

# 氮素形态对不同专用型小麦生育后期光合特性及穗部性状的影响

马新明, 王小纯, 王志强

(河南农业大学农学院, 郑州 450002)

**摘要:**采用盆栽的方法研究了氮素形态对不同专用型小麦生育后期光合特性及穗部性状的影响, 结果表明: 强筋型豫麦 34 在硝态氮处理下, 生育后期衰老延缓, 旗叶保持较高的光合速率、PS II 活性( $F_v/F_o$ )、PS II 最大光能转换效率( $F_v/F_m$ )、实际光化学效率( $\phi PS II$ )和光化学猝灭系数( $qP$ )较高, 非光化学猝灭系数( $qN$ )降低, 发生光抑制的可能性较小, 穗部性状较好, 穗粒重最高。中筋型豫麦 49 和弱筋型豫麦 50 在酰胺态氮处理下, 光合和荧光参数较优, 穗粒重较高, 有利于实现高产。

**关键词:** 氮素形态; 专用型小麦; 光合特性; 穗部性状

## Effects of N-form on photosynthetic characteristics in late growth stages and spikes of wheat cultivars with specialized end-uses

MA Xin-Ming, WANG Xiao-Chun, WANG Zhi-Qiang (College of Agronomy He'nan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2587~2593.

**Abstract:** In order to understand the mechanism of the effect of different forms of nitrogen on photosynthesis and spike development in wheat cultivars with specialized end-uses. Pot experiments were carried out at Henan Agricultural University Research Station during 2000~2002. Soil containing 9.8 g/kg organic matter, 0.986 g/kg total N, 25.43 mg/kg olsen-P and 259 mg/kg  $NH_4OAc-K$  was used in the experiments. 18 kg of sieved soil was placed in each 30 cm  $\times$  40 cm pot. Cultivars used in experiments were Yumai 34 (a strong gluten cultivar), Yumai 49 (medium gluten) and Yumai 50 (weak gluten). Nitrogen forms studied were  $NO_3-N$  ( $NaNO_3$ ),  $NH_4-N$  ( $NH_4HCO_3$ ) and  $-CONH_4-N$  (urea). Prior to sowing 3.5 g N, 3.3 g  $K_2O$  and 2.9 g  $P_2O_5$  were applied to each pot and a further 1.6 g N was applied to each pot during the elongation stage. Seven plants from each pot were selected when plants had five leaves. The experiment was arranged in a completely random design with eight replications and all pots were managed in the same way.

The net photosynthetic rate ( $P_n$ ),  $CO_2$  concentration in internal cells ( $C_i$ ), and transpiration rate ( $T_r$ ) of five identical flag leaves from the main stem were determined during the flowering, filling and advanced filling stages respectively using a mobile photosynthetic meter (PP-system). Maximal

基金项目: 国家“863”资助项目(2001AA115380); 河南省科技人才创新工程资助项目(2002KJCX05)

收稿日期: 2002-10-01; 修订日期: 2003-05-10

作者简介: 马新明(1963~), 男, 河南许昌人, 博士, 教授, 主要从事作物生理生态和作物模型研究。E-mail: xinmingma@371.net

**Foundation item:** High Technology Research and Development (863) Programme (No. 2001AA115380) and He'nan Innovation Project for University Prominent Research Talents (No. 2002KJCX05)

**Received date:** 2002-10-01; **Accepted date:** 2003-05-10

**Biography:** 马新明, Ph. D., Professor, main research field: crop eco-physiology and agriculture information technology.

fluorescence ( $F_m$ ), fixed fluorescence ( $F_o$ ) and steady fluorescence ( $F_a$ ) were determined in the dark (for 30 min) and maximal fluorescence in the light ( $F_m'$ ) with a Hansatech FMS2 photofluorometer; the same portion of each leaf was used for each measurement. PS II activity ( $F_v/F_o$ ), PS II maximum light energy transformation ( $F_v/F_m$ ), actual light transformation efficiency ( $\phi PS II$ ), chemical quenching coefficient ( $qP$ ), non-photochemical quenching coefficient ( $qN$ ) and degree of light repression were calculated according to the following formulas:  $F_v/F_o = (F_m - F_o)/F_o$ ,  $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$ ,  $\phi PS II = (F_m' - F_a)/F_m'$ ,  $qP = (F_m' - F_s)/(F_m - F_o)$ ,  $qN = (F_m - F_m')/F_m'$ , the repressive degree of light =  $(1 - qP)/qN$ . The average number of ears per plant, grains per ear and one thousand grain weight were investigated according to standard methods.

Results showed that different forms of nitrogen have different effects on photosynthetic characters in late growth and on spike properties in different wheat cultivars. Applying  $N-NO_3^-$  to strong gluten wheat Yumai 34 resulted in the lowest value of  $CO_2$  concentration in internal cells ( $C_i$ ) for the flag-leaf and reduced the non-photochemical quenching coefficient ( $qN$ ), however the net photosynthetic rate ( $P_n$ ), maximal PS II light energy transformation efficiency ( $F_v/F_m$ ), actual light transformation efficiency ( $\phi PS II$ ), and chemical quenching coefficient ( $qP$ ) were all higher indicating that it is unlikely that photoinhibition was occurring. In addition the thousand grains weight was average, and grains per ear and kernel weight per spike were the highest. The poorest results for each index of photosynthesis and spike properties were obtained when  $NH_4^+-N$  was applied, while applying urea resulted in an average response. When urea was applied to the medium gluten cultivar Yumai 49 and the weak gluten cultivar Yumai 50 high yields were obtained, the photosynthetic and fluorescent parameters measured were improved and kernel weight per spike was higher. By way of contrast, lowest values of each index of photosynthesis and spike properties were obtained when  $N-NO_3^-$  was applied to the medium gluten cultivar Yumai 49 and when  $NH_4^+-N$  was applied to the weak gluten cultivar Yumai 50; both treatments had an adverse effect on yield.

Detailed analysis revealed that different wheat cultivars used different mechanisms to increase yield with different forms of nitrogen.  $NO_3^- -N$  enlarged the "store-room" of the strong gluten cultivar Yumai 34, and  $NH_4^+ -N$  of the weak gluten cultivar Yumai 50, while the main effect of  $-CONH_2$  was mainly to increase "source".

**Key words:** nitrogen forms; wheat cultivars with specialized end-uses; photosynthetic characters; spike

文章编号:1000-0933(2003)12-2587-07 中图分类号:S718 文献标识码:A

光合作用是作物产量形成的基础,作物产量的提高是通过改善作物的光合生理性能来实现的<sup>[1]</sup>,因此,运用科学合理的调控措施,改善作物光合特性,从而达到作物高产一直是作物学家探讨的重要课题。小麦生育后期,特别是开花期以后,是产量形成的主要时期,此期光合性能对最终产量具有十分重要的作用。关于高产小麦生育后期光合性能及其调控,前人研究的甚多<sup>[1~7]</sup>。如张其德等研究了限水灌溉对小麦旗叶光合特性的影响,并对12个不同基因型小麦的光合能力进行了比较分析,田纪春等研究了氮素追肥后移对小麦产量和光合特性的影响,上官周平研究了氮素营养对旱作小麦光合特性的影响,廖建雄等对干旱、 $CO_2$ 和温度升高对春小麦光合的影响做了较深入的探讨,王之杰等就种植密度对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响进行了研究,而徐晓玲等就灌浆期间热胁迫害对小麦不同绿色器官的光合性能做了系统的报道。而不同氮素形态对不同专用型小麦生育后期光合特性影响的研究尚未见有报道。基于此,作者于2000~2002年连续设置试验,较系统地研究了不同氮素形态对不同专用型小麦生育后期光合特性及穗部性状的影响进行较为系统的探讨,旨在为不同专用型小麦实现高产提供理论和技术依据。

## 1 试验处理与数据

试验采用盆栽的方法,于2000~2002年在河南农业大学校内试验站进行。试验用土取自河南农业大

学科教园区耕作层土壤,有机质含量  $0.98 \times 10^4$  mg/kg,全氮含量  $9.86 \times 10^2$  mg/kg,速效氮含量 72.47 mg/kg,速效磷含量 25.43 mg/kg,速效钾含量  $2.59 \times 10^2$  mg/kg,装土前过筛,每盆装土 18kg(盆钵直径 30cm,深 40cm)。供试品种分别为:强筋型小麦豫麦 34、中筋型小麦豫麦 49 和弱筋型小麦豫麦 50;3 种氮素形态为:硝态氮(分析纯  $\text{NaNO}_3$ )、铵态氮(分析纯  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ )和酰胺态氮(分析纯尿素)。每盆分别施纯氮 5.1g,  $\text{K}_2\text{O}$  3.3g 和  $\text{P}_2\text{O}_5$  2.9g,P、K 肥于播种期一次性施入,N 肥按 7:3 的比例分别于播种期和拔节期施入。试验于 10 月 15 日统一播种,每盆播种 14 粒,5 叶期定苗,每盆定 7 株。定期灌水,各处理保持一致的土壤相对含水量。共设 9 个处理,完全随机排列,重复 8 次。

## 2 测定项目及方法

**旗叶光合特性** 分别在小麦开花期、灌浆期和灌浆后期于晴天上午 9:00~11:00 之间每处理取生长一致的 5 盆小麦,每盆取 1 张大小均匀的主茎旗叶用英国 PP-systems 公司生产的 CIRAS-1 型便携式光合测定系统采用内部小钢瓶供应  $\text{CO}_2$  测定旗叶的胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )和净光合速率( $P_n$ )。

**叶绿素荧光特性** 在测定旗叶光合特性的同时于同部位用英国 Hansatech 公司生产的 FMS2 脉冲调制式荧光仪测定经暗适应 30min 叶片的最大荧光( $F_m$ ),固定荧光( $F_o$ )及稳态荧光( $F_s$ ),光照条件下最大荧光( $F_m'$ ),并计算 PS II 活性( $F_v/F_o$ )、PS II 最大光能转换效率( $F_v/F_m$ )、实际光化学效率( $\phi PS II$ )、化学猝灭系数( $qP$ )和非光化学猝灭系数( $qN$ ),以及光抑制程度,分别按下式计算<sup>[8]</sup>: $F_v/F_o = (F_m - F_o)/F_o$ ,  $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$ ,  $\phi PS II = (F_m' - F_s)/F_m'$ ,  $qP = (F_m' - F_s)/(F_m' - F_o)$ ,  $qN = (F_m - F_m')/F_m'$ ,光抑制程度  $1 - qP/qN$  衡量。

**穗部性状和产量** 小麦成熟后,每处理取 5 盆,按常规方法调查小麦穗粒数、穗粒重和千粒重,同时测定每盆小麦产量。

最后,对所得数据按参考文献<sup>[11]</sup>进行多重比较和统计分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 氮素形态对不同专用型小麦旗叶胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_i$ )和净光合速率( $P_n$ )的影响

胞间  $\text{CO}_2$  浓度是与光合作用密切相关的一个重要指标,其数值高低在很大程度上可以反映光合作用的强弱<sup>[9]</sup>。从表 1 可以看出,随着生育时期的推后,胞间  $\text{CO}_2$  浓度逐渐变大,就不同生育时期而言,强筋型豫麦 34 的胞间  $\text{CO}_2$  浓度均表现为铵态氮处理最高,硝态氮处理最低,酰胺态氮处理居中;中筋型豫麦 49 品种均表现为硝态氮处理最高,酰胺态氮处理最低,铵态氮处理居中;而弱筋型豫麦 50 则表现为铵态氮处理最高,硝态氮处理次之,酰胺态氮处理最低。而小麦旗叶净光合速率在开花期以后呈现下降的趋势,但不同氮素形态对不同专用型小麦的作用强度不同。强筋型豫麦 34 在硝态氮处理下,净光合速率下降幅度

表 1 氮素形态对不同专用型小麦旗叶胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )和净光合速率( $P_n$ )的影响

Table 1 Effects of N forms on intercellular  $\text{CO}_2$  concentration ( $\mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$ ) and net photosynthetic rate ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) of wheat cultivars for special used

品种 Cultivars	氮素形态 N forms	开花期 FLS		灌浆期 FIS		灌浆后期 LFS	
		$C_i$	$P_n$	$C_i$	$P_n$	$C_i$	$P_n$
豫麦 34 Yumai 34	硝态氮 $\text{N-NO}_3^-$	208b	21.8a	243b	12.6a	333a	12.2a
	铵态氮 $\text{N-NH}_4^+$	250a	19.5b	268a	9.5b	342a	8.2c
	酰胺态氮 $\text{N-NH}_2^-$	233a	18.4b	246b	12.1a	341a	10.4b
豫麦 49 Yumai 49	硝态氮 $\text{N-NO}_3^-$	252a	17.1b	271a	12.5b	341a	9.1c
	铵态氮 $\text{N-NH}_4^+$	235a	18.1ab	251b	12.8ab	335a	10.4b
	酰胺态氮 $\text{N-NH}_2^-$	218b	19.6a	242b	13.4a	318b	12.3a
豫麦 50 Yumai 50	硝态氮 $\text{N-NO}_3^-$	224ab	21.8a	241ab	15.2a	339ab	12.1b
	铵态氮 $\text{N-NH}_4^+$	233a	20.1b	250a	13.7b	345a	11.6b
	酰胺态氮 $\text{N-NH}_2^-$	217b	22.4a	237b	16.3a	331b	13.9a

表中数据为 5 个测定值的平均值, a、b、c 指在 5% 显著水平下的差异 Each value was the average of 5 measured data, a, b and c: significance levels of probability; FLS-flowering stage, FIS-filling stage, LFS-later filling stage. 下同, the same blow

较小,为 45.38%;铵态氮处理下降幅度最大,为 64.97%。中筋型豫麦 49 和弱筋型豫麦 50 在酰胺态氮处理下,净光合速率下降幅度较小,分别为 39.84%和 41.96,在硝态氮处理下下降幅度较大,分别为 54.10%和 50.67%。从不同生育时期来看,开花期豫麦 34 的旗叶净光合速率在硝态氮处理下显著增加,并以硝态氮处理最高,铵态氮处理次之,酰胺态氮处理较低,尔后演变为硝态氮处理居高,酰胺态氮处理次之,铵态氮处理较低,据多重显著性比较得到,三者之间的差异均达显著水平。中筋型豫麦 49 在各生育时期旗叶净光合速率大小顺序均表现为酰胺态氮处理、铵态氮处理和硝态氮处理,而且三者之间的差异均达显著水平。弱筋型豫麦 50 在这 3 个生育时期表现为酰胺态氮处理旗叶净光合速率大于硝态氮处理,又大于铵态氮处理,在灌浆后期,酰胺态氮处理较另外两个处理显著增加。旗叶净光合速率与胞间  $CO_2$  浓度的变化趋势相反,其原因可能是随着小麦生育期的推进,光合作用器官逐渐衰老,同化  $CO_2$  的能力下降,光合速率降低,胞间  $CO_2$  浓度升高。

### 3.2 氮素形态对不同专用型小麦 PS II 活性 ( $F_v/F_o$ )、PS II 最大光能转换效率 ( $F_v/F_m$ ) 和实际光化学效率 ( $\phi PS II$ ) 的影响

在荧光诱导动力学参数的测定中,可变荧光  $F_v$  反映可参与 PS II (光系统 II) 光化学反应的光能辐射部分,固定荧光  $F_o$  代表不参与 PS II 光化学反应的光能辐射部分,最大荧光  $F_m = F_v + F_o$ ,可变荧光与固定荧光的比值 ( $F_v/F_o$ ) 可以代表光系统 II (PS II) 活性,可变荧光与最大荧光的比值 ( $F_v/F_m$ ) 可以代表最大光能转换效率或 PS II 光化学的最大效率<sup>[2]</sup>,实际光化学效率 ( $\phi PS II$ ) 反映 PS II 反应中心在有部分关闭情况下的实际原初光能捕获效率<sup>[8]</sup>。从表 2 可以看出,随着小麦生育时期的推进,光系统 II 活性、光系统 II 最大光能转换效率和实际光化学效率都呈下降趋势,但就不同生育时期而言,各专用型小麦对不同氮素形态的反应不同,特别表现在小麦灌浆后期,强筋型豫麦 34 的 3 项指标均表现为硝态氮处理 > 酰胺态氮处理 > 铵态氮处理,硝态氮处理的光系统 II 活性、光系统 II 最大光能转换效率和实际光化学效率分别为 4.38、0.80 和 0.27,较另外两个处理显著增加;中筋型豫麦 49 在灌浆后期 3 项指标均以酰胺态氮处理最高,铵态氮处理次之,硝态氮处理最低。酰胺态氮处理下  $F_v/F_o$ 、 $F_v/F_m$  和  $\phi PS II$  分别为 4.57、0.83 和 0.29,比另外两个处理增加显著;弱筋型豫麦 50 灌浆后期在酰胺态氮影响下光系统 II 活性、光系统 II 最大光能转换效率和实际光化学效率最高,分别为 4.41、0.81 和 0.26,比铵态氮处理增加幅度分别为 9.4%、5.2%和 23.8%,并达到显著水平。

表 2 氮素形态对不同专用型小麦  $F_v/F_o$ 、 $F_v/F_m$  和  $\phi PS II$  的影响

Table 2 Effects of N forms on  $F_v/F_o$ 、 $F_v/F_m$  and  $\phi PS II$  of wheat cultivars for special used

品种 Cultivars	氮素形态 N forms	开花期 FLS			灌浆期 FIS			灌浆后期 LFS		
		$F_v/F_o$	$F_v/F_m$	$\phi PS II$	$F_v/F_o$	$F_v/F_m$	$\phi PS II$	$F_v/F_o$	$F_v/F_m$	$\phi PS II$
豫麦 34 Yumai 34	硝态氮 $N-NO_3^-$	4.98a	0.87a	0.47a	4.57a	0.83a	0.39a	4.38a	0.80a	0.27a
	铵态氮 $N-NH_4^+$	4.27c	0.83b	0.36b	3.91c	0.79b	0.35b	3.82c	0.77b	0.23b
	酰胺态氮 $N-NH_2^-$	4.63b	0.82b	0.42ab	4.17b	0.82ab	0.34b	4.11b	0.79ab	0.25ab
豫麦 49 Yumai 49	硝态氮 $N-NO_3^-$	4.54b	0.85ab	0.34b	4.48b	0.82ab	0.31b	3.81c	0.78b	0.22c
	铵态氮 $N-NH_4^+$	4.56b	0.82b	0.36b	4.28c	0.81b	0.29b	4.17b	0.80b	0.25b
	酰胺态氮 $N-NH_2^-$	4.88a	0.87a	0.39a	4.63a	0.84a	0.36a	4.57a	0.83a	0.29a
豫麦 50 Yumai 50	硝态氮 $N-NO_3^-$	4.53b	0.83ab	0.41b	4.33b	0.80ab	0.36a	4.12b	0.79ab	0.24ab
	铵态氮 $N-NH_4^+$	4.25c	0.81b	0.38b	4.23c	0.79b	0.28b	4.03c	0.77b	0.21b
	酰胺态氮 $N-NH_2^-$	4.81a	0.84a	0.57a	4.55a	0.82a	0.39a	4.41a	0.81a	0.26a

### 3.3 氮素形态对不同专用型小麦光化学猝灭系数 ( $qP$ )、非光化学猝灭系数 ( $qN$ ) 和光抑制程度 ( $1 - qP/qN$ ) 的影响

光化学猝灭系数 ( $qP$ ) 是对 PS II 原初电子受体 QA 氧化态的一种量度,代表 PS II 反应中心开放部分的比例,反映 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学反应的份额<sup>[5]</sup>。试验结果表明(表 3):小麦开花期以后,旗叶光化学猝灭系数 ( $qP$ ) 呈现下降的趋势,但不同氮素形态对不同专用型小麦的作用强度不等。强筋型豫麦 34 在硝态氮处理下光化学猝灭系数 ( $qP$ ) 明显高于另外两种氮素形态处理,特别表现在灌浆后期,比

另外两个处理显著增加,开花期、灌浆期和灌浆后期分别为 0.78、0.71 和 0.61,比铵态氮处理高 9.9%、7.6%和 35.6%,说明硝态氮处理有利于强筋型豫麦 34 PS II 反应中心维持较高比例的开放程度,减少不能进行稳定电荷分离,不参与光合电子线形传递的 PS II 反应中心关闭部分的比例。中筋型豫麦 49 和弱筋型豫麦 50 在酰胺态氮处理下表现出较高的光化学猝灭系数 ( $qP$ ),均较另外两个处理增加,并达显著水平。

表 3 氮素形态对不同专用型小麦  $qP$ 、 $qN$  和  $1-qP/qN$  的影响

Table 3 Effects of N forms on  $qP$ 、 $qN$  and  $1-qP/qN$  of wheat cultivars for special used

品种 Cultivars	氮素形态 N forms	开花期 FLS			灌浆期 FIS			灌浆后期 LFS		
		$qP$	$qN$	$1-qP/qN$	$qP$	$qN$	$1-qP/qN$	$qP$	$qN$	$1-qP/qN$
豫麦 34 Yumai 34	硝态氮 N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.78a	0.57b	-0.37c	0.71a	0.74c	0.04c	0.61a	0.87c	0.30c
	铵态氮 N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.71c	0.77a	0.08a	0.66b	0.92a	0.28a	0.45c	0.97a	0.54a
	酰胺态氮 N-NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.74b	0.60b	-0.23b	0.69ab	0.84b	0.18b	0.53b	0.92b	0.42b
豫麦 49 Yumai 49	硝态氮 N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.51b	0.74a	0.31a	0.43b	0.84a	0.49a	0.32b	0.92a	0.65a
	铵态氮 N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.62a	0.67b	0.07b	0.52a	0.83a	0.37b	0.34b	0.91ab	0.63a
	酰胺态氮 N-NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.65a	0.56c	-0.16c	0.54a	0.78b	0.31c	0.48a	0.89b	0.46b
豫麦 50 Yumai 50	硝态氮 N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.75b	0.62a	-0.21b	0.58b	0.76b	0.24b	0.43b	0.94a	0.54b
	铵态氮 N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.73b	0.64a	-0.14a	0.49c	0.87a	0.44a	0.37c	0.95a	0.61a
	酰胺态氮 N-NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.80a	0.55b	-0.45c	0.64a	0.72c	0.11c	0.49a	0.88b	0.44c

非光化学猝灭系数 ( $qN$ ) 反映 PS II 反应中心非辐射能量耗散能力的大小,也就是说它代表 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递,而以热的形式耗散掉的光能部分<sup>[5]</sup>。从表 3 可以看出,随着生育时期的推进,非光化学猝灭系数 ( $qN$ ) 不断增加,这与叶片的衰老有关,不断衰老的叶片不能把捕捉的光能有效地用于光合作用,通过增加非辐射能量的耗散,保护光合器官不至于受到进一步伤害。但不同专用型小麦对氮素形态的响应不同。强筋型豫麦 34 在硝态氮处理下非光化学猝灭系数 ( $qN$ ) 较低,分别为 0.57、0.71 和 0.87,较另外两个处理显著降低。中筋型豫麦 49 非光化学猝灭系数 ( $qN$ ) 的高低顺序为硝态氮处理 > 铵态氮处理 > 酰胺态氮处理,弱筋型豫麦 50 在铵态氮下最高,酰胺态氮下最低,硝态氮处理居中,并且三者之间的差异达 5% 的显著水平。

$1-qP/qN$  可以作为可能发生光抑制的指标,其值愈大,说明发生光抑制的可能性愈大<sup>[8]</sup>。从表 3 中可以看出,随着生育时期的推进, $1-qP/qN$  值愈大,发生光抑制的可能性愈大,但不同专用型小麦在不同氮素形态影响下表现不同。强筋型豫麦 34 在硝态氮处理下  $1-qP/qN$  值明显较小,分别为 -0.37、0.04 和 0.30,较另外两个处理降低值达显著水平,而中筋型豫麦 49 和弱筋型豫麦 50 在酰胺态氮处理下  $1-qP/qN$  值较小,分别为 -0.16 和 -0.45、0.31 和 0.11 与 0.46 和 0.44,均较另外两个处理降低达显著水平。

### 3.4 氮素形态对不同专用型小麦穗部性状的影响

从表 4 可以看出,各专用型小麦在不同氮素形态处理下,穗部性状不尽相同。强筋型豫麦 34 在酰胺态氮处理下千粒重最高,为 56.1g,但穗粒数最低,仅为 33.4 粒,较另外两个处理均达显著水平,最终穗粒重不高,为 1.87g;在硝态氮处理下,千粒重为 52.7g,穗粒数最多,为 35.6 粒,穗粒重最高为 1.88g,而在铵态氮处理下穗粒重最低;中筋型豫麦 49 在酰胺态氮处理下,千粒重显著增加,为 39.2g,比硝态氮处理和铵态氮处理分别提高 26.05% 和 8.59%,穗粒数为 35.1 粒,但因千粒重的大幅度增加,最终穗粒重最高,为 1.38g,比硝态氮处理和铵态氮处理分别提高了 26.61% 和 6.15%。弱筋型豫麦 50 在酰胺态氮处理下,千粒重显著较低,为 41.7g,比硝态氮处理和铵态氮处理分别降低了 2.9g 和 3.6g,但穗粒数增加显著,为 36.6 粒,最终穗粒重相应的略有增加,为 1.53g,分别比硝态氮处理和铵态氮处理增加了 0.03g 和 0.06g。就产量而言,强筋型小麦豫麦 34 在硝态氮处理下,每盆产量显著增加,为 78.9g,分别比铵态氮处理和酰胺态氮处理增加 17.6% 和 14.2%。中筋型豫麦 49 在酰胺态氮处理下显著较另外两个处理增加,达 58.0g;弱筋型豫麦 50 在酰胺态氮处理下每盆产量为 64.3g,较硝态氮处理显著增加,与铵态氮处理相比虽有增加,但未达显



著水平,增幅为 4.2%。

表 4 氮素形态对不同专用型小麦穗部性状和产量的影响

Table 4 Effects of N forms on ear characters and yield of wheat cultivars for special used

品种 Cultivars	氮素形态 N forms	穗粒数 Kernel number/spike	穗粒重(g) Kernel weight/spike	千粒重(g) 1000 kernel weight	产量(克/盆) Yield(g/pot)
豫麦 34 Yumai 34	硝态氮 N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	35.6a	1.88a	52.7b	78.9a
	氨态氮 N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	35.0a	1.75b	49.9c	61.3b
	酰胺态氮 N-NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	33.4b	1.87a	56.1a	65.5b
豫麦 49 Yumai 49	硝态氮 N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	34.9b	1.09b	31.1c	38.2c
	氨态氮 N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	35.9a	1.30a	36.1b	45.5b
	酰胺态氮 N-NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	35.1b	1.38a	39.2a	58.0a
豫麦 50 Yumai 50	硝态氮 N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	33.6b	1.50ab	44.6a	52.5b
	氨态氮 N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	32.5b	1.47b	45.3a	61.7a
	酰胺态氮 N-NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	36.6a	1.53a	41.7b	64.3a

#### 4 结语与讨论

小麦产量的进一步提高主要决定于小麦子粒形成期的光合物质生产<sup>[4]</sup>,所以提高开花后小麦的光合性能,延长光合器官的功能期,对于改善穗部性状,提高小麦产量至关重要。不同专用型小麦对不同氮素形态的反应有较大差别<sup>[13]</sup>,对不同形态氮素的吸收同化可能影响着氮素的积累与生长<sup>[12,14]</sup>,并且在小麦生育后期旗叶光合性能上表现出较大差异。硝态氮提高了强筋型豫麦 34 旗叶的净光合速率,延缓了后期叶片的衰老,改善了光系统 II (PS II) 的生理状况,减轻了强光下光抑制发生<sup>[9]</sup>的程度,增强了对光能的利用,最终改善了穗部性状,提高了穗粒重,增加了子粒产量,其原因可能是强筋型小麦豫麦 34 在硝态氮处理下 C、N 代谢协调,促进了碳氮的同化与积累,而在铵态氮处理和酰胺态氮处理下,可能对氮素的吸收并不减少,但是对氮素的同化需要大量的光合产物供应,而在这两个处理下叶片的光合速率有不同程度的下降,从而限制了氮素的同化<sup>[13]</sup>,导致 C、N 代谢失调,进而影响到穗部性状和子粒产量的提高。中筋型豫麦 49 和弱筋型豫麦 50 在酰胺态氮处理下旗叶光合性能有明显改善,为氮素的同化提供了更多的还原力,促进了 C、N 代谢的协调,最终改善了小麦穗部性状,提高了小麦产量。

细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与光合速率之间有密切的相关关系<sup>[10]</sup>,是分析光合速率下降原因的指标之一<sup>[1]</sup>,本试验结果表明,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与光合速率之间呈现明显的负相关,这与叶片同化 CO<sub>2</sub> 的能力有关,叶片衰老,对光能的利用效率降低,光合速率下降,同化 CO<sub>2</sub> 能力降低,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度升高,说明氮素形态对不同专用型小麦光合性能的影响不是通过影响气孔运动而引起的,可能是改变了对光能的捕获利用和对 CO<sub>2</sub> 的同化能力,有必要对氮素形态对不同专用型小麦光合性能影响的机理做进一步深入的探讨。

从本试验结果还可以得到,氮素形态对不同专用型小麦穗部性状的改善、穗粒重的提高所通过的途径有所不同,硝态氮处理对强筋型豫麦 34 和酰胺态氮处理对弱筋型豫麦 50 穗粒重的提高主要是通过增加穗粒数来实现的,而中筋型豫麦 49 在酰胺态氮处理下,主要是通过增加千粒重来提高穗粒重。其原因可能是不同氮素形态对不同专用型小麦的作用机理有一定差别,硝态氮处理对强筋型豫麦 34 和酰胺态氮处理对弱筋型豫麦 50 的影响主要在穗分化形成期和灌浆期,扩大了“库”容,使同化形成更多的碳水化合物更有效地向穗部转移,从而最终增加了穗粒重,中筋型豫麦 49 在酰胺态氮处理下,主要是通过增“源”量,即改善光合器官的性能,形成更多的碳水化合物,从而最终使穗粒重增加,这一方面有待于做更深入全面的研究。

强筋型豫麦 34 在硝态氮处理下,中筋型豫麦 49 和弱筋型豫麦 50 在酰胺态氮处理下,穗粒重较高,有利于实现小麦高产。因此,在小麦的实际生产过程中,要实现高产高效,必须因种制宜,实行良种配良法,根据不同专用型小麦特性,科学地选择氮肥形态,强筋型小麦适宜用硝态氮肥,而中筋型和弱筋型小麦适宜用酰胺态氮肥。

## References:

- [1] Shangguan Z P. Regulation of nitrogen nutrition on photosynthetic characteristics of winter wheat on dryland. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1997, **3**(2):105~110.
- [2] Zhang Q D, Liu H Q, Zhang J H, *et al.* Effects of Limited Irrigation on Some Photosynthetic Functions of Flag Leaves in Winter Wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, **26**(6):869~873.
- [3] Liao J X, Wang G X. Effect of drought, CO<sub>2</sub> concentration and temperature increasing on photosynthesis rate, evapotranspiration, and water use efficiency of spring wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, **13**(5):547~550.
- [4] Tian J C, Chen J S, Wang Y X, *et al.* Effects of delayed-nitrogen application on grain yield and photosynthetic characteristics in flag leaves of wheat cultivars. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, **34**(1):1~4.
- [5] Zhang Q D, Jiang G M, Zhu X G, *et al.* Photosynthetic capability of 12 genotypes of triticum aestivum. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, **25**(5):532~536.
- [6] Wang Z J, Guo T C, Wang H C, *et al.* Effect of Planting Density on Photosynthetic Characteristics and Grain Yield of Super-high-yield Winter Wheat at Late growth Stage. *Journal of Triticeae Crops*, 2001, **21**(3):64~67.
- [7] Xu X L, Wang Z M, Zhang J P. Effect of heat stress on photosynthetic characteristics of different green organs of winter wheat during grain-filling stage. *Acta Botanica Sinica*, 2001, **43**(6):571~577.
- [8] Zhang S R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, **16**(4):444~448.
- [9] Wang K Q, Wang B R. The effect of soil moisture upon net photosynthetic rate of the goldspur apple tree. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(2):206~214.
- [10] Yang M S, Pei B H, Zhu Z T. Physiological study of double cross hybrid clones of white poplar under water stress. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(3):312~317.
- [11] Gai J Y. *Statistical methods of Experiment*. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [12] Classen N, Barber S A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiol.*, 1974, **54**:564~568.
- [13] Dai T B, Cao W X, Jing Q. Effects of nitrogen form on nitrogen absorption and photosynthesis of different wheat genotypes. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(6):849~852.
- [14] Gashaw L, Mugwria L M. Ammonium-N and nitrate-N effects on the growth and mineral compositions of triticale, wheat, and rye. *Agron. J.*, 1981, **73**:47~51.

## 参考文献:

- [1] 上官周平. 氮素营养对旱作小麦光合特性的调控. *植物营养与肥料学报*, 1997, **3**(2):105~110.
- [2] 张其德, 刘合芹, 张建华, 等. 限水灌溉对冬小麦旗叶某些光合特性的影响. *作物学报*, 2000, **26**(6):869~873.
- [3] 廖建雄, 王根轩. 干旱、CO<sub>2</sub>和温度升高对春小麦光合、蒸发蒸腾及水分利用效率的影响. *应用生态学报*, 2002, **13**(5):547~550.
- [4] 田纪春, 陈建省, 王延训, 等. 氮素追肥后移对小麦籽粒产量和旗叶光合特性的影响. *中国农业科学*, 2001, **34**(1):1~4.
- [5] 张其德, 蒋高明, 朱新广, 等. 12个不同基因型冬小麦的光合能力. *植物生态学报*, 2001, **25**(5):532~536.
- [6] 王之杰, 郭天财, 王化岑, 等. 种植密度对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响. *麦类作物学报*, 2001, **21**(3):64~67.
- [7] 徐晓玲, 王志敏, 张俊平. 灌浆期热胁迫对小麦不同绿色器官光合性能的影响. *植物学报*, 2001, **43**(6):571~577.
- [8] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论. *植物学通报*, 1999, **16**(4):444~448.
- [9] 王克勤, 王斌瑞. 土壤水分对金矮生苹果光合速率的影响. *生态学报*, 2002, **22**(2):206~214.
- [10] 杨敏生, 裴保华, 朱之悌. 水分胁迫下白杨派双交无性系主要生理过程研究. *生态学报*, 1999, **19**(3):312~317.
- [11] 盖钧镒. *试验统计方法*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 戴廷波, 曹卫星, 荆奇. 氮形态对不同小麦基因型氮素吸收和光合作用的影响. *应用生态学报*, 2001, **12**(6):849~852.