报,2007,15(3):273-277.
- [10] 潘占兵,王彩艳,余峰,等. 宁南黄土丘陵区坡位、坡向对苜蓿地土壤含水量时空变异的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(2):141-144.
- [11] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1983:67-115.
- [12] 李军,陈兵,李小芳,等. 黄土高原不同干旱类型区苜蓿草地深层土壤干燥化效应[J]. 生态学报,2007,27(1): 75-89.
- [13] 曹广民,张金霞,鲍新奎,等. 高寒草甸生态系统磷素循环[J]. 生态学报,1999,19(4):514-517.
- [14] 傅华,陈亚明,王彦荣,等. 阿拉善主要草地类型土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报,2004,24(3): 471-476.

(上接第 60 页)

致谢:野外调查得到海南尖峰岭国家级自然保护区莫锦华、蒋忠亮、陈焕强、余传文、王朝勇、苏红华等同志的大力协助,谨致谢意!

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘世荣,温远光,王兵,等. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [2] 朱金兆,刘建军,朱清科,等. 森林凋落物层水文生态功能研究[J]. 北京林业大学学报,2002,26(5/6):30-34.
- [3] 郭汉清,韩有志,白秀梅. 不同林分枯落物水文效应和地表粗率系数研究[J]. 水土保持学报,2010,24(2):179-183.
- [4] 申卫军,彭少麟,周国逸. 马占相思(*Acacia mangium*)与湿地松(*Pinus elliotii*)人工林枯落物层的水文生态功能[J]. 生态学报,2001,21(5):846-850.
- [5] 张洪江,程金花,余新晓,等. 贡嘎山冷杉纯林枯落物储量及其持水特性[J]. 林业科学,2003,39(5):147-151.
- [6] 王云琦,王玉杰,张洪江,等. 重庆缙云山几种典型植被枯落物水文特性研究[J]. 水土保持学报,2004,18(3): 41-44.
- [7] 龚伟,胡庭兴,王景燕. 川南天然常绿阔叶林人工更新后枯落物层持水特性研究[J]. 水土保持学报,2006,20(3):51-55.

- [8] 常雅军,曹靖,马建伟,等. 秦岭西部山地针叶林凋落物持水特性[J]. 应用生态学报,2008,19(11):2346-2351.
- [9] 徐娟,余新晓,席彩云. 北京十三陵不同林分凋落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报,2009,23(3): 189-193.
- [10] 薛立,何跃军,屈明,等. 华南典型人工林凋落物的持水特性[J]. 植物生态学报,2005,29(3):415-421.
- [11] 李意德,陈步峰,周光益,等. 中国海南岛热带森林及其生物多样性保护研究[M]. 北京:中国林业出版社,2002.
- [12] 林波,刘庆,吴彦,等. 亚高山针叶林人工恢复过程中凋落物动态分析[J]. 应用生态学报,2004,15(9):1491-1496.
- [13] 高人,周广柱. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型枯落物层持水性能研究[J]. 沈阳农业大学学报,2002,33(2):115-118.
- [14] 吴仲民,卢俊培,杜志鹤. 海南岛尖峰岭热带山地雨林及其更新群落的凋落物量与贮量[J]. 植物生态学报,1994,18(4):306-313.
- [15] 黄全,李意德. 海南岛尖峰岭热带山地雨林采伐迹地更新群落的初步分析[J]. 植物生态学与地植物学报,1988,12(10):12-22.