

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期 2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....	华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975)
植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系	黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)
基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....	李继峰, 李仁杰 (3998)
基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....	杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)
内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....	颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017)
典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....	裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025)
长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....	巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034)
厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性	姜 攀, 王明元 (4043)
Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系	贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)
凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构	赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062)
盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....	卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071)
菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响.....	张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079)
闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....	王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087)
高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....	武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094)
模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响	吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)
铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化	濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114)
不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....	周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123)
基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....	张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132)
黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....	李 志 (4139)
莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....	邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146)
不同蚯蚓采样方法对比研究.....	范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154)
亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....	涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160)
黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....	赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166)
苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....	骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173)
长江口中国花鲈食性分析.....	洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181)
基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....	苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191)
镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理	曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)
北方草地牛粪中金龟子的多样性.....	樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207)
合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....	杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215)
植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....	张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228)
基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....	杨丽花, 佟连军 (4236)
基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....	齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246)
专论与综述	
水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述	章光新 (4254)
松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展	马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261)
一种新的景观扩张指数的定义与实现	武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)
研究简报	
华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....	李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278)
美丽海绵提取物防污损作用.....	曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

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

DOI: 10.5846/stxb201106120775

周玲, 王朝辉, 李富翠, 孟晓瑜, 李可懿, 李生秀. 不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析. 生态学报, 2012, 32(13): 4123-4131.

Zhou L, Wang Z H, Li F C, Meng X Y, Li K Y, Li S X. Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4123-4131.

不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积 和转移的差异分析

周 玲, 王朝辉*, 李富翠, 孟晓瑜, 李可懿, 李生秀

(西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100)

摘要:旱地小麦高产栽培中品种起着重要作用, 研究不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异, 对黄土高原旱区作物高产稳产有重要意义。以 9 个旱地冬小麦品种为材料, 通过田间试验研究了不同产量水平旱地冬小麦品种的生物量、花前花后干物质累积量、干物质转移量、转移率及转移干物质对籽粒的贡献率、叶面积、SPAD 值以及光合速率的差异。结果表明, 不同小麦品种的生物量、花前花后干物质累积量、干物质转移量、转移率及转移干物质对籽粒的贡献率均存在明显差异。与不施肥相比, 高、中、低 3 个产量水平小麦品种在低养分投入时, 成熟期生物量分别提高 29%, 22% 和 6%, 高水平时分别提高 46%, 39% 和 23%, 高产品种的生物量及其对养分投入的敏感程度明显高于低产品种。不同品种的花后干物质累积量随养分投入水平提高而增加, 但花前营养器官中储存物质的转移量、转移率和对籽粒的贡献率却明显随之下降。功能叶(旗叶)在灌浆期高、中、低 3 个产量水平品种的 SPAD 值在低养分投入条件下分别为 20.7、17.5 和 13.7; 高养分投入时, 分别为 35、26.1 和 16.8。高产品种西农 88 的光合速率为 $6.0 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 中产和低产品种的平均光合速率分别为 $4.3 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $4.0 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 高产品种功能叶(旗叶)在灌浆期能保持较高的 SPAD 值和光合速率, 因而花后能生产较多的干物质, 但其花前干物质转移量、转移率及转移干物质对籽粒的贡献率均没有明显优势。可见, 花后较高的叶绿素水平、光合速率和干物质累积是旱地小麦品种高产的重要原因。选择优良品种, 采取合理的栽培措施, 特别是通过养分调控保持花后具较高的干物质累积量是西北旱地进一步提高冬小麦产量的重要途径。

关键词: 冬小麦; 产量; 干物质; 累积; 转移

Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland

ZHOU Ling, WANG Zhaohui*, LI Fucui, MENG Xiaoyu, LI Keyi, LI Shengxiu

College of Resources and Environmental Science, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

Abstract: Located mainly in the dryland areas, the Loess Plateau is an important region for crop production with winter wheat (*Triticum aestivum* L.) as a major crop all over the lands. In cropping systems, winter wheat cultivars play an important role. For obtaining high and stable wheat yields in the region, it is of significance to select the most suitable variety of winter wheat for practical use and reveal the differences of dry matter accumulation and translocation of the winter wheat cultivars with various-yielding levels for understanding of their internal characteristics. For this purpose, a field experiment was conducted from 2008 to 2009 in a site where no fertilizer had been received for six years before the trial. Two factors were included in the experiment: wheat cultivars and fertilization. Nine wheat cultivars with different yield

基金项目: 国家自然科学基金(30871596); 农业公益性行业科研专项经费项目(200803030); 现代农业产业技术体系建设专项资金

收稿日期: 2011-06-12; **修订日期:** 2012-01-10

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

levels released and widely adopted in the region were utilized as testing materials and each was planted at three nitrogen and phosphate input rates with four replications. During plant growth period, plants were sampled at flowing and harvest stages and the total dry matter amounts and the dry matter accumulation pre- and post-anthesis were measured so that the differences of dry matter translocation, dry matter transported amount and rate, transferred efficiency as well as the contribution of the transferred dry matter to grains could be evaluated for those winter wheat cultivars. In addition, the leaf area, SPAD value and photosynthetic rate were also determined at some stages for further illustrating the yield-forming traits. The leaf area was measured at booting stage by LI-3000A leaf area instrument, the SPAD at both booting and grain filling stages by SPAD device, and photosynthetic rate at grain filling stage by LI-6400 portable photosynthetic instrument.

The results showed that dry matter, dry matter accumulation during pre-anthesis and post-anthesis, dry matter transferred efficiency and the contribution of transported dry matter to grain yield were significantly different for different winter wheat cultivars. Compared to the control without fertilization, the total accumulation productions of the high, middle and low yielding cultivars were 29%, 22% and 6% increased for the low fertilizer input treatment, and 46%, 39% and 23% for the high fertilizer input treatment, respectively. With the increase of fertilizer rate, the dry matter accumulation in the post-anthesis was increased for the different yielding cultivars whereas, the dry matter translocation, transferred efficiency and the contribution of the transferred dry matter to grain yield were decreased. At the grain filling stage, the SPAD value of their functional leaves or flag leaves of high, middle and low yielding cultivars was 20.7, 17.5 and 13.7 for the low fertilizer input treatment, while 35, 26.1 and 16.8 for the high fertilizer input treatment, respectively. The photosynthetic rate of high yielding cultivars (Xinong 88) was $6.0 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ whereas the average photosynthetic rates of middle and low yielding cultivars were 4.3 and $4.0 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. The high-yielding variety was characterized with high levels of total dry matter production and also with high dry matter accumulation after anthesis. The high dry matter increase after anthesis might be related with the high SPAD value and high photosynthetic rate of the functional leaves during the grain filling stage.

In summary, the higher level of SPAD value, photosynthetic rate and dry matter accumulation after anthesis was one important reason for wheat cultivars with high grain yields on drylands of the Loess Plateau. Therefore, selecting qualified wheat cultivars, adopting adequate cropping measures as general, and especially maintaining a high dry matter accumulation during post-anthesis through the regulation of nutrient management could be regarded as the essential ways for further improvement of winter wheat yield production in the area.

Key Words: winter wheat; grain yield; dry matter; accumulation; translocation

小麦籽粒累积的干物质一方面源于花后物质生产,另一方面源于花前营养器官累积干物质向籽粒的转移^[1-2]。研究表明,花后新合成的碳水化合物对籽粒产量形成有重要作用,占籽粒干物质的 70%—90%^[3];花前累积干物质的转移亦很重要,对籽粒贡献率为 7%—57%^[4-5]。当籽粒灌浆期环境条件不利于光合作用和矿质养分吸收时,花前累积干物质转移对籽粒干物质累积能起到缓冲作用^[4, 6],对产量作用更大。

花后干物质积累量与花前干物质转移量以及它们对籽粒产量的相对重要性因品种而异,且与气候、土壤和施肥等环境条件密切相关^[7]。不同基因型小麦灌浆过程中干物质积累存在明显差异^[8],Mariotti 等通过对意大利中部种植的 25 个硬粒小麦品种的研究表明,花前同化物转移对籽粒的贡献率为 43%—54%^[9];Przulj 等研究表明,这一贡献率在 20 个春播大麦品种间的变异为 4%—24%^[10],Przulj 等还发现干物质转移的品种差异和与氮素转移差异相关^[11]。

氮、磷是直接或间接影响营养器官和生殖器官之间库源关系的重要营养元素^[7, 12]。氮影响叶面积的建成和维持,同时影响光合效率^[7, 12]以及干物质向生殖器官的分配^[13-14]。适量增施氮肥能够促进花后干物质累积,以及营养器官贮存干物质向籽粒转运,从而提高籽粒产量^[15],地上部器官光合产物对籽粒的贡献率随

着施氮水平的提高而呈增加趋势^[16]。缺磷或多或少降低干物质的累积^[13, 17-18],进而影响小麦籽粒产量^[19]。在水分适宜的条件下,随施磷量增加,花后同化物累积量增加,但干物质转移量、转移率和贡献率降低^[20]。这些结论均在土壤肥力较高、化肥投入水平较高的条件下获得,但缺乏土壤肥力和化肥投入水平较低的旱地条件下的相关研究。

本文选择适于西北旱地种植的 9 个冬小麦品种,在连续 6a 未施任何肥料的低肥力田块上进行田间试验,研究了不同产量水平小麦品种干物质累积和转移的差异,以期旱地小麦的高产、高效栽培提高理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与试验设计

2008 年 10 月 13—14 日播种,2009 年 6 月 2—6 日收获(不同品种达到完熟时间不同)。试验在西北农林科技大学农作一站进行,该站位于黄土高原南部,海拔 520 m 左右,年均气温 13℃,年均降水量 550—600 mm,主要集中在 7—9 月,年均蒸发量 1400 mm,属半湿润易旱地区。试验田土壤为人为旱耕地垫土,含有机质 21.9 g/kg、全氮 0.8 g/kg、硝态氮 6.9 mg/kg、铵态氮 18.5 mg/kg、速效磷 6.5 mg/kg、速效钾 114 mg/kg,pH 值 8.3。

试验采用裂区设计,主处理为养分投入水平,包括不施肥(对照),80 kg/hm² N + 50 kg/hm² P₂O₅(低投入)和 160 kg/hm² N + 100 kg/hm² P₂O₅(高投入)3 个处理,氮肥用尿素,磷肥为磷酸二铵(含 N 17%,含 P₂O₅ 43%);副处理为近年来当地普遍采用的 9 个冬小麦品种,分别为西农 88、小偃 22、武农 148、西农 979、西农 2611、西农 2000、西农 9871、旱丰 902 和九丰 9812,由陕西长武县农技中心和西北农林科技大学小麦研究所提供。主区面积 40 m²,副区面积 2.7 m²,每品种在一个副区内种 6 行,行长 1.8 m,行距 20 cm,人工点播,播种密度为 50 粒/m²,4 次重复。化肥于播前一次施入,整个生育期无灌溉,田间管理与当地栽培一致。

1.2 样品采集与测定

于孕穗期测定冬小麦叶片的叶面积(2009 年 4 月 11 日)和叶绿素含量(2009 年 4 月 11 日),灌浆期测定叶绿素含量(2009 年 5 月 21 日)和光合速率(2009 年 5 月 20 日)。叶面积用 LI-3000A 叶面积仪测定;叶绿素用便携式 SPAD 测定仪测定;光合速率用 LI-6400 便携式光合仪测定。

于花期和成熟期采集样品,每小区随机取 1 m 长的两段植株,合并后剪去根,将地上部植株分为茎叶、穗。花期分别称量茎叶和穗的鲜重,然后取部分样品在 105℃ 下杀青 30 min,75℃ 烘干,测定水分含量。

成熟期穗风干后脱粒,称取茎叶、颖壳、籽粒风干重,然后取部分茎叶、颖壳、籽粒烘干,测定水分含量。小麦生物量和籽粒产量均以烘干重表示。

1.3 干物质累积和转移的计算方法

假定冬小麦生殖生长期间干物质没有损失,营养器官(茎叶、颖壳)生物产量减少部分均转移到籽粒中,则营养器官干物质向籽粒转移指标可根据以下公式计算^[7, 10, 17]:

$$\text{花后干物质累积量 (kg/hm}^2\text{)} = \text{成熟期地上部干物质累积量} - \text{花期地上部干物质累积量} \quad (1)$$

$$\text{干物质转移量 (kg/hm}^2\text{)} = \text{花期地上部干物质累积量} - \text{成熟期地上部营养器官干物质累积量 (茎叶+颖壳)} \quad (2)$$

$$\text{干物质转移率 (\%)} = \text{干物质转移量} / \text{花期地上部干物质累积量} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{转移干物质对籽粒的贡献率 (\%)} = \text{干物质转移量} / \text{籽粒产量} \times 100 \quad (4)$$

1.4 统计分析

试验数据用 DPS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同旱地冬小麦品种的籽粒产量差异

根据方差分析和多重比较结果,可将 9 个小麦品种分为 3 组(表 1),高产组为品种西农 88,在不同养分投入水平的平均产量为 4528 kg/hm²;中产组为品种小偃 22、旱丰 902、西农 9871、西农 2000、武农 148,平均产量

为 3756 kg/hm²;低产组为西农 979、西农 2611、九丰 9812,平均产量为 3326 kg/hm²。无养分投入时,高产品种西农 88 的籽粒产量就显著高于其他品种;养分投入水平提高更增加了其增产效果,分别比对照提高 34% 和 55%。中产组品种在无养分投入时,产量多与低产组品种无显著差异;低养分投入时小麦籽粒产量较对照提高 16%—29%,平均为 25%;高养分投入时产量提高 24%—79%,平均为 42%。低产组品种在无养分投入时产量就很低,养分投入的增产幅度亦很小:低养分投入籽粒产量较对照提高 4%—14%,平均为 6%;高养分投入提高 10%—45%,平均为 31%。可见,不同组小麦产量均在无养分投入时最低,低投入时居中,高投入时最高;无养分投入时籽粒产量及其对增加养分投入的反应敏感程度是决定小麦产量的重要因素。

2.2 不同旱地冬小麦品种的生物量差异

高、中、低 3 个产量水平冬小麦品种不同养分投入水平的生物量平均值分别为 10407, 8705 kg/hm² 和 7539 kg/hm²。高产品种西农 88 的生物量在不同养分投入水平下均高于其他品种,低投入时其生物量比对照提高 29%,高投入时提高 46%。中产组品种无养分投入时,生物量居中,且与低产组无显著差异,低养分投入时其生物量比对照提高 20%—27%,平均为 22%;高养分投入时提高 21%—75%,平均为 39%。低产组品种无养分投入时生物量很低,养分投入对其生物量的提高幅度有限,低养分投入时其生物量比对照提高 0—12%,平均为 6%;高养分投入时提高 11%—35%,平均为 23% (表 2)。可见,不同产量水平品种生物量存在显著差异,生物量多少与籽粒产量高低有一致关系,高产品种的生物量在无养分投入时较高,养分投入增加时,依然较高,且对增加养分反应敏感,增加百分比明显高于中、低产品种。

表 1 不同冬小麦品种籽粒产量差异/(kg/hm²)

品种 Variety	对照 CK	低投入 Low input	高投入 High input
西农 88	3497 c(a)	4680 b(a)	5406 a(a)
小偃 22	3295b(abc)	4111ab(b)	4720a(b)
早丰 902	3161 b(abc)	3973 a(b)	4192 a(c)
西农 9871	3406 b(ab)	3949 a(b)	4234 a(c)
西农 2000	2895 a(c)	3721 a(bc)	3739 a(d)
武农 148	2896 c(c)	3708 b(bc)	5197 a(a)
西农 979	2991 b(bc)	3401 b(cd)	4139 a(c)
西农 2611	2900 b(c)	3109 b(de)	4211 a(c)
九丰 9812	2994 a(abc)	2884 a(e)	3307 a(e)

括号外不同小写字母表示养分投入水平间的差异达 5% 显著水平,括号内的不同字母表示品种间的差异达 5% 显著水平

表 2 不同冬小麦品种生物量差异/(kg/hm²)

品种 Variety	对照 CK	低投入 Low input	高投入 High input
西农 88	8325 c(a)	10733 b(a)	12163 a(a)
小偃 22	8314b(b)	9975ab(ab)	11401a(b)
早丰 902	7551b(ab)	9115a(bc)	9724a(cd)
西农 9871	7548b(ab)	9088a(bc)	9838a(c)
西农 2000	6947a(b)	8410a(cde)	8415a(e)
武农 148	6911c(b)	8792b(cd)	12118a(a)
西农 979	7180b(b)	7418b(ef)	9095a(d)
西农 2611	7014c(b)	7843b(de)	9465a(cd)
九丰 9812	6732a(b)	6727a(f)	7453a(f)

2.3 不同旱地冬小麦品种花前与花后干物质累积

高、中、低 3 个产量水平冬小麦品种,在不同养分投入水平的花前干物质累积量平均值分别为 6926, 6951 kg/hm² 和 6026 kg/hm²,花后干物质累积量平均值分别为 3481, 1992 和 1633 kg/hm²。

与对照相比,高产品种西农 88 花前干物质累积量低投入时提高 7%,高投入时提高 10%;中产组品种在低养分投入时与对照相比无显著差异,高养分投入时提高 14%—30%,平均为 22%。低产组品种在低投入时与对照相比亦无显著差异,高投入时提高 2%—13%,平均为 9%。与对照相比,高、中、低 3 个产量水平品种的花后干物质累积量在低养分投入时分别提高 111%、284% 和 48%;高养分投入水平下分别提高 181%、305% 和 135% (表 3)。

可见,不同产量水平小麦品种花前和花后干物质累积量均存在明显差异。低产品种在两个时期的干物质累积量均最低,高产品种花前累积量与中产品种近似,花后则远高于中产品种,说明高产品种后期干物质合成对形成高产起主要作用,小麦高产的原因在于花后合成干物质绝对数量高低,绝对数量高,则产量高;随养分

投入水平提高,花后干物质累积量提高的百分比虽以中产组品种最大,高产组次之,低产组最低,但由于对照花后干物质累积量水平高低不一,花后干物质累积量提高的百分比不能说明高、中、低产水平品种的产量差异。

表 3 不同旱地冬小麦品种花前和花后干物质累积量/(kg/hm²)

品种 Variety	花期 Pre-anthesis			花后 Post-anthesis		
	对照	低投入	高投入	对照	低投入	高投入
	CK	Low input	High input	CK	Low input	High input
西农 88	6561a(ab)	7003a(ab)	7214a(b)	1764b(ab)	3730a(a)	4949a(a)
小偃 22	6356b(ab)	7186ab(a)	8264a(a)	1958a(a)	2789a(abc)	3136a(bc)
旱丰 902	6467b(ab)	5775b(d)	7727a(ab)	1084b(abcd)	3340a(ab)	1997b(de)
西农 9871	6943b(a)	6426b(bcd)	8422a(a)	605c(cd)	2662a(abc)	1416b(e)
西农 2000	6120b(b)	6075b(cd)	6949a(bc)	827b(bcd)	2334a(bcd)	1466ab(e)
武农 148	6616b(ab)	6580b(abc)	8361a(a)	296c(d)	2212b(bcd)	3757a(b)
西农 979	5969a(bc)	6012a(cd)	6083a(cd)	1211b(abcd)	1405b(d)	3011a(c)
西农 2611	6362b(ab)	6636ab(abc)	7195a(b)	652c(cd)	1207b(d)	2270a(d)
九丰 9812	5317ab(c)	4725b(e)	5931a(d)	1415a(abc)	2002a(cd)	1522a(e)

2.4 不同旱地冬小麦品种干物质转移量、转移效率和对籽粒产量贡献率

高、中、低 3 个产量水平品种,在不同养分投入水平的干物质转移量平均分别为 1047,1821 和 1693 kg/hm²。3 个产量水平品种的干物质转移量在低养分投入水平下分别较对照降低 45%、40% 和 16%;高养分投入水平下分别较对照降低 74%、2% 和 12%。

无养分投入时,高产品种西农 88 的干物质转移率为 25%,中、低产品种的平均值分别为 32% 和 31%。低养分投入条件下,三者分别为 9%、19% 和 26%;高养分投入时,相应的干物质转移率分别为 3%、25% 和 24%。

无养分投入,高、中、低 3 个产量水平品种的转移干物质贡献率分别为 48%、75% 和 65%。低养分投入条件下,三者分别为 24%、35% 和 57%;高养分投入时,分别为 7%、48% 和 43%(表 4)。

表 4 不同旱地冬小麦品种花后干物质转移量、转移率和转移贡献率

Table 4 Dry matter translocation, remobilization efficiency and contribution of remobilization to grain yield for different winter wheat varieties

品种 Variety	转移量/(kg/hm ²)			转移效率/%			转移贡献率/%		
	The amount of dry matter translocation			Dry matter remobilization efficiency			Contribution of remobilization to grain yield		
	对照	低投入	高投入	对照	低投入	高投入	对照	低投入	高投入
	CK	Low input	High input	CK	Low input	High input	CK	Low input	High input
西农 88	1733a(cd)	950a(b)	457a(f)	24a(bc)	9ab(b)	4b(d)	48a(d)	24ab(c)	8b(e)
小偃 22	1337a(d)	1322a(ab)	1584a(cde)	21a(c)	19a(ab)	19a(bc)	50a(d)	34a(bc)	34a(cd)
旱丰 902	2077a(bc)	633b(b)	2196a(bc)	31a(abc)	9b(b)	28a(a)	68a(abcd)	20b(c)	53a(ab)
西农 9871	2801a(a)	1287b(ab)	2818a(a)	39a(a)	19b(ab)	33a(a)	86a(ab)	35b(bc)	67a(a)
西农 2000	2068ab(bc)	1387b(ab)	2273a(ab)	32a(ab)	22a(a)	32a(a)	80a(abc)	45a(abc)	60a(a)
武农 148	2601a(ab)	1496b(ab)	1441b(de)	39a(a)	24b(a)	16b(c)	90a(a)	43b(abc)	27c(d)
西农 979	1780a(cd)	1996a(a)	1128a(e)	30a(abc)	30a(a)	17a(bc)	63a(bcd)	70a(a)	30a(d)
西农 2611	2248a(abc)	1902a(a)	1941a(bcd)	34a(ab)	30ab(a)	25b(ab)	77a(abc)	62ab(ab)	45b(bc)
九丰 9812	1579ab(cd)	882b(b)	1785a(bcd)	28a(bc)	18a(ab)	30a(a)	56a(cd)	40a(bc)	55a(ab)

可见,与中产和低产品种相比,高产品种的干物质转移量、转移率和转移贡献率并没有优势。随养分投入的增加,籽粒产量增加,干物质转移量、干物质转移效率和转移干物质对籽粒的贡献率反而降低。因此,从对籽粒产量的贡献来看,花前干物质累积及其转移是形成产量的重要物质基础,但并不是形成高产的重要因素,

因为较高的干物质转移仅发生在逆境(如无养分投入或低投入的)条件下,这从另一方面说明高产品种后期干物质合成对产量形成的作用要大于中、低产品种。

2.5 不同旱地冬小麦品种孕穗期叶面积和 SPAD 差异

叶片是小麦进行光合作用的主要器官,其面积大小直接影响小麦的受光,进而影响小麦产量。孕穗期对不同品种小麦叶面积的测定(表 5)表明,无养分投入时,高产品种西农 88 的叶面积为 14.5 cm^2 ,中、低产品种的平均值分别为 13.8 cm^2 和 14.0 cm^2 。低养分投入条件下,三者分别为 15.0 、 16.0 和 16.0 cm^2 ;高养分投入时,相应的叶面积分别为 19.3 、 16.7 和 17.0 cm^2 。可见,不同产量水平小麦品种的叶面积随养分投入水平的提高均呈明显增加趋势。尽管无养分投入和高养分投入时,高产品种叶面积均高于中产和低产品种,但是叶面积的大小似乎难以解释低养分投入条件下小麦品种产量高低之间的差异。

表 5 不同旱地冬小麦品种孕穗期叶面积和 SPAD 差异

Table 5 Leaf area and SPAD of different winter wheat varieties at booting stage

品种 Variety	叶面积 Leaf area/ cm^2			SPAD 对照		
	对照 CK	低投入 Low input	高投入 High input	对照 CK	低投入 Low input	高投入 High input
西农 88	14.5 b(b)	15.0 b(de)	19.3 a(a)	40.9 b(d)	48.3 a(bc)	50.4 a(b)
小偃 22	12.9 b(cd)	16.0 a(cd)	16.7 a(b)	45.1 b(ab)	47.0 b(cd)	50.6 a(b)
旱丰 902	17.8 b(a)	16.7 c(bc)	19.0 a(a)	43.5 b(bc)	42.8 b(e)	49.3 a(bc)
西农 9871	14.4 a(b)	13.2 b(f)	15.0 a(cd)	45.6 ab(a)	44.1 b(de)	46.6 a(de)
西农 2000	11.7 c(e)	16.3 a(c)	14.6 b(d)	40.6 b(d)	46.2 a(cd)	45.1 a(e)
武农 148	12.3 b(de)	17.6 a(ab)	19.0 a(a)	42.3 b(cd)	44.5 b(de)	47.5 a(cde)
西农 979	12.0 c(de)	13.8 b(ef)	16.2 a(bc)	45.4 b(ab)	50.5 a(ab)	50.9 a(b)
西农 2611	13.5 b(c)	15.1 a(de)	15.0 a(cd)	45.8 b(a)	52.9 a(a)	54.3 a(a)
九丰 9812	17.4 a(a)	18.7 a(a)	18.9 a(a)	44.1 b(abc)	51.1 a(ab)	48.6 a(bcd)

叶绿素含量是表征叶片光合能力的重要性状之一,SPAD-502 型叶绿素计测定作物叶片的 SPAD 值与实际测定的叶片叶绿素含量之间呈极显著正相关,因此可用 SPAD 值可间接表示叶片叶绿素含量高低^[21]。孕穗期测定的 SPAD 值(表 5)表明,无养分投入,高产品种西农 88 的 SPAD 为 40.9,中、低产品种的平均值分别为 43.4 和 45.1;低养分投入条件下,三者分别为 48.3、44.9 和 51.5;高养分投入时,相应的 SPAD 分别为 50.4、47.8 和 51.3。可见,孕穗期不同品种的 SPAD 值均随养分投入水平提高而提高,但高产品种的 SPAD 值并不高,低产品种的 SPAD 值也不低,该时期不同产量水平品种的 SPAD 值的高低同样难以解释产量的差异。

2.6 不同旱地冬小麦品种灌浆期 SPAD 和光合速率比较

灌浆期,无养分投入,高、中、低 3 个产量水平品种的 SPAD 值分别为 10.2、9.3 和 7.5;低养分投入条件下,三者分别为 20.7、17.5 和 13.7;高养分投入时,分别为 35、26.1 和 16.8。各产量水平品种的 SPAD 值仍随养分投入水平提高而提高,但都较孕穗期大幅下降。虽然如此,高产品种的 SPAD 值却显著高于中产和低产品种,说明灌浆期保持较高的 SPAD 值是品种高产的重要原因。

灌浆成熟期是小麦生长发育的最关键时期,这个时期光合作用的强弱对小麦干物质累积及产量形成具有至关重要的作用。低养分投入水平下,对灌浆期不同品种旗叶光合速率的测定表明(表 6),高产品种西农 88 的光合速率为 $6.0\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,中产和低产品种的平均光合速率分别为 4.3 和 $4.0\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,高产品种的光合速率较中产和低产品种高。从另一方面也说明,小麦功能叶是其物质生产的主要贡献者,功能叶光合速率高低直接影响光合产物和产量形成,在灌浆期维持较高的叶绿素含量、光合速率和较强的合成作用是高产品种产量高的一个重要原因。

3 讨论

干物质生产与小麦产量形成密切相关,较高的干物质形成是小麦获得高产的基础。研究表明,高产品种

具有明显高于中产和低产品种的生物量,这与童依平等的结果相似^[22]。适量施氮可提高小麦的生物量^[23-24], 本研究中,与不施肥相比,高、中、低 3 个产量水平品种的生物量在低养分投入水平下分别提高 29%、22% 和 6%,高投入下分别提高 46%、39% 和 23%,高产品种的生物量对养分投入的敏感程度明显高于低产品种。由此可见,在西北旱地,通过优化品种、栽培与施肥获得较高的生物量,是提高小麦高产潜力的重要前提。

表 6 不同旱地冬小麦品种灌浆期 SPAD 和光合速率比较

Table 6 SPAD and photosynthetic rate of different winter wheat varieties at grain filling stage

品种 Variety	SPAD			光合速率 Photosynthetic rate /($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
	对照 CK	低投入 Low input	高投入 High input	低投入 Low input
西农 88	10.2 c(bc)	20.7 b(b)	35.0 a(b)	6.0(abc)
小偃 22	9.9 c(bc)	12.4 b(d)	26.6 a(cd)	4.1(cd)
旱丰 902	22.6 b(a)	39.2 a(a)	41.5 a(a)	7.9(a)
西农 9871	6.3 c(cd)	16.1 b(bcd)	25.0 a(de)	2.2(de)
西农 2000	1.6 b(d)	7.3a(e)	6.5 a(h)	0.7(e)
武农 148	6.1 c(cd)	12.7 b(d)	30.8 a(bc)	6.6(ab)
西农 979	6.0 b(cd)	15.8 a(cd)	17.4 a(f)	4.7(bc)
西农 2611	4.7 b(d)	5.9 b(e)	11.3 a(g)	1.7(de)
九丰 9812	11.8 b(b)	19.3 a(bc)	21.6 a(ef)	5.5(bc)

小麦籽粒产量主要来源于生育后期的物质生产,特别是花后的物质生产。本研究表明,不同产量水平小麦品种的花后干物质累积量存在明显差异,高品种在花后具有较高的光合作用,能生产更多的干物质,花后干物质累积量高于中产和低产品种。然而,旱地高品种干物质转移量、转移率及转移干物质对籽粒的贡献率则均低于中产和低产品种,这与 Arduini 等的研究结果相似^[7]。Przulj 等研究也发现干物质转移对籽粒贡献大的品种有低产趋势^[10]。当不利的气候条件降低光合作用、水分和矿质养分吸收时,花前合成物质对籽粒的贡献对于维持产量至关重要^[6]。因此,低产品种所具有的对籽粒的高转移贡献率应是其对逆境条件下无法保持较高的花后干物质合成的适应。由此可以推测,当花期前后发生高温、水分或养分胁迫时,高品种的低转移贡献率可能会削弱其维持高产的能力^[25],因此,加强小麦花后管理,提高花后干物质的合成与累积对形成高产非常重要。

干物质累积、转移与氮、磷供应直接相关,当氮、磷供应量低时,干物质产量低,在叶片中表现尤为突出,这会影响合成物向生殖器官的转移^[12, 19]。本研究结果显示,不同产量水平品种的花后干物质累积量随养分投入水平的提高而提高,说明施肥促进了后期光合产物形成,故花后有较高的干物质累积。养分对干物质转移的影响因产量水平不同而异。产量达到 10000 kg/hm² 的超高产水平时,随施氮量增加小麦干物质转移量和转移干物质对籽粒的贡献率均呈先增后降的趋势^[26]。在 7500 kg/hm² 的产量水平时,随着施氮量增加干物质积累量虽增加,但花前营养器官贮藏物质的转移量、转移率和对籽粒的贡献率却明显下降^[24, 27],本研究中旱地冬小麦的产量较低,介于 2884—5406 kg/hm²,同样发现养分投入水平的提高增加了干物质累积,但花前累积干物质的转移量、转移率和对籽粒的贡献率却明显下降。

光合作用是植物体内有机物质的最初来源,是形成产量的生理学基础,因而生育后期功能叶片尤其是旗叶的光合能力对小麦高产起着至关重要的作用。氮、磷营养对小麦叶片的光合能力有明显的调控作用^[28-30]。本研究表明,孕穗期和灌浆期,各产量水平品种的 SPAD 值均随养分投入水平的提高而提高。灌浆期 SPAD 值虽较孕穗期明显下降,但是高品种仍能维持较高的 SPAD 值,同时具有较高的光合速率,因此在花后能生产更多的干物质,进而获得显著高于中产和低产品种的产量。

4 结论

旱地小麦高产栽培中品种起着重要作用,不同产量水平品种生物量、花前花后干物质累积量、干物质转移

量、转移率及转移干物质对籽粒的贡献率均存在明显差异。高产旱地小麦品种灌浆期能维持较高的 SPAD 值,并具有较高的光合速率,因此在花后能生产较多的干物质,但其干物质转移量、转移率及转移对籽粒的贡献率均没有明显优势。不同产量水平品种的花后干物质累积量随养分投入水平的提高而增加,但花前营养器官贮藏物质的转移量、转移率和对籽粒的贡献率却明显下降。可见,花后较高的叶绿素水平、光合速率和干物质累积是旱地小麦品种高产的重要原因。选择优良品种,采取合理的栽培措施,特别是通过养分调控保持花后具较高的干物质累积量是西北旱地进一步提高冬小麦产量的重要途径。

References:

- [1] 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.
- [2] Gebbing T, Schnyder H, Kühbauch W. The utilization of pre-anthesis reserves in grain filling of wheat. Assessment by steady-state $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ labelling. *Plant, Cell and Environment*, 1999, 22(7): 851-858.
- [3] Guo W S, Feng C N, Yan L L, Peng Y X, Zhu X K, Zong A G. Analysis on source-sink relationship after anthesis in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 1995, 21(3): 334-340.
- [4] Austin R B, Edrich J A, Ford M A, Blackwell R D. The fate of the dry matter, carbohydrates and ^{14}C lost from the leaves and stems of wheat during grain filling. *Annals of Botany*, 1977, 41(6): 1309-1321.
- [5] Ehdad B, Waines J G. Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat. *Field Crops Research*, 2001, 73(1): 47-61.
- [6] Tahir I S A, Nakata N. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2005, 191(2): 106-115.
- [7] Arduini I, Masoni A, Ercoli L, Mariotti M. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. *European Journal of Agronomy*, 2006, 25(4): 309-318.
- [8] Jing Q, Dai T B, Jiang D, Cao W X, Sun C F. Characteristics of accumulation and translocation of dry matter and nitrogen in wheat genotypes under different environments. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2004, 27(1): 1-5.
- [9] Mariotti M, Arduini I, Lulli L. Traslocazione della biomassa nel frumento duro durante il grain-filling//Mori M, Fagnano M, eds. *Proceedings of the XXXV Congress of the Italian Society of Agronomy*. Napoli, 16-18 September. Caserta: Imago Media, 2003: 339-340.
- [10] Przulj N, Momcilovic V. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley. I. Dry matter translocation. *European Journal of Agronomy*, 2001a, 15(4): 241-254.
- [11] Przulj N, Momcilovic V. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley. II. Nitrogen translocation. *European Journal of Agronomy*, 2001b, 15(4): 255-265.
- [12] Muchow R C. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. I. Leaf growth and leaf nitrogen. *Field Crops Research*, 1988, 18(1): 1-16.
- [13] Prystupa P, Savin R, Slafer G A. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to N×P fertilization in barley. *Field Crops Research*, 2004, 90(2/8): 245-254.
- [14] Vouillot M O, Devienne-Barret F. Accumulation and remobilization of nitrogen in a vegetative winter wheat crop during or following nitrogen deficiency. *Annals of Botany*, 1999, 83(5): 569-575.
- [15] Lu Z G, Dai T B, Jiang D, Jing Q, Wu Z G, Zhou P N, Cao W X. Effects of nitrogen strategies on population quality index and grain yield & quality in weak-gluten wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(4): 590-597.
- [16] Wang Y F, Yu Z W, Li S 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.
- [17] Dordas C. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations. *European Journal of Agronomy*, 2009, 30(2): 129-139.
- [18] Batten G D. A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant and Soil*, 1992, 146(1/2): 163-168.
- [19] Elliot D E, Reuter D J, Reddy G D, Abbot R J. Phosphorus nutrition of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). 1. Effects of phosphorus supply on plant symptoms, yield, components of yield, and plant phosphorus uptake. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1997, 48(6): 855-867.
- [20] Zeng G W, Lin Q, Jiang W, Liu Y G, Li L Y. Effects of different soil water conditions and phosphorus application on dry matter accumulation and water consumption of wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2009, 29(5): 849-854.
- [21] Cao S Q, Lu W, Zhai H Q, Sheng S L, Gong H B, Yang T N, Zhang R X. Research on the method to estimating flag leaf photosynthesis function duration at rice seedling stage by relative steady phase of chlorophyll content. *Chinese Journal of Rice Science*, 2001, 15(4): 309-313.
- [22] Tong Y P, Li J Y, Li Z S. Genotypic variations for nitrogen use efficiency in winter wheat: I. Effects of N uptake and utilization efficiency on grain yields. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1999, 19(2): 270-277.
- [23] Guarda G, Padovan S, Delogu G. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at

different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, 2004, 21(2): 181-192.

- [24] Li H, Wang Z H, Li S X. Effect of soil surface mulching and N rate on dry matter and nitrogen accumulation and translocation of winter wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(6): 1027-1034.
- [25] Frederick J R, Bauer P J. Physiological and numerical components of wheat yield//Satorre E H, Slafer G A, eds. *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. New York: Haworth Press, 1999: 45-65.
- [26] 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.
- [27] Yan S H, Cai Z M, Yang Z S, Wang J J, Zhao T G. Effects of different fertility on yield and canopy biomass accumulation and distribution after anthesis of later sowing wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2000, 20(3): 46-49.
- [28] Cao C L, Li S X. Effect of nitrogen level on the photosynthetic rate, NR activity and the contents of nucleic acid of wheat leaf in the stage of reproduction. *Chinese Bulletin of Botany*, 2003, 20(3): 319-324.
- [29] Guo T C, Feng W, Zhao H J, Zhu Y J, Wang C Y, Yan Y L, Luo Y. Effects of water and nitrogen application on photosynthetic characteristics and yield of winter wheat in the late growing and developing period. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(9): 1512-1517.
- [30] Pan X H, Shi Q H, Guo J Y, Wang Y R. Advance in the study of effects of inorganic phosphate on plant leaf photosynthesis and its mechanism. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1997, 3(3): 201-207.

参考文献:

- [3] 郭文善, 封超年, 严六零, 彭永欣, 朱新开, 宗爱国. 小麦开花后源库关系分析. *作物学报*, 1995, 21(3): 334-340.
- [8] 荆奇, 戴廷波, 姜东, 曹卫星, 孙传范. 不同生态条件下不同基因型小麦干物质和氮素积累与分配特征. *南京农业大学学报*, 2004, 27(1): 1-5.
- [15] 陆增根, 戴廷波, 姜东, 荆奇, 吴正贵, 周培南, 曹卫星. 氮肥运筹对弱筋小麦群体指标与产量和品质形成的影响. *作物学报*, 2007, 33(4): 590-597.
- [16] 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.
- [20] 曾广伟, 林琪, 姜雯, 刘义国, 李玲燕. 不同土壤水分条件下施磷量对小麦干物质积累及耗水规律的影响. *麦类作物学报*, 2009, 29(5): 849-854.
- [21] 曹树青, 陆巍, 翟虎渠, 盛生兰, 龚红兵, 杨图南, 张荣铨. 用水稻苗期叶绿素含量相对稳定期估算水稻剑叶光合功能期的方法研究. *中国水稻科学*, 2001, 15(4): 309-313.
- [22] 童依平, 李继云, 李振声. 不同小麦品种吸收利用氮素效率的差异及有关机理研究 I. 吸收和利用效率对产量的影响. *西北植物学报*, 1999, 19(2): 270-277.
- [24] 李华, 王朝辉, 李生秀. 地表覆盖和施氮对冬小麦干物质和氮素积累与转移的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(6): 1027-1034.
- [26] 张法全, 王小燕, 于振文, 王西芝, 白洪立. 公顷产 10000kg 小麦氮素和干物质积累与分配特性. *作物学报*, 2009, 35(6): 1086-1096.
- [27] 阎素红, 蔡忠民, 杨兆生, 王俊娟, 赵土岗. 不同肥力对晚播小麦开花后地上器官干物质积累运转及产量的影响. *麦类作物学报*, 2000, 20(3): 46-49.
- [28] 曹翠玲, 李生秀. 供氮水平对小麦生殖生长期叶片光合速率、NR 活性和核酸含量及产量的影响. *植物学通报*, 2003, 20(3): 319-324.
- [29] 郭天财, 冯伟, 赵会杰, 朱云集, 王晨阳, 阎耀礼, 罗毅. 水分和氮素运筹对冬小麦生育后期光合特性及产量的影响. *西北植物学报*, 2003, 23(9): 1512-1517.
- [30] 潘晓华, 石庆华, 郭进耀, 王永锐. 无机磷对植物叶片光合作用的影响及其机理的研究进展. *植物营养与肥料学报*, 1997, 3(3): 201-207.

CONTENTS

Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments	HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)
Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations	LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)
Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity	LI Jifeng, LI Renjie (3998)
Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county	YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)
Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia	YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)
Soil conservation value flow processes of two typical grasslands	PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)
Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China	WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)
Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen	JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)
Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity	JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)
The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve	ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)
Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils	LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)
The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake	ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)
Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary	WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)
Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region	WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)
Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China	WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)
Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation	PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)
Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland	ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)
Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model	ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)
Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009	LI Zhi (4139)
Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland	DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146)
Comparative study of different earthworm sampling methods	FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)
Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae)	TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinwen, et al (4160)
Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe	ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)
Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i>	LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)
Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary	HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)
Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region	SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)
Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i>	CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)
The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China	FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)
Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban	YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)
Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve	ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)
Research of typical EIPs based on the social network analysis	YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)
Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi	QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)
Review and Monograph	
The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review	ZHANG Guangxin (4254)
Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain	MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261)
A new landscape expansion index: definition and quantification	WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)
Scientific Note	
Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress	LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)
The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts	CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)

《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 13 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 13 (July, 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