



# 大气 NH<sub>3</sub> 升高对不同供氮水平下 小麦叶片光合生理特征的影响

李 静<sup>1,3</sup>, 李世清<sup>1,2\*</sup>, 陈小莉<sup>2</sup>, 郭莹莹<sup>3</sup>

(1 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨陵 712100; 2 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西杨陵 712100; 3 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西杨陵 712100)

**摘 要:** 以小麦品种‘小偃 6 号’(氮高效品种)和‘长旱 58’(氮低效品种)为材料, 采用开顶式气室和土培实验研究了大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对生长于高、低两种供氮介质下小麦植株不同生育期叶片净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、叶绿素含量、叶绿素荧光参数( $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$ )和可溶性糖含量的影响。结果显示: 两小麦品种高氮低氮处理植株的  $P_n$ 、 $F_v/F_0$  和可溶性糖含量均高于高氮高氮和低氮低氮处理, 并在生育后期差异达显著水平( $P < 0.05$ ), 氮低效品种的  $G_s$  也符合上述规律且不同处理间差异显著( $P < 0.05$ ); 小麦各生育期高氮高氮处理下植株的  $P_n$  均显著低于低氮高氮处理, 且两处理间灌浆期的叶绿素含量和灌浆期以前的可溶性糖含量的差异显著( $P < 0.05$ ), 而两处理灌浆期以前的叶绿素荧光参数  $F_v/F_m$  在各处理条件下均无显著差异; 不同处理间及品种间各项光合特征指标差异缺乏规律性。可见, 大气中 NH<sub>3</sub> 浓度升高有利于改善低供氮介质条件下小麦植株的氮营养状况, 但不同氮效率品种间的响应存在差异。

**关键词:** 冬小麦; 大气 NH<sub>3</sub> 升高; 光合特性; 可溶性糖

**中图分类号:** Q945.79      **文献标识码:** A

## Effects of Elevated NH<sub>3</sub> on the Photosynthetic Physiological Characteristics in Winter Wheat Leaf with Various N levels

LI Jing<sup>1,3</sup>, LI Shi-qing<sup>1,2\*</sup>, CHEN Xiao-li<sup>2</sup>, GUO Ying-ying<sup>3</sup>

(1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 Dept. of Natural Resources and the Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The experiment was carried out in Open Top Chamber (OTCs). The main aim of this study was to investigate the response of various photosynthesis parameters, e. g., net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), chlorophyll content, chlorophyll fluorescence characteristics ( $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_0$ ) and soluble sugar content in two wheat cultivar types to elevated NH<sub>3</sub> concentration. The results showed that: The value of  $F_v/F_m$  had no significant change in treatments. In the High NH<sub>3</sub> + Low N treatment, the values of  $P_n$ ,  $F_v/F_0$  and soluble sugar were higher than those both of High NH<sub>3</sub> + High N and Low NH<sub>3</sub> + Low N treatments (especially in the late growth stage). The value of  $G_s$  was also according above regularity only in nitrogen inefficiency crop, and the difference of different treatments was significant ( $P < 0.05$ ). In the High NH<sub>3</sub> + High N treatment, the value of  $P_n$  was all significantly ( $P < 0.05$ ) lower than those in the Low NH<sub>3</sub> + High N treatment at every growth stage. However, it appeared at filling stage for chlorophyll content and

\* 收稿日期: 2008-12-30; 修改稿收到日期: 2009-05-18

基金项目: 国家自然科学基金(30571116)

作者简介: 李 静(1981-), 女(汉族), 硕士, 主要从事植物营养生理生态的科研工作。E-mail: xiaowangshu\_001@126.com.cn

\* 通讯作者: 李世清, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为土壤-植物氮素营养。E-mail: sqli@ms.iswc.ac.cn

before filling stage for soluble sugar content. But the difference of photosynthesis parameters between crop types was no obvious. All these results suggest that increased atmospheric  $\text{NH}_3$  can enhance the status of nitrogen nutrition of winter wheat growing in low N medium, but the result of being more significantly positive effect on low nitrogen efficiency cultivar still need further study.

**Key words:** winter wheat; elevated atmospheric  $\text{NH}_3$ ; photosynthetic characteristics; soluble sugar

大气  $\text{NH}_3$  既是重要的环境污染物质也是豆科、禾本科和一些森林植被的重要氮素来源<sup>[1,2]</sup>, 如 Harper 等<sup>[3]</sup>发现, 当土壤供氮受到限制时, 小麦开花前从大气中吸收的氮量相当于施氮量的 1%。植物叶片吸收  $\text{NH}_3$ , 可增加酶活性, 并诱导气孔进一步开放, 导致叶片对  $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}_2$  吸收量增加, 从而使光合作用增强; 另一方面, 如果大气  $\text{NH}_3$  浓度超过同化能力,  $\text{NH}_3$  在植物体中累积会产生毒害作用。Pearson 和 Stewart<sup>[4]</sup>用  $64 \text{ mol/m}^3$   $\text{NH}_3$  处理杨属植物, 结果其光合效率和气孔导度均增加, 并发现气孔导度与  $\text{NH}_3$  吸收具相关性; 植物氮素营养水平也显著影响其对大气  $\text{NH}_3$  的吸收, 低氮营养植物从大气中吸收的  $\text{NH}_3$  高于高氮营养植物, 且随外界  $\text{NH}_3$  浓度增加其吸收呈线性增加。

迄今, 该领域研究报道主要集中在大气  $\text{NH}_3$  浓度较高的欧洲, 且研究对象以森林和草原植物为主<sup>[5]</sup>, 对人为大量投入氮肥的农田作物研究较少。国内在近几年才逐步开展该领域研究工作, 资料相对贫乏, 且以前研究结果对不同植物是否具有普遍性, 也需进一步确证。本试验将大气  $\text{NH}_3$  浓度水平和介质施氮水平相结合, 采用开顶式气室研究大气  $\text{NH}_3$  浓度升高时, 不同供氮水平下小麦光合生理特性的变化, 探讨大气  $\text{NH}_3$  浓度升高对生长在不同供氮介质中作物生长的影响, 比较这种影响在不同氮效率品种间的差异。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

供试材料‘小偃 6 号’和‘长旱 58’为冬小麦品种, 它们分别属氮高效和氮低效品种<sup>[6,7]</sup>, 其种子均由杨凌亿阳科技有限公司提供。

供试土样为 0~30 cm 土垫旱耕人为土, 土壤物理性状良好, 电导率  $1.70 \times 10^3 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$ , 田间最大持水量为 28.6%。土样经风干、碾碎、过筛处理后装入试验盆钵进行土培试验。供试土壤有机质、全氮、硝态氮、铵态氮、有效磷、速效钾及 pH 分别为 13.58 g/kg、0.86 g/kg、2.2 mg/kg、4.4 mg/kg、10.2 mg/kg、153.6 mg/kg 和 7.59。

### 1.2 实验装置

本实验装置由  $\text{NH}_3$  气源、空气控制系统和开顶式气室(open top chambers, OTCs)三大部分组成。其中的开顶式气室又包括风扇、框架、室壁和底座等 4 部分, 它是目前应用较为广泛、比较接近自然条件的模拟装置。

**1.2.1 开顶式气室** 气室设计为四面体柱型, 高 1.5 m, 边长 1.2 m, 气室体积约为  $3 \text{ m}^3$ 。为减少外部气流从气室顶部侵入, 框架顶部为一开口平截的圆锥体, 面积为底面积的 1/2。气室内温度和湿度通过底部多孔管输入空气调控,  $\text{NH}_3$  浓度通过底部  $\text{NH}_3$  输入多孔管控制。在气室内安装风扇, 以使  $\text{NH}_3$  均匀分布, 同时起到降温作用, 气室内风速不超过  $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。测定发现, 在试验作物生长期气室内温度比环境气温高 3~5℃, 通  $\text{NH}_3$  和不通  $\text{NH}_3$  气室内温度一致, 说明气室内温度升高不是由通  $\text{NH}_3$  处理引起, 而是气室本身所产生的温室效应, 因此不影响对  $\text{NH}_3$  处理效果的比较研究。

**1.2.2  $\text{NH}_3$  浓度检测装置** 气室内不同高度和部位的  $\text{NH}_3$  浓度先后由 2 种  $\text{NH}_3$  检测装置检测, 每天测定 4 次, 时间分别为 8:00、11:00、14:00 和 17:00, 测定时不影响通气。首先通过容积为 100 mL 的 HLA-2 手动抽气泵(北京环安科技发展中心生产)采样, 共采气 300 mL, 待  $\text{NH}_3$  检测管(检测范围  $0.2 \sim 6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )中的粉色纳氏试剂变色终止, 即可从蓝色柱判断气室内  $\text{NH}_3$  的大致浓度; 由于空气中  $\text{NH}_3$  浓度的背景值很低, 需通过氨测试精度为  $0.01 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (符合国家标准测试精度要求)的 GTL-C 型室内空气检测仪(配有型号为 pH 618 的测试笔一支)准确测定大气  $\text{NH}_3$  浓度。经 2 周连续调适与测定发现, 试验地附近空气  $\text{NH}_3$  背景浓度值基本稳定在  $10 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$ , 熏蒸气室中  $\text{NH}_3$  浓度准确控制在  $1000 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$ , 小麦生长期间每隔 2 h 检测 1 次。

### 1.3 试验设计

盆栽试验于 2007 年 10 月~2008 年 4 月在西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室试验场内进行。土培试验盆钵采用

PVC 材料制成的培养盆(内径 15 cm,高 20 cm)。试验因素包括大气 NH<sub>3</sub> 浓度、介质供氮水平及不同氮效率小麦基因型。大气 NH<sub>3</sub> 浓度设 10 nL · L<sup>-1</sup> (空气背景浓度,低氮)和 1 000 nL · L<sup>-1</sup> (高氮)2 个水平;小麦基因型选择‘小偃 6 号’(氮高效)和‘长旱 58’(氮低效);介质供氮水平设不施氮(低氮)和每千克土施 0.2 g 氮(高氮)2 个水平。共配成 8 个处理组合构成完全试验方案。各处理材料分别放置在 4 个开顶式气室中(NH<sub>3</sub> 浓度处理重复 2 次),在同一大气 NH<sub>3</sub> 处理气室中,每一施氮水平和品种组合重复 8 次。为减少气室引起的试验误差,作物和 NH<sub>3</sub> 浓度处理间隔一定时间(10 d)在同一氮浓度气室中互换位置。试验以尿素(含氮 46%)为氮源,每盆均施 0.15 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (相当于 0.065 5 g P,磷源为 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)为底肥,氮肥和磷肥均在播种前一次性拌入土壤中。每盆播种 15 粒,留苗 8 株,返青期(2008 年 3 月 6 日)移入气室并开始进行氨熏蒸。每天从 8:00 ~ 18:00 连续供氮(雨天停供,盖上气室顶盖),晚上停止供气(因夜间气孔关闭,植物对大气 NH<sub>3</sub> 的吸收可能甚微)。

试验过程中,在土壤表面先覆一层石英砂,其上覆盖吸酸滤海绵,然后再覆一层石英砂。吸酸海绵通过吸收 NH<sub>3</sub>,既可防止土壤 NH<sub>3</sub> 进入气室,也可防止气室 NH<sub>3</sub> 进入土壤和根系对 NH<sub>3</sub> 的大量吸收;石英砂无吸附作用,不会吸收气室空气 NH<sub>3</sub>,但能减少吸酸海绵对气室空气中 NH<sub>3</sub> 的吸收。

#### 1.4 测定项目及方法

**1.4.1 光合作用参数** 在小麦拔节期、孕穗期、扬花期、灌浆期分别采用美国生产的 LF6400 光合仪活体测定小麦功能叶片(倒二叶或旗叶)净光合速率( $P_n$ )及气孔导度( $G_s$ )。每个处理选取 3 片叶,每片重复测定 3 次,选晴朗天气于 9:00 ~ 11:00 进行测定。

**1.4.2 叶绿素荧光参数** 采用德国 Walz 公司制造的 Imaging-PAM 调制荧光仪测定小麦拔节期、孕穗期、扬花期、灌浆期功能叶各荧光参数,每处理重复 3 次。测定前先暗适应 30 min;在测定时首先给一个经过充分暗适应的叶片照射检测光,经 1 ~ 2 min 待荧光水平稳定后得到荧光参数  $F_0$ ;接着给一个饱和脉冲光后关闭,得到荧光参数  $F_m$ ,由此可得荧光参数  $F_v/F_m$  和  $F_v/F_0$  ( $F_v = F_m - F_0$ )。  $F_v/F_m$  为 PS 最大光化学量子产量或 PS 原初光能转化效率,  $F_v/F_0$  为 PS 潜在活性。

**1.4.3 叶绿素和可溶性糖含量** 采取测定光合和荧光参数的叶片,剪碎混匀,一部分用 80% 丙酮提

取光合色素,测定提取液在紫外分光光度计 665、646 和 470 nm 处的吸光度值,根据 Lichtenthaler 公式分别计算叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量;另一部分采用蒽酮比色法测定其可溶性糖含量<sup>[8]</sup>。

#### 1.5 数据处理

所有实验数据均采用 Excel 和 SAS 进行统计处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对 2 种小麦品种叶片 $P_n$ 的影响

不同生育期  $P_n$  测定结果表明(表 1),在高氮条件下,高氮处理的氮高效和氮低效品种各生育期  $P_n$  值均显著低于低氮处理 ( $P < 0.05$ );低氮处理的氮高效品种各生育期  $P_n$  值均显著高于氮低效品种 ( $P < 0.05$ ),而高氮条件下此规律只出现在灌浆期。在低氮条件下,高氮处理的两品种叶片  $P_n$  值在孕穗期均显著高于低氮处理且品种间差异不显著,但在扬花期却显著低于低氮处理且品种间差异显著。两品种小麦生育后期,高氮低氮处理的  $P_n$  值均显著高于低氮高氮和低氮低氮处理 ( $P < 0.05$ )。上述结果表明,氮素充足时,过高的大气 NH<sub>3</sub> 浓度会对作物叶片净光合速率产生一定抑制作用,而当生长介质氮素贫乏时,作物可通过叶片充分吸收大气 NH<sub>3</sub> 改善作物氮素营养状况,从而提高  $P_n$ 。

### 2.2 大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对 2 种小麦叶片气孔导度的影响

作物主要通过叶片气孔吸收大气 NH<sub>3</sub>,其吸收速率和吸收量在理论上应该与气孔导度( $G_s$ )有关。测定结果表明(表 2),氮低效品种各生育期  $G_s$  值在高氮低氮处理时均显著高于高氮高氮处理 ( $P < 0.05$ ),而氮高效品种在两处理间差异不显著;而且,高氮低氮处理条件下,氮低效品种各生育期  $G_s$  值均显著高于氮高效品种 ( $P < 0.05$ )。低氮低氮处理时,孕穗期和扬花期氮低效品种  $G_s$  值也高于氮高效品种,但是差异未达显著水平。高氮低氮处理时,两品种小麦孕穗期旗叶  $G_s$  值均显著高于低氮低氮处理,且氮低效品种增加幅度更大。各因素交互作用的显著性检验进一步表明,氮水平和品种类型及 NH<sub>3</sub> 浓度、氮水平和品种类型对  $G_s$  有显著或极显著交互作用,说明当介质氮素不足时,大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高有利于促进叶片气孔导度增加,且其促进作用与作物品种氮效率高低有关。

### 2.3 大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对 2 种小麦叶片叶绿素含量的影响

叶绿素含量测定结果(表 3)表明,氮高效品种高氮高氮处理的叶绿素含量在拔节和扬花期显著高于高氮低氮处理( $P < 0.05$ ),而在孕穗和灌浆期则

表现出相反趋势;而氮低效品种高氮高氮处理的叶绿素含量除灌浆期外也均显著高于高氮低氮处理( $P < 0.05$ )。无论是高氮还是低氮处理,高氮条件下两品种间叶绿素含量差异均不显著,而低氮时两品种间差异仅在灌浆期达显著水平( $P < 0.05$ )。低

表 1 不同供氮介质下大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对 2 种小麦光合速率的影响

Table 1 Effect of increased NH<sub>3</sub> on P<sub>n</sub> for two wheat varieties with various N supplies

NH <sub>3</sub> 浓度 NH <sub>3</sub> concentration	供氮水平 Level of N supplies	品种类型 Cultivar type	净光合速率 P <sub>n</sub> / (μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )		
			孕穗期 Booting	扬花期 Flowering	灌浆期 Filling
高氮 High ammonia	高氮 High nitrogen	氮高效 HN	14.37c	6.91g	4.79g
		氮低效 LN	14.13c	6.45h	5.86f
	低氮 Low nitrogen	氮高效 HN	22.10a	16.90a	12.70a
		氮低效 LN	19.87b	15.10b	12.30b
低氮 Low ammonia	高氮 High nitrogen	氮高效 HN	20.53ab	7.82f	7.50d
		氮低效 LN	22.00a	11.14e	7.37d
	低氮 Low nitrogen	氮高效 HN	11.90d	14.37c	6.31e
		氮低效 LN	11.03d	13.48d	9.53c

注: 同列不同小写字母表示相同生育期内不同处理间在 0.05 水平有显著差异。HN. 氮高效品种; LN. 氮低效品种; 下表相同。

Note: The different letters in same columns indicated significant difference among treatments at 5% within the same growth stage; HN. High N efficiency cultivar; LN. Low N efficiency cultivar; The same as follow tables.

表 2 不同供氮介质和大气 NH<sub>3</sub> 浓度升下 2 种小麦叶片的气孔导度

Table 2 The G<sub>s</sub> of two wheat varieties with various N supplies and different NH<sub>3</sub> concentration

NH <sub>3</sub> 浓度 NH <sub>3</sub> concentration	供氮水平 Level of N supplies	品种类型 Cultivar type	气孔导度 G <sub>s</sub> / (mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )		
			孕穗期 Booting	扬花期 Flowering	灌浆期 Filling
高氮 High ammonia	高氮 High nitrogen	氮高效 HN	0.20bc	0.07e	0.07c
		氮低效 LN	0.23b	0.04g	0.04d
	低氮 Low nitrogen	氮高效 HN	0.20bc	0.06f	0.06c
		氮低效 LN	0.37a	0.20a	0.12a
低氮 Low ammonia	高氮 High nitrogen	氮高效 HN	0.20bc	0.06f	0.06c
		氮低效 LN	0.12d	0.11d	0.06c
	低氮 Low nitrogen	氮高效 HN	0.17c	0.17c	0.09b
		氮低效 LN	0.23b	0.19b	0.07c

表 3 不同供氮介质下大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对 2 种小麦叶绿素含量的影响

Table 3 Effect of increased NH<sub>3</sub> on chlorophyll content for two wheat varieties with various N supplies

NH <sub>3</sub> 浓度 NH <sub>3</sub> concentration	供氮水平 Level of N supplies	品种类型 Cultivar type	叶绿素含量 Chlorophyll content/ (mg · g <sup>-1</sup> )			
			拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	扬花期 Flowering	灌浆期 Filling
高氮 High ammonia	高氮 High nitrogen	氮高效 HN	2.46b	7.66bc	8.44a	6.58d
		氮低效 LN	2.82a	7.41c	8.40a	6.90cd
	低氮 Low nitrogen	氮高效 HN	1.86c	8.39a	6.93b	7.62b
		氮低效 LN	2.09c	7.02d	7.16b	7.72b
低氮 Low ammonia	高氮 High nitrogen	氮高效 HN	3.11a	7.79bc	8.41a	7.18c
		氮低效 LN	3.09a	7.97b	8.47a	8.23a
	低氮 Low nitrogen	氮高效 HN	1.33d	6.27e	6.35c	7.10c
		氮低效 LN	1.48d	6.21e	6.24c	7.73b

氮高氮处理时,氮高效和氮低效两品种叶绿素含量均高于高氮低氮处理,但差异不显著;低氮低氮处理时,两品种叶绿素含量均显著低于 ( $P < 0.05$ ) 高氮低氮处理。以上结果表明,介质施氮时(高氮处理),大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对供试小麦叶绿素含量产生抑制作用,而当介质氮素不足时(低氮处理),大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高有利于提高供试作物叶绿素含量,但品种间差异未达显著水平。

**2.4 大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对 2 种小麦叶绿素荧光参数的影响**

试验结果表明(表 4),不论介质是否施氮,大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对两品种小麦  $F_v/F_m$  值从拔节期到扬花期均不存在显著影响,灌浆期氮高效品种和氮低效品种  $F_v/F_m$  值虽略有差异但不显著,这与“非环境胁迫条件下叶片的荧光参数  $F_v/F_m$ (即 PS 最大光能转换效率)比较稳定,不受物种和生长条件的影响”的结论相一致<sup>[9]</sup>。

$F_v/F_0$  反映了 PS 的潜在活性。表 4 显示,高氮高氮和低氮高氮处理时,氮高效品种除拔节期外

的  $F_v/F_0$  值均显著高于氮低效品种 ( $P < 0.05$ );两品种低氮高氮处理时的  $F_v/F_0$  值均高于高氮低氮处理,并随着生育期的延长而表现得更加明显,且氮低效品种增加幅度稍大于氮高效品种。低氮条件下,高氮处理的两品种  $F_v/F_0$  值显著高于低氮处理 ( $P < 0.05$ )。与大气 NH<sub>3</sub> 对小麦叶片  $P_n$  的影响趋势相似,当介质中氮素供应不足并在大气 NH<sub>3</sub> 浓度较高时,小麦叶片通过吸收大气 NH<sub>3</sub> 来改善其光能转化效率,但当介质中氮素充足时,大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高反而会对其产生抑制作用。

**2.5 大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对不同氮效率小麦旗叶可溶性糖含量的影响**

表 5 显示,在 2 种供氮水平下,氮高效品种和氮低效品种各生育期旗叶可溶性糖含量差异显著 ( $P < 0.05$ ),并均在灌浆期后急剧下降,因为此期大量糖由叶片转移至籽粒。高氮高氮处理时,两品种小麦旗叶可溶性糖含量显著低于低氮高氮处理 ( $P < 0.05$ ),且品种间在相同氮氮处理下差异达显著水平,但各个生育期规律不一致;高氮低氮处理时,氮

表 4 不同供氮介质下大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对 2 种小麦叶绿素荧光参数  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$  的影响

Table 4 Effect of increased NH<sub>3</sub> on  $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_0$  for wheat leaves with various N supplies

NH <sub>3</sub> 浓度 NH <sub>3</sub> concentration	供氮水平 Level of N supplies	品种类型 Cultivar type	PS 光能转化效率 $F_v/F_m$				PS 潜在活性 $F_v/F_0$			
			拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	扬花期 Flowering	灌浆期 Filling	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	扬花期 Flowering	灌浆期 Filling
高氮 High ammonia	高氮 High nitrogen	氮高效 HN	0.82a	0.8a	0.84a	0.79abc	4.72ab	4.07c	4.93bc	3.81b
		氮低效 LN	0.83a	0.79a	0.83a	0.78bc	4.74ab	3.83d	4.55d	3.51c
	低氮 Low nitrogen	氮高效 HN	0.82a	0.81a	0.84a	0.8abc	4.48d	4.41a	5.09ab	3.89b
		氮低效 LN	0.83a	0.82a	0.84a	0.79abc	4.68bc	4.35ab	5.19ab	3.66bc
低氮 Low ammonia	高氮 High nitrogen	氮高效 HN	0.83a	0.81a	0.82a	0.81ab	4.74ab	4.41a	5.26a	4.24a
		氮低效 LN	0.83a	0.79a	0.83a	0.82a	4.87a	3.85d	4.95bc	4.47a
	低氮 Low nitrogen	氮高效 HN	0.81a	0.81a	0.81a	0.78bc	4.37d	4.24bc	4.49d	3.66bc
		氮低效 LN	0.82a	0.8a	0.83a	0.77c	4.53cd	4.2bc	4.72cd	3.57c

表 5 不同供氮介质下大气 NH<sub>3</sub> 浓度升高对 2 种小麦旗叶可溶性糖含量的影响

Table 5 Effect of increased NH<sub>3</sub> on soluble sugar content for two wheat varieties with various N supplies

NH <sub>3</sub> 浓度 NH <sub>3</sub> concentration	供氮水平 Level of N supplies	品种类型 Cultivar type	可溶性糖含量 Soluble sugar content/ %			
			孕穗期 Booting	扬花期 Flowering	灌浆初期 Early filling	灌浆末期 Later filling
高氮 High ammonia	高氮 High nitrogen	氮高效 HN	3.70c	4.43c	7.01d	3.41c
		氮低效 LN	3.75c	4.07d	10.10b	4.34b
	低氮 Low nitrogen	氮高效 HN	3.42d	3.75e	9.25c	3.50c
		氮低效 LN	3.35d	3.38f	9.14c	6.24a
低氮 Low ammonia	高氮 High nitrogen	氮高效 HN	4.56a	5.11b	6.45e	2.16e
		氮低效 LN	4.26b	5.39a	12.33a	3.30c
	低氮 Low nitrogen	氮高效 HN	2.35e	3.71e	5.19g	2.39d
		氮低效 LN	3.47d	2.53g	5.46f	2.37d

高效和氮低效品种旗叶可溶性糖含量显著高于低氮低氮处理 ( $P < 0.05$ ), 氮高效和氮低效品种分别增加 46.0% 和 59.9%;  $\text{NH}_3$  浓度和 N 水平, 以及 N 水平和品种类型对旗叶可溶性糖含量有显著或极显著交互作用。这表明大气  $\text{NH}_3$  浓度升高可提高生长于低氮介质中小麦叶片可溶性糖含量, 这将有利的提高此介质下的小麦千粒重和产量。

### 3 讨论

大气  $\text{NH}_3$  浓度升高对小麦光合指标影响的研究, 在以前相对较少。陈小莉<sup>[10]</sup> 研究报道, 大气  $\text{NH}_3$  浓度升高对玉米净光合速率和生物量有显著影响 ( $P < 0.05$ ), 其影响程度与供氮水平有关, 低供氮处理下表现为促进, 而高供氮处理下为抑制。本研究发现, 大气  $\text{NH}_3$  浓度升高对小麦净光合速率  $P_n$ 、气孔导度  $G_s$  和可溶性糖含量也存在显著影响 ( $P < 0.05$ ), 其影响程度也与施氮水平和供试小麦品种氮利用率有关。Van der Eerden 和 Pérez-Soba<sup>[11]</sup> 的研究也表明, 当大气  $\text{NH}_3$  浓度较高时, 通过诱导植物叶片气孔开放, 增加酶活性, 从而增加对  $\text{CO}_2$  的吸收和同化。叶绿素含量是影响作物光合作用的重要因子, 李翎<sup>[11]</sup> 在水培条件下研究氮对叶绿素含量影响时发现, 在小麦生殖生长期, 随外源氮素水平提高, 叶绿素 a、b 含量提高, 光合速率也提高。本试验结果表明, 低氮处理时, 大气  $\text{NH}_3$  浓度升高导致叶绿素含量显著增加 ( $P < 0.05$ ), 而高氮

处理时, 叶绿素含量随大气  $\text{NH}_3$  浓度升高而下降。可能是由于小麦叶片通过气孔从大气中吸收  $\text{NH}_3$ , 改善其氮素营养, 而当氮素供应充足时, 大气中过高的  $\text{NH}_3$  浓度, 可能会对植物产生一定毒害作用, 从而导致叶绿素含量下降, 李雁明和 Frederick 研究结果也表明, 增施氮肥能提高叶片叶绿素含量, 延长绿叶面积持续期, 但过量氮肥可能会导致其数值下降<sup>[12]</sup>。叶绿素荧光作为植物体内发出的天然探针, 能有效探测到许多有关植物生长发育与营养状况的信息<sup>[13,14]</sup>, 可快速、灵敏的分析逆境因子对光合作用的影响<sup>[15]</sup>。本试验结果表明,  $F_v/F_m$  值在各处理间差异不显著, Ciompi 等<sup>[16]</sup> 发现  $F_v/F_m$  不受氮素亏缺的影响。介质未施氮处理时, 大气  $\text{NH}_3$  浓度升高显著提高了小麦  $F_v/F_0$  值, 这可能与在低氮介质中叶片从大气中吸收  $\text{NH}_3$  后, 显著提高了叶片氮素和光合色素含量密切相关, 而光合色素含量对叶片叶绿素荧光参数有明显调节作用。陈小莉等<sup>[10]</sup> 对玉米进行的水培试验也取得了相同结论。

综上所述, 本研究结果虽然验证了“植物从大气中吸收  $\text{NH}_3$  有利于改善生长在低供氮介质上作物的氮素营养状况”, 但对“对氮低效品种的促进作用比对氮高效品种更加显著”尚未完全证明, 而且由于试验条件限制, 本试验对氮高效和氮低效两类型仅各选择一个品种, 可能缺乏代表性, 对这一假设仍需进一步研究。

### 参考文献:

- [1] BEAT H, ALBRECHT N. Ammonia exchange with grasslands[J]. *Agrarforschung*, 2002, 9:280 - 285.
- [2] SCHJOERRINGJ K, POULSEN M M, HUSTED S. Soil-plant-atmosphere ammonia exchange associated with *Calluna vulgaris* and *Deschampsia flexuosa*[J]. *Atmospheric Environment*, 1998, 32:507 - 512.
- [3] HARPER L A, SHARPE R R, CANGDALE G W. Nitrogen cycling in a wheat crop: soil, plant and aerial nitrogen transport[J]. *Agron. J.*, 1987, 79:965 - 973.
- [4] PEARSON J, STEWART G R. The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants[J]. *New Phytol.*, 1993, 125:283 - 305.
- [5] LI SH Q(李世清), ZHAO L(赵琳), SHAO M A(邵明安), ZHANG X CH(张兴昌), SHANGGUAN ZH P(上官周平). Ammonia exchange between plant canopy and the atmosphere—a review[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2004, 24(11):2154 - 2162(in Chinese).
- [6] WANG SH L(王树亮), TIAN Q ZH(田奇卓), LI N N(李娜娜), XIE L J(谢连杰), PEI Y T(裴艳婷), LI H(李慧). Study on the difference of nitrogen uptake efficiency and classification in the different wheat varieties[J]. *Acta Agriculture Boreali-Sinica*(华北农学报), 2008, 23(S):213 - 219(in Chinese).
- [7] LIU Y(刘毅), LI D F(李东方), LI SH Q(李世清). Responding sensitivities of different wheat varieties to nitrogen fertilizers[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2005, 25(10):1983 - 1991(in Chinese).
- [8] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 陕西杨陵:西北农林科技大学出版社, 2000, (1):145 - 148.

[9] CHEN XL(陈小莉), LI SH Q(李世清), REN XL(任小龙), LI SH X(李生秀). Effect of atmospheric NH<sub>3</sub> and hydroponic solution nitrogen levels on chlorophyll fluorescence of corn genotypes with different nitrogen use efficiencies[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(3): 1 026 - 1 033(in Chinese).

[10] CHEN XL(陈小莉), LI SH Q(李世清), REN XL(任小龙), QIANG H(强 虹), JI CH R(吉春容), YAN D M(闫登明). Influence of increased atmospheric NH<sub>3</sub> on physiology index and biomass of maize with different N efficiency[J]. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2008, **32**(1): 204 - 211(in Chinese).

[11] LIL(李 翎), CAO CL(曹翠玲). Content of wheat seeding pigment protein complexes at different nitrogen level[J]. *Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin.* (西北植物学报), 2007, **27**(3): 554 - 559(in Chinese).

[12] CAI R G(蔡瑞国), WANG ZH L(王振林), LI W Y(李文阳), ZHANG M(张 敏), ZHOU ZH N(周筑南). Effects of nitrogen rate on photosynthesis rate in flag leaves and grain filling course of two different genetic-type wheats[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 2004, **19**(4): 36 - 41(in Chinese).

[13] MAXWELL K, JOHNSON G N. Chlorophyll fluorescence- A practical guide[J]. *Journal of Experiment Botany*, 2000, **51**: 659 - 668.

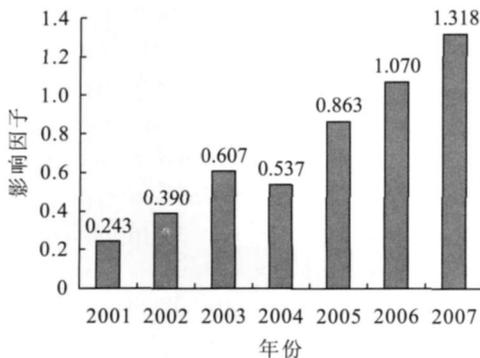
[14] ZHANG W F(张旺锋), GOU L(勾 玲), WANG ZH L(王振林), LI SH K(李少昆), YU SL(余松烈), CAO L P(曹连莆). Effect of nitrogen on chlorophyll fluorescence of leaves of high-yielding cotton in Xinjiang[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2003, **36**(8): 893 - 898(in Chinese).

[15] SCHREIBER U, BIL GER W, NEUBAUER G. Chlorophyll fluorescence: New instruments for special application[A]. In: Schulze E D, Cakiwell M M eds. *Ecophysiology of photosynthesis* Berlin: Springer-Verlag, 1994: 147 - 150.

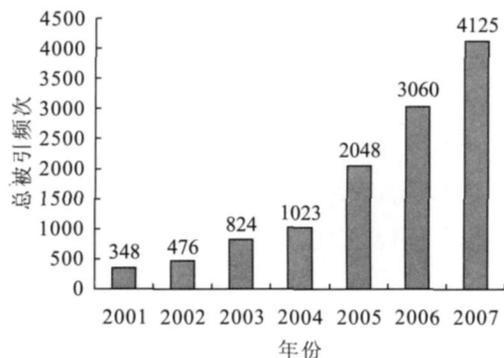
[16] CIMOPI S, GENTILI E, GUIDIL. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower[J]. *Plant Sci.*, 1996, (118): 177 - 184.

### 2001 ~ 2007 年《西北植物学报》被引指标动态变化

近年来,《西北植物学报》在国内外的学术影响力不断扩大,据中国科学院信息研究所万方数据库统计,从 2001 年到 2007 年,《西北植物学报》的影响因子和总被引频次不断提高(如下图所示),期刊影响因子由 2001 年的 0.243 增加到 2007 年的 1.318,6 年共增加了 4.4 倍,总被引频次由 2001 年的 348 增加到 2007 年的 4125,6 年共增加了 10.85 倍。2007 年,《西北植物学报》的影响因子排名列我国 10 种植物学期刊前列,论文被 555 种期刊引用,Web 下载率达 47.3, h 指数(CN)达 24,并且国外发行量也在逐年增加。



2001~2007年《西北植物学报》影响因子



2001~2007年《西北植物学报》总被引频次

(南红梅 供稿)