

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第7期 Vol.33 No.7 **2013**

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 33 卷 第 7 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 线虫转型发育和寄主识别的化学通讯研究进展..... 张 宾,胡春祥,石 进,等 (2003)
- 生物物种资源监测原则与指标及抽样设计方法..... 徐海根,丁 晖,吴 军,等 (2013)

个体与基础生态

- 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局..... 张正祥,张洪岩,李冬雪,等 (2023)
- 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系..... 杨秀静,黄 玫,王军邦,等 (2032)
- 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征 陈 超,周广胜 (2043)
- 黄泥河自然保护区狗冬季卧息地选择..... 朱洪强,葛志勇,刘 庚,等 (2054)
- 青藏高原草地植物叶解剖特征..... 李全发,王宝娟,安丽华,等 (2062)
- 青藏高原高寒草甸夏季植被特征及对模拟增温的短期响应..... 徐满厚,薛 娴 (2071)
- 高温影响番茄小孢子发育的细胞学研究..... 彭 真,程 琳,何艳军,等 (2084)
- 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型..... 赵 龙,王振凤,郭忠升,等 (2093)
- 柞属 7 种植物种子的发芽抑制物质研究..... 李庆梅,刘 艳,刘广全,等 (2104)
- 水分胁迫和杀真菌剂对黄顶菊生长和抗旱性的影响..... 陈冬青,皇甫超河,刘红梅,等 (2113)
- 铜尾矿废弃地与相邻生境土壤种子库特征的比较..... 沈章军,欧祖兰,田胜尼,等 (2121)
- 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化..... 李 媛,程积民,魏 琳,等 (2131)
- 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响..... 周振江,牛晓丽,李 瑞,等 (2139)
- 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响..... 李 娟,廖洪凯,龙 健,等 (2147)
- 自生固氮菌活化土壤无机磷研究..... 张 亮,杨宇虹,李 倩,等 (2157)
- 德国鳶尾对 Cd 胁迫的生理生态响应及积累特性 张呈祥,陈为峰 (2165)
- 施污土壤重金属有效态分布及生物有效性..... 铁 梅,宋琳琳,惠秀娟,等 (2173)
- 基于叶面积指数改进的直角双曲线模型在玉米农田生态系统中的应用..... 孙敬松,周广胜 (2182)
- 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响..... 林 源,周夏芝,毕守东,等 (2189)

种群、群落和生态系统

- 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系..... 张 霞,黄小平,施 震,等 (2200)
- 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系..... 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等 (2212)
- 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局..... 王雪辉,林昭进,杜飞雁,等 (2225)
- 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替 韩大勇,杨永兴,杨 杨 (2236)
- 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征..... 靳虎甲,马全林,何明珠,等 (2248)

资源与产业生态

- 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响..... 郑成岩,于振文,张永丽,等 (2260)

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响..... 张达斌,姚鹏伟,李 婧,等 (2272)

沟壑全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响..... 李 荣,侯贤清,贾志宽,等 (2282)

城乡与社会生态

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应 吴芳芳,张 娜,陈晓燕 (2292)

西安太阳总辐射时空变化特征及对城市发展的响应..... 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等 (2304)

研究简报

安徽琅琊山大型真菌区系多样性..... 柴新义,许雪峰,汪美英,等 (2314)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2320)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-04



封面图说: 金灿灿的小麦熟了——小麦是世界上最早栽培的农作物之一,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,起源于中东地区。全世界大概有 43 个国家,近 35%—40% 的人口以小麦为主要粮食。小麦是禾谷类作物中抗寒能力较强的越冬作物,具有一定的耐旱和耐盐碱能力。中国的小麦分布于全国各地,主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游一带。小麦秋季播种、冬季生长、春季开花、夏季结实。子粒含有丰富的淀粉、较多的蛋白质、少量的脂肪,还有多种矿物质元素和维生素 B,是一种营养丰富、经济价值较高的粮食。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112261981

张达斌, 姚鹏伟, 李婧, 赵娜, 王峥, 鱼昌为, 曹群虎, 曹卫东, 高亚军. 豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响. 生态学报, 2013, 33(7): 2272-2281.

Zhang D B, Yao P W, Li J, Zhao N, Wang Z, Yu C W, Cao Q H, Cao W D, Gao Y J. Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2272-2281.

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤 主要肥力性状的影响

张达斌¹, 姚鹏伟¹, 李婧¹, 赵娜¹, 王峥¹, 鱼昌为², 曹群虎²,
曹卫东³, 高亚军^{1,4,*}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; 2. 陕西省长武县农业技术推广中心, 长武 713600;

3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 4. 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100)

摘要:通过 2a 田间定位试验, 研究渭北旱塬地区夏闲期插播并翻压不同豆科绿肥 (长武怀豆、大豆和绿豆) 以及小麦生长季不同施氮量 (0, 108, 135, 162 kg/hm²) 对麦田土壤肥力性状的影响, 以期为提高旱地土壤质量提供理论依据。试验结果表明: (1) 种植豆科绿肥能显著提高土壤有机质、活性有机质和全氮含量, 增加土壤碳库管理指数 (CPMI), 对土壤速效钾含量没有显著影响; (2) 绿豆还田量高于长武怀豆和大豆, 然而土壤培肥效果逊于长武怀豆和大豆; (3) 夏闲期种植绿肥明显消耗了土壤水分, 导致绿肥翻压前、小麦播前直至收获后, 0—200 cm 土壤贮水量显著低于休闲处理, 但耗水量与休闲没有明显差异, 由于小麦产量显著增加, 因此豆科绿肥显著提高了水分生产效率; (4) 与不施氮相比, 小麦生长季施用氮肥能显著增加土壤水分生产效率, 但对土壤各肥力性状的影响均不显著。夏闲期种植并翻压豆科绿肥是旱地培肥土壤、提高水分生产效率的有效途径。

关键词:旱地; 豆科绿肥; 麦田土壤肥力

Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions

ZHANG Dabin¹, YAO Pengwei¹, LI Jing¹, ZHAO Na¹, WANG Zheng¹, YU Changwei², CAO Qunhu², CAO Weidong³, GAO Yajun^{1,4,*}

1 College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

2 Shaanxi Changwu District Agro-technology Extension Center, Changwu 713600, China

3 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

4 Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China

Abstract: In order to improve soil quality under dryland conditions, a field experiment was undertaken in the Weibei area to investigate the effects of leguminous green manure (soybean, Huai bean and mung bean) and a range of nitrogen fertilizer rates (N0, 0 kg N/hm²; N108, 108 kg N/hm²; N135, 135 kg N/hm² and N162, 162 kg N/hm²) during winter wheat growth on soil fertility over two years. A split block design with three replications was used. Soil samples were collected from a depth of 0—200 cm in July 2011 and were analyzed for soil moisture, NH₄⁺-N and NO₃⁻-N. Soil samples from 0—20 cm were air-dried and analyzed for soil organic matter, active organic matter, total N and available K contents.

基金项目:公益性行业 (农业) 科研专项 (201103005); 教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目 (NCET-08-0465); 国家小麦现代产业技术体系建设专项经费; 国家农作物种质资源平台; 西北农林科技大学“创新团队建设计划”; 西北农林科技大学 2007“青年学术骨干支持计划”项目

收稿日期: 2011-12-26; 修订日期: 2012-09-18

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

Incorporation of leguminous green manure significantly improved soil organic matter (SOM), active organic matter (SAOM), total N concentrations and the carbon pool management index (CPMI) but did not increase soil available K. SOM, SAOM, CPMI and total N concentrations in the green manure treatments were 3.9%—11.7%, 3.2%—7.6%, 2.7%—7.6% and 4.5%—10.8% higher than those in the summer fallow treatment (CK), respectively. The effects of planting leguminous green manure on soil quality varied among green manure types. The mung bean treatment had higher biomass returned into the soil, but contributed less to soil fertility compared with the soybean and Huai bean treatments; Huai bean had the greatest influence in improving soil properties. Based on the data from 2008 to 2010, the fresh biomass of mung bean was 24.5% and 25.3% higher than for soybean and Huai bean separately. However, K incorporation was 13.6%—24.4% lower than that in the other two types. N incorporation was also lower, as was P incorporation of soybean which was 28.3% lower than for mung bean and Huai bean. Green manure plants used much soil water at the growth period, which resulted in less water storage in the 0—200 cm soil depth before incorporation of green manure, before winter wheat sowing and after wheat harvest. Water storage in the 0—200 cm depth in the green manure treatments at the full flowering stage was 39.2—51.4 mm lower than that in the summer fallow treatment. However, water consumption during the wheat growth period was almost the same in the green manure and summer fallow treatments. Green manure treatments had a 6.5%—8.8% higher water use efficiency compared to summer fallow resulting from the greater wheat yield for the green manure treatments. Compared with the N0 treatment, application of N fertilizer during winter wheat growth had a significant increase in water use efficiency (WUE). Applying N fertilizer increased WUE by 11.6%—16.7% compared to the N0 treatment. However, no significant influence on other soil properties was observed under the N application treatments.

In conclusion, incorporation of leguminous green manures during the summer fallow period was an effective way to improve soil fertility and increase soil water use efficiency in this dryland system.

Key Words: dryland; leguminous green manure; soil fertility of wheat field

随着我国各地城市化进程飞速发展以及各种土地退化问题日益严重,如何在现有耕地的基础上合理培肥土壤,已成为提高土地资源可持续利用的技术核心。我国干旱和半干旱地区的总面积约占全国陆地总面积的50%以上^[1],因此科学提高这些地区的土壤肥力水平,保证土壤健康状况对我国现代农业生产具有深远意义。研究发现^[2-3],将有机肥源施入土壤中能有效提高土壤微生物和土壤酶的活性,并在它们共同作用下顺利完成腐殖化过程,逐渐形成促进土壤保肥保墒、改良土壤结构、提高土壤有机质含量的腐殖质。有机肥源中,以种植并翻压豆科绿肥所取得的环境和社会效益最佳^[4-5]。种植翻压豆科绿肥可以有效提高土壤肥力^[6-10],改善土壤通气性和保水性^[6,9],减少病虫害发生几率^[9-10],保证后茬作物产量与品质^[11-13]。

渭北旱塬地区是典型的传统旱作农业区,降水偏少、土壤贫瘠、土地生产力低是该地区特有的气候和生态特点。据统计,该地区夏季休闲地面积200多万公顷,夏闲期长达70—100 d,正值雨热同季,不仅光热资源白白浪费,而且由于缺乏植被覆盖而不利于土壤水分保蓄。能否通过在夏闲期种植并翻压短期豆科绿肥实现培肥土壤、提高土地和气候资源利用率的目标?目前,关于种植翻压不同豆科绿肥对渭北旱塬土壤肥力以及水分利用效率的研究报道尚不多见。本研究试图通过田间定位试验,探索在传统的夏闲期连续种植并翻压不同豆科绿肥对旱地土壤肥力状况和水分生产效率的影响,以期为我国旱区耕地质量保育和农业增产增收提供理论依据和技术保障。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于黄土高原中南部的陕西省长武县丁家镇十里铺村农技中心试验基地(107°44'703"E, 35°12'787"N),海拔1 220 m,该地区地势平坦,属西北内陆暖温带半湿润大陆性季风气候,四季冷暖干湿分明,农业

生产全部依赖天然降水,年均气温 9.1 ℃,无霜期 171 d。热量丰富,年平均日照 2 226.5 h,积温 2 994 ℃,多年平均降水 588 mm,且季节性分布不均,多集中于夏秋季节,雨热同季。

试验地土壤为黄盖粘黑垆土,母质为中壤质马兰黄土,土层深厚,全剖面土质均匀疏松,通透性好,肥力中等,基本理化性状详见表 1。试验区大部分耕层土壤贫氮少磷,钾素丰富。研究区农业生产主要依赖生育期的天然降水和前期土壤蓄水,属于典型的旱作农业区,且种植制度为典型的一年一熟或 2a 三熟。

表 1 供试土壤基本性状
Table 1 Soil basic properties

指标 Index	结果 Result	指标 Index	结果 Result
pH	8.11	全氮 Total N/(g/kg)	0.79
全磷 Total P/(g/kg)	0.66	有机质 Organic matter/(g/kg)	12.0
矿质氮 Mineral N/(mg/kg)	13.74	速效磷 Available P/(mg/kg)	24.6
速效钾 Available K/(mg/kg)	161.39	田间持水量 Field capacity/%	22.4
凋萎湿度 Wilting moisture/%	9		

1.2 试验设计

试验包括 3 种豆科绿肥:绿豆、大豆和长武怀豆(大豆的当地品种),以夏季裸地休闲为对照;冬小麦生长季施氮量设 4 个水平:不施氮肥、当地常规施氮量 80% (108 kg/hm²)、当地常规施氮量(135 kg/hm²)和当地常规施氮量 120% (162 kg/hm²)。完全方案,共 16 个处理,田间排列采取裂区设计,以豆科绿肥为主区,施氮量为副区,重复 3 次,副区面积 5 m×6 m=30 m²,小区间宽 30 cm。

本试验为定位试验,自 2008 年以来每年的 6 月底收获完小麦并立即播种绿肥,9 月上旬至中旬收获并将绿肥切碎翻压于土壤中,翻压深度 20 cm,9 月下旬至 10 月初继续播种冬小麦。氮肥在冬小麦播前一次施入,同时施用 P₂O₅ 120 kg/hm²;绿肥种植前不施氮肥,只施用 P₂O₅ 40 kg/hm²。2008 年 7 月至 2010 年 6 月两年间夏闲期(绿肥生长季)和小麦生长季降水量详见表 2。

表 2 2008 年 7 月—2010 年 6 月夏闲期(绿肥生长季)和冬小麦生长季降水量

Table 2 Rainfall during summer fallow (green manure growth) period and winter wheat growth period from July in 2008 to June in 2010

时段 Period	降雨量 Precipitation/mm		前 50a 同期平均值/mm Average precipitation in the past 50 years
	2008-07—2009-06	2009-07—2010-06	
夏休闲期 Fallow period	324.0	289.2	313
小麦生长季 Wheat growth period	161.4	213.0	275
年降雨量 Annual precipitation	485.4	502.2	588

1.3 测定项目及方法

在绿肥盛花期(即绿肥翻压前)、绿肥翻压 2—4 周后(即小麦播种前)以及小麦收获时分别采集各处理土壤 0—200 cm 剖面样品,20 cm 为一个样品,测定土壤水分及矿质氮含量;留下 0—20 cm 土样风干、研磨过筛后用于其它项目测定。矿质氮用 1 mol/L KCl 浸提-连续流动分析法测定,有机质用外加热法,活性有机质采用的是 0.2 mol/L (1/6 K₂Cr₂O₇-1:3H₂SO₄, 水:酸=3:1) 加热法^[14],全氮用凯氏法,速效钾用 1 mol/L 中性 NH₄OAC 浸提-火焰光度计法,土壤水分用烘干法进行测定^[15],并测得以下指标:

土壤贮水量(Dw, mm) = $\sum \theta_v \times h$, $\theta_v = \theta_m \times \rho$, 其中 θ_v 为容积含水量(%), h 为土层厚度(cm), θ_m 为质量含水量(%), ρ 为土壤容重^[16];耗水量(mm) = 小麦播前土壤贮水量(mm) + 小麦生长季降雨量(mm) - 小麦收获时土壤贮水量(mm);水分生产效率(WUE, kg·mm⁻¹·hm⁻²) = 小麦籽粒产量(kg/hm²)/耗水量(mm)。

土壤 C 库管理指数 CPMI 计算方法^[17]:首先,计算土壤碳库指数(CPI) = 样品总碳含量(mg/g)/原始土

样总碳含量 (mg/g); 然后, 计算土壤碳库活度指数 (AI) = 样品碳库活度 (A) / 原始土样碳库活度 (A), 其中, 碳库活度 (A) = 土壤活性有机碳含量 (mg/g) / 土壤非活性有机碳含量 (mg/g); 最后, 土壤 C 库管理指数 (CPMI, %) = 土壤碳库指数 (CPI) × 碳库活度指数 (AI) × 100。原始土样指田间试验开始前采集的土壤多点混合样品。

数据采用 SAS 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 豆科绿肥生物量及养分还田量

连续两年试验研究表明 (表 3), 绿肥产量以及养分还田量因品种和年份时间不同而有所差异。2008—2009 年 3 种豆科绿肥间, 大豆和怀豆地上部鲜重高于绿豆 14.9% 和 19.0%, 怀豆干重分别高于绿豆和大豆 22.4%、22.0%, 绿豆和大豆间差异不显著; 而 2009—2010 年绿豆无论是鲜重还是干重均显著高于大豆和怀豆, 大豆和怀豆差异不显著。从养分还田量的角度来分析, 2008—2009 年, 3 种绿肥的磷、钾养分还田量无显著差异, 怀豆氮还田量显著高于大豆和绿豆, 同时大豆氮还田量又显著高于绿豆; 2009—2010 年, 3 种绿肥氮磷钾养分还田量存在显著性差异, 绿豆最高, 怀豆次之, 大豆最低, 绿豆还田量较高的原因主要与其较高的生物量有关。两年合计, 绿豆处理生物量鲜重和干重均最高, 大豆处理干重最低; 长武怀豆处理的氮素还田量最高, 大豆处理的磷素还田量最低, 三种绿肥处理的钾素还田量差异不大。

表 3 2008—2010 年不同豆科绿肥生物量及养分还田量

Table 3 Green manure biomass and nutrient returned into soil from 2008 to 2010

项目 Item	绿肥处理 Green manure		
	怀豆 Huai bean	大豆 Soybean	绿豆 Mungbean
2008—2009			
鲜重 Fresh biomass/(kg/hm ²)	14796.3±473.6 a	15325.7±734.0 a	12881.4±1583.5 b
干重 Dry biomass/(kg/hm ²)	2816.6±273.8 a	2309.3±141.6 b	2301.5±278.7 b
氮还田量 N incorporation/(kg/hm ²)	95.1±7.77 a	80.8±6.30 b	43.5±0.65 c
磷还田量 P incorporation/(kg/hm ²)	16.0±1.26 a	13.3±0.71 a	15.3±3.57 a
钾还田量 K incorporation/(kg/hm ²)	50.0±4.95 a	55.2±1.69 a	50.7±2.55 a
2009—2010			
鲜重 Fresh biomass/(kg/hm ²)	9090.9±1212.4 b	8721.2±1287.4 b	17046.2±2060.4 a
干重 Dry biomass/(kg/hm ²)	2115.1±321.1 b	2091.4±436.6 b	2888.7±453.8 a
氮还田量 N incorporation/(kg/hm ²)	73.9±5.01 ab	55.2±13.16 b	77.1±11.57 a
磷还田量 P incorporation/(kg/hm ²)	12.6±0.24 a	9.0±0.83 b	13.3±0.28 a
钾还田量 K incorporation/(kg/hm ²)	41.9±1.77 b	45.4±1.69 b	63.6±5.80 a
2a 合计			
鲜重 Fresh biomass/(kg/hm ²)	23887.2	24046.9	29927.6
干重 Dry biomass/(kg/hm ²)	4931.7	4400.7	5190.2
氮还田量 N incorporation/(kg/hm ²)	169	136	120.6
磷还田量 P incorporation/(kg/hm ²)	28.6	22.3	28.6
钾还田量 K incorporation/(kg/hm ²)	91.9	100.6	114.3

不同字母表示不同绿肥处理之间的差异达到显著水平 (5%)

2.2 夏闲期种植并翻压豆科绿肥对土壤肥力的影响

夏闲期绿肥-冬小麦轮作 2a 后, 对各处理表层土壤的测定结果表明 (表 4): 种植翻压 2a 豆科绿肥能显著提高土壤肥力, 同时 3 种豆科绿肥处理的效果存在差异。

与休闲相比, 种植并翻压豆科绿肥的土壤有机质、活性有机质、土壤碳库管理指数 (CPMI) 以及全氮含量分别增加 3.9%—11.7%、3.2%—7.6%、2.7%—7.6% 和 4.5%—10.8%; 与试验前的土壤相比, 豆科绿肥处理的土壤有机质、活性有机质、CPMI 以及全氮含量分别提高 1.4%—6.0%、3.2%—7.6%、5.1%—10.1%

和 7.1%—13.6%。3 种绿肥间, 种植翻压怀豆和大豆的培肥效果较好, 其中怀豆处理的土壤活性有机质、CPMI 和全氮含量以及大豆的土壤有机质、活性有机质含量均显著高于绿豆处理, 同时怀豆的土壤全氮含量比大豆处理高出 6.0%—6.1%。

不施氮肥时, 3 种豆科绿肥处理土壤有机质含量比休闲处理增加 8.3%—16.4% (平均 12.8%); 施氮 108 kg/hm² 时, 绿肥处理比休闲增加 4.7%—8.4% (平均 6.0%); 施氮 135 kg/hm² 时, 绿肥处理比休闲增加 -1.8%—7.9% (平均 2.9%); 施氮 162 kg/hm² 时, 绿肥处理比休闲增加 4.5%—14.8% (平均 9.5%)。可见, 小麦生长季不施氮肥时, 翻压豆科绿肥对土壤有机质的提升作用更明显。

翻压绿肥处理的土壤速效钾与休闲处理没有显著差异。

2008—2009 年小麦播种前, 种植翻压长武怀豆的土壤矿质氮累积量显著高于休闲处理, 而 2009—2010 年小麦播前, 绿豆处理显著高于休闲处理 (表 5)。这与 2a 绿肥氮素还田量的高低规律一致: 即 2008—2009 年长武怀豆处理的氮素还田量最高, 而 2009—2010 年绿豆处理的氮素还田量最高 (表 3)。2008—2009 年大豆和绿豆处理土壤矿质氮累积量与休闲处理相当, 2009—2010 年长武怀豆和大豆处理与休闲处理无显著差异。这意味着缺乏有机物料施入时, 休闲处理土壤有机氮矿化较明显。

表 4 2010 年小麦收获后土壤有机质、活性有机质、碳库管理指数、速效钾和全氮含量

Table 4 Soil TOM, AOM, CPMI, available K and total N content after wheat harvest in 2010

施氮量 N rate/(kg/hm ²)	绿肥处理 Green manure				基础土样 Original soil
	休闲 Fallow	怀豆 Huai bean	大豆 Soybean	绿豆 Mungbean	
土壤有机质含量 Total organic matter/(g/kg)					
0	12. 1±0. 2 a	13. 7±0. 4 a	14. 1±0. 0 a	13. 1±0. 5 a	—
108	12. 9±0. 5 a	13. 5±0. 3 a	14. 0±0. 4 a	13. 5±0. 4 a	—
135	13. 1±1. 2 a	13. 4±0. 8 a	14. 1±0. 4 a	12. 8±0. 3 a	—
162	12. 4±0. 2 a	13. 6±0. 6 a	14. 3±0. 3 a	13. 0± 0. 4 a	—
平均值 Average	12. 6 C	13. 5 AB	14. 1 A	13. 1 BC	13. 3±0. 5
土壤活性有机质含量 Active organic matter/(g/kg)					
0	4. 04±0. 06 ab	4. 41±0. 22 a	4. 36±0. 03 a	4. 09±0. 16 a	—
108	4. 14±0. 11 a	4. 42±0. 14 a	4. 32±0. 08 a	4. 25±0. 09 a	—
135	3. 95±0. 09 b	4. 28±0. 11 a	4. 29±0. 16 a	4. 20±0. 12 a	—
162	4. 10±0. 04 ab	4. 37±0. 06 a	4. 42±0. 06 a	4. 21±0. 10 a	—
平均值 Average	4. 06 C	4. 37 A	4. 35 A	4. 19 B	4. 06±0. 12
土壤碳库管理指数 Carbon pool management index/%					
0	103. 5±1. 6 a	111. 0±7. 1 a	107. 7±1. 1 a	101. 5±6. 6 a	—
108	104. 3±4. 6 a	112. 2±4. 2 a	106. 9±1. 7 a	105. 9±3. 6 a	—
135	96. 9±5. 9 a	107. 3±3. 0 a	105. 4±4. 4 a	106. 7±3. 4 a	—
162	104. 3±0. 9 a	109. 9±1. 7 a	109. 1±1. 1 a	106. 5±4. 5 a	—
平均值 Average	102. 3 C	110. 1 A	107. 3 AB	105. 1 BC	100
土壤全氮含量 Total N/(g/kg)					
0	0. 883±0. 01 ab	0. 988±0. 02 a	0. 917±0. 01 a	0. 926±0. 02 a	—
108	0. 897±0. 01 a	0. 973±0. 05 a	0. 922±0. 01 a	0. 932±0. 02 a	—
135	0. 877±0. 02 b	0. 989±0. 04 a	0. 934±0. 02 a	0. 930±0. 03 a	—
162	0. 910±0. 01 a	1. 003±0. 03 a	0. 955±0. 04 a	0. 941±0. 02 a	—
平均值 Average	0. 892 C	0. 988 A	0. 932 B	0. 932 B	0. 87±0. 07
土壤速效钾含量 Available K/(mg/kg)					
0	178. 9±15. 1 a	184. 4±25. 0 a	192. 0±27. 6 a	178. 1±8. 3 a	—
108	180. 6±18. 0 a	183. 0±5. 1 a	205. 9±40. 5 a	201. 1±22. 3 a	—
135	168. 6±10. 7 a	176. 6±4. 0 a	182. 7±2. 5 a	177. 2±10. 5 a	—
162	190. 1±16. 8 a	189. 6±23. 3 a	188. 4±18. 0 a	176. 3±8. 3 a	—
平均值 Average	179. 6 A	183. 4 A	192. 2 A	183. 2 A	171. 6±14. 8

不同大写字母表示不同绿肥处理之间的差异达到显著水平(5%); 小写字母表示不同施氮量处理之间的差异达到显著水平(5%)

表 5 2008—2010 年小麦播种前 0—200 cm 土壤矿质氮累积量

Table 5 Mineral N accumulation in soil of 0—200 cm depth before wheat sowing from 2008 to 2010

绿肥处理 Green manure	铵态氮 $\text{NH}_4^+\text{-N}/(\text{kg}/\text{hm}^2)$		硝态氮 $\text{NO}_3^-\text{-N}/(\text{kg}/\text{hm}^2)$		矿质氮 $\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}/(\text{kg}/\text{hm}^2)$	
	2008—2009	2009—2010	2008—2009	2009—2010	2008—2009	2009—2010
休闲 Fallow	331.3	108.4	51.0	249.6	382.3	358.0
怀豆 Huai bean	378.8	108.4	66.4	253.7	445.1	362.1
大豆 Soybean	300.1	119.9	25.3	213.5	326.2	333.3
绿豆 Mungbean	292.2	134.7	53.1	373.1	345.3	507.8

2.3 夏闲期种植并翻压豆科绿肥对土壤水分的影响

不同时期土壤水分结果表明,夏闲期种植豆科绿肥消耗了较多的土壤水分。绿肥盛花期种植豆科绿肥处理的土壤 0—200 cm 贮水量比休闲处理低 39.2—51.4 mm,随着降水的进行其水分差异有所减小,但一直存在至小麦收获时。3 种豆科绿肥间,大豆处理的土壤贮水量最低(表 6)。

表 6 2009—2010 年不同处理 0—200 cm 土壤贮水量

Table 6 Soil water storage in 0—200 cm depth of different treatments from 2009 to 2010

采样时间 Soil sampling time	土壤贮水量 Soil water storage/mm			
	休闲 Fallow	怀豆 Huai bean	大豆 Soybean	绿豆 Mungbean
绿肥翻压前(2009 年 9 月) Before green manure incorporation into soil	412.1±9.30 a	363.9±11.2 b	360.7±8.15 b	372.9±10.9 b
小麦播前(2009 年 10 月) Before wheat sowing	347.7±1.81 a	341.8±0.53 a	318.7±14.32 b	336.8±19.65 a
小麦返青期(2010 年 3 月) During turning green stage of wheat	385.3±7.26 a	363.1±3.01 b	361.7±3.91 b	368.1±5.48 b
小麦拔节期(2010 年 4 月) During jointing stage of wheat	377.1±6.48 a	343.3±2.72 b	349.8±6.22 b	347.8±6.56 b
小麦收获后(2010 年 6 月) After wheat harvest	233.0±14.54 a	217.5±2.87 b	202.8±2.69 c	229.3±7.66 ab

不同字母表示不同绿肥处理之间的差异达到显著水平(5%)

小麦播前,种植绿肥处理与休闲处理土壤含水量的差异主要表现在 60—120 cm 土层。小麦播前,种植大豆处理与怀豆和绿豆处理土壤含水量的差异主要表现在 80—120 cm 土层;到小麦收获时,差异则扩展至 40—140 cm 土层(图 1)。

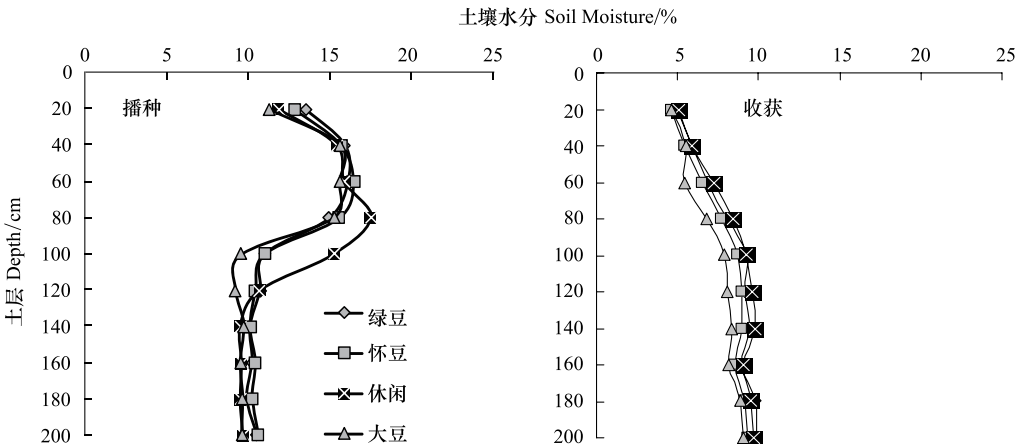


图 1 2009—2010 年小麦播种和收获时 0—200 cm 土壤含水量

Fig.1 Soil moisture of 0—200 cm depth before wheat sowing and after harvest from 2009 to 2010

2.4 夏闲期种植并翻压绿肥对小麦产量、耗水量与水分生产效率的影响

2009—2010 年试验结果发现,夏闲期种植翻压绿肥不仅有效增加了小麦籽粒产量,也显著提高了土壤水分生产效率(表 7)。

与休闲相比,怀豆和大豆处理的小麦籽粒产量显著提高,分别增产 9.5% 和 7.1%,绿豆处理的小麦籽粒

产量增加 6.3%。不施氮肥时,绿豆处理的小麦产量显著低于怀豆和大豆处理;施氮肥时,三种绿肥处理之间产量差异并不显著。夏季休闲时,连续 2 年不施氮肥显著降低冬小麦产量;然而,夏闲期种植并翻压长武怀豆和大豆时,连续 2 年不施氮肥却没有造成小麦的减产,这表明翻压怀豆和大豆显著提高了土壤供氮能力,可大大减少冬小麦对化肥氮的需求。

与夏休闲相比,豆科绿肥处理的小麦生长季耗水量没有显著差异。夏季休闲和种植翻压绿豆时,连续 2 年不施氮肥显著降低耗水量,这应该与其小麦产量的降低有关。怀豆和大豆处理施氮量对小麦生育期耗水量没有显著影响。

夏闲期种植并翻压豆科绿肥的水分生产效率比休闲处理提高 6.5%—8.8%,差异显著,这与豆科绿肥处理较高的小麦产量有直接关系。不施氮肥时,怀豆和大豆处理的水分生产效率显著高于休闲,而绿豆与休闲无显著性差异;施用氮肥时,怀豆和大豆处理的水分生产效率与休闲无显著差异,而绿豆处理的水分生产效率显著高于休闲,表明施用氮肥能提高小麦水分生产效率,其中休闲和绿豆施用氮肥时的水分生产效率显著高于其不施肥处理。

表 7 2009—2010 年小麦收获时不同处理水分生产效率

Table 7 Water use efficiency (WUE) of different treatments after wheat harvest from 2009 to 2010

施氮量 N rate /(kg/hm ²)	绿肥处理 Green manure			
	休闲 Fallow	怀豆 Huai bean	大豆 Soybean	绿豆 Mungbean
籽粒产量 Wheat yield/(kg/hm ²)				
0	2420.1±105.1 b	3141.4±183.1 a	3108.3±73.5 a	2379.1±147.2 b
108	3182.7±348.1 a	3311.6±328.9 a	3167.8±125.0 a	3341.4±374.9 a
135	3184.8±323.7 a	3172.3±128.0 a	3124.6±70.7 a	3329.6±296.9 a
162	3046.2±334.1 a	3327.9±161.6 a	3276.2±52.4 a	3527.1±91.0 a
平均值 Average	2958.4 B	3238.3 A	3169.2 A	3144.3 AB
耗水量 Water consumption/mm				
0	307.1±10.34 b	335.3±9.00 a	325.4±3.27 a	311.7±8.51 c
108	338.4±15.12 a	341.4±6.70 a	328.8±4.26 a	324.1±3.83 ab
135	337.5±8.26 a	337.4±12.79 a	329.5±6.66 a	329.1±3.25 a
162	327.7±8.51 a	335.4±5.62 a	331.9±13.69 a	317.2±6.89 bc
平均值 Average	327.7 AB	337.4 A	328.9 AB	320.5 B
水分生产效率 WUE/(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)				
0	7.89±0.27 b	9.37±0.26 b	9.55±0.10 a	7.64±0.21 c
108	9.42±0.42 a	9.70±0.19 ab	9.64±0.13 a	10.31±0.12 b
135	9.44±0.23 a	9.41±0.35 b	9.49±0.19 a	10.12±0.10 b
162	9.30±0.24 a	9.92±0.17 a	9.88±0.40 a	11.12±0.24 a
平均值 Average	9.01 B	9.60 A	9.64 A	9.80 A

不同大写字母表示不同绿肥处理之间的差异达到显著水平(5%);小写字母表示不同施氮量处理之间的差异达到显著水平(5%)

3 结论与讨论

黄土高原地区三分之二的农田其表层(0—10 cm)土壤有机质含量低于 10 g/kg,另三分之一面积的土壤有机质也仅有 10—15 g/kg^[18],其中黄土高原丘陵沟壑区以南的渭北旱塬土壤有机质含量为 8—12 g/kg^[19]。土壤瘠薄与干旱少雨是限制这一地区农业生产的两个几乎同等重要的因素,水分匮乏和侵蚀严重是造成土壤肥力不足的主要原因,有机肥投入不足和培肥不力也影响了土壤肥力提高。大量研究证明,种植并翻压豆科绿肥不仅能显著提高土壤有机质含量^[19-22],增加土壤氮素供应^[23-24],还能改善土壤物理性状^[20-21]和生物学性状^[21]。冬小麦—夏休闲是渭北旱塬地区的主要种植制度之一,夏季休闲期正值雨热同季,如果裸地休闲不仅会影响土壤水分的保蓄以及光热资源的白白浪费,更能由于缺乏植被覆盖而引发水土流失。尽管夏季的降水条件并不能满足大部分地区复种一茬作物^[25],如果填闲种植短期豆科绿肥并在冬小麦播种之前提前翻压入

土,这样不仅能充分利用该地区夏闲期降水和光温资源,而且对提高土壤肥力具有重要的意义。该地区有多年种植豆类作物的历史,一般当地农民仅用于倒茬和收获豆子,兼有养地作用^[26-27]。但由于还田的根茬生物量有限,因此对土壤有机质含量的贡献并不大^[28-29]。如果将豆类作为绿肥全部翻压还田会不会有显著培肥效果呢?本研究发现,与休闲处理(不种绿肥)相比,连续 2a 夏季种植并翻压豆科绿肥后耕层土壤有机质含量能够增加 3.9%—11.8%,全氮含量提高 4.5%—10.8%;表明在渭北旱塬一年一熟地区,利用夏闲期插播短期豆科绿肥具有明显培肥效果,这也与前人的报道规律一致^[19]。

土壤有机质含量是表征土壤肥力高低的一个重要指标,而活性有机质在指示土壤质量和土壤肥力变化方面比有机质总量更灵敏^[30]。还有研究指出,土壤 C 库管理指数 CPMI 一方面反映了外界条件对土壤有机质数量的影响变化,另一方面反映了土壤活性有机质数量的变化情况,所以能够较全面和动态地反映外界条件对土壤有机质性质的影响。CPMI 上升,表明该措施对土壤有培肥作用,土壤性能向良性发展;CPMI 下降,则表明土壤肥力下降,土壤性质向不良方向发展,其管理和施肥是不科学的^[31]。研究发现^[17],长期施用有机肥能够促进土壤有机质形成,增加土壤活性有机质和 CPMI。本研究也发现,与休闲处理相比,连续 2 年种植并翻压绿豆、大豆和怀豆后土壤的活性有机质含量能够提高 3.2%—7.6%,CPMI 增加 2.7%—7.6%,表明种植翻压豆科绿肥能有效保证土壤肥力的稳定与提高。

绿肥的培肥效果也会因绿肥种类的差异而不同。例如,李银平^[32]等发现,在新疆连作 8a 的棉田种植并翻压 4 种不同绿肥后对土壤有机质含量有显著不同的效果:与不种绿肥相比,草木樨使土壤有机质含量提高 1.44 g/kg,大豆使有机质含量提高 0.17 g/kg;而油菜和油葵则使土壤有机质含量分别降低 1.58 和 0.17 g/kg。本试验结果表明,虽然连续两年种植长武怀豆和大豆的总生物量低于绿豆,然而其相应处理下的土壤有机质含量和活性有机质含量却均高于绿豆处理,原因可能在于长武怀豆和大豆的碳含量明显高于绿豆,而碳氮比显著低于绿豆,更利于微生物分解转化为腐殖类物质^[33]。

夏闲期种植翻压绿肥明显消耗了土壤水分,尤其种植豆科绿肥后的 60—120 cm 土层水分含量要显著低于休闲处理。尽管如此,种植绿肥处理小麦生长期土壤耗水量与休闲处理没有明显差异,同时夏闲期利用绿肥显著增加后茬小麦籽粒产量,最终显著提高土壤水分生产效率,这应该主要归功于种植并翻压豆科绿肥后明显的培肥效果。

在渭北旱塬夏闲期插播一季豆科绿肥,既有利于改善麦田土壤肥力,又显著提高土壤水分生产效率,然而绿肥培肥地力的长期效应还有待于进一步研究;本试验中 3 种豆科绿肥间,以当地品种——长武怀豆培肥效果最佳。

References:

- [1] Zheng Z P, Liu Z X. Soil quality and its evaluation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 131-134.
- [2] Almendros G, Dorado J. Molecular characteristics related to the biodegradability of humic acid preparations. *European Journal of Soil Science*, 1999, 50(2): 227-236.
- [3] Hou G J, Zhang X L. On Achieving Good Results of Soil and Water Conservation and High-Yield Without Irrigation by Integrating Mulch with Condous-Ridge Culture. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1988, 2(4).
- [4] Cao W. Sustained agriculture and production of green manure. *China Population, Resources and Environment*, 2000, 10(Suppl): 106-107.
- [5] Cao W D, Huang H X. Ideas on restoration and development of green manures in China. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2009, (4): 1-3.
- [6] Zhao N, Zhao H B, Cao Q H, Yu C W, Sun W, Li M, Cao W D, Gao Y J. Effect of green manure on soil fertility properties in summer fallow period in Weibei dryland. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 29(2): 124-128.
- [7] Wu P, Hu N H, Ye A Q, Zhu J M, Hu H, Tang Y. Effect and benefit of planting milk vetch on soil fertility. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(11): 2466-2468.
- [8] Li Y P, Xu W X, Li K K, Zhao S Y, Yang T, Hou S S. Effect of green manure application on soil fertility in cotton fields. *Journal of Xinjiang Agricultural Sciences*, 2009, 46(2): 262-265.
- [9] Kirkegaard J, Christen O, Krupinsky J, Layzell D. Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research*, 2008, 107(3):

185-195.

- [10] Amusan A O, Adetunji M T, Azeze J O, Bodunde J G. Effect of the integrated use of legume residue, poultry manure and inorganic fertilizers on maize yield, nutrient uptake and soil properties. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011, 90(3): 321-330.
- [11] Yuan J F, Xu X Y, Zhao S J, Peng C L, Xiong Y S, Cao W D, Lu J W. Effect of green manure and nitrogen level on nutrient accumulation, yield and quality of flue-cured tobacco. *Hubei Agricultural Sciences*, 2009, 48(9): 2106-2109.
- [12] Huang P N, Qing D Z, Long H Y, Yin S B, Zhang R L, Lei Q L, Yang Q L. Effect of green manure return to field on soil fertility of tobacco fields and the yield and quality of tobacco. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(2): 379-382.
- [13] Zhao N, Zhao H B, Yu C W, Duan C L, Li K Y, Cao Q H, Cao W D, Gao Y J. Effect of green manure in summer fallow period and nitrogen rate on winter wheat growth. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2010, 19(12): 41-47.
- [14] Liu H M, Yang Z X, Liu S Q. Methods for determining labile organic matter in different sized soil particles of different soils. *Ecology and Environment*, 2008, 17(5): 2046-2049.
- [15] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: China Agriculture Press, 2002.
- [16] Huang C Y. *Soil Science*. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 101-102.
- [17] Xu M G, Yu R, Sun X F, Liu H, Wang B R, Li J M. Effects of long-term fertilization on labile organic matter and carbon management index (CMI) of the typical soils of China. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(4): 459-465.
- [18] Lu Z F. The agricultural development strategy in Loess Plateau of China. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2000, 18(4): 1-7.
- [19] Shaanxi Soil Survey Office. *Soil in Shaanxi Province*. Beijing: Sciences Press, 1992: 363-393.
- [20] Huang X G, Liu W G. Nutrients release of summer mungbean green manure in orchard. *Journal of Fruit Science*, 1996, (2): 109-110.
- [21] Liu G S, Luo Z B, Wang Y, Li H L, Wang G F, Ma J M. Effect of green manure application on soil properties and soil microbial biomass in tobacco field. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1): 94-98.
- [22] Palm C A, Giller K E, Mafongoya P L, Swift M J. Management of organic matter in the tropics: translating theory into practice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2001, 61(1/2): 63-75.
- [23] Wang Z X, Shen X, Zhang F Y. Comprehensive technology on fruit-trees in dryland regions. *Tianjin Agricultural Sciences*, 1999, 5(4): 23-25.
- [24] Kumar K, Goh K M. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy*, 1999, 68: 197-319.
- [25] Li J, Wang L X. The exploitation and utilization of summer fallow lands on Weiher rainfed highland. *Journal of Northwest University of Agriculture*, 1994, 22(2): 99-102.
- [26] Yang J, Shen Y Y, Nan Z B, Gao C Y, Niu Y N, Wang X Z, Luo C Y, Li G D. Effects of conservation tillage on crop yield and carbon pool management index on top soil within a maize-wheat-soy rotation system in the Loess Plateau. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(1): 75-82.
- [27] Lai L, Hao M D, Wang Y G. Changes of long-term rotation and fertilization on soil microbial phosphorus under dryland in Loess Plateau. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(5): 546-549.
- [28] Dong S Q, Liu L J, Ma X F, Tang Y Z, Sun Z F, Ma C M, Gong Z P. Effect of straw returning on planosol nutrient content. *Crops*, 2011, (1): 53-55.
- [29] Chaves B, de Neve S, Hofman G, Boeckx P, van Cleemput O. Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio) chemical composition. *European Journal of Agronomy*, 2004, 21(2): 161-170.
- [30] Wu X D, Cai L X, Lu Y H, Zheng S X. Situation and prospect of research on active soil organic matter. *Hunan Agricultural Sciences*, 2009, (3): 39-42.
- [31] Whitbread A M, Lefroy R D B, Blair G J. A survey of the impact of cropping on soil physical and chemical properties in north-western New South Wales. *Australian Journal of Soil Research*, 1998, 36(4): 669-682.
- [32] Li Y P, Xu W X, Hou S S, Yang T, Wang T, Zhang P L. The influence of spring wheat and green manure to the soil fertility of the continuous cropping cotton fields. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(6): 151-154.
- [33] Zhao N, Zhao H B, Yu C W, Cao Q H, Li M, Cao W D, Gao Y J. Nutrient releases of leguminous green manures in rainfed lands. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(5): 1179-1187.

参考文献:

- [1] 郑昭佩, 刘作新. 土壤质量及其评价. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 131-134.
- [3] 侯光炯, 张绪林. 论覆盖和等高垄作相结合收到水土保持和免灌高产效益. 成都: 四川科技出版社, 1988, 2(4).
- [4] 曹文. 绿肥生产与可持续农业发展. *中国人口资源与环境*, 2000, 10(增刊): 106-107.
- [5] 曹卫东, 黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考. *中国土壤与肥料*, 2009, (4): 1-3.

- [6] 赵娜, 赵护兵, 曹群虎, 鱼昌为, 孙蔚, 李敏, 曹卫东, 高亚军. 渭北旱区夏闲期豆科绿肥对土壤肥力性状的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 29(2): 124-128.
- [7] 吴萍, 胡南河, 叶爱青, 朱金明, 胡慧, 唐瑜. 种植紫云英的效益及其对土壤肥力的影响. 安徽农业科学, 2006, 34(11): 2466-2468.
- [8] 李银平, 徐文修, 李钦钦, 赵双印, 杨涛, 侯松山. 绿肥压青对棉田土壤肥力的影响. 新疆农业科学, 2009, 46(2): 262-265.
- [11] 袁家富, 徐祥玉, 赵书军, 彭成林, 熊又升, 曹卫东, 鲁剑巍. 绿肥翻压和减氮对烤烟养分累积、产量及质量的影响. 湖北农业科学, 2009, 48(9): 2106-2109.
- [12] 黄平娜, 秦道珠, 龙怀玉, 尹三宝, 张认连, 雷秋良, 杨全柳. 绿肥还田对烟田土壤培肥和烤烟产量品质的作用. 土壤通报, 2010, 41(2): 379-382.
- [13] 赵娜, 赵护兵, 鱼昌为, 段长林, 李可懿, 曹群虎, 曹卫东, 高亚军. 夏闲期种植翻压绿肥和施氮量对冬小麦生长的影响. 西北农业学报, 2010, 19(12): 41-47.
- [14] 刘合明, 杨志新, 刘树庆. 不同粒径土壤活性有机碳测定方法的探讨. 生态环境, 2008, 17(5): 2046-2049.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [16] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 101-102.
- [17] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 刘骅, 王伯仁, 李菊梅. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 459-465.
- [18] 卢宗凡. 黄土高原的农业发展战略. 干旱地区农业, 2000, 18(4): 1-7.
- [19] 陕西省土壤普查办公室. 陕西土壤. 北京: 科学出版社, 1992: 363-393.
- [20] 黄显淦, 刘文革. 果园夏绿肥绿豆压青后的养分释放. 果树科学, 1996, (2): 109-110.
- [21] 刘国顺, 罗贞宝, 王岩, 李洪亮, 王国锋, 马京民. 绿肥翻压对烟田土壤理化性状及土壤微生物量的影响. 水土保持学报, 2006, 20(1): 94-98.
- [23] 王芝学, 沈欣, 张飞宇. 干旱地区果园抗旱保苗综合技术. 天津农业科学, 1999, 5(4): 23-25.
- [25] 李军, 王立祥. 渭北旱塬夏闲地开发利用研究. 西北农业大学学报, 1994, 22(2): 99-102.
- [26] 杨晶, 沈禹颖, 南志标, 高崇岳, 牛伊宁, 王先之, 罗彩云, 李光棣. 保护性耕作对黄土高原玉米-小麦-大豆轮作系统产量及表层土壤碳管理指数的影响. 草业科学, 2010, 19(1): 75-82.
- [27] 来璐, 郝明德, 王永功. 黄土高原旱地长期轮作与施肥土壤微生物量磷的变化. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 546-549.
- [28] 董守坤, 刘丽君, 马秀峰, 唐远征, 孙占峰, 马春梅, 龚振平. 秸秆还田对白浆土养分含量的影响. 作物杂志, 2011, (1): 53-55.
- [30] 吴小丹, 蔡立湘, 鲁艳红, 郑圣先. 土壤活性有机质的研究现状与展望. 湖南农业科学, 2009, (3): 39-42.
- [32] 李银平, 徐文修, 侯松山, 杨涛, 王亭, 张佩玲. 春小麦复播绿肥对连作棉田土壤肥力的影响. 中国农学通报, 2009, 25(6): 151-154.
- [33] 赵娜, 赵护兵, 鱼昌为, 曹群虎, 李敏, 曹卫东, 高亚军. 旱地豆科绿肥腐解及养分释放动态研究. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1179-1187.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 7 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on chemical communication of development and host-finding of nematodes ZHANG Bin, HU Chunxiang, SHI Jin, et al (2003)
- Principles, indicators and sampling methods for species monitoring XU Haigen, DING Hui, WU Jun, et al (2013)

Autecology & Fundamentals

- Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland ZHANG Zhengxiang, ZHANG Hongyan, LI Dongxue, et al (2023)
- Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors YANG Xiuqing, HUANG Mei, WANG Junbang, et al (2032)
- Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010 CHEN Chao, ZHOU Guangsheng (2043)
- Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve ZHU Hongqiang, GE Zhiyong, LIU Geng, et al (2054)
- Leaf anatomical characteristics of the plants of grasslands in the Tibetan Plateau LI Quanfa, WANG Baojuan, AN Lihua, et al (2062)
- A research on summer vegetation characteristics & short-time responses to experimental warming of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (2071)
- Cytological study on microsporogenesis of *Solanum lycopersicum* var. Micro-Tom under high temperature stress PENG Zhen, CHENG Lin, HE Yanjun, et al (2084)
- A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region ZHAO Long, WANG Zhenfeng, GUO Zhongsheng, et al (2093)
- Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* LI Qingmei, LIU Yan, LIU Guangquan, et al (2104)
- Effects of water stress and fungicide on the growth and drought resistance of *Flaveria bidentis* CHEN Dongqing, HUANGFU Chaohe, LIU Hongmei, et al (2113)
- Characters of soil seed bank in copper tailings and its adjacent habitat ... SHEN Zhangjun, OU Zulan, TIAN Shengni, et al (2121)
- Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains LI Yuan, CHENG Jimin, WEI Lin, et al (2131)
- Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation ZHOU Zhenjiang, NIU Xiaoli, LI Rui, et al (2139)
- Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas LI Juan, LIAO Hongkai, LONG Jian, et al (2147)
- Mobilization of inorganic phosphorus from soils by five azotobacters ZHANG Liang, YANG Yuhong, LI Qian, et al (2157)
- Physiological-ecological responses of *Iris germanica* L. to Cd stress and its accumulation of Cd ZHANG Chengxiang, CHEN Weifeng (2165)
- The available forms and bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge TIE Mei, SONG Linlin, HUI Xiujuan, et al (2173)
- LAI-based photosynthetic light response model and its application in a rainfed maize ecosystem SUN Jingsong, ZHOU Guangsheng (2182)
- The dominant species of predatory natural enemies of three kinds of planthoppers and impact of pesticides on natural enemies in paddy field LIN Yuan, ZHOU Xiazhi, BI Shoudong, et al (2189)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary ZHANG Xia, HUANG Xiaoping, SHI Zhen, et al (2200)

Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China	CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, CHEN Yaning, et al (2212)
Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea	WANG Xuehui, LIN Zhaojin, DU Feiyan, et al (2225)
Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang (2236)
Analysis on community structure and quantitative characteristics of <i>Nitraria tangutorum</i> nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River	JIN Hujia, MA Quanlin, HE Mingzhu, et al (2248)
Resource and Industrial Ecology	
Effects of subsoiling and supplemental irrigation on dry matter production and water use efficiency in wheat	ZHENG Chengyan, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (2260)
Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions	ZHANG Dabin, YAO Pengwei, LI Jing, et al (2272)
Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming	LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al (2282)
Urban, Rural and Social Ecology	
Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity	WU Fangfang, ZHANG Na, CHEN Xiaoyan (2292)
Characteristics of spatial and temporal variations of global solar radiation in Xi'an and relevant response in urban development	ZHANG Hongli, ZHANG Naweirui, LIU Minru, et al (2304)
Research Notes	
A analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province, China	CHAI Xinyi, XU Xuefeng, WANG Meiyang, et al (2314)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

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 33 卷 第 7 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 7 (April, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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 90.00 元