

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第17期 Vol.31 No.17 **2011**

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 31 卷 第 17 期

2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

海洋生态资本理论框架下海洋生物资源的存量评估·····	任大川,陈 尚,夏 涛,等 (4805)
内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响·····	贾 彤,任安芝,王 帅,等 (4811)
基于遥感图像处理技术胡杨叶气孔密度的估算及其生态意义·····	蒋圣淇,赵传燕,赵 阳,等 (4818)
水文变异下的黄河流域生态流量·····	张 强,李剑锋,陈晓宏,等 (4826)
黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果·····	管 博,于君宝,陆兆华,等 (4835)
浙江省某 PCBs 废物储存点对其邻近滩涂生态系统的毒性风险·····	何闪英,陈昆柏 (4841)
鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征·····	胡启武,朱丽丽,幸瑞新,等 (4851)
三峡库区银鱼生长特点及资源分析·····	邵晓阳,黎道峰,谭 路,等 (4858)
低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响 ···	刘 波,王美姝,谢 骏,等 (4866)
Cd ²⁺ 对角突臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫的急性毒性和生命表统计学参数的影响 ·····	许丹丹,席貽龙,马 杰,等 (4874)
圈养梅花鹿 BDNF 基因多态性与日常行为性状的关联分析 ·····	吕慎金,杨 燕,魏万红 (4881)
华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素 ·····	同小娟,李 俊,刘 渡 (4889)
长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响 ·····	谷艳芳,张 莉,丁圣彦,等 (4900)
蚯蚓对湿地植物光合特性及净化污水能力的影响·····	徐德福,李映雪,王让会,等 (4907)
三种农药对红裸须摇蚊毒力和羧酸酯酶活性的影响 ·····	方国飞 (4914)
六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向·····	刘金龙,宗世祥,张金桐,等 (4919)
除草剂胁迫对空心莲子草叶甲种群的影响及应对策略·····	刘雨芳,彭梅芳,王成超,等 (4928)
荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义 ·····	施 翔,王建成,张道远,等 (4935)
限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应·····	蒿宝珍,姜丽娜,方保停,等 (4941)
准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征 ·····	王丽娟,孙栋元,赵成义,等 (4952)
基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究 ·····	聂建亮,武建军,杨 曦,等 (4961)
岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征 ·····	汪智军,梁 轩,贺秋芳,等 (4970)
施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响 ·····	尹 丽,胡庭兴,刘永安,等 (4977)
黄土丘陵区羔沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化 ·····	王凯博,上官周平 (4985)
克隆整合提高淹水胁迫下狗牙根根部的活性氧清除能力·····	李兆佳,喻 杰,樊大勇,等 (4992)
低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果·····	杨文斌,董慧龙,卢 琦,等 (5000)
东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价·····	莫 菲,李叙勇,贺淑霞,等 (5009)
11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化 ·····	张利敏,王传宽,唐 艳 (5017)
连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较·····	田大伦,沈 燕,康文星,等 (5025)
最优化设计连续的自然保护区·····	王宜成 (5033)
基于自然地理特征的长江口水域分区·····	刘录三,郑丙辉,孟 伟,等 (5042)
煤电一体化开发对锡林郭勒盟环境经济的影响·····	吴 迪,代方舟,严 岩,等 (5055)
专论与综述	
生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响·····	侯春生,张学锋 (5061)
研究简报	
胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化·····	张崇良,徐宾铎,任一平,等 (5071)
湿地公园研究体系构建·····	王立龙,陆 林 (5081)
基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例·····	杨 艳,牛建明,张 庆,等 (5096)
学术信息与动态	
恢复与重建自然与文化的和谐——2011 生态恢复学会国际会议简介 ···	彭少麟,陈蕾伊,侯玉平,等 (5105)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2011-09	



封面图说: 相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

葛宝珍,姜丽娜,方保停,张英华,张菡,李春喜,王志敏. 限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应. 生态学报, 2011, 31(17): 4945-4951.

Hao B Z, Jiang L N, Fang B T, Zhang Y H, Zhang H, Li C X, Wang Z M. Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(17): 4945-4951.

限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征 及其对供氮的响应

葛宝珍^{1,2}, 姜丽娜³, 方保停⁴, 张英华¹, 张 菡³, 李春喜³, 王志敏^{1,*}

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 新乡学院, 新乡 453000;
3. 河南师范大学生命科学学院, 新乡 453007; 4. 河南省农科院小麦研究中心, 郑州 450002)

摘要:以高产冬小麦品种周麦 18 为材料,在大田春灌 1 水条件下,设置不同供氮水平和氮肥运筹处理试验,研究并探讨了在华北地区限水灌溉条件下氮肥施用对冬小麦冠层叶片氮素时空分布与转运及氮肥利用的影响。结果表明,冬小麦适量施氮可显著增产,2008—2009 年以施氮量 180 kg/hm²时(N21)产量最高,为 8749 kg/hm²;2009—2010 年以施氮量 270 kg/hm²时(N32)产量最高,但施氮量 210 kg/hm²(N22)处理与 N32 处理产量无显著差异,分别为 8340 kg/hm²和 8558 kg/hm²。氮肥利用效率和氮肥偏生产力均随施氮量增加而降低;氮肥利用率与氮肥农学效率均随施氮量的增加呈先升后降的趋势,分别在 N21 和 N22 处理时最高。冠层叶片氮素含量和积累量随叶层层次自上而下降低而下降,垂直梯度分明,各时期冠层叶片氮素垂直梯度随施氮量的增加总体呈先增大后减小的趋势。冠层叶片氮素转运量、转运率和对籽粒的贡献率均呈现为:第 1 层>第 2 层>第 3 层>第 4 层。相关分析表明,冠层叶片氮素梯度与叶片氮素转运率呈显著正相关关系($R^2=0.722^*$),与贡献率呈极显著正相关关系($R^2=0.975^{**}$)。适量施氮(120—210 kg/hm²)增大了叶层间氮素垂直分布梯度,促进了氮素在植株内的运移分配,有利于叶片氮素向外转运,提高了叶片氮素转运量和对籽粒贡献率,保持了较高的氮素利用率。施氮过多(330 kg/hm²)减小了叶层间氮素垂直分布梯度,减弱了氮素在植株内的再利用,叶片氮素转运不畅,导致叶片氮素转运量和对籽粒贡献率下降,氮素利用率显著降低。连续两年试验结果显示,通过适量氮肥调控可以增大冠层叶片氮素垂直梯度,有利于叶片中的氮素输出,促进氮素的再分配、再利用,从而提高氮素利用率,并可获得较高的籽粒产量和蛋白质含量。

关键词:冬小麦;施氮量;限水灌溉;氮素垂直分布;氮素转运;氮素利用率

Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition

HAO Baozhen^{1,2}, JIANG Lina³, FANG Baoting⁴, ZHANG Yinghua¹, ZHANG Han³, LI Chunxi³,
WANG Zhimin^{1,*}

1 College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 College of Xinxiang, Xinxiang 453000, China

3 College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China

4 Wheat Research Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China

Abstract: To study optimum N application rates for winter wheat under limited irrigation in North China Plain and the influence of N fertilization on distribution and remobilization of leaf nitrogen in wheat canopy, field experiments were carried

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB118600);农业部现代小麦产业技术体系和公益性行业科研专项项目(200903007)

收稿日期:2011-05-15; 修订日期:2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhimin206@263.net

out in Xunxian Institute of Agricultural Sciences, Henan, China in 2008—2009 and 2009—2010, using the wheat cultivar Zhoumai 18 which has high yield potential. Under only one spring irrigation of 75 mm, six N application rates, i. e., 0, 120, 180, 240, 300 and 360 kg/hm², and five N application rates, i. e., 0, 120, 210, 270 and 330 kg/hm², were set up in 2008—2009 and 2009—2010, respectively. The results showed that appropriate N fertilization rates increased winter wheat yield significantly, and the grain yield at N fertilization rate of 180 kg/hm² was the highest in 2008—2009, and the grain yields at N fertilization rates of 210 kg/hm² and 270 kg/hm² were 8340 kg/hm² and 8558 kg/hm² respectively in 2009—2010, higher than those of other treatments. N utilization efficiency (NUE) and partial factor productivity of N (PFPN) reduced with increasing N application rates, the recovery efficiency of applied N (REN) and agronomic efficiency of applied N (AEN) increased at first and then decreased with increasing N application rates, and reached the highest at 180 kg N/hm² and 210 kg N/hm² treatments respectively. Leaf N content and accumulation amount significantly increased after N fertilization and decreased with lowering leaf layers during grain-filling stage. Leaf N remobilization amount, remobilization efficiency and contribution of N remobilization to N content of grain declined in the order of the 1st leaf layer > 2nd leaf layer > 3rd leaf layer > 4th leaf layer. With increasing N application rate, vertical distribution gradients of leaf N in canopy first increased and then decreased. Vertical canopy gradients of leaf N content were significantly correlated with leaf N remobilization efficiency ($R^2=0.722^*$), and highly significant correlated with contribution of N remobilization to N content of grain ($R^2=0.975^{**}$). Optimum N application rates (120—210 kg/hm²) enhanced leaf N vertical gradients in canopy, improved N recycling within plant, increased leaf N remobilization amount, remobilization efficiency and contribution of N remobilization to N content of grain and maintained higher REN. High N application rate (330 kg/hm²) reduced leaf N vertical gradients in canopy, inhibited N recycling within plant, reduced leaf N remobilization amount, remobilization efficiency and contribution of N remobilization to N content of grain and decreased REN significantly. The two-year results showed that under limited irrigation, the N application rates within 180—210 kg/hm² optimized vertical leaf N distribution, improved leaf N remobilization in canopy, and gained higher grain yield, grain protein content and REN.

Key Words: winter wheat; N application rate; limited irrigation; vertical gradients of leaf N; N remobilization; N utilization efficiency

氮是小麦获得高产的必不可少的营养元素,在作物生产系统中具有极其重要的作用^[1]。近年来,在我国的华北小麦主产区,氮肥的过量施用导致氮肥增产效益和利用效率大幅度下降的现象较为明显^[2-5],因此,减少过多的氮肥投入,提高小麦氮肥利用效率是小麦生产可持续发展的必然要求^[6-8],而实现该目标的一个重要途径就是通过促进植株氮的循环利用,尤其是植株衰老器官氮的再运转,从而提高氮肥利用效率^[9]。然而,在小麦生产中,既要维持后期叶片光合功能,又要促进营养体氮素高效地运转,这两者之间存在一定的矛盾性,如何协调两者关系是实现高产优质高效栽培需要研究的重要科学问题。解决这一问题的一条重要思路是优化调节冠层氮素分布、合理促进冠层叶片氮的有序转运。叶片是小麦籽粒中氮素的重要来源,小麦叶片中氮素的再转运对籽粒中氮素的贡献率可达 50%—90%^[10],而花后叶片氮素向籽粒的转运与小麦冠层不同叶位叶片的氮素营养状况密切相关^[11]。不同的供氮水平通过改变叶片氮营养状况,从而对冠层叶片氮素的垂直分布发挥不同的调控作用^[11-15]。研究表明,供氮充足时,冠层叶片中氮的分布相对稳定,供氮不足时,冠层叶片中氮的分布波动较大,并主要受冠层扩充及氮的运转协同作用的影响^[16]。但目前有关小麦高产高效群体冠层氮分布和氮转运特征及其与适宜施氮量的关系并不完全清楚。华北小麦主产区水资源的严重匮乏已经成为该地区小麦生产的主要限制因素,发展小麦节水栽培意义重大^[17]。而目前有关节水栽培条件下氮素对冬小麦冠层叶片氮素垂直分布及转运的影响研究还很少。本研究的目的就是在限水灌溉条件下,探讨不同供氮水平对冬小麦冠层叶片氮素垂直分布特征、叶片氮素转运特点及氮素利用的影响,以为节水栽培冬小麦高产优质高效栽培合理施用氮肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验田概况

试验于 2008—2009、2009—2010 年分别在河南省浚县农科所和浚县原种农场试验田进行,两试验点均位于河南省浚县钜桥镇(北纬 35°41′,东经 114°33′),属暖温带半湿润半干旱大陆性季节气候,年日照时数 2160.3 h,≥0℃ 积温 5135.2℃,无霜期 225 d,年太阳辐射总量 505.4 kJ/cm²,年平均降雨量 635.9 mm,2008—2009 年生育期共降雨 183.8 mm,2009—2010 年生育期共降雨 146.1 mm。前茬作物为夏玉米。土壤类型均为潮土,黏壤质,农科所试验田 0—20 cm 土层含有机质 16.5 g/kg,全氮 1.1 g/kg,碱解氮 89 mg/kg,速效磷 15.9 mg/kg,速效钾 109 mg/kg。原种农场试验田 0—20 cm 土层含有机质 13.2 g/kg,全氮 1.1 g/kg,碱解氮 72.6 mg/kg,速效磷 24.3 mg/kg,速效钾 123.6 mg/kg。

1.2 试验设计

2008—2009 生长季,小麦播期为 2008 年 10 月 18 日,2009 年 6 月 4 日收获,基本苗 3.0×10⁶株/hm²。供试小麦(*Triticum aestivum* L.)品种为周麦 18。试验设置 6 个施氮水平,包括不施氮肥(N0 处理)、一次性底施纯氮 120 kg/hm²(N1 处理)、底施纯氮 120 kg/hm²+追施 60 kg/hm²(N21 处理)、底施纯氮 120 kg/hm²+追施 120 kg/hm²(N31 处理)、底施纯氮 120 kg/hm²+追施 180 kg/hm²(N41 处理)、底施纯氮 120 kg/hm²+追施 240 kg/hm²(N5 处理),追肥在拔节期结合灌水进行。各处理小麦播种前均将玉米秸秆粉碎翻压还田,磷钾肥全部底施,施磷肥(P₂O₅)138 kg/hm²,钾肥(K₂O)112.5 kg/hm²,硫酸锌 22.5 kg/hm²。小麦播种前底墒较好,故未灌底墒水,全生育期只灌拔节水,采用畦灌方式,灌水量为 750 m³/hm²。小区面积为 40 m²(4 m×10 m),随机区组排列,重复 3 次。

2009—2010 生长季,小麦播期 2009 年 10 月 20 日,2010 年 6 月 13 日收获,基本苗 4.0×10⁶株/hm²。在 2008—2009 生长季的试验基础上,调整了拔节期追氮量,试验设置 5 个施氮水平,包括不施氮肥(N0 处理)、一次性底施纯氮 120 kg/hm²(N1 处理)、底施纯氮 120 kg/hm²+追施 90 kg/hm²(N22 处理)、底施纯氮 120 kg/hm²+追施 150 kg/hm²(N32 处理)、底施纯氮 120 kg/hm²+追施 210 kg/hm²(N42 处理),其余同 2008—2009 生长季。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 植株氮素积累测定及计算方法

分别于开花期、花后 12d、花后 24d 和花后 34d(成熟期)取 2 个 50 cm 长样段,每处理 3 次重复,样品分为叶片、茎鞘、穗颖及籽粒等器官,叶片又分为旗叶、倒二叶、倒三叶、倒四叶和余叶,105℃杀青 30 min,80℃烘干至恒重,称干重,烘干植株样品粉碎过筛,采用 GB29052—1982 半微量凯氏定氮法测定植株各器官氮素含量,籽粒蛋白质含量按籽粒全氮量的 5.7 倍换算。植株氮素积累、转运及利用参数计算方法如下^[18-19]:

氮素积累量(N accumulation amount, NAA, kg/hm²)=植株氮素含量×干物质质量;

营养器官氮素转运量(N remobilization amount, NRA, 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(N remobilization efficiency, NRE, %)=营养器官氮素转运量/开花期营养器官氮素积累量×100;

营养器官氮素贡献率(Contribution of N remobilization to N content of grain, CNR, %)=营养器官氮素转运量/成熟期籽粒氮素积累量×100;

氮素利用效率(N utilization efficiency, NUE, kg/kg)=经济产量/成熟期地上部氮素积累量;

氮肥偏生产力(Partial factor productivity of N, PFPN, kg/kg)=经济产量/施氮量;

籽粒蛋白质产量(Grain protein yield, kg/hm²)=籽粒蛋白质含量×籽粒干重;

氮肥利用率(Recovery efficiency of applied N, REN, %)=(施氮区植株地上部氮素积累量-不施氮区植株地上部氮素积累量)/施氮量;

氮肥农学效率(Agronomic efficiency of applied N, AEN, kg/kg) = (施氮区产量 - 不施氮区产量) / 施氮肥量。

1.3.2 冠层叶片垂直分层

参照王之杰等^[20]的方法,将 1.3.1 中各时期所取植株冠层叶片自上而下垂直分为 4 个层次,分别为旗叶层、倒 2 叶层、倒 3 叶层和倒 4 叶层,按顺序分别命名为第 1、2、3、4 层。

冠层叶片氮素梯度以相邻上下两层叶片氮素含量的差值计算,第 1、2 层叶片氮素含量之差为第 1 梯度,第 2、3 层差为第 2 梯度,第 3、4 层差为第 3 梯度。

1.3.3 测产及考种

成熟期从各小区选取 4 m² (2 m × 2 m) 样点,单独人工收割,脱粒后风干计产,每处理 3 次重复,同时每小区取两个 1 m 长样段,用于考察穗数、穗粒数和千粒重。

库容量($\times 10^7$ 粒/hm²) = 单位土地面积穗数 × 每穗结实粒数

1.3.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 11.0 统计软件进行数据处理和统计分析, LSD 法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 冠层叶片氮素含量的空间动态分布

不同供氮处理花后不同层次叶片含氮量的变化趋势基本相似,随着生育进程的推进,各层次叶片氮素含量总体呈下降趋势,开花期最高,成熟期最低(图 1)。开花期至花后 24d,叶片氮素含量随冠层层次的降低而降低,梯度分明,而成熟期第 2—4 层叶片氮素含量高于第 1 层。不同层次叶片氮素含量在不同时期对追氮的反应有所不同。第 1 层氮素含量,在开花期和花后 12d,各追氮处理间(N1—N42)差异均未达到显著水平,而花后 24d 和成熟期, N42 处理分别比 N1 处理分别提高了 24.08%、29.08%,且追氮处理间差异达显著水平,表明拔节期重追氮显著提高了第 1 层灌浆后期的氮素含量,而对开花—花后 12d 第 1 层氮素含量的影响较小;第 2 层氮素含量的变化趋势基本与第 1 层一致;第 3 层氮素含量,在开花期 N42 处理比 N1 处理提高了 9.16%,而在花后 12d、24d 和成熟期, N42 处理分别比 N1 处理提高了 29.63%、32.57%、25.61%,可以看出,重追氮明显提高了花后第 3 层叶片氮素含量,其影响效应在灌浆中后期更显著;第 4 层氮素含量,在开花期至成熟期的 4 次测定值, N42 处理比 N1 处理分别提高了 24.65%、40.54%、32.82%、24.02%,追氮显著提高了第 4 层各时期的氮素含量。上述结果表明,拔节期追氮对花后各层叶片均有增氮效应,对下层叶片的增氮效应出现早且持续时间长,随着灌浆进程的推进,对中、上层叶片增氮效应逐渐显现。

2.2 冠层叶片氮素梯度的动态变化

以相邻两叶片间氮浓度差反映冠层氮梯度。由表 1 可知,开花期至花后 24d,不同层次叶片间存在明显的氮素垂直分布梯度。开花期叶片氮素垂直分布梯度值的大小为:第 3 梯度 > 第 2 梯度 > 第 1 梯度,表明进入开花期,第 4 层叶片已有较多氮素向冠层上部转运,致使第 3 层与第 4 层氮素含量出现较大梯度;至花后 12 天,第 3 梯度较开花期减小,而第 1、2 梯度较开花期增大,且第 2 梯度增幅大于第 1 梯度,梯度值相对大小表现为第 2 梯度 > 第 3 梯度 > 第 1 梯度,说明此时期第 3 层叶片氮素向外转运相对较多,第 2 层叶片也有少量转运;至花后 24d,各梯度值皆进一步下降,特别是第 2、3 梯度值已减小至很低水平,梯度值相对大小表现为第 1 梯度 > 第 2 梯度 > 第 3 梯度,说明第 2—4 层叶片氮素均已大量转运,叶层间残留氮已基本相近;至成熟期,各氮素梯度值基本趋于 0 或负值。综合分析表明,冠层叶片氮素输出时间由下而上递进,花后氮素输出程度由下而上递增。各时期叶片氮素垂直分布梯度随施氮量的增加总体呈先增后减的趋势,表明适宜的施氮量可以增加叶层间的氮素垂直分布梯度,而过高的施氮量则降低了叶层间的氮素垂直分布梯度。

2.3 冠层叶片氮素的积累动态与转运特征

由图 2 可知,各叶层氮素积累量在开花期最高,随后持续降低,成熟期最低;各时期叶层氮素总量均表现上层高于下层。开花期和花后 12d 的叶层氮素积累量随追氮量(N1—N42)的增加呈升高或先升后降的趋势,基本上在 N32 处理时最高,增加追氮量(N42)叶层氮素积累量反而下降,而花后 24d 和成熟期的叶层氮素

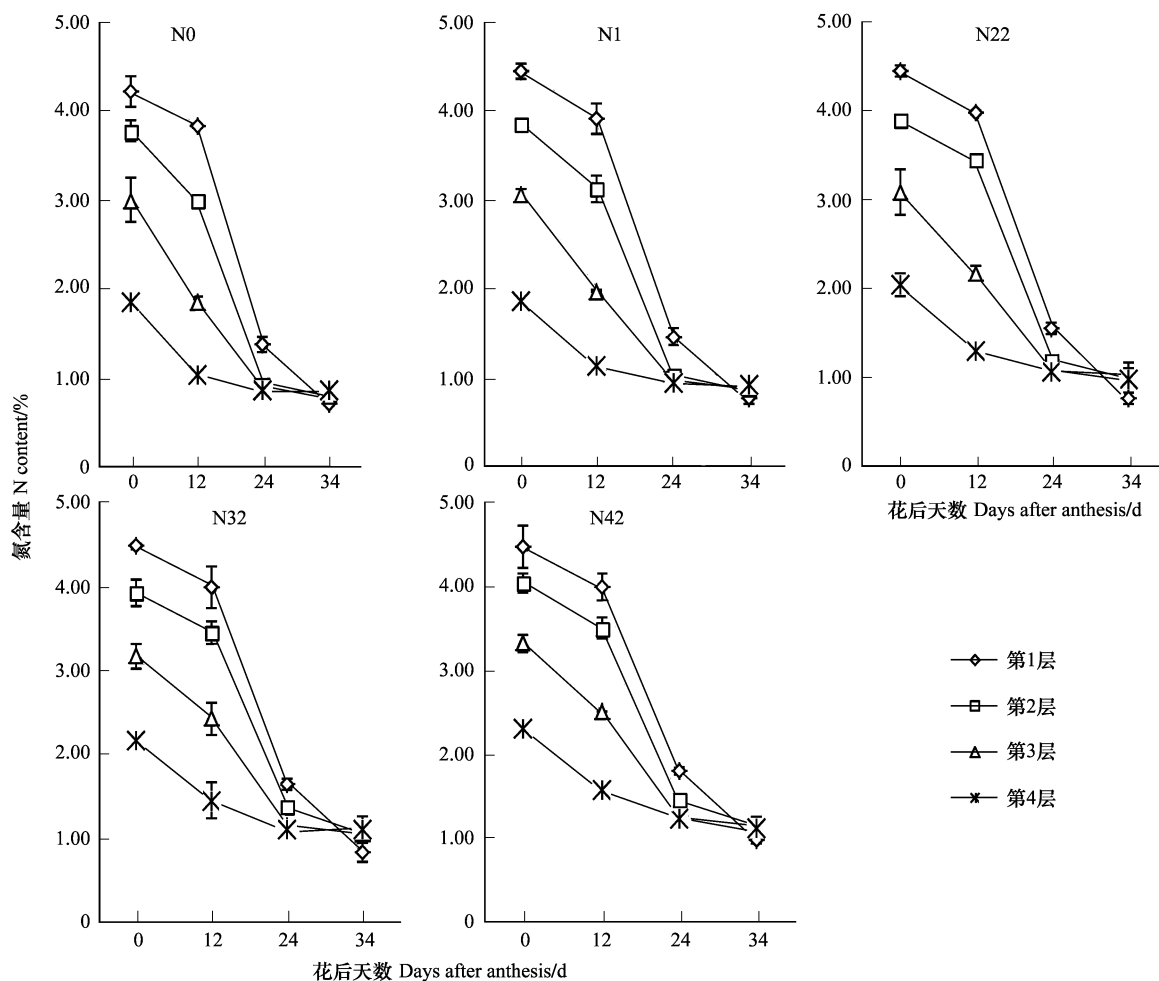


图 1 小麦冠层叶片氮含量的空间分布动态特征(2009—2010 年)

Fig. 1 Spatial variations of leaf nitrogen content in canopy of winter wheat (2009—2010)

表 1 小麦冠层叶片氮素垂直梯度的动态变化特征(2009—2010 年)

Table 1 Dynamic characteristics of vertical gradients of leaf N in canopy of winter wheat (2009—2010)

花后天数/d Days after anthesis	氮素梯度 N gradient	氮素处理 N treatment				
		N0	N1	N22	N32	N42
0	第1 梯度 First gradient/%	0.44±0.14a	0.59±0.06a	0.56±0.02a	0.55±0.07a	0.43±0.18a
	第2 梯度 Second gradient/%	0.78±0.06a	0.79±0.05a	0.80±0.14a	0.75±0.15a	0.72±0.11a
	第3 梯度 Third gradient/%	1.15±0.15a	1.20±0.07a	1.05±0.06a	1.02±0.07a	1.03±0.02a
12	第1 梯度 First gradient/%	0.84±0.03a	0.78±0.01a	0.53±0.03a	0.54±0.19a	0.54±0.21a
	第2 梯度 Second gradient/%	1.13±0.01b	1.14±0.07b	1.27±0.03a	1.03±0.03c	0.96±0.05c
	第3 梯度 Third gradient/%	0.81±0.00a	0.85±0.02a	0.86±0.05a	0.97±0.21a	0.95±0.02a
24	第1 梯度 First gradient/%	0.44±0.02a	0.43±0.04a	0.36±0.04ab	0.27±0.06b	0.35±0.02ab
	第2 梯度 Second gradient/%	0.04±0.07b	0.06±0.03ab	0.11±0.03ab	0.24±0.06a	0.18±0.03a
	第3 梯度 Third gradient/%	0.03±0.03a	0.02±0.02a	0.01±0.06a	0.04±0.03a	0.03±0.08a
34	第1 梯度 First gradient/%	-0.08±0.07a	-0.11±0.02a	-0.23±0.06a	-0.21±0.09a	-0.17±0.00a
	第2 梯度 Second gradient/%	0.00±0.07a	-0.03±0.01a	-0.03±0.04a	-0.01±0.01a	0.02±0.04a
	第3 梯度 Third gradient/%	-0.05±0.07a	-0.01±0.08a	0.05±0.00a	-0.05±0.10a	0.00±0.13a

同行不同字母表示差异在 5% 显著水平

积累量随追氮量的增加呈持续升高的趋势。这表明,增加氮肥供给对叶片总氮的增加或减少其转运的效应主要表现在灌浆后期。

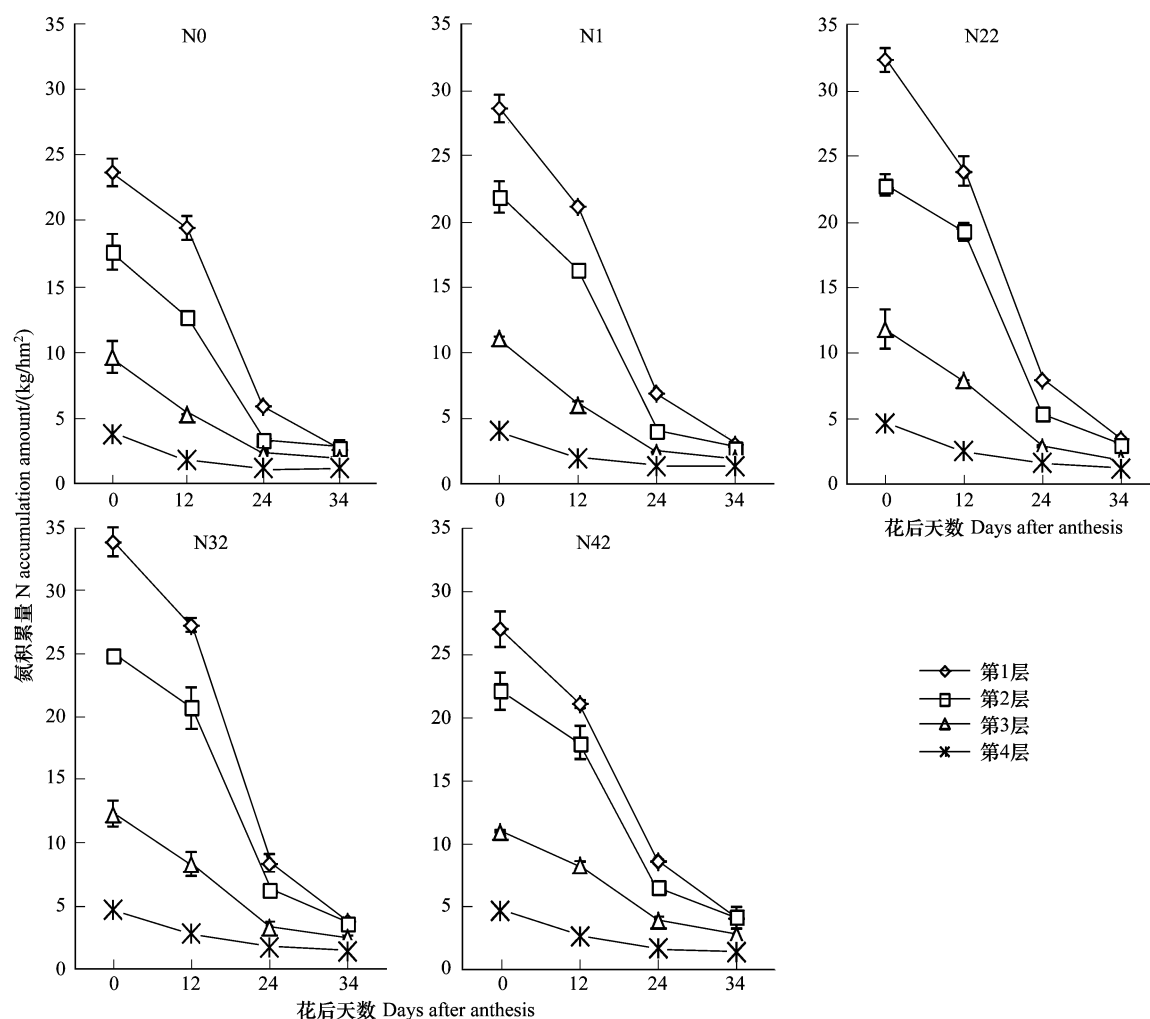


图2 小麦冠层叶片氮素积累量的动态变化特征(2009—2010 年)

Fig. 2 Dynamic characteristics of leaf nitrogen accumulation amount in canopy of winter wheat (2009—2010)

由表2可以看出,各叶层氮素转运量、转运率和贡献率均呈现为:第1层>第2层>第3层>第4层,各叶层转运量平均值分别为25.7 kg/hm²、18.6 kg/hm²、8.9 kg/hm²和3.1 kg/hm²,各叶层贡献率的平均值分别为14.5%、10.5%、5.1%、1.7%,其中第1—3层转运量、贡献率所占比例均在90%以上,说明上3叶是花后叶片氮素输出的主体。随施氮量的增加(N0—N42),冠层(1—4层)总氮素转运量、转运率和贡献率各参数均呈先增后降的趋势。第1、2层氮转运量以N32处理最高,而氮素转运率和贡献率均在N1时最高;第3、4层的氮转运量及转运率均以N22为最高,贡献率则分别在N1和N0最高。表明施氮过多不利于冠层叶片氮素的转运,导致部分氮素滞留在叶片中,不能被循环利用,适量施氮有利于叶片氮素向外转运,提高了冠层叶片氮素转运量、转运率和贡献率。

2.4 冬小麦氮素利用分析

从表3可以看出,两年试验中的氮素利用效率及氮肥偏生产力均随施氮量的增加而降低,且处理间差异显著,表明增加施氮量显著降低了小麦氮素利用效率和氮肥偏生产力。氮肥利用率与氮素农学效率均随施氮的增加呈先升后降的趋势,2009—2010年N22处理与N32处理无显著差异,皆显著高于N42处理;2008—2009年以N21处理最高,其与其他处理差异显著。两年试验结果表明,N22和N21处理可获得较高的氮肥利

用率和氮肥农学效率,而过高的施氮量则导致氮肥利用率与氮肥农学效率大幅下降。

表 2 小麦冠层叶片氮素转运特征(2009—2010 年)
Table 2 Remobilization characteristics of leaf N in canopy of winter wheat (2009—2010)

叶层 Leaf layer	转运参数 Remobilization parameter	氮素处理 N treatment				
		N0	N1	N22	N32	N42
第 1 层 First layer	转运量 NRA / (kg/hm ²)	20.96±0.83c	25.54±1.24b	28.93±1.49a	30.22±1.88a	22.88±0.61bc
	转运率 NRE/%	88.63±0.30a	89.18±0.61a	89.15±0.64a	89.17±1.05a	84.60±0.22b
	贡献率 CNR/%	14.82±0.23b	16.05±0.13a	15.00±0.57b	14.68±0.63b	12.03±0.08c
第 2 层 Second layer	转运量 NRA / (kg/hm ²)	14.85±1.08c	19.18±1.56ab	19.77±1.09ab	21.29±0.30a	17.96±1.15b
	转运率 NRE/%	84.10±0.32b	87.36±1.31ab	86.52±1.37ab	85.64±0.47a	80.93±0.39c
	贡献率 CNR/%	10.49±0.48b	12.04±0.46a	10.25±0.42b	10.35±0.07b	9.44±0.43c
第 3 层 Third layer	转运量 NRA / (kg/hm ²)	7.64±1.02b	9.08±0.47ab	9.94±1.14a	9.92±0.78a	8.19±0.21ab
	转运率 NRE/%	79.02±2.11b	82.04±1.19ab	83.61±1.85a	80.53±0.61ab	74.20±0.98c
	贡献率 CNR/%	5.39±0.55ab	5.70±0.06a	5.14±0.53ab	4.81±0.29bc	4.31±0.02c
第 4 层 Fourth layer	转运量 NRA / (kg/hm ²)	2.66±0.10a	2.75±0.30a	3.42±0.45a	3.20±0.39a	3.24±0.24a
	转运率 NRE/%	68.81±1.06a	67.54±1.20a	72.90±3.02a	69.45±3.71a	68.61±2.50a
	贡献率 CNR/%	1.88±0.03a	1.73±0.11ab	1.77±0.21a	1.55±0.16b	1.70±0.09ab
合计 Total	转运量 NRA / (kg/hm ²)	46.11±3.02c	56.55±3.58ab	62.06±4.17a	64.63±3.36a	52.27±2.20bc
	转运率 NRE/%	84.09±0.24b	86.03±0.93a	86.35±1.17a	85.41±0.60ab	80.42±0.04c
	贡献率 CNR/%	32.58±1.28b	35.51±0.77a	32.16±1.73b	31.40±1.01b	27.48±0.62c

同行不同字母表示差异在 5% 显著水平

表 3 不同处理下小麦的氮素利用特征
Table 3 Characteristics of N utilization under different treatments

年份 Year	氮素处理 N treatment	氮素利用效率 NUE/(kg/kg)	氮肥利用率 REN/%	氮素农学效率 AEN/(kg/kg)	氮肥偏生产力 PFPN/(kg/kg)
2009—2010	N0	41.13a	—	—	—
	N1	39.81a	16.36c	4.63b	62.88a
	N22	36.91b	26.70a	6.43a	39.71b
	N32	35.19b	27.12a	5.81a	31.69c
	N42	34.88b	19.37b	3.52c	24.70d
2008—2009	N0	31.13a	—	—	—
	N1	31.08a	16.00b	2.67b	68.50a
	N21	30.03a	20.89a	4.72a	48.60b
	N31	30.41a	14.86b	2.54b	35.50c
	N41	28.23b	12.74c	1.14c	27.50d
	N5	27.63b	9.63d	0.19d	22.10e

同列不同字母表示差异在 5% 显著水平

2.5 籽粒产量及其构成因素和蛋白质产量

由表 4 可见,2009—2010 年度 N22、N32、N42 处理间产量差异不显著,以 N32 最高;2008—2009 年度以 N21 处理产量最高。表明,在本试验条件下,底施纯氮 120 kg/hm²,追施纯氮在 60 kg/hm²和 90 kg/hm²时,可获得较高的产量水平,继续增加施氮量产量并不增加甚至下降。随施氮量增加,籽粒重表现下降的趋势。2009—2010 年籽粒蛋白质含量随施氮量的增加而升高,但 N22—N42 处理间差异不显著,且籽粒蛋白质产量以 N32 最高;2008—2009 年籽粒蛋白质含量随施氮量的增加呈先升高后降低的趋势,以 N31 处理最高,而籽粒蛋白质产量则以 N21 最大。可见,过量施氮并不一定导致籽粒蛋白质含量提高,而可能引起籽粒蛋白质产量下降。

表 4 不同处理对冬小麦籽粒产量、产量构成因素和蛋白质产量的影响

Table 4 Effect of different treatments on grain yield, yield components, and protein yield of winter wheat							
年份 Year	氮素处理 N treatment	穗粒数 Grain number per panicle	千粒重 1000-Kernel weight/g	库容量 Sink capacity ($\times 10^7$ 粒/ hm^2)	籽粒产量 Grain yield /(kg/hm^2)	籽粒蛋白质含量 Grain protein content/%	籽粒蛋白质产量 Grain protein yield /(kg/hm^2)
2009—2010	N0	29.7c	46.5a	17.9b	6990c	15.32c	897c
	N1	31.8b	47.1a	20.1b	7545b	15.92b	1000b
	N22	33.4a	46.0a	22.1a	8340a	16.19ab	1130a
	N32	34.6a	44.7b	23.1a	8558a	16.29a	1169a
	N42	34.9a	42.3c	23.5a	8153a	16.37a	1119a
2008—2009	N0	28.4b	45.7a	17.8d	7899c	13.3b	883.7c
	N1	29.4ab	45.2ab	19.0cd	8219b	13.8ab	952.1b
	N21	34.7a	45.0ab	24.6a	8749a	14.1a	1034.3a
	N31	32.9ab	44.8ab	22.1b	8509ab	14.2a	1010.3a
	N41	31.2ab	44.4ab	20.4bc	8242b	13.9ab	961.6b
	N5	31.0ab	42.9b	20.0bc	7969bc	13.7ab	913.2bc

同列不同字母表示差异在 5% 显著水平

2.6 施氮量与冠层叶片氮素转运、籽粒产量及蛋白质产量的关系

施氮量与冠层叶片氮素转运量及贡献率的关系如图 3、图 4 所示,可以看出,第 1—3 层叶片氮素转运量及贡献率对施氮量有较强的响应。通过对方程求导可知,在施氮量为 190—210 kg/hm^2 范围内,第 1—3 层叶片氮素转运量分别达到最大值;在施氮量为 120 kg/hm^2 时,第 1、2 层叶片氮素贡献率达到最高值,在施氮量为 85 kg/hm^2 时第 3 层叶片氮素贡献率达到最高值。可见,在本试验条件下,施氮量为 120—210 kg/hm^2 时,第 1—3 层叶片氮素转运量及对籽粒贡献率总体均处于较高水平。施氮量与籽粒产量、籽粒蛋白质含量及产量的关系如图 5 所示,随着施氮量的增加,籽粒产量、籽粒蛋白质含量及蛋白质产量的变化趋于平缓,且籽粒产量最先表现出明显的变缓趋势,其次为蛋白质产量,最后为籽粒蛋白质含量。相关分析表明,籽粒蛋白质含量与上 3 叶总转运量呈显著正相关($R^2=0.634^*$),与上 3 叶总贡献率呈显著负相关($R^2=-0.697^*$),表明籽粒蛋白质含量的增加既依赖于叶片氮转运,也依赖于后期吸氮的贡献。

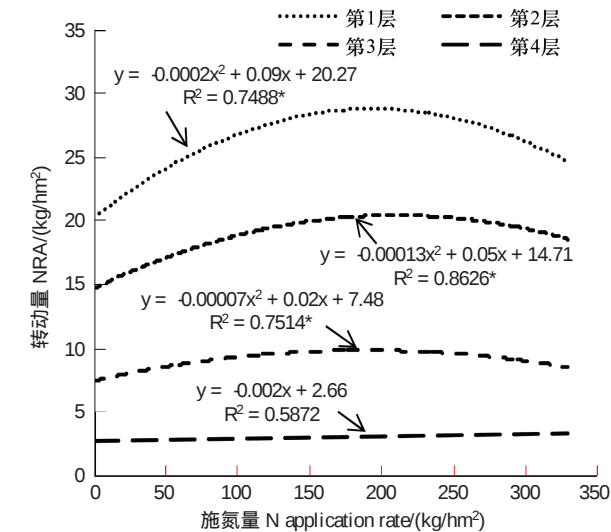


图 3 施氮量与冠层叶片氮素转运量的关系(2009—2010 年)

Fig. 3 Relationships between NRA and the N application rates (2009—2010)

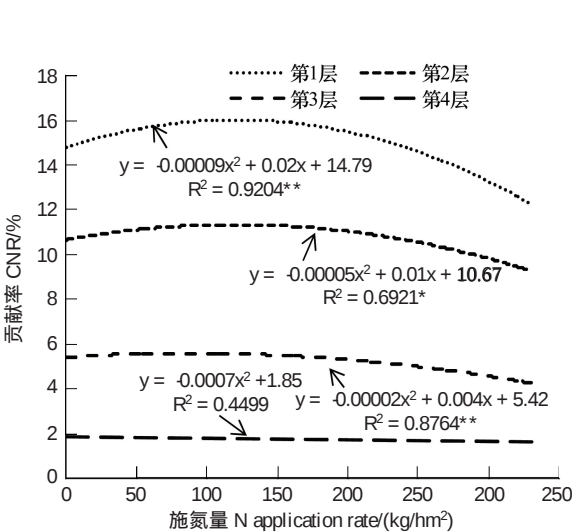


图 4 施氮量与冠层叶片氮素贡献率的关系(2009—2010 年)

Fig. 4 Relationships between CNR and the N application rates (2009—2010)

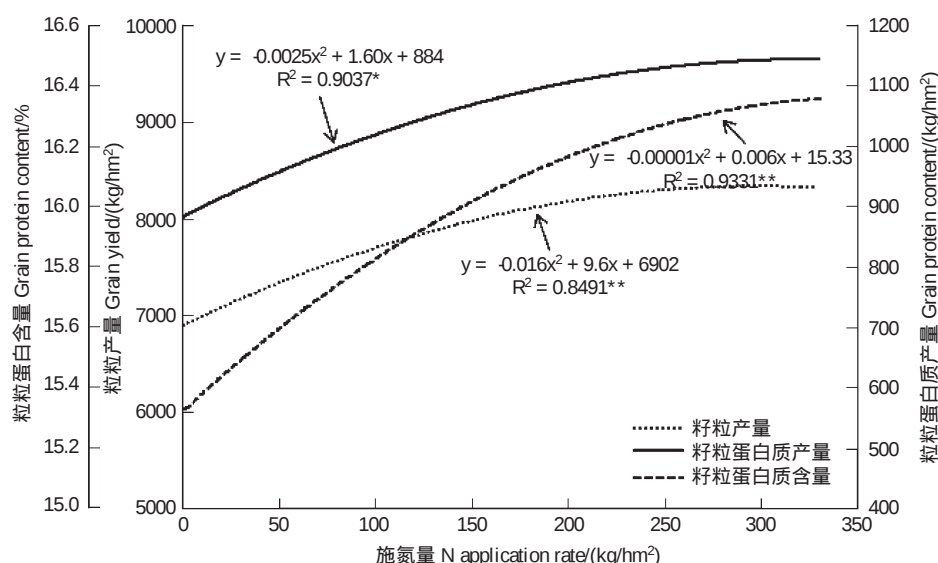


图5 施氮量与籽粒产量及蛋白质产量的关系(2009—2010 年)

Fig. 5 Relationships between grain yield, grain protein yield and the N application rates (2009—2010)

3 讨论

氮是植株内最易移动的营养元素^[12-13],小麦籽粒氮素来源于营养器官氮素的转运及花后的主动吸收及分配^[21]。叶片是小麦生长后期籽粒所需氮素的主要提供者^[10],叶片氮素含量的垂直分布是作物冠层的重要特征^[22-23],这种分布特征是对光分布的适应,并可最大限度的提高群体冠层光合速率^[16]。本研究表明,在籽粒灌浆的主要生长阶段,各叶层氮素含量为第1层>第2层>第3层>第4层,呈现出明显的垂直分布特征,这与他人研究结果基本一致^[24-25]。有研究指出,供氮水平较高时,植株内有充足的氮素可以被转运到植株上部受光较好的叶层,致使冠层叶片氮素垂直分布梯度增大^[11-12];也有研究指出,随施氮量的增加冠层氮素垂直分布梯度减小,氮素在冠层中分布更为均匀^[26]。Hikosaka 等^[13]指出,供氮水平较低时,冠层下部叶片中的氮素被转运到上部叶片中,从而增大冠层叶片氮素梯度。上述研究结果的差异可能与品种特性及栽培条件有关,本研究结果表明,在有限灌溉条件下,适量施氮(120—210 kg/hm²)增大了冠层叶片氮素垂直分布梯度,过多施氮(330 kg/hm²)减小了冠层叶片氮素垂直分布梯度,这一结果与 Hikosaka^[13]与 Milroy^[26]得出的结论较为相近。已有研究表明,一定的施氮量可以促进小麦花前营养器官贮藏氮素向籽粒中转运,而施氮量过高则转运效率下降^[27],本试验限水灌溉条件下的研究结果也表明,随着施氮量增加,冠层叶片氮素转运量、转运率和贡献率均呈先升后降的趋势,在施氮量为120—210 kg/hm²时,三者均达较高水平。相关分析表明,冠层叶片氮素梯度与叶片氮素转运率呈显著正相关关系($R^2 = 0.722^*$),与贡献率呈极显著正相关关系($R^2 = 0.975^{**}$)。可见,在本试验中,120—210 kg/hm²的施氮量不但优化了氮素在冠层叶片中的分布状况,而且促进了氮素在植株中的转运。

从提高氮利用率的角度考虑,应提高氮素在冠层中的转运程度,但这种转运是在一定限度内进行的。小麦籽粒产量的形成主要来源于花后同化物的积累^[28-29],而同化物的积累主要决定于小麦生育后期叶片的光合强度和光合持续时间。供氮过少,后期氮素供应相对不足,导致叶片中的氮素大量向籽粒中转运,提高了叶片氮素对籽粒的贡献率,同时也增大了冠层叶片氮素梯度,但是叶片中的氮素大量减少,易引起叶片早衰,使叶片光合能力下降,同化物积累量下降,不利于提高产量和氮肥农学效率。但另一方面,供氮过多时,较多的氮素被用于营养器官的生长和氮积累,叶片氮素向籽粒的转运不畅,从而缩小了冠层叶片氮素梯度,并可能导致叶片贪青,虽然叶片保持了较高的光合作用,但积累的同化物向籽粒中转运较少,也难以提高产量,且使氮素利用效率、氮肥利用率和偏生产力明显下降。本研究表明,在180—210 kg/hm²适宜施氮量水平时,氮素利

用各指标均达较高水平,且籽粒产量较高。

综合研究认为,冬小麦在有限供水条件下,适量施氮(180—210 kg/hm²)适当增大了冠层叶片氮素垂直分布梯度,促进了冠层叶片氮素有序转运,提高了冠层叶片氮素转运量、转运率和对籽粒贡献率,可同步获得较高的籽粒产量、蛋白质含量和氮素利用率。

References:

- [1] Ruiz M, Aguiriano E, Carrillo J M. Effects of N fertilization on yield for low-input production in Spanish wheat landraces (*Triticum turgidum* L. and *Triticum monococcum* L.). Plant Breeding, 2008, 127(1): 20-23.
- [2] Wang Z M, Wang P, Li X H, Li J M, Lu L Q. Principle and technology of water-saving, fertilizer-saving, high-yielding and simple cultivation in winter wheat. Review of China Agricultural Science and Technology, 2006, 8(5): 38-44.
- [3] Zhang F S, Cui Z L, Wang J Q, Li C J, Chen X P. Current status of soil and plant nutrient management in China and improvement strategies. Chinese Bulletin of Botany, 2007, 24(6): 687-694.
- [4] Wu Y C, Zhou S L, Wang Z M. Effect of nitrogen fertilizer applications on yield, water and nitrogen use efficiency under limited irrigation of winter wheat in North China Plain. Journal of Triticeae Crops, 2008, 28(6): 1016-1020.
- [5] 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): 1869-1873.
- [6] Zhang X, Luo Y Q, Zhang S Q, Wang M, Zheng Q, Feng H Y, Wang Z M. Effect of N application on grain yield of winter wheat and accumulation of NO₃⁻-N under water-saving cultivation system. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(4): 102-105.
- [7] Li S J, Zhou D X, Li J M, Wang P. Study on nitrogen distribution and utilization in winter wheat under water-saving. Journal of China Agricultural University, 2000, 5(5): 17-22.
- [8] Li J M, Zhou D X. The Principals of Winter Wheat Cultivation for High use Efficiencies of Water and Fertilizers. Beijing: Publishing House of China Agricultural University, 1995: 131-254.
- [9] Masclaux-Daubresse C, Reisdorf-Cren M, Orsel M. Leaf nitrogen remobilization for plant development and grain filling. Plant Biology, 2008, 10: 23-36.
- [10] Kichey T, Hirel B, Heumez E, Dubois F, Le Gouis J. In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilization to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. Field Crops Research, 2007, 102(1): 22-32.
- [11] Shi Z L, Yin M, Jing Q, Jiang D, Cao W X, Dai T B. Vertical distribution of canopy nitrogen and its relationship with grain protein in winter wheat. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(2): 289-293.
- [12] Anten N P R, Schieving F, Werger M J A. Patterns of light and nitrogen distribution in relation to whole canopy carbon gain in C₃ and C₄ mono- and dicotyledonous species. Oecologia, 1995, 101(4): 504-513.
- [13] Hikosaka K, Terashima I, Katoh S. Effects of leaf age, nitrogen nutrition and photon flux density on the distribution of nitrogen among leaves of a vine (*Ipomoea tricolor* Cav.) grown horizontally to avoid mutual shading of leaves. Oecologia, 1994, 97(4): 451-457.
- [14] Wang Z J, Wang J H, Zhao C J, Zhao M, Huang W J, Wang C Z. Vertical distribution of nitrogen in different layers of leaf and stem and their relationship with grain quality of winter wheat. Journal of Plant Nutrition, 2005, 28(1): 73-91.
- [15] Hirasawa T, Ozawa S, Taylaran R D, Ookawa T. Varietal differences in photosynthetic rates in rice plants, with special reference to the nitrogen content of leaves. Plant Production Science, 2009, 13(1): 53-57.
- [16] Dreccer M F, van Oijen M, Schapendonk A H C M, Pot C S, Rabbinge R. Dynamics of vertical leaf nitrogen distribution in a vegetative wheat canopy. Impact on canopy photosynthesis. Annals of Botany, 2000, 86(4): 821-831.
- [17] Yu S Z, Chen Y H, Li Q Q, Zhou X P, Fang Q X, Wang J S, Liu E M, Luo Y. Feasible study on water-saving effect of wheat-maize rotation pattern. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8): 2523-2531.
- [18] Ercoli L, Lulli L, Mariotti M, Masoni A, Arduini I. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. European Journal of Agronomy, 2008, 28(2): 138-147.
- [19] Bandyopadhyay K K, Misra A K, Ghosh P K, Hati K M, Mandal K G, Moahnty M. Effect of irrigation and nitrogen application methods on input use efficiency of wheat under limited water supply in a Vertisol of Central India. Irrigation Science, 2010, 28(4): 285-299.
- [20] Wang Z Z, Wang J H, Ma Z H, Huang W J, Zhao C J, Zhao M. Vertical distribution of nitrogen and NRA in canopy of winter wheat. Journal of Triticeae Crops, 2004, 24(1): 31-34.
- [21] Frederick J R. Winter wheat leaf photosynthesis, stomatal conductance, and leaf nitrogen concentration during reproductive development. Crop Science, 1997, 37(6): 1819-1826.

- [22] Shiraiwa T, Sinclair T R. Distribution of nitrogen among leaves in soybean canopies. *Crop Science*, 1993, 33(4): 804-808.
- [23] Connor D J, Sadras V O, Hall A J. Canopy nitrogen distribution and the photosynthetic performance of sunflower crops during grain filling — a quantitative analysis. *Oecologia*, 1995, 101(3): 274-281.
- [24] Wang Z Z, Wang J H, Huang W J, Ma Z H, Zhao M. The properties of temporal and spatial distributions of leaf nitrogen and the relationship between leaf nitrogen and grain quality in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(7): 700-707.
- [25] Qin X D, Dai T B, Jing Q, Jiang D, Cao W X. Temporal and spatial distribution of leaf nitrogen content and its relationship with plant nitrogen status in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(11): 1717-1722.
- [26] Milroy S P, Bange M P, Sadras V O. Profiles of leaf nitrogen and light in reproductive canopies of cotton (*Gossypium hirsutum*). *Annals of Botany*, 2001, 87(3): 325-333.
- [27] Wang Y F, Jiang D Yu Z W, Cao W X. Effects of nitrogen rates on grain yield and protein content of wheat and its physiological basis. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(5): 513-520.
- [28] Pheloung P C, Siddique K H M. Contribution of stem dry matter to grain yield in wheat cultivars. *Functional Plant Biology*, 1991, 18(1): 53-64.
- [29] Ma D Y, Guo T C, Wang C Y, Zhu Y J, Song X, Wang Y H, Yue Y J. Effects of nitrogen application rates on accumulation, translocation, and partitioning of photosynthate in winter wheat at grain filling stage. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(6): 1027-1033.

参考文献:

- [2] 王志敏, 王璞, 李绪厚, 李建民, 鲁来清. 冬小麦节水省肥高产简化栽培理论与技术. *中国农业科技导报*, 2006, 8(5): 38-44.
- [3] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 李春俭, 陈新平. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略. *植物学通报*, 2007, 24(6): 687-694.
- [4] 吴永成, 周顺利, 王志敏. 氮肥运筹对华北平原限水灌溉冬小麦产量和水氮利用效率的影响. *麦类作物学报*, 2008, 28(6): 1016-1020.
- [5] 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): 1869-1873.
- [6] 张霞, 罗延庆, 张胜全, 王敏, 郑强, 冯汉宇, 王志敏. 氮肥对节水栽培冬小麦产量、土壤硝态氮残留的影响. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 102-105.
- [7] 李世娟, 周殿玺, 李建民, 王璞. 限水灌溉条件下冬小麦氮肥利用研究. *中国农业大学学报*, 2000, 5(5): 17-22.
- [8] 李建民, 周殿玺. 冬小麦水肥高效利用栽培技术原理. 北京: 中国农业大学出版社, 1995: 131-254.
- [11] 石祖梁, 殷美, 荆奇, 姜东, 曹卫星, 戴廷波. 冬小麦冠层氮素垂直分布特征及其与籽粒蛋白质的关系. *麦类作物学报*, 2009, 29(2): 289-293.
- [17] 于舜章, 陈雨海, 李全起, 周勋波, 房全孝, 王吉顺, 刘恩民, 罗毅. 冬小麦-夏玉米两熟农田节水效应的可行性. *生态学报*, 2006, 26(8): 2523-2531.
- [20] 王之杰, 王纪华, 马智宏, 黄文江, 赵春江, 赵明. 冬小麦冠层氮素及硝酸还原酶活性的垂直分布. *麦类作物学报*, 2004, 24(1): 31-34.
- [24] 王之杰, 王纪华, 黄文江, 马智红, 赵明. 冬小麦叶片氮素时空分布特征及其与籽粒品质的关系. *作物学报*, 2004, 30(7): 700-707.
- [25] 秦晓东, 戴廷波, 荆奇, 姜东, 曹卫星. 冬小麦叶片氮含量时空分布及其与植株氮营养状况的关系. *作物学报*, 2006, 32(11): 1717-1722.
- [27] 王月福, 姜东, 于振文, 曹卫星. 氮素水平对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响及其生理基础. *中国农业科学*, 2003, 36(5): 513-520.
- [29] 马冬云, 郭天财, 王晨阳, 朱云集, 宋晓, 王永华, 岳艳军. 施氮量对冬小麦灌浆期光合产物积累、转运及分配的影响. *作物学报*, 2008, 34(6): 1027-1033.

CONTENTS

Marine ecological capital: valuation of standing stock of marine living resources	REN Dachuan, CHEN Shang, XIA Tao, et al (4805)
Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of <i>Achnatherum sibiricum</i>	JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, et al (4811)
Based on image processing technology estimating leaves stomatal density of <i>Populus euphratica</i> and analysis of its ecological significance	JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, ZHAO Yang, et al (4818)
Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations	ZHANG Qiang, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, et al (4826)
The ecological effects of <i>Suaeda salsa</i> on repairing heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta	GUAN Bo, YU Junbao, LU Zhaohua, et al (4835)
Toxicity risks to the closed tidal flat ecosystem of a PCBs waste savepoint at the coast of Zhejiang	HE Shanying, CHEN Kunbai (4841)
Methane emission from a <i>Carex</i> -dominated wetland in Poyang Lake	HU Qiwei, ZHU Lili, XING Ruixin, et al (4851)
The study on Ice-fish Resources in the Three Gorges Reservoir	SHAO Xiaoyang, LI Daofeng, TAN Lu, et al (4858)
Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LIU Bo, WANG Meiyao, XIE Jun, et al (4866)
Acute toxicity and effect of Cd ²⁺ on life table demography of <i>Brachionus angularis</i> and <i>Keratella valga</i>	XU Dandan, XI Yilong, MA Jie, et al (4874)
The association of BDNF gene polymorphisms with normal behavior traits in house-hold sika deer (<i>Cervus nippon</i>)	LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (4881)
Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain	TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du (4889)
The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field	GU Yanfang, ZHANG Li, DING Shengyan, et al (4900)
Effect of earthworms on the photosynthetic characteristics of wetland plants and their capacity to purify wastewater	XU Defu, LI Yingxue, WANG Ranghui, et al (4907)
Toxicity of three pesticides and their effects on carboxylesterase activity of <i>Propiloscerus akamusi</i>	FANG Guofei (4914)
Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult <i>Zeuzera leuconotum</i> Butler (Lepidoptera: Cossidae)	LIU Jinlong, ZONG Shixiang, ZHANG Jintong, et al (4919)
Effects of herbicides stress on the population of alligator weed flea beetles, <i>Agasicles hygrophila</i> (Col.: Chrysomelidae) and corresponding strategies	LIU Yufang, PENG Meifang, WANG Chengchao, et al (4928)
Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species <i>Eremosparton songoricum</i> (FABACEAE)	SHI Xiang, WANG Jiancheng, ZHANG Daoyuan, et al (4935)
Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition	HAO Baozhen, JIANG Lina, FANG Baoting, et al (4941)
Plant architecture characteristics of <i>Haloxylon ammodendron</i> and <i>Haloxylon persicum</i> in Zhungar Basin	WANG Lijuan, SUN Dongyuan, ZHAO Chengyi, et al (4952)
Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index	NIE Jianliang, WU Jianjun, YANG Xi, et al (4961)
Differential characteristics of soil δ ¹⁵ N under varying vegetation in karst areas	WANG Zhijun, LIANG Xuan, HE Qiufang, et al (4970)
Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of <i>Jatropha curcas</i> L. seedlings	YIN Li, HU Tingxing, LIU Yongan, et al (4977)
Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region	WANG Kaibo, SHANGGUAN Zhouping (4985)
Clonal integration enhances the ability to scavenge reactive oxygen species in root of <i>Cynodon dactylon</i> subjected to submergence	LI Zhaojia, YU Jie, FAN Dayong, et al (4992)
Pattern of flow-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect	YANG Wenbin, DONG Huilong, LU Qi, et al (5000)
Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain	MO Fei, LI Xuyong, HE Shuxia, et al (5009)
Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species	ZHANG Limin, WANG Chuankuan, TANG Yan (5009)
Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations	TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, et al (5025)
The optimal design of a connected nature reserve network	WANG Yicheng (5033)
Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics	LIU Lusan, ZHENG Binghui, MENG Wei, et al (5042)
The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League	WU Di, DAI Fangzhou, YAN Yan, et al (5055)
Review and Monograph	
The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees	HOU Chunsheng, ZHANG Xuefeng (5061)
Scientific Note	
The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay	ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping, et al (5071)
The studying system construction of wetland parks	WANG Lilong, LU Lin (5081)
Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: a case study of Xilinguole League	YANG Yan, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (5096)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 17 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 17 2011

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