植物营养与肥料学报 2006,12(3):301 - 306
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同冬小麦品种氮素吸收运转特性及其与子粒蛋白质含量的关系

王小燕，于振文*
(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)

摘要：选用济南 17、鲁麦 22、泰山 021 三个产量水平相近,品质不同的冬小麦品种,利用^{15}N同位素示踪技术研究氮素吸收运转特性及其与子粒蛋白质含量的关系。结果表明,小麦植株一生所吸收的氮素,72.51%～73.57%来自土壤氮,26.43%～27.49%来自肥料氮；其中 11.43% 来自底施氮,15.60%来自追施氮。开花期肥料氮和土壤氮在济南 17 中的积累量最高,泰山 021 最低,鲁麦 22 介于其间。开花后营养器官中积累的氮素向子粒转移,对子粒氮素积累的贡献为叶片 > 茎 + 叶鞘 > 颖壳 + 穗轴,品种间比较,鲁麦 22 转移率最高,泰山 021 最低,济南 17 介于其间。基于以上生理原因,鲁麦 22 最终获得最高子粒蛋白质含量。

关键词：冬小麦；氮素；吸收；运转；子粒蛋白质含量
中图分类号：S512.106；Q945　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X (2006)03-0301-06

The absorption and translocation of nitrogen and their relationship to grain protein content in different winter wheat cultivars

WANG Xiao-yan, YU Zhen-wen*
(*Key Lab. of Wheat Cultiv. Physiol. and Genetic Improv., MOA, Shandong Agric. Univ., Taian 271018, China*)

Abstract: Three winter wheat cultivars (named as Jinan 17, Lumai 22, and Taishan 021) with similar quantity of output and different quality were used to study the absorption, and translocation of nitrogen and their relationship to grain protein content in different winter wheat cultivars with ^{15}N tracing technique. The result showed that 26.43%—27.49% of the nitrogen absorbed by wheat was derived from fertilizer applied, among which about 15.70 % was from basal dressing fertilizer and 11.53% from topdressing fertilizer. The cumulant of nitrogen from fertilizer and soil in Jinan 17 was the highest at anthesis, while it was the lowest for Taishan 021. The cumulant of nitrogen was intermediate for Lumai 22. After anthesis, the nitrogen accumulated in vegetative organs was translocated to grain. The order of nitrogen contribution to grain nitrogen was leaves > stems + sheaths > spike axis + kernel husks. The translocation ratio of Lumai 22 was the highest, whereas that of Taishan 021 was the lowest. Based on the physiological aspects, Lumai 22 acquired the highest grain protein content ultimately.

Key words: winter wheat; nitrogen; absorption; translocation; grain protein content

研究表明,适当增加施氮量,推迟追氮时期,加大追氮比例,可以提高旗叶 RuBpcase 活性和光合速率,协调产量构成因素,提高产量,并提出施氮量 262.5 kg/hm^2,基追比 1∶1 的施氮方式,产量最高[1-2]；也有研究认为,施用氮肥可以提高子粒蛋白质含量[3]、改善蛋白质品质[4-5]。但王月福[6]则认为,适当提高氮素水平能使子粒产量和蛋白质含量达到同步增加,氮素水平过高,虽能提高子粒蛋白质含量,但子粒产量下降。总之,前人对氮肥运筹与小麦产量和品质的结论并不完全一致,因此尚需进一步研究小麦对氮素的吸收运转规律。

关于小麦一生氮素的积累规律及氮肥运筹方面有研究认为,小麦一生氮素的积累呈“S”型曲线,从拔节期到开花期是氮素积累的关键时期[7]。Blanke-

收稿日期：2005-03-18　　**修改稿收到日期**：2005-08-08
基金项目：国家自然科学基金项目(30471026)；科技部生态农业技术体系与示范项目(2002BA516A12)资助。
作者简介：王小燕(1978—),女，山东泰安人,博士研究生,主要从事作物生态生理方面的研究。* 通讯作者

nau[8]在冬小麦收获期测定,早春施用的氮肥在植株体内残留率要显著低于来自其后生长季节施用的氮肥,认为应降低分蘖期氮肥施用量,增加后期追肥用量以优化氮肥施用策略。但是,有关不同类型品种对土壤氮、肥料氮及肥料氮中底施氮和追施氮的吸收规律,及与子粒蛋白质的关系,尚鲜见报道。因此,如何根据不同类型小麦的吸氮规律和品质要求来决定施氮量、追施氮肥和底施氮肥的比例,在实现优质、高产的前提下尽可能精确施肥,提高氮肥利用率,是当前小麦生产中亟待解决的问题。为此本试验选用不同类型小麦品种研究氮素的吸收及运转规律及其与子粒产量及蛋白质含量的关系,以期为优质小麦生产及氮肥的合理运筹提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2001～2002年在山东农业大学实习农场进行。选用高产小麦品种济南17(J17),鲁麦22(L22),和泰山021(T021),其中J17为强筋小麦,L22和T021为中筋小麦。试验在水泥池(不封底)中进行,每池面积为5 m^2。播种前0—20cm土壤养分含量为:有机质12.5 g/kg,全氮1.2 g/kg,碱解氮85.21 mg/kg,速效磷52.34 mg/kg,速效钾80.34 mg/kg。随机区组设计,重复3次。各小区于耕前按每公顷施过磷酸钙1050 kg(折合 P_2O_5 172.5 kg),硫酸钾1050 kg(折合 K_2O 142.9 kg)撒施后耕翻;氮肥为硫酸铵,按每公顷施硫铵1000 kg(折合N 210 kg),分两次施入,1/2底施,1/2拔节期(雌雄蕊原基分化期)追施。每个水泥池中设两个微区,一个为施用 $(^{15}NH_4)_2SO_4$ 作底肥,$(^{14}NH_4)_2SO_4$ 作追肥,记为WQ1;另一微区施用 $(^{14}NH_4)_2SO_4$ 作底肥,$(^{15}NH_4)_2SO_4$ 作追肥,记为WQ2。^{15}N 形态为硫酸铵,丰度为10.43%(上海化工研究院生产)。微区面积为667.5 cm^2,用镀锌铁框包围,高30 cm,露出地面5 cm,每个铁框种两行小麦。于2001年10月11日播种,基本苗定为150株/M^2,田间管理同高产田。

1.2 取样及分析方法

开花期于WQ1、WQ2中分别取样,并按叶片、茎+叶鞘、穗进行分样;成熟期于WQ1、WQ2中分别取样,并按叶片、茎+叶鞘、颖壳+穗轴、子粒进行分样。每次取样包含微区中所有植株。所取样品于80 ℃烘至恒重。植株中的全氮含量用半微量凯氏定氮法测定;^{15}N 用ZHO-O_2型质谱仪测定;子粒蛋白质含量按子粒含氮量×5.7计算。

1.3 计算公式

参照Choudhury方法[9]:

全氮吸收量(g/m^2) = 植株含氮量(%)×干物重(g/m^2);

植株吸收的氮来自底施氮或追施氮的比例(%) = [(器官中^{15}N丰度 - 0.3663)×100]/(肥料中^{15}N丰度 - 0.3663);

植株吸收的氮来自肥料氮的比例(%) = 来自底施氮的比例 + 来自追施氮的比例;

植株吸收的氮来自肥料氮(底施氮或追施氮)的量(g/plant) = 植株吸收的总氮量(g/plant)×植株吸收的氮来源于肥料氮(底施氮或追施氮)的比例(%);

植株吸收的氮来源于土壤氮的量(g/plant) = 全氮吸收量(g/plant) - 植株吸收的氮来源于肥料氮的量(g/plant)。

2 结果与分析

2.1 成熟期不同小麦品种对不同来源氮素的吸收

表1看出,小麦吸收的氮素约26.43%～27.49%来自肥料氮,72.51%～73.57%来自土壤氮。表明在本试验地力条件下,小麦一生吸收的土壤氮多,肥料氮少,培肥地力是高产优质的基础。同时还看出,来自追施氮肥的比例三个品种平均为15.60%,来自底施氮肥的比例三个品种平均为11.43%。品种间比较,J17对肥料氮及土壤氮的吸收量最大,T021最小,L22介于其间。

2.2 开花期不同来源氮素在植株各器官的分配

开花期肥料氮及土壤氮在各器官的分配量与分配比例,均表现为:叶片 > 茎+叶鞘 > 颖壳+穗轴。表2看出,这个时期氮素主要集中在叶片、茎+叶鞘等营养器官中。从氮素的来源看,各器官均表现为,土壤氮的分配量和分配比例显著大于肥料氮;肥料氮中追施氮肥的分配量与分配比例显著大于底施氮肥。表明在本试验条件下,土壤氮对各器官氮素积累的贡献大于肥料氮;拔节期追肥对各器官氮素积累的贡献大于底肥。品种间比较,开花期底施氮及追施氮在J17、L22、T021中的积累总量分别为:52.92、44.11、35.30 g/plant和78.98、68.23、56.32 g/plant;土壤氮在J17、L22、T021中的积累总量分别为:485.72、386.16、299.01 g/plant。表明开花期三品种对肥料氮及土壤氮的吸收存在差异,J17对肥料氮、土壤氮的吸收量高于T021,L22介于其间,差异达显著水平。

表 1　成熟期不同小麦品种对不同来源氮素的吸收量与吸收比例

Table 1　Nitrogen uptake amount and proportion from different sources among different wheat cultivars at mature

品种 Cultivars	总吸收量 TNUA (g/m^2)	来自肥料氮 Ndff						来自土壤氮 Ndfs	
		来自底施氮 Ndfbf		来自追施氮 Ndftf		合计 Total			
		NUA (g/m^2)	NUP (%)	NUA (g/m^2)	NUP (%)	NUA (g/m^2)	NUP (%)	NUA (g/m^2)	NUP (%)
J17	83.25 a	9.39 a	11.28 c	12.61 a	15.15 c	22.02 a	26.43 c	61.24 a	73.57 a
L22	65.75 b	7.58 b	11.53 a	10.29 b	15.63 b	17.87 b	27.17 b	47.89 b	72.83 b
T021	56.33 c	6.46 c	11.47 b	9.02 c	16.02 a	15.48 c	27.49 a	40.85 c	72.51 b

注(Note)：TNUA 为氮素的总吸收量 Total N uptake amount；NUA 为氮素的吸收量 N uptake amount；NUP 为氮素的吸收比例 N uptake proportion；Ndff 为来自肥料的氮素 N derived from fertilizer；Ndfbf 为来自底施肥料的氮素 N derived from basal dressing fertilizer；Ndftf 为来自追施肥料的氮素 N derived from topdressing fertilizer；Ndfs 为来自土壤的氮素 N derived from the soil；同列不同字母表示差异达 5% 显著水平 Different letters in same column mean significant at 5% level. 下同 Same as follows.

表 2　开花期不同来源氮素在各器官的分配

Table 2　Distribution of nitrogen from different sources among different organs at anthesis

氮素来源 N Sources		品种 Cultivars	叶片 Leaves		茎鞘 Stem and sheath		颖壳 + 穗轴 Spike axis and kernel husk		单株 Plant
			DA (mg/plant)	DP (%)	DA (mg/plant)	DP (%)	DA (mg/plant)	DP (%)	AA (mg/plant)
肥料氮 Ndff	底施氮 Ndfbf	J17	22.57 a	3.65 b	16.92 a	2.74 c	13.34 a	2.16 c	52.83 a
		L22	18.05 b	3.68 a	14.84 b	2.98 b	11.22 b	2.25 b	44.11 b
		T021	13.98 c	3.58 c	12.10 c	3.10 a	9.23 c	2.36 a	35.30 c
	追施氮 Ndftf	J17	34.48 a	5.58 b	24.36 a	3.94 c	20.15 a	3.26 c	78.98 a
		L22	29.69 b	5.96 a	21.33 b	4.28 b	17.21 b	3.45 b	68.23 b
		T021	22.74 c	5.82 c	17.26 c	4.42 a	16.32 c	4.18 a	56.32 c
	合计 Total	J17	57.04 a	9.24 b	41.28 a	6.68 c	33.58 a	5.44 c	131.91 a
		L22	47.74 b	9.58 a	36.17 b	7.26 b	28.43 b	5.70 b	112.34 b
		T021	36.71 c	9.40 c	29.36 c	7.52 a	25.55 c	6.54 a	91.62 c
土壤氮 Ndfs		J17	197.37 a	31.96 a	186.53 a	30.20 a	101.82 a	79.59 a	485.72 a
		L22	155.48 b	31.19 b	149.63 b	30.02 b	81.05 b	63.97 b	386.16 b
		T021	120.20 c	30.77 c	116.65 c	29.86 c	62.16 c	53.64 c	299.01 c

注(Note)：DA 为分配量 Distribution amount；DP 为分配比例 Distribution proportion；AA 为积累量 Accumulation amount；单株总积累氮量 = 单株从底肥中吸收的氮量 + 单株从追肥中吸收的氮量 + 单株从土壤中吸收的氮量　AA of nitrogen per plant = Ndfbf + Ndftf + Ndfs；J17 叶片在底施氮下叶片积累的底施氮比例(%) = (叶片中底施氮分配量/单株总积累量) × 100 = [22.57/(52.83 + 78.98 + 485.72)] × 100 = 3.65　DP of Ndfbf of J17 (%) = DA of Ndfbf/AA per plant × 100 = [22.57/(52.83 + 78.98 + 485.72)] × 100 = 3.65；下同 Same as follows.

2.3　成熟期不同来源氮素在植株各器官的分配

成熟期，肥料氮、土壤氮在各器官的分配量与比例均为：子粒 > 茎 + 叶鞘 > 颖壳 + 穗轴 > 叶片，其中肥料氮与土壤氮在子粒中的分配比例平均为 75.4%，表明成熟期氮素主要集中在子粒中。从氮素的来源看，各器官土壤氮的含量显著大于肥料氮；肥料氮中追施氮的含量显著大于底施氮。在本试验条件下，土壤氮对子粒氮素积累的贡献大于肥料氮；追施氮大于底施氮。品种间比较，肥料氮及土壤氮在子粒中分配量表现为，J17 > L22 > T021；分配比例为 L22 > J17 > T021，差异均达显著水平(表 3)。

2.4　开花后营养器官中不同来源氮素向子粒的转移

子粒中的氮素来源于两个方面，其一是开花前吸收并贮存在营养器官中开花后转移到子粒中的氮素，其二是开花后植株吸收的氮素[10]，其中，开花前积累的氮素占子粒氮素的 50%～80% 以上[11]。

表 4 看出，在本试验条件下，各个器官氮素向子粒的转移量均为叶片 > 茎 + 叶鞘 > 颖壳 + 穗轴；开花前叶片中积累的氮素对子粒氮素积累的贡献大于

茎+叶鞘大于颖壳+穗轴。从氮素的来源看,土壤氮的转移量显著大于肥料氮,肥料氮中追施氮肥转移量大于底施氮。表明土壤氮对子粒氮素积累的贡献大于肥料氮;肥料氮中追施氮的贡献率大于底施氮。品种间比较,肥料氮、土壤氮在各器官中的转移量为,J17显著大于L22大于T021;转移率为L22大于J17大于T021,差异达显著水平。说明J17开花前营养器官中贮存的氮素开花后向子粒转移量最高,

表3 成熟期不同来源氮素在各器官的分配

Table 3 Distribution of nitrogen from different sources among different organs at maturity

氮素来源 N Sources		品种 Cultivars	叶片 Leaves		茎鞘 Stem and sheath		颖壳+穗轴 Spike axis and kernel husk		子粒 Kernel		单株 Plant
			DA (g/plant)	DP (%)	DA (g/plant)	DP (%)	DA (g/plant)	DP (%)	DA (g/plant)	DP (%)	AA (g/plant)
肥料氮	底施氮	J17	4.48 a	0.81 b	6.36 a	1.15 a	3.58 a	0.65 b	48.18 a	8.68 b	62.60 a
Ndff	Ndfbf	L22	3.00 c	0.68 c	4.46 b	1.02 c	2.65 c	0.60 c	40.42 b	9.22 a	50.53 b
		T021	3.96 b	1.06 a	4.07 c	1.08 b	3.13 b	0.83 a	31.91 c	8.50 c	43.07 c
	追施氮	J17	5.64 a	1.02 b	7.61 a	1.37 b	5.64 a	1.02 b	65.19 a	11.75 b	84.09 a
	Ndftf	L22	4.25 c	0.97 c	5.58 c	1.27 c	4.04 c	0.92 c	54.71 b	12.48 a	68.58 b
		T021	5.58 b	1.49 a	6.21 b	1.65 a	5.16 b	1.38 a	43.18 c	11.50 c	60.13 c
	合计	J17	10.21 a	1.84 b	13.97 a	2.52 b	9.22 a	1.66 b	113.37 a	20.43 b	146.77 a
	Total	L22	7.25 c	1.65 c	10.04 c	2.29 c	6.69 c	1.53 c	95.13 b	21.70 a	119.10 b
		T021	9.54 b	2.54 a	10.27 b	2.74 a	8.29 b	2.21 a	75.09 c	20.00 c	103.20 c
土壤氮		J17	26.06 a	4.70 b	46.48 a	8.38 b	23.46 a	4.23 b	312.26 a	56.17 b	408.26 a
Ndfs		L22	19.03 c	4.34 c	35.89 c	8.19 c	17.84 c	4.07 c	246.50 b	56.29 a	319.26 b
		T021	19.56 b	5.21 a	40.52 b	10.79 a	18.98 b	5.06 a	193.26 c	51.48 c	272.31 c

表4 开花后营养器官中的氮素向子粒的转移

Table 4 Translocation of nitrogen in vegetative organs from different sources after anthesis

氮素来源 N Sources		品种 Cultivars	叶片 Leaves		茎鞘 Stem and sheath		颖壳+穗轴 Spike axis and kernel husk	
			TA (g/plant)	TP (%)	TA (g/plant)	TP (%)	TA (g/plant)	TP (%)
肥料氮	底施氮	J17	18.09 a	80.16 b	10.57 a	62.43 b	9.76 a	73.15 b
Ndff	Ndfbf	L22	15.05 b	83.40 a	10.38 b	69.95 a	8.57 b	76.40 a
		T021	10.01 c	71.64 c	8.03 c	66.38 c	6.10 c	66.10 c
	追施氮	J17	28.84 a	83.64 b	16.75 a	68.75 b	14.51 a	72.00 b
	Ndftf	L22	25.44 b	85.68 a	15.75 b	73.86 a	13.17 b	76.52 a
		T021	17.16 c	75.46 c	11.16 c	64.05 c	11.06 c	68.37 c
	合计	J17	46.83 a	82.10 b	27.31 a	66.16 b	24.36 a	72.53 b
	Total	L22	40.49 b	84.82 a	26.13 b	72.25 a	21.74 b	76.47 a
		T021	27.17 c	74.01 c	19.09 c	65.01 c	17.26 c	67.55 c
土壤氮		J17	171.31 a	86.80 b	140.06 a	75.08 b	78.36 a	76.96 b
Ndfs		L22	136.46 b	87.76 a	113.74 b	76.01 a	63.21 b	77.99 a
		T021	100.64 c	83.73 c	76.13 c	65.27 c	43.18 c	69.46 c

注(Note): TA为转移量 Translocation amount; 转移量 = 开花期分配量 - 成熟期分配量 TA = DA at Anthesis - DA at Maturity; TP为转移比例 Translocation proportion; 转移比例 = 转移量/开花期分配量×100 TP (%) = TA/DAA (distribution amount at Anthesis) × 100

而转移效率居中；T021 向子粒转移量最低，转移效率亦最低；L22 向子粒转移量居于中，而转移效率最高，为最终获得较高的子粒蛋白质含量奠定物质基础。

2.5 不同品种子粒蛋白质含量

子粒蛋白质含量是决定小麦品质的主要因素，受氮肥等因素的影响。前人研究表明，在一定量施氮范围内，随着施氮量的增加，子粒蛋白含量逐渐增加[7]；也有研究表明，拔节和孕穗期追氮均提高了小麦产量和子粒蛋白质含量，但过迟追氮不利于产量和蛋白质含量的同步提高[12]。在本试验条件下，参试的 3 个品种子粒蛋白质含量表现为，L22 子粒蛋白质含量（15.0%）高于 J17（13.5%）和 T021（14.2%），J17、T021 间子粒蛋白质含量差异不显著。在氮肥运筹相同的条件下，吸氮量居中，氮素转移率最高的 L22 子粒蛋白质含量最高。

3 讨论

本试验研究表明，小麦植株吸收的氮 72.51%～73.57% 来自于土壤氮，26.43%～27.49% 来自于肥料氮，表明小麦一生吸收的土壤氮多，肥料氮少，因此培肥地力是获得高产优质的基础。这一结果与 Ibrikci 等[12]研究结果，大量的土壤矿物氮存在于耕作层基本相同；也与王月福等[7]研究结果，小麦一生吸收的氮1/3来自肥料氮，2/3 来自土壤氮基本一致。朱新开，郭文善等[1]提出，随施氮量的增加，成熟期植株含氮量及积累量都上升，基追平衡施用，氮素的生产力和氮肥利用率高。本试验结果也看出，小麦植株吸收底施氮和追施氮的比例不同，其中追施氮的吸收比例比底施氮高 4.2%，说明在本试验条件下，小麦对追施氮肥的利用率高于底施氮肥。

关于不同小麦品种其氮素的吸收运转特性，一些研究结果表明，品种间蛋白质含量的差别最终来源于开花后吸氮量的差别，高蛋白品种在开花后的吸氮量显著高于低蛋白品种[14-16]。沈建辉等[12]研究表明，高蛋白品种徐麦 26 子粒蛋白质合成所需氮素主要来源于花后氮素同化，而低蛋白品种淮麦 18 则更多地依赖于开花前贮存氮素的再动员与分配；但 Mi 等[11]研究认为，即使开花后根系对氮素的吸收受阻，子粒灌浆仍可以继续进行，且大量的氮素从叶片及茎鞘中运往子粒。有关子粒蛋白含量与氮素的吸收及运转的关系结论不尽一致，可能与选材和研究方法有关。本试验采用同位素示踪法，结果看出子粒蛋白质含量与小麦一生氮素的吸收量无相关关系，与花后氮素的吸收量亦无相关关系，而是由对肥料氮、土壤氮的吸收量及其在各器官的分配量和分配比例以及开花前营养器官中积累的氮素向子粒的转移量和转移比例三个因素共同决定。J17 在开花前及开花后积累的氮素最多，开花期及收获期各器官氮素的分配量最大，但最终子粒蛋白质含量并不高，这可能与其生育前中期吸氮量过高，植株生长旺盛，而后期衰老快，营养器官中积累的氮素不能及时运转到子粒中有关。T021 在开花前及开花后积累的氮素最少，开花期及收获期各器官氮素的分配量最少，开花前营养器官中积累的氮素在开花后向子粒运转的比例最低，最终子粒蛋白质含量最低。L22 开花前及开花后积累的氮素、开花期及收获期各器官氮素的分配量均居于 J17 和 L22 之间，但最终子粒蛋白质含量最高，这可能与其生育前中期吸氮量较高，植株氮代谢旺盛，而后期营养器官中积累的氮素能及时运转到子粒中有关。这一结果给我们以启示，在小麦育种过程中，可以在高产的基础上选择氮素转移率高的品种以提高氮肥利用率，改善小麦品质；在小麦的高产栽培中，可以通过降低底施氮的比例，增加追施氮的比例以提高子粒产量，改善品质，提高氮素利用率，并降低土壤中残留的氮素对环境造成的污染，这有待于进一步验证。

参 考 文 献：

[1] 朱新开，郭文善，周正权，等．氮肥对中筋小麦扬麦 10 号氮素吸收、产量和品质的调节效应[J]．中国农业科学，2004，37(12)：1831-1837.
Zhu X K, Guo W S, Zhou Z Q *et al*. Effects of nitrogen fertilizer on N absorption, yield and quality of medium-gluten wheat Yangmai 10 [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(12): 1831-1837.

[2] 许轲，张洪程，葛鑫，等．施氮方式对中筋小麦陕农 229 产量及品质的影响[J]．扬州大学学报，2004，25(4)：25-29.
Xu K, Zhang H C, Ge X *et al*. Effects of nitrogen application methods on grain yield and quality in middle gluten wheat Shannong 229 [J]. Journal of Yangzhou University. 2004, 25(4): 25-29.

[3] Lloveras J, Lopez A, Ferran J *et al*. Bread-making wheat and soil nitrate as affected by nitrogen fertilization in irrigated mediterranean conditions [J]. Agron. J., 2001, 93:1183-1190.

[4] Lyon D J, Shelton D R. Fallow management and nitrogen fertilizer influence winter wheat kernel Hardness [J]. Crop Sci., 1999, 39: 448-452.

[5] 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)：46-50.
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.

[6] 王月福,姜东,于振文,曹卫星.氮素水平对小麦子粒产量和蛋白质含量的影响及其生理基础[J].中国农业科学,2003,36(5): 513-520.

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 [J]. Scientia Agricultura Sinica. 2003, 36(5): 513-520.

[7] 王月福,于振文,李尚霞,余松烈.施氮量对小麦子粒蛋白质组分含量及加工品质的影响[J].中国农业科学,2002,35(9): 1071-1078.

Wang Y F, Yu Z W, Li S X, Yu S L. Effects of nitrogen application amount on content of protein components and processing quality of wheat grain [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(9): 1071-1078.

[8] Blankenau K, Olfs H W. Effect of different crop densities of winter wheat on recovery of nitrogen in crop and soil within the growth period [J]. J. Agron. and Crop Sci., 2001, 186: 151-156.

[9] Choudhury T M A, Khanif Y M. Evaluation of effects of nitrogen and magnesium fertilization on rice yield and fertilizer nitrogen efficiency using ^{15}N tracer technique [J]. J. Plant Nitr., 2001, 24(6): 855-871.

[10] Kumudini S, Hume D J, Chu G. Genetic improvement in short-season soybeans: II Nitrogen accumulation remobilization and partitioning [J]. Crop Sci., 2002, 42: 141-145.

[11] Mi G H, Liu J A, Chen F J *et al*. Nitrogen uptake and remobilization in maize hybrids differing in leaf senescence [J]. J. Plant Nitr., 2003, 26 (1): 237-247.

[12] Shen J H, Dai T B, Jing Q *et al*. Effect of nitrogen topdressing time on the accumulation and transfer of nitrogen, yield and protein content in specialty wheat [J]. J. Triticease Crops, 2004, 24(1): 55-58.

[13] Ibrikci H, Buyuk G, Yagbasanlar T *et al*. Contribution of soil mineral nitrogen in wheat production [J]. J. Plant Nutr., 2001, 24 (12): 1871-1883.

[14] 田纪春,张忠义,梁作勤.高蛋白和低蛋白小麦品种的氮素吸收和运转分配差异的研究[J].作物学报,1994,20(1): 76-83.

Tian J C, Zhang Z Y, Liang Z Q. Studies on the difference of nitrogen absorption, translocation and distribution in high and low protein content wheat cultivars [J]. Acta Agronomica Sinica, 1994, 20(1): 76-83.

[15] Flowers M, Weisz R, Heiniger R *et al*. In-season optimization and site-specific nitrogen management for soft red winter wheat [J]. Agron. J., 2004, 96: 124-134.

[16] Jeuffroy M H, Bouchard C. Intensity and duration of nitrogen deficiency on wheat grain number [J]. Crop Sci., 1999, 39: 1385-1393.