

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 13 期 2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栎群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	 羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	 邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

任晶晶, 李军, 王学春, 方新宇. 宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征. 生态学报, 2011, 31(13): 3638-3649.

Ren J J, Li J, Wang X C, Fang X Y. Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3638-3649.

宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地 土壤水分与养分特征

任晶晶, 李 军*, 王学春, 方新宇

(西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100)

摘要:通过对宁夏南部半干旱区(固原)和半干旱偏旱区(海原)不同生长年限紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)草地深层土壤水分与养分含量的测定, 分析和比较了 2 种干旱类型区苜蓿草地土壤水分与养分差异及其土层剖面的分布特征。结果表明: (1) 2 个类型旱区苜蓿草地 0—1000 cm 土层平均土壤湿度随生长年限的延长逐渐降低, 但草地衰败后对水分的消耗减少。(2) 随土层深度的增加, 2 个类型旱区苜蓿草地土壤湿度表现出先减少后增加的变化趋势; 有机质、全氮、碱解氮和速效磷含量不断减少。(3) 随生长年限的延长, 2 个类型旱区苜蓿根系对土壤水分和养分的消耗不断加深, 6 a 苜蓿草地土壤含水量、碱解氮和速效磷发生了不同程度的亏缺; 10 a 苜蓿草地均已进入衰败期, 土壤有机质、全氮和碱解氮自上而下逐渐恢复, 且半干旱偏旱区恢复的较快; 速效磷含量随生长年限的延长不断减少, 苜蓿草地衰败后消耗速率减小。(4) 半干旱偏旱区相同生长年限苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤养分含量均高于半干旱区。(5) 土壤水分亏缺与养分不均导致苜蓿草地衰败。因此, 在实际生产中对旱地苜蓿草地应进行合理灌溉与施肥, 平衡土壤养分并延缓草地衰败。

关键词: 宁南旱区; 半干旱区; 半干旱偏旱区; 土壤水分; 土壤养分; 草地衰败

Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia

REN Jingjing, LI Jun*, WANG Xuechun, FANG Xinyu

College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: In order to explore the relationship of alfalfa grassland among soil water, soil nutrient and grassland degradation, and provide theoretical basis and practical guidances for fertilizater application and soil water management of alfalfa grassland in southern Ningxia, soil water and nutrient contents in deep soil layers on alfalfa grasslands with different growth years at semi-arid area-Guyuan and semi-arid prone to drought area-Haiyuan of southern Ningxia were determined, the differences of soil moistures, nutrient contents and distribution characteristics were analyzed and compared. The results showed as follows: (1) Alfalfa yields of semi-arid area were generally higher than that of semi-arid prone to drought area, but there were normal distribution patterns between alfalfa yields and growth year at both of 2 rainfall areas, 1 — 6 year-old alfalfa grasslands were in vigorous growth period, after that time it entered into degradation. (2) The mean soil moistures decreased with the increasing of alfalfa growth age in 0—1000 cm soil layers at 2 varied rainfall areas before alfalfa entering into wane, but the consumption of soil water descended when alfalfa grasslands entered into wane. Soil water of 10 year-old alfalfa grassland began to recover from upper to deep soil layers at Haiyuan, but 12 year-old alfalfa grassland showed no signs of recovery at Guyuan, since alfalfa growth of Guyuan was better than that of Haiyuan, 12 year-old alfalfa grassland was still in soil water consumption period. (3) The influences of rainfall and soil water consumption made soil moistures

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30771280, 31071374); 农业公益性行业科研专项经费项目(200803028)

收稿日期: 2010-09-25; **修订日期:** 2010-12-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: junli@nwsuaf.edu.cn

decreased firstly then increased with the increasing of soil depth; The root and residue of alfalfa could return nutrients to upper soil layers, so soil organic matter, total N, available N and available P contents in 0—30 cm soil layers were highest at 2 different rainfall areas. (4) Soil water and nutrient consumption depths deepened in soil profile with the increasing of alfalfa growth age at 2 different rainfall areas, the contents of soil available N and available P decreased with different extent on 6 year-old alfalfa grasslands; Since 10 year-old alfalfa grasslands had entered into wane, soil organic matter, total N and available N contents restored from the upper to deep soil layer, but the soil nutrients of semi-arid prone to drought area restored faster than that of semi-arid area. Soil available P content reduced with the increasing of alfalfa growth age, but the consumption rate decreased after 6 years. (5) Comparing alfalfa grasslands with the same growth age, soil nutrient contents of semi-arid prone to drought area were generally higher than that of semi-arid area in 0—400 cm soil layers. (6) The changing trends of alfalfa yields, soil water and nutrient of both 2 different rainfall areas showed that the imbalance of nutrients and deficit of soil water led to grassland degradation. So feasible irrigation and fertilization measures should be taken in arid alfalfa grasslands to balance soil nutrient and delay degradation, suitable alfalfa growth year of semi-arid and semi-arid prone to drought areas was 6—7 and 5—6 years respectively in southern Ningxia.

Key Words: southern Ningxia; semi-arid area; semi-arid prone to drought area; soil water; soil nutrient; grassland degradation

紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 以其耐寒、耐旱、耐瘠薄、耐盐碱等特点^[1], 成为黄土高原地区水土保持和土壤改良的首选草种。近年来, 随着退耕还林还草工程的推进, 宁夏苜蓿种植面积超过 16 万 hm^2 。其中宁夏南部山区苜蓿种植面积达到 13.3 万 hm^2 , 占全区种植总面积的 83.3%^[2]。但苜蓿对深层土壤水分的大量消耗, 导致了土壤水分环境的恶化和苜蓿产草量的急剧下降, 苜蓿生长衰败现象普遍发生^[3]。研究表明, 土壤水分过耗是苜蓿草地衰败的主要原因^[3-5], 但苜蓿草地土壤养分含量偏低可能是其衰败的另一个原因。苜蓿从土壤中吸收的养分远比一般作物和牧草高^[6]。5a 苜蓿草地土壤氮素含量显著低于种植初期^[7], 同时多年生苜蓿草地深层土壤中的硝态氮浓度显著偏低^[8]。目前对苜蓿地土壤养分动态变化的研究较多^[7-12], 但很少见到探讨苜蓿草地养分变化与草地衰败关系的报道。张少民和刘晓峰^[9-10]等的研究表明, 随生长年限的延长, 苜蓿草地有机质和氮素含量逐渐增加; 郭玉泉等^[11]的研究显示, 3a 苜蓿草地土壤有机质和全氮与种植前相比显著降低; 张春霞^[7]和万素梅^[12]研究认为, 苜蓿草地土壤有机质和氮素含量在生长旺盛期呈下降趋势, 在衰败期呈现逐渐增加的趋势。这些在特定的气候条件和土壤条件下得出的结论表明, 气候和土壤质地等环境条件不同, 其对苜蓿草地土壤养分变化规律的影响也不同。

本研究通过测定深层土壤水分与养分含量, 对不同干旱类型区旱作苜蓿草地深层土壤水分与养分的利用特征进行比较, 分析苜蓿草地土壤水分、养分变化与草地衰败的关系, 探讨环境条件对苜蓿草地养分变化规律的影响, 为宁南旱区苜蓿草地合理施肥以及如何延缓草地衰败提供理论依据与实践指导。

1 材料与方法

1.1 试区概况与草地管理

根据宁南气候和植被地域分异规律, 选取半干旱丘陵沟壑区的固原彭堡乡、半干旱偏旱丘陵区的海原贾塘乡作为试点。彭堡乡 ($\text{E}106^{\circ}10'$, $\text{N}36^{\circ}5'$) 位于固原市原州区, 属黄土丘陵半干旱区。其平均海拔为 1676.0 m, 年均气温为 6.1°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温为 2259.7°C , 年降水量为 455.4 mm, 年蒸发量为 1722.5 mm。典型土壤为黄绵土, 田间持水量、土壤稳定湿度和凋萎湿度分别为 19%、12% 和 5%^[5], 土壤容重为 1.3 g/cm^3 。贾塘乡 ($\text{E}105^{\circ}40'$, $\text{N}36^{\circ}30'$) 位于中宁市海原县, 属黄土丘陵半干旱偏旱区。其平均海拔为 1822.0 m, 年均气温为 7.3°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温为 2392.3°C , 年降水量为 386.1 mm, 年蒸发量为 2157.4 mm。典型土壤为黄绵土, 田间持水量、土壤稳定湿度和凋萎湿度分别为 17%、10.75% 和 4.5%^[5], 土壤容重为 1.3 g/cm^3 。两个试点地下水位均在 60 m 以下, 不参加生物循环, 是典型的旱作雨养农业区。2 个降水类型区试验地均未进行施肥与灌

溉,苜蓿每年均齐地刈割 2 次,分别在 7 月下旬和 9 月下旬进行,其它管理措施同大田。

由于所选试验地均未进行施肥与灌溉,苜蓿收割时地表残留物极少,主要依靠苜蓿根茬残留还田,因而草地土壤水分和养分主要随苜蓿生长年限而变化,为此,采用空间位置代替时间序列的方法,测定和分析不同生长年限苜蓿草地水分和养分的变化规律。根据我们课题组调查和相关文献资料^[4,13],汇总得到宁南半干旱和半干旱偏旱区 1—10a 苜蓿草地产草量(2 次刈割鲜重之和)数据。如图 1 所示,固原苜蓿产草量明显高于海原地区,但 2 个降水类型区 1—10 a 苜蓿产草量表现出相同的变化趋势,均呈正态分布,种植初期苜蓿草地土壤水肥条件较好,1—5 a 苜蓿产草量逐渐增加,至 6 a 产草量达到最高,6 a 之后由于水肥胁迫严峻,7 a 产草量急剧下降且草地开始衰败,10 a 苜蓿产草量仅为 6 a 的 20%—25%。根据宁南旱区苜蓿产草量的变化趋势,本文将 1—6 a 划分为苜蓿生长旺盛期,6 a 之后划分为衰败期。

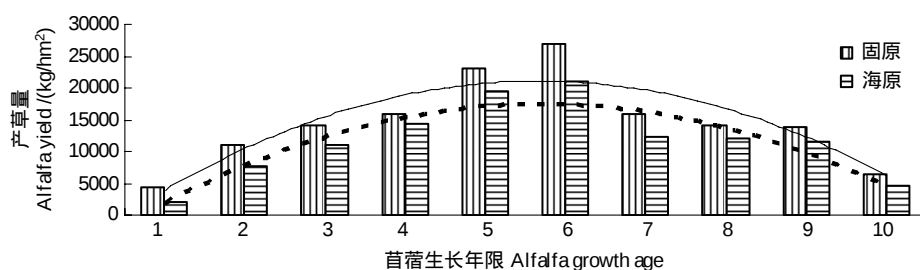


图 1 宁南不同生长年限苜蓿产草量比较

Fig. 1 Comparison of yields of different growth age alfalfa grasslands in southern Ningxia

1.2 采样、测定与计算方法

2008 年 7 月在 2 个试点分别采集了不同生长年限苜蓿草地土壤水分和养分样品。为保证同一试点苜蓿草地生长条件一致性,在空间距离 500 m 范围内选择不同生长年限的苜蓿草地。在固原彭堡乡采集了 1、5、8、12 a 苜蓿草地土样测定土壤水分,2、6、10 a 苜蓿草地土样测定土壤养分;在海原贾塘乡采集了 3、6、7、10 a 苜蓿草地土样测定土壤水分,3、6、10 a 苜蓿草地土样测定土壤养分。采用土钻分层取样,测定土壤水分的土样在 0—1000 cm 土层每 20 cm 土层取样 1 次;测定土壤养分的土样在 0—200 cm 土层每 20 cm 土层取样 1 次,200—400 cm 土层每 40 cm 土层取样 1 次。

土壤湿度测定采用烘干法,即在 105 °C 烘干至恒质量,分别称湿土重量、干土重量和铝盒重量,最后计算各层土壤重量含水量。

养分测定项目包括:有机质(SOM)、全氮(TN)、碱解氮(AN)和速效磷(AP)。用四分法取自然风干土样的一半,磨细并通过 0.149 mm 筛孔,用于测定有机质、全氮;另一半土样磨细并通过 1 mm 筛孔,用于测定碱解氮、速效磷。土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法测定(油浴温度为 180 °C,沸腾 5 min)。全氮采用全自动凯氏定氮仪测定。碱解氮采用碱解扩散法测定(用 1.00 mol/L NaOH 水解土壤,使潜在有效氮碱解转化为 NH₃,被 H₃BO₃ 所吸收,用标准酸滴定)。速效磷采用 0.50 mol/L NaHCO₃ 浸提后用分光光度计法测定^[14]。

1.3 数据处理方法

所有试验数据采用 Microsoft Excel 2003 进行统计处理,SAS 8.0 软件进行方差及相关分析^[15-16]。

2 结果与分析

2.1 深层土壤湿度

固原连作 1、5、8、12 a 苜蓿草地 0—1000 cm 土层平均土壤湿度逐渐降低,平均值分别为 10.25%、5.40%、5.12% 和 5.07% (表 1)。0—200 cm 和 200—1000 cm 土层,其平均土壤湿度均随生长年限的延长而不断降低。与固原相似,海原连作 3、6、7、10 a 苜蓿草地 0—1000 cm 土层平均土壤湿度也依次逐渐降低,由 3 a 时的 7.90% 降低到 10 a 的 5.23%。从 0—200 cm 土层来看,土壤湿度以 6 a 最高,其次为 3、10、7 a,10 a 苜

苜蓿草地 0—200 cm 土层土壤湿度已经超过 7 a, 表明苜蓿生长衰败后土壤水分从上层开始逐渐恢复。200—1000 cm 土层, 3 a 苜蓿草地平均土壤湿度最高, 10 a 苜蓿草地最低。

随生长年限的延长, 2 个试点苜蓿地 0—1000 cm 土层平均土壤湿度均逐渐降低, 但土壤水分的消耗速率不断减小, 这表明苜蓿生长前期土壤供水充足, 苜蓿耗水较为强烈, 苜蓿高产具有较好的水分基础, 而后期土壤发生干燥化后苜蓿生长衰败, 对土壤水分消耗减少。200—1000 cm 土层土壤湿度逐渐降低, 表明随着生长年限的增加, 苜蓿根系不断下扎, 耗水深度不断加深。海原 10 a 苜蓿草地土壤水分自上层开始恢复, 固原 12 a 苜蓿地土壤水分还未表现出恢复的迹象, 说明海原 10 a 苜蓿地已衰败严重, 耗水极少, 而固原苜蓿衰败较海原缓慢, 12 a 仍处于耗水阶段。

表 1 宁南不同生长年限苜蓿草地 0—1000 cm 土层土壤湿度比较/%

土层深度/cm Soil depth	固原 Guyuan				海原 Haiyuan			
	1 a	5 a	8 a	12 a	3 a	6 a	7 a	10 a
0—200	7.59	6.37	5.58	5.15	6.92	7.73	5.31	6.74
200—1000	10.91	5.82	5.00	5.04	8.14	5.73	5.43	4.85
0—1000	10.25	5.93	5.12	5.07	7.90	6.13	5.41	5.23

各类苜蓿草地土壤水分在垂直剖面上有着相似的分布特征, 并且随着苜蓿生长年限的增加呈现规律性变化(图 2)。由于受降水的影响, 各年生苜蓿草地 0—100 cm 土层总体上均保持较高的湿度; 100—200 cm 土层土壤湿度变化较上层明显减弱; 随苜蓿生长年限延长, 苜蓿主要吸水层逐渐下移, 200—650 cm 土层呈现土壤干燥化加重的趋势; 由于根系对较深层土壤水分的影响减弱, 800—1000 cm 土层土壤湿度较高于 200—650 cm 土层。

在黄土高原, 苜蓿草地年蒸散量大于年降水量, 作物生长期土壤水分始终处于亏缺状态, 2 个试区苜蓿草地 200—650 cm 土层土壤湿度均在 6 a 左右发生严重干燥化, 形成稳定的生物性土壤下伏干层, 苜蓿地开始衰败。固原 1、5、8、12 a 苜蓿草地 0—1000 cm 土层平均土壤干燥化速率分别为 228.00、157.60、127.70、75.10 mm/a; 海原 3、6、7、10 a 苜蓿草地 0—1000 cm 土层平均土壤干燥化速率为 123.60、100.10、99.20、71.70 mm/a。表明 2 个试区苜蓿由于在生长初期土壤供水充足, 耗水较为强烈, 干燥化速率较大, 而后期发生干燥化后苜蓿生长衰败, 对土壤水分消耗减少, 干燥化速率减小。

为了使苜蓿草地达到最佳经济效益和生态效益, 种植一定年限后应及时翻耕, 苜蓿翻耕地 0—300 cm 土层土壤湿度下限不应低于凋萎湿度, 以确保轮作作物能够正常生长。固原 1、5、8、12 a 苜蓿草地 0—300 cm 土层土壤湿度平均值分别为 7.40%、5.61%、5.02%、4.65%, 8 a 苜蓿草地土壤湿度已接近当地凋萎湿度, 所以苜蓿种植不宜超过 8 a, 鉴于经济效益, 固原苜蓿连作 7 a 收获后应该翻耕; 海原 3、6、7、10 a 苜蓿草地 0—300 cm 土层土壤湿度平均值分别为 6.02%、6.33%、4.56%、5.75%, 7 a 苜蓿草地土壤湿度急剧下降已接近当地凋萎湿度, 且 7 a 左右产草量急剧减少, 所以海原苜蓿在连续种植 6 a 收获后应及时翻耕。在当地适宜种植年限内对苜蓿草地进行及时翻耕, 既能阻止苜蓿草地土壤水分生态环境进一步恶化, 又能为后茬作物生长存留一定数量的土壤水分, 促进农田生态系统的可持续发展。

2.2 土壤有机质含量

固原 2、6、10 a 苜蓿草地土壤有机质含量变化范围为 1.04—18.50 g/kg, 土壤有机质含量随土层加深呈降低趋势(图 3)。在 0—400 cm 土层, 2、6、10 a 苜蓿草地土壤有机质含量平均值分别为 5.64、5.91 和 6.55 g/kg, 各生长年限草地间差异显著 ($P < 0.05$), 土壤有机质含量随苜蓿草地生长年限延长而增加。在 0—200 cm 土层, 2、6、10 a 苜蓿草地土壤有机质含量平均值分别为 6.35、7.75 和 8.33 g/kg, 2 a 与 6、10 a 差异显著, 6 a 与 10 a 差异不显著。而在 200—400 cm 土层其平均值分别为 4.21、2.23 和 2.98 g/kg, 各生长年限草地间差异显著。表明随苜蓿草地生长年限延长, 土壤有机质主要在 0—200 cm 土层累积, 而 200 cm 以下深层土壤有

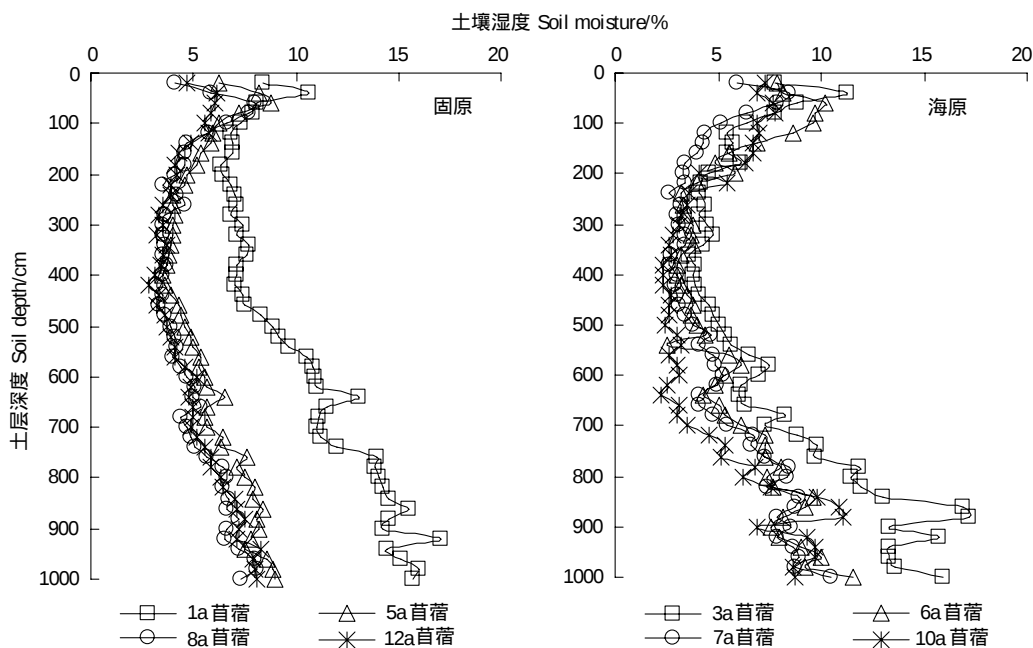


图2 宁南不同生长年限苜蓿草地0—1000 cm 土层土壤湿度剖面分布比较

Fig. 2 Comparison of soil moistures in 0—1000 cm soil layers at different growth age alfalfa grasslands in southern Ningxia

机质含量在生长旺盛期由于消耗不断减少,进入衰败期后有所恢复。

海原3、6、10 a 苜蓿草地土壤有机质含量变化范围为0.98—20.83 g/kg,土壤有机质含量也随土层加深而降低(图3)。3、6、10 a 苜蓿草地0—400 cm 土层土壤有机质含量平均值分别为7.11、5.88、9.83 g/kg,各生长年限草地间土壤有机质含量差异显著。在0—200 cm 土层,10 a 苜蓿草地土壤有机质含量最高,3 a 草地次之,6 a 草地最低,各生长年限苜蓿草地间土壤有机质含量差异显著。在280 cm 以下土层,各类苜蓿草地土壤有机质含量保持在2.00 g/kg 左右。

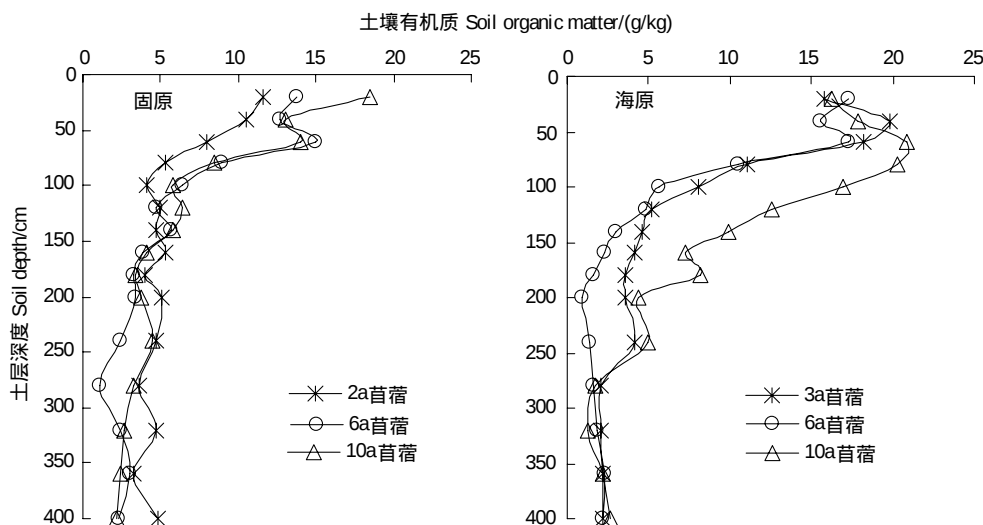


图3 宁南不同生长年限苜蓿草地0—400 cm 土层土壤有机质含量剖面分布比较

Fig. 3 Comparison of soil organic matter contents in 0—400 cm soil layers at different growth age alfalfa grasslands in southern Ningxia

在相同生长年限苜蓿草地0—400 cm 土层,海原土壤有机质含量平均值总体高于固原,2 个试点土壤有机质含量均以10 a 最高(图4)。6 a 苜蓿草地有机质含量与2 a 或3 a 相比,固原0—400 cm 土层土壤有机质含量平均增长速率和累积量分别为0.07 g/(kg·a)和3 640 kg/(hm²·a),而海原地区平均减少速率和消耗量

分别为 $0.40 \text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$ 和 $20\,800 \text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 。在生长旺盛期, 固原苜蓿长势较好, 消耗掉较多的土壤有机质, 但根部在吸收土壤有机质的同时产生一些有机分泌物, 而且枯枝落叶及根系残茬归还到土壤中较多的有机碳源, 对土壤有机质均可以进行充分地补偿, 从而使有机质含量增加; 海原苜蓿长势较差, 草地对土壤有机质的归还量不能抵消作物生长所消耗的量, 致使土壤有机质含量不断减少。10 a 苜蓿草地与 6 a 相比, 固原苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤有机质含量平均增长速率和累积量分别为 $0.16 \text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$ 和 $8\,320 \text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$; 海原苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤有机质平均增长速率和累积量分别为 $0.99 \text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$ 和 $51\,480 \text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 。表明草地衰败后, 根系活力下降, 对土壤有机质的消耗减少, 同时由于部分根系死亡, 从而增加了有机质的归还量, 导致 2 个试区有机质含量逐渐增加。因此, 种植苜蓿并不一定促进土壤有机质的累积, 受苜蓿根系吸收特征的影响, 不同地区、不同生长时期的苜蓿对土壤有机质的归还情况不尽相同。

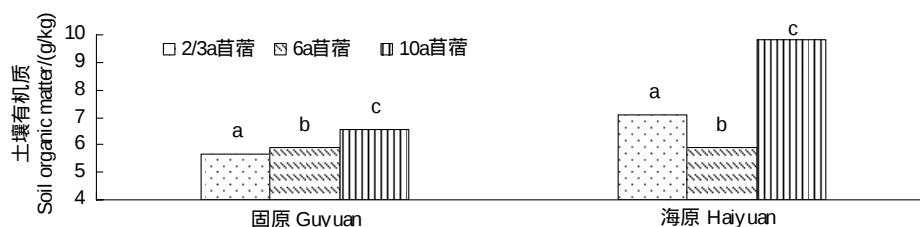


图4 宁南不同生长年限苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤有机质含量平均值比较

Fig. 4 Comparison of average contents of soil organic matter in 0—400 cm soil layers at different growth age alfalfa grasslands in southern Ningxia

2.3 土壤全氮含量

固原 2、6、10 a 苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤全氮含量变化范围为 $0.14—1.19 \text{ g}/\text{kg}$, 随土层加深土壤全氮含量呈现降低趋势 (图 5), 但在 280 cm 以下土层土壤全氮含量趋于稳定。在 0—400 cm 土层, 2、6、10 a 苜蓿草地土壤全氮含量平均值分别为 0.34 、 0.38 和 $0.44 \text{ g}/\text{kg}$, 各生长年限草地间差异显著, 土壤全氮含量随草地生长年限延长而不断增加。在 0—200 cm 土层, 2、6、10 a 苜蓿草地土壤全氮含量平均值分别为 0.42 、 0.47 和 $0.56 \text{ g}/\text{kg}$, 各生长年限草地间差异显著。在 200—400 cm 土层, 土壤全氮含量分别为 0.16 、 0.20 和 $0.19 \text{ g}/\text{kg}$, 均低于 0—200 cm 土层, 2a 与 6a、10a 差异显著, 6a 与 10a 差异不显著。

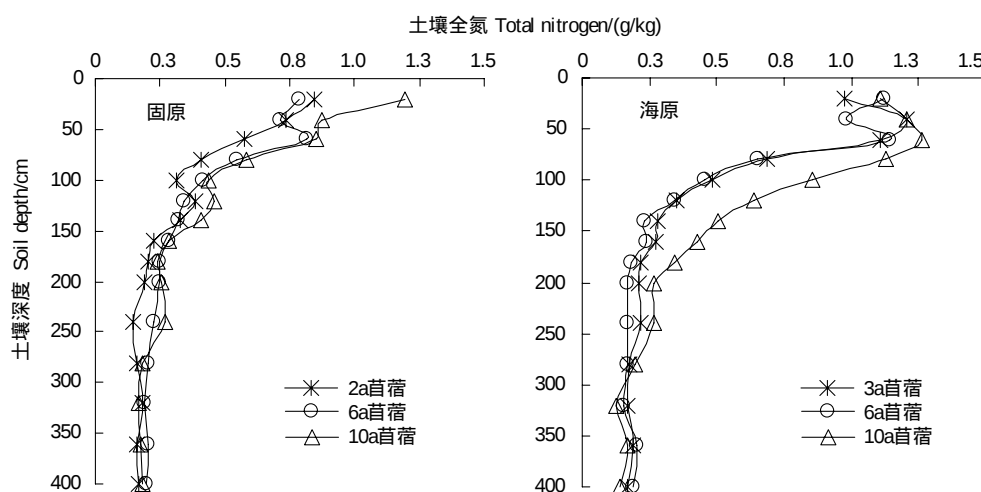


图5 宁南不同生长年限苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤全氮含量剖面分布比较

Fig. 5 Comparison of soil total nitrogen contents in 0—400 cm soil layers at different growth age alfalfa grasslands in southern Ningxia

海原 3、6、10 a 苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤全氮含量变化范围为 $0.12—1.26 \text{ g}/\text{kg}$, 也随土层加深而逐渐降低 (图 5), 在 280 cm 以下土层土壤全氮含量趋于稳定。2 个试点深层土壤全氮含量均趋于稳定, 表明深

层土壤全氮的消耗量与返还量达到平衡。在 0—400 cm 土层, 3、6、10 a 苜蓿草地土壤全氮含量平均值分别为 0.45、0.43 和 0.58 g/kg, 各生长年限草地间差异显著, 6 a 苜蓿草地土壤全氮含量最低。在 0—200 cm 土层, 3、6、10 a 苜蓿草地土壤全氮含量分别为 0.58、0.55 和 0.77 g/kg, 各生长年限草地间差异显著。在 200—400 cm 土层, 各生长年限草地间土壤全氮含量差异不显著, 平均值均为 0.18 g/kg。

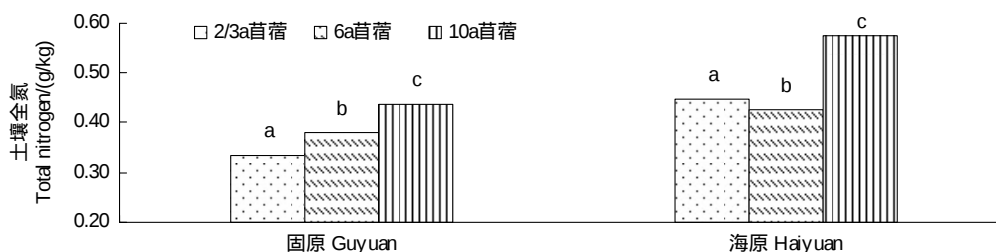


图 6 宁南不同生长年限苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤全氮含量平均值比较

Fig. 6 Comparison of average contents of soil total nitrogen in 0—400 cm soil layers at different growth age alfalfa grasslands in southern Ningxia

在相同生长年限苜蓿草地 0—400 cm 土层, 海原土壤全氮含量平均值均高于固原(图 6)。2 个试点土壤全氮含量均以 10 a 草地最高, 6 a 草地全氮含量与 2 a 或 3 a 相比, 固原 0—400 cm 土层土壤全氮含量平均增长速率和累积量分别为 0.01 g/(kg·a) 和 520 kg/(hm²·a), 海原 0—400 cm 土层土壤全氮含量平均减少速率和消耗量分别为 0.01 g/(kg·a) 和 520 kg/(hm²·a); 10 a 苜蓿草地与 6 a 草地相比, 固原苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤全氮平均增长速率和累积量仍为 0.01 g/(kg·a) 和 520 kg/(hm²·a), 海原 0—400 cm 土层土壤氮素平均增长速率和累积量分别为 0.04 g/(kg·a) 和 2 080 kg/(hm²·a)。2 个试点土壤全氮含量与有机质含量随生长年限延长的变化规律趋于相同, 固原苜蓿在整个生长过程中, 固氮作用归还的氮素能够满足作物生长所需, 土壤全氮含量呈线性增长; 海原苜蓿在生长旺盛期, 固氮作用归还氮素不能满足作物生长所需, 苜蓿吸收土壤中贮存的氮素进行补偿, 致使土壤氮素含量不断减少, 进入衰败期后, 由于作物对氮素的消耗减少、地上残茬以及残留根系的氮素归还, 致使全氮含量开始恢复。

分析 2 个试点苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤有机质和全氮含量之间的关系, 二者回归方程为 $Y = 0.010 + 0.42 X$ (Y 为全氮含量, X 为有机质含量), 相关系数为 0.946^{**}。土壤氮素的 90% 以上是以有机态存在的^[17], 土壤有机质含量的波动必然导致全氮含量的变化, 而全氮含量的变化也能反映土壤有机质的变化, 有机质与全氮协同变化趋势明显。

2.4 土壤碱解氮含量

固原 2、6、10 a 苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤碱解氮含量变化范围为 0.68—51.64 mg/kg, 其含量随土层加深呈下降趋势(图 7)。在 0—400 cm 土层, 2、6、10 a 苜蓿草地土壤碱解氮含量平均值分别为 12.46、9.32 和 11.06 mg/kg, 各生长年限草地间差异显著。在 0—200 cm 土层, 2、6、10 a 苜蓿草地土壤碱解氮含量分别为 14.40、13.09 和 14.09 mg/kg, 3 类草地间差异显著; 在 200—400 cm 土层, 3 类草地土壤碱解氮含量分别为 8.58、1.89 和 4.98 mg/kg, 3 类草地间差异显著。

海原 3、6、10 a 苜蓿草地土壤碱解氮含量变化范围为 1.20—52.47 mg/kg, 并随土层加深而降低(图 7)。在 0—400 cm 土层, 3、6、10 a 苜蓿草地土壤碱解氮含量平均值分别为 16.62、10.93 和 15.89 mg/kg, 6 a 与 2、10 a 差异显著, 2 a 与 10 a 差异不显著, 随着生长年限的延长, 土壤碱解氮含量也呈现“高→低→高”变化趋势。0—200 cm 和 200—400 cm 土层表现出相同的变化趋势。

在相同生长年限苜蓿草地 0—400 cm 土层, 海原土壤碱解氮含量平均值高于固原, 且随着苜蓿草地生长年限延长, 2 个试点土壤碱解氮含量均呈现“高→低→高”的变化趋势(图 8)。6 a 苜蓿草地土壤碱解氮含量与 2 a 或 3 a 草地相比, 固原苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤碱解氮平均减少速率和消耗量分别为 0.78 mg/(kg·a) 和 4.06×10^{-2} kg/(hm²·a), 固原地区土壤碱解氮与全氮含量变化趋势不尽相同, 种植苜蓿虽能提高土

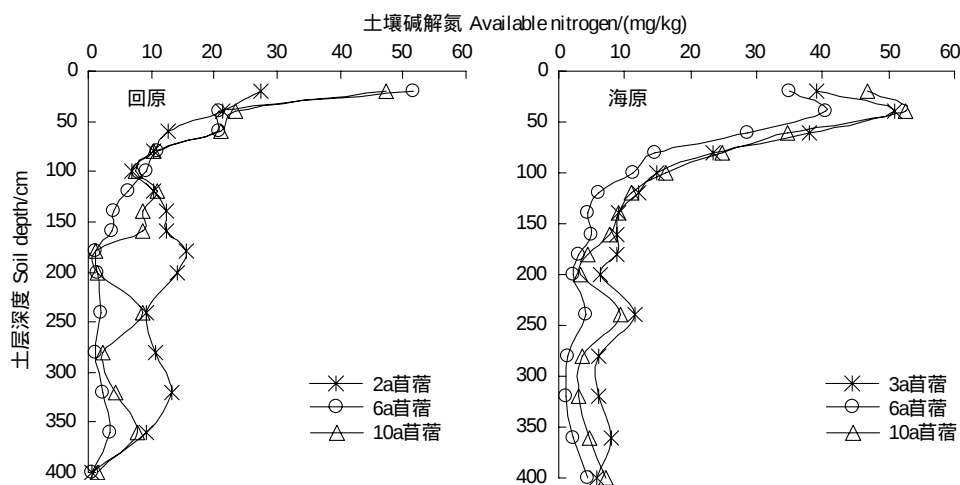


图7 宁南不同生长年限苜蓿草地0—400 cm 土层土壤碱解氮含量剖面分布比较

Fig. 7 Comparison of soil available nitrogen contents in 0—400 cm soil layers at different growth age alfalfa grasslands in southern Ningxia

壤全氮含量,但由于碱解氮易被吸收利用,其含量不断减少,所以苜蓿在种植一定年限后,要注意补施速效氮;海原苜蓿草地0—400 cm 土层碱解氮平均减少速率和消耗量分别为 $1.89 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{a})$ 和 $9.83 \times 10^{-2} \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。10 a 苜蓿草地碱解氮含量与6 a 相比,固原碱解氮平均增长速率和累积量分别为 $0.43 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{a})$ 和 $2.24 \times 10^{-2} \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$;海原平均增长速率和累积量分别为 $1.23 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{a})$ 和 $6.40 \times 10^{-2} \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。生长旺盛期苜蓿根系对碱解氮的消耗量较大,致使碱解氮含量不断减少,草地衰败后,苜蓿对碱解氮的吸收减少、地上残茬以及残留根系的氮素归还,使土壤碱解氮含量得到一定程度的恢复。

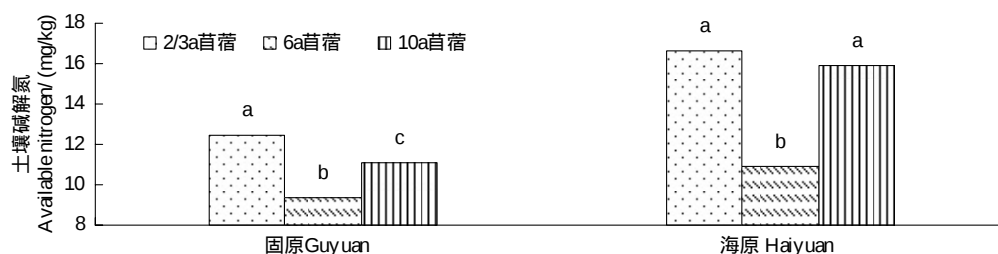


图8 宁南不同生长年限苜蓿草地0—400 cm 土层土壤碱解氮含量平均值比较

Fig. 8 Comparison of average contents of soil available nitrogen in 0—400 cm soil layers at different growth age alfalfa grasslands in southern Ningxia

2.5 土壤速效磷含量

固原2、6、10 a 苜蓿草地0—400 cm 土层土壤速效磷含量变化范围为 $0.23\text{—}16.05 \text{ mg/kg}$ (图9),其平均值分别为 3.96 、 2.96 和 2.25 mg/kg ,各生长年限草地间土壤速效磷含量差异显著,随生长年限延长逐渐减少。3类苜蓿草地速效磷含量在150—200 cm 土层形成一个低值层,表现为上层>下层>中层。在0—200 cm 土层,2、6、10 a 苜蓿草地土壤速效磷含量分别为 4.42 、 2.69 和 2.94 mg/kg ,而在200—400 cm 土层,土壤速效磷含量分别为 3.03 、 3.49 和 0.87 mg/kg ,不同生长年限草地间差异显著。

海原3、6、10 a 苜蓿草地0—400 cm 土层土壤速效磷含量变化范围为 $0.23\text{—}28.28 \text{ mg/kg}$,随土层加深呈现波动性减少趋势(图9),其平均值分别为 7.12 、 5.44 和 5.21 mg/kg ,不同生长年限草地间差异显著,随着生长年限的延长,苜蓿草地土壤速效磷含量不断减少。在0—20 cm 土层,土壤速效磷含量分别为 28.28 、 21.74 和 12.47 mg/kg ,表明随着生长年限延长,表层土壤速效磷含量迅速减少。在0—200 cm 土层,速效磷含量平均值分别为 8.53 、 6.27 和 7.12 mg/kg ,表现为 $3 \text{ a} > 10 \text{ a} > 6 \text{ a}$,而200—400 cm 土层土壤速效磷含量平均值分别为 4.31 、 3.78 和 1.39 mg/kg ,表现为 $3 \text{ a} > 6 \text{ a} > 10 \text{ a}$ 。表明苜蓿根系随生长年限的延长不断下扎,对土壤速效

磷的吸收也逐渐下移。

相同生长年限海原苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤速效磷含量平均值均高于固原(图 10)。速效磷含量与苜蓿生长年限呈负增长关系,6 a 苜蓿草地土壤速效磷含量与 2 a 或 3 a 相比,固原和海原苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤速效磷平均消耗速率分别为 0.25 、 0.56 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{a})$,消耗量分别为 1.30×10^{-2} 和 2.91×10^{-2} $\text{kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$;10 a 苜蓿草地土壤速效磷含量与 6 a 相比,固原和海原速效磷平均消耗速率分别为 0.18 和 0.06 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{a})$,消耗量分别为 0.94×10^{-2} 和 0.31×10^{-2} $\text{kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 。由于缺少补充来源,2 个试点苜蓿草地土壤速效磷含量均随生长年限延长逐渐降低。在生长盛期,根系活力较强,作物消耗磷素较多,进入衰败期后,对速效磷的消耗明显减少。表明地上部长势越好,苜蓿对土壤速效磷的消耗越多。土壤养分诸因子对苜蓿产量影响排序为:速效磷>碱解氮>有机质^[18],所以在实际生产中要注意磷肥的施用。磷肥的合理施用,可以促进根瘤菌的形成并增强固氮能力,进而达到以磷促氮的效果,磷素的施用量应适当高于当地当年磷素的消耗量,以减轻磷素胁迫且延缓草地衰败。2 个试点表层速效磷含量较高,所以磷肥应适当深施。

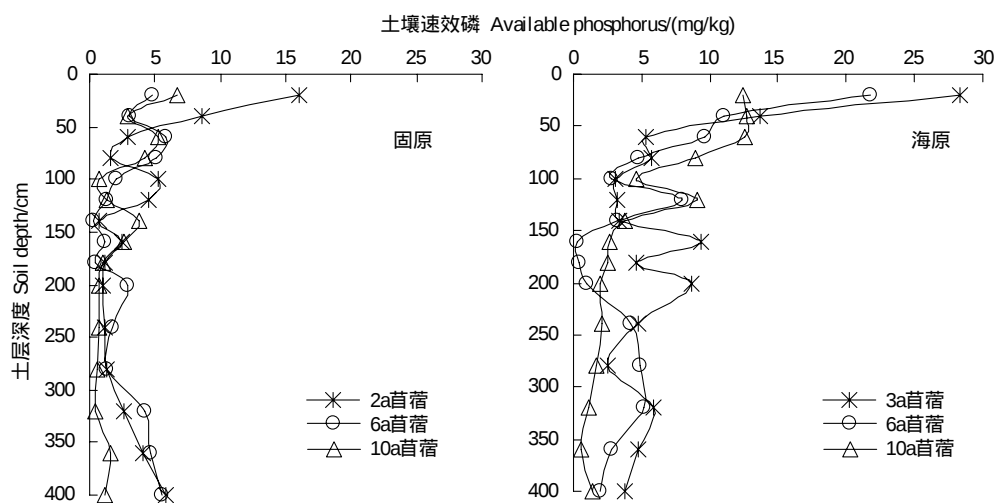


图 9 宁南不同生长年限苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤速效磷含量剖面分布比较

Fig. 9 Comparison of soil available phosphorus contents in 0—400 cm soil layers at different growth age alfalfa grasslands in southern Ningxia

由于植株只是无偿地从土壤中吸收利用,导致大量的磷素被转移出农田系统,土壤中的磷素相对又少,远远满足不了作物的生理需要,再加上土壤固磷作用,极易导致磷素供需矛盾。2 个试点 6 a 苜蓿草地与 2 a 或 3 a 相比,土壤速效磷含量急剧减少,此时土壤水分、碱解氮含量同样发生了严重胁迫。因此,结合产草量、土壤水分和养分等各因素综合考虑,半干旱固原和半干旱偏旱海原地区苜蓿草地最佳利用年限分别为 6—7 a 和 5—6 a。

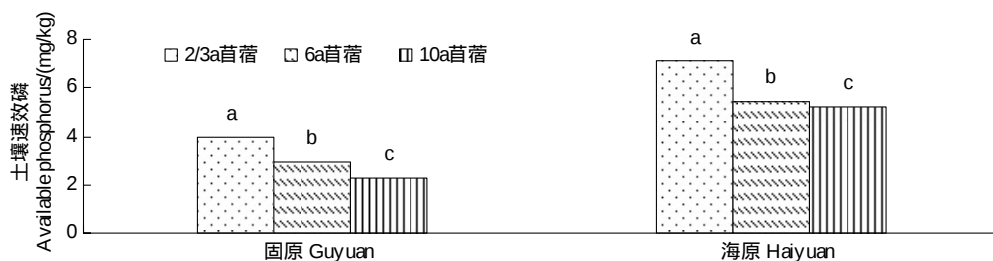


图 10 宁南不同生长年限苜蓿草地 0—400 cm 土层土壤速效磷含量平均值比较

Fig. 10 Comparison of average contents of soil available phosphorus in 0—400 cm soil layers at different growth age alfalfa grasslands in southern Ningxia

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1)在宁南半干旱和半干旱偏旱区,苜蓿生长初期,土壤水肥条件较好,苜蓿生长旺盛,牧草产量不断增加且品质较好,但当苜蓿产草量达到高峰期(5—6 a)后,由于当地苜蓿草地缺乏灌溉与施肥管理,再加上苜蓿草地强烈耗水和耗肥,土壤水肥环境急剧恶化,水肥亏缺胁迫强烈,导致苜蓿生长衰败,牧草产量急剧下降,苜蓿生长进入衰败期,进入生长衰败期后,地上部输出减少,苜蓿对土壤水分和养分的消耗强度逐渐降低。从宁南苜蓿草地产草量、土壤水分和养分的变化规律可以看出,苜蓿草地生长衰败是土壤水分过耗与土壤养分亏缺相互作用的结果。但由于气候类型不同,2个试验区不同生长年限苜蓿草地土壤水分与养分变化稍有差异,海原10 a苜蓿地土壤水分表现出自上而下恢复的趋势,而固原12 a苜蓿地土壤水分却未表现出恢复迹象;10 a苜蓿地与6 a相比,海原土壤碱解氮含量恢复速率大于固原,且速效磷消耗速率小于固原,表明降水较多的地区苜蓿长势较好且生长旺盛期维持时间长,从土壤中吸收的水分和养分较多,苜蓿草地衰败后土壤水分和养分的恢复速率与当地降水量呈反比,即草地衰败后,半干旱偏旱区土壤水分和养分恢复比半干旱区快。

(2)苜蓿具有发达的根系,主要分布于0—30 cm土层^[19],苜蓿根系新老交替的过程中的残留根系、腐殖质以及根系固氮作用归还的养分元素大部分归还至上层土壤,因此,苜蓿草地上层土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷含量均明显高于深层土壤。苜蓿地土壤水分的变化规律表现为,在生长旺盛期,苜蓿主要吸水层随生长年限延长逐渐下移,进入衰败期后,其土壤水分自上而下逐渐恢复;土壤养分的变化表现为,在生长旺盛期,由于根系随生长年限的延长不断下扎,苜蓿对土壤养分的吸收也逐渐下移,苜蓿生长衰败后,对土壤养分的吸收逐渐减少,大量的凋落物沉积到土壤中,土壤中有有机质、全氮和碱解氮的含量有所增加,与土壤水分一样,土壤有机质、全氮和碱解氮同样出现了自上而下的恢复趋势。这表明,旱地苜蓿草地土壤水分与养分的变化在土层垂直剖面上具有协同性。

(3)不同地区不同生长年限苜蓿草地对土壤养分的吸收能力不同,必然造成土壤养分差异^[20]。由于气候类型以及土壤条件等差异,2个试验区苜蓿长势和产草量不同,导致其土壤养分变化规律不尽相同。一方面苜蓿从土壤中吸收大量的土壤养分满足自身生长需要,另一方面苜蓿自身的生长代谢过程能够向土壤补充一定数量的养分元素,土壤养分含量的变化是这两个过程的最终平衡结果。固原苜蓿长势较好,根系固氮作用以及残枝落叶等归还到土壤中的有机质和氮素含量高于作物生长所需量,有机质和全氮含量随生长年限的延长不断增加,但在生长旺盛期,苜蓿对碱解氮的消耗量大于归还量,碱解氮含量呈现“高一低→高”的变化趋势。海原苜蓿长势较差,根系活力弱且残枝落叶返田较少,在苜蓿生长旺盛期,归还到土壤中的有机质、全氮、碱解氮含量不能满足作用生长所需,作物吸收贮存在土壤中的养分进行补充,致使6 a苜蓿草地土壤有机质、全氮和碱解氮含量最低。2个试区苜蓿草地均在6 a左右开始衰败,进入衰败期后,海原苜蓿衰败较固原严重^[4],对土壤养分的消耗减少且残枝落叶返田增多,土壤有机质、全氮和碱解氮年均增长速率较大,速效磷年均消耗速率较小。土壤养分变化受苜蓿生长的影响^[21],而在旱作农业区,苜蓿生长主要受土壤水分的影响^[22],受降水以及入渗的限制,宁南半干旱和半干旱偏旱区苜蓿草地产草量均在6 a左右急剧下降而发生衰败^[4],土壤水分的供应不足是导致苜蓿草地衰败的主要原因,但半干旱区和半干旱偏旱区6 a苜蓿草地碱解氮和速效磷含量均显著低于2 a或3 a,表明2个样点6 a苜蓿草地在土壤水分供应不足的同时,土壤速效养分也发生了不同程度的亏缺,因此,土壤速效养分的变化也是苜蓿草地衰退的原因之一。

3.2 结论

(1)随生长年限的延长,2个降水类型区苜蓿根系不断下扎,对土壤水分和养分的消耗不断加深,深层土壤水分与养分含量明显低于上层,6—7 a深层土壤水分与养分胁迫严峻,但在衰败后期,土壤水分与养分含量表现出不同程度的恢复趋势。

(2)苜蓿连续生长高强度消耗土壤水分和养分,导致土壤干燥化和养分亏缺严重,需要进行人工灌溉和

施肥,以延长苜蓿草地的生长和利用年限,宁南半干旱和半干旱偏旱区苜蓿草地应分别在种植 6—7 a 和 5—6 a 后适时翻耕与粮食作物轮作,促进土壤水分和养分逐渐恢复。

References:

- [1] Fan J, Hao M D, Shao M A. Soil desiccation and nitrogen consumption of artificial meadow in the Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(2): 201-206.
- [2] Zhang R, Ma J H, Wang J H, Ren X S. The occurrence and control strategy of alfalfa disease and insects in Ningxia. *Pratacultural Science*, 2003, 20(6): 40-44.
- [3] Li Y S. Productivity dynamic of alfalfa and its effects on water eco-environment. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(3): 404-411.
- [4] Han S F. Soil water dynamics in alfalfa field at Ningnan mountainous county of Ningxia autonomous region. *Pratacultural Science*, 1990, 7(5): 47-53.
- [5] Li J, Chen B, Li X F, Cheng J M, Hao M D. Effects of deep soil desiccations on alfalfa grasslands in different rainfall areas of the Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 75-89.
- [6] Geng H Z. *Chinese Alfalfa*. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 25-28.
- [7] Zhang C X, Hao M D, Wang X G, Wei X R. Study on soil nitrogen and fertility distribution characteristics in alfalfa field in gully region of the Loess Plateau. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004, 24(6): 1107-1111.
- [8] Liu X H, Hao M D. Effects of long-term plant *Medicago sativa* Linnon soil nitrogen nutrient. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(2): 82-84.
- [9] Zhang S M, Hao M D, Li H M, Maiwaitaili B. Change of soil physical and chemical properties in alfalfa field. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2007, 44(S3): 122-125.
- [10] Liu X F. Effects of legume on soil erosion and soil fertility on abandoned farmland in hilly areas of Loess Plateau. *Gansu Science and Technology*, 2009, 25(19): 58-61.
- [11] Guo Y Q, Wang J F, Gao X. The influence of planting the purple flower alfalfa on the nutrition content of the soil. *Journal of Sichuan Grassland*, 2000, (4): 20-25.
- [12] Wan S M, Han Q F, Hu S L, Jia Z K, Yang B P. Soil nitrogen consumption characteristics of alfalfa grassland in the semi-humid areas of the Loess Plateau. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(1): 84-89.
- [13] Liu P S, Jia Z K, Li J, Li Y P, Liu S X. A study on optimal duration of *Medicago sativa* growth in *M. sativa*-grain crop rotation system in arid region of Southern Ningxia. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17(3): 31-39.
- [14] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 30-85.
- [15] Gai J Y. *Methods of Experimental Statistics*. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 99-190.
- [16] Hu X P, Wang C F. *SAS Basic Statistics Example Course of Instruction*. Xi'an: Xi'an Map Press, 2001: 68-116.
- [17] Yu T R, Wang Z Q. *Soil Analytical Chemistry*. Beijing: Science Press, 1988: 71-91.
- [18] Lin R, Jiang P A, Zhou Y Q, Aierken, Ji X M. Preliminary study on abundance and deficiency index of nitrogen, phosphorus and potassium for the alfalfa soil. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2004, 27(1): 23-28.
- [19] Yang Q C. *Alfalfa Production and Management*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2003: 9-10.
- [20] Zhang J E, Liu W G, Chen J Q, Shi Y C, Cai Y F. Effects of different cutting intensities of *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) SW. on soil nutrients and soil enzyme activities in rhizosphere. *Ecology and Environment*, 2005, 14(3): 387-391.
- [21] Guo S L, Lu P, Dang T H. Changes of soil C, N and soil water under conversion of cropland into grassland. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(8): 383-388.
- [22] Jiao F, Wen Z M, Jiao J Y, He X H. Reciprocal effects among vegetation, soil moisture and nutrients of cropland to forest and grassland in the Loess Hilly Region. *Acta Prataculturae Sinica*, 2006, 15(2): 79-84.

参考文献:

- [1] 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. *自然资源学报*, 2004, 19(2): 201-206.
- [2] 张蓉, 马建华, 王进华, 任学山. 宁夏苜蓿病虫害发生现状及防治对策. *草业科学*, 2003, 20(6): 40-44.
- [3] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应. *土壤学报*, 2002, 39(3): 404-411.
- [4] 韩仕峰. 宁南山区苜蓿草地土壤水分利用特征. *草业科学*, 1990, 7(5): 47-53.
- [5] 李军, 陈兵, 李小芳, 程积民, 郝明德. 黄土高原不同干旱类型区苜蓿草地深层土壤干燥化效应. *生态学报*, 2007, 27(1): 75-89.

- [6] 耿华珠. 中国苜蓿. 北京: 中国农业出版社, 1995: 25-28.
- [7] 张春霞, 郝明德, 王旭刚, 魏孝荣. 黄土高原地区紫花苜蓿生长过程中土壤养分的变化规律. 西北植物学报, 2004, 24(6): 1107-1111.
- [8] 刘晓宏, 郝明德. 长期种植苜蓿对土壤氮素营养的作用. 中国生态农业学报, 2001, 9(2): 82-84.
- [9] 张少民, 郝明德, 李寒螟, 白灯莎·买买提艾力. 人工苜蓿草地土壤理化性状变化. 新疆农业科学, 2007, 44(S3): 122-125.
- [10] 刘晓峰. 豆科牧草对黄土丘陵沟壑区退耕地水土流失及土壤养分的影响. 甘肃科技, 2009, 25(19): 58-61.
- [11] 郭玉泉, 王金芬, 高翔. 种植紫花苜蓿对土壤养份的影响. 四川草原, 2000, (4): 20-25.
- [12] 万素梅, 韩清芳, 胡守林, 贾志宽, 杨宝平. 黄土高原半湿润区苜蓿草地土壤氮素消耗特征研究. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 84-89.
- [13] 刘沛松, 贾志宽, 李军, 李永平, 刘世新. 宁南旱区草粮轮作系统中紫花苜蓿适宜利用年限研究. 草业学报, 2008, 17(3): 31-39.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2002: 30-85.
- [15] 盖钧镒. 试验统计方法. 北京: 中国农业出版社, 2000: 99-190.
- [16] 胡小平, 王长发. SAS 基础及统计实例教程. 西安: 西安地图出版社, 2001: 68-116.
- [17] 于天仁, 王振权. 土壤分析化学. 北京: 科学出版社, 1988: 71-91.
- [18] 蔺蕊, 蒋平安, 周抑强, 艾尔肯, 吉小敏. 苜蓿土壤氮磷钾丰缺指标初步研究. 新疆农业大学学报, 2004, 27(1): 23-28.
- [19] 杨青川. 苜蓿生产与管理指南. 北京: 中国林业出版社, 2003: 9-10.
- [20] 章家恩, 刘文高, 陈景青, 施耀才, 蔡燕飞. 刈割对牧草地下部根区土壤养分及土壤酶活性的影响. 生态环境, 2005, 14(3): 387-391.
- [21] 郭胜利, 路鹏, 党廷辉. 退耕还草对土壤水分养分演变的影响. 西北植物学报, 2003, 23(8): 1383-1388.
- [22] 焦峰, 温仲明, 焦菊英, 赫晓慧. 黄丘区退耕地植被与土壤水分养分的互动效应. 草业学报, 2006, 15(2): 79-84.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG Qihong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabiri</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元