

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

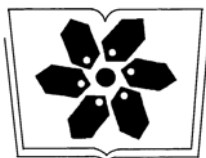
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第16期 Vol.32 No.16 **2012**

中国生态学会
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 16 期 2012 年 8 月 (半月刊)

目 次

基于生物多样性保护的兴安落叶松与白桦最佳混交比例——以阿尔山林区为例·····	李 菁, 骆有庆, 石 娟 (4943)
中国能源消费碳排放的时空特征·····	舒娱琴 (4950)
黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因素·····	姚雪玲, 傅伯杰, 吕一河 (4961)
新疆艾比湖流域土壤有机质的空间分布特征及其影响因素·····	王合玲, 张辉国, 秦 璐, 等 (4969)
雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤养分和粒度特征·····	李海东, 沈渭寿, 邹长新, 等 (4981)
一株溶藻细菌对海洋原甲藻的溶藻效应·····	史荣君, 黄洪辉, 齐占会, 等 (4993)
种形态对黑藻和竹叶眼子菜有机酸含量的影响·····	钟正燕, 王宏镔, 王海娟, 等 (5002)
七项河流附着硅藻指数在东江的适用性评估·····	邓培雁, 雷远达, 刘 威, 等 (5014)
杭州湾滨海湿地不同植被类型沉积物磷形态变化特征·····	梁 威, 邵学新, 吴 明, 等 (5025)
剪形臂尾轮虫形态的时空变化及其与生态因子间的关系·····	葛雅丽, 席貽龙, 马 杰, 等 (5034)
太湖流域河流水质状况对景观背景的响应·····	周 文, 刘茂松, 徐 驰, 等 (5043)
荒漠植物白刺属 4 个物种的生殖分配比较·····	李清河, 辛智鸣, 高婷婷, 等 (5054)
臭氧浓度升高对香樟叶片光合色素及抗过氧化的影响及其氮素响应·····	牛俊峰, 张巍巍, 李 丽, 等 (5062)
不同密度下凤仙花重要形态性状与花朵数的关系·····	田旭平, 常 洁, 李娟娟, 等 (5071)
五种高速公路边坡绿化植物的生理特性及抗旱性综合评价·····	谭雪红, 高艳鹏, 郭小平, 等 (5076)
散孔材与环孔材树种枝干、叶水力学特性的比较研究·····	左力翔, 李俊辉, 李秧秧, 等 (5087)
北京城区行道树国槐叶面尘分布及重金属污染特征·····	戴斯迪, 马克明, 宝 乐 (5095)
南亚热带米老排人工林碳贮量及其分配特征·····	刘 恩, 刘世荣 (5103)
植物生活史型定量划分及其权重配置方法——以四棱豆生活史型划分为例·····	赵则海 (5110)
半干旱区湿地-干草原交错带边界判定及其变化·····	王 晓, 张克斌, 杨晓晖, 等 (5121)
氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累与转运的影响·····	吴光磊, 郭立月, 崔正勇, 等 (5128)
氮肥形态对冬小麦根际土壤氮素生理群活性及无机氮含量的影响·····	熊淑萍, 车芳芳, 马新明, 等 (5138)
基于数字相机的冬小麦物候和碳交换监测·····	周 磊, 何洪林, 孙晓敏, 等 (5146)
黄土高原半湿润区气候变化对冬小麦生长发育及产量的影响·····	姚玉璧, 王润元, 杨金虎, 等 (5154)
基于土地破坏的矿区生态风险评价: 理论与方法·····	常 青, 邱 瑶, 谢苗苗, 等 (5164)
基于生态位的山地农村居民点适宜度评价·····	秦天天, 齐 伟, 李云强, 等 (5175)
氯虫苯甲酰胺对黑肩绿盲蝽实验种群的影响·····	杨 洪, 王 召, 金道超 (5184)
6 种植物次生物质对斜纹夜蛾解毒酶活性的影响·····	王瑞龙, 孙玉林, 梁笑婷, 等 (5191)
云南元江芒果园桔小实蝇成虫日活动规律及空间分布格局·····	叶文丰, 李 林, 孙来亮, 等 (5199)
重庆市蝴蝶多样性环境健康指示作用和环境监测评价体系构建·····	邓合黎, 马 琦, 李爱民 (5208)
专论与综述	
生态系统服务竞争与协同研究进展·····	李 鹏, 姜鲁光, 封志明, 等 (5219)
中国沿海无柄蔓足类研究进展·····	严 涛, 黎祖福, 胡煜峰, 等 (5230)
冰雪灾害对森林的影响·····	郭淑红, 薛 立 (5242)
不同干扰因素对森林和湿地温室气体通量影响的研究进展·····	杨 平, 全 川 (5254)
采石场废弃地的生态重建研究进展·····	杨振意, 薛 立, 许建新 (5264)
研究简报	
基于地统计学和 CFI 样地的浙江省森林碳空间分布研究·····	张 峰, 杜 群, 葛宏立, 等 (5275)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-08



封面图说: 秋色藏野驴群——秋天已经降临在海拔 4200 多米的黄河源区, 红色的西伯利亚蓼(生于盐碱荒地或砂质含盐碱土壤)铺满大地, 间有的高原苔草也泛出了金黄, 行走在上面的藏野驴们顾不上欣赏这美丽的秋色, 只是抓紧时间, 在严冬到来之前取食, 添肥增膘以求渡过青藏高原即将到来的漫长冬天。

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

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 16 August, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

The optimum mixture ratio of larch and birch in terms of biodiversity conservation; a case study in Aershan forest area	LI Jing, LUO Youqing, SHI Juan (4943)
Spatiotemporal characteristics of carbon emissions from energy consumption in China	SHU Yuqin (4950)
Spatial patterns of soil moisture at transect scale in the Loess Plateau of China	YAO Xueling, FU Bojie, LÜ Yihe (4961)
The characteristics of the spatial distribution of soil organic matter and factors influencing it in Ebinur Lake Basin of Xinjiang Autonomous Region, China	WANG Heling, ZHANG Huiguo, QIN Lu, et al (4969)
Soil nutrients content and grain size fraction of aeolian sandy land in the Shannan Wide Valley of the Yarlung Zangbo River, China	LI Haidong, SHEN Weishou, ZOU Changxin, et al (4981)
Algicidal activity against <i>Proocentrum micans</i> by a marine bacterium isolated from a HABs area, South China	SHI Rongjun, HUANG Honghui, QI Zhanhui, et al (4993)
Effects of arsenic speciations on contents of main organic acids in <i>Hydrilla verticillata</i> and <i>Potamogeton malaianus</i>	ZHONG Zhengyan, WANG Hongbin, WANG Haijuan, et al (5002)
Exploration of benthic diatom indices to evaluate water quality in rivers in the Dongjiang basin	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (5014)
Phosphorus fraction in the sediments from different vegetation type in Hangzhou bay coastal wetlands	LIANG Wei, SHAO Xuexin, WU Ming, et al (5025)
Spatio-temporal variation of morphometric characteristics of <i>Brachionus forficula</i> in relation to ecological factors	GE Yali, XI Yilong, MA Jie, et al (5034)
Response of river water quality to background characteristics of landscapes in Taihu Lake basin	ZHOU Wen, LIU Maosong, XU Chi, et al (5043)
Reproductive allocation in four desert species of the genus <i>Nitraria</i> L.	LI Qinghe, XIN Zhiming, GAO Tingting, et al (5054)
Effects of elevated ozone on foliar chlorophyll content and antioxidant capacity in leaves of <i>Cinnamomum camphora</i> under enhanced nitrogen loads	NIU Junfeng, ZHANG Weiwei, LI Li, et al (5062)
Correlation analysis between floret numbers and important traits of <i>Impatiens balsamina</i> under different planting density	TIAN Xuping, CHANG Jie, LI Juanjuan, et al (5071)
Physiological characteristics and comprehensive evaluation of drought resistance in five plants used for roadside ecological restoration	TAN Xuehong, GAO Yanpeng, GUO Xiaoping, et al (5076)
Comparison of hydraulic traits in branches and leaves of diffuse- and ring-porous species	ZUO Lixiang, LI Junhui, LI Yangyang, et al (5087)
Distribution and heavy metal character of foliar dust on roadside tree <i>Sophora japonica</i> of urban area in Beijing	DAI Sidi, MA Keming, BAO Le (5095)
The research of carbon storage and distribution feature of the <i>Mytilaria laosensis</i> plantation in south sub-tropical area	LIU En, LIU Shirong (5103)
The novel methods of quantitative classification of plant life cycle forms and weight collocation; taking classification of life cycle forms of <i>Psophocarpus tetragonolobus</i> as an example	ZHAO Zehai (5110)
Research on boundary definition and changes of wetland-dry grassland ...	WANG Xiao, ZHANG Kebin, YANG Xiaohui, et al (5121)
Differential effects of nitrogen managements on nitrogen, dry matter accumulation and transportation in late-sowing winter wheat	WU Guanglei, GUO Liyue, CUI Zhengyong, et al (5128)
Effects of nitrogen form on the activity of nitrogen bacteria group and inorganic nitrogen in rhizosphere soil of winter wheat	XIONG Shuping, CHE Fangfang, MA Xinming, et al (5138)
Using digital repeat photography to model winter wheat phenology and photosynthetic CO ₂ uptake	ZHOU Lei, HE Honglin, SUN Xiaomin, et al (5146)
Impacts of climate change on growth and yield of winter wheat in the semi-humid region of the Loess Plateau	YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhu, et al (5154)
Theory and method of ecological risk assessment for mining areas based on the land destruction	CHANG Qing, QIU Yao, XIE Miaomiao, et al (5164)
Suitability evaluation of rural residential land based on niche theory in mountainous area	QIN Tiantian, QI Wei, LI Yunqiang, et al (5175)
Effects of chlorantraniliprole on experimental populations of <i>Cyrtorhinus lividipennis</i> (Reuter) (Hemiptera: Miridae)	YANG Hong, WANG Zhao, JIN Daochao (5184)
Effects of six plant secondary metabolites on activities of detoxification enzymes in <i>Spodoptera litura</i>	WANG Ruilong, SUN Yulin, LIANG Xiaoting, et al (5191)
Daily activity and spatial distribution pattern of the oriental fruit fly, <i>Bactrocera dorsalis</i> (Diptera: Tephritidae) in mango orchard, Yuanjiang, Yunnan	YE Wenfeng, LI Lin, SUN Lailiang, et al (5199)
The establishment of the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system in Chongqing	DENG Heli, MA Qi, LI Aimin (5208)
Review and Monograph	
Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services; an overview	LI Peng, JIANG Luguang, FENG Zhiming, et al (5219)
A review on the balanomorph barnacles in the coastal waters of China	YAN Tao, LI Zufu, HU Yufeng, et al (5230)
Effects of ice-snow damage on forests	GUO Shuhong, XUE Li (5242)
Greenhouse gas flux from forests and wetlands; a review of the effects of disturbance	YANG Ping, TONG Chuan (5254)
Advances in ecology restoration of abandoned quarries	YANG Zhenyi, XUE Li, XU Jianxin (5264)
Scientific Note	
Spatial distribution of forest carbon in Zhejiang Province with geostatistics based on CFI sample plots	ZHANG Feng, DU Qun, GE Hongli, et al (5275)

DOI: 10.5846/stxb201202270263

吴光磊, 郭立月, 崔正勇, 李勇, 尹燕桦, 王振林, 蒋高明. 氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累与转运的影响. 生态学报, 2012, 32(16): 5128-5137.

Wu G L, Guo L Y, Cui Z Y, Li Y, Yin Y P, Wang Z L, Jiang G M. Differential effects of nitrogen managements on nitrogen, dry matter accumulation and transportation in late-sowing winter wheat. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(16): 5128-5137.

氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累 与转运的影响

吴光磊^{1,2}, 郭立月¹, 崔正勇¹, 李 勇², 尹燕桦¹, 王振林^{1,*}, 蒋高明^{1,2}

(1. 山东农业大学作物生物学国家重点实验室, 泰安 271018; 2. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要: 氮素平衡对干物质积累与分配的影响是农业生态系统研究的重要内容, 在保障产量前提下减少氮肥施用量可减少环境污染与温室气体排放。以晚播冬小麦为研究对象, 设置 4 个施氮量水平: 0 kg/hm² (N0)、168.75 kg/hm² (N1)、225 kg/hm² (N2)、281.25 kg/hm² (N3), 每个施氮量水平下设置 2 个追氮时期处理: 拔节期 (S1)、拔节期 + 开花期 (S2), 研究了氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累与转运及氮肥利用率的影响。结果表明: 拔节期追施氮肥 (S1) 条件下, 在 225 kg/hm² (N2) 基础上增施 25% 氮肥 (N3) 对开花期氮素积累总量和营养器官氮素转运量无显著影响; 拔节期 + 开花期追施氮肥 (S2) 条件下, 随施氮量增加, 开花期氮素积累总量和花后营养器官氮素转运量升高; S2 较 S1 显著提高成熟期籽粒及营养器官氮素积累量、花后籽粒氮素积累量及其对籽粒氮素积累的贡献率。同一施氮量条件下, S2 较 S1 提高了成熟期的干物质积累量、开花至成熟阶段干物质积累强度和花后籽粒干物质积累量。同一追氮时期条件下, 籽粒产量 N2 与 N3 无显著差异, 氮肥偏生产力随施氮量增加而降低; 同一施氮量条件下, S2 较 S1 提高了晚播冬小麦的籽粒产量和氮肥吸收利用率。拔节期 + 开花期追施氮肥, 总施氮量 225 kg/hm² 为有利于实现晚播冬小麦高产和高效的最优氮肥运筹模式。

关键词: 晚播冬小麦; 氮肥运筹; 氮素; 干物质; 氮肥利用率

Differential effects of nitrogen managements on nitrogen, dry matter accumulation and transportation in late-sowing winter wheat

WU Guanglei^{1,2}, GUO Liyue¹, CUI Zhengyong¹, LI Yong², YIN Yanping¹, WANG Zhenlin^{1,*}, JIANG Gaoming^{1,2}

1 State Key Laboratory of Crop Biology, College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Tai an 271018, China

2 Laboratory of Vegetation and Environmental Changes, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract: The elemental cycling of nitrogen plays a key role in agricultural ecosystem to ensure either food security or environmental sustainability. Bases on the premise of grain yield stability, cutting down proper part of N fertilizer application would largely decrease environmental pollution and significantly promote greenhouse gas emission reduction. In recent years, because of climate change, improvements of varieties, water conservation, delay of maize harvest and other factors, the area of late-sowing winter wheat increases continually. A reasonable field management of nitrogen fertilizer is therefore considered as an important measure to improve the yield of late-sowing winter wheat. Appropriate late sowing of winter wheat could extend growth period of previous maize, and reduce the consumption of water and fertilizer in winter wheat at early stage. In the Huanghuai Plain, seedtime postponing to mid-late October in winter wheat could mitigate the

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31271661); 国家重点基础研究发展计划 (973) 课题 (2009CB118602); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201203100)

收稿日期: 2012-02-27; 修订日期: 2012-06-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zlwang@sdau.edu.cn; jianggm@126.com

damage of frost on winter wheat to a certain extent. There are many researches which document the effects of temperature, light, moisture, density and other factors on carbon and nitrogen metabolism, yield and quality in late-sowing winter wheat. However, the influence of fertilizer management on nutrition absorption and dry matter accumulation in late-sowing winter wheat has been rarely reported. Meanwhile, no final conclusion has yet been reached on nitrogen application strategy in late-sowing winter wheat. Under field conditions, we here designed four treatments of nitrogen fertilizer application: 0 kg/hm² (N0), 168.75 kg/hm² (N1), 225 kg/hm² (N2), and 281.25 kg/hm² (N3), at two topdressing stages: jointing stage (S1), jointing and anthesis stage (S2). We found that that regulation effect of nitrogen application rate on dry matter accumulation changes due to nitrogen application time. The accumulation and transportation of dry matter and nitrogen, as well as nitrogen use efficiency of late-sowing winter wheat were carefully investigated. We also noted that elevating 25% nitrogen fertilizer rate on the basis of 225 kg/hm² (N2) had no significant influence on either the total nitrogen accumulation at anthesis or nitrogen transportation amount in vegetative organs when nitrogen fertilizer topdressed at jointing stage (S1). However, those variables increased when nitrogen fertilizer topdressed at jointing and anthesis stages (S2). Compared with treatment S1, nitrogen accumulation amount in grain and vegetative organs, nitrogen accumulation amount after anthesis and nitrogen distribution proportion were much higher in treatment S2. At the same nitrogen fertilizer rate, the dry matter accumulation at maturity, dry matter accumulation intensity from anthesis to maturity and dry matter amount of grain were higher in treatment S2 than those in S1. While at the same nitrogen fertilizer topdressing stage, grain yield has no significant difference between treatment N2 and N3, but nitrogen fertilizer partial factor productivity declined after nitrogen fertilizer rate increased. Grain yield and nitrogen fertilizer recovery efficiency were higher in S2 than those in S1 when nitrogen fertilizer rate was identical. We therefore reasonably drew the conclusion that topdressing nitrogen fertilizer at jointing and anthesis stages with total nitrogen fertilizer application rate at 225 kg/hm² was the optimal nitrogen fertilizer management mode which could not only achieve high yield but also obtain high nitrogen fertilizer use efficiency in late-sowing winter wheat.

Key Words: late-sowing winter wheat; N fertilizer management; nitrogen; dry matter; nitrogen use efficiency

小麦是我国第三大粮食作物,氮肥运筹与小麦生长发育和器官建成密切相关^[1],施氮时间、氮肥品种及施氮量对小麦籽粒产量和品质形成具有重要影响^[2]。目前,氮肥施用主要存在氮肥利用率低、环境污染严重等问题^[3],提高冬小麦的氮肥利用率是增加产量、改善品质和保护生态环境的关键途径之一^[4]。

近年来,由于气候、品种、节水、玉米收获期推迟等原因造成冬小麦晚播面积逐年增加,合理的麦田管理已成为提高晚播冬小麦产量的重要措施^[5]。研究表明,冬小麦适当晚播既可以延长前茬玉米的生育期,又可减少冬小麦前期肥水消耗^[6],在黄淮冬麦区把冬小麦播期适当推迟到10月中下旬,在一定程度上可以减轻冻害对冬小麦生长的影响,通过增加基本苗解决因播期推迟造成的分蘖减少问题,从而保持产量的稳定^[7-9]。

关于温度、光照、水分、密度等因素对晚播冬小麦碳、氮代谢及产量和品质的影响,前人开展了较多研究^[10-14],但关于肥料运筹对晚播冬小麦营养吸收和物质积累的调控效应鲜见报道,而且有关晚播冬小麦合理的氮肥运筹方案尚缺乏定论。基于高产高效的要求,本试验以晚播冬小麦为研究对象,分析了晚播冬小麦氮素利用和干物质积累及转运的规律;晚播冬小麦氮素转运对施氮量和追氮时期的响应;晚播冬小麦合理的氮肥运筹方案。本研究旨在为我国晚播冬小麦高产高效栽培提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于2009—2010年小麦生长季在位于山东泰安的山东农业大学实验农场(东经117°9',北纬36°9')进行,前茬作物为花生。研究区域属暖温带大陆性半湿润季风气候区,年平均气温13℃,年平均降水量697 mm。供试土壤0—20 cm土层土壤含有机质1.31%,全氮1.1 g/kg,速效氮58.4 mg/kg,速效磷15.3 mg/kg,

速效钾 75.2 mg/kg。供试品种为高产小麦品种泰农 18。

试验设置 4 个施氮量处理:0 (N0) kg/hm²、168.75 (N1) kg/hm²、225 (N2) kg/hm²、281.25 (N3) kg/hm² 和 2 个追氮时期处理:拔节期(60%) (S1)、拔节期(40%) + 开花期(20%) (S2), 其中 N1 和 N3 分别是在 N2 基础上减少和增加 25% 的施氮量。小区为 2.5 m×2.5 m 的四周密封但不封底水泥池, 随机区组排列, 3 次重复。氮肥按施氮量的 40% 基施; 磷钾肥全部基施, 每公顷施磷肥 (P₂O₅) 90 kg, 钾肥 (K₂O) 75 kg; 氮肥为尿素 (N 46%), 磷肥为磷酸二铵 (P₂O₅ 46%), 钾肥为硫酸钾 (K₂O 52%)。小麦于 2009 年 10 月 27 日播种, 基本苗为 270 株/m², 4 叶期定苗, 2010 年 6 月 17 日收获, 其他田间管理按小麦精播高产栽培技术措施进行。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 氮素含量的测定

在开花期和成熟期取样, 按叶片、茎+叶鞘、颖壳+穗轴、籽粒等器官分样, 105℃ 杀青 30 min, 80℃ 下烘干至恒重, 称重。采用浓硫酸消煮, 半微量凯氏定氮法测定植株全氮含量, 计算植株各器官氮素含量、积累总量和转运量。

植株氮素积累转运与利用的相关计算公式^[15-18]:

各器官氮素积累量 (kg/hm²) = 氮素含量×干物质质量;

各器官的氮素分配比例 (%) = 各器官的氮素积累量/单茎氮素积累量×100;

营养器官氮素转运量 (kg/hm²) = 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 (花后籽粒积累氮素贡献率) (%) = 营养器官氮素转运量 (花后籽粒氮素积累量)/成熟期籽粒氮素积累量×100;

氮素收获指数 = 籽粒氮素积累量/植株氮素积累量;

氮肥偏生产力 (kg/kg) = 施氮区产量/施氮量;

氮肥吸收利用率 (%) = (施氮区地上部分吸氮量-空白区地上部吸氮量)/施氮量×100。

1.2.2 干物质积累与转运的测定和计算

在开花期和成熟期取样, 按叶片、茎+叶鞘、颖壳+穗轴、籽粒等器官分样, 105℃ 杀青 30 min, 80℃ 下烘干至恒重, 称重。

植株干物质积累与转运的相关计算公式^[19]:

营养器官开花前贮藏干物质转运量 (kg/hm²) = 开花期干重-成熟期干重;

营养器官开花前贮藏干物质转运率 (%) = (开花期干重-成熟期干重)/开花期干重×100;

开花后干物质输入籽粒量 (kg/hm²) = 成熟期籽粒干重-营养器官开花前贮藏干物质转运量;

营养器官开花前贮藏干物质转运量 (开花后籽粒干物质积累量) 对籽粒产量的贡献率 (%) = 营养器官开花前贮藏干物质转运量 (开花后籽粒干物质积累量)/成熟期籽粒干重×100。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 7.05 统计分析系统进行数据处理和统计分析, 采用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 氮肥运筹对晚播冬小麦植株氮素积累和转运的影响

2.1.1 开花期不同营养器官的氮素积累量和分配比例

表 1 示出, 开花期, 不施氮 (N0) 处理各器官中的氮素积累量低于施氮处理。不同器官的氮素积累量和分配比例表现不同, 叶片氮素积累量和分配比例最高, 其次为茎+叶鞘, 颖壳+穗轴中的最低; 表明叶片是冬小麦开花期贮存氮素的最主要器官。

同一施氮时期不同施氮量处理间比较, S1 条件下, 颖壳+穗轴、叶片和茎+叶鞘的氮素积累量均为 N2、N3

>N1,N2 与 N3 无显著差异;S2 条件下,颖壳+穗轴的氮素积累量为 N3>N2、N1,叶片、茎+叶鞘和氮素积累总量为 N3>N2>N1;表明拔节期追施氮肥条件下,在 N2 基础上增施 25% 氮肥对开花期各器官的氮素积累量无显著促进作用,而在拔节期+开花期追施氮肥条件下,在 N2 基础上增施 25% 氮肥提高了开花期氮素积累总量。

表 1 开花期各器官中的氮素积累量和分配比例
Table 1 Nitrogen accumulation amount and distribution proportion in different organs at anthesis

处理 Treatment		氮素积累量 Nitrogen accumulation amount/ (kg/hm ²)				氮素分配比例 Distribution proportion/%		
		颖壳+穗轴 Spike axis+ Husk	叶片 Leaf	茎+叶鞘 Stem +Sheath	合计 Total	颖壳+穗轴 Spike axis+ Husk	叶片 Leaf	茎+叶鞘 Stem +Sheath
	N0	39.5d	61.3d	49.9d	150.7d	26.2a	40.7a	33.1b
S1	N1	48.4c	81.4bc	64.2c	194.0c	25.0ab	41.9a	33.1b
	N2	52.7ab	95.9a	76.1a	224.7a	23.4c	42.7a	33.9ab
	N3	54.5a	93.4a	80.7a	228.6a	23.8c	40.9a	35.3a
S2	N1	48.7c	77.7c	63.9c	190.4c	25.6a	40.8a	33.6ab
	N2	51.2bc	85.6b	68.2b	205.0b	25.0ab	41.8a	33.3b
	N3	55.7a	92.6a	76.3a	224.6a	24.8ab	41.3a	34.0ab

同列不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平

同一施氮量不同施氮时期处理间比较,N1 和 N3 条件下,颖壳+穗轴、叶片和茎+叶鞘的氮素积累量 S2 与 S1 无显著差异;N2 条件下,颖壳+穗轴的氮素积累量 S2 与 S1 无显著差异,叶片、茎+叶鞘氮素积累总量为 S1>S2;表明在 N2 基础上增加或降低 25% 氮肥用量条件下,改变追氮时期对开花期各器官的氮素积累量无显著影响。

2.1.2 成熟期不同器官的氮素积累量和分配比例

表 2 示出,成熟期,籽粒的氮素积累量显著高于营养器官,改变施氮量和追氮时期对籽粒中的氮素分配比例无显著影响。不施氮处理各器官的氮素积累量显著低于施氮处理,表明不施氮降低了晚播冬小麦成熟期各器官对氮素的积累。

同一施氮时期不同施氮量处理间比较,S1 条件下,籽粒氮素积累量为 N3>N2、N1,营养器官的为 N3>N2>N1;S2 条件下,籽粒氮素积累量为 N2、N3>N1,营养器官的处理间无显著差异。同一追氮时期条件下,籽粒的氮素分配比例处理间无显著差异。以上结果表明,施氮量对晚播冬小麦籽粒和营养器官中氮素积累量的调控效应因追氮时期的改变而表现不同,但追氮时期对籽粒中氮素分配比例无显著影响。

表 2 成熟期各器官中氮素的积累量和分配比例
Table 2 Nitrogen accumulation amount and distribution proportion in different organs at maturity

		氮素积累量				氮素分配比例			
		Nitrogen accumulation amount / (kg/hm ²)				Distribution proportion/%			
处理 Treatment		营养器官 Vegetative organs				营养器官 Vegetative organs			
		籽粒 Grain	颖壳+穗轴 Spike axis + Husk	叶片+茎+叶鞘 Leaf +Stem +Sheath	合计 Total	籽粒 Grain	颖壳+穗轴 Spike axis + Husk	叶片+茎+叶鞘 Leaf +Stem +Sheath	合计 Total
S1	N0	177.6e	10.0e	16.6e	26.6e	87.0a	4.9b	8.1b	13.0ab
	N1	236.9d	12.2d	21.5d	33.7d	87.5a	4.5c	8.0b	12.5b
	N2	244.4d	12.5d	24.5c	37.0c	86.9a	4.4c	8.7a	13.2a
	N3	263.1c	14.7c	25.6c	40.4b	86.7a	4.9b	8.5a	13.3a
S2	N1	281.1b	17.3a	25.6b	42.9a	86.8a	5.3a	7.9b	13.2a
	N2	336.6a	16.6a	27.9a	44.6a	88.3a	4.4c	7.3c	11.7c
	N3	338.9a	16.5b	28.3a	44.9a	88.3a	4.3c	7.4c	11.7c

同一施氮量不同施氮时期处理间比较,N1、N2 和 N3 条件下,籽粒和营养器官的氮素积累量均为 S2>S1;

籽粒中的氮素分配比例处理间无显著差异。表明同一施氮量条件下,与拔节期追施氮肥相比,拔节期+开花期追施氮肥促进了氮素在籽粒和各营养器官中的积累。

2.1.3 开花后营养器官贮藏氮素向籽粒的转运

图 1 示出,不施氮处理营养器官氮素转运量和花后籽粒氮素积累量显著低于各施氮处理的,表明全生育期不施氮肥不利于提高籽粒中氮素的积累。

同一施氮时期不同施氮量处理间比较,S1 条件下,营养器官贮藏氮素转运量为 N_2 、 $N_3 > N_1$,转运氮素的贡献率为 $N_2 > N_3 > N_1$;表明拔节期追施氮肥条件下, N_2 处理促进了营养器官贮藏氮素向籽粒中的转运,在 N_2 基础上增施 25% 氮肥对其无显著促进作用。S2 条件下,营养器官氮素转运量为 $N_3 > N_2 > N_1$,转运氮素的贡献率为 N_3 、 $N_1 > N_2$,花后籽粒氮素积累量及其贡献率为 N_2 显著高于 N_3 、 N_1 处理;表明拔节期+开花期追施氮肥条件下, N_2 处理有利于提高花后籽粒氮素积累量,且其营养器官氮素转运量亦较高,在 N_2 基础上增施 25% 氮肥促进了营养器官贮藏氮素向籽粒中转运,但对花后籽粒氮素积累无显著促进作用。

同一施氮量不同施氮时期处理间比较,营养器官氮素转运量及其贡献率 N_1 、 N_2 和 N_3 条件下均为 $S_1 > S_2$,花后籽粒氮素积累量及贡献率为 $S_2 > S_1$,以 S_2N_2 处理最高;表明同一施氮量条件下,拔节期一次性追施氮肥有利于提高营养器官积累氮素向籽粒的转运,而拔节期和开花期追施氮肥则有利于提高花后籽粒氮素积累量。

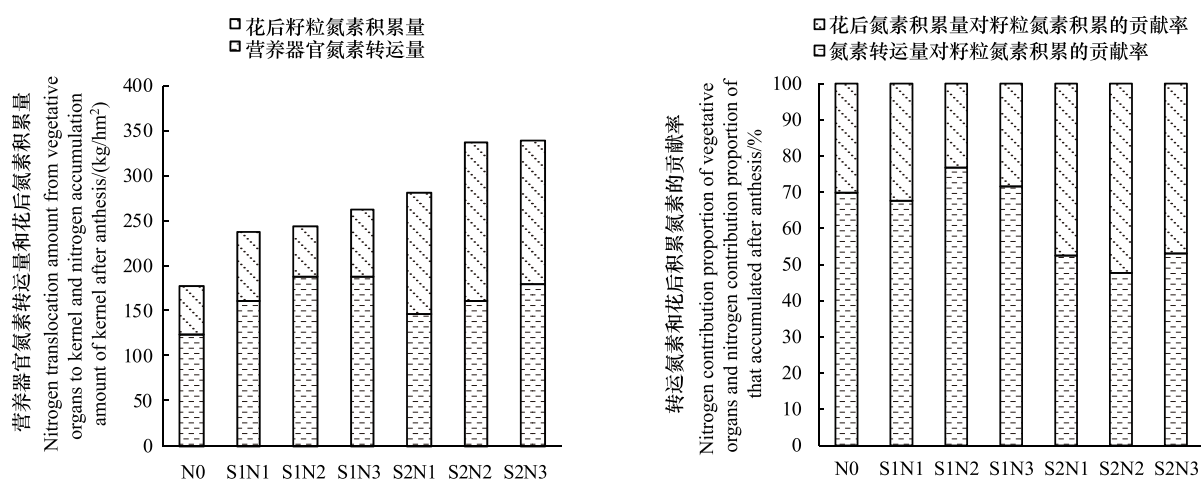


图 1 营养器官开花前积累氮素向籽粒的转运和开花后籽粒氮素的积累

Fig. 1 Nitrogen translocation from vegetative organ to kernel and nitrogen accumulation after anthesis

2.2 氮肥运筹对植株干物质积累和转运的影响

2.2.1 开花期和成熟期的干物质积累量和积累强度

图 2 示出,不施氮处理的干物质积累量和积累强度显著低于各施氮处理的。不同追氮时期条件下,随施氮量的增加干物质积累量和积累强度表现不同。

同一施氮时期不同施氮量处理间比较,开花期的干物质积累量 S_1 条件下为 N_2 、 $N_3 > N_1$, S_2 条件下为 $N_3 > N_2$ 、 N_1 。成熟期的干物质积累量 S_1 条件下为 $N_3 > N_2 > N_1$, S_2 条件下 N_2 与 N_3 无显著差异,显著高于 N_1 处理,以 S_2N_2 处理最高。表明改变追氮时期显著影响施氮量对干物质积累的调控效应。同一施氮量不同施氮时期处理间比较,开花期的干物质积累量为 S_1 高于 S_2 ,成熟期的反之,但在 N_1 和 N_3 条件下 S_1 与 S_2 的差异未达显著水平。

开花期至成熟期的干物质积累强度 S_1 条件下为 $N_3 > N_2 > N_1$, S_2 条件下为 $N_2 > N_1$ 、 N_3 。同一施氮量条件下的积累强度均为 $S_2 > S_1$,以 S_2N_2 处理最高。表明拔节期+开花期追施氮肥较拔节期追施氮肥有利于提高开花后干物质的积累,促进了晚播冬小麦开花后碳水化合物的合成。

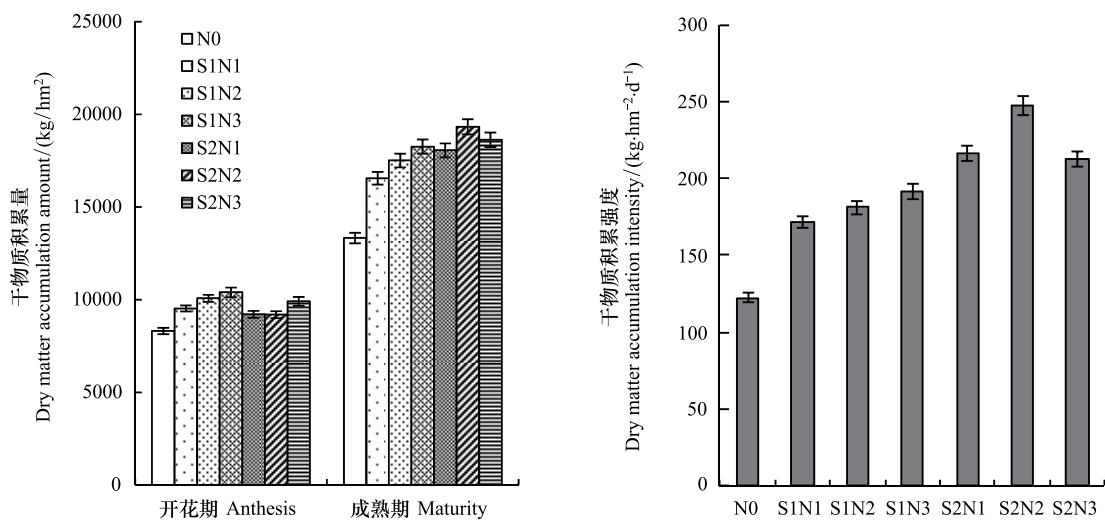


图 2 开花期和成熟期的干物质积累量及积累强度

Fig.2 Dry matter accumulation amount at anthesis and maturity and intensity from anthesis to maturity

2.2.2 营养器官开花前积累干物质的转运和花后干物质的积累

表 3 示出,不施氮处理营养器官干物质的转运率及其对籽粒干物质积累的贡献率显著高于各施氮处理的,但其花后籽粒干物质积累量及其贡献率显著低于各施氮处理的,表明不施氮促进了营养器官积累干物质向籽粒中转运,但不利于开花后籽粒干物质的积累。

表 3 开花后营养器官贮藏干物质的转运和花后干物质积累

Table 3 Dry matter translocation amount from vegetative organ to grain and accumulation amount after anthesis					
处理 Treatment	开花前贮藏 干物质转运量 Assimilates transportation amount after anthesis /(kg/hm ²)	开花前贮藏 干物质转运率 Assimilates transportation ratio after anthesis /%	开花前贮藏干物质转 运量对籽粒的贡献率 Contribution of assimilates transportation amount after anthesis to kernel/%	开花后籽粒 干物质积累量 Assimilates accumulation amount after anthesis /(kg/hm ²)	开花后干物质积累量 对籽粒的贡献率 Contribution of assimilates accumulation vamount after anthesis to kernel. /%
N0	2620a	31.5a	34.3a	5018f	65.7f
S1	N1	2610a	27.4b	7031e	72.9e
	N2	2510a	24.9c	7437d	74.8de
	N3	2384b	22.9d	7862c	76.7d
S2	N1	1474d	16.0f	8855b	85.7b
	N2	1151e	12.5g	10143a	89.8a
	N3	1952c	19.7e	8711b	81.7c

ATAA;开花前贮藏干物质转运量; ATRA;开花前贮藏干物质转运率; CATAATK;开花前贮藏干物质转运量对籽粒的贡献率; AAAAA;开花后干物质输入籽粒量; CAAAAATK;开花后干物质输入籽粒量对籽粒的贡献率

同一施氮时期不同施氮量处理间比较,S1 条件下,营养器官积累干物质的转运量为 N1、N2>N3,转运率及其贡献率为 N1>N2>N3,花后籽粒干物质积累量为 N3>N2>N1,其对籽粒干物质积累的贡献率为 N2、N3>N1;表明拔节期追施氮肥条件下增加施氮量不利于营养器官积累干物质向籽粒中的转运,但促进了花后籽粒干物质积累。S2 条件下,营养器官积累干物质的转运量、转运率及其贡献率均为 N3>N1>N2,花后籽粒干物质积累量为 N2>N1、N3,贡献率为 N2>N1>N3,表明拔节期+开花期追施氮肥条件下,在 N2 基础上增加或降低 25% 氮肥利于营养器官积累干物质向籽粒中转运,但显著降低了花后籽粒干物质的积累。

同一施氮量不同施氮时期处理间比较,营养器官积累干物质的转运量、转运率及其对籽粒干物质积累的贡献率 N1、N2、N3 条件下均为 S1>S2,花后籽粒干物质积累量及其贡献率反之。表明拔节期+开花期追施氮

肥较拔节期追施氮肥显著提高了花后籽粒干物质积累量,促进了晚播冬小麦开花后碳水化合物的同化。

2.3 氮肥运筹对籽粒产量和氮肥利用的影响

表4示出,不施氮处理的籽粒产量显著低于施氮处理,表明不施氮降低了晚播冬小麦的籽粒产量。氮收获指数表示同化氮素的转运效率,本试验中各处理的氮收获指数无显著差异,表明施氮量和追氮时期对晚播冬小麦氮收获指数的调控效应不明显。

同一施氮时期不同施氮量处理间比较,籽粒产量 S1 和 S2 条件下均为 N2、N3>N1,表明晚播冬小麦的籽粒产量随施氮量的增加有所提高,但在 N2 基础上增加 25% 施氮量对籽粒产量无显著促进作用。氮肥偏生产力 S1 和 S2 条件下均为 N1>N2>N3;氮肥吸收利用率 S1 条件下为 N1>N3>N2, S2 条件下为 N2>N1>N3,以 S2N2 处理最高。

表4 氮肥运筹对籽粒产量和氮肥利用的影响

Table 4 Effects of N-fertilizer management on grain yield, protein content and N-fertilizer utilization

处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield /(kg/hm ²)	氮收获指数 N harvest index	氮肥偏生产力 N-fertilizer partial factor productivity/(kg/kg)	氮肥吸收利用率 N-fertilizer recovery efficiency/(kg/kg)
N0	5480.4d	0.87a	—	—
S1	N1	6427.6c	0.88a	38.1a
	N2	6828.7b	0.87a	30.3b
	N3	6835.7b	0.87a	24.3c
S2	N1	6731.1b	0.87a	39.9a
	N2	7083.6a	0.88a	31.5b
	N3	7108.5a	0.88a	25.3c

同一施氮量不同施氮时期处理间比较,籽粒产量和氮肥吸收利用率 N1、N2 和 N3 条件下均为 S2>S1,氮肥偏生产力 S1 与 S2 无显著差异,表明拔节期+开花期追施氮肥较拔节期追施氮肥有利于提高籽粒产量和氮肥吸收利用率。综合籽粒产量和氮肥吸收利用率结果表明,总施氮量为 225 kg/hm²,拔节期+开花期追施氮肥为晚播冬小麦实现高产和高效的最优氮肥运筹模式。

3 讨论

氮肥合理运筹显著改善小麦植株对氮素的积累和转运,有利于氮肥的吸收与利用。有研究表明,增施氮肥虽可提高小麦植株氮素积累强度、积累量,但降低营养器官积累氮素向籽粒中的转运率^[20-21]。籽粒氮素积累量在施氮量 180 kg/hm²时最高,再增加氮肥用量籽粒氮素积累量降低^[16]。籽粒中氮素积累量以拔节期追氮处理最高,氮素在籽粒中的分配比例以抽穗期追氮最高,在根系中的分配比例则以全部底施处理最高。随追氮时期推迟,花后氮素积累量及其对籽粒氮素积累的贡献率增加,而转运氮素的贡献率降低^[22]。本试验表明,追氮时期显著影响施氮量对晚播冬小麦开花期和成熟期氮素积累与分配的调控效应,拔节期追施氮肥条件下,在 N2 基础上增加 25% 氮肥对开花期的氮素积累总量无显著促进作用,但在拔节期+开花期追施氮肥条件下效果显著;同一施氮量条件下,拔节期追施氮肥有利于提高营养器官积累氮素向籽粒的转运,而拔节期+开花期追施氮肥则利于提高开花后籽粒氮素积累量及其对籽粒氮素积累的贡献率,促进了氮素在籽粒中的积累,有利于提高氮肥的利用率。

干物质和养分积累是作物器官分化、产量形成的前提,养分吸收是干物质形成和累积的基础^[23]。光合生产直接与氮供应相关,当氮供应很低时,干物质,特别是叶片干物质质量会降低,而叶片干物质质量的减少影响了光合生产和再生器官内同化物的分布^[24]。小麦籽粒干物质主要来自花后的光合作用和花前贮藏在营养器官中的碳水化合物的再转运^[25]。随施氮量的增加,冬小麦各生育期干物质积累量增大^[26],成熟期各器官干物质积累量、花后营养器官干物质转运量和转运率先增后降;开花后干物质积累对籽粒的贡献率亦呈先增后降的趋势^[27]。本试验条件下,晚播冬小麦成熟期的干物质积累量在 S1 条件下为 N3>N2>N1, S2 条件下 N2 与

N3 无显著差异,显著高于 N1 处理。可见施氮量对干物质积累量的调控效应因施氮时期的改变表现不同。拔节期+开花期追施氮肥较拔节期追施氮肥降低了开花期干物质积累量、营养器官积累干物质的转运量、转运率及其对籽粒干物质积累的贡献率,提高了成熟期的干物质积累量、开花至成熟阶段的干物质积累强度和花后籽粒干物质积累量。

氮收获指数可以描述植物向籽粒分配氮的能力,是衡量作物对氮利用效率的指标之一。Loffer^[28]认为小麦氮收获指数一般在 0.55—0.74 之间。本试验条件下,晚播冬小麦氮收获指数在 0.87—0.88 之间,且改变施氮量和施氮时期对氮收获指数无显著影响。氮肥吸收利用率和氮肥偏生产力是用来表示氮肥利用率的常用定量指标,他们从不同的侧面描述了作物对氮肥的利用效率^[29]。氮肥吸收利用率、氮肥偏生产力随施氮量增加而降低^[30-31];相同施氮条件下增加追肥氮的比例,有利于提高氮肥吸收利用率;在相同的氮素底追比例下,将 240 kg/hm²施氮量降至 168 kg/hm²,氮肥吸收利用率、氮肥偏生产力提高^[32]。Jiang 等^[33]认为施氮量对氮肥吸收利用率的影响因品种而异。增施氮肥降低了氮肥偏生产力,改变施氮时期对氮肥偏生产力无显著影响;拔节期+开花期追施氮肥较拔节期追施氮肥显著提高氮素吸收利用率。在 N2 基础上增加 25% 施氮量对籽粒产量无显著促进作用,同一施氮量条件下,籽粒产量和氮肥吸收利用率均为 S2>S1。可见拔节期+开花期追施氮肥,总施氮量 225 kg/hm²为晚播冬小麦实现高产和高效的最优氮肥运筹模式。关于施氮量与追氮时期对晚播冬小麦氮素代谢的生理生态机制还需深入研究。

References:

- [1] Hirel B, Andrieu B, Valadier M H, Renard S, Quilleré I, Chelle M, Pommel B, Fournier C, Drouet J L. Physiology of maize II: Identification of physiological markers representative of the nitrogen status of maize (*Zea mays*) leaves during grain filling. *Physiologia Plantarum*, 2005, 124(2): 178-188.
- [2] Han X W, Yang S P, Zhang R, Zhang H J, Su G Z. Effect of nitrogen and sulfur fertilizer application on wheat grain yield and quality. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(1): 280-285.
- [3] Zhang M, Shi Y X, Yang S X, Yang Y C. Status quo of study of controlled-release and slow-release fertilizers and progress made in this respect. *Journal of the Chemical Fertilizer Industry*, 2001, 28(5): 27-30.
- [4] Fischer R A. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Research*, 1993, 33(1/2): 57-80.
- [5] Liu L J. Experience and countermeasures for late-sowing winter wheat. *Agricultural Science and Technology*, 2011, (5): 102-103.
- [6] Xue X Z, Wang Z M, Qin Y. Influence of fertilization and sowing date on growth and water consumption of winter wheat with no irrigation after sowing. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(4): 78-83.
- [7] Gao Q L, Xue X, Liang Y J, Wu Y E, Ru Z G. Studies on regulating sowing time of wheat under the warm winter conditions. *Journal of Triticeae Crops*, 2002, 22(2): 46-50.
- [8] Carr P M, Horsley R D, Poland W W. Tillage and seeding rate effects on wheat cultivars: I. Grain production. *Crop Science*, 2003, 43(1): 202-209.
- [9] Carr, P M, Horsley R D, Poland W W. Tillage and seeding rate effects on wheat cultivars: II. Yield components. *Crop Science*, 2003, 43(1): 210-218.
- [10] Shen X S, Li J C, Qu H J, Wei F Z, Wang C Y. Effects of planting density on assimilation, accumulation, distribution and use efficiency of nitrogen in late sowing winter wheat. *Journal of China Agricultural University*, 2009, 14(4): 41-46.
- [11] Zhang S Q, Fang B T, Wang Z M, Zhou S L, Zhang Y H. Influence of different spring irrigation treatments on water use and yield formation of late-sowing winter wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 2035-2044.
- [12] Pan J, Jiang D, Dai T B, Lan T, Cao W X. Variation in wheat grain quality grown under different climatic conditions with different sowing dates. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3): 467-473.
- [13] Li H S, Song J M, Liu A F, Cheng D G, Wang X Z, Du C L, Zhao Z D, Liu J J. Effect of sowing time and planting density on yield and components of 'Jimai22' with super-high yield. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(5): 243-248.
- [14] Liu X, Yin Y P, He M R, Wang Z L. Effects of sowing date on activities of enzymes involved in grain starch synthesis and starch component accumulation in wheat cultivar Gaocheng 8901. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(7): 1063-1070.
- [15] Stevens W B, Hoeft 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.
- [16] Zhao M X, Zhou J B, Yang R, Zheng X F, Zhai B N, Li S X. Characteristics of nitrogen accumulation, distribution and translocation in winter wheat on dryland. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(2): 143-149.
- [17] Shukla A K, Ladha J K, Singh V K, Dwivedi B S, Balasubramanian V, Gupta R K, Sharma S K, Singh Y, Pathak H, Pandey P S, Padre A T, Yadav R L. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a systems perspective. *Agronomy Journal*, 2004, 96(6): 1606-1621.
- [18] Xu G W, Tan G L, Wang Z Q, Liu L J, Yang J C. Effects of wheat-residue application and site-specific nitrogen management on grain yield and quality and nitrogen use efficiency in direct-seeding rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(8): 2736-2746.
- [19] Jiang D, Xie Z J, Cao W X, Dai T B, Jiang Q. Effects of Post-anthesis drought and water-logging on photosynthetic characteristics, assimilates transportation in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(2): 175-182.
- [20] Wang Y F, Yu Z W, Li X X, Yu S L. Effects of soil fertility and nitrogen application rate on nitrogen absorption and translocation, grain yield, and grain protein content of wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1868-1872.
- [21] Wang X Y, Yu Z W. Effect of irrigation rate on absorption and translocation of nitrogen under different nitrogen fertilizer rate in wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10): 3015-3024.
- [22] Ma D Y, Guo T C, Yue Y J, Song X, Zhu Y J, Wang C Y, Wang Y H. Effects of nitrogen application at different developmental stages on nitrogen accumulation and translocation in winter wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(2): 262-268.
- [23] Song H X, Li S X. Dynamics of nutrient accumulation in maize plants under different water and N supply conditions. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(1): 71-76.
- [24] Dordas C A, Lithourgidis A S, Matsi T, Barbayiannis N. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, 80(3): 283-296.
- [25] Hu M Y, Zhang Z B, Xu P, Dong B D, Li W Q, Li J J. Relationship of water use efficiency with photo assimilate accumulation and transport in wheat under deficit irrigation. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(11): 1711-1719.
- [26] Guo D, Dang T H, Qi L H. Process study of dry matter accumulation and nitrogen absorption use of winter wheat under different N-fertilizer rates on dry highland of loess plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(5): 138-141.
- [27] Zhang F Q, Wang X Y, Yu Z W, Wang X Z, Bai H L. Characteristics of accumulation and distribution of nitrogen and dry matter in wheat at yield level of ten thousand kilograms per hectare. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(6): 1086-1096.
- [28] Loffer C M, Rauch T L, Busch R H. Grain and plant protein relationships in hard red spring wheat. *Crop Science*, 1985, 25(3): 521-524.
- [29] Novoa R, Loomis R S. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil*, 1981, 58(1/3): 177-204.
- [30] Liu L J, Sang D Z, Liu C L, Wang Z Q, Yang J C, Zhu Q S. Effects of real-time and site-specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [31] Jiang L G, Cao W X, Gan X Q, Wei S Q, Xu J Y, Dong D F, Chen N P, Lu F Y, Qin H D. Nitrogen uptake and utilization under different nitrogen management and influence on grain yield and quality in rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(4): 490-496.
- [32] Ma X H, Yu Z W, Liang X F, Yan H, Shi G P. Effects of nitrogen application rate and ratio of base and topdressing on nitrogen absorption, utilization, grain yield, and grain protein content in winter wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(2): 150-155.
- [33] Jiang L G, Dai T B, Jiang D, Cao W X, Gan X Q, Wei S Q. Characterizing physiological N-use efficiency as influenced by nitrogen management in three rice cultivars. *Field Crops Research*, 2004, 88(2/3): 239-250.

参考文献:

- [2] 韩新文, 杨淑萍, 张睿, 张宏纪, 孙光祖. 氮肥与硫肥施用对相同 HMW-GS 组分春小麦产量与品质的影响. *中国农学通报*, 2008, 24(1): 280-285.
- [3] 张民, 史衍玺, 杨守祥, 杨越超. 控释和缓释肥的研究现状与进展. *化肥工业*, 2001, 28(5): 27-30.
- [5] 刘林杰. 晚播冬小麦高产经验及对策. *农业科技通讯*, 2011, (5): 102-103.
- [6] 薛绪掌, 王志敏, 秦勇. 充足底墒播后不灌水时肥料和播期组合对小麦生长和耗水的影响. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(4): 78-83.
- [7] 邵庆炉, 薛香, 梁云娟, 吴玉娥, 茹振钢. 暖冬气候条件下调整小麦播种期的研究. *麦类作物学报*, 2002, 22(2): 46-50.
- [10] 沈学善, 李金才, 屈会娟, 魏凤珍, 王成雨. 种植密度对晚播冬小麦氮素同化积累分配及利用效率的影响. *中国农业大学学报*, 2009, 14(4): 41-46.
- [11] 张胜全, 方保停, 王志敏, 周顺利, 张英华. 春灌模式对晚播冬小麦水分利用及产量形成的影响. *生态学报*, 2009, 29(4): 2035-2044.
- [12] 潘洁, 姜东, 戴廷波, 兰涛, 曹卫星. 不同生态环境与播种期下小麦籽粒品质变异规律的研究. *植物生态学报*, 2005, 29(3): 467-473.
- [13] 李豪圣, 宋健民, 刘爱峰, 程敦公, 王西芝, 杜长林, 赵振东, 刘建军. 播期和种植密度对超高产小麦‘济麦 22’产量及其构成因素的影响.

- 响. 中国农学通报, 2011, 27(5): 243-248.
- [14] 刘霞, 尹燕桦, 贺明荣, 王振林. 播期对小麦品种藁城 8901 籽粒淀粉合成相关酶活性及淀粉组分积累的影响. 作物学报, 2006, 32(7): 1063-1070.
- [16] 赵满兴, 周建斌, 杨绒, 郑险峰, 翟丙年, 李生秀. 不同施氮量对旱地不同品种冬小麦氮素累积、运输和分配的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 143-149.
- [18] 徐国伟, 谈桂露, 王志琴, 刘立军, 杨建昌. 秸秆还田与实地氮肥管理对直播水稻产量、品质及氮肥利用的影响. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2736-2746.
- [19] 姜东, 谢祝捷, 曹卫星, 戴廷波, 荆奇. 花后干旱和渍水对冬小麦光合特性和物质运转的影响. 作物学报, 2004, 30(2): 175-182.
- [20] 王月福, 于振文, 李尚霞, 余松烈. 土壤肥力和施氮量对小麦氮素吸收运转及籽粒产量和蛋白质含量的影响. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1868-1872.
- [21] 王小燕, 于振文. 不同施氮量条件下灌溉量对小麦氮素吸收运转和分配的影响. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3015-3024.
- [22] 马冬云, 郭天财, 岳艳军, 宋晓, 朱云集, 王晨阳, 王永华. 不同时期追氮对冬小麦植株氮素积累及转运特性的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 262-268.
- [23] 宋海星, 李生秀. 玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率的动态变化. 中国农业科学, 2003, 36(1): 71-76.
- [25] 胡梦芸, 张正斌, 徐萍, 董宝娣, 李魏强, 李景娟. 亏缺灌溉下小麦水分利用效率与光合产物积累运转的相关研究. 作物学报, 2007, 33(11): 1711-1719.
- [26] 郭栋, 党廷辉, 戚龙海. 黄土旱塬不同氮肥用量下冬小麦干物质累积和氮素吸收利用过程研究. 水土保持学报, 2008, 22(5): 138-141.
- [27] 张法全, 王小燕, 于振文, 王西芝, 白洪立. 公顷产 10000 kg 小麦氮素和干物质积累与分配特性. 作物学报, 2009, 35(6): 1086-1096.
- [30] 刘立军, 桑大志, 刘翠莲, 王志琴, 杨建昌, 朱庆森. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [31] 江立庚, 曹卫星, 甘秀芹, 韦善清, 徐建云, 董登峰, 陈念平, 陆福勇, 秦华东. 不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品质的影响. 中国农业科学, 2004, 37(4): 490-496.
- [32] 马兴华, 于振文, 梁晓芳, 颜红, 史桂萍. 施氮量和底追比例对小麦氮素吸收利用及子粒产量和蛋白质含量的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 150-155.

《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 16 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 16 (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:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, 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:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, 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