

# 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

赵满兴, 周建斌\*, 杨绒, 郑险峰, 翟丙年, 李生秀

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 通过田间试验研究了西北旱地 4 个主要冬小麦品种在不同供氮水平下对氮素的吸收、累积和转移特性。结果表明, 增施氮肥显著地促进了小麦地上部分氮素累积总量, 子粒氮素累积量在施氮量 180 kg/hm<sup>2</sup> 时最高, 再增加氮肥用量子粒氮素累积量降低; 施氮明显增加了收获时茎秆氮素的残留量。不同品种间氮素累积量差异显著, 其中小偃 22 最高, 其后依次为陕 253、小偃 503 和陕 229; 小偃 22 的氮肥利用率、氮肥农学效率和氮肥生理效率均高于其它几个小麦品种。不同器官相比, 开花前氮素主要累积在叶片中, 茎秆的累积量在开花期达到最大。不同部位氮素转移效率为叶片 > 穗 > 茎秆; 叶、茎、穗氮素转移效率存在基因型差异。

**关键词:** 冬小麦; 旱地; 氮肥; 氮素吸收与转移

中图分类号: S147.22

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2006)02-0143-07

## Characteristics of nitrogen accumulation, distribution and translocation in winter wheat on dryland

ZHAO Man-xing, ZHOU Jian-bin\*, YANG Rong, ZHENG Xian-feng, ZHAI Bing-nian, LI Sheng-xiu

(College of Resource and Environment Sciences, Northwest Agric. and For. University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** A field experiment was carried out to study the uptake, accumulation and translocation of nitrogen of four winter wheat varieties at different N-levels on the dryland. This experiment was designed using a split-plot design. 5 levels of nitrogen fertilizers were the main plots and 4 varieties were the subplots. The application rate of nitrogen fertilizer was 0, 60, 120, 180 and 300 kg/ha, respectively; and the varieties was Shaan 253(V1), Shaan 229(V2), Xiaoyan 503(V3) and Xiaoyan 22(V4). The results showed that the highest N uptake in the growth period occurred from reviving stage to anthesis stage. The nitrogen accumulation rate, which had significant differences between different varieties, increased as N rate increased. When the rate of N fertilizer was higher than 180 kg/ha, grain yield was decreased with the increase of N rate, indicating plant receiving the luxury N uptake. The nitrogen accumulation of Xiaoyan 22 variety was the highest, followed with Shaan 253, Xiaoyan 503 and Shaan 229. The proportion of N accumulated in leaf and stem was high before the anthesis stage; and the accumulated N rate in stem reached peak at the anthesis stage. The residual N in leaf and stem at the maturing stage showed an obvious upward trend with the increasing N rate. The highest N accumulation of wheat grain took place at the N rate of 180 kg/ha. The N transportation efficiency of different organs during grain filling stage ranked in the following order, leaf > spike > stem. Different varieties had various N use efficiency. Compared to other varieties, Xiaoyan 22 had higher N recovery, N agronomic efficiency and N physiological efficiency. This showed that Xiaoyan 22 had a high efficiency of N uptake, translocation and utilization.

**Key words:** winter wheat; dryland; nitrogen fertilizer; nitrogen uptake and translocation

收稿日期: 2004-12-13

修改稿收到日期: 2005-05-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(30230230, 30370288); 科技部 863 计划(2002AA6Z3031)资助。

作者简介: 赵满兴(1971-), 男, 陕西合阳人, 讲师, 博士研究生, 主要从事土壤与植物营养研究。\* 通讯作者

小麦对氮素的吸收、累积及转运与其产量和品质有密切的联系。研究小麦对氮素的吸收和累积及其向子粒的运输特性,是提高小麦产量、改善小麦品质、提高氮素利用效率的基础。大量研究表明,小麦不同生长期吸收累积的氮量不同,同一生长期不同器官氮素积累量也有较大差异<sup>[1-2]</sup>;小麦吸收的氮素在各器官中的分配也随着不同生育时期生长中心的转移而变化<sup>[3-5]</sup>;遗传特性和栽培措施条件特别是施用氮肥是影响小麦对氮素吸收、累积及转运的关键因素<sup>[6-8]</sup>。对高产小麦养分吸收及其分配特性的研究指出<sup>[9-10]</sup>,开花期和成熟期不同基因型小麦植株各器官的含氮量和氮积累量之间存在显著差异。小麦在开花前、开花后氮的同化能力、总同化氮的能力,以及冬小麦的氮素利用率也存在明显的基因型差异<sup>[11-13]</sup>。施用氮肥是调控小麦氮素营养的有效手段,增施氮肥促进了小麦花后碳、氮物质积累与运转。随着施氮水平的提高,氮素积累量显著增加,而氮素收获指数及氮素利用效率却呈下降趋势<sup>[14-16]</sup>。

但是,以上的研究大多是在水分条件较好或有灌溉条件下进行的。关于旱地不同小麦品种氮素吸收、累积及转运的研究尚少见报道。旱地小麦在我国小麦生产中占有不可忽视的作用<sup>[17]</sup>。土壤贫瘠、水分缺乏是限制旱地小麦产量和品质的主要因素,选择适宜的品种及合理施用氮肥是保证旱地小麦优质高产的主要手段。因此,研究不同氮素供应下旱地不同小麦品种氮素吸收、累积及其运输特性,对于揭示旱地不同小麦品种的氮素营养特性,培育氮素利用效率高的品种及合理施用氮肥等均具有重要的理论和实践意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于2002年10月至2003年6月在黄土高原南部的西北农林科技大学农作一站农化试验站旱作农田进行。土壤为红油土,前茬为休闲地。小麦全生育期降水为173.85 mm。播前土壤养分状况为有机质 15.87 g/kg、全氮 0.67 g/kg、硝态氮 72.9 mg/kg、铵态氮 8.8 mg/kg、速效磷 13.3 mg/kg、速效钾 189.9 mg/kg、pH 8.28。

试验设品种和施氮量两个因素,采用裂区设计,施氮量为主区,品种为副区。施氮水平分别为 N 0、60、120、180 和 300 kg/hm<sup>2</sup>,冬小麦品种包括陕 253 (V1)、陕 229 (V2)、小偃 503 (V3) 和小偃 22 (V4)。共

20 个处理,重复 4 次。小区面积 12 m<sup>2</sup>。所施氮肥品种为尿素,作基肥一次施用,同时基施磷肥,施用量为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 kg/hm<sup>2</sup>。

小麦于 2002 年 10 月 11 日播种,2003 年 6 月 10 日收获。基本苗数平均为 236.8 万株/hm<sup>2</sup>。

### 1.2 测定项目和方法

将第 1、2、3 区组作为采样区组,分别于小麦越冬期(1 月 4 日)、返青期(3 月 31 日)、拔节期(4 月 12 日)、开花期(5 月 1 日)、成熟期(6 月 10 日)采集植物地上部样品,计算生物学产量。返青期及以后时期取代表性的 30 个植株,分茎、叶测定干物重。采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮,半自动凯氏定氮仪测定植物全氮含量。成熟时按小区收获,计算实际产量。

根据下列公式计算小麦氮素累积和转移等指标:

各时期不同部位氮素累积量 = 氮素含量(%) × 干物质质量;

开花后茎叶氮素转移量 = 开花时氮累积量 - 成熟时(子粒除外)的氮累积量;

开花后茎叶氮的转移效率(%) = 开花后茎叶氮转移量/开花时氮累积量 × 100;

氮素利用效率 = 子粒产量/地上部氮总累积量

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施氮水平下冬小麦品种地上部氮素的累积量

2.1.1 不同施氮量对冬小麦地上部氮素累积量的影响 表 1 看出,与不施肥对照相比,施用氮肥显著增加了小麦不同生育时期地上部氮素累积量。返青期前增加氮肥施用量,小麦地上部氮素累积量的变化幅度较小;而返青期后随着施氮量的增加,冬小麦地上部分氮素累积量几乎呈线性增加,这与小麦返青后对氮素吸收量的显著增加有关。

### 2.1.2 不同品种冬小麦地上部氮素累积量的差异

不同小麦品种不同生长发育时期地上部分氮素累积量间存在显著差异(表 1)。在测定的各个时期中小偃 22 品种氮素累积量均显著高于其他 3 个品种,其中开花至成熟期,小偃 22 的氮素累积量较其他 3 个品种高 16.6~20.6 kg/hm<sup>2</sup>。可见,小偃 22 是氮素吸收和累积较强的品种。陕 229 品种各个时期累积的氮素总量最低,而开花后累积的氮量有高于陕 253 和小偃 503 品种的趋势。陕 253 和小偃 503 氮素累积量总量居中,开花后吸收的氮量较低。

### 2.1.3 不同生育时期冬小麦地上部氮素累积量 不

表 2 不同生育时期各小麦品种不同器官氮素的累积量及分配

Table 2 The N accumulation and partition ratio in different organs of wheat

生育期 Growth stage	品种 Variety	叶 Leaf		茎秆 Stem		穗 Spike		子粒 Grain	
		累积量	分配率	累积量	分配率	累积量	分配率	累积量	分配率
		N accum. (kg/hm <sup>2</sup> )	% of total N accum.	N accum. (kg/hm <sup>2</sup> )	% of total N accum.	N accum. (kg/hm <sup>2</sup> )	% of total N accum.	N accum. (kg/hm <sup>2</sup> )	% of total N accum.
返青期 Reviving stage	V1	24.3	52.9	20.7	47.1	—	—	—	—
	V2	17.5	52.0	15.9	48.0	—	—	—	—
	V3	18.5	48.4	19.2	51.6	—	—	—	—
	V4	27.5	50.5	25.6	49.5	—	—	—	—
拔节期 Jointing stage	V1	56.9	62.4	30.7	37.6	—	—	—	—
	V2	53.7	68.1	24.6	31.9	—	—	—	—
	V3	63.1	59.1	41.9	40.9	—	—	—	—
	V4	67.1	59.3	42.8	40.7	—	—	—	—
开花期 Anthesis stage	V1	39.9	34.6	40.9	34.8	34.6	30.7	—	—
	V2	42.8	37.6	40.7	35.9	29.7	26.5	—	—
	V3	41.2	35.6	46.4	36.3	32.0	28.1	—	—
	V4	47.7	35.1	52.6	38.5	34.5	26.5	—	—
成熟期 Mature stage	V1	5.9	4.5	22.3	17.0	10.5	8.5	91.3 ab	70.0
	V2	4.8	3.9	24.4	19.6	8.10	7.1	83.3 c	69.4
	V3	6.4	4.9	24.9	19.0	10.0	8.0	88.1 b	68.1
	V4	6.3	4.5	25.3	18.4	10.5	7.4	94.0 a	69.7

注(Notes):表中数据为不同氮水平处理的平均值 Data in the table is the average of N rate treatments.

表 3 小麦不同生育时期各施氮水平下氮素的累积量及分配

Table 3 The N accumulation and partition ratio in different organs of wheat

生育期 Growth stage	施氮量 N rates (kg/hm <sup>2</sup> )	叶 Leaf		茎秆 Stem		穗 Spike		子粒 Grain	
		累积量	分配率	累积量	分配率	累积量	分配率	累积量	分配率
		N accum. (kg/hm <sup>2</sup> )	% of total N accum.	N accum. (kg/hm <sup>2</sup> )	% of total N accum.	N accum. (kg/hm <sup>2</sup> )	% of total N accum.	N accum. (kg/hm <sup>2</sup> )	% of total N accum.
返青期 Reviving stage	0	11.7	42.4	15.9	57.6	—	—	—	—
	60	21.1	49.4	21.6	50.6	—	—	—	—
	120	23.8	53.4	20.8	46.6	—	—	—	—
	180	26.9	55.3	21.8	44.7	—	—	—	—
	300	26.3	54.9	21.6	45.1	—	—	—	—
拔节期 Jointing stage	0	18.9	49.9	18.9	50.1	—	—	—	—
	60	55.9	64.3	31.0	35.7	—	—	—	—
	120	73.4	64.7	40.0	35.3	—	—	—	—
	180	69.6	62.1	42.4	37.9	—	—	—	—
开花期 Anthesis stage	300	83.0	66.1	42.6	33.9	—	—	—	—
	0	23.3	35.7	21.5	32.9	20.6	31.4	—	—
	60	35.3	35.1	36.1	35.9	29.2	29.0	—	—
	120	53.1	38.0	50.9	36.4	35.7	25.5	—	—
	180	46.1	34.0	50.9	37.4	38.9	28.6	—	—
成熟期 Maturing stage	300	56.6	34.9	66.4	40.9	39.3	24.2	—	—
	0	2.4	3.3	10.8	14.6	6.5	8.9	54.0 e	73.3
	60	5.5	5.1	23.2	21.6	8.1	7.6	70.4 d	65.7
	120	5.8	4.3	24.5	18.2	10.8	8.0	93.4 c	69.4
	180	6.9	4.3	27.1	16.7	11.9	7.3	116.5 a	71.7
	300	8.7	5.2	35.5	21.2	11.6	6.9	111.6 b	66.7

注(Notes):表中数据为不同品种处理的平均值 Data in the table is the average of variety treatments.

表4 不同处理叶、茎、穗的氮素转移率

Table 4 The N translocation rate of different organs in different treatments

器官 Organs	施氮量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	N 转移效率 N trans. rate (%)	品种 Variety	N 转移效率 N trans. rate (%)
叶 Leaf	0	89.1 a	V1	88.3 a
	60	85.5 b	V2	87.6 b
	120	89.1 a	V3	85.2 c
	180	87.9 a	V4	88.6 a
	300	85.6 b		
茎 Stem	0	51.0 b	V1	47.2 b
	60	35.2 d	V2	43.7 c
	120	60.7 a	V3	46.6 bc
	180	53.5 b	V4	59.8 a
	300	46.2 c		
穗 Spike	0	68.9 c	V1	71.1 b
	60	74.1 a	V2	71.8 b
	120	68.7 c	V3	68.5 c
	180	71.0 b	V4	73.5 a
	300	73.4 a		

注:各器官N的转移率%=(各器官最大氮素累积量-成熟期各器官氮素累积量)×100/各器官最大氮素累积量

Note: The N translocation rate in different organs % = (The highest N accumulation - The N accumulation in maturity stage) × 100 / The highest N accumulation

## 2.4 不同冬小麦品种的氮肥利用效率

由表5看出,按品种平均后,随着施氮量的增加,氮肥利用率、氮肥农学效率和氮肥生理效率均在降低。氮肥施用量在施N 60~180 kg/hm<sup>2</sup>之间时,不同氮肥处理氮肥利用率虽有所降低,但差异未达显著水平;当施氮量达N 300 kg/hm<sup>2</sup>时,氮肥利用率显著降低。增施氮肥显著降低了供试小麦品种的氮肥农学效率和氮肥生理效率,其中氮肥农学效率由21.0 kg/kg N下降到6.2 kg/kg N,下降幅度达70.5%;氮肥生理效率也由34.2 kg/kg N下降为19.6 kg/kg N,下降幅度达42.7%。

不同品种间氮肥利用率相比,虽差异未达统计显著水平,但平均相差约12%,其中小偃22的氮肥利用率最高,其次为小偃503和陕229,陕253的最低。不同品种的氮肥农学效率及氮肥生理效率间存在差异显著,其中小偃22的最高,与其它3个品种都达到显著差异,小偃503最低。

## 3 讨论

本试验结果看出,品种和氮肥用量是影响旱地冬小麦氮素累积、运输和分配的两个关键因素。供试的几个品种相比,小偃22在各个时期氮素累积总

表5 不同冬小麦品种氮肥效率的差异分析

Table 5 Analysis of variance of fertilizer N recovery and N agronomic and physiological efficiency of different wheat varieties

施肥量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	氮肥利用率 N recovery (%)	氮肥农学效率 N agron. effic. (kg/kg N)	氮肥生理效率 N physiol. effic. (kg/kg N)	品种 Variety	氮肥利用率 N recovery (%)	氮肥农学效率 N agron. effic. (kg/kg N)	氮肥生理效率 N physiol. effic. (kg/kg N)
60	59.8 a	21.0 a	34.2 a	V1	42.0 a	11.6 b	27.1 b
120	52.2 a	15.9 b	30.8 a	V2	47.7 a	12.9 b	26.3 b
180	50.4 a	12.0 c	23.8 b	V3	49.9 a	11.5 b	22.5 b
300	32.0 b	6.2 d	19.6 b	V4	54.8 a	19.2 a	32.5 a

注:1)N 肥利用率%=(施肥处理地上部吸氮量-不施肥处理地上部吸氮量)/施氮量;2)N 肥农学效率=(施肥区产量-不施肥区产量)/施氮量;3)N 肥生理效率=(施肥区产量-不施肥区产量)/(施肥区吸氮量-不施肥区吸氮量)

Note: 1) Fertilizer N recovery % = (uptake N of N treatment - uptake N of CK) / nitrogen fertilizer added; 2) N agronomic efficiency = (yield of N treatment - yield of non-N treatment) / nitrogen fertilizer added; 3) N physiological efficiency = (yield of N treatment - yield of non-N treatment) / (uptake N of N treatment - uptake N of non-N treatment)

量以及茎、叶氮向子粒的转移量均高于其他3个品种,因此,收获后子粒氮的累积数量也高于其他品种;其氮肥利用率和氮肥生理效率和农学效率也明显高于其他品种。陕229地上部分和子粒中累积的氮素量最低;而小偃503品种茎、叶和穗氮素的转

移率,氮肥生理效率和农学效率则相对较低;陕253对氮肥的利用率相对较低。可见,不同小麦品种在氮素吸收、运输和再分配特性方面存在差异。这与其他的研究结果相似<sup>[20-21]</sup>。进一步研究旱地不同小麦品种在氮素吸收、运输和再分配等方面生理生

化过程以及分子生物学机理上的差异,应今后值得研究的问题。

氮素的吸收、运输和再分配是决定其利用效率高低的几个关键环节<sup>[19]</sup>。虽然不同学者对氮素利用效率的评价标准存在差异,但增加氮素的吸收,促进氮素向小麦子粒中的运输,是提高氮素利用效率的重要途径。因此,理想的品种应同时具有较高氮素吸收能力和较强的氮素运输和再转移能力。

本试验结果还表明,施用氮肥显著地增加了旱地不同小麦品种地上部分氮素的累积量。但子粒氮素累积量与氮肥施用量间有密切关系。施氮量在0~180 kg/hm<sup>2</sup>之间时,随着施氮量的增加,子粒氮素累积量增加;施氮量超过180 kg/hm<sup>2</sup>后,子粒氮素累积量不再随氮肥用量的增加而增加。说明适量施用氮肥,有利于增加子粒中氮素累积量,而过量施用氮肥虽增加了小麦地上部分氮素累积量,但却降低了子粒氮素累积量。这与过量施用氮肥导致小麦生长过程中库源平衡有关<sup>[22]</sup>。可见,在生产中合理施用氮肥,避免过量施肥而造成的大量氮素在茎秆中的残留,在提高氮素利用效率方面具有重要作用。

与降水充足或有灌溉条件地区的小麦相比,旱地小麦常常会遇到水分胁迫或水分和养分胁迫的双重考验,这无疑会影响小麦对氮素的吸收、运输和再分配。因此,在广大旱农地区要提高小麦对氮素的利用效率,一方面应通过合理的水肥调控措施,以实现以肥调水、以水促肥的目的,另一方面,应重视选育营养高效型的小麦品种,从遗传改良方面提高旱地小麦氮素利用效率。

## 参 考 文 献:

- [1] 张继林,孙元敏,郭绍铮,等.高产小麦营养生理特性与高效施肥技术研究[J].中国农业科学,1988,21(4):39-45.  
Zhang J L, Sun Y M, Guo S Z *et al.* Studies on nitrogen characters in wheat of high yield potential and techniques for fertilizer application [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1988, 21(4): 39-45.
- [2] 张洪程,许轲,戴其根,等.超高产小麦吸氮特性与氮肥运筹的初步研究[J].作物学报,1988,24(6):935-939.  
Zhang H C, Xu K, Dai Q G *et al.* Studies on nitrogen uptake and N applied of super-high yield wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1988, 24(6): 935-939.
- [3] 韩燕来,介晓磊,谭金芳,等.超高产冬小麦氮磷钾吸收、分配与运转规律的研究[J].作物学报,1998,24(6):908-915.  
Han Y L, Jie X L, Tan J F *et al.* Studies on absorption, distribution and translocation of N, P and K of super-high yield winter wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1998, 24(6): 908-915.
- [4] Burns I G. Studies of the relationship between the growth rate of young plants and their total-N concentration using nutrient interruption techniques: Theory and experiments [J]. *Annals of Botany*, 1994, 74(2): 143-157.
- [5] Burns I G. A mechanistic theory for the relationship between growth rate and the concentration of nitrate-N or organic-N in young plants derived from nutrient interruption experiments [J]. *Annals of Botany*, 1994, 74(2): 159-172.
- [6] 张庆江,张立言,毕恒武.春小麦品种氮的吸收积累和转运特征及子粒蛋白质含量的关系[J].作物学报,1997,23(6):712-718.  
Zhang Q J, Zhang L Y, Bi H W. The absorption, accumulation and translocation of nitrogen and their relationships to grain protein content in spring wheat variety [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(6): 712-718.
- [7] 朱新开,郭文善,封超年,等.不同类型专用小麦氮素吸收积累差异研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(2):148-154.  
Zhu X K, Guo W S, Feng C N *et al.* Nitrogen absorption and utilization differences among wheat varieties for different end uses [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(2): 148-154.
- [8] 张国平,张光恒.小麦氮素利用效率的基因型差异研究[J].植物营养与肥料学报,1996,2(4):331-336.  
Zhang G P, Zhang G H. Studies on nitrogen utilization rate of different wheat genotypes [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1996, 2(4): 331-336.
- [9] 姜丽娜,李春喜,代西梅,等.超高产小麦氮素吸收、积累及分配规律的研究[J].麦类作物学报,2000,20(2):53-59.  
Jiang L N, Li C X, Dai X M *et al.* Studies on nitrogen uptake, accumulation and distribution of super-high yield wheat [J]. *J. of Triticeae Crops*, 2000, 20(2): 53-59.
- [10] 赵广才,张保明,王崇义.不同类型高产小麦氮素积累及施氮对策探讨[J].作物学报,1998,24(6):894-898.  
Zhao G C, Zhang B M, Wang C Y. Discussion on nitrogen accumulation and application in different types of high-yielding winter wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1998, 24(6): 894-898.
- [11] 许为钢,胡琳,吴兆苏,盖钧镒.关中小麦品种同化物积累分配特性与源库构成遗传改良的研究[J].作物学报,1999,25(5):548-555.  
Xu W G, Hu L, Wu Z S, Gai J Y. Genetic improvement of accumulation and distribution of assimilates and source sink constitution of wheat cultivars in Mid-Shaanxi area [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25(5): 548-555.
- [12] 杜金哲,李文雄,胡尚连,刘金宏.春小麦不同品质类型氮的吸收、转化利用及与子粒产量和蛋白质含量的关系[J].作物学报,2001,27(2):253-260.  
Du J Z, Li W X, Hu S L, Liu J H. Nitrogen assimilation, transfer and utilization in relation to grain protein content and yield of spring wheat genotypes differing in quality [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(2): 253-260.
- [13] 赵万春,David G B, O' Brein L.小麦组织N的积累与分配及其相关性研究[J].西北农业大学学报,1999,27(6):38-43.  
Zhao W C, David G B, O' Brein L. Study on tissue nitrogen accumulation and partitioning and their correlation [J]. *Acta Univ. Agric.*, 1999, 27(6): 38-43.

- [14] 岳寿松,于振文,余松烈,许玉敏.不同生育时期施氮对冬小麦旗叶衰老和粒重的影响[J].中国农业科学,1997,30(2):42-46.  
Yue S S, Yu Z W, Yu S L, Wu Y M. Effects of nitrogen application at different growth stages on the senescence of flag leaves and grain yield in winter wheat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1997, 30(2): 42-46.
- [15] Isfen D. Nitrogen physiological efficiency index in some selected spring barely cultivars [J]. Plant Nutrition, 1990, 13: 907-914.
- [16] Loffler C M, Rauch T L, Busch R H. Grain and plant protein relationship in hard red spring wheat [J]. Crop Sci., 1985, 18: 119-125.
- [17] 李生秀.中国旱地农业[M].北京:中国农业出版社.2004.  
Li S X. Dryland agriculture of China [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2004.
- [18] Guitman M R, Arnozis F A, Barneix A J. Effect of source-sink relations and nitrogen nutrition on senescence and N remobilization in the flag leaf of wheat [J]. Physiol. Plant, 1991, 82: 278-284.
- [19] Barneix A J, Arnozis P A, Guitman M R. The regulation of the nitrogen accumulation in the grain of wheat plants (*Triticum aestivum* L) [J]. Physiol. Plant, 1992, 86: 609-615.
- [20] Hou Y L, O'Brien L, Zhong G R. Study on the dynamic changes of the distribution and accumulation of nitrogen in different plant parts of wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 27(4): 493-499.
- [21] 孙春梅.不同基因型冬小麦的水氮利用效率研究[D].西北农林科技大学, 硕士论文, 2003.  
Sun C M. Water and nitrogen use efficiency of different genotype of winter wheat [D]. Northwest Agric. and For. University Dissertation for Master Degree, 2003.
- [22] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants [M]. San Diego, CA: Academic press, 1995.