

施氮量和底追比例对小麦氮素吸收利用及子粒产量和蛋白质含量的影响

马兴华¹, 于振文^{1*}, 梁晓芳¹, 颜红², 史桂萍²

(1 山东农业大学农业部小麦栽培生理与遗传改良重点开放实验室, 山东泰安 271018;

2 龙口市农业技术推广中心, 山东龙口 265701)

摘要: 在大田栽培条件下, 运用¹⁵N示踪技术研究了不同施氮量和底追肥比例对小麦氮素利用和子粒产量及蛋白质含量的影响。结果表明, 施用氮肥提高了小麦植株的氮素积累量、子粒产量、蛋白质含量和蛋白质产量。相同施氮量条件下增加追肥氮的比例, 提高了氮肥农学利用率和吸收利用率, 增加了植株地上部器官(子粒 + 营养器官)中追肥氮、土壤氮的积累量, 提高了营养器官中氮素的转运量和开花后氮素的同化量, 增加了子粒蛋白质含量。相同的氮素底追肥比例条件下, 将 240 kg/hm² 施氮量降至 168 kg/hm² 的处理, 氮肥农学利用率、氮肥吸收利用率、氮肥偏生产力提高, 子粒中土壤氮的积累量增加, 植株地上部器官中土壤氮的积累量亦增加, 开花后氮素同化量提高, 子粒蛋白质含量增加。各施氮处理间子粒产量无显著差异。在本试验条件下, 施氮量为 168 kg/hm² 且全部于拔节期追施是兼顾产量、品质和效益的优化处理。

关键词: 冬小麦; 施氮量; 底追肥比例; 氮素利用; 子粒产量; 子粒蛋白质含量

中图分类号: S147.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2006)02-0150-06

Effects of nitrogen application rate and ratio of base and topdressing on nitrogen absorption, utilization, grain yield, and grain protein content in winter wheat

MA Xing-hua¹, YU Zhen-wen^{1*}, LIANG Xiao-fang¹, YAN Hong², SHI Gui-ping²

(1 Key Lab. of Wheat Physiol. and Genetics Improv., MOA, Shandong Agric. Univ., Taian, Shandong 271018, China;

2 Agrotechnical Extension Center of Longkou City, Longkou, Shandong 265701, China)

Abstract: Field experiments were conducted to study effects of nitrogen application rate and ratio of base and topdressing on nitrogen utilization, grain yield, and grain protein content in winter wheat using ¹⁵N tracer technique. Results showed that using nitrogen increased nitrogen cumulate, grain yield, protein content, and grain protein yield. Under the same nitrogen application rate, higher topdressing ratio improved nitrogen agronomic efficiency, nitrogen recovery efficiency, increased accumulation amount of topdressing fertilizer nitrogen and soil nitrogen in above-ground part (nutrition part + kernel), and improved transferring amount from nutrition part to kernel, assimilating amount after anthesis, and protein content. Under the same ratio of base and topdressing, decreasing nitrogen application rate from 240 kg/ha to 168 kg/ha increased nitrogen agronomic efficiency, nitrogen recovery efficiency, and nitrogen partial factor productivity, meanwhile, accumulation amount of soil nitrogen in kernel, accumulation amount of soil nitrogen in above-ground part, and assimilating amount after anthesis and protein content were improved as well. Grain yields had no statistical significant difference among different nitrogen application treatments. Under the field fertility of this experiment, one time application of 168 kg/ha nitrogen at jointing stage, was the optimal treatment taking account of yield, quality, and benefit.

Key words: winter wheat; nitrogen application rate; ratio of base and topdressing; nitrogen utilization; grain yield; grain protein content

收稿日期: 2005-01-27

修改稿收到日期: 2005-07-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(30471026); “十五”国家科技攻关项目(2002BA516A12)资助。

作者简介: 马兴华(1979—), 男, 山东安丘人, 博士研究生, 主要从事作物生理生态研究工作。* 通讯作者

生产中为了提高作物产量和改善品质,氮肥被大量投入农田,但氮肥利用率较低^[1],而且氮肥的大量施用已经引起了严重的环境问题^[2]。因此合理运筹氮肥是提高氮肥利用率、增加产量、改善品质和减少污染的重要措施。一些研究认为,增施氮肥促进了植株对氮素的吸收,有利于提高小麦子粒产量和蛋白质含量^[3-6]。张庆江等^[7]指出,子粒蛋白质含量与氮素积累量相关不显著,子粒中的氮素主要来自开花前营养器官中储存的氮素的再分配。当前,有关不同施氮量对小麦氮素吸收利用影响的研究报道较多,而氮肥不同底追肥比例对小麦产量和品质效应的研究尚少。为此,我们设置了不同的施氮量和底追肥比例试验,研究了其对小麦氮素吸收和利用效率的影响,分析了氮素吸收与产量和蛋白质含量的关系,以期小麦的保优、节本、高效栽培技术中合理施用氮肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验于 2002—2003 年度在山东省龙口市北马镇前诸留村进行。龙口市属暖温带半湿润季风性气候,年平均无霜期 190 d,气温 12℃,≥0℃的积温 4000℃左右,日照 2800 h;常年平均降水量为 650 mm,本年度小麦生育期间降水量为播种至冬前期 56.7 mm,冬前至起身期 60.3 mm,起身至拔节期 39.4 mm,拔节至成熟期 118.8 mm。当地小麦高产田施肥量一般为 N 240 kg/hm²、P₂O₅ 105 kg/hm² 和 K₂O 135 kg/hm²。试验地为棕壤,播种前土壤 0—20 cm 土层的养分状况为有机质 13.0 g/kg、全 N 1.14 g/kg、碱解 N 90.04 mg/kg、速效 P 20.0 mg/kg、速效 K 116.0 mg/kg。供试强筋小麦品种为济麦 20。

试验设:1)不施氮肥(对照);2)施 N 240 kg/hm²,底施和拔节期追施各 50%;3)施 N 240 kg/hm²,全部于拔节期追施;4)施 N 168 kg/hm²,底施和拔节期追施各 50%;5)施 N 168 kg/hm²,全部于拔节期追施等 5 个处理,分别用 T1、T2、T3、T4、T5 表示。随机区组排列,重复 3 次。小区面积 2.5 m×4 m,埂宽 40 cm,小区间设置 1 m 的防渗带。2002 年 10 月 8 日播种,基本苗 120 株/m²,各小区于耕地前施 P₂O₅ 105 kg/hm²、K₂O 135 kg/hm²,肥料分别为过磷酸钙、氯化钾,撒施于地表后耕翻。氮肥为尿素,底施的尿素于播种前均匀撒施于各小区后耕翻,拔节期开沟追施,然后埋严并浇水,灌水量 600 m³/hm²。其余管理措施同高产田。

另于试验小区内设置¹⁵N微区。微区处理与试验小区一致。设底施¹⁵N+拔节期追施 N,底施 N+拔节期追施¹⁵N处理,¹⁵N氮肥为尿素,由上海化工研究院生产,丰度为 10.13%。微区内磷肥和钾肥单独施用。设置微区所用铁框的长宽高为 44.5 cm×15 cm×30 cm,于施肥之前埋于地下,露出地表 5 cm,微区内播种两行小麦,播种时间和基本苗同试验小区。

1.2 测定项目和方法

子粒蛋白质总量测定 采用 GB2905-1982 谷类、豆类作物种子粗蛋白质测定法(半微量凯氏定氮法),含氮量乘以指数 5.7 为蛋白质含量。

¹⁵N丰度测定 采用 ZHT-O₂ 型质谱仪分析。

计算方法

氮素收获指数 = 子粒含氮量/植株吸氮量^[11]

氮肥农学利用率 = (施氮区子粒产量 - 无氮区子粒产量)/施氮量^[1]

氮肥吸收利用率(%) = (施氮区氮素吸收量 - 无氮区氮素吸收量)/施氮量 × 100^[1]

氮肥偏生产力 = 施氮区产量/施氮量^[11]

植株吸收的氮素来源于底肥、追肥,土壤的量及比例的计算参照陈子元的方法^[8]:

植株总的氮素积累量 = 成熟期单株干重 × 成熟期植株含氮量(%)

植株吸收的氮来源于底(追)肥的比例(%) = 底(追)肥处理植株样品¹⁵N原子百分超%/肥料¹⁵N原子百分超% × 100

植株吸收的氮来源于底(追)肥的量 = 植株吸收的总氮量 × 植株吸收的氮来源于底(追)肥的比例(%)

植株吸收的氮来源于土壤的量 = 植株吸收的总氮量 - 植株吸收的来源于底肥和追肥的氮量

植株吸收的氮来源于土壤的比例(%) = 植株吸收的氮来源于土壤的氮/植株吸收的总氮量 × 100

植株营养器官氮素转移量 = 开花期植株地上部器官氮素积累量 - 成熟期营养器官氮素积累量

开花后氮素同化量 = 成熟期子粒氮素积累量 - 开花前吸收的氮素的转移量

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对氮素利用率的影响

表 1 看出,施用氮肥提高了植株中的氮素积累量,降低了氮素收获指数。施氮处理之间比较,相同的施氮量,氮肥全部用于拔节期追施的处理显著提

高了氮肥农学利用率和氮肥吸收利用率,即 $T3 > T2, T5 > T4$; 对植株中氮素积累量、氮素收获指数和氮肥偏生产力无显著影响。相同的底追肥比例,降低施氮量显著提高了氮肥农学利用率、氮肥吸收利

用率、氮肥偏生产力,即 $T4 > T2, T5 > T3$; 对植株中氮素积累量、氮素收获指数无显著影响。表明降低施氮量和增加追肥氮比例均有促进植株对氮肥利用的效应。

表 1 不同施肥处理对氮素利用率的影响
Table 1 Effect of different fertilizer treatments on nitrogen utilization efficiency

处理 Treatment	施氮量 NAR (kg/hm ²)	底追肥比例 RBT	N 积累量 NAA (kg/hm ²)	氮素收获指数 NHI	氮肥农学利用率 NAE (kg _{grain} /kg N)	氮肥吸收利用率 NRE (%)	氮肥偏生产力 NPFP (kg _{grain} /kg N)
T1	0	0	225.4 b	0.824 a	—	—	—
T2	240	50:50	265.5 a	0.740 b	0.944 c	16.7 c	34.3 b
T3	240	0:100	273.2 a	0.762 ab	1.918 b	19.9 b	36.1 b
T4	168	50:50	263.4 a	0.770 ab	2.024 b	22.6 b	49.6 a
T5	168	0:100	273.9 a	0.763 ab	2.282 a	28.9 a	49.9 a

注(Notes): 不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同。Different letters mean significant at 5% level; NAR = Nitrogen application rate; RBT = Ratio of base and topdressing; NAA = Nitrogen accumulation amount; NHI = Nitrogen harvest index; NAE = Nitrogen agronomic efficiency; NRE = Nitrogen recovery efficiency; NPFP = Nitrogen partial factor productivity; same as follows.

2.2 不同施肥处理对地上部营养器官中不同来源氮素积累量的影响

表 2 表明,相同的施氮量,氮肥全部用于拔节期追施,成熟期小麦地上部营养器官(包括茎、叶片、叶鞘、穗轴和颖壳)中的追肥氮、土壤氮的积累量均增加,追肥氮、土壤氮各占氮素积累量的比例亦增加,即 $T3 > T2, T5 > T4$; 但总肥料氮积累量及总肥料氮占氮素积累量的比例降低,表现为 $T3 < T2, T5 < T4$ 。相同的底追肥比例,降低施氮量,小麦营养器官中的土壤氮积累量及土壤氮占氮素积累量的比例增加,即 $T5 > T3, T4 > T2$; 小麦营养器官中的追肥氮、底肥氮的积累量均降低,追肥氮、底肥氮各自占氮素积累量的比例亦降低,表现为 $T5 < T3, T4 < T2$,总肥料氮积累量及总肥料氮占氮素积累量的比例减少;小麦营养器官中的氮素积累量降低。由此可见,降低施氮量并增加追肥氮比例,小麦营养器官中土壤氮的积累量提高,但肥料氮的积累量降低。

2.3 不同施肥处理对子粒中不同来源氮素积累量的影响

表 3 示出,小麦子粒中土壤氮的积累量显著高于肥料氮的积累量,土壤氮占氮素积累量的比例显著高于肥料氮占氮素积累量的比例。在子粒积累的肥料氮中,追肥氮的积累量显著高于底肥氮的积累量,追肥氮占氮素积累量的比例显著高于底肥氮占氮素积累量的比例。240 kg/hm² 的施氮量,氮肥全部用于拔节期追施的处理提高了小麦子粒中追肥氮

的积累量、土壤氮的积累量,亦提高了追肥氮、土壤氮各自占氮素积累量的比例,表现为 $T3 > T2$; 但降低了小麦子粒中总肥料氮占氮素积累量的比例,即 $T3 < T2$ 。168 kg/hm² 的施氮量,氮肥全部用于拔节期追施的处理提高了小麦子粒中追肥氮积累量及追肥氮占氮素积累量的比例,表现为 $T5 > T4$; 但对总肥料氮、土壤氮积累量无显著影响,对总肥料氮、土壤氮各占氮素积累量的比例亦无显著影响。相同的底追肥比例,降低施氮量,小麦子粒中的底肥氮、追肥氮的积累量均降低,底肥氮、追肥氮各自占氮素积累量的比例亦降低,表现为 $T5 < T3, T4 < T2$,总肥料氮积累量及总肥料氮占氮素积累量的比例减少;而小麦子粒中土壤氮积累量及土壤氮占氮素积累量的比例增加,即 $T5 > T3, T4 > T2$; 小麦子粒的氮素积累量增加。结果说明,不同施氮量条件下增加追肥氮的比例均可提高了子粒中追肥氮的积累量,降低施氮量增加了子粒中土壤氮的积累量。

2.4 不同施肥处理对植株地上部不同来源氮素积累量的影响

综合表 2 和表 3 数据可以看出,植株地上部(营养器官+子粒)中的土壤氮的积累量显著高于肥料氮的积累量,土壤氮积累量占氮素积累量的比例显著高于肥料氮。说明在本试验条件下,植株的氮素主要来源于土壤氮。 $T3$ 与 $T2$ 比较,植株地上部器官中的追肥氮、土壤氮的积累量均表现为 $T3 > T2$,追肥氮、土壤氮各占氮素积累量的比例 $T3$ 为 26.25%、

表 2 不同施肥处理对成熟期小麦营养器官中不同来源氮素积累量的影响(¹⁵N 微区)

Table 2 Effects of different fertilizer treatments on accumulation of N from different sources by nutrition part at maturity (¹⁵N micro plot)

处理 Treat.	氮素积累量 NAA (mg/stem)	来自肥料的氮 NDFF						来自土壤的氮 NDFS	
		追肥氮 NDFTF (mg/stem)	占积累氮 PTN (%)	底肥氮 NDFBF (mg/stem)	占积累氮 PTN (%)	总肥料氮 TFN (mg/stem)	占积累氮 PTN (%)	土壤氮 NDFS (mg/stem)	占积累氮 PTN (%)
T2	7.99 ab	1.27 b	15.89 b	0.85 a	10.64 a	2.12 a	26.53 a	5.87 c	73.47 c
T3	8.19 a	1.92 a	23.44 a	0.00	0.00	1.92 b	23.45 b	6.27 ab	76.56 bc
T4	7.62 b	1.00 d	13.12 d	0.69 b	9.06 b	1.69 c	22.18 c	5.93 c	77.82 b
T5	7.67 b	1.10 c	14.34 c	0.00	0.00	1.10 d	14.34 d	6.57 a	85.66 a

Notes: NAA = Nitrogen accumulation amount; NDFF = Nitrogen derived from fertilizer; NDFS = Nitrogen derived from soil; NDFTF = Nitrogen derived from topdressing fertilizer; NDFBF = Nitrogen derived from basal fertilizer; PTN = Percentage of total nitrogen accumulation; TFN = Total fertilizer nitrogen. The same as follows.

表 3 不同施肥处理对子粒中不同来源氮素积累量的影响(¹⁵N 微区)

Table 3 Effects of different fertilizer treatments on accumulation of N from different sources by kernel (¹⁵N micro plot)

处理 Treat.	氮素积累量 NAA (mg/spike)	来自肥料的氮 NDFF						来自土壤的氮 NDFS	
		追肥氮 NDFTF (mg/spike)	占积累氮 PTN (%)	底肥氮 NDFBF (mg/spike)	占积累氮 PTN (%)	总肥料氮 TFN (mg/spike)	占积累氮 PTN (%)	土壤氮 NDFS (mg/spike)	占积累氮 PTN (%)
T2	32.38 b	6.73 c	20.78 c	2.46 a	7.60 a	9.19 a	28.38 a	23.19 c	71.62 b
T3	34.17 a	9.20 a	26.92 a	0.00	0.00	9.20 a	26.92 ab	24.97 b	73.08 ab
T4	33.78 ab	5.31 d	15.72 d	2.42 a	7.16 b	7.73 b	22.88 c	26.05 ab	77.12 a
T5	34.23 a	7.63 b	22.29 b	0.00	0.00	7.63b	22.29 c	26.60 a	77.71 a

73.75%高于 T2 的 19.82%、71.98%；但 T3 的总肥料氮占氮素积累量的比例(26.25%)显著低于 T2 (28.02%)。T5 与 T4 比较,植株地上部器官中追肥氮、土壤氮积累量表现为 T5 > T4,追肥氮、土壤氮各占氮素积累量的比例 T5 为 20.85%、79.16%高于 T4 的 15.24%、77.25%；但 T5 中总肥料氮积累量 8.73 mg/(stem + spike)及总肥料氮占氮素积累量的比例(20.84%)显著低于 T4 处理[9.42 mg/(stem + spike)和 22.75%]。由此可见,增加追肥氮的比例,提高了植株中追肥氮和土壤氮的积累量。降低施氮量提高了植株中土壤氮的积累量,减少了肥料氮的积累量。T4 与 T2、T5 与 T3 比较,T4 和 T5 的追肥氮积累量、底肥氮积累量、总肥料氮积累量及各自占氮素积累量的比例均分别显著低于 T2、T3 处理；而 T4、T5 的土壤氮积累量及土壤氮占氮素积累量的比例分别显著高于 T2、T3 处理。

2.5 不同施肥处理对营养器官氮素转移量和开花后氮素同化量的影响

施用氮肥提高了开花期和成熟期植株的氮素积累量及氮素向子粒的运转量。相同的底追肥比例而且降低施氮量的处理,成熟期营养器官氮素积累量减少,开花后吸收的氮素向子粒的运转量增加；相同的施氮量而氮肥全部用于拔节期追施的处理提高了植株营养器官的氮素向子粒的转移量及开花后氮素的同化量,增加了成熟期子粒氮素积累量(表 4)。表明过量施用氮肥抑制了开花后氮素的同化,滞留在营养器官中的氮量增加。适量施氮并且全部用于拔节期追施提高了成熟期子粒的氮素积累量。

2.6 不同施肥处理对子粒产量和蛋白质含量的影响

表 5 看出,相同的施氮量,氮肥全部用于拔节期追施处理的子粒蛋白质含量显著高于氮肥底施和追施各 50%处理的,即 T3 > T2、T5 > T4；子粒产量、蛋白质产量处理间无显著差异。相同的底追肥比例,适当降低施氮量的处理显著提高了子粒的蛋白质含量,表现为 T5 > T3、T4 > T2；但对子粒产量和蛋白质

表 4 不同施肥处理对营养器官氮素转移量和开花后氮素同化量的影响
Table 4 Effects of different fertilizer treatments on nitrogen transferring amount
from nutrition part to kernel and nitrogen assimilating amount after anthesis

处理 Treat.	施氮量 NAR (kg/hm ²)	底追肥 比例 RBT	开花期 氮素积累量 NAAA (kg/hm ²)	成熟期营养器官 氮素积累量 NAAVOM (kg/hm ²)	成熟期子粒 氮素积累量 NAAGM (kg/hm ²)	营养器官氮素 转移量 NTAVO (kg/hm ²)	开花后氮素 同化量 AANAA (kg/hm ²)
T1	0	0	175.7 c	39.6 d	185.9 c	136.2 c	49.7 a
T2	240	50:50	228.5 ab	69.0 a	196.5 b	159.4 b	37.1 de
T3	240	0:100	235.1 a	65.1 b	208.1 a	170.0 a	38.1 d
T4	168	50:50	221.6 b	60.6 c	202.8 ab	161.0 b	41.8 c
T5	168	0:100	227.3 ab	64.5 b	209.5 a	162.9 ab	46.6 b

NAAA—Nitrogen accumulation amount at anthesis; NAAVOM—Nitrogen accumulation amount of nutrition part at maturity; NAAGM—Nitrogen accumulation amount of grain at maturity; NTAVO—Nitrogen transferring amount of nutrition part; AANAA—Assimilating amount of nitrogen after anthesis

表 5 不同施肥处理对子粒产量和蛋白质含量的影响
Table 5 Effect of different treatments on grain yield and protein content

处理 Treatment	施氮量 NAR (kg/hm ²)	底追肥 比例 RBT	子粒产量 Grain yield (kg/hm ²)	子粒蛋白质含量 Protein content of grain (%)	子粒蛋白质产量 Protein yield of grain (kg/hm ²)
T1	0	0	8000.4 b	13.24 e	1059.5 b
T2	240	50:50	8227.1 ab	13.61 d	1119.9 ab
T3	240	0:100	8460.8 a	14.06 b	1189.6 a
T4	168	50:50	8340.4 ab	13.86 c	1155.7 a
T5	168	0:100	8383.8 ab	14.21 a	1191.4 a

产量无显著影响。表明增加氮肥作追肥的比例和降低施氮量主要影响了子粒蛋白质的含量。

3 讨论

氮肥农学利用率、氮肥吸收利用率和氮肥偏生产力是用来表示氮肥利用率的常用定量指标,他们从不同的侧面描述了作物对氮素或氮肥的利用效率^[9]。Jiang 等^[10]研究指出,施氮量对氮肥吸收利用率的影响因品种而异;也有研究表明,氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率、氮肥偏生产力随施氮量增加而降低^[11-12]。本研究结果表明,降低施氮量的处理氮肥吸收利用率、氮肥偏生产力均提高。相同施氮量条件下,增加拔节期追施比例提高了氮肥农学利用率、氮肥吸收利用率和氮肥偏生产力。说明氮肥利用率不仅与施氮量有关,而且还受底追肥比例的影响。在本试验土壤肥力和当地施 N 240 kg/hm² 的条件下,降低施氮量与提高拔节期追施氮肥的比例,均有利于提高小麦植株中氮素的积累量,提高氮肥利用率。

王晨阳等^[13]研究认为,超高产小麦以施氮量

240 kg/hm²、底追肥比例 5:5 为宜。王月福等^[14]认为,在不同土壤肥力条件下,氮肥底追肥比例为 5:5,增加施氮量,子粒中来自底肥氮和追肥氮的数量均增加,但来自土壤氮的量在高肥力条件下无显著变化,而在低肥力条件下来自土壤氮的数量降低;营养器官中的氮素向子粒的转移量增加,子粒蛋白质含量提高。另一些研究^[15-18]认为,氮肥施用时期后移提高了植株中土壤氮和肥料氮的积累量,促进了肥料氮向子粒的运转,提高了子粒产量,增加子粒蛋白质含量,改善子粒品质。本试验地 0—20 cm 土层土壤的有机质含量 13.0 g/kg、全 N 1.14 g/kg、碱解 N 90.04 mg/kg、速效 P 20.0 mg/kg、速效 K 116.0 mg/kg,地力水平较高,不施用底肥没有影响小麦分蘖的数量、质量和生长发育。在这一条件下,植株中土壤氮的积累量高于肥料氮的积累量,降低施氮量和提高拔节期追施氮肥的比例,促进了植株中追肥氮和土壤氮的积累,提高了小麦灌浆期间的氮肥供应强度,增加了营养器官的氮素向子粒的转移量和开花后氮素的同化量,增加了子粒的氮素积累量,因而提高了子粒蛋白质含量;但对子粒产量无显著影

响。研究结果还表明,在本试验条件下,施氮量为 168 kg/hm^2 ,且全部用于拔节期追施的处理,能较好地协调产量、品质、效益之间的关系。

参考文献:

- [1] Arvind K S, Jagdish K L, Singh V K, Dwivedi B S. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a system perspective [J]. *Agronomy J.*, 2004, 96: 1606-1621.
- [2] Zhang F S, Mi G H, Liu J A. The improvement and application of maize in N efficiency [J]. *J. Agric. Biotech.*, 1997, 2: 112-117.
- [3] 王月福,于振文,李尚霞,余松烈.土壤肥力和施氮量对小麦根系氮同化及子粒蛋白质含量的影响[J].*植物营养与肥料学报*, 2003,9(1): 39-44.
Wang Y F, Yu Z W, Li S X, Yu S L. Effects of nitrogen rates and soil fertility levels on root nitrogen absorption and assimilation and grain protein content [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9 (1): 39-44.
- [4] 杜金哲,李文雄,胡尚连,刘锦江.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 J. 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.
- [5] 林琪,侯立白,韩伟.不同肥力土壤下施氮量对小麦子粒产量和品质的影响[J].*植物营养与肥料学报*, 2004,10(6): 561-567.
Lin Q, Hou L B, Han W. Effects of nitrogen rates on grain yield and quality of wheat in different soil fertility [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(6): 561-567.
- [6] 曹承富,孔令聪,汪建来,等.施氮量对强筋和中筋小麦产量和品质及养分吸收的影响 [J].*植物营养与肥料学报*, 2005,11 (1): 046-050.
Cao C F, Kong L C, Wang J L *et al.* Effects of nitrogen on yield, quality and nutritive absorption of middle and strong gluten wheat [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(1): 046-050.
- [7] 张庆江,张立言,毕桓武.春小麦品种氮的吸收和运转特征及与子粒蛋白质的关系[J].*作物学报*, 1997,23(6): 712-718.
Zhang Q J, Zhang L Y, Bi H W. The absorption, accumulation and translation of nitrogen and their relationships to grain protein content in spring wheat variety [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(6): 712-718.
- [8] 陈子元,温贤芳,胡国辉.核技术及其在农业科学中的应用 [M].北京: 科学技术出版社,1983.466-484.
Chen Z Y, Wen X F, Hu G H. Nuclear technology and its use in agriculture science [M]. Beijing: Science and Technology Press, 1983. 466-484.
- [9] Novoa R, Loomis R S. Nitrogen and plant production [J]. *Plant and Soil*, 1981, 58: 177-204.
- [10] Jiang L G, Dai T B, Jiang D *et al.* Characterizing physiological N-use efficiency as influenced by nitrogen management in three rice cultivars [J]. *Field Crops Res.*, 2004, 88: 239-250.
- [11] 刘立军,桑大志,刘翠莲,等.实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J].*中国农业科学*, 2003,36(12): 1456-1461.
Liu L J, Sang D Z, Liu C L *et al.* Effects of real-time and site-specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency [J]. *Scientia Agricultura Sinica.*, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [12] 江立庚,曹卫星,甘秀琴,等.不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量品质的影响[J].*中国农业科学*, 2004,37(4): 490-496.
Jiang L G, Cao W X, Gan X Q *et al.* Nitrogen uptake and utilization under different nitrogen management and influence on grain yield and quality in rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(4): 490-496.
- [13] 王晨阳,朱云集,夏国军,等.氮肥后移对超高产小麦产量及生理特性的影响[J].*作物学报*, 1998,24(6): 978-983.
Wang C Y, Zhu Y J, Xia G J *et al.* Effects application of nitrogen at the later stage on grain yield and plant physiological characteristics of super-high-yielding winter wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1998, 24(6): 978-983.
- [14] 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与子粒产量和蛋白质含量的影响[J].*应用生态学报*, 2003,14(11): 1868-1872.
Wang Y F, Yu Z W, Li S X, Yu S L. Effects of soil fertility and nitrogen application rate and nitrogen absorption and translation, grain yield, and grain protein content of wheat [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1868-1872.
- [15] 于振文,田奇卓,潘庆民,等.黄淮海区冬小麦超高产栽培的理论与实践[J].*作物学报*, 2002,28(5): 577-585.
Yu Z W, Tian Q Z, Pan Q M *et al.* Theory and practice on cultivation of super high yield of winter wheat in the wheat fields of Yellow River and Huaihe River districts [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(5): 577-585.
- [16] 赵广才,何中虎,王德森,等.栽培措施对面包小麦产量和烘烤品质的调控效应[J].*作物学报*, 2002,28(6): 797-802.
Zhao G C, He Z H, Wang D S *et al.* Regulation effect of cultivated measures on grain yield and baking quality in bread wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(6): 797-802.
- [17] 盛娟,胡宏,郭文善,等.施氮模式对皖麦 38 淀粉形成与产量的效应[J].*作物学报*, 2004,30(5): 507-511.
Sheng J, Hu H, Guo W S *et al.* Effects of nitrogen application pattern on starch formation and grain yield in strong gluten wheat Wanmai 38 [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(5): 507-511.
- [18] Elvira G L, Rafael J L B, Luis L B. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions [J]. *Field Crops Res.*, 2004, 85: 213-236.