

# N、P 营养对旱地小麦生理过程和产量形成的 的补偿效应研究进展

黄明丽, 邓西平, 白登忠

(中国科学院水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

**摘要:**本文主要介绍了干旱情况下,氮、磷营养对小麦主要生理过程和产量形成的补偿效应的研究进展情况,并分析了养分对提高小麦 WUE 和产量的作用机理。氮、磷营养对旱地小麦的作用机理和作用效果并不相同。一般来讲,在严重水分胁迫时,磷营养能显著促进根系发育,改善植株水分状况,提高产量和水分利用效率;而在轻度水分胁迫下,氮素的施用效果较好。氮、磷养分的合理配施具有时效互补性和功能互补性。因此在旱地小麦生产中应强调养分的合理配施。

**关键词:**氮; 磷; 水分胁迫; 小麦; 补偿效应

中图分类号: S 512.1; S 365

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2002)04-0074-05

## Progress on Compensative Effects of Nitrogen and Phosphorus on Physiological Processes and Yield Formation of Wheat in Dryland

HUANG Ming-li, DENG Xi-ping, BAI Deng-zhong

(Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Studies on compensative effects of nitrogen and phosphorus on some main physiological processes (such as photosynthesis, transpiration and so on) and yield of wheat under water stress were reviewed, and the mechanism of mineral nutrition in increasing WUE and yield of wheat in dryland were analyzed. The mechanisms and effects of nitrogen and phosphorus on wheat in dryland were different. Phosphorus might stimulate root growth, improve water condition and increase yield and WUE remarkably under severe water stress. Compensative effects of nitrogen were evident under mild water stress. When nitrogen and phosphorus were in couples, they might supplement one another in the growth stages and the function. It was, therefore, rational application of nitrogen and phosphorus should be emphasized in dryland farming.

**Key words:** Nitrogen; Phosphorus; Water stress; Wheat; Compensative effects

面对人口的急剧增长以及由此造成的耕地迅速减少、水资源日趋匮乏,环境状况急剧恶化、粮食供需矛盾日益尖锐的严峻现实,我国的农业生产重心已开始转向面积广袤的干旱地区。因此,通过提高作物抗逆性和水分、养分资源利用效率来增加粮食产量、节约资源和改善环境,已成为我国农业可持续高效发展的必然趋势。作为世界五大粮食作物之一的小麦在干旱半干旱地区有相当大的种植面积,保证小麦的高产稳产是解决粮食问题的重要出路之一。

水分和养分既是影响旱地农业生产的主要胁迫因子,也是一对联因互补、互相作用的因子。土壤水分不仅影响养分在土壤中的转化、迁移,而且通过影响植物体的代谢过程,影响机体的养分吸收、转运及分布过程。同时,养分也会影响植株水分状况和干旱胁迫的进程。植物生物量的形成,取决于其本身遗传特性和生

收稿日期:2002-06-03

修回日期:2002-07-11

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(G199901170)。

作者简介:黄明丽(1977—),女,在读硕士,从事水分生理研究。

通讯作者:邓西平(1959—),研究员,硕士生导师。

理机能等内在因素和光、热、水、土、肥等外界环境因素的综合作用<sup>[1]</sup>。近年随着科学研究的深入,养分在提高作物 WUE(水分利用效率)和缓解干旱胁迫中的突出作用越来越受到人们的重视,相关研究也取得了较大的进展。由于北方干旱区土壤多具有缺磷、少氮、富钾的特点,因此研究氮、磷肥效应的较多。

很多研究表明,施肥能够补偿水分胁迫对小麦生长发育及产量的抑制,明显改善受胁迫小麦的生理代谢过程,起到抗旱增产的作用。干旱条件下,氮、磷营养对小麦的不同器官、不同生理功能的作用并不一致。

## 1 水分胁迫下 N、P 肥对小麦主要生理特性的影响

水分和养分对作物的综合效应往往是通过植物体本身复杂的生理过程而起作用的,因此研究有限水分条件下施肥对小麦生理特性的效应,寻找其作用的本质,是旱作农业研究中的主要内容之一。

### 1.1 光合

干旱情况下,施氮、磷肥可以在一定程度上提高小麦叶片的净光合速率<sup>[2]</sup>。氮素对旱地小麦光合的影响与水分胁迫的程度有关。轻度水分胁迫下,施氮肥对小麦叶片光合作用促进较大,而且光合速率随施氮量的增加而增大。李世清等认为氮营养对光合作用的影响,与叶绿素含量增加直接相关,施氮后叶绿素含量增加,使叶肉细胞光合活性和叶片吸光强度增强,最终使净光合速率增加<sup>[3]</sup>。严重干旱下,高氮处理使光合速率大幅降低,甚至抑制光合。这是因为,在气孔导度和蒸腾速率下降的同时,叶肉细胞仍维持了较高的光合活性,以致胁迫加重<sup>[2]</sup>。

梁银丽等试验发现,在不同水分条件下,施磷会增加气孔导度和叶肉细胞 CO<sub>2</sub> 同化能力,尤其能使光合活性增强,从而提高小麦光合速率<sup>[4]</sup>。干旱条件下,施磷能增加小麦叶片叶绿素含量,降低叶片 CO<sub>2</sub> 补偿点,提高单叶光合速率<sup>[2]</sup>。试验证明,施肥可以增加光合速率,延缓叶片衰老,有利于小麦后期维持一定的光合面积和作用时间<sup>[5]</sup>。根据已有研究结果可以认为,氮素对光合作用的影响是直接的,而磷则是通过改善植物体内水分状况,促进根系吸收等作用间接地影响植物的光合<sup>[6]</sup>。

### 1.2 蒸腾

气孔导度能反应单位叶面积的蒸腾失水情况和气孔对干旱的敏感性。N、P 肥对叶片气孔导度有明显影响。干旱条件下,施磷小麦叶片的气孔导度较高,单位叶面积蒸腾失水增加。Morgan 认为缺磷植物可产生类似于水分胁迫的生理生化和解剖形态性状,如较小的气孔导度、较小的细胞体积和较厚的细胞壁等<sup>[7]</sup>。氮肥对气孔导度的影响与干旱程度密切相关。水分充足时,高 N 植物叶片气孔导度较低氮的高,但在遇到水分胁迫时,高 N 植物叶片的气孔导度和蒸腾速率比低 N 植物下降得快,而且早。这说明,施氮肥提高了小麦叶片对水分胁迫的敏感性<sup>[6,7]</sup>。严重干旱下,施氮会使气孔导度减小,单位叶面积蒸腾失水减少<sup>[8]</sup>,使蒸腾、蒸发量明显下降,表现为负作用;磷营养则为正作用,只是效果不及水分条件好时明显<sup>[6]</sup>。

### 1.3 水分状况

适量施肥可以从形态和生理方面提高作物抗旱性,在需水关键期,使植物保持良好的水分状况。水势和相对含水量是反映作物水分状况的敏感指标。张岁岐等在研究时发现,在轻、中度水分胁迫下,氮营养对水势的影响不明显;而在严重水分胁迫下,高氮叶片的水势和相对含水量却比低氮叶片下降得快,低氮叶片则能维持较高的水势和相对含水量<sup>[8]</sup>。这说明氮营养明显改变了小麦受到水分胁迫的进程,增加了对水分胁迫的敏感性。施用氮肥还会使小麦的束缚水含量减少,自由水含量增加。很多研究表明,磷营养能显著改善植物体内的水分状况<sup>[2,8-11]</sup>。李虹等人指出,在不同水分处理下,施磷可以提高植株水分含量<sup>[12]</sup>。水分胁迫下施磷肥可以提高根系水势和叶片束缚水含量,增强组织原生质的耐脱水性。随水分胁迫的加重,磷肥提高水势的作用会更显著<sup>[13]</sup>。姚晓晔等研究发现,提高施肥水平,小麦旗叶水势降低,饱和含水量增大,相对含水量减少,中肥处理小麦叶片耐脱水能力最大<sup>[14]</sup>。

### 1.4 水分利用效率(WUE)

水分利用效率是与作物抵御水分胁迫有关的重要的生理特性,是各种因素综合作用的结果。Mahler 曾指出施肥对旱地小麦增产和有效利用水分至关重要<sup>[15]</sup>。Campell 等发现土壤含氮水平与小麦的水分利用效率成正相关<sup>[16]</sup>。水分胁迫下,施用氮、磷肥由于能促进地上部生长,增大冠层,因此增加了植物蒸腾量,减少了土壤水分蒸发,从而提高了蒸腾对蒸发的比率<sup>[17,18]</sup>,有利于水分利用效率的提高。Heitholt 认为,轻度水分胁迫不会影响 WUE,而严重水分胁迫总是会降低 WUE,尤其是在氮肥供应不足时<sup>[19]</sup>。Angus 等人却指出,在营养生长阶段使用氮肥会导致水分的无效利用<sup>[20]</sup>。究其原因,他们认为,高氮营养增加蒸腾失水,促进营

养生长,会导致同化物滞留于结构器官中,最终使转移至籽粒中的可溶性碳水化合物减少。

小麦水分利用效率与土壤水分和氮、磷水平的关系密切<sup>[13]</sup>。李世清、杜建军等研究指出水分胁迫下,施氮肥可提高小麦的单叶水分利用效率和群体水分利用效率<sup>[3,21]</sup>,但在严重干旱下,高氮小麦的短时 WUE 却降低<sup>[22]</sup>。因此随土壤水分胁迫的加重,适当减少氮肥的使用对 WUE 的提高较为有利<sup>[23]</sup>。水分胁迫下,施磷肥可明显提高水分利用效率<sup>[4,12,24]</sup>。氮、磷肥的合理配施对提高 WUE 的作用显著。

## 2 水分胁迫下 N、P 营养对小麦生长和产量的补偿效应

### 2.1 根系

研究表明,氮、磷营养对旱地小麦根系的生长均有显著的促进作用。相对而言,土壤水分状况良好时,施氮肥的效果较好。张国盛和梁银丽等人研究表明,轻度水分胁迫下,施氮能够增加小麦的根系干重、长度、活力和活跃吸收面积;但在严重水分胁迫条件下,施氮可导致根体积和根干重的严重下降<sup>[13,25]</sup>。这说明氮营养在某种程度上能部分改善小麦的耐旱性,但这种作用受水分胁迫程度的影响很大,而且随土壤水分胁迫的加重,植株会将吸收的氮、磷养分较多地分配于根中<sup>[18,26]</sup>。李秧秧等研究发现,严重水分胁迫下,过量施氮导致根细胞膜伤害率明显增加,根系水分环境恶化,保水能力下降,使小麦的抗旱性降低<sup>[27]</sup>。因此建议,随土壤水分胁迫的加重,应适当减少氮肥的施用量。

磷肥可显著提高旱地小麦的根长度和根干重<sup>[25,13]</sup>。与氮素不同,随水分胁迫的加重,施磷肥的效果越好<sup>[6]</sup>。严重水分胁迫时,磷营养对根系的延伸生长有极显著的促进作用<sup>[28]</sup>。在旱地农业生产中,施磷会使小麦根量增多,根重加大,下扎更深,扩大了根系对土壤深层水分的利用,从而减轻潜在的水分胁迫<sup>[29,30]</sup>。

### 2.2 地上部及产量

很多研究表明,氮、磷营养能补偿水分胁迫下小麦生长发育缓慢、叶面积减小、叶片伸展缓慢和产量下降等不良反应所造成的损失,增大叶面积,增加产量<sup>[28,31~33]</sup>。薛青武等试验分析得出,冬小麦的叶面积和株高随土壤含水量的下降而下降,单施或混施氮、磷肥均可补偿干旱对叶面积和株高的抑制<sup>[9]</sup>。氮、磷养分均可显著提高旱地小麦的生物量、籽粒产量、株高、穗粒数和穗粒重<sup>[34]</sup>。

Nielsen 等认为,氮素可增加株高、地上生物量、叶面积指数和产量,并指出当水分胁迫使蒸腾率低于潜在蒸腾的 62% 时,增加施氮量对确保冬小麦的产量非常重要<sup>[35]</sup>。土壤水分胁迫时,对于氮肥供应较多的春小麦而言,其分蘖数、叶片数和茎的干物质积累量都比缺氮的多<sup>[19,36]</sup>。但随水分条件进一步恶化,应适当减少施氮量,否则会导致减产。这可能是由于氮营养促进了地上部的生长,致使蒸腾对水分需求增加,当土壤水分不足时就有可能造成小麦在后期重要生育期遭受更加严重的水分胁迫,从而减少小麦的产量和水分利用效率。

梁银丽、李裕元等人认为,在有限灌水的条件下,磷满足了冬小麦物质生产过程对营养元素的需求,因而可以促进小麦的生长发育,增加小麦的分蘖数,提高叶面积、生物量和产量等<sup>[4,34]</sup>。有研究表明,磷肥和水分供应对小麦分蘖和叶片萌发有显著的交互作用,充足的磷营养可以增强作物抵御轻度水分胁迫的能力<sup>[37]</sup>。在一定的施肥水平条件下,拔节期有限供水可显著提高春小麦的穗粒数<sup>[38]</sup>。

氮磷肥的合理配施是小麦产量进一步提高的重要途径<sup>[39,40]</sup>。在不同水分条件下,高肥小麦的产量及其构成因素都较低肥的高<sup>[41]</sup>。

### 2.3 施肥提高旱地小麦产量的生理基础

在旱地农业生产中,合理施用氮、磷肥不仅能够满足小麦物质生产过程对营养元素的需求,达到促进小麦生长发育,增加小麦生物量及产量的目的,而且还能改善受迫小麦的生理功能,减轻或补偿干旱胁迫对产量造成的不良影响。

首先,旱地施肥有利于同化物的形成和向籽粒的转运。有研究发现提高氮素营养水平可以提高开花后旗叶叶绿素含量和光合速率,延长光合速率高值持续时间,适量增施氮肥能够促进开花后营养器官贮存的光合产物向籽粒中的运转,提高籽粒可溶性糖含量,促进淀粉积累,进而提高粒重,增加产量<sup>[42]</sup>。王法宏等人也有相关的报道,他们认为施肥可明显促进小麦群体根系活性的提高,延缓旗叶衰老(增加叶绿素含量,提高光合速率,增强 SOD 和 POD 活性,降低 MDA 含量),显著提高小麦籽粒产量<sup>[43]</sup>。

其次,施肥能提高作物利用有限资源的效率。由于施肥能促进光合,降低蒸腾,改善水分状况,最终使水分、养分利用效率增加,使作物能利用有限的水分和养分生产出更多用于生长和形成产量的物质。

### 3 施肥提高旱地小麦 WUE 和产量的补偿机理

围绕水分胁迫下施肥提高作物 WUE 和产量的机理问题, 学者们做了大量的研究并提出了不少观点, 主要可以归结为以下两点:

(1) 施肥促进了旱地小麦冠层的发育, 扩大了叶面积, 蒸腾量加大, 蒸发量则相对减少, 增加了腾/发比, 无效失水相对减少, 提高群体水分利用效率<sup>[2,44,45]</sup>。根据张岁岐等综合 6 个田间试验、共 20 年的试验资料看, 高肥处理与低肥处理相比, 产量提高了 57%, 水分利用效率提高了 49%, 而耗水量仅增加了 8%<sup>[2]</sup>。Nielsen 等发现施氮肥会使累积蒸腾蒸发量增加, 而籽粒产量又与累积蒸腾蒸发量呈线性相关<sup>[35]</sup>。因此, 施肥最终表现为水分利用效率和产量的增加。

(2) 施肥使旱地小麦维持了较高的光合能力, 提高了蒸腾效率和单叶水分利用效率<sup>[2,10,46]</sup>, 这可能是由于氮、磷营养对光合的促进作用大于水分散失的增加。杜建军等试验测定, 施氮肥可使作物的单叶水分利用效率提高 33.3%~55.7%<sup>[21]</sup>。同时, 较高的光合能力有利于同化物的积累和向籽粒的转移。

### 4 结语

不同水分胁迫条件下, 氮、磷肥对小麦的生长、生理和产量的补偿有着不同的作用机理和效果。

首先, 在水分胁迫较轻时, 氮、磷养分能显著促进小麦的根系和冠层生长发育, 不仅增强了根系对水分和养分的吸收能力, 而且提高叶片的净光合速率, 降低气孔导度, 维持较高的渗透调节功能, 改善植株的水分状况, 从而促进光合产物的形成, 最终表现为产量和 WUE 的提高。

然而, 随着水分状况的恶化, 氮、磷肥对小麦的作用并不一致。氮素的促进作用随水分胁迫的加重慢慢减弱, 在土壤严重缺水时甚至表现为负作用, 说明氮肥并不能完全补偿干旱带来的损失。因此, 随干旱的加重应适当减少氮肥的用量。与氮肥相反, 在严重水分亏缺时, 磷肥的促进作用表现的更加出众(与不施磷的相比)。旱地施磷的效果比施氮的好, 因此在旱地农业生产中不可忽视对磷肥的使用。

氮、磷肥有很强的时效互补性和功能互补性, 合理配施能显著增产, 达到高产、稳产和提高水分利用效率的目的。因此研究适合各地区的施肥技术措施对提高生产非常重要。在旱地农业生产中, 还应特别注意肥料施用水平和水分条件的匹配。

虽然, 关于无机营养对旱地小麦补偿效应研究得已很多, 但仍存在许多矛盾, 特别是关于施肥对生理方面影响的结果并不是很一致。今后应重点研究作物养分亏缺以及逆境条件下作物对水分与养分高效利用的生理及分子机制, 综合揭示作物适应干旱和养分亏缺等逆境和高效利用水分与养分的本质, 最大限度地挖掘作物自身的生物学潜力, 为利用基因工程方法培育作物抗逆高效品种和改进抗逆高效的栽培措施、大幅度地提高作物产量和水分养分利用效率提供新理论和新策略。这必将为旱地农业生产开辟新的增长空间。

#### 参考文献:

- [1] 汪德水, 程宪国, 张美荣, 等. 旱地土壤中的肥水激励机制[A]. “八五”国家农业科技攻关论文选萃[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997, 247—252.
- [2] 张岁岐, 李秧秧. 施肥促进作物水分利用机理对产量的影响的研究[J]. 水土保持研究, 1996, 3(1): 185—191.
- [3] 李世清, 田霄鸿, 李生秀. 养分对旱地小麦水分胁迫的生理补偿效应[J]. 西北植物学报, 2000, 20(1): 22—28.
- [4] 梁银丽, 康绍忠. 限量灌水和磷营养对冬小麦产量及水分利用的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(1): 60—67.
- [5] 上官周平, 刘文兆, 徐宜斌, 等. 旱作农田冬小麦水肥耦合增产效应[J]. 水土保持研究, 1999, 6(1): 103—106.
- [6] 梁银丽. 土壤水分和氮磷营养对小麦根苗生长及水分利用的作用[J]. 生态学报, 1996, (3): 46—50.
- [7] Morgan J A. Interaction of water supply and N in wheat[J]. Plant Physiol, 1984, 76: 112—117.
- [8] 张岁岐, 山 仑, 薛青武. 氮磷营养对小麦水分关系的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 147—151.
- [9] 薛青武, 陈培元. 土壤干旱条件下氮素营养对小麦水分状况和光合作用的影响[J]. 植物生理学报, 1990, 16(1): 49—56.
- [10] 张岁岐, 山 仑. 氮素营养对春小麦抗旱适应性及水分利用的影响[J]. 水土保持研究, 1995, (1): 31—35.
- [11] 徐 萌, 山 仑. 不同水分条件下无机营养对春小麦水分状况和渗透调节的影响[J]. 植物学报, 1992, 34(8): 596—602.
- [12] 李 虹, 张锡梅. 不同基因型小麦苗期对低磷和水分胁迫的反应[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(1): 72—78.
- [13] 梁银丽, 陈培元. 土壤水分和氮磷营养对冬小麦根苗生长的效应[J]. 作物学报, 1996, 22(4): 476—481.

- [14] 姚晓晔,汪德水,张宪国,等. 不同施肥水平下旱地冬小麦水分效应研究[J]. 土壤肥料,1994,6:15—18.
- [15] Mahler R L, Koehler F E, Lutcher L K. Nitrogen source, timing of application, and placement effects on winter wheat production[J]. Agron. J., 1994,86:637—642.
- [16] Campell C A, Cameron D R, Nicholaichuk W, *et al.* Effects of fertilizer N and soil moisture on growth, N content and moisture use by spring wheat[J]. Can. J. Soil Sci., 1977,57:289—310.
- [17] 李生秀,李世清,高亚军,等. 施用氮肥对提高旱地作物土壤水分利用的作用机理和效果[J]. 干旱地区农业研究,1994,12(1):38—46.
- [18] 周苏玫,马元喜,王晨阳,等. 干旱胁迫对冬小麦根系生长及营养代谢的影响[J]. 华北农学报,2000,15(2):57—62.
- [19] Heitholt J J. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen-and water-stressed winter wheat[J]. Agron. J., 1989,81:464—469.
- [20] Angus J F, A F van Herwaarden. Increase water use and water use efficiency in dryland wheat[J]. Agron. J., 2001,93:290—298.
- [21] 杜建军,李生秀,高亚军,等. 氮肥对冬小麦抗旱适应性及水分利用的影响[J]. 西北农业大学学报,1999,27(5):1—5.
- [22] 上官周平,周 维. 栽培条件对冬小麦叶片水分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(3):231—236.
- [23] 梁银丽,陈培元. 土壤水分和氮磷营养对小麦根系生理特性的调节作用[J]. 植物生态学报,1996,20(3):255—262.
- [24] 张岁岐,山 仑. 磷素营养和水分胁迫对春小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报,1997,6(1):22—25.
- [25] 张国盛,张仁陟. 水分胁迫下氮磷营养对小麦根系发育的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2001,36(2):163—167.
- [26] 石 岩,林 琪,李素美,等. 土壤水分胁迫对小麦养分分配及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(1):50—56.
- [27] 李秧秧,邵明安. 小麦根系对水分和氮肥的生理生态反应[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(4):383—388.
- [28] 梁银丽,陈培元. 土壤水分和磷营养对小麦根系生长生理特性的影响[J]. 西北植物学报,1994,14(5):56—60.
- [29] 李立科,田家驹,高 华,等. 磷肥对渭北旱原小麦抗旱增产的作用[J]. 陕西农业科学,1982,(5):7—9.
- [30] Brown P L. Water use and soil water depletion by dryland winter wheat as affected by nitrogen fertilization[J]. Agron. J., 1971,63:43—46.
- [31] 梁银丽,康绍忠,张成娥. 不同水分条件下小麦生长特性及氮磷营养的调节作用[J]. 干旱地区农业研究,1999,17(4):58—63.
- [32] 李美珍,刘玲玲,张松令,等. 旱地小麦施肥效应及增产机制[J]. 山西农业科学,1995,23(3):19—22.
- [33] Goos R J, Schimelfenig J A, Bock B R, *et al.* Response of spring wheat to nitrogen fertilizers of different nitrification rates[J]. Agron. J., 1999,91:287—293.
- [34] 李裕元,郭杰杰,邵明安. 施肥在丘陵旱地冬小麦生长发育和水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(1):15—21.
- [35] Nielsen D C, Halvorsor A D. Nitrogen fertility influence on water stress and yield of winter wheat[J]. Agron. J., 1991,83:1065—1070.
- [36] Smith T L, Peterson G A, Sander D H. Nitrogen distribution in roots and tops of winter wheat[J]. Agron. J., 1983,75:1031—1036.
- [37] Rrez-Boem F H, Thomas G W. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit[J]. Agron. J., 1998,90:166—171.
- [38] 邓西平,山 仑,稻永忍. 施肥水平和有限供水对春小麦生长发育和产量构成的影响[J]. 西北植物学报,1992,12(5):50—55.
- [39] 胡田田,刘翠英,李刚等. 施肥对土壤供肥和冬小麦养分吸收及其产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(3):36—40.
- [40] 韩丽梅,邹永久,王树起,等. 水分胁迫与施肥对小麦经济性状及产量影响的研究[J]. 吉林农业科学,1998,2:19—22.
- [41] 陈竹君,刘春光,周建武,等. 不同水肥条件对小麦生长及养分吸收的影响[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(3):30—35.
- [42] 王月福,于振文,李尚霞,等. 氮素营养水平对小麦开花后碳素同化、运转和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2002,22(2):55—59.
- [43] 王法宏,任德昌,王旭清,等. 施肥对小麦根系活性、延缓旗叶衰老及产量的效应[J]. 麦类作物学报,2001,21(3):51—54.
- [44] 张仁陟,李小刚,胡恒觉,等. 施肥对提高旱地农田水分利用效率的机理[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(3):221—226.
- [45] Villalabos F J and Fereres E. Evaporation measurements beneath corn, cotton, and sunflower canopies[J]. Agron. J., 1990,82:1153—1159.
- [46] 王 怡,高 华. 冬小麦陕 229 在旱地不同施肥水平的水分利用效率研究[J]. 干旱地区农业研究,1999,17(3):35—39.

[本文责任编辑:许育彬]