

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

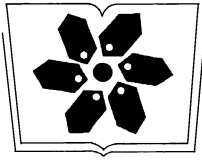
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **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 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	杨月伟,李久恩 (7913)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7925)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 40 * 2012-12



封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

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

DOI: 10.5846/stxb201111081688

杨蕊菊, 柴守玺, 马忠明. 施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响. 生态学报, 2012, 32(24): 7905-7912.

Yang R J, Chai S X, Ma Z M. Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7905-7912.

施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响

杨蕊菊^{1,4}, 柴守玺², 马忠明^{3,*}

(1. 甘肃农业大学生命科学技术学院, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学农学院, 兰州 730070;

3. 甘肃省农业科学院, 兰州 730070; 4. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070)

摘要:通过田间试验研究了河西绿洲灌区典型的小麦/玉米间作群体不同施氮量(0、210、420 和 630 kg/hm²)对小麦、玉米带田土壤水分和硝态氮(NO₃⁻-N)的动态的影响。结果表明:小麦/玉米总籽粒产量随着施氮量的增加而增加,但当施氮量超过 420 kg/hm² 时,总籽粒产量不再随施氮量增加而增加,最高总籽粒产量可达 13661—14668 kg/hm²。水分利用效率在施氮 420 kg/hm² 时最高可达 21.25 kg·hm⁻²·mm⁻¹。小麦收获后,0—120 cm 土层内土壤含水量随施氮量增加而减少,NO₃⁻-N 的累积量随施氮量增加而增加,并且表层土壤(0—60 cm) NO₃⁻-N 含量明显高于深层土壤(60—200 cm)。在小麦/玉米整个生育期,土壤硝态氮的变化呈双峰曲线。施氮 0 和 210 kg/hm² 的土壤硝态氮第一峰值和第二峰值均分别出现在小麦三叶期和玉米大喇叭口期;施氮 420 和 630 kg/hm² 的土壤硝态氮第一峰值出现在小麦挑旗期,第二峰值分别出现在玉米大喇叭口期和玉米灌浆期。因此,在该地区小麦/玉米间作栽培模式下,施氮水平控制在 420 kg/hm² 时,使混合产量达到最高,同时可减轻土壤硝态氮的累积和运移,从而达到高效、安全的目的。

关键词:产量;水分利用效率;硝态氮

Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply

YANG Ruiju^{1,4}, CHAI Shouxi², MA Zhongming^{3,*}

1 College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2 College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

3 Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China

4 Soil Fertilizer and Water-saving Agricultural Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China

Abstract: The purpose of the study was to analyze the dynamic impacts of vary amount of N-fertilization (0, 210, 420 and 630 kg/hm²) on the soil water content and NO₃⁻-N content from the field of wheat-corn intercrop field. The data showed that the total kernel yield of intercropping wheat and maize increased with the increase of nitrogen supply, it could reach as high as 13661—14668 kg/hm² when 420 kg/hm² of N-fertilizer applied. When the nitrogen supply is 420 kg/hm², the water use efficiency of the field can reach 21.25 kg·hm⁻²·mm⁻¹. After wheat was harvested, the soil water content in the layer of 0—120 cm depth decreased with the increased amount of nitrogen supply, while the content of nitrate nitrogen increased with the increased amount of nitrogen supply. Moreover, the soil nitrate nitrogen content of the topsoil (0—60 cm) was significantly higher than that of the soil layer at the depth of 60—200 cm. The dynamic changes of soil nitrate content during the whole growth season of intercropped wheat and maize could be summarized into a double-peaked curve. When the 0 and 210 kg/hm² nitrogen supply were applied, the first and second peaks appeared at the wheat trefoil stage and

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD25B09);公益性行业(农业)科研专项(200903007-07)

收稿日期:2011-11-08; 修订日期:2012-09-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mazhming@163.com

the maize large bell stage, respectively. However, the first peak appeared at the wheat flagging stage when 420 and 630 kg/hm² nitrogen supply applied; and the second peak appeared at the maize large bell stage and the grain-filling stage when 420 and 630 kg/hm² nitrogen supply applied, respectively. Therefore, the results suggested that the high-yield nitrogen supply was 420 kg/hm² for the wheat and maize intercropping cultivation mode, With this amount of nitrogen supply, the accumulation and transformation of the soil nitrate nitrogen could be reduced, and therefore fulfill the purpose of the efficiency and environmental safety.

Key Words: yield; water use efficiency; nitrate nitrogen

水分和氮素调控是作物高产管理的重要组成部分。水、氮协调是提高作物水分和氮肥利用效率、节约肥水资源和减轻环境污染的重要环节;氮素供应不足产量降低,增施氮肥可以显著促进作物生长,提高作物产量;但是过量施用氮肥,氮素利用率下降,造成巨大的资源浪费和经济损失,同时也对环境造成不良的影响^[1-5],主要表现在硝酸盐淋失造成地下水硝酸盐的污染。土壤中硝酸盐的移动及淋溶受许多因子影响,如氮肥用量、肥料类型、施肥时期和方法、耕作方式、灌水量等^[6-8],其中施氮量是影响硝态氮含量的重要因子,且施氮量容易调控。氮肥是粮食增产的主要肥力因素,对粮食产量增加的贡献率达 40% 左右^[9-10]。我国是人口大国,粮食安全一直受到关注。合理施用氮肥,确保粮食安全,实现作物高产稳产,兼顾环境效益是研究的主要课题。

间作套种是我国农业生产中一种普遍的高产种植模式,它能充分利用地力、光能、热能资源,是作物增产的重要措施。小麦/玉米带田高产种植模式在我国西北一熟制灌区粮食增产中起了重要的贡献作用^[11]。由于一味的追求高产,生产中主要表现为过量施肥^[12]、过量灌水,而河西绿洲灌区水资源十分匮乏,氮肥无限度的施入农田对生态环境造成的危害不可估量。鉴于此,本文以河西绿洲灌区典型的小麦/玉米带田种植模式为主,研究在适量灌水情况下不同施氮量对小麦/玉米间作体系下的水、氮相互运移关系,从而揭示土壤水分和硝态氮含量在时间及空间的变化规律,以期对河西绿洲灌区小麦/玉米带田高产高效安全栽培措施提供理论依据和技术支撑。

1.1 试验地概况

试验于 2007 年 3 月—2008 年 11 月在甘肃省农业科学院张掖节水试验站进行。该试验站位于甘肃省河西走廊中部,东经 100°26′,北纬 38°56′,海拔 1570 m,年均日照时数 3085 h,年蒸发量 2075 mm,多年平均降水量 127 mm,干旱指数达 10.3,属于典型的无灌溉即无农业的干旱绿洲灌区。

供试土壤为灌漠土,0—20 cm 基础土样土壤有机质含量为 18.1 g/kg,全氮为 1.40 g/kg,硝态氮为 10.6 mg/kg,速效磷 22.0 mg/kg,速效钾 125.6 mg/kg, 0—200 cm 平均土壤容重为 1.38 g/cm³,田间最大体积含水量为 31.68%。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,设 4 个氮肥处理,施氮水平分别为不施氮(N₀)、低氮(N₁)210 kg/hm²、中氮(N₂)420 kg/hm²、高氮(N₃)630 kg/hm²,其中氮肥用量的 40% 于小麦播前一次性施入,小麦整个生育期不再追肥,玉米结合灌水在大喇叭口期和灌浆期各追肥 30%。磷肥(P₂O₅) 用量为 180 kg/hm²,全部做底肥播种时一次性施入。氮肥为尿素(含 N46%),磷肥为过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)。3 次重复,小区面积为 4.5 m×8 m。灌水量统一为 555 mm,分别在小麦三叶期、小麦挑旗期、小麦灌浆期、小麦收获后和玉米灌浆期灌水,每次灌水占总灌溉定额的 20%,灌溉方式为畦灌,采用水表量水灌溉。种植方式为小麦/玉米带田(图 1),带宽 1.5 m,其中小麦带 72 cm,行距 12 cm,玉米带 78 cm,株距 30 cm,带向东西,每小区设 3 个带幅,玉米带覆膜种植。相邻小区之间打 50 cm 宽地埂。供试小麦品种为宁春 4 号,于 3 月 22 日播种,7 月 25 日收获,基本苗为 900 万苗/hm²。玉米品种为沈单 16,4 月 18 日播种,9 月 26 日收获,密度为 6 万株/hm²。小麦/玉米共生期达 85 d,玉

米独立生长期 65 d。小麦/玉米带田生育期内降雨量(表 1)。

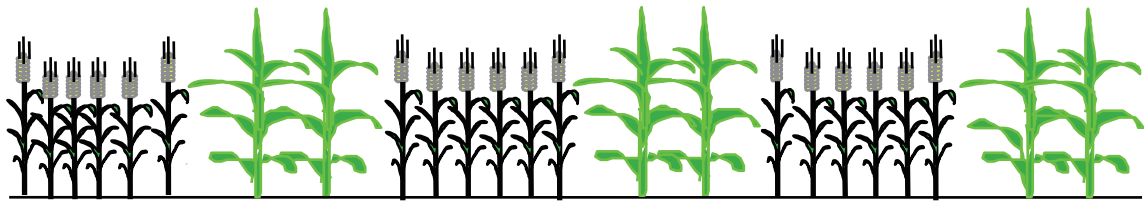


图 1 小麦/玉米带田示意图

Fig. 1 Wheat and maize intercropping field schematic diagram

表 1 2007—2008 年小麦/玉米带田生育期内月降雨量/mm

Table 1 Monthly precipitation during wheat and maize intercropping growing stage from 2007 to 2008

时间 Time	3 月 March	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September
2007	0	20.8	19.4	34.2	45.4	0	15
2008	0	0	0	0	33.9	0	50.6

1.3 土壤样品采集及测定

1.3.1 样品采集

土样于春小麦播种前(3 月 19 日),小麦三叶期灌水前(4 月 27 日),小麦挑旗期灌水前(5 月 30 日)、小麦灌浆期灌水前(6 月 29 日)、玉米大喇叭口期灌水前(7 月 23 日)、玉米灌浆期灌水前(8 月 23 日)及玉米收获后(9 月 28 日),在每一小区小麦带和玉米带上 5 点取样,用土钻自 0—200 cm 土层分层取土,20 cm 为一层混合均匀分成两份,一份立即装入铝盒用于测定土壤含水量,另一份放入-4 ℃冰箱中保存鲜样,用于测定土壤硝态氮含量。并进行田间观察记载,收获后小麦带和玉米带分别进行常规考种,测定株高、穗粒数、穗粒重、千粒重等指标,小区全部收获计产。

1.3.2 测定项目与方法

土壤 NO₃-N 含量的测定:采用紫外分光光度法,将土壤鲜样解冻,过 2 mm 土壤筛后,准确称取 20 g 用 100 mL NaCl(1 mol/L)溶液浸提,振荡 30 min,浸出液经酸化,在 1806 型紫外分光光度计的 220 nm 和 275 nm 波长处比色计算求值^[13]。

土壤水分的测定:采用烘干法,称取约 50 g 新鲜土壤样品放入铝盒,在 105 ℃烘干至恒重,用重量含水量法计算土壤含水量。

1.4 数据处理与分析

采用 excel 及 spss13.0 来进行数据处理统计分析。

土壤硝态氮积累量(mg/hm²)= 土层厚度(cm)×土壤容重(g/cm³)×土壤硝态氮含量(mg/kg)/10^[14]

耗水量计算 用水分平衡法计算作物生育期间耗水量^[15]。

带田生育期耗水量(mm)= 播前土壤储水量(mm)+生育期间自然降水量(mm)+灌水量(mm)-收获期土壤储水量(mm)。于播种前和收获后测定土壤含水量,根据公式 $W = rh/10$ 计算土壤储水量,其中 W 为不同深度土壤贮水量(mm),r 为土壤含水量(%),v 为土壤容重(g/cm³),h 为土层深度(cm)。

水分利用效率计算 $WUE = Y/ET$,式中 WUE 为产量水分利用效率(kg·hm⁻²·mm⁻¹);Y 为籽粒产量(kg/hm²);ET 为带田生育期耗水量(mm)。

2 结果分析

2.1 施氮量对小麦/玉米带田产量及水分利用效率的影响

施用氮肥是农业生产中重要的增产措施,试验表明(表 1),2007 年间作小麦的产量显著地高于 2008 年,而间作玉米的产量 2008 年却显著的高于 2007 年,主要原因是由于不同年际间生育期内降雨量分配不均而导

致两种作物对水分资源的竞争利用不同所致。不同处理之间随施氮量的增加产量显著增加,但同等肥力水平下带田混合产量两年的数据基本趋于一致,表现为随施氮量的增加在 0—630 kg/hm² 范围内小麦/玉米带田混合产量呈先增加后减少趋势,混合产量均在中氮水平时产量最高,可达 13660.5—14667.8 kg/hm²。即小麦/玉米间作体系产量随氮肥水平的增加呈动态平衡,间作体系共生阶段,资源竞争激烈,两种作物产量差异较大,即氮肥用量过高或高低均不利于小麦/玉米带田复合群体生长。

水分利用效率(WUE)是研究作物产量、蒸腾耗水和地表蒸发之间相互消长关系,具体表现为作物耗单位水量生产出的经济产量。由表 1 可知,同一灌水水平下,不同氮肥处理间 WUE 差异显著 ($P<0.05$)。WUE 两年均表现为 $N_2>N_3>N_1>N_0$,处理 N_2 较其它处理 WUE 平均提高 16.61% (N_3)、48.41% (N_1)、223.31% (N_0)。相对于不施肥(N_0)处理,氮肥每增加 210 kg/hm²,WUE2007 年依次增加 4.21、10.53、7.44 kg·hm⁻²·mm⁻¹;2008 年增加 10.31、17.18、14.54 kg·hm⁻²·mm⁻¹。

表 2 氮肥水平对小麦/玉米带田产量及水分利用的效率

Table 2 The yield and water use efficiency in wheat and maize intercropping of different nitrogen levels

处理 Treatment	小麦产量/(kg/hm ²) Wheat yield	玉米产量/(kg/hm ²) Maize yield	混合产量/(kg/hm ²) Total yield	耗水量/mm Water consumption	WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
2007 年					
N_0	3812b	1985d	5796d	691.6b	8.38d
N_1	5090a	4310c	9399c	746.5ab	12.59c
N_2	5412a	8249a	13661a	722.6ab	18.91a
N_3	4911ab	7113b	12024b	760.2a	15.82b
2008 年					
N_0	1206c	1476d	2682d	659.1ab	4.07d
N_1	2458ab	7556c	10013c	696.6a	14.38c
N_2	2759a	11953a	14668a	690.2a	21.25a
N_3	1928b	10353b	12281b	659.8ab	18.61b

表中数字后不同小写字母间表示差异显著。

2.2 施氮量对小麦/玉米带田土壤水分动态变化的影响

如图 2 所示^[16],小麦/玉米间作体系中,不同生育期小麦行和玉米行的土壤含水量差异较大,小麦行主要表现在小麦孕穗期(5 月 26 日)0—80 cm 土壤含水量随氮肥水平的增加呈显著减少趋势,整个土层垂直分布均呈先减少而后略有增大的趋势,而到 100 cm 土层深时土壤含水量趋于相等,即孕穗期间作小麦水分竞争主要分布在 0—80 cm。间作玉米行土壤含水量主要表现在小麦收获期(7 月 23 日)以后不同层次间土壤含水量差异显著,氮肥每增加 210 kg/hm²,0—80 cm 玉米行平均土壤含水量依次为,18.1%、15.1%、13.5%、11.2%,垂直方向随氮肥水平的增加 0—80 cm 土壤含水量急剧下降。玉米灌浆期(8 月 25 日)不同氮肥处理间小麦行和玉米行的土壤含水量差异显著,施肥处理的土壤含水量显著低于不施肥处理。小麦行和玉米行土壤含水量的平均值呈 $N_0>N_1>N_2>N_3$ 的趋势。小麦收获后玉米处于竞争恢复阶段,随肥力水平的增加阶段耗水量依次增大,在 120 cm 土层内氮肥处理从 N_0 — N_3 ,土壤耗水量依次为 121.7、127.5、132.8、140.9 mm。

2.3 施氮量对小麦/玉米带田土壤硝态氮运移的影响

土壤中硝酸盐的移动以及潜在淋洗受众多因子的影响,然而氮肥用量是影响土壤硝态氮含量累积和向深层移动的最直接因子。如图 3 所示,在小麦/玉米整个生育期结束后小麦行和玉米行在 0—200 cm 的土层中硝态氮含量随施氮量的增加,垂直分布上低氮肥处理(N_0 、 N_1)表现为随土壤层次的加深硝态氮含量逐渐减少,0—80 cm 硝态氮减少速率高于 80 cm 以下的减少速率。而处理 N_2 、处理 N_3 在 0—100 cm 硝态氮累积量呈减少趋势,100 cm 以下随施氮量的增加,处理 N_3 硝态氮含量呈先增大后减少趋势,整体表现为显著的高于处理 N_2 。小麦成熟期高氮肥处理在 0—200 cm 土壤剖面硝态氮含量呈双峰曲线,且峰值出现在 80 cm 处和 140 cm 处。玉米成熟期高氮肥处理在 0—200 cm 土壤剖面中硝态氮的含量在 60 cm、120 cm 和 160 cm 处分

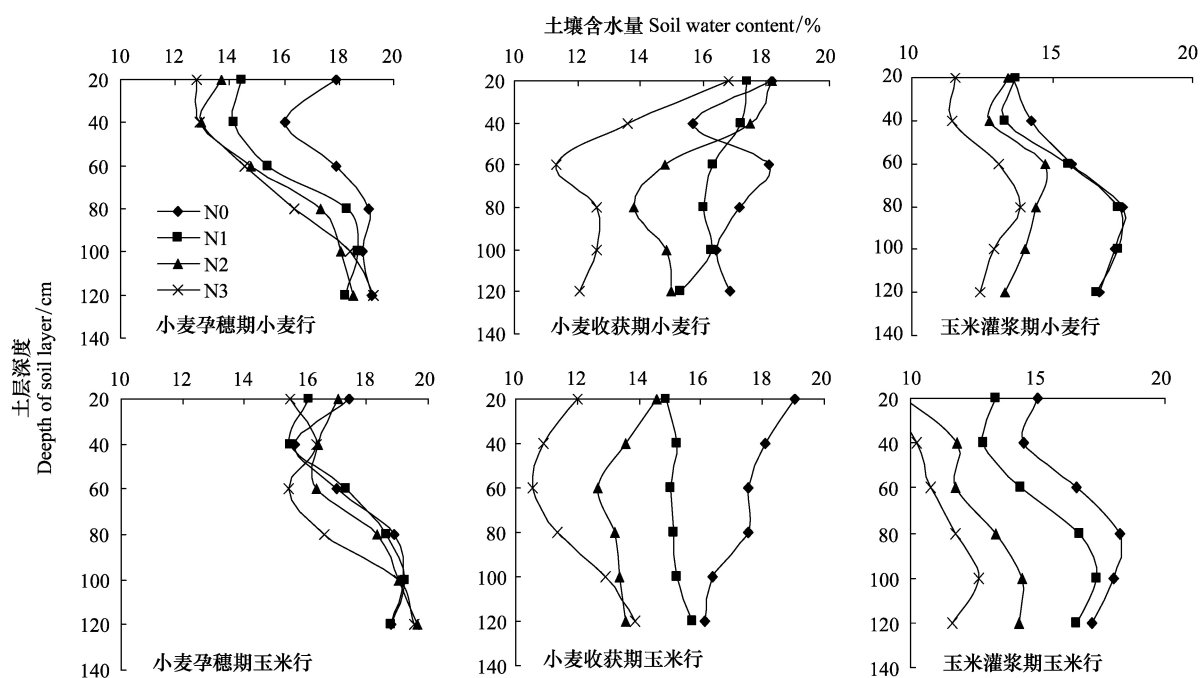
图2 小麦/玉米带田生育期土壤含水量的变化^[6]

Fig.2 Changes of soil water content in wheat and maize intercropping during the period of duration

别出现了3次峰值。即随着间作体系生育期的推进结合灌水施肥,硝态氮向下运移速度加快。

不同年份间随施氮量的增加硝态氮向下运移加快,2007年随施氮水平的增加在0—80 cm土层中处理 N_3 硝态氮的累积量显著的高于其他处理,2008年随施氮量的增加硝态氮向下运移的速度加快,在80—200 cm土层里同一层次硝态氮含量表现为 $N_3 > N_2 > N_1 > N_0$,即在小麦/玉米间作体系中当施氮量高于 420 kg/hm^2 时,土壤硝态氮残留量主要堆积在160 cm土层中,这些硝态氮极易受灌水的影响污染地下水源。

2.4 施氮量对小麦/玉米带田生育期内土壤硝态氮的影响

土壤硝态氮含量受水肥因素的共同作用,在整个生育期内均处于动态变化过程中(图4)。总体表现为不同生育期内硝态氮累积量呈 $N_3 > N_2 > N_1 > N_0$ 的趋势。垂直方向表现为随土壤层次的加深硝态氮累积量呈减少趋势,0—60 cm土层内硝态氮累积量明显高于60—120 cm和120—200 cm内的累积量。 N_0 处理0—60 cm土层不同生育期硝态氮累积量占200 cm土层累积量的18.8%—26.3%, N_1 处理0—60 cm土层不同生育期硝态氮累积量占200 cm土层累积量的34.1%—66.5%, N_2 处理0—60 cm土层不同生育期硝态氮累积量占200 cm土层累积量的27.1%—58.3%, N_3 处理0—60 cm土层不同生育期硝态氮累积量占200 cm土层累积量的36.1%—63.8%。不同施氮水平下不同土壤深度层次内硝态氮累积量在作物生育期内均呈双峰曲线,且0—60 cm硝态氮的累积量第一个峰值显著高于其他层次,且随施氮量的不同作物生育期内硝态氮峰值出现的时间不同。低氮处理(N_0, N_1)生育期内土壤硝态氮的峰值均为小麦三叶期(4月27日)和玉米大喇叭口期(7月23日);中氮和高氮处理(N_2, N_3)土壤硝态氮的第一个峰值均为小麦挑旗期(5月30日),第二个峰值受施氮量的影响出现的时间不同, N_2 处理硝态氮累积量的第二个峰值出现在玉米大喇叭口期(7月23日),而 N_3 处理的第二次峰值则后移至玉米灌浆期(8月25日)。

3 讨论与结论

本研究结果表明,在河西绿洲灌区灌水量为 $5555 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的条件下,适量增加氮肥,可以提高水分利用效率和小麦玉米带田混合产量,当施氮量达到 420 kg/hm^2 时,小麦/玉米带田的混合产量达到最高值 14667.8 kg/hm^2 ,水分利用效率相应达到最大值,均值高达 $19.68 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,本研究与前人研究的随着施氮量的增加,作物产量增加,但当施氮量达一定值,作物产量增加不显著^[17-18],甚至出现产量降低的结论相似。其主要

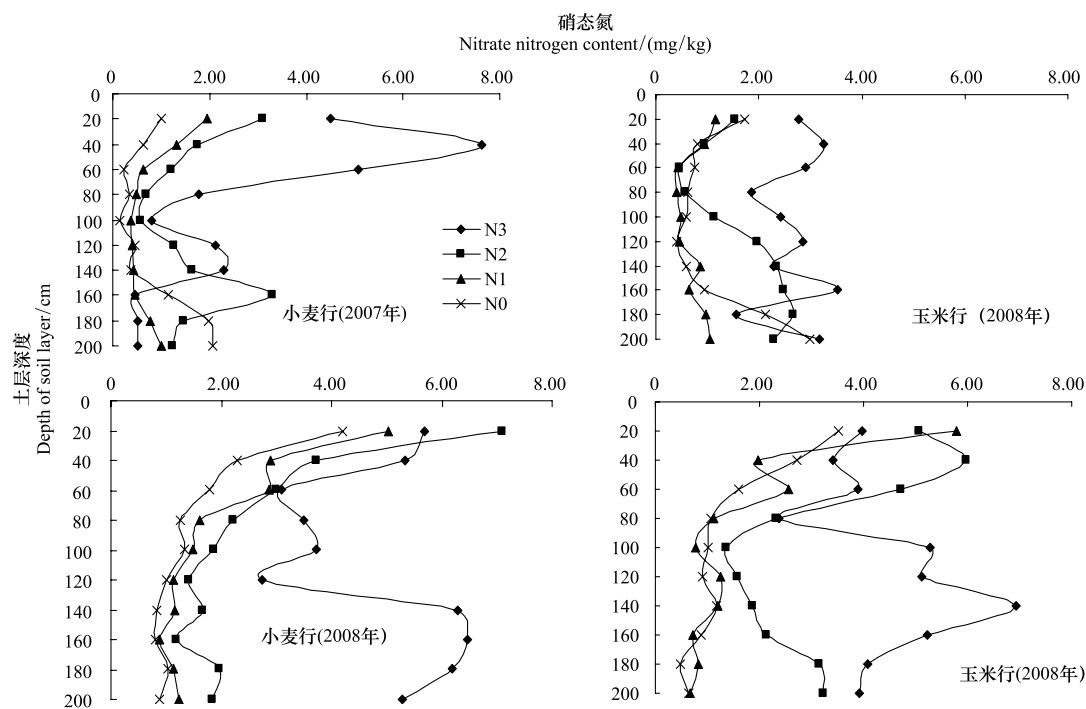


图3 玉米收获期不同施氮量对硝态氮含量的时空动态变化影响

Fig. 3 Effect of different nitrogen fertilization application on the spatial and temporal distribution of soil nitrate-N during the maize harvest

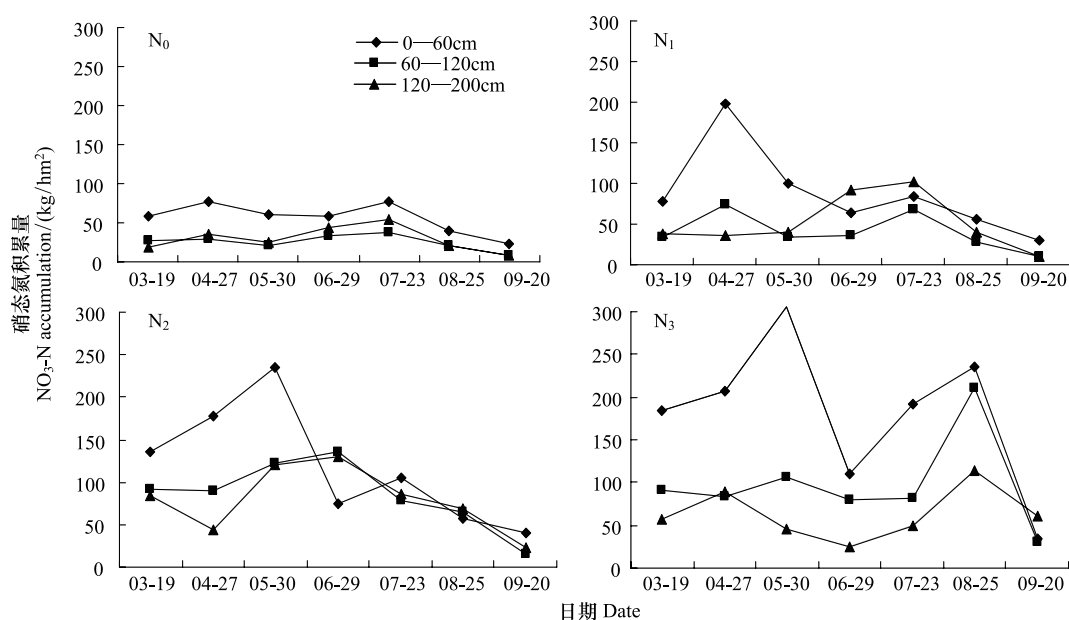


图4 施氮水平对小麦/玉米带田生育期内土壤硝态氮积累的影响(2008年)

Fig. 4 Effect of different nitrogen fertilizer levels on soil $\text{NO}_3\text{-N}$ accumulation in the field of wheat and maize intercropping during growth period

原因为可能是氮肥用量过低或过高均不利用小麦/玉米带田群体的生长,不利于水分利用效率的提高,适宜施氮量水分利用效率最高,氮肥利用最充分。通过增加灌水和增施氮肥能否大幅度提高产量有待于进一步研究。

不同施氮水平对小麦/玉米带田土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积量的影响主要表现在不同生育期土壤含水量差异上,本研究结果表明,在灌水量一定的条件下,小麦/玉米带田不同生育期内土壤含水量差异较大,小麦孕穗期

小麦行水分主要表现在 0—80 cm 竞争激烈。小麦收获后玉米进入生殖生长阶段,对水肥需求敏感。玉米行土壤含水量显著的表现 $N_0 > N_1 > N_2 > N_3$ 的趋势,阶段耗水量随氮肥的增加呈增长趋势,水肥之间呈显著的以肥调水关系。随施氮量的增加 0—60 cm 土层硝态氮的含量显著增加,尤其是玉米收获以后土壤中仍残留大量的 NO_3^- -N,但此时土壤含水量较小,当年向下淋溶的可能较小,若增大灌水量或遇强降雨则有可能向土壤深层淋溶。小麦/玉米带田不同生育期内土壤硝态氮的变化呈双峰曲线,但施氮量对硝态氮的峰值出现影响较大。低氮处理(N_0, N_1)生育期内土壤硝态氮的峰值分别出现在小麦三叶期和玉米大喇叭口期,中氮和高氮肥水平(N_2, N_3)则硝态氮的第一个峰值均出现在小麦挑旗期,第二个峰值中肥处理(N_2)出现在玉米大喇叭口期,高肥处理(N_3)出现在玉米灌浆期。

前人有关土壤剖面 NO_3^- -N 累积量与施氮量和土壤含水量影响研究结果不尽一致,有研究表明,随氮肥用量的增加,土壤剖面 NO_3^- -N 累积深度增加, NO_3^- -N 淋失量显著增大^[19-21]。也有研究认为,土壤剖面中残留的 NO_3^- -N 含量随施氮量的增加显著增加,但氮肥用量对 NO_3^- -N 在土体中的移动深度没有影响^[22]。就本试验结果来看,在灌水量一定的条件下,土壤剖面 NO_3^- -N 累积量与施氮量和土壤含水量都有一定的关系,土壤剖面 NO_3^- -N 累积量随着氮肥用量的提高明显增加,在 0—200 cm 的土层中, NO_3^- -N 的累积量表现为 $N_3 > N_2 > N_1 > N_0$,不同年际间施氮量越高 NO_3^- -N 向深层淋溶的程度越大,氮肥低于 420 kg/hm^2 时硝态氮主要分布在 0—80 cm 土层内。垂直方向 NO_3^- -N 的累积量主要表现为 0—60 cm 土层内 NO_3^- -N 累积量明显高于 60—120 cm 和 120—200 cm。

References:

- [1] Jia J Y, Wu J J, Zhang M. Structure of fertilizers on nitrogen leaching losses in red soil and its control measures. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2005, (1): 56-58.
- [2] Song Y F, Ren L P, Xu H X. Experiment on the law of upland nutrient leaching by fertilizing at different doses. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(6): 20-24.
- [3] Wang H, Yang J P, Jin J, Sun J H. N variation in rice-soil-water system under different N application level in high-yielding paddy field and its environment effect. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1): 50-54.
- [4] Edwards A C, Withers P J A. Soil phosphorus management and water quality: a UK perspective. *Soil Use and Management*, 1998, 14(S4): 124-130.
- [5] Spalding R F, Walts D G, Schepers J S, Burbach M E, Exner M E, Poreda R J, Martin G E. Controlling nitrate leaching in irrigated agriculture. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(4): 1184-1194.
- [6] Cheng D J, Fei L J, Lei Y B, Yin J. Study on the rule of nitric nitrogen movement and distribution under film hole irrigation with fertilizer. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(1): 237-240.
- [7] Wei Y C, Li X P, Liu G, Zhu H J. Effect of nitric nitrogen on different greenhouse soil in Yangling Area. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(2): 174-190.
- [8] Ye Y L, Li L, Sun J H. Effect of intercropping three legume crops with maize on soil nitrate-N accumulation and distribution in the soil profile. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(4): 818-823.
- [9] Pan J R, Ju X T, Liu X J, Chen X P, Zhang F S, Mao D R. Fate of fertilizer nitrogen for winter wheat/summer maize rotation in north China plain under optimization of irrigation and fertilization. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2009, 23(2): 334-340.
- [10] Fan T L, Zhou G Y, Wang Y, Ding N P, Gao Y F, Wang S Y. Long-term fertilization on yield increase of winter wheat-maize rotation system in Loess Plateau dryland of Gansu. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2004, 10(2): 127-131.
- [11] Yang R J. Studies on optimize effects of plant patterns in wheat/maize. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2005, 14(6): 44-49.
- [12] Li L, Zhang L H, Jin S L, Sun N K, Ma Y T, Suo D R, Wu G Q. Residual effects and recovery rate of N fertilizer in wheat/maize strip intercropping. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-Occidentalis*, 1996, 24(5): 61-67.
- [13] Huang Y F, Ye Y L, Yang S Q. Feasibility of NO_3^- -N determination by dual wavelength spectrophotometric method. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(2): 43-45.
- [14] Zheng W, He P, Gao Q, Sha Z M, Jin J Y. Effect of N application on nitrogen absorption and utilization of spring maize under different soil fertilities. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(2): 301-309.

- [15] Zhang S X, Jin K, Cai D X, Wang D S, Yao Y Q. Effect of different level of N and P on the yield of winter wheat under water stress. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(3): 276-279.
- [16] Yang R J, Chai S X, Ma Z M, Che Z X, Bao X G, Zhang J D. water and fertilizer coupling on soil water dynamics and yield in intercropped wheat and maize. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*. 2011, 25(5):1004-1009.
- [17] Tang Q Y, Zou Y B, Mi X C, Wang H L, Zhou M L. Grain yield construction and N fertilizer efficiency of super hybrid rice under different N applications. *Hybrid Rice*, 2003, 18(1): 44-48.
- [18] Ju X T, Liu X J, Pan J R, Zhang F S. Fate of ^{15}N -labeled urea under a winter wheat-summer maize rotation on the north China plain. *Pedosphere*, 2007, 17(1): 52-61.
- [19] Malhi S S, Harapiak J T, Nyborg M, Gregorich E G, Monreal C M. Light fraction organic N, ammonium, nitrate and total N in a thin black chernozem soil under bromegrass after 27 annual applications of different N rates. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, 65(3): 201-210.
- [20] Guo S L, Wu J S, Hao M D, Dang T H. Effect of long-term fertilization on $\text{NO}_3\text{-N}$ accumulation and moisture distribution in soil profiles. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 75-78.
- [21] Zhao J Y, Yu Z W. Effects of nitrogen rate on nitrogen fertilizer use of winter wheat and content of soil nitrate-N under different fertility condition. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 815-822.
- [22] Zhang S L, Tong Y A, Liang D L, Lu D Q, Emteryd O. Nitrate-N movement in the soil profile as influenced by rate and timing of nitrogen application. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2): 270-276.

参考文献:

- [1] 贾继元, 吴建军, 张苗. 肥料结构对红壤氮素淋失的影响及防治措施. *农机化研究*, 2005, (1): 56-58.
- [2] 宋玉芳, 任丽萍, 许华夏. 不同施肥条件下旱田养分淋溶规律实验研究. *生态学杂志*, 2001, 20(6): 20-24.
- [3] 汪华, 杨京平, 金洁, 孙军华. 不同氮素用量对高肥力稻田水稻-土壤-水体氮素变化及环境影响分析. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 50-54.
- [6] 程东娟, 费良军, 雷雁斌, 尹娟. 膜孔灌溉条件下硝态氮迁移分布规律研究. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(1): 237-240.
- [7] 魏迎春, 李新平, 刘刚, 朱辉娟. 杨凌地区大棚土壤硝态氮累积效应研究. *水土保持学报*, 2008, 22(2): 174-190.
- [8] 叶优良, 李隆, 孙建好. 3 种豆科作物与玉米间作对土壤硝态氮累积和分布的影响. *中国生态农业学报*, 2008, 16(4): 818-823.
- [9] 潘家荣, 巨晓棠, 刘学军, 陈新平, 张福锁, 毛达如. 水氮优化条件下在华北平原冬小麦/夏玉米轮作中化肥氮的去向. *核农学报*, 2009, 23(2): 334-340.
- [10] 樊廷录, 周广业, 王勇, 丁宁平, 高育锋, 王淑英. 甘肃省黄土高原旱地冬小麦-玉米轮作制长期定位施肥的增产效果. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(2): 127-131.
- [11] 杨蕊菊. 小麦/玉米带田种植模式优化效应研究. *西北农业学报*, 2005, 14(6): 44-49.
- [12] 李隆, 张丽慧, 金绍龄, 孙宁科, 马永泰, 索东让, 吴国菁. 小麦/玉米带田不同用量氮肥残效及回收率. *西北农业大学学报*, 1996, 24(5): 61-67.
- [13] 黄玉芳, 叶优良, 杨素勤. 双波长分光光度法测定土壤硝态氮的可行性研究. *中国农学通报*, 2009, 25(2): 43-45.
- [14] 郑伟, 何萍, 高强, 沙之敏, 金继运. 施氮对不同土地肥力玉米氮素吸收和利用的影响. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(2): 301-309.
- [15] 张淑香, 金轲, 蔡典雄, 汪德水, 姚宇卿. 水分胁迫条件下不同氮磷组合对小麦产量的影响. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(3): 276-279.
- [16] 杨蕊菊, 柴守玺, 马忠明, 车宗贤, 包兴国, 张久东. 水肥耦合对小麦玉米带田产量效应及土壤水分动态研究. *核农学报*, 2011, 25(5): 1004-1009.
- [17] 唐启源, 邹应斌, 米湘成, 汪汉林, 周美兰. 不同施氮条件下超级杂交稻的产量形成特点与氮肥利用. *杂交水稻*, 2003, 18(1): 44-48.
- [20] 郭胜利, 吴金水, 郝明德, 党廷辉. 长期施肥对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 深层积累和土壤剖面中水分分布的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 75-78.
- [21] 赵俊晔, 于振文. 不同土壤肥力条件下施氮量对小麦氮肥利用和土壤硝态氮含量的影响. *生态学报*, 2006, 26(3): 815-822.
- [22] 张树兰, 同延安, 梁东丽, 吕殿青, Emteryd O. 氮肥用量及施用时间对土体中硝态氮移动的影响. *土壤学报*, 2004, 41(2): 270-276.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)
Effects of elevated CO ₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi	 ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007	 XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model	 FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau	 LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing	 ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China	 SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis	 SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns	 YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province	 LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species	 LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	 YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrididae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data	 SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings	 LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert	 LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna	 DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China	 PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
Review and Monograph	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,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

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 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 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: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 70.00 元