

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

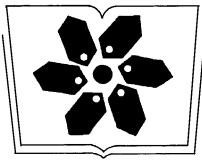
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第15期 Vol.32 No.15 **2012**

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 32 卷 第 15 期

2012 年 8 月 (半月刊)

目 次

放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响.....	张艳博,罗 鹏,孙 庚,等 (4605)
北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素.....	王苏铭,张 楠,于琳倩,等 (4618)
温带混交林碳水通量模拟及其对冠层分层方式的响应——耦合的气孔导度-光合作用-能量平衡模型	施婷婷,高玉芳,袁凤辉,等 (4630)
洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响	刘 娜,王克林,段亚锋 (4641)
大辽河口水环境污染生态风险评估.....	于 格,陈 静,张学庆,等 (4651)
标准化方法筛选参照点构建大型底栖动物生物完整性指数	渠晓东,刘志刚,张 远 (4661)
不同年龄段大连群体菲律宾蛤仔 EST-SSR 多样性	虞志飞,闫喜武,张跃环,等 (4673)
基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间异质性	杨晓明,戴小杰,朱国平 (4682)
广东罗坑自然保护区鳄蜥生境选择的季节性差异.....	武正军,戴冬亮,宁加佳,等 (4691)
甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质.....	魏 强,凌 雷,柴春山,等 (4700)
短轮伐期毛白杨不同密度林分土壤有机碳和全氮动态.....	赵雪梅,孙向阳,康向阳,等 (4714)
放牧对呼伦贝尔草地植物和土壤生态化学计量学特征的影响.....	丁小慧,官 立,王东波,等 (4722)
UV-B 辐射增强对抗除草剂转基因水稻 CH ₄ 排放的影响	娄运生,周文麟 (4731)
基于核磁共振波谱的盐芥盐胁迫代谢组学分析.....	王新宇,王丽华,于 萍,等 (4737)
广西甘蔗根际高效联合固氮菌的筛选及鉴定.....	胡春锦,林 丽,史国英,等 (4745)
不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响.....	安 辉,刘鸣达,王耀晶,等 (4753)
大兴安岭火烧迹地恢复初期土壤微生物群落特征.....	白爱芹,傅伯杰,曲来叶,等 (4762)
川西北冷杉林恢复过程中土壤动物群落动态.....	崔丽巍,刘世荣,刘兴良,等 (4772)
内生真菌角担子菌 B6 对连作西瓜土壤尖孢镰刀菌的影响	肖 逸,戴传超,王兴祥,等 (4784)
西江颗粒直链藻种群生态特征.....	王 超,赖子尼,李跃飞,等 (4793)
大型人工湿地生态可持续性评价.....	张依然,王仁卿,张 建,等 (4803)
孢粉、炭屑揭示的黔西高原 MIS3b 期间古植被、古气候演变	赵增友,袁道先,石胜强,等 (4811)
树干径流对梭梭“肥岛”和“盐岛”效应的作用机制	李从娟,雷加强,徐新文,等 (4819)
豆科作物-小麦轮作方式下旱地小麦花后干物质及养分累积、转移与产量的关系	杨 宁,赵护兵,王朝辉,等 (4827)
一次陆源降雨污水引起血红哈卡藻赤潮的成因.....	刘义豪,宋秀凯,靳 洋,等 (4836)
盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力.....	王艳芳,沈永明 (4844)
城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析——以深圳市福田区为例.....	邵天然,李超骥,曾 辉 (4852)
黄河三角洲区域生态经济系统动态耦合过程及趋势.....	王介勇,吴建寨 (4861)
重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数	李爱民,邓合黎,马 琦 (4869)
专论与综述	
干旱半干旱区不同环境因素对土壤呼吸影响研究进展.....	王新源,李玉霖,赵学勇,等 (4890)
土壤呼吸的温度敏感性——全球变暖正负反馈的不确定因素.....	栾军伟,刘世荣 (4902)
森林土壤甲烷吸收的主控因子及其对增氮的响应研究进展.....	程淑兰,方华军,于贵瑞,等 (4914)
湖泊氮素氧化及脱氮过程研究进展	范俊楠,赵建伟,朱端卫 (4924)
研究简报	
刈割对人工湿地风车草生长及污水净化效果的影响.....	吕改云,何怀东,杨丹菁,等 (4932)
学术信息与动态	
全球气候变化与粮食安全——2012 年 Planet Under Pressure 国际会议述评	安艺明,赵文武 (4940)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-08



封面图说:水杉是中国特有种,国家一级保护植物,有植物王国“活化石”之称,是 1946 年由中国的植物学家在湖北的利川磨刀溪发现的。水杉曾广泛分布于北半球,第四纪冰期以后,水杉属的其他种类全部灭绝,水杉确在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存,成为旷世奇珍。水杉耐水,适应力强,生长极为迅速,其树干通直挺拔,高大秀颀,树冠呈圆锥形,姿态优美,枝叶繁茂,入秋后叶色金黄。自发现后被人们在中国南方广泛种植,成为著名的绿化观赏植物,现在中国水杉的子孙已遍及中国和世界 50 多个国家和地区。

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

DOI: 10.5846/stxb201107221085

杨宁, 赵护兵, 王朝辉, 张达斌, 高亚军. 豆科作物-小麦轮作方式下旱地小麦花后干物质及养分累积、转移与产量的关系. 生态学报, 2012, 32(15): 4827-4835.

Yang N, Zhao H B, Wang Z H, Zhang D B, Gao Y J. Accumulation and translocation of dry matter and nutrients of wheat rotated with legumes and its relation to grain yield in a dryland area. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4827-4835.

豆科作物-小麦轮作方式下旱地小麦花后 干物质及养分累积、转移与产量的关系

杨 宁, 赵护兵, 王朝辉*, 张达斌, 高亚军

(西北农林科技大学资源环境学院, 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 杨凌 712100)

摘要:研究旱作条件下豆科绿肥轮作影响旱地小麦产量变化的作物营养生态机制,对优化旱地作物种植施肥制度,促进水分资源高效利用、土壤培肥、作物增产有重要意义。通过两年定位试验,分析了与不同豆科作物轮作引起的后茬小麦产量变化及其与干物质、氮磷钾养分累积、转移的关系。结果表明:与秋豆轮作的第一季,小麦籽粒产量无显著变化,但第二季小麦产量提高 23.4%;与绿豆轮作,两季产量分别降低 19.2% 和 4.4%;与大豆轮作,产量无显著变化。与秋豆轮作增加了小麦花后干物质及氮、磷养分累积,和对照相比分别增加了 35.1%, 128.8% 和 14.0%,而与大豆和绿豆轮作花后干物质累积分别降低 26.7% 和 17.0%,花后氮累积分别降低 44.2% 和 24.4%,花后磷累积与对照相比无显著差异。与此对应,秋豆-小麦轮作,其后茬小麦花后干物质及养分累积对产量形成的贡献显著增加,茎叶花前累积氮、磷向籽粒的转移对产量的贡献明显小于大豆-小麦和绿豆-小麦轮作处理。与氮、磷不同,小麦茎叶花前累积钾素向籽粒转移的同时,花后植株钾素没有累积,反而明显损失,其中与秋豆轮作的小麦花后植株钾素损失量较小,为 3.8 kg/hm²,籽粒钾素占转移钾的 81.0%;休闲或与大豆、绿豆轮作的小麦花后植株钾素损失较多,分别为 10.9, 12.6 和 5.5 kg/hm²,籽粒钾素占转移钾的 52.9%, 52.9% 和 66.8%。与秋豆-小麦轮作处理小麦增产的主要原因是花后植株能累积更多干物质和氮、磷养分,减少了花前累积于茎叶的钾素在花后的损失。

关键词:豆科作物; 轮作; 干物质累积; 养分转移; 产量

Accumulation and translocation of dry matter and nutrients of wheat rotated with legumes and its relation to grain yield in a dryland area

YANG Ning, ZHAO Hubing, WANG Zhaohui*, ZHANG Dabin, GAO Yajun

Ministry of Agriculture Key Laboratory of the Loess Plateau Agricultural Resources and Environmental Remediation, College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China

Abstract: Winter wheat is one of the major food crops in the Loess Plateau, where low rainfall during the wheat growing season and poor soil fertility restrict the growth and development of the crop. An important research goal is to identify ways of increasing both the amount of water stored in the soil profile and the soil nutrient content during the summer fallow season. Attaining this goal could result in significant improvements in wheat yield. Legumes have an especially high nitrogen concentration due to atmospheric nitrogen fixation by rhizobia in root nodules. The incorporation of legumes into the soil can increase soil fertility. However it is not known if the inclusion of a legume in a crop rotation could increase wheat yield or the soil nutrient content in a dryland area. To answer this question, a field experiment was conducted between 2008 and 2009 at Changwu, Shaanxi Province, China. The experiment used a completely randomized block design with four crop

基金项目:农业公益性行业科研专项(201103005 和 201103003);现代农业产业技术体系建设专项;国家自然科学基金(30871596 和 30971866)

收稿日期:2011-07-22; **修订日期:**2012-03-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: w-zhaohui@263.net

rotations (mung bean-winter wheat, local bean-winter wheat, soybean-winter wheat, and fallow-winter wheat). Nitrogen fertilizer was applied to all treatments at the rate of 108 kg/hm^2 . The local bean-winter wheat treatment had no significant effect on wheat yields in 2008—2009. However in 2009—2010, the local bean-winter wheat treatment increased wheat yields by 23.4% compared to the control (fallow-winter wheat treatment). In contrast, the mung bean-winter wheat treatment reduced wheat yields by 19.2% in 2008—2009 and by 4.4% in 2009—2010. The soybean-winter wheat treatment had no significant effect on wheat yields during either cropping season. Comparison of the four treatments showed that the wheat dry weight, nitrogen accumulation, and phosphorus accumulation were highest in the local bean-winter wheat treatment. The local bean-winter wheat treatment increased the wheat dry weight by 35.1% compared to the control, the nitrogen accumulation increased by 128.8%, and the phosphorous accumulation increased by 140%. In contrast, the soybean-winter wheat treatment reduced the wheat dry weight by 26.7% and the nitrogen accumulation by 44.2%. The mung bean-winter wheat treatment reduced the wheat dry weight by 17.0% and the nitrogen accumulation by 24.4%. The phosphorus accumulation of wheat was not significantly affected by either the soybean-winter wheat treatment or the mung bean-winter wheat treatment. In contrast to nitrogen and phosphorus, the potassium accumulation of wheat decreased as the plants matured. The decline in the potassium accumulation varied among the rotations. The post-anthesis potassium loss in the local bean-winter wheat treatment was 3.8 kg/hm^2 . In comparison, the potassium loss in the soybean-winter wheat treatment was 12.6 kg/hm^2 . The potassium loss in the mung bean-winter wheat treatment was 5.5 kg/hm^2 . The percentage of grain potassium to translocated potassium in the local bean-winter wheat treatment was 81.0%. This amount was higher than that of the control. In comparison, the percentage of grain potassium to translocated potassium was 52.9% in the soybean-winter wheat treatment and 66.8% in the mung bean-winter wheat treatment. This indicated that pre-anthesis dry matter and nutrient accumulation played an important role in grain yields formation. However, post-anthesis dry matter and nutrient accumulation was the main reason for the differences in wheat grain yields among the four rotation systems. The reason for the increased yields in the local bean-wheat treatment was that more dry matter, nitrogen and phosphorous were accumulated during the post-anthesis stage and less potassium was lost.

Key Words: legumes; rotation; dry matter accumulation; nutrient translocation; grain yield

黄土高原是我国典型的旱作农业区,冬小麦是这一地区主要粮食作物。该区降水资源匮乏,且60%以上的降水集中在夏季7—9月份,而冬小麦生长季节却主要集中在当年10月到翌年6月。此外,土壤有机质含量低,60%以上的土壤有机质含量不足1%。土壤供肥保肥能力差、降水少且与小麦生长季节错位是影响这一区域小麦稳产增产的主要限制因子。因此,研究旱作条件下,培肥土壤、充分利用有限的夏季降水,对实现小麦增产增效有重要的意义。

绿肥作为一种生物肥源,尤其是豆科绿肥,含有丰富的大中微量营养元素。翻压腐解后,一部分变成作物可直接吸收利用的营养物质;一部分重新组合形成腐殖质,在适宜的条件下慢慢矿质化,可不断向作物提供养分,亦可改善土壤理化性状,提高土壤肥力,连续1季翻压可使有机质增加0.07%,碱解氮增加 1.9 mg/kg ,速效磷、钾含量分别增加 4.7 mg/kg 和 3.1 mg/kg ^[1]。赵娜等^[2]在陕西长武的试验亦发现在小麦播种前,种植并翻压一季长武怀豆耕层土壤中的有机质、全氮含量较对照分别增加 1.0 g/kg 和 0.05 g/kg ,速效钾含量增加7.1%。在拉萨种植一季豆科作物后0—20 cm土层有机质、全氮和全磷的含量比种植前分别增加2.2%—19.1%,0.9%—1.7%和6.9%—13.7%^[3]。种植绿肥会增加土壤中水分消耗,在小麦生长季没有充分降雨的情况下,直到小麦收获,种植绿肥的处理土壤2 m贮水较休闲处理仍相差17—21 mm^[4]。但邵通桥等^[5]发现,套种绿肥可以改善土壤团聚体稳定性,促进水稳性团粒结构形成,使土壤含水量较对照提高5.71%—6.28%。

种植豆科绿肥亦可促进后茬作物生长。Dalal等^[6]1988—1996年进行的长期定位试验发现连作小麦产

量为 2117 kg/hm²,而与鹰嘴豆轮作,产量达 2942 kg/hm²,较连作提高 40% (825 kg/hm²)。Ahamd 等^[7]在巴基斯坦的试验同样发现种植两季绿豆与黑绿豆的后茬小麦产量为 4200—4700 kg/hm²,而连作仅 3600—3700 kg/hm²,轮作较连作增产 600—1100 kg/hm²。Kumar 等^[8]在新西兰也证明种植一季三叶草、紫花豌豆后,后茬小麦产量分别为 6570 kg/hm² 和 5790 kg/hm²,和谷类连作相比增产 1070—3030 kg/hm²。但也有研究发现,种植绿肥降低了后茬作物产量,如李可懿等^[9]于陕西长武的试验发现,翻压一季豆科绿肥的后茬小麦产量降低 9.7%—26.6%。

但是关于与豆科绿肥轮作影响旱地小麦产量的机制,特别是轮作引起后茬小麦产量变化与干物质及养分累积转移的关系报道较少,本文通过两年定位试验,从小麦花前、花后干物质以及氮、磷、钾养分累积和转移情况,分析了与不同豆科绿肥轮作后小麦产量变化,尤其是与秋豆轮作小麦产量提高的原因,以期充分利用旱区有限降水资源,优化旱地绿肥-小麦轮作,培肥土壤,减少化学氮肥投入,实现旱地小麦可持续增产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验于 2008—2010 年在陕西省长武县十里铺村进行。该地属黄土高原典型旱作区,年均温度 9.1 ℃,降雨量 568 mm 左右,降水主要集中在夏季 7—9 月。全年无霜期 194 d,太阳辐射 5266 MJ/m²,潜在蒸发量 967 mm。2008 年小麦播前试验地土壤基本理化性状为:有机质 11.8 g/kg,全氮 0.79 g/kg,硝态氮 13.9 mg/kg,铵态氮 10.4 mg/kg,速效磷 24.6 mg/kg,速效钾 143.4 mg/kg,阳离子交换量 17.6 cmol/kg,pH 值 8.1。

1.2 试验设计

试验开始于 2008 年 6 月,采用完全随机区组设计,设夏休闲-冬小麦,绿豆-冬小麦,秋豆-冬小麦,大豆-冬小麦 4 种轮作方式。2008 年 6 月 29 日播种 3 种豆科绿肥,并于同年 9 月 2 日收割,切碎后随旋地均匀翻压入土;绿豆、秋豆和大豆地上部鲜重翻压量分别为 11156,10668 kg/hm²和 3379 kg/hm²;10 月 2 日种植冬小麦。2009 年试验设计与 2008 年一致,6 月 29 日播种绿肥后,于 9 月 18 日收割并翻压入土,绿豆,秋豆和大豆的鲜重翻压量分别为 12881.4,14796.3 kg/hm²和 15325.7 kg/hm²;10 月 4 日种植冬小麦。各轮作方式下冬小麦种植均采用常规耕作。夏季休闲期种植豆科绿肥前不施氮肥,仅施磷肥(P₂O₅)40 kg/hm²;秋季种植冬小麦前一次施入氮肥 108 kg/hm²,同时施入磷肥(P₂O₅)120 kg/hm²。小区面积 30 m²,间距 30 cm,重复 3 次。各轮作处理冬小麦品种均为长武 521,播量 150 kg/hm²。

1.3 样品采集与测定

分别于开花期(2010 年 5 月 16 日)和成熟期(2010 年 6 月 25 日)采集小麦植株样品。花期,每小区随机选取 3 个 30 cm 长的样段,将小麦植株连根系拔起,从根茎结合处将根剪除,将地上部分为茎叶和穗两部分,同一小区的 3 个样段的茎叶和穗分别混合各作为一个分析样品,分别装入编好号的塑料袋,称其鲜重;成熟期,每小区随机选取 4 个 1 m 长的样段,用同样的方法将根系剪除,地上部分为茎叶和穗两部分,装入编号的网袋里,称其鲜重,样品自然风干后麦穗脱粒,进一步分为颖壳、籽粒两部分,称其风干重。不同时期采集的茎叶、穗、颖壳、籽粒样品各取部分,称重后用去离子水清洗、烘干(90 ℃杀青 30 min,65 ℃烘至恒重)。烘干样用不锈钢旋风粉碎机粉碎,密封保存,备用。

开花期各小区随机选取 3 个 30 cm 长的样段,成熟期各小区实际收获 10 行,以换算不同时期小麦生物量及成熟期籽粒产量。生物量和籽粒产量均以烘干重表示。

粉碎样采用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消解^[10],AA3 连续流动分析仪测定消解液中的氮、磷,火焰光度计测钾^[10],进而换算为植株茎叶、颖壳、籽粒的全氮、全磷、全钾含量。

1.4 干物质及养分累积与转移的计算

冬小麦开花后,进入生殖生长期,假定此期间内干物质、氮、磷养分没有损失,营养器官(茎叶、颖壳)生物产量、氮、磷素累积量减少部分均转移到了籽粒中,则营养器官干物质、氮、磷素向籽粒转移指标可通过以下公

式计算^[11-13]：

(1) 花前干物质(氮、磷)累积量(kg/hm²)=花期地上部(茎叶、穗)干物质(氮、磷)累积量；

(2) 花后干物质(氮、磷)累积量(kg/hm²)=收获期地上部(茎叶、颖壳、籽粒)干物质(氮、磷)累积量-花期地上部(茎叶、穗)干物质(氮、磷)累积量

(3) 花后干物质(氮、磷)转移量(kg/hm²)=花期地上部(茎叶、穗)干物质(氮、磷)累积量-收获期营养器官(茎叶、颖壳)干物质(氮、磷)累积量；

(4) 干物质(氮、磷)转移效率(%)=干物质(氮、磷)转移量/花期地上部(茎叶、穗)干物质(氮、磷)累积量×100

(5) 转移干物质(氮、磷)对籽粒贡献率(%)=干物质(氮、磷)转移量/籽粒干物质(氮、磷)累积量×100。

(6) 花后累积干物质(氮、磷)对籽粒贡献率(%)=花后干物质(氮、磷)累积量/籽粒干物质(氮、磷)累积量×100。

钾花后因外排而发生损失^[14-15]，因此相关参数由以下公式计算：

(1) 花前钾累积量(kg/hm²)=花期地上部(茎叶、穗)钾累积量；

(2) 钾转移量(kg/hm²)=花期地上部(茎叶、穗)钾累积量-收获期营养器官(茎叶、颖壳)钾累积量；

(3) 花后钾损失量(kg/hm²)=花期地上部(茎叶、穗)钾累积量-收获期地上部(茎叶、颖壳、籽粒)钾累积量；

(4) 籽粒钾占转移钾的比例(%)=籽粒钾累积量/钾转移量×100。

(5) 钾转移效率(%)=钾转移量/花期地上部(茎叶、穗)钾累积量

1.5 数据分析

数据分析采用 Excel 2003 程序和 DPS v7.05 统计分析软件。

2 结果分析

2.1 与豆科作物轮作对冬小麦生物量和产量的影响

对两个生长季节小麦生物量和籽粒产量(表1)分析表明：与秋豆轮作后，小麦籽粒产量高于对照。但轮作的第1年，这种趋势不显著，随着种植到第2年，与秋豆轮作后小麦产量显著提高，第2年籽粒产量较对照增加23.4%，同时，生物量也显著增加16.4%。与绿豆轮作，籽粒产量和生物量显著降低，第1年降低19.2%和20.4%，第2年降低4.4%和11.4%。与大豆轮作，籽粒产量和生物量无显著变化。

表1 与豆科作物轮作对冬小麦产量及生物量(kg/hm²)的影响

Table 1 Effect of legumes-winter wheat rotation on grain yield and biomass of winter wheat (kg/hm²)

前季作物 Preceding crop	2008—2009		2009—2010		平均 Average	
	生物量 Biomass	籽粒产量 Grain yield	生物量 Biomass	籽粒产量 Grain yield	生物量 Biomass	籽粒产量 Grain yield
休闲 Fallow	10040a	5651a	8429b	3948b	9234ab	4799b
绿豆 Mung bean	7993b	4565b	7466c	3775b	7730c	4170c
秋豆 Local bean	9611ab	5709a	9815a	4871a	9713a	5290a
大豆 Soybean	9181ab	5329ab	7892bc	3665b	8537b	4497bc

小写字母表示同列数据差异达到显著水平($P<5\%$)

2.2 与豆科作物轮作对冬小麦干物质累积与转移的影响

与大豆轮作，后茬小麦花期营养体生物量最高，较对照增加14.0%，而与其他豆科作物轮作，生物量无显著变化；但在成熟期，与大豆和绿豆轮作，小麦营养体生物量显著低于对照5.6%和17.6%，而与秋豆轮作，小麦营养体生物量显著高于对照10.3%(表2)。进一步分析得知，与秋豆轮作，显著增加了小麦花后干物质累积，比对照增加35.1%，而与大豆和绿豆轮作反而降低花后干物质累积，较对照分别减少了26.7%和17.0%；与秋豆轮作，花后干物质累积对籽粒产量的贡献率比对照提高9.4%，与大豆和绿豆轮作，分别降低21.1%和

13.2%, 与此对应, 花后干物质转移量以与大豆轮作最高, 其次是绿豆, 干物质转移贡献率分别为 15.7% 和 7.3%。与秋豆轮作花期小麦干物质不仅没有向籽粒转移, 反而花后累积的干物质中一部分用于营养器官的建成。

可见, 花前累积干物质对小麦产量有一定贡献, 但产量高低主要取决于花后干物质累积和转移。与秋豆轮作显著增加了小麦花后干物质累积及累积对籽粒产量的贡献率; 与绿豆、大豆轮作降低了花后干物质累积及累积贡献率, 花前累积的干物质转移对小麦产量形成发挥了一定作用。

表 2 2009—2010 年与豆科作物轮作对冬小麦干物质累积和转移的影响

Table 2 Effect of legumes-winter wheat rotation on dry matter accumulation and translocation of winter wheat at post-anthesis in 2009—2010

前季作物 Preceding crop	花前营养体 干物质累积 DMAPr /(kg/hm ²)	花后干物质转运与累积 Post-anthesis dry matter translocation and accumulation				成熟期干物质累积 Dry matter accumulation at maturity	
		转运量 ATDM	转运干物质 对籽粒贡献率 CTDMG/%	累积量 DMAPo	累积干物质 对籽粒贡献率 CADMG/%	营养体 In vegetative part	籽粒 In grain
		/(kg/hm ²)		/(kg/hm ²)		/(kg/hm ²)	(kg/hm ²)
休闲 Fallow	4213b	-268b	-	4215b	106.8b	4481b	3948b
绿豆 Mung bean	3969b	277a	7.3a	3497bc	92.7c	3692d	3775b
秋豆 Local bean	4120b	-824c	-	5695a	116.8a	4944a	4871a
大豆 Soybean	4804a	576a	15.7a	3089c	84.3d	4228c	3665b

花前营养体包括茎、叶和穗, 成熟期营养体包括茎、叶和颖壳; DMAPr: Dry matter accumulated pre-anthesis; ATDM: Amount of translocated dry matter; CTDMG: Contribution of translocated dry matter to grain yield; DMAPo: Dry matter accumulated post-anthesis; CADMG: Contribution of accumulated dry matter to grain yield

2.3 与豆科作物轮作对冬小麦氮素累积与转移的影响

小麦花后地上部的氮素累积、转移与干物质有相似规律(表 3), 与大豆轮作小麦花前营养体氮素累积最高, 比对照增加 20.2%, 而与其他豆科作物轮作无显著变化。但成熟期, 与大豆轮作的小麦营养体及籽粒氮素累积与对照无显著差异, 与绿豆轮作显著降低了营养体氮素累积, 低于对照 29.5%, 与秋豆轮作小麦营养体及籽粒氮素累积量则分别提高 28.6% 和 40.3%。进入生殖生长后, 花前累积在营养体的氮素开始向籽粒转移, 与大豆轮作氮转运量最高, 较对照增加 28.3%, 与绿豆、秋豆轮作氮转运量反而比对照减少, 绿豆减少最多, 为 2.8%, 秋豆降低 1.9%, 对应的氮素转运对籽粒产量形成的贡献率以大豆最高, 为 82.8%, 其次是绿豆, 为 73.0%, 秋豆最低, 为 47.4%。与氮转运不同, 花后氮素累积以与秋豆轮作最高, 比对照显著增加 128.8%, 对籽粒产量贡献也最大, 比对照提高 62.8%, 而与绿豆、大豆轮作, 花后氮素累积分别降低 24.4% 和 44.2%, 对应的累积贡献率也分别较对照降低 16.4% 和 46.7%。显然与绿豆和大豆轮作不利于花后氮累积, 而与秋豆轮作可促进花后氮累积, 进而促进籽粒产量的形成及氮的累积。

表 3 2009—2010 年与豆科作物轮作对冬小麦花后氮素累积和转运的影响

Table 3 Effect of legumes-winter wheat rotation on nitrogen accumulation and translocation of winter wheat at post-anthesis in 2009—2010

前季作物 Preceding crop	花前营养体 氮累积 NAPr /(kg/hm ²)	花后氮转运与累积 Post-anthesis nitrogen translocation and accumulation				成熟期氮累积 Nitrogen accumulation at maturity	
		转运量 ATN	转运氮对 籽粒贡献率 CTNG/%	累积量 NAPo	累积氮对 籽粒贡献率 CANG/%	营养体 In vegetative part	籽粒 In grain
		/(kg/hm ²)		/(kg/hm ²)		/(kg/hm ²)	/(kg/hm ²)
休闲 Fallow	81.6bc	57.5b	67.7a	27.4b	32.3b	24.1b	84.9b
绿豆 Mung bean	72.9c	55.9b	73.0a	20.7b	27.0b	17.0c	76.6b
秋豆 Local bean	87.4ab	56.4b	47.4b	62.7a	52.6a	31.0a	119.1a
大豆 Soybean	98.1a	73.8a	82.8a	15.3b	17.2b	24.3b	89.1b

NAPr: Nitrogen accumulated pre-anthesis; ATN: Amount of translocated nitrogen; CTNG: Contribution of translocated nitrogen to grain nitrogen; NAPo: Nitrogen accumulated post-anthesis; CANG: Contribution of accumulated nitrogen to grain nitrogen

2.4 与豆科作物轮作对冬小麦磷素累积与转运的影响

与大豆轮作,小麦花前地上部磷素累积量最高(表4),为 7.1 kg/hm^2 ,比对照显著提高 10.9% ,而与其他豆科作物轮作,磷素累积无显著变化。成熟期,与大豆轮作小麦营养体及籽粒磷素累积与对照相比无明显差异,与绿豆轮作显著降低了营养体磷素累积,低于对照 38.5% ,与秋豆轮作小麦营养体磷素累积无显著变化,却显著提高了籽粒磷素累积量,较对照增加了 34.8% 。进入生殖生长后,花前累积在营养体的磷素开始向籽粒中转移,与大豆轮作磷转运量最高,较对照显著增加 17.6% ,而与绿豆、秋豆轮作磷转运量较对照没有显著差异,与之相对应的转运磷素对籽粒产量形成的贡献率,大豆最高,为 83.3% ,其次是绿豆,为 72.2% ,秋豆最低,为 59.6% 。与转运规律不同,花后磷素累积量以秋豆轮作最高,比对照显著增加 140.0% ,对籽粒产量贡献也最大,较对照显著提高 78.0% ,而与绿豆、大豆轮作,花后磷素累积及累积贡献率和对照相比无明显变化。显然,成熟期小麦籽粒磷素累积量不仅取决于花前营养体中的磷素转运,花后磷素累积量也不容忽视。

表4 2009—2010年与豆科作物轮作对冬小麦花后磷素累积和转运的影响

Table 4 Effect of legumes-winter wheat rotation on phosphorous accumulation and translocation of winter wheat at post-anthesis in 2009—2010

前季作物 Preceding crop	花前营养 体磷累积 PAPr /(kg/hm^2)	花后磷转运与累积 Post-anthesis phosphorous translocation and accumulation				成熟期磷累积 Phosphorous accumulation at maturity	
		转运量 ATP /(kg/hm^2)	转运磷对籽 粒贡献率 CTPG/%	累积量 PAPo /(kg/hm^2)	累积磷对 籽粒贡献率 CAPG/%	营养体 In vegetative part /(kg/hm^2)	籽粒 In grain /(kg/hm^2)
休闲 Fallow	6.4b	5.1b	77.3ab	1.5b	22.7bc	1.3a	6.6b
绿豆 Mung bean	6.0b	5.2b	72.2b	2.0b	27.8b	0.8b	7.2b
秋豆 Local bean	6.5b	5.3b	59.6c	3.6a	40.4a	1.2a	8.9a
大豆 Soybean	7.1a	6.0a	83.3a	1.2b	16.7c	1.1a	7.2b

PAPr: Phosphorous accumulated pre-anthesis; ATP: Amount of translocated phosphorous; CTPG: Contribution of translocated phosphorous to grain phosphorous; PAPo: Phosphorous accumulated post-anthesis; CAPG: Contribution of accumulated phosphorous to grain phosphorous

2.5 与豆科作物轮作对冬小麦钾素累积与转运的影响

对花前、花后钾素转运和累积(表5)分析看出:与大豆轮作,小麦花期营养体钾素累积最高,比对照增加 11.9% ,其次为秋豆轮作,比对照增加了 10.0% ,而绿豆轮作反而减少了钾素累积,较对照降低了 1.5% 。成熟期,钾素累积主要集中在小麦营养体中,轮作处理的小麦营养体钾素累积均显著的高于对照,其中大豆轮作最高,较对照增加 25.0% ,其次为秋豆轮作、最后为绿豆轮作,较对照分别增加 24.6% 和 8.7% ,而籽粒中钾素累积以秋豆轮作最高,显著高于对照 17.1% ,与大豆、绿豆轮作没有明显变化。进入生殖生长后,花前累积在营养体的钾素开始向籽粒转移,与大豆轮作钾转运量最高,较对照增加 4.2% ,而与绿豆、秋豆轮作钾转运量反而降低,绿豆降低最多,为 25.7% ,秋豆降低了 25.2% 。进一步分析得出,秋豆轮作转运的钾素较多地进入了籽粒中,其籽粒钾占转运钾的比例为 81.0% ,显著的高于对照 53.1% ,而绿豆和大豆轮作较对照没有明

表5 2009—2010年与豆科作物轮作对冬小麦花后钾素累积及损失的影响

Table 5 Effect of legumes-winter wheat rotation on potassium accumulation and loss of winter wheat at post-anthesis in 2009—2010

前季作物 Preceding crop	花前营养 体钾累积 KAPr /(kg/hm^2)	花后钾转运与损失 Post-anthesis potassium translocation and loss				成熟期钾累积 Potassium accumulation at maturity	
		转运钾 ATK /(kg/hm^2)	籽粒钾占转 移钾的比例 PGKT/%	转运效率 KTE /%	损失量 KL /(kg/hm^2)	营养体 In vegetative part /(kg/hm^2)	籽粒 In grain /(kg/hm^2)
休闲 Fallow	72.1ab	21.4a	52.9b	29.7a	10.9ab	50.7c	10.5b
绿豆 Mung bean	71.0b	15.9a	66.8ab	28.8a	5.5ab	55.1b	10.4b
秋豆 Local bean	79.3ab	16.1a	81.0a	25.4a	3.8b	63.2a	12.3a
大豆 Soybean	85.7a	22.3a	52.9b	26.2a	12.6a	63.4a	9.7b

KAPr: Potassium accumulated pre-anthesis; ATK: Amount of translocated potassium; PGKT: Percentage of grain potassium to translocated potassium; KTE: Potassium translocation efficiency; KL: Amount of potassium loss

显变化。与氮磷的变化规律不一致,成熟期地上部累积钾量低于花前,说明花前累积在营养体中的钾素没有完全转运到籽粒中,而在小麦生育后期有所流失,这种现象在与大豆轮作后表现的最为明显,损失量为 12.6 kg/hm^2 ,高于休闲 15.6% 。而与秋豆轮作后,小麦后期钾的损失量较小,为 3.8 kg/hm^2 ,比休闲处理低 65.1% 。可见,花前累积在营养体中的钾素有较多的转运到籽粒中以及转运过程中较低的损失可能是小麦产量增加的重要原因。

3 讨论

在黄土高原旱地,与豆科绿肥短期轮作,对小麦产量及其生物量没有显著影响^[9],但在轮作第二年,与秋豆轮作的后茬小麦产量、生物量均显著高于对照,产量提高了 23.4% ,生物量提高了 16.4% 。

水分是限制旱地小麦产量的关键因子之一,夏季插播一季短期绿肥会增加对土壤水分的消耗^[9, 16-17],进而影响后茬小麦的产量^[9, 17]。在本试验期间,第1年(2008—2009年)夏闲期种植豆科绿肥后,0—2 m 土壤水分显著降低,其中种植绿豆、大豆和秋豆处理的土壤贮水分别为 220、223 和 228 mm,均低于休闲处理(241 mm)。第2年(2009—2010年)小麦播前土壤贮水亦降低,与豆科作物轮作的3个处理分别为 340、319 和 342 mm,而休闲处理贮水量为 348 mm。在播前土壤贮水减少的情况下,与秋豆轮作的后茬小麦第1年表现出增产趋势,第2年产量显著增加,反映出降低的播前土壤贮水并没有降低这一处理的小麦产量。说明除外界的水分条件外,小麦产量形成还与自身的干物质及养分累积与转运等有关^[18-21]。

通常认为花前累积在营养器官中的干物质与养分向籽粒的转运以及花后累积是小麦产量形成的重要基础。但本研究发现花前干物质累积难以解释不同轮作模式下后茬小麦产量的差异。分析得出,与对照相比,秋豆轮作显著提高了小麦花后的干物质累积,增加了 35.1% ,而绿豆、大豆轮作花后累积的干物质较对照有所降低,进而影响到成熟期小麦产量,显然花后干物质累积对小麦籽粒产量的形成和高低有着举足轻重的作用,对籽粒产量的贡献率可以达到 84% 以上,而且花后形成和累积的干物质越多,旱地小麦的产量越高。前人研究亦表明小麦籽粒干物质的 $70\%—90\%$ 来自花后累积的光合产物^[22],同样说明花后干物质累积对产量形成有着重要作用。营养器官氮素向籽粒的转运对小麦产量有重要作用^[23],转运氮对籽粒氮的贡献率为 $69\%—87\%$ ^[24],花前营养器官磷的再转运同样促进了小麦籽粒产量的形成^[12],转运的氮磷对籽粒氮磷累积的数量贡献大于花后累积^[11]。本研究得出相似的结论,花前累积在营养器官中的氮、磷养分是成熟期籽粒氮、磷的重要来源,但亦发现花后的氮、磷养分累积才是造成成熟期籽粒氮、磷吸收差异的重要原因。试验表明,与秋豆轮作小麦产量最高,花后氮、磷累积及其对籽粒贡献率也最高,氮、磷累积量比对照分别增加了 128.8% 和 140.0% ,对应的累积贡献率分别增加了 62.8% 和 78.0% ,而绿豆、大豆轮作与对照相比没有明显变化。可见,不同轮作模式之间的产量及氮、磷养分累积量的差异并非由花前累积的干物质和氮、磷养分向籽粒的转运造成,而在于花后干物质与氮、磷养分的累积,秋豆轮作处理,小麦生长后期,翻压的秋豆仍能释放较多的氮素^[25],可以满足小麦对氮素的需求,加快小麦生长,促使花后吸收更多的氮磷养分,促进碳水化合物合成,进而形成较高的籽粒产量。

钾素不参与结构物质的形成,在植株体内以离子的形态存在,可移动性强^[26],这就导致了生育期内小麦钾素与氮磷变化规律有一定的差异,钾的累积峰在挑旗期^[14],之后钾累积总量有下降趋势,较扬花期可下降 32.1% ^[15]。周玲^[18]在陕西杨凌的试验也发现不同冬小麦品种花后均有钾损失。本试验结果亦发现相似的特征,与花期相比,成熟期小麦地上部钾素累积总量下降,说明花后植株体内钾素由于营养器官衰老而有所损失,但不同轮作处理花后钾素损失量存在差异,其中以大豆-小麦轮作损失较多,为 12.6 kg/hm^2 ,秋豆-小麦轮作损失量最小,为 3.8 kg/hm^2 ,显然秋豆-小麦轮作可以促进小麦在花后有更多的钾素进入籽粒,这可能是秋豆-小麦轮作小麦增产的又一重要原因。

4 结论

该试验地区,夏休闲插播一季当地大豆品种——秋豆,利于后茬小麦花后干物质和氮磷养分的累积,可以减少小麦生育后期钾素的损失,对于后期小麦产量的形成有一定的促进作用。

与秋豆轮作第2年的后茬旱地小麦产量提高了23.4%,生物量提高了16.4%。不同轮作模式之间的产量差异并非由花前累积的干物质和氮磷养分向籽粒的转运造成,重要原因在于花后干物质与养分累积。秋豆-小麦轮作处理,小麦生长后期,翻压的秋豆仍能释放较多的氮素,可以满足小麦对氮素的需求,加快小麦生长,促使花后吸收更多的氮磷养分,促进碳水化合物合成,进而形成较高的籽粒产量;其次该处理小麦花前累积的钾素在花后能更多地转运到籽粒应是产量增加的另一重要原因。

References:

- [1] Zhou K F, He Y. Effects of ploughing winter crop green manure on soil fertility, and yield and quality of hybrid maize. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2003, 31 (Supplement): 42-43.
- [2] 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*, 2011, 29(2): 124-128.
- [3] Zhou C L. Effect of raising fertility and crop yield by rotation of legume. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1991, 4(1): 91-97.
- [4] 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.
- [5] Tai T Q, Hang C P, Yang S J. Effect of interplanting green manure crop in orchard for improving soil. *Guizhou Agricultural Sciences*, 1999, 27(1): 35-37.
- [6] Dalal R C, Strong W M, Weston E J, Cooper J E, Wildermuth G B, Lehane K J, King A J, Holmes C J. Sustaining productivity of a Vertisol at Warra, Queensland, with fertilisers, no-tillage, or legumes. 5. Wheat yields, nitrogen benefits and water-use efficiency of chickpea-wheat rotation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1998, 38(5): 489-501.
- [7] Ahmad T, Hafeez F Y, Mahmood T, Malik K A. Residual effect of nitrogen fixed by mungbean (*Vigna radiata*) and blackgram (*Vigna mungo*) on subsequent rice and wheat crops. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 2001, 41(2): 245-248.
- [8] Kuma K, Goh K M. Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. *European Journal of Agronomy*, 2002, 16(4): 295-308.
- [9] Li K Y, Wang Z H, Zhao H B, Zhao N, Gao Y J, Lyons G. Effect of rotation with legumes and N fertilization on yield and grain nutrient contents of wheat in dryland of the Loess Plateau. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(2): 110-116.
- [10] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2007: 265-270.
- [11] Masoni A, Ercoli L, Mariotti M, Arduini I. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. *European Journal of Agronomy*, 2007, 26(3): 179-186.
- [12] Dordas C. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations. *European Journal of Agronomy*, 2009, 30(2): 129-139.
- [13] Arduini I, Masoni A, Ercoli L, Mariotti M. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. *European Journal of Agronomy*, 2006, 25(4): 309-318.
- [14] Li Y C, Peng Z P, Xue S C, Zhen X L, Jiang M H, Gao F, Li H F. Effects of P and K on the rules of nutrient absorption, distribution and translation in winter wheat. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2006, 29(5): 1-6.
- [15] Han Y L, Jie X L, Tan J F, Guo T C, Zhu Y J, Wang C Y, Xia G J, Liu Z. Studies on absorption, distribution and translocation of N, P and K of super-high yield winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 1998, 24(6): 908-915.
- [16] Li X H, Wang Z H, Hao M D, Wang L, Li S X. Effects of cropping systems on soil water, organic N and mineral N in dryland soil on the Loess Plateau. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(9): 2686-2692.
- [17] Nielsen D C, Vigil M F. Legume green fallow effect on soil water content at wheat planting and wheat yield. *Agronomy Journal*, 2005, 97(3): 684-689.
- [18] Zhou L, Zhao H B, Wang Z H, Meng X Y, Wang J W, Chen H L, Li X H. NPK accumulation and translocation in dryland winter wheat cultivars with different yields. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(2): 318-325.
- [19] Wang H L, Wang R Y, Niu J Y, Gan Y T. Dry matter accumulation and allocation in spring wheat mulched with plastic film in Loess Plateau. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(1): 28-32.
- [20] Zhang J H, Liu J L, Zhang J B, Zhao F T, Cheng Y N, Wang W P. Effects of nitrogen application rates on translocation of dry matter and utilization of nitrogen in rice and wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(10): 1736-1742.
- [21] Han Z J, Yu Z W, Wang D, Zhang Y L. Effects of supplemental irrigation based on testing soil moisture on dry matter accumulation and

distribution and water use efficiency in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(3): 457-465.

- [22] Guo W S, Feng C N, Yan L L, Peng Y X, Zhu X K, Zong A G. Analysis on source-sink relationship after anthesis in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 1995, 21(3): 334-340.
- [23] Li S Q, Wang R J, Zhang X C, Wu W M, Shao M A. Research advancement of wheat nitrogen nutrition and nitrogen transportation in wheat grain filling. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(3): 106-111.
- [24] Tong Y A, Zhao Y, Zhao H B, Fan H Z. Effect of N rates on N uptake, transformation and the yield of winter wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(1): 64-69.
- [25] 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.
- [26] Wang F. The Dynamic Study of Potassium Accumulation and Distribution on Flue-Cured Tobacco at Different Levels of Potassium [D]. Henan: Henan Agricultural University, 2007.

参考文献:

- [1] 周开芳, 何炎. 豆科冬绿肥翻压对土壤肥力和杂交玉米产量及品质的影响. *贵州农业科学*, 2003, 31(增刊): 42-43.
- [2] 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*, 2011, 29(2): 124-128.
- [3] 周春来. 豆科作物轮作的培肥增产效果研究. *西南农业学报*, 1991, 4(1): 91-97.
- [4] 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.
- [5] 邵通桥, 杭朝平, 杨胜俊. 果园套种绿肥对果园土壤改良的效果. *贵州农业科学*, 1999, 27(1): 35-37.
- [9] 李可懿, 王朝辉, 赵护兵, 赵娜, 高亚军, Lyons G. 黄土高原旱地小麦与豆科绿肥轮作及施氮对小麦产量和籽粒养分的影响. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(2): 110-116.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2007: 265-270.
- [14] 李迎春, 彭正萍, 薛世川, 甄晓林, 姜孟辉, 高菲, 李海峰. 磷、钾对冬小麦养分吸收、分配及运转规律的影响. *河北农业大学学报*, 2006, 29(5): 1-6.
- [15] 韩燕来, 介晓磊, 谭金芳, 郭天财, 朱云集, 王晨阳, 夏国军, 刘征. 超高产冬小麦氮磷钾吸收、分配与运转规律的研究. *作物学报*, 1998, 24(6): 908-915.
- [16] 李小涵, 王朝辉, 郝明德, 王丽, 李生秀. 黄土高原旱地种植体系对土壤水分及有机氮和矿质氮的影响. *中国农业科学*, 2008, 41(9): 2686-2692.
- [18] 周玲, 赵护兵, 王朝辉, 孟晓瑜, 王建伟, 陈辉林, 李小涵. 不同产量水平旱地冬小麦品种氮磷钾养分累积与转移的差异分析. *中国生态农业学报*, 2011, 19(2): 318-325.
- [19] 王鹤龄, 王润元, 牛俊义, 甘延太. 黄土高原地膜春小麦地上干物质累积与转运规律. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 28-32.
- [20] 张均华, 刘建立, 张佳宝, 赵夫涛, 程亚南, 王伟鹏. 施氮量对稻麦干物质转运与氮肥利用的影响. *作物学报*, 2010, 36(10): 1736-1742.
- [21] 韩占江, 于振文, 王东, 张永丽. 测墒补灌对冬小麦干物质积累与分配及水分利用效率的影响. *作物学报*, 2010, 36(3): 457-465.
- [22] 郭文善, 封超年, 严六零, 彭永欣, 朱新开, 宗爱国. 小麦开花后源库关系分析. *作物学报*, 1995, 21(3): 334-340.
- [23] 李世清, 王瑞军, 张兴昌, 伍维模, 邵明安. 小麦氮素营养与籽粒灌浆期氮素转移的研究进展. *水土保持学报*, 2004, 18(3): 106-111.
- [24] 同延安, 赵营, 赵护兵, 樊红柱. 施氮量对冬小麦氮素吸收、转运及产量的影响. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(1): 64-69.
- [25] 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.
- [26] 王方. 不同钾水平下烤烟钾素积累与分配动态的研究 [D]. 河南: 河南农业大学, 2007.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.15 August ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Effects of grazing on litter decomposition in two alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet Plateau	ZHANG Yanbo, LUO Peng, SUN Geng, et al (4605)
Distribution pattern and their influencing factors of invasive alien plants in Beijing	WANG Suming, ZHANG Nan, YU Linqian, et al (4618)
Simulation of CO ₂ and H ₂ O fluxes over temperate mixed forest and sensitivity analysis of layered methods: stomatal conductance-photosynthesis-energy balance coupled model	SHI Tingting, GAO Yufang, YUAN Fenghui, et al (4630)
Analysis on the responses of flood storage capacity of Dongting Lake to the changes of landscape patterns in Dongting Lake area	LIU Na, WANG KeLin, DUAN Yafeng (4641)
Integrated water risk assessment in Daliao River estuary area	YU Ge, CHEN Jing, ZHANG Xueqing, et al (4651)
Discussion on the standardized method of reference sites selection for establishing the Benthic-Index of Biotic Integrity	QU Xiaodong, LIU Zhigang, ZHANG Yuan (4661)
Genetic diversity analysis of different age of a Dalian population of the Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> by EST-SSR	YU Zhifei, YAN Xiwu, ZHANG Yuehuan, et al (4673)
Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) purse seine catch in the western Indian Ocean	YANG Xiaoming, DAI Xiaojie, ZHU Guoping (4682)
Seasonal differences in habitat selection of the Crocodile lizard (<i>Shinisaurus crocodilurus</i>) in Luokeng Nature Reserve, Guangdong	WU Zhengjun, DAI Dongliang, NIN Jiajia, et al (4691)
Soil physical and chemical properties in forest succession process in Xinglong Mountain of Gansu	WEI Qiang, LING Lei, CHAI Chunshan, et al (4700)
Dynamics of soil organic carbon and total nitrogen contents in short-rotation triploid <i>Populus tomentosa</i> plantations	ZHAO Xuemei, SUN Xiangyang, KANG Xiangyang, et al (4714)
Grazing effects on eco-stoichiometry of plant and soil in Hulunbeir, Inner Mongolia	DING Xiaohui, GONG Li, WANG Dongbo, et al (4722)
Effect of elevated ultraviolet-B (UV-B) radiation on CH ₄ emission in herbicide resistant transgenic rice from a paddy soil	LOU Yunsheng, ZHOU Wenlin (4731)
NMR spectroscopy based metabolomic analysis of <i>Thellungiella salsuginea</i> under salt stress	WANG Xinyu, WANG Lihua, YU Ping, et al (4737)
Screening and identification of associative nitrogen fixation bacteria in rhizosphere of sugarcane in Guangxi	HU Chunjin, LIN Li, SHI Guoying, et al (4745)
Effects of different rice-crab production modes on soil labile organic carbon and enzyme activities	AN Hui, LIU Mingda, WANG Yaojing, et al (4753)
The characteristics of soil microbial communities at burned forest sites for the Great Xingan Mountains	BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (4762)
Changes of soil faunal communities during the restoration progress of <i>Abies faxoniana</i> Forests in Northwestern Sichuan	CUI Liwei, LIU Shirong, LIU Xingliang, et al (4772)
The effects of the endophytic fungus <i>Ceratobasidium stevensii</i> B6 on <i>Fusarium oxysporum</i> in a continuously cropped watermelon field	XIAO Yi, DAI Chuanchao, WANG Xingxiang, et al (4784)
Population ecology of <i>Aulacoseira granulata</i> in Xijiang River	WANG Chao, LAI Zini, LI Yuefei, et al (4793)
Evaluation of ecosystem sustainability for large-scale constructed wetlands	ZHANG Yiran, WANG Renqing, ZHANG Jian, et al (4803)
MIS3b vegetation and climate changes based on pollen and charcoal on Qianxi Plateau	ZHAO Zengyou, YUAN Daoxian, SHI Shengqiang, et al (4811)
The effects of stemflow on the formation of "Fertile Island" and "Salt Island" for <i>Haloxylon ammodendron</i> Bge	LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (4819)
Accumulation and translocation of dry matter and nutrients of wheat rotated with legumes and its relation to grain yield in a dryland area	YANG Ning, ZHAO Hubing, WANG Zhaohui, et al (4827)
Occurrence characteristics of <i>akashiwo sanguinea</i> bloom caused by land source rainwater	LIU Yihao, SONG Xiukai, JIN Yang, et al (4836)
Analysis on landscape pattern change and its driving forces of Yancheng National Natural Reserve	WANG Yanfang, SHEN Yongming (4844)
Resource potential assessment of urban roof greening and development strategies: a case study in Futian central district, Shenzhen, China	SHAO Tianran, LI Chaosu, ZENG Hui (4852)
Analysis of the dynamic coupling processes and trend of regional eco-economic system development in the Yellow River Delta	WANG Jieyong, WU Jianzhai (4861)
The diversity parameters of butterfly for ecological function divisions in Chongqing	LI Aimin, DENG Heli, MA Qi (4869)
Review and Monograph	
Responses of soil respiration to different environment factors in semi-arid and arid areas	WANG Xinyuan, LI Yulin, ZHAO Xueyong, et al (4890)
Temperature sensitivity of soil respiration: uncertainties of global warming positive or negative feedback	LUAN Junwei, LIU Shirong (4902)
The primary factors controlling methane uptake from forest soils and their responses to increased atmospheric nitrogen deposition: a review	CHENG Shulan, FANG Huajun, YU Guirui, et al (4914)
The research progresses on biological oxidation and removal of nitrogen in lakes	FAN Junnan, ZHAO Jianwei, ZHU Duanwei (4924)
Scientific Note	
Cutting effects on growth and wastewater purification of <i>Cyperus alternifolius</i> in constructed wetland	LÜ Gaiyun, HE Huaidong, YANG Danjing, et al (4932)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 15 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 15 (August, 2012)

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:100071	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@csbg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csbg.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