

黄土丘陵区人工草地牧草营养元素累积及土壤有机碳与养分特征

王百群^{1,2}, 姜峻², 都全胜³, 曹庆玉²

(1. 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 3. 陕西省富县气象局, 陕西 富县 727500)

摘 要:以黄土丘陵沟壑区安塞川地及山坡地豆科和禾本科的人工草地为对象, 研究人工草地的土壤有机碳及土壤养分变化、草地植物营养元素吸收与循环特征, 揭示种植不同种类牧草的人工草地对土壤有机碳及养分变化的驱动作用。结果表明: 在各种牧草当年生长的茎叶、立枯物、凋落物及根系中所累积的营养元素中, 氮素累积量最高, 其次为钾, 磷的累积量最少; 牧草通过凋落物归还到土壤中的氮素最多、其次为钾素, 磷的归还量最少; 各种牧草的地上部氮、磷、钾3种元素累积量高于根系。苜蓿的地上部和根系中氮、磷、钾的总累积量最高, 其次为红豆草、柳枝稷和达乌里胡枝子, 沙打旺的地上部与根系中累积的氮、磷、钾总量最少。川地与坡地草地土壤全氮、土壤有机碳与有机碳储量及有机碳固定量均高于裸地。川地草地土壤全氮、土壤有机碳含量与储量高于坡地, 川地草地土壤有机碳固定量低于坡地。土壤全氮含量川地以苜蓿最高, 山坡地以白羊草最高。建植草地可有效提高土壤氮与钾的有效性。

关键词:人工草地; 营养元素; 土壤有机碳; 养分特征; 黄土丘陵区

中图分类号: S812

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0127-06

Characteristics of Accumulation of Nutrient Elements in Grasses and Soil Organic Carbon and Nutrients in Managed Grasslands in the Loess Hilly and Gully Area

WANG Bai-qun^{1,2}, JIANG Jun², DU Quan-sheng³, CAO Qing-yu²

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Fuxian Bureau of Meteorology, Fuxian, Shaanxi 727500, China)

Abstract: The plot experiments of planted grass were conducted to examine the impact of growing grasses in the lowland and the slope land on the levels of soil organic carbon and the changes in soil major nutrients. The objective of this study was to probe into the driving effects of various planted grasses on soil organic carbon and nutrients. The amount of nutrient elements accumulated in stalk and leaf, dead organs, litter and root of each grass followed the order of nitrogen(N) > potassium(K) > phosphorus(P). The amount of N, P and K accumulated in the aboveground mass of each grass is more than that in root. The quantity of nutrient elements returned to soil through the litter followed the order of N > K > P. The sum of N, P, K accumulated both in above ground mass and root obeyed the order of *Medicago sativa* L. > *Panicum virgatum*, *Onobrychis viciaefolia* Scop. > *Lespedeza adaurica* Schindl. > *Astragalus adsurgens* Pall. Soil total nitrogen content (TN), soil organic carbon content (SOC), soil organic carbon reserves(OCR) and sequestered organic carbon of each sown grass at lowland and slope land were higher than in bare land. Soil TN, SOC and OCR of lowland pastures were higher than pastures on slope land, while sequestered organic carbon soil was lower than the latter. Soil TN in alfalfa land of lowland was the highest, whereas soil TN on slope land grown old world bluestem (*Bothriochloa ischaemum*, L.) was the highest. It can be seen that pasture cultivation can improved soil available nitrogen and potassium.

收稿日期: 2010-09-15

资助项目: 国家自然科学基金项目(90502007, 40301024); 中国科学院知识创新项目(KZCX2-XB2-05); 国家科技支撑项目(2006BAD09B07)

作者简介: 王百群(1968-), 男, 陕西渭南人, 博士, 副研究员, 主要从事生态系统碳氮循环研究。E-mail: bqwang@ms.iswc.ac.cn

Key words: managed grassland; nutrient element; soil organic carbon, characteristic of soil nutrient; loess hilly and gully area

干旱与土壤侵蚀是黄土高原丘陵沟壑区主要的农业生态环境问题。剧烈的土壤侵蚀导致严重的水土流失,引起土壤水分与养分流失及土壤退化,对土地资源与土壤肥力及其生产力产生明显的影响,另外,泥沙与径流进入地表水中,对水质产生一定的影响。植被可以有效地防控土壤侵蚀与水土流失,因此,通过植物自然恢复或人工种植植被对减少土壤养分流失具有重要的作用。黄土高原丘陵沟壑区为森林与草原植被带,适宜多种草本植物生长。在黄土丘陵沟壑区,随着“退耕还林还草”生态恢复工程的实施,除自然草地外,人工草地也是重要的草地类型,得到了快速发展。人工草地建设对于增加土壤有机质、改善土壤肥力具有一定的驱动作用。许多研究者对不同植被类型对土壤养分的影响进行了一系列研究,明确了植被影响土壤有机质及营养元素的过程,揭示出了在植被恢复过程中,土壤有机碳与养分对植被变化的响应^[1-5]。土壤水分条件对植被恢复过程中的植物群落物种构成及植物生产力具有明显的影响作用,同时植物生长也引起土壤水分及养分的变化,所以,植物群落与土壤水分及养分的相互关系受到了研究者的关注^[6]。随着人们对全球气候变化关注,土壤-植被系统的固碳能力研究已成为陆地生态系统碳循环研究的重要方面^[7-10]。在草地生态系统中,土壤植物营养循环过程受到了许多研究者的重视,草地生态系统养分循环研究已成为土壤生态学研究的重要领域,对于不同管理措施下草地植物主要器官中营养元素的含量变化进行了调查研究,明确了影响植物营养元素的主要因素^[11-12]。一些研究者对林草地营养元素循环过程与特征进行大量的研究,取得了重要的进展^[13-16]。

在黄土丘陵沟壑区人工种植豆科和禾本科草。广泛种植的豆科人工草种包括紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、沙打旺(*Astragalus adsurgens* Pall.)、红豆草(*Onobrychis viciaefolia* Scop.)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica* Schindl.)等,禾本科有白羊草(*Bothriochloa ischaemun* L.)、柳枝稷(*Panicum virgatum*)及无芒雀麦(*Bromus inermis* Leyss.)等。

紫花苜蓿是分布最广的栽培牧草,抗逆性强,适应范围广,能在多种类型的气候、土壤环境下生长。沙打旺也称直立黄芪,为豆科黄芪属多年生草本植物,是饲草、绿肥作物。红豆草是豆科红豆草属多年生草本植物,为深根型牧草。达乌里胡枝子为草本状

半灌木,是耐旱耐瘠薄土壤的优良牧草。

柳枝稷为多年生丛生型禾草,由于其生物量高,被称为能源植物。白羊草为禾本科孔颖草属,多年生疏丛型禾草,须根特别发达,耐践踏,固土保水能力强。无芒雀麦多分布于山坡、道旁、河岸,是北方地区一种很有栽培价值的禾本科牧草。

本文以黄土高原丘陵沟壑区的安塞川地及山坡的豆科和禾本科草地为对象,研究人工草地的土壤有机碳及土壤养分变化、草地植物营养元素吸收与循环特征,从而揭示人工草地对土壤有机碳及养分变化的驱动作用,为加强草地土壤肥力管理、提高人工草地生产力与品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验是在陕西省安塞县墩滩、中国科学院安塞水土保持综合试验站的试验区内完成的。该站位于陕西省延安市安塞县境内,位于黄土高原中部,属典型的梁峁状丘陵沟壑区。在气候上处于暖温带半湿润向半干旱过渡区;植被类型处于暖温带落叶阔叶林向干草原过渡的森林草原区,同时又是典型受人类活动影响的水土流失严重区。

试验区地理位置为北纬 $36^{\circ}43' - 36^{\circ}46'$,东经 $109^{\circ}14' - 109^{\circ}16'$,海拔 1 013~1 309 m。土壤类型为黄绵土,年平均气温 9.11°C 。从 1986 年有极温统计以来,极端最高温为 2005 年 6 月的 39.9°C ,极端最低温为 1994 年 1 月的 -27.0°C 。多年平均降水量 503.99 mm,降雨变幅从最低的 1997 年的大旱年 275 mm 到 1983 年的丰水年 688.9 mm。年日照时数为 2 375.5 h,日照百分率达 54%,全年无霜期 159 d,干燥度 1.46。

1.2 草地试验小区布设

田间试验小区分别布设在安塞站长期监测区的山坡地与川地。山地坡面人工草地与灌木小区 6 个,规格为 $5\text{ m} \times 20\text{ m}$,坡向为东北方向,坡度为 $33^{\circ} \sim 34^{\circ}$,人工草地种植的牧草行距为 40 cm。川地建立人工草地小区 8 个,规格为 $7\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。人工草地种植的牧草行距为 30 cm。在本文研究中,选择了山地与川地的部分试验小区作为研究对象。选取的山坡地的 3 个草地小区分别为自然草地、达乌里胡枝子草地和白羊草草地;选取的川地 6 个小区种植的牧草分别为苜蓿、沙打旺、红豆草、达乌里胡枝子、柳枝稷和

无芒雀麦。

2.3 草地植物生物量的测定及土壤和植物样品采集

在植物生长季末(11 月初), 采集所选择的小区中的土壤和植物样品。用直径为 9 cm 土钻取样, 取样深度 0– 20 cm, 在每个小区中, 采用 S 型多点采样, 将多点重复土样混合后, 装入土样袋。将土样带回室内, 去除根土样中的植物残体风干, 用于土壤测定。在小区中选择 1 m × 1 m 的样方, 收获测定牧草地上生物量, 并采集植物样品, 用于养分测定。应用土钻法测定牧草根系生物量, 并取根系样品, 用于养分测定。

1.4 土壤有机碳及土壤植物养分元素测定

测定土壤中的有机碳、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾等, 测定植物样品的全氮、全磷和全钾。采用重铬酸钾氧化– 外加热法测定土壤有机碳^[17]; 采用开氏法测定土壤全氮, 采用硫酸– 高氯酸消煮– 钼锑抗比色法测定土壤全磷, 采用碳酸氢钠浸提– 钼锑抗比色法测定速效磷, 采用醋酸铵浸提土壤速效钾, 应用原子发射光谱法测定浸提液中的钾^[17]。植物氮、磷、钾营养元素的测定, 应用硫酸– 双氧水消化植物样品, 应用开氏法定氮, 钼锑抗比色法测定磷, 原子发射光谱法测定钾^[18]。

2 结果与分析

2.1 川地人工草地植物养分累积与归还特征

从表 1 可以看出, 在各个人工草地的当年生长牧草的茎叶、立枯物及凋落物中所累积的营养元素中, 氮素累积量最高, 其次为钾, 磷的累积量最少。各种牧草当年茎叶中所累积营养元素的量取决于草的种类。苜蓿当年茎叶中所累积的氮磷钾元素最多, 其次为红豆草、达乌里胡枝子和柳枝稷, 氮磷钾在沙打旺茎叶中累积的最少。各种人工草地凋落物中氮磷钾元素累积量的顺序与茎叶中累积量顺序一致。各个草地中, 草本植物通过凋落物归还到土壤中的氮素最多、其次为钾素, 磷的归还量最少, 草本植物对这三种营养元素的归还量多少与草的种类有关。

从各种草的根系中累积的氮磷钾元素的累积量可知(表 1), 根系中累积的氮素最多, 其次为钾, 磷的累积量最低。苜蓿和柳枝稷根系中累积的氮磷钾量较高, 其次为红豆草、达乌里胡枝子和沙打旺。草本植物根系中营养元素累积量也与草的种类及其生长状况有关。

各类草本植物的地上部氮、磷、钾 3 种元素累积量高于根系中的累积量。苜蓿的地上部与根系中氮、磷、钾元素总的累积量最高, 其次为红豆草、柳枝稷和

达乌里胡枝子, 沙打旺的地上部与根系中累积的氮、磷、钾总量最少。

表 1 安塞川地人工草地养分吸收累积量及归还量 kg/ hm²

类 别	养 分	苜蓿	沙打旺	红豆草	达乌里胡枝子	柳枝稷
当年茎叶	N	230.0	33.0	71.5	88.5	66.0
	P	21.9	2.4	8.8	6.1	15.3
	K	145.3	15.0	29.7	34.9	69.9
立枯物	N	74.0	3.0	48.2	2.2	6.2
	P	8.9	0.2	7.5	0.3	2.1
	K	48.4	1.3	22.4	1.2	6.5
凋落物	N	56.5	8.3	25.4	18.5	4.2
	P	7.1	1.7	4.7	2.2	1.4
	K	40.3	3.7	11.7	8.9	3.8
地上部总和	N	360.5	44.2	145.1	109.2	76.4
	P	37.9	4.3	21.0	8.6	18.8
	K	234.0	19.9	63.8	45.1	80.2
根系	N	137.2	65.2	81.7	77.1	113.2
	P	13.0	3.9	7.3	7.0	16.0
	K	63.8	20.9	35.6	32.7	89.8
总 和	N	497.7	109.4	226.8	186.3	189.6
	P	50.9	8.2	28.3	15.6	34.8
	K	297.8	40.9	99.4	77.7	170.0

2.2 人工牧草对草地土壤有机碳累积的效应

植物通过光合作用固定大气中的 CO₂, 合成含碳有机物, 存储植物体中, 作为植物生长所需的物质, 这些有机物成为植物体构成的物质基础。植物残体及地下根系归还到土壤中, 成为土壤有机碳的来源。这些有机物通过分解转化, 转变为土壤有机碳库的组成部分。地表植被对土壤有机碳的累积及有机碳库的构成具有重要的驱动作用。由表 2 可以看出, 与川地中的裸地土壤有机碳相比, 种植和生长人工牧草后, 促进了土壤有机碳含量提高、有机碳储量与有机碳固定量的增加, 其中苜蓿显著地促进土壤有机碳的含量增加, 达乌里胡枝子促进土壤有机含量提高的作用次之、柳枝稷和无芒雀麦提高土壤有机碳含量的能力较弱, 沙打旺对土壤有机碳含量提高的作用最小。因此, 苜蓿草地土壤 0– 20 cm 土层有机碳储量最高, 达乌里胡枝子、柳枝稷及无芒雀麦草地的有机碳储量次之, 而沙打旺草地土壤有机碳的储量最低(表 2)。从表 2 中可以出, 苜蓿地土壤有机碳的固定量最高, 固定量为 4 239.7 kg/ hm², 约为达乌里胡枝子草地土壤固定量的 2 倍, 约为柳枝稷和无芒雀麦草地土壤固碳量的 2.8 倍。从表 3 中可以看出, 在山坡草地中, 与山坡裸地相比, 在生长草本植物条件下, 土壤有机碳库中有机碳的量呈现增加的趋势。在 3 种类型草地中, 山坡白羊草草地土壤有机碳含量最高, 自然草地与达

乌里胡枝子草地的土壤有机碳的含量次之,且二者的含量相近。白羊草草地土壤 0– 20 cm 土层中的有机碳储量高于自然草地和达乌里胡枝子草地的储量(表 3)。白羊草草地土壤有机碳固定量为 4 769.5 kg/hm²,为自然草地和达乌里胡枝子草地土壤固定量的 1.9 倍(表 3)。由此也表明了草本植被可以有效地促进土壤有机碳库中有机碳的进一步累积。

表 2 安塞川地草地土壤有机碳储量与固定量(0– 20 cm 土层)

草地类型	有机碳/ (g·kg ⁻¹)	土壤有机碳储量/ (kg·hm ⁻²)	土壤有机碳固 定量/(kg·hm ⁻²)
沙棘	4.44	11545.3	415.4
柳枝稷	5.03	12586.6	1456.7
无芒雀麦	5.08	12699.3	1569.4
沙打旺	4.77	12030.1	900.2
苜蓿	6.10	15369.6	4239.7
达乌里胡枝子	5.28	13294.8	2164.9
裸地	4.35	11129.9	0.0

从以上的结果可知,土壤有机碳库变化对草的种类具有明显的响应,植物促进土壤碳库中有机碳累积的能力取植物种类及其生长状况。在川地种植苜蓿有利于土壤有机碳的累积,而在山坡地生长白羊草有助于土壤碳库中有机碳的增加。

表 3 安塞山坡草地土壤有机碳储量与固定量(0– 20 cm)

草地类型	有机碳/ (g·kg ⁻¹)	土壤有机碳储量/ (kg·hm ⁻²)	土壤有机碳固 定量/(kg·hm ⁻²)
自然草地	3.50	8961.1	2561.1
达乌里胡枝子	3.46	8866.9	2466.9
白羊草	4.36	11169.5	4769.5
裸地	2.56	6400.0	0.0

2.3 人工草地对土壤养分的效应

川地种植豆科及禾本科草对土壤养分产生一定的影响。表 4 的结果表明,在川地中生长人工草后,土壤全氮含量提高。苜蓿地土壤全氮含量最高,是裸地全氮含量的 1.4 倍,红豆草草地土壤全氮的含量次之,为裸地土壤全氮的 1.2 倍,沙打旺草地、达乌里胡枝子草及柳枝稷草等 3 类草地土壤全氮含量相近,且低于红豆草草地土壤全氮含量,仅为裸地土壤全氮的 1.06~ 1.14 倍。生长草本植物后,各个草地土壤全磷与裸地土壤全磷含量接近,表明了种植人工草后,对土壤全磷的效应不明显。种植人工草后,与裸地土壤相比,人工草地土壤碱解氮、速效磷及速效钾含量明显提高,说明了由于生长植物后,根植物根系分泌的有机酸等物质,促进了土壤养分的有效化,从而提高土壤氮、磷、钾养分的有效性。

在山坡草地中(表 4),与山坡裸地比较,生长草

本植物后,土壤全氮增加。草地土壤全氮含量为裸地土壤全氮的 1.2~ 1.5 倍。生长人工牧草后的土壤全磷含量与裸地土壤接近,表明了山坡地生长人工草后,不能增加土壤全磷的含量,这与川地生长人工牧草后对土壤全磷的效应一致。山坡草地土壤碱解氮与速效钾的含量高于裸地土壤的含量,分别为裸地的 2.3~ 2.6 倍和 1.4~ 1.6 倍,而山坡草地土壤的速效磷则略高于裸地的含量,说明了生长人工草明显的促进山坡草地有效氮与速效钾的增加,而对土壤速效磷变化的贡献较小。

比较川地与山坡草地土壤全量养分与速效养分(表 4),可以看出,在不施肥的条件下,山坡草地土壤养分含量低于川地的含量。这可能主要是由于山坡地易于发生土壤侵蚀,导致表层土壤养分流失,而且也引起归还到地表的植物凋落物随径流而移出坡面;而川地草地土壤没养分流失,植物凋落物归还保留在草地。

3 讨论

氮、磷、钾是植物所必需的大量营养元素。氮、磷是植物中有机化合物的重要成分,参与植物的生理活动和代谢过程。钾素对于调节植物细胞渗透压和气孔开放具有直接的作用,同时,钾也是植物细胞内多种酶的活化剂,在植物碳水化合物代谢、蛋白质代谢及呼吸作用中起作用。这三种元素与植物生理代谢和生长发育具有密切的关系。植物体中,不同元素含量的差别取决于植物对其的生理需求、选择性吸收、土壤营养元素的供应能力等因素。已有研究表明,植物体中氮、磷、钾含量的顺序为氮> 钾> 磷^[11–12]。植物体中营养元素累积量与植物生物量及其营养元素的含量有关。在本项研究中,这些牧草地上部和根系中营养元素累积量的顺序为氮> 钾> 磷,这与以前的研究结果相一致。由于这几种牧草生物量具有一定的差别,因而,这些牧草的氮、磷和钾累积量不同。牧草中氮的含量是衡量牧草品质的重要指标之一^[19–20],与其他牧草相比,苜蓿地上氮素累积量最多(表 1),因此,苜蓿是良好的牧草。另外,牧草对于土壤中元素的生物地球化学循环具有一定的影响作用。

在陆地生态系统有机碳循环中,土壤是重要有机碳库,植被对土壤有机碳库变化具有明显的驱动作用。在牧草地中,由于牧草根系及其分泌和地上部有机残体归还到土壤,因此,种植牧草是引起土壤有碳变化的主要因素。不同种类牧草归还到土壤中有机的数量与质量具有差异性,所以,对土壤有机碳累积的效应不同。本研究结果显示,不同种类牧草土壤

有机碳库影响作用明显不同, 其他研究也表明了土壤有机碳变化程度与植被类型具有密切的关系^[21]。种植牧草有助于将大气中的二氧化碳固定在土壤中, 从而丰富土壤碳库, 促进牧草地土壤成为有机碳的汇。

表 4 安塞川地草地土壤养分

草地种类	全氮/ (g · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	有效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
苜蓿地	0.67	0.64	41.0	11.6	178.9
沙打旺草地	0.52	0.61	32.3	7.1	161.4
达乌里胡枝子草地	0.56	0.66	31.2	7.2	149.9
柳枝稷草地	0.53	0.62	48.2	9.6	180.2
无芒雀麦草地	0.55	0.62	48.8	10.0	172.3
裸地	0.49	0.62	29.9	6.5	143.9

表 5 安塞山坡草地土壤养分

草地种类	全氮/ (g · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	有效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
白羊草草地	0.39	0.54	40.0	0.8	97.6
柳枝稷草地	0.33	0.53	39.6	1.1	86.7
达乌里胡枝子草地	0.40	0.55	44.2	1.3	98.2
自然草地	0.39	0.54	40.9	1.1	103.2
裸地	0.26	0.54	17.0	0.7	62.8

种植豆科和禾本科牧草后, 豆科牧草具有固氮作用, 牧草根系及地上凋落物进入土壤中, 促进表层土壤氮素养分含量的增加。牧草从土壤中吸收磷素, 但是其吸收累积量远小于氮素的量, 虽然牧草凋落物归还到土壤中, 但对表层土壤全磷的影响不明显。另外, 牧草根系分泌有机物, 促进土壤中微生物活动, 从而使土壤中氮磷钾养分的有效性提高。

除植被因素外, 土壤所处的地貌条件对土壤有机碳和养分含量具有一定的影响。在本研究中, 山坡草地土壤经常受到侵蚀的影响, 牧草生长易受水分胁迫, 生物量较小, 因此, 相对于川地土壤, 山坡草地土壤有机碳累积和养分增加缓慢。

在黄土丘陵沟壑区, 种植牧草后, 虽然土壤有效养分得到一定的提高, 但是磷素有效性相对较低^[2], 限制牧草生长。在这一区域, 根据土壤水分环境条件, 进行人工草地施肥, 特别是施用磷肥, 有望提高该区人工草地牧草的产量与品质和促进稳定人工草地建设与可持续发展^[22]。

4 结 论

(1) 苜蓿、沙打旺、红豆草、达乌里胡枝子和柳枝稷等 5 种牧草当年生长的茎叶、立枯物、凋落物及人工草根系中所累积的营养元素中, 氮素累积量最高, 其次为钾, 磷的累积量最少; 牧草通过凋落物归还到土壤中的氮素最多、其次为钾素, 磷的归还量最少; 草的地上部氮、磷、钾 3 种元素累积量高于根系。苜蓿的地上部和根系中氮、磷、钾总的累积量最高, 其次

为红豆草、柳枝稷和达乌里胡枝子, 沙打旺的地上部与根系中累积的氮、磷、钾总量最少。

(2) 在川地与山坡地人工种植草后, 土壤有机碳含量与有机碳储量及有机碳固定量增加, 川地人工草地土壤有机碳含量与储量高于山坡草地土壤, 而川地人工草地土壤有机碳固定量低于山坡地土壤的固定量。

(3) 川地与山坡地生长牧草后, 使土壤全氮的含量明显地增加。川地人工草地土壤全氮含量高于山坡地的含量, 川地苜蓿对土壤全氮增加的作用明显, 山坡地白羊草对土壤全氮的提高具有明显的效果。种植牧草对于促进川地与山坡地土壤全磷的增加作用较小。川地种植牧草后, 显著地提高土壤氮磷钾的有效性; 山坡地生长人工草后, 明显地提高土壤氮与钾的有效性, 而对磷的有效性影响甚微。川地人工草地土壤养分含量高于山坡地的含量。

参考文献:

[1] 王国宏. 黄土高原自然植被演替过程中的植物特征与土壤元素动态(英文)[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(8): 990-998.

[2] 温仲明, 焦峰, 刘宝元, 等. 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2025-2029.

[3] 万景利, 王利兵, 胡小龙, 等. 不同人工林土壤养分变化的研究[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2007, 28(1): 186-189.

[4] Wilson T B, Thompson T L. Soil nutrient distributions

- of mesquite-dominated desert grasslands: changes in time and space[J]. *Geoderma*, 2005, 126(3/4): 301-315.
- [5] 张成娥, 陈小利. 黄土丘陵区不同撂荒年限自然恢复的退化草地土壤养分及酶活性特征[J]. *草地学报*, 1997, 5(3): 195-200.
- [6] 焦菊英, 焦峰, 温仲明, 等. 黄土丘陵沟壑区不同恢复方式下植物群落的土壤水分和养分特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(5): 667-674.
- [7] McGrath D, Zhang C. Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland[J]. *Applied Geochemistry*, 2003, 18(10): 1629-1639.
- [8] Wang G, Qian J, Cheng G, et al. Soil organic carbon pool of grassland soils on the Qinghai-Tibetan Plateau and its global implication[J]. *Science of the Total Environment*, 2002, 291(1/3): 207-217.
- [9] Evrendilek F, Celik I, Kilic S. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 59(4): 743-752.
- [10] Goberna M, Schez J, Pascual J A, et al. Surface and subsurface organic carbon, microbial biomass and activity in a forest soil sequence[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(8): 2233-2243.
- [11] 韦兰英, 上官周平. 黄土高原不同退耕年限坡地植物比叶面积与养分含量的关系[J]. *生态学报*, 2008, 28(6): 2526-2535.
- [12] 祝美俊, 牛建忠, 薛建国, 等. 施钾对草地早熟禾根部可溶性碳水化合物及叶片氮、磷和钾含量的影响[J]. *草原与草坪*, 2008(3): 1-6.
- [13] 刘世海, 余新晓. 密云水库流域油松水源保护林主要养分元素的生物循环[J]. *北京林业大学学报*, 2008, 30(3): 51-56.
- [14] 刘广全, 土小宁, 赵士洞. 秦岭松栎林带生物量及其营养元素分布特征[J]. *林业科学*, 2001, 37(1): 28-36.
- [15] 刘增文, 李雅素. 黄土残塬沟壑区刺槐人工林生态系统的养分循环通量与平衡分析[J]. *生态学报*, 1999, 19(5): 630-634.
- [16] 张硕新, 雷瑞德, 刘广全. 秦岭火地塘林区主要森林类型的营养循环[J]. *西北林学院学报*, 1996, 11(增): 115-120.
- [17] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [18] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 2版. 北京: 农业出版社, 1986.
- [19] 曾洪光. 牧草品质综合评定概述[J]. *四川畜牧兽医*, 2001, 28(9): 40-40.
- [20] 张治国, 王仁卿. 黄河三角洲牧草品质及其利用价值的综合评价模型[J]. *山东大学学报: 自然科学版*, 1994, 29(2): 210-216.
- [21] 刘俊华, 常庆瑞, 贾科利. 黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(4): 39-41.
- [22] 山仑, 徐炳成. 黄土高原半旱地区建设稳定人工草地探讨[J]. *草业学报*, 2009, 8(2): 1-2.

(上接第 126 页)

参考文献:

- [1] 何丽芳. 打造与哈尼梯田媲美的观光胜号: 论湖南紫鹊界梯田文化资源的旅游开发[J]. *农村经济与科技*, 2006(3): 39-40.
- [2] 许志方, 聂芳容, 张硕铺, 等. 湖南紫鹊界梯田自流灌溉体系[J]. *中国农村水利水电*, 2006(4): 73-74.
- [3] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [4] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [5] 森林土壤全氮的测定. GB/7848-1987[S].
- [6] 胡振宇, 马钦彦, 王金锡. 川中丘陵区防护林改良土壤作用研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(3): 15009-15013.
- [7] 罗札诺夫 B F. 土壤形态学[M]. 王浩清, 郑军, 译. 北京: 科学出版社, 1988.
- [8] 杨玉盛, 李振向, 俞新妥, 等. 南平溪后杉木林取代杂木林后土壤肥力变化的研究[J]. *植物生态学报*, 1994, 18(3): 236-242.
- [9] 康贻军, 胡健, 杨小兰, 等. 盐碱地土壤微生物对不同改良方法的响应[J]. *微生物学杂志*, 2008, 28(5): 102-105.
- [10] 杨海儒, 宫伟光. 不同土壤改良剂对松嫩平原盐碱土理化性质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(20): 8715-8716.