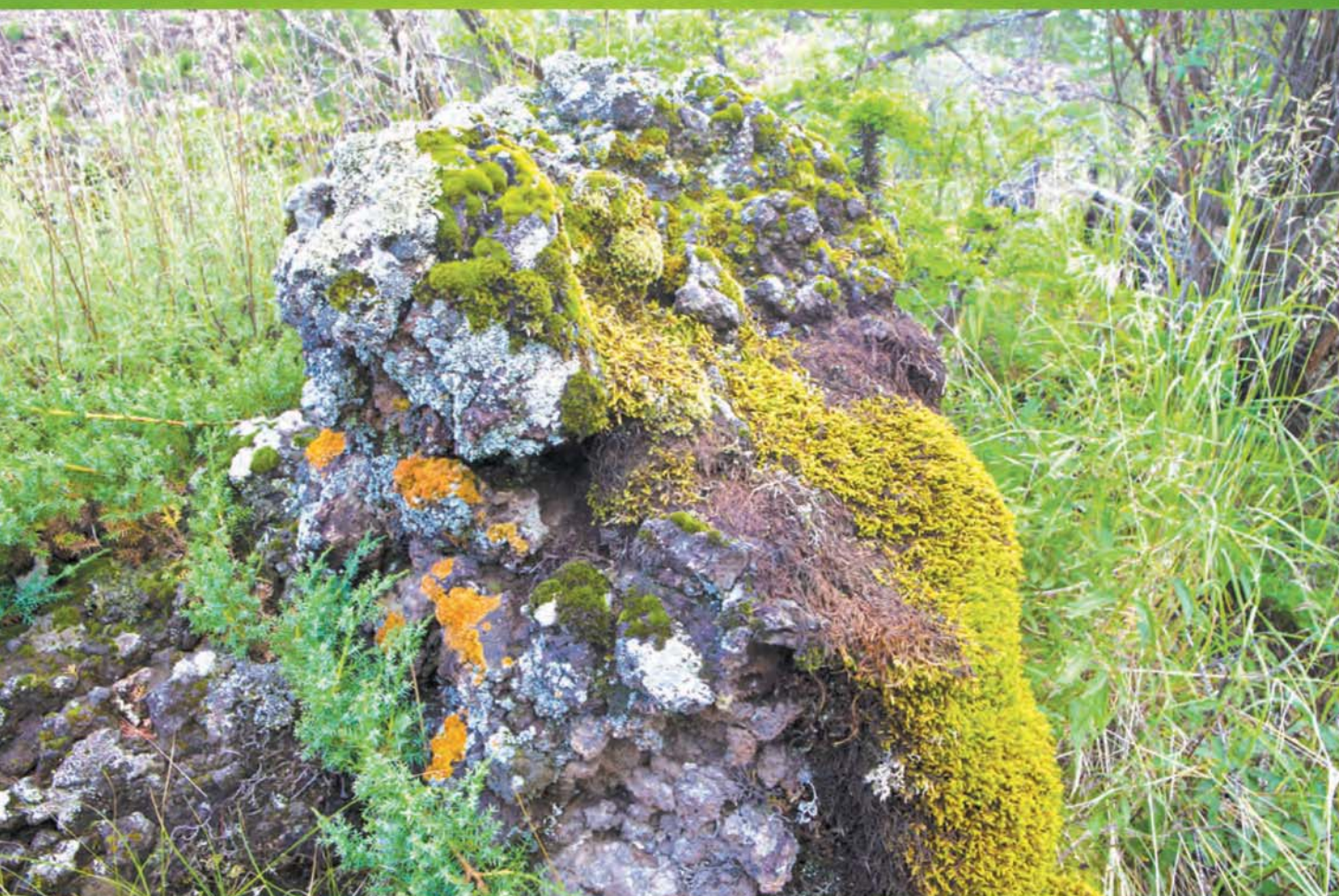


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

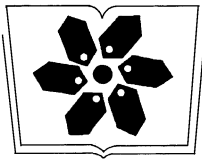
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **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 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例·····	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价·····	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用·····	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系·····	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究·····	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征·····	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学·····	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析·····	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响·····	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择·····	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象·····	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响·····	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响·····	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用·····	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征·····	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析·····	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组剖面分布特征·····	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素·····	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素·····	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图·····	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征·····	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响·····	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦渍害的风险区划·····	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现·····	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征·····	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析·····	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定·····	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响·····	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究·····	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素·····	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究·····	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析·····	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述·····	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响·····	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 34 * 2012-03	

封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

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

DOI: 10.5846/stxb201102200191

王红光, 于振文, 张永丽, 王东, 石玉. 推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响. 生态学报, 2012, 32(6): 1861-1870.

Wang H G, Yu Z W, Zhang Y L, Wang D, Shi Y. Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and $\text{NO}_3\text{-N}$ migration in wheat. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1861-1870.

推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和 硝态氮运移的影响

王红光, 于振文, 张永丽*, 王东, 石玉

(山东农业大学农业部作物生理生态与栽培重点开放实验室, 泰安 271018)

摘要: 2007—2008 年度以高产冬小麦品种济麦 22 为材料, 设置 2 个拔节水灌溉时期, 为拔节期和拔节后 10 d; 3 个目标相对含水量, 灌水后 0—140 cm 土层土壤相对含水量分别达到 65%、75%、80%, 以 W1、W2、W3 表示拔节期灌水处理, DW1、DW2、DW3 表示拔节后 10 d 灌水处理; 开花期均灌水至 0—140 cm 土层土壤相对含水量为 70%, 研究推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响。结果表明: (1) W2 和 DW2 处理有利于提高 0—60 cm 土层土壤硝态氮含量, 促进籽粒氮素积累; 营养器官贮藏氮素向籽粒的转运量、籽粒产量和氮肥偏生产力分别高于 W1 和 DW1, 与 W3 和 DW3 处理无显著差异; 开花后植株氮素积累量、籽粒蛋白质含量和水分利用效率分别高于 W3 和 DW3, 是拔节期和拔节后 10 d 灌水的最优处理。(2) W2 和 DW2 处理比较, DW2 成熟期 100—140 cm 土层硝态氮残留量低于 W2, 籽粒产量、籽粒蛋白质含量、氮素吸收效率、氮肥偏生产力和水分利用效率均显著高于 W2, 是本试验条件下的最佳灌水方案。2008—2009 生长季试验各处理变化趋势同 2007—2008 年度。

关键词: 小麦; 推迟拔节水; 氮素积累与分配; 硝态氮运移; 氮素吸收效率

Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and $\text{NO}_3\text{-N}$ migration in wheat

WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli*, WANG Dong, SHI Yu

Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Cultivation, Ministry of Agriculture, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

Abstract: Irrigation is one of the most important measures to regulate plant metabolism in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). However, unsuitable irrigation managements would cause the decline of nitrogen use efficiency and grain yield, and increase $\text{NO}_3\text{-N}$ content in deep soil layers. The field experiment was carried out to investigate the effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and $\text{NO}_3\text{-N}$ migration in wheat with the high-yielding cultivar, Jimai 22. Soil water content was controlled by a new strategy that supplemental irrigation based on measuring soil moisture. In 2007—2008 growing season, the first irrigation was given at jointing stage or 10 d after jointing stage, and the soil relative water content in 0—140 cm soil layer arrived to 65%, 75%, and 80% after irrigations, respectively. The treatments irrigated at jointing stage are represented as W1, W2, W3, and treatments irrigated 10 d after jointing stage are represented as DW1, DW2, DW3. The second irrigation was given at anthesis stage, and the soil relative water content of all irrigation treatments reached to 70% after irrigation.

In the treatments irrigated at jointing stage, the nitrogen translocation amount from vegetative organs to grains, nitrogen allocation amount into kernel at maturity stage, grain yield, nitrogen uptake efficiency and partial productivity of nitrogen applied were significantly higher in treatment W2 than in treatment W1, and there was no significant difference between

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30871478); 农业部现代小麦产业技术体系项目 (nycyt-03)

收稿日期: 2011-02-20; **修订日期:** 2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangyl@sdau.edu.cn

those of treatment W2 and treatment W3. Compared with treatment W3, however, treatment W2 increased the $\text{NO}_3\text{-N}$ content in 0—60 cm soil layer, plant nitrogen accumulation amount post anthesis, grain protein content, and water use efficiency (WUE), significantly. In the treatments irrigated 10 d after jointing stage, the nitrogen translocation amount from vegetative organs to grains, grain yield, and partial productivity of nitrogen applied were higher in treatment DW2 than in treatment DW1, and there was no significant difference between those of treatment DW2 and treatment DW3. While the $\text{NO}_3\text{-N}$ content in 0—60 cm soil layer, plant nitrogen accumulation amount post anthesis, nitrogen allocation amount into kernel at maturity, grain protein content, nitrogen uptake efficiency and WUE were higher in treatment DW2 than in treatment DW3. Compared with treatment W2, treatment DW2 decreased the $\text{NO}_3\text{-N}$ content in 100—140 cm soil layer at maturity stage, and increased the grain yield, grain protein content, nitrogen uptake efficiency, partial productivity of nitrogen applied and WUE, significantly. As a result, treatment DW2 may be considered to be the best irrigation regime under the current experiment condition. The change tendency of different treatments in 2008—2009 growing season was similar to that in 2007—2008 growing season.

Key Words: wheat; delayed irrigation at jointing stage; nitrogen accumulation and allocation; $\text{NO}_3\text{-N}$ migration; nitrogen uptake efficiency

灌水是调控小麦氮素代谢的有效手段,Plaut 等认为,水分亏缺显著降低小麦氮素吸收量^[1],小麦拔节期缺水植株氮素积累量降幅最大^[2]。研究表明,适度干旱有利于小麦营养器官积累氮素向籽粒的转运^[3],只灌拔节水处理开花前积累氮素向籽粒的转运量为 104.3 kg/hm^2 ,高于增灌开花水和不灌水处理^[4]。Miller 等指出,硝态氮易随灌水向土壤深层淋溶,造成氮素损失和地下水污染^[5-6]。研究表明,小麦播种前土壤剖面 15 和 75 cm 处的硝态氮累积峰在成熟期分别出现在 60—80 cm 和 80—100 cm 处^[7],生育期灌 3 水处理成熟期 100—140 cm 土层硝态氮含量显著高于灌 2 水处理^[8]。在黄淮冬麦区,小麦进入拔节期之后,植株的拔节过程持续 20 d 左右,关于灌水次数对小麦氮素代谢的影响已有较多研究,但高产条件下灌溉拔节水的时间及其灌溉水平对小麦氮素积累与分配影响的研究较少,本试验采用测墒补灌的方法,研究推迟拔节水对小麦氮素积累、分配与转运和土壤硝态氮运移的影响,以期小麦高产节水高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

(1) 试验 1

于 2007—2008 小麦生长季在山东泰安山东农业大学试验农场 (117.15°E , 36.15°N) 进行,供试品种为高产冬小麦品种济麦 22。试验田土壤类型为棕壤,前茬作物为玉米,玉米播种时施复合肥 450 kg/hm^2 (N 、 P_2O_5 和 K_2O 各占 15%),生育期内灌 1 水,灌水量 80 mm。小麦播种前玉米秸秆还田,0—20 cm 土层含有机质 1.4%,全氮 0.1%,碱解氮 94.2 mg/kg ,速效磷 38.2 mg/kg ,速效钾 80.0 mg/kg ;播种前 0—20、20—40、40—60、60—80、80—100、100—120、120—140 cm 土层土壤质量含水量分别为 17.8%、18.4%、20.2%、19.6%、20.4%、23.4%、28.3%,田间最大持水量为 26.2%、24.7%、25.6%、25.2%、24.9%、24.7%、25.0%,土壤容重为 1.4、1.5、1.5、1.5、1.5、1.5、1.5 g/cm^3 。小麦生育期内总降水量 141.7 mm(图 1)。

试验设置 7 个处理,小麦生育期内灌拔节水 and 开花水,拔节水设 2 个灌溉时期,为拔节期和拔节后 10 d;每个时期设 3 个目标相对含水量,灌水后 0—140 cm 土层平均土壤相对含水量分别达到 65%、75%、80%;开花期均灌水至 0—140 cm 土层平均土壤相对含水量为 70%(表 1)。试验采用随机区组排列,3 次重复,小区之间设 1 m 宽的隔离带,小区面积为 $2 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 8 \text{ m}^2$ 。基施纯氮 105 kg/hm^2 , P_2O_5 112.5 kg/hm^2 , K_2O 112.5 kg/hm^2 ,拔节期和拔节后 10 d 结合灌水追施纯氮 135 kg/hm^2 。2007 年 10 月 10 日播种,4 叶期定苗,基本苗 180 株/m^2 。其他管理措施同高产田。

1.1.2 试验2

于2008—2009 小麦生长季在山东兖州小孟镇史王村大田(116.41°E,35.41°N)进行,与第一年试验地点相隔80 km,供试品种为高产冬小麦品种济麦22。试验田土壤类型为棕壤,前茬作物为玉米,玉米播种时施复合肥450 kg/hm²(N、P₂O₅ 和 K₂O 各占15%),生育期内分2次共追施纯氮225 kg/hm²,灌2水,每次灌水量60 mm。小麦播种前玉米秸秆还田,0—20 cm 土层含有机质1.3%,全氮0.1%,碱解氮100.2 mg/kg,速效磷24.9 mg/kg,速效钾108.3 mg/kg;播种前0—20、20—40、40—60、60—80、80—100、100—120、120—140 cm 土层土壤质量含水量分别为18.7%、18.6%、19.8%、20.3%、21.8%、22.1%、20.3%,田间最大持水量为26.1%、24.0%、24.5%、24.6%、24.2%、24.3%、23.8%,土壤容重为1.5、1.7、1.6、1.6、1.6、1.6、1.6 g/cm³。小麦生育期内总降水量140.4 mm(图1)。

根据2007—2008 生长季试验的产量和水分利用效率结果,选用高产节水处理的土壤水分含量,拔节水和开花水均灌水至0—140 cm 土层平均土壤相对含水量为75%(表1)。试验采用随机区组排列,3次重复,小区之间设2 m 宽的隔离带,小区面积为4 m×4 m=16 m²。施肥、播种、定苗、及田间管理措施均与2007—2008 年度相同。

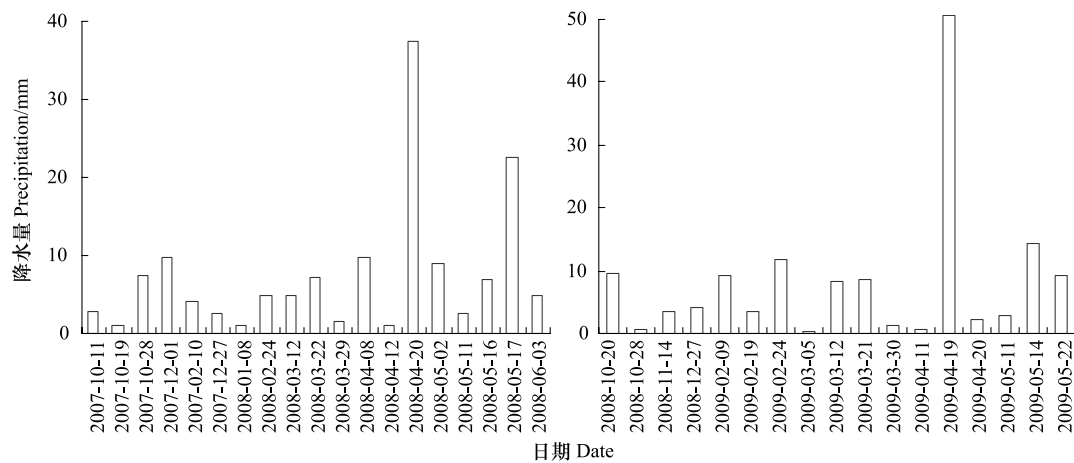


图1 小麦两生长季降水量

Fig.1 Precipitation during two growing seasons of wheat

表1 不同处理的目标相对含水量(0—140 cm 土层平均值)和灌水量

Table 1 Expected relative water content (0—140 cm average) and irrigation amount of different treatments

处理 Treatment	拔节期 Jointing stage		拔节后 10 d Ten 10 days after jointing stage		开花期 Anthesis stage	
	目标相对含水量/% ERWC	灌水量/mm Irrigation amount	目标相对含水量/% ERWC	灌水量/mm Irrigation amount	目标相对含水量/% ERWC	灌水量/mm Irrigation amount
2007—2008						
W0	—	0.0	—	0.0	—	0.0
W1	65	1.0	—	—	70	55.3
W2	75	54.0	—	—	70	34.3
W3	80	81.0	—	—	70	21.4
DW1	—	—	65	7.0	70	55.0
DW2	—	—	75	60.0	70	29.5
DW3	—	—	80	87.0	70	19.9
2008—2009						
W0	—	0.0	—	0.0	—	0.0
W1	75	23.5	—	—	75	35.9
DW1	—	—	75	38.1	75	27.4

—:不灌水; ERWC: expected relative water content

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤含水量的测定

采用干重法测定土壤质量含水量。土壤相对含水量(%) = 土壤质量含水量/田间最大持水量×100。

1.2.2 灌水量的计算

灌水前测定土壤质量含水量,由公式 $m = 10\rho bH(\beta_i - \beta_j)$ [9] 计算达到目标相对含水量需补充的灌水量,按此量进行灌溉,即测墒补灌。式中, m 为灌水量(mm); H 为计划湿润土层的深度(cm),本试验为 140 cm; ρb 为计划湿润土层的土壤容重(g/cm^3); β_i 为目标土壤质量含水量(田间最大持水量乘以目标相对含水量); β_j 为灌溉前土壤质量含水量。用水表计量灌水量。

1.2.3 土壤硝态氮含量的测定

于小麦开花期灌水前和成熟期采集土样,采用 CaCl_2 溶液浸提-紫外分光光度法测定鲜土硝态氮含量[10]。同时测定土壤含水量,计算干土硝态氮含量。

1.2.4 植株氮素含量的测定

采用凯氏定氮法测定植株全氮含量。相关计算公式如下[8,11-12]:

各器官氮素分配量 = 氮素含量(%) × 干物质质量

各器官氮素分配比例(%) = 各器官的氮素积累量/植株氮素积累量×100

营养器官氮素转运量 = 开花期营养器官氮素积累量 - 成熟期营养器官氮素积累量

营养器官氮素转运率(%) = 营养器官氮素转运量/开花期营养器官氮素积累量×100

营养器官转运氮素贡献率(%) = 营养器官氮素转运量/成熟期子粒氮素积累量×100

氮素吸收效率(kg/kg) = 植株氮素积累量/施氮量

氮肥偏生产力(kg/kg) = 子粒产量/施氮量

1.2.5 农田耗水量和水分利用效率的计算

采用水分平衡法计算农田耗水量[13]。水分利用效率 = 籽粒产量/农田耗水量[14]。

1.3 数据分析

用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据计算和作图,用 DPS7.05 统计分析软件进行数据差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同处理对小麦各生育时期植株氮素积累量的影响

2007—2008 生长季,W2 开花期和成熟期氮素积累量高于 W1,与 W3 无显著差异;DW2 开花期氮素积累量高于 DW1,成熟期高于 DW1 和 DW3(图 2),表明 W2 和 DW2 处理促进了拔节至开花阶段和开花至成熟阶段的氮素积累,拔节后 10 d 灌水过多不利于提高成熟期植株氮素积累量。

W2 和 DW2 处理比较,开花期两处理氮素积累量无显著差异,成熟期 DW2 显著高于 W2,表明拔节后 10 d 灌水有利于小麦开花后的植株氮素积累。

2008—2009 生长季,DW1 开花期氮素积累量与 W1 无显著差异,成熟期显著高于 W1(图 2),与 2007—2008 生长季试验结果趋势一致。

2.2 不同处理对开花期和成熟期氮素在各器官中分配的影响

2007—2008 生长季,拔节期灌水的处理比较,W2 开花期各器官氮素分配量和成熟期籽粒氮素分配量高于 W1,与 W3 无显著差异;拔节后 10 d 灌水的处理比较,DW2 成熟期籽粒氮素分配量高于 DW1 和 DW3(表 2,表 3),表明 W2 和 DW2 处理有利于提高开花期各器官和成熟期籽粒氮素分配量,DW3 不利于籽粒氮素积累。

W2 和 DW2 处理比较,DW2 开花期茎鞘氮素分配量和成熟期籽粒氮素分配量及分配比例显著高于 W2,开花期叶片氮素分配量及分配比例低于 W2,表明拔节后 10 d 灌水促进了开花前茎鞘氮素和开花后籽粒氮素的积累,不利于开花前叶片氮素的积累。

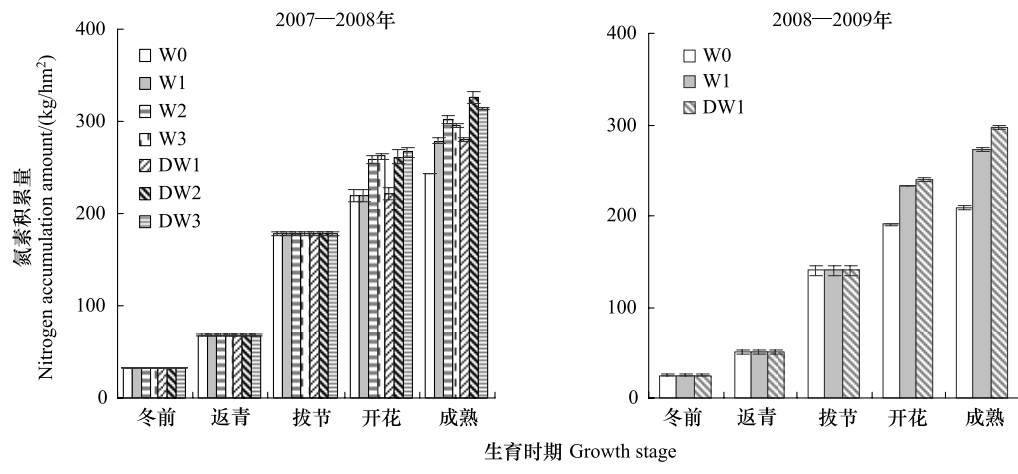


图2 各生育时期氮素积累量
Fig.2 Nitrogen accumulation amount at each growth stage

2008—2009 生长季,拔节后 10 d 灌水的 DW1 处理开花期茎鞘氮素分配量和成熟期籽粒氮素分配量显著高于 W1(表 2,表 3),有利于籽粒氮素积累。

表 2 开花期氮素在各器官中的分配量和分配比例
Table 2 Nitrogen distribution amount and ratios among different organs at anthesis stage

处理 Treatment	分配量 Distribution amount /(kg/hm ²)				分配比例 Distribution proportion /%		
	总量 Total amount	叶 Leaf	茎鞘 Stem and sheath	穗 Spike	叶 Leaf	茎鞘 Stem and sheath	穗 Spike
2007—2008							
W0	219.8 b	79.3 c	95.0 c	45.5 b	36.1 b	43.2 b	20.7 a
W1	219.8 b	79.3 c	95.0 c	45.5 b	36.1 b	43.2 b	20.7 a
W2	258.6 a	102.6 a	105.0 b	50.9 a	39.7 a	40.6 c	19.7 b
W3	262.0 a	105.2 a	105.1 b	51.7 a	40.2 a	40.1 c	19.7 b
DW1	222.5 b	79.8 c	96.4 c	46.4 b	35.9 b	43.3 b	20.8 a
DW2	261.9 a	89.8 b	119.8 a	52.2 a	34.3 c	45.8 a	19.9 b
DW3	266.3 a	92.2 b	122.0 a	52.1 a	34.6 c	45.8 a	19.6 b
2008—2009							
W0	190.8 b	69.4 c	82.4 c	39.1 b	36.4 b	43.2 b	20.5 a
W1	233.0 a	93.7 a	93.6 b	45.7 a	40.2 a	40.2 c	19.6 b
DW1	239.1 a	82.8 b	109.2 a	47.1 a	34.6 c	45.7 a	19.7 b

在同一生长季中同列不同字母表示差异达 5% 显著水平

2.3 不同处理对营养器官贮藏氮素向籽粒转运和开花后氮素积累的影响

2007—2008 生长季,拔节期灌水的处理比较,W2 氮素转运总量和转运率显著高于 W1,开花后氮素积累量低于 W1,高于 W3(表 4),表明增加拔节期灌水有利于营养器官贮藏氮素向籽粒转运,不利于开花后氮素积累。拔节后 10 d 灌水的处理比较,DW2 氮素转运总量高于 DW1,开花后氮素积累量与 DW1 无显著差异,表明 DW2 处理同时促进了营养器官氮素向籽粒转运和开花后氮素积累。W2 和 DW2 处理比较,DW2 叶片氮素向籽粒的转运量显著低于 W2,茎鞘氮素转运量高于 W2,开花后氮素积累量及其对籽粒的贡献率亦高于 W2,表明拔节后 10 d 灌水促进了茎鞘贮藏氮素向籽粒的转运和开花后氮素积累,有利于提高氮素吸收效率和籽粒蛋白质含量。

2008—2009 生长季,DW1 营养器官转运氮素对籽粒的贡献率显著低于 W1,开花后氮素积累量及其对籽粒的贡献率高于 W1(表 4),与 2007—2008 生长季试验结果趋势一致。

表 3 成熟期氮素在各器官中的分配量和分配比例

Table 3 Nitrogen distribution amount and ratios among different organs at maturity stage

处理 Treatment	分配量 Distribution amount / (kg/hm ²)					分配比例 Distribution proportion/%			
	总量 Total amount	叶 Leaf	茎鞘 Stem and sheath	穗轴+颖壳 Spike axi and kernel husks	籽粒 Kernel	叶 Leaf	茎鞘 Stem and sheath	穗轴+颖壳 Spike axi and kernel husks	籽粒 Kernel
2007—2008									
W0	243.4 e	17.5 abc	39.5 b	18.2 b	168.1 e	7.2 ab	16.2 a	7.5 a	69.1 d
W1	279.1 d	20.5 a	46.9 a	20.4 a	191.3 d	7.3 a	16.8 a	7.3 a	68.6 d
W2	302.5 c	18.8 ab	38.3 b	15.4 c	230.0 c	6.2 bc	12.7 b	5.1 b	76.0 bc
W3	295.9 c	17.6 abc	39.4 b	15.5 c	223.3 c	6.0 cd	13.3 b	5.2 b	75.5 c
DW1	279.7 d	20.2 a	47.6 a	20.5 a	191.3 d	7.2 a	17.0 a	7.3 a	68.4 d
DW2	326.4 a	16.7 bc	40.6 b	14.7 c	254.5 a	5.1 d	12.4 b	4.5 bc	78.0 a
DW3	314.9 b	15.8 c	41.5 b	15.3 c	242.3 b	5.0 d	13.2 b	4.9 c	76.9 ab
2008—2009									
W0	209.3 c	15.1 a	34.3 a	15.5 a	144.3 c	7.2 a	16.4 a	7.4 a	69.0 c
W1	272.7 b	16.2 a	33.1 a	13.7 ab	209.7 b	5.9 ab	12.1 b	5.0 b	76.9 b
DW1	296.7 a	15.1 a	35.9 a	12.8 b	232.8 a	5.1 b	12.1 b	4.3 b	78.5 a

表 4 营养器官贮藏氮素向籽粒的转运量和开花后氮素积累量

Table 4 Translocation amount of nitrogen of vegetative organs t to grains and accumulation amount after anthesis

处理 Treatment	转运量 Translocation amount /(kg/hm ²)				总转运率 Total translocation efficiency /%	贡献率 Contribution efficiency /%	开花后积累量 Accumulation amount after anthesis /(kg/hm ²)	贡献率 Contribution efficiency /%
	叶 Leaf	茎鞘 Stem and sheath	穗轴+颖壳 Spike axi and kernel husks	总量 Total amount				
2007—2008								
W0	61.7 e	55.5 c	27.3 c	144.5 d	65.8 b	86.0 a	23.6 d	14.0 d
W1	58.8 e	48.1 d	25.1 d	132.0 e	60.1 c	69.0 d	59.3 a	31.0 a
W2	83.8 b	66.8 b	35.5 b	186.1 c	72.0 a	80.9 b	44.0 b	19.1 c
W3	87.6 a	65.6 b	36.2 ab	189.4 bc	72.3 a	84.8 a	33.9 c	15.2 d
DW1	59.6 e	48.8 d	25.9 cd	134.2 e	60.3 c	70.1 d	57.1 a	29.9 a
DW2	73.1 d	79.2 a	37.6 a	189.9 ab	72.6 a	74.7 c	64.5 a	25.3 b
DW3	76.5 c	80.5 a	36.8 ab	193.7 a	72.7 a	80.0 b	48.5 b	20.0 c
2008—2009								
W0	54.3 c	48.0 c	23.5 b	125.9 c	66.0 b	87.2 a	18.4 c	12.8 c
W1	77.6 a	60.5 b	32.0 a	170.0 b	73.0 a	81.1 b	39.7 b	18.9 b
DW1	67.7 b	73.3 a	34.3 a	175.3 a	73.3 a	75.3 c	57.5 a	24.7 a

2.4 不同处理对开花期和成熟期 0—200 cm 土层土壤硝态氮含量的影响

2007—2008 生长季,拔节期灌水的处理比较,W2 开花期和成熟期 100—140 cm 各土层土壤硝态氮含量显著高于 W1,低于 W3(图 3),表明增加拔节期灌水促使硝态氮向深层土壤运移。拔节后 10 d 灌水的处理比较,DW2 开花期 0—60 cm 土层土壤硝态氮含量高于 DW1 和 DW3,成熟期 100—140 cm 各土层低于 DW3,与 DW1 无显著差异,表明 DW2 处理有利于提高 0—60 cm 土层土壤硝态氮含量,减少其向深层土壤的淋溶,促进根系吸收利用。

W2 和 DW2 处理比较,DW2 开花期 0—60 cm 各土层土壤硝态氮含量显著高于 W2,开花期和成熟期 100—140 cm 各土层低于 W2,表明拔节后 10 d 灌溉有利于降低 100—140 cm 土层的硝态氮残留量,减少氮素损失。各灌水处理开花期和成熟期 20—160 cm 土层土壤硝态氮含量均高于播种前,这与小麦生育期内硝态氮淋溶有关。

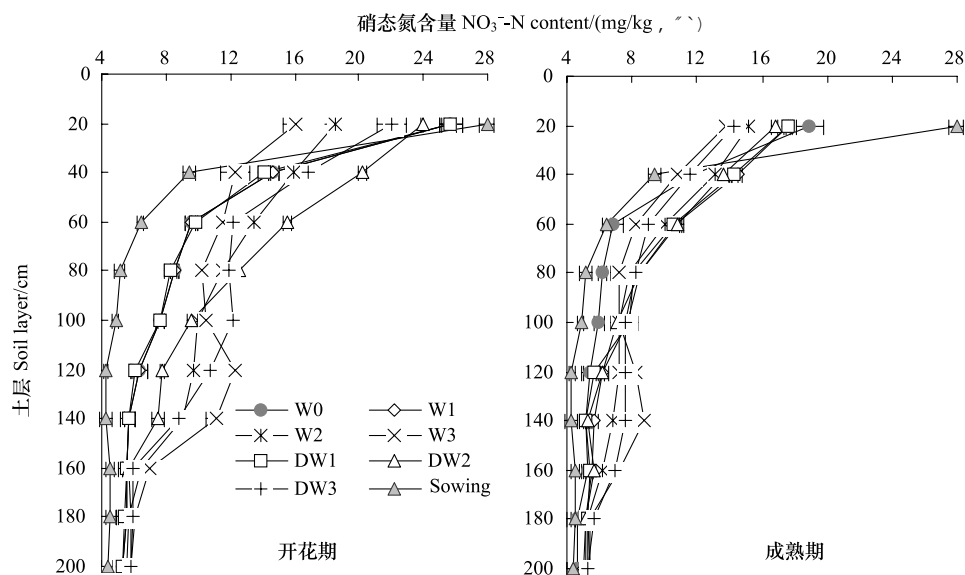


图3 开花期和成熟期0—200 cm 土层硝态氮含量(2007—2008)

Fig.3 NO_3^- -N content in 0—200 cm soil layers at anthesis and maturity stage (2007—2008)

2008—2009 生长季,DW1 开花期0—60 cm 各土层土壤硝态氮含量显著高于 W1,80—120 cm 各土层低于 W1,成熟期 100—140 cm 各土层低于 W1(图4),表明拔节后 10 d 灌溉有利于减少硝态氮向深层土壤中淋溶。与播种前相比,W0 和 DW1 成熟期 100—200 cm 土层土壤硝态氮含量并未显著增加,一是因为前茬玉米施氮量高,易产生硝态氮淋溶,使小麦播种前深层土壤硝态氮含量升高;二是因为 2008—2009 小麦生长季灌溉水量小,当季氮素淋溶量少。

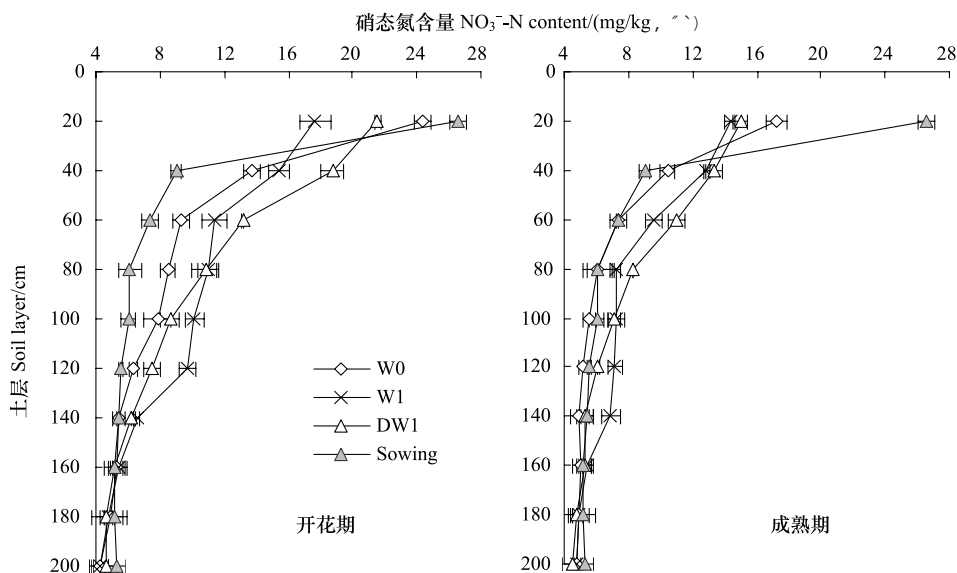


图4 开花期和成熟期0—200 cm 土层硝态氮含量(2008—2009)

Fig.4 NO_3^- -N content in 0—200 cm soil layers at anthesis and maturity stage (2008—2009)

2.5 不同处理对籽粒产量、籽粒蛋白质含量、氮肥偏生产力和水分利用效率的影响

2007—2008 生长季,拔节期灌水的处理比较,W2 籽粒产量、氮素吸收效率和氮肥偏生产力显著高于 W1,与 W3 无显著差异,籽粒蛋白质含量和水分利用效率显著高于 W3;拔节后 10 d 灌水的处理比较,籽粒产量和

氮肥偏生产力为 DW2、DW3>DW1,籽粒蛋白质含量和氮素吸收效率为 DW2>DW3>DW1(表5),表明 W2 和 DW2 处理有利于籽粒产量和籽粒蛋白质含量的同步提高,W3 和 DW3 导致籽粒蛋白质含量下降。

表5 籽粒产量、籽粒蛋白质含量、氮素吸收效率、氮肥偏生产力和水分利用效率

Table 5 Grain yield, grain protein content, nitrogen uptake efficiency, partial productivity of applied nitrogen, and water use efficiency

处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield /(kg/hm ²)	籽粒蛋白质含量 Grain protein content /%	氮素吸收效率 Nitrogen uptake efficiency/(kg/kg)	氮肥偏生产力 Partial productivity of applied nitrogen /(kg/kg)	水分利用效率 Water use efficiency /(kg/hm ² mm)
2007—2008					
W0	7896.3 d	13.7 cd	1.01 e	32.9 d	20.7 b
W1	8750.4 c	13.4 d	1.16 d	36.5 c	21.1 a
W2	9041.7 b	14.5 b	1.26 c	37.7 b	20.1 c
W3	9029.8 b	14.0 c	1.23 c	37.6 b	19.6 d
DW1	8836.8 c	13.4 d	1.17 d	36.8 c	21.1 a
DW2	9378.6 a	15.3 a	1.36 a	39.1 a	20.5 b
DW3	9400.8 a	14.5 b	1.31 b	39.2 a	20.1 c
2008—2009					
W0	6704.6 c	13.5 c	0.87 c	27.9 c	21.2 c
W1	7902.7 b	14.3 b	1.14 b	32.9 b	21.9 b
DW1	8437.2 a	15.0 a	1.24 a	35.2 a	22.8 a

W2 和 DW2 处理比较,DW2 籽粒产量、籽粒蛋白质含量、氮素吸收效率、氮肥偏生产力和水分利用效率均显著高于 W2,表明拔节后 10 d 灌水促进了小麦对土壤中氮素的吸收,有利于提高籽粒产量和籽粒蛋白质含量。DW2 处理是本试验条件下高产节水高效的灌溉方案。

2008—2009 生长季,DW1 籽粒产量、氮肥偏生产力和水分利用效率均显著高于 W1(表5),表明拔节后 10 天灌溉有利于实现小麦高产节水高效。

3 讨论

水分不仅影响土壤中氮素的有效性,而且影响作物氮素积累与转运^[15-16]。有研究表明,随灌水量增加,小麦氮素积累量显著提高^[4],拔节至开花期干旱对小麦氮素的吸收影响最大^[17];亦有研究认为,合理减少灌水有利于提高小麦氮素积累量^[18]。小麦籽粒中 60%—80% 的氮素来源于营养器官贮藏氮素的转运^[12]。Sinclair 等指出适度干旱促进氮素向籽粒转运^[19],但水分胁迫下氮素再转运量和再转运率均降低^[20],在不接受自然降水条件下,小麦生育期灌水 240 mm 的处理氮素转运量和转运率高于灌水 180 mm 和 420 mm 的处理^[21]。本研究表明,2007—2008 生长季,灌拔节水至土壤相对含水量为 75% 的 W2 和 DW2 处理植株氮素积累量分别高于灌水至 65% 的 W1 和 DW1,亦高于灌水至 80% 的 W3 和 DW3,证实了前人研究结论。本研究还表明,与拔节期灌溉相比,拔节后 10 d 灌溉不利于叶片氮素积累,但促进了茎鞘氮素积累及其向籽粒的转运,且有利于提高开花后的氮素积累量和成熟期籽粒氮素分配量及其分配比例,这是因为拔节后 10 d 旗叶已露尖,此时灌水对其生长影响较小,但茎秆第 3、4 节间和穗下节间正值伸长期,灌水有利于其生长。两年度试验结果趋势一致,以下只结合 2007—2008 年度试验处理进行讨论。

灌溉不合理引起的硝态氮淋失是农田氮肥利用率低、地下水硝酸盐污染的主要原因^[22],农田多点取样结果显示,90—180 cm 土层硝态氮积累量高于 0—90 cm 土层^[23]。有研究表明,每次灌水 60 mm 会造成硝态氮向 60 cm 以下土层运移^[24];小麦节水栽培模式下对 100—110 cm、120—130 cm 和 140—150 cm 土层放置的¹⁵N 标记肥料的回收率均显著高于充分灌水模式^[25]。本试验结果亦表明,与灌拔节水至土壤相对含水量为 80% 的 W3 和 DW3 处理相比,灌水至 75% 的 W2 和 DW2 有利于减少硝态氮向 100—140 cm 土层的淋溶,提高农田氮肥利用率。与拔节期灌溉相比,拔节后 10 d 灌溉有利于降低小麦成熟期 100—140 cm 土层的硝态

氮残留量,减少了氮素淋溶损失,其灌水较晚,灌水时土壤硝态氮含量低于拔节期是原因之一,前人对此研究较少。

Gooding 等指出,适宜的土壤水分可同时提高小麦产量和氮素吸收效率^[26-27],灌水过量则起反作用^[28]。有研究表明,在小麦返青至拔节阶段和灌浆后期保持轻度干旱,氮肥偏生产力显著提高^[16]。本试验结果表明,拔节后 10 d 灌水至土壤相对含水量为 75%,开花期灌水至 70% 的 DW2 处理有利于同步提高籽粒产量、籽粒蛋白质含量、氮素吸收效率、氮肥偏生产力和水分利用效率,是本试验条件下高产节水高效的灌溉方案。

本试验两年结果均表明拔节后 10 d 灌溉有利于实现高产高效,对生产有一定的指导意义,但两小麦生长季降水量相近,不同降水年型下小麦拔节期土壤含水量不同,灌水时期亦应不同。两年度试验田均为高产田,拔节后 10 d 灌水时每公顷总茎数均为 1125 万,可作为生产中高产田确定灌水时期的依据,将进一步研究不同降水年型和地力水平下适宜的拔节水灌溉时期和灌溉水平。

References:

- [1] Plaut Z, Butow B J, Blumenthal C S, Wrigley C W. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research*, 2004, 86(2/3): 185-198.
- [2] Wang C H, Wang B, Li S X. Influence of water deficit and supplemental irrigation on nitrogen uptake by winter wheat and nitrogen residual in soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1339-1343.
- [3] Li S J, Zhou D X, Zhu Y P, Li J M, Lan L W. Effects of water and nitrogen application on nitrogen uptake and distribution in wheat. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2002, 17(1): 69-75.
- [4] Zhang S Q, Fang B T, Zhang Y H, Zhou S L, Wang Z M. Utilization of water and nitrogen and yield formation under three limited irrigation schedules in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(11): 2045-2054.
- [5] Suprayogo D, van Noordwijk M, Hairiah K, Cadisch G. The inherent 'safety-net' of an Acrisol: measuring and modeling retarded leaching mineral nitrogen. *European Journal of Soil Science*, 2002, 53(2): 185-194.
- [6] Miller A J, Cramer M D. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant and Soil*, 2004, 274: 1-36.
- [7] Zhang L J, Ju X T, Zhang F S, Peng Z P. Movement and residual effect of labeled nitrate-N in different soil layers. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9): 1964-1972.
- [8] Ma X H, Wang D, Yu Z W, Wang X Z, Xu Z Z. Effect of irrigation regimes on water consumption characteristics and nitrogen distribution in wheat at different nitrogen applications. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 1955-1965.
- [9] Shan L, Kang S Z, Wu P T. *Water Saving Agriculture in China*. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 229-230.
- [10] National Agriculture Technology Extension and Service Center. *Soil Analysis Technology Specification*. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 47-49.
- [11] Stevens W B, Hoefl R G, Mulvaney R L. Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study: II. Nitrogen uptake efficiency. *Agronomy Journal*, 2005, 97(4): 1046-1053.
- [12] Zhang H, Zhou J B, Liu R, Zhang P, Zheng X F, Li S X. Effects of different cultivation patterns and nitrogen fertilizer on accumulation, distribution and use efficiency of nitrogen in winter wheat/summermaize rotation system on semi-dryland farming. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(1): 1-8.
- [13] Li Q, Liu M, Zhang J, Dong B, Bai Q. Biomass accumulation and radiation use efficiency of winter wheat under deficit regimes. *Plant Soil and Environment*, 2009, 55(2): 85-91.
- [14] Li Q Q, Chen Y H, Liu M Y, Zhou X B, Dong B D, Yu S L. Effect of irrigation to winter wheat on the soil moisture, evapotranspiration, and water use efficiency of summer maize in North China. *Transactions of the ASABE*, 2007, 50(6): 2071-2080.
- [15] Kang S Z, Zhang L, Liang Y L, Hu X T, Cai H J, Gu B J. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 2002, 55(3): 203-216.
- [16] Banedjschafie S, Bastani S, Widmoser P, Mengel K. Improvement of water use and N fertilizer efficiency by subsoil irrigation of winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 2008, 28(1): 1-7.
- [17] Liu E K, Mei X R, Gong D Z, Yan C R, Zhuang Y. Effects of drought on N absorption and utilization in winter wheat at different developmental stages. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(5): 555-562.
- [18] Yang X Y, Yu Z W, Xu Z Z. Effects of irrigation regimes on water consumption characteristics and nitrogen accumulation and allocation in wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 846-853.

- [19] Sinclair T R, Pinter P J Jr, Kimball B A, Adamsen F J, Lamorte R L, Wall G W, Hunsaker D J, Adam N, Brooks T L, Garcia R L, Thompson T, Leavitt S, Matthias A. Leaf nitrogen concentration of wheat subjected to elevated $[CO_2]$ and either water or N deficits. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2000, 79(1): 53-60.
- [20] Fan X M, Jiang D, Dai T B, Jing Q, Cao W X. Effects of nitrogen on grain yield and quality in wheat grown under drought or waterlogging stress from anthesis to maturity. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(1): 71-77.
- [21] Xu Z Z, Yu Z W, Wang D, Zhang Y L. Nitrogen accumulation and translocation for winter wheat under different irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2005, 191(6): 439-449.
- [22] Zhang W L, Wu S X, Ji H J, Kolbe H. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and alleviating strategies. I. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [23] Kou C L, Ju X T, Zhang F S. Nitrogen balance and its effects on nitrate-N concentration of groundwater in three intensive cropping systems of North China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4): 660-667.
- [24] Wang X Y, He M L, Liu Y H, Zhang H H, Li F, Hua F X, Meng S H. Interactive effects of irrigation and nitrogen fertilizer on nitrogen fertilizer recovery and nitrate-N movement across soil profile in a winter wheat field. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 685-694.
- [25] Wu Y C, Zhou S L, Wang Z M, Zhang X. Residual subsoil nitrogen utilization under water-saving cultivation in winter wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 1869-1876.
- [26] Gooding M J, Ellis R H, Shewry P R, Schofield J D. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science*, 2003, 37(3): 295-309.
- [27] Kibe A M, Singh S, Kalra N. Water-nitrogen relationships for wheat growth and productivity in late sown conditions. *Agricultural Water Management*, 2006, 84(3): 221-228.
- [28] Sun H Y, Liu C M, Zhang X Y, Shen Y J, Zhang Y Q. Effects of irrigation on water balance, yield and WUE of winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 2006, 85(1/2): 211-218.

参考文献:

- [2] 王朝辉, 王兵, 李生秀. 缺水与补水对小麦氮素吸收及土壤残留氮的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(8): 1339-1343.
- [3] 李世娟, 周殿玺, 诸叶平, 李建民, 兰林旺. 水分和氮肥运筹对小麦氮素吸收分配的影响. *华北农学报*, 2002, 17(1): 69-75.
- [4] 张胜全, 方保停, 张英华, 周顺利, 王志敏. 冬小麦节水栽培三种灌溉模式的水氮利用与产量形成. *作物学报*, 2009, 35(11): 2045-2054.
- [7] 张丽娟, 巨晓棠, 张福锁, 彭正萍. 土壤剖面不同层次标记硝态氮的运移及其后效. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1964-1972.
- [8] 马兴华, 王东, 于振文, 王西芝, 许振柱. 不同施氮量下灌水量对小麦耗水特性和氮素分配的影响. *生态学报*, 2010, 30(8): 1955-1965.
- [9] 山仑, 康绍忠, 吴普特. 中国节水农业. 北京: 中国农业出版社, 2004: 229-230.
- [10] 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范. 北京: 中国农业出版社, 2006: 47-49.
- [12] 张宏, 周建斌, 刘瑞, 张鹏, 郑险峰, 李生秀. 不同栽培模式及施氮对旱地冬小麦/夏玉米氮素累积、分配及氮肥利用率的影响. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(1): 1-8.
- [17] 刘恩科, 梅旭荣, 龚道枝, 严昌荣, 庄严. 不同生育时期干旱对冬小麦氮素吸收与利用的影响. *植物生态学报*, 2010, 34(5): 555-562.
- [18] 杨晓亚, 于振文, 许振柱. 灌水量和灌水时期对小麦耗水特性和氮素积累分配的影响. *生态学报*, 2009, 29(2): 846-853.
- [20] 范雪梅, 姜东, 戴廷波, 荆奇, 曹卫星. 花后干旱或渍水逆境下氮素对小麦籽粒产量和品质的影响. *植物生态学报*, 2006, 30(1): 71-77.
- [22] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, Kolbe H. 中国农业面源污染形势估计及控制对策. I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计. *中国农业科学*, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [23] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(4): 660-667.
- [24] 王晓英, 贺明荣, 刘永环, 张洪华, 李飞, 华芳霞, 孟淑华. 水氮耦合对冬小麦氮肥吸收及土壤硝态氮残留淋溶的影响. *生态学报*, 2008, 28(2): 685-694.
- [25] 吴永成, 周顺利, 王志敏, 张霞. 节水栽培冬小麦对下层土壤残留氮素的利用. *生态学报*, 2005, 25(8): 1869-1876.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《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 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 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@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