

# 水分和氮肥运筹对小麦氮素吸收分配的影响

李世娟<sup>1</sup>, 周殿玺<sup>2</sup>, 诸叶平<sup>1</sup>, 李建民<sup>2</sup>, 兰林旺<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院, 北京 100081; 2. 中国农业大学, 北京 100094)

**摘要:** 试验结果表明, 两种灌溉方法下各处理之间的产量不存在显著差异, 与两水处理相比, 四水处理公顷穗数提高, 但拔节水导致千粒重极显著降低。四水条件下小麦的氮素吸收量高于两水条件下的相应氮肥处理, 而氮素生理效率降低。灌四水使氮素在小麦营养器官中的分配比例提高, 两水灌溉更有利于氮素向子粒转运。各营养器官对子粒氮的贡献率依次为叶片> 茎秆= 颖壳> 叶鞘> 根系, 其中叶片的氮素转移量最高, 两水灌溉制度下, 常规施肥量适宜于部分基肥、部分于拔节期追施, 而省肥用量可以考虑全部基肥。

**关键词:** 水分; 氮肥; 小麦; 吸收分配

中图分类号: S512.1<sup>+</sup>1; S143.1 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2002)01- 0069- 07

水分和养分是密切联系在一起的。前人的许多试验表明: 土壤的供水情况影响着肥料效果, 肥料用量和供水量之间有着密切关系, 氮肥的适宜用量随供水量的增加而提高<sup>[1,2]</sup>。这些研究大多仅仅从产量和养分吸收量的角度来衡量施肥效果, 而植株体对所吸收氮素的利用及转移、分配情况研究较少。我们以往的试验证明, 河北省吴桥地区在节水灌溉条件下, 小麦的氮肥施用量应该降低, 并得出了相应的适宜施氮量<sup>[3]</sup>。而这一施肥量分别在节水灌溉和常规灌溉下小麦对氮素的吸收利用情况有何差异? 节水条件下节肥量与常规施肥量相比, 氮素在小麦体内的运转分配情况又有何不同? 这两种施肥量的适宜施肥方法和水分、氮肥量的关系如何? 为说明以上问题, 1999 年设置本试验, 为制定节水灌溉条件下的适宜氮肥量和施肥方法提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料和试验设计

试验于 1999 年 10 月~ 2000 年 6 月在中国农业大学吴桥试验站进行。供试土壤为壤质底粘潮土, 土壤基本养分状况全氮 0.56 mg/g, 有机质 10.1 mg/g, 有效磷(P) 7.48 mg/kg, 速效钾(K) 74.86 mg/kg。供试小麦品种为 95021。

试验设置两种水分处理, 节水灌溉(拔节和开花期各灌水  $750 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ , 以下简称两水)和常规灌溉(返青、拔节、开花、灌浆期各灌水  $750 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ , 以下简称四水)。两种灌溉条件下各设两种施肥量, 分别为节约氮肥用量(N,  $144 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )和常规施肥量(N,  $213 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ );任一施肥量又分两种施肥方法(全部作基肥和部分基肥、部分于拔节期追施), 其中

收稿日期: 2001- 02- 10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39570437)

作者简介: 李世娟(1975- ), 女, 助理研究员, 博士, 主要从事黄淮海平原冬小麦氮肥施用及环境污染研究。

四水条件下常规施肥量仅设部分基肥、部分于拔节期追施处理。详细试验设计及处理代号见表 1。小区面积 3 m×8 m，3 次重复，各处理随机排列。其余肥料用量一致，磷酸二铵 225 kg•hm<sup>-2</sup>、硫酸钾 150 kg•hm<sup>-2</sup>、硫酸锌 30 kg•hm<sup>-2</sup>。

表 1 不同水分和氮肥处理试验设计

处理	灌水次数	尿素(kg•hm <sup>-2</sup> )		磷酸二铵(作基肥)	折纯 N
		基肥	追肥	(kg•hm <sup>-2</sup> )	(kg•hm <sup>-2</sup> )
A	二水	225	0	225	144
B	二水	75	150	225	144
C	二水	375	0	225	213
D	二水	225	150	225	213
E	四水	225	0	225	144
F	四水	75	150	225	144
G	四水	225	150	225	213

1.2 测定项目与方法

于各生育期调查 666.67 m<sup>2</sup> 茎数、拔取小麦地上部植株样(开花期以后加取根系样品,地上部分植株分器官),烘干、称重。成熟期进行常规考种,各小区取 2 m<sup>2</sup> 面积测产。开氏定氮法测定整株及开花后各器官的全氮含量。

2 结果与分析

2.1 两种灌溉制度下不同氮肥处理的产量结果

2.1.1 产量及产量构成因素 由表 2 可以看出,随施肥量和灌水量增加,产量变化不大,处理间没有显著差异。总施氮量为 144 kg•hm<sup>-2</sup>处理在两水条件下的产量稍高于四水条件下相应处理的产量;而总施氮量为 213 kg•hm<sup>-2</sup>处理在四水条件下的产量高于两水条件下相应处理的产量。相同水分条件下等量氮肥不同施肥时期的处理间比较,144 kg•hm<sup>-2</sup>全部基肥处理的产量高于分次施用处理;而 213 kg•hm<sup>-2</sup>全部基肥处理的产量低于分次施用处理。

表 2 不同水分条件下各氮肥处理的产量结果

处理	子粒产量 (kg•hm <sup>-2</sup> )	穗数 (万•hm <sup>-2</sup> )	穗粒数	千粒重 (g)	穗粒重 (g)	植株吸氮 (kg•hm <sup>-2</sup> )	氮素生理效率 (kg•kg <sup>-1</sup> )	N 收获 指数
A	8 068	693	29.2	39.6AB	1.16	182.9D	44.12A	79.80A
B	7 779	680	28.8	39.7A	1.14	177.3E	43.87AB	79.05AB
C	7 996	690	30.5	38.0B	1.16	185.6CD	43.00BC	77.98BC
D	8 112	691	29.3	40.1A	1.17	188.1BC	43.13BC	79.32A
E	8 047	698	29.9	38.6AB	1.15	184.1D	43.72AB	77.86C
F	7 754	713	28.8	37.7C	1.09	179.3E	43.26B	75.65D
G	8 322	700	29.8	39.9A	1.19	196.5A	42.35C	78.25BC

注: 不同字母表示 P> 0.01 水平上存在差异,具有相同字母的数值间差异不显著

产量高低最终决定于形成产量的三个构成因素。返青水能够延迟分蘖两极分化,提高有效穗率,所以四水处理的公顷穗数高于两水处理。总纯氮量为 144 kg•hm<sup>-2</sup>时,两水条件下 B 处理的公顷穗数比 A 处理降低了 1.9%,而四水条件下 F 处理的公顷穗数比 E 处理提高了

2.3%。说明基肥量太低会影响最终成穗率,而返青期浇水可以弥补这一降低量,提高公顷穗数。穗粒数随基肥氮施用量的增加而提高,并且返青期浇水有利于穗粒数的提高,四水处理的穗粒数均高于两水条件的相应氮肥处理。处理间的千粒重存在极显著差异,它受水分、追肥及穗粒数的多重影响:四水处理的千粒重均低于两水条件下各相应氮肥处理;两水条件下基施纯氮  $144 \text{ kg}$  基础上,追施  $69 \text{ kg}$  纯氮后千粒重提高,而等量氮肥全部基施的 C 处理千粒重下降;F 处理较高的公顷穗数导致千粒重显著降低。由表中结果计算可知,穗粒重的变化趋势与产量变化一致,说明当地生产条件下,提高产量的关键是在适宜公顷穗数的基础上,提高穗粒重。总之从产量结果看,两水条件下氮肥用量不宜过高,而四水条件下氮肥用量应适当增加;两水条件下氮肥量较低时适宜于全部基施,氮肥量较高时最好分次施用。

2.1.2 小麦植株吸氮量及氮素生理效率 小麦植株吸氮量随浇水量和施氮量的增加而提高。浇水促进了小麦对氮素养分的吸收,四水处理的吸氮量均高于两水条件下的相应氮肥处理,由于氮肥吸收量的增加值超过产量提高量,所以四水条件下各氮肥处理的氮素生理效率均低于两水条件下的相应处理。如 E, F, G 处理的氮素生理效率分别比 A, B, D 处理降低  $0.9\%$ ,  $1.4\%$  和  $1.8\%$ , 统计分析结果显示各处理氮素生理效率之间存在极显著差异。无论哪一种水分条件下小麦全株吸氮量均随氮肥用量的增加而提高,而氮素生理效率降低。等量氮肥不同施肥方法处理间相比较,  $144 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  全部基施处理的全株吸氮量、氮素生理效率均高于分次施肥处理;两水条件下  $213 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  全部基施则会降低全株吸氮量和氮素生理效率,分次施用更有利于氮素的吸收。

各处理的氮素收获指数存在极显著差异,子粒氮素收获指数的变化趋势类似于千粒重的变化规律。由表 2 可知,四水处理的氮素收获指数均低于两水条件下的相应氮肥处理,原因是增加灌水促进氮素养分吸收的同时也促进了营养器官的生长代谢,导致开花后植株吸收的氮素并不能充分转移到子粒中,而是保存在叶片等营养器官中。等量氮肥不同施肥方法处理间比较,氮素收获指数的变化规律与氮素生理效率一致。

由此可见,小麦全生育期浇四水可以提高公顷穗数和穗粒数,但千粒重降低,产量没有或稍微高于两水条件下的相应氮肥处理。同时浇四水明显促进小麦对氮素养分的吸收,所以氮素生理效率较两水处理为低,并且由于开花后营养器官代谢较强,氮素向子粒的转移不充分,导致氮素收获指数降低。这表明,全生育期浇四水在产量提高甚微的基础上,氮素生理效率、收获指数及水分利用率降低,造成水肥资源的双重浪费。等量氮肥不同施用方法处理间相比较,总 N 量较高时 ( $213 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 分次施肥效果较好,而总 N 量较低时 ( $144 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 可以考虑一次性基施。

## 2.2 两种灌溉制度下不同氮肥处理的氮素吸收及利用

2.2.1 不同处理的植株含氮率 从图 1 各生育时期的地上部植株含氮率变化趋势可知,所有水分和氮肥处理的植株含氮率变化规律一致,即分蘖期最高,以后随生育期的推进而逐渐降低。总 N 量为  $144 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,不同水分处理相比较,返青期浇水促进了对氮素养分的吸收,此时干物质增加较小,所以四水处理起身和拔节期的植株含氮率均高于两水处理;拔节后植株生长迅速,孕穗期两种水分处理含氮率相当,孕穗后由于四水处理的叶面积系数高,群体较大,故植株含氮率下降,这种状况一直持续至收获。无论两水还是四水条件,氮肥全部基施处理在整个生育期中的植株含氮率均高于分次施肥处理,拔节期进行追肥并不能

提高植株含氮率。213 kg·hm<sup>-2</sup>全部基施,明显促进了小麦冬前的氮素吸收,同时植株干物重增加量最大,所以植株含氮率低于基肥量为 144 kg·hm<sup>-2</sup>的处理。144 kg·hm<sup>-2</sup>基肥基础上,于拔节追施 46 kg N 后,小麦吸氮量明显提高,而干物重的增加值相对较小,所以植株含氮率明显高于 213 kg·hm<sup>-2</sup>全部基施处理。

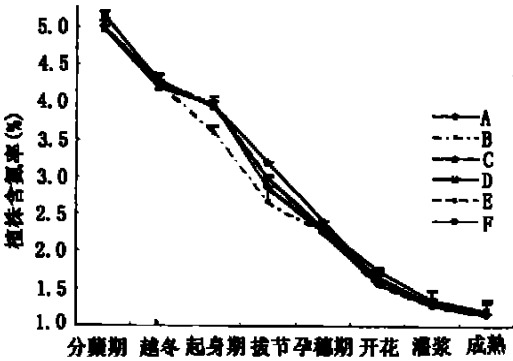


图1 小麦不同生育阶段植株含氮率

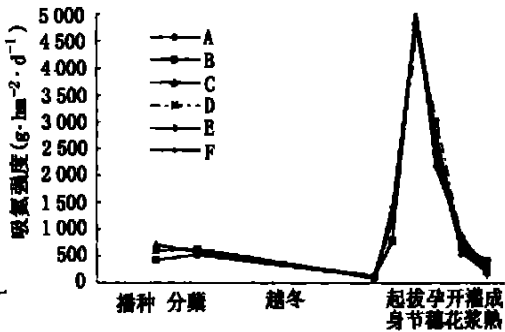


图2 小麦地上部各生育阶段的吸氮强度

2.2.2 各处理各生育时期的吸氮强度及阶段吸氮量 图2表示,不论两水还是四水条件下,氮素吸收规律都呈单峰曲线变化,发生在拔节孕穗期。基肥量越高,拔节前的吸氮强度越大。总 N 量为 144 kg·hm<sup>-2</sup>处理返青期浇水后,起身-孕穗期间的吸氮强度提高。两水条件下,213 kg 纯氮分施处理在开花后仍有较强的吸氮强度,而全部基施处理的吸氮强度下降。

表3列出了各处理地上部植株各生育阶段的氮素吸收量及占总氮吸收量的比例,可以看出不同水分处理的吸氮规律相一致。从不同生育阶段植株地上部对氮素养分的吸收来看,播种至越冬期间的氮素吸收量较大,此阶段内的吸氮比例所有处理平均值为 19.47%;越冬期阶段累积量少,占总吸收量的 6.78%;起身至拔节的吸氮比例仍维持在 7.36%左右,拔节追肥或灌水后引起养分吸收量的增加,拔节至孕穗期间的氮素吸收比例为 39.50%,是氮素吸收的关键时期;随后的氮素吸收量仍较高,孕穗至开花期累积了总氮量的 17.53%;开花后植株对氮素的吸收降低,各处理比例平均值为 6.64%,并且大部分是在开花至灌浆期吸收的,灌浆至收获期氮素几乎已经停止吸收,植株体内主要进行从营养器官到子粒的氮素转移。

表3 小麦各生育阶段的吸氮比例 %

处理	播种-越冬	越冬-起身	起身-拔节	拔节-孕穗	孕穗-开花	开花-灌浆	灌浆-成熟
A	21.11	6.52	7.72	38.79	17.10	5.84	2.92
B	16.08	6.50	5.05	41.96	19.86	6.50	4.02
C	22.23	7.76	7.43	38.60	16.66	5.35	1.97
D	20.50	6.37	7.50	36.40	20.20	6.75	2.28
E	21.00	5.35	8.92	44.20	14.90	8.08	1.55
F	15.92	8.19	7.49	41.02	16.44	7.31	3.63

虽然各处理在不同生育阶段的氮素吸收比例相差不大,仔细分析仍可看出一定规律。返青期浇水可以提高起身至孕穗期间的氮素吸收比例,而灌浆水无益于氮素养分的吸收。等氮

肥量施肥方法不同的处理间相比较，总 N 量为 144 kg·hm<sup>-2</sup>时，拔节前的氮素总吸收比例全部基施处理高于分次施肥处理，后者由于拔节期追施氮肥，拔节后的氮素吸收量增加，相应提高了氮素吸收比例，并且一直持续至成熟期。两水条件下总 N 量为 213 kg·hm<sup>-2</sup>的处理间的差异亦是如此，即氮肥全部基施处理生育前期的吸氮量占总吸氮量的比例较高，分次施肥处理则拔节后的氮素吸收比例较高。

2.2.3 开花后营养器官的氮素转移量及转移率 子粒中的氮素 7.0%~12.3% 来自开花后植株的吸收，87.7%~93.0% 来自开花后营养器官的氮素转移(见表 4)，开花至灌浆期间的转移量很低，绝大部分的养分转移是在灌浆至成熟期。从表 4 中可以清楚地看到，穗轴和颖壳最先进行氮素养分的转移，到灌浆期从壳中转运的氮已占总转运氮的 46.6%，其余营养器官转运氮素早晚依次为叶鞘、茎秆、根系、叶片。各营养器官对子粒氮的贡献率大小依次为叶片>茎秆=壳>叶鞘>根系，其中叶片的氮素转移量最高，占子粒氮的 31%~34%。从养分转运的彻底性来看，转移率比转移量更有代表性。随灌水和施氮量的增加，营养器官氮素转移率降低，这证实了前面所说的收获时氮素在营养器官中的滞留比例增加。四水处理各营养器官的氮素转移率大都低于两水处理。两水处理中随氮肥量增加，除叶鞘和茎秆的氮素转移率稍微增加外，其余器官的转移明显降低。

表 4 开花后营养器官的氮素转移量占子粒氮素的比例 %

处理	开花-灌浆期					灌浆-成熟期				
	叶片	叶鞘	茎秆	轴+壳	根	叶片	叶鞘	茎秆	轴+壳	根
A	5.8	4.4	4.8	10.8	0.5	27.9	10.2	14.8	10.8	1.7
B	4.2	6.5	5.1	8.9	0.5	26.2	9.6	16.0	11.0	1.5
C	6.6	5.4	8.8	9.0	0.6	27.3	10.5	12.1	11.4	1.3
D	5.7	5.2	5.6	8.3	0.4	27.0	9.9	15.6	11.8	1.7
E	1.7	5.0	5.0	10.3	0.3	29.5	10.2	16.4	10.1	1.4
F	3.2	4.7	3.3	10.2	0.2	29.6	9.7	15.3	10.2	1.2

2.2.4 收获期氮素在各器官的分配率 由表 5 可知，成熟期氮素在小麦植株中的分配比例表现为子粒>叶片=壳>根系>茎秆>叶鞘。总 N 量为 144 kg·hm<sup>-2</sup>时，四水条件下虽然吸氮量提高，但子粒的氮素分配率降低，营养器官的氮素滞留量和滞留率提高。144 kg·hm<sup>-2</sup>分次施肥处理，基肥量偏低，前期植株生长弱，拔节后由于补偿效应氮素吸收速率较强，营养器官代谢比较旺盛，开花后叶片的光合系统功能较强，导致氮素在营养器官尤其根系中的滞留率提高，四水条件下分次施肥的氮素收获指数比氮肥全部基施处理的降低程度

表 5 开花后营养器官的氮素转移率 %      表 6 成熟期水肥处理下氮素在植株各器官中的分配率 %

处理	叶片	叶鞘	茎秆	穗轴+颖壳	根	器官	A	B	C	D	E	F
A	86.1	79.1	80.3	79.1	28.7	根	4.38	4.65	4.38	4.32	4.75	4.86
B	84.7	79.1	79.9	78.9	33.5	茎	3.84	3.95	4.43	3.91	4.56	5.09
C	83.6	79.9	80.7	77.7	24.4	叶	4.36	4.65	5.08	4.76	4.37	4.71
D	84.2	79.7	80.4	75.9	18.3	鞘	3.07	3.19	3.30	3.04	3.61	4.19
E	83.7	79.0	78.6	76.5	25.3	穗轴+壳	4.55	4.51	4.85	4.66	4.86	5.50
F	83.1	78.6	80.3	77.8	23.9	粒	79.80	79.05	77.96	79.31	77.85	75.65

更为明显。两水条件下基肥量过高处理(C处理)的氮素收获指数同样下降,营养器官的氮素分布率高于等量氮肥分次施用处理(D处理)。由此可见,水分和氮肥量适宜的基础上增加灌水和增施氮肥都不利于氮素向子粒中的转运,两水条件下施过量基肥对氮素收获指数的不良影响要大于基肥不足处理。所有处理中,以两水条件下总N量 $144\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 全部基肥处理的氮素收获指数最高,其次是 $213\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 分次施用处理。

### 3 讨论

#### 3.1 土壤水分条件与氮素吸收

土壤-植物-大气系统中,水是贯穿整个系统的动力因素。水分缺乏使作物吸收养分过程受到抑制,导致作物生长营养不良<sup>[4]</sup>,然而过多的水分也不利于小麦高产。四水处理与两水处理相比,灌水量增加一倍,返青水增加了公顷穗数,使小麦生育期推迟,开花期比两水处理晚3天,浇灌浆水后更加剧了灌浆高峰期的延迟,由于干热风作用成熟时间一致,所以千粒重极显著降低,产量并没有提高或稍有提高,降低了水分利用率,造成水分严重浪费。

不同水分条件下的节省氮肥处理比较,灌四水促进了氮素养分的吸收,但开花后营养器官的氮素转移率降低,成熟期氮素在营养器官中的分布率提高,所以四水不利于氮素向子粒器官的运转,从氮素利用上来讲更不经济。两水条件下省肥处理与常规施肥量处理比较,后者的产量和吸氮量均高于前者,而氮素生理效率降低,成熟期氮素在营养器官中的分配比例提高,子粒氮素收获指数下降。以氮肥(尿素)价格1.35元/kg、小麦价格0.80元/kg,单纯以氮肥投入、小麦产出之差简单估算纯收益,省肥处理的纯收益为 $6\,035\text{元}/\text{hm}^2$ (A、B处理平均值),常规施肥量处理的纯收益为 $5\,937\text{元}/\text{hm}^2$ ,可见常规施肥方法的大量氮肥投入是得不偿失的。在两水条件下,适当降低氮肥量能同时提高氮素生理效率和子粒氮收获指数,达到高产和水分、氮肥利用率的高度统一。

#### 3.2 不同氮肥用量的施肥方法

前人对氮肥的施用方法问题做过大量研究,比较认可的施肥方法是部分基肥、部分拔节期追施,理论依据是基肥肥效的截止时期为药隔期,拔节后必须追肥<sup>[6]</sup>。本试验结果表明,基肥肥效并不仅仅到拔节期,而是贯穿整个生育期始终的,并且施肥方法和氮肥量密切相关。两水条件下,总N量 $213\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 适宜于部分基肥、部分追施; $144\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 全部基肥效果较好,同时达到简化生产的目的。

综上所述,节水条件下适当降低氮肥量,并且全部作为基肥一次性施入土壤,能获得高产、节水、省肥和简化的效果。关于节省氮肥的内在机理,即省肥处理和常规施肥处理对肥料氮和土壤氮吸收利用的差异及在不同水分条件下的肥料去向问题,有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 王小彬,高绪科,蔡典雄.旱地农田水肥相互作用的研究[J].干旱地区农业研究,1993,11(3):6-12
- [2] 唐拴虎,杨改河,申云霞.旱地冬小麦产量与水分及施肥量关系的模拟研究[J].干旱地区农业研究,

1994, 12( 3): 69– 73.

- [ 3] 李世娟, 周殿玺, 李建民, 等. 限水灌溉条件下冬小麦氮肥利用研究[ J]. 中国农业大学学报, 2000, 5( 5): 17– 22.
- [ 4] 程宪国, 汪德水, 张美荣, 等. 不同土壤水分条件对冬小麦生长及养分吸收的影响[ J]. 中国农业科学, 1996, 29( 4): 67– 74.
- [ 5] 王立秋, 靳战忠, 曹敬山, 等. 氮肥不同追肥比例和时期对春小麦子粒产量和品质的影响[ J]. 国外农学 – 麦类作物, 1996, ( 6): 45– 47.
- [ 6] 李春喜, 姜丽娜, 李秀明, 等. 不同氮肥运筹对超高产小麦 NR 活性和产量影响的研究[ J]. 作物学报, 1998, 24( 6): 39– 45.

## Effects of Water and Nitrogen Application on Nitrogen Uptake and Distribution in Wheat

LI Shi-juan<sup>1</sup>, ZHOU Dian-xi<sup>2</sup>, ZHU Ye-ping<sup>1</sup>,

LI Jian-min<sup>2</sup>, LAN Lin-wang<sup>2</sup>

( 1. China Agricultural Academy of Sciences, Beijing 100081, China;

2. China Agriculture University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** The results of experiments showed the yield of all treatments had no significant differences. The ear per ha increased under 4-time irrigation, but grain weight per 1 000 decreased seriously. The wheat irrigated 2-time absorbed more N than that under 4-time irrigation which had the same N application, yet NPE decreased. With more water supply, the N distributed in vegetative organs was more than that in grain. After anthesis the N proportions transferred from various vegetable organs to the grains were ordered as leaf> stem= ear axis and grain husk> leaf sheath> root, among them leaf got the head of the others. Under 2-time irrigation, some N rates should be used as base N, and the others were used as dressing N. However economical nitrogen rates might all be used as base N as well.

**Key words:** Water; Nitrogen; Wheat; Uptake and distribution