

适度水分胁迫下增硝对不同基因型水稻苗期生长及生理特性的影响

孙园园^{1,2}, 孙永健^{2,3}, 秦 俭^{2,3}, 杨志远^{2,3}, 陈 林⁴, 徐 徽^{2,3}, 马 均^{2,3}

(1. 中国气象局成都高原气象研究所, 四川 成都 610072; 2. 四川农业大学水稻研究所, 四川 温江 611130;
3. 农业部西南作物生理、生态与耕作重点实验室, 四川 温江 611130; 4. 温江区气象局, 四川 温江 611130)

摘 要: 以不同基因型代表性稻种(冈优 527、扬稻 6 号、中旱 3 号、农垦 57)为材料, 采用水培试验, 进行不同水分胁迫程度和不同氮素形态的处理, 分析了水分胁迫及氮素形态对不同基因型水稻生长发育的影响及其生理机制。研究表明: 正常水分供应条件下, 适当地提高硝态氮肥的比例(铵硝配比为 50:50), 不影响各营养器官净光合速率(P_n), 并能促进水稻叶及根中硝态氮含量增加, 但硝态氮肥比例 > 50%, 会导致各生理及代谢指标的显著降低, 不利于不同基因型水稻的生长; 而适度的水分胁迫下, 适当增加硝态氮比例(铵硝配比 50:50)相对于非水分胁迫、纯铵态氮肥处理, 更有利于提高功能叶 P_n , 促进渗透调节物质的积累, 能发挥以水促肥的优势, 进而促进水稻的生长。此外, 不同基因型水稻生长在适度水分胁迫下对增硝营养的响应程度差异显著, 籼稻与粳稻相比, 杂交籼稻和常规籼稻相比, 常规粳型早稻与常规粳型水稻相比, 前者在净光合速率、氮素吸收利用上均表现出更为明显的优势, 同品种耐旱性规律一致。

关键词: 水分胁迫; 水稻; 铵硝配比; 生理

中图分类号: S143.1; S511.062 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)04-0144-08

Effect of ratio of nitrate to ammonium on physiological characteristics of rice genotypes at seedling stage under moderate water stress

SUN Yuan-yuan^{1,2}, SUN Yong-jian^{2,3}, QIN Jian^{2,3}, YANG Zhi-yuan^{2,3}, CHEN Lin⁴, XU Hui^{2,3}, MA Jun^{2,3}

(1. Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu, Sichuan 610072, China;

2. Rice Research Institute, Sichuan Agricultural University, Wenjiang, Sichuan 611130, China;

3. Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Southwest China, Ministry of Agriculture, Wenjiang, Sichuan 611130, China; 4. Wenjiang Weather Bureau, Wenjiang, Sichuan 611130, China)

Abstract: Rice genotypes including Gangyou 527, Yangdao 6, Zhonghan 3 and Nongken 57 were grown under different water stress conditions and treated with ammonium and nitrate at various ratios to investigate the effects of water stress and nitrogen forms on growth, nitrogen absorption and physiological characteristics of rice. The results indicated that, under normal water condition, moderate decrease in the ratio of ammonium/nitrate (50:50) could increase nitrate content in the leaves and roots of rice, while the net photosynthetic rate (P_n) was not affected. However, when the proportion of nitrate N was higher than 50%, the physiological and metabolic indexes decreased significantly and the growth of rice seedlings was inhibited. Under moderate water stress condition, the ratio of ammonium/nitrate at 50:50 was more beneficial to increase P_n of top three leaves, to promote the accumulation of compatible osmolytes, to improve the nitrogen uptake and to boost the growth of rice seedlings, as compared with that treated with normal water and 100% ammonium N. Moreover, under moderate water stress condition, the responses of different rice genotypes to increasing nitrate N differed from each other significantly. In terms of P_n and nitrogen use efficiency, indica rice was superior to japonica rice; similarly, hybrid indica rice was superior to inbred indica rice, and japonica upland rice was better than japonica paddy rice. No difference was observed in drought tolerance within the same rice genotype.

Keywords: water stress; rice; ammonium/nitrate; physiological

收稿日期: 2012-05-30

基金项目: 中国气象局西南区域气象中心区域重大项目(2010-7); 国家自然科学基金项目(31101117); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD16B05, 2012BAD04B13, 2013BAD07B13); 农业部作物生理生态与耕作重点实验室开放课题; 四川省教育厅项目(10ZA047); 四川省育种攻关专项(2011NZ0098-15)

作者简介: 孙园园(1981—), 女, 山东烟台人, 博士, 副研究员, 研究方向为农业气象及作物栽培。E-mail: ytyy21@163.com。

通讯作者: 马 均, E-mail: majunp2002@163.com。

水资源的日益贫乏和季节性旱灾的日趋严重,带动了栽培稻抗旱性的研究。随着水稻节水灌溉和水稻旱作技术的推广,对水稻氮素形态营养特性和水稻水分利用效率的研究越来越受到重视。随着研究的深入,许多研究者通过利用控制条件下的溶液培养方法,研究不同铵硝配比与 PEG 模拟水分胁迫处理对水稻苗期生物量、 P_n 、叶绿素(Chl)含量和叶面积、氮素利用率、水分利用率、营养液 NH_4^+ 及 NO_3^- 的含量、根系形态指标等开展了研究^[1-4],但上述研究主要采用单一品种试验,来分析和探讨水分胁迫和不同铵硝比对水稻苗期生理特征的影响。不同基因型水稻对不同程度水分胁迫^[6]、不同铵硝配比的响应存在差异^[7-11];在非水分胁迫条件下,增硝不仅有利于不同基因型水稻苗期对 NH_4^+ 的吸收,提高氮素利用率,而且有利于叶片 P_n 的提高,促进水稻生长^[7-8];且在非水分胁迫的条件下,曹云等研究表明增硝增强了不同基因型水稻 NR 活性和 NR 基因 *OsNia1*、*OsNia2* 的表达^[9-10],李勇等^[11]研究了铵、硝态氮营养对水、旱稻根系形态及水分吸收的影响,指出与水稻相比,旱稻对硝态氮营养具有较强的适应性。有关水分胁迫条件下,尤其在适度水分胁迫下,增硝营养对不同基因型水稻品种氮素吸收同化的作用及引起的生理生化变化已有一些研究^[12],但还不够系统深入,水分胁迫条件下,不同基因型水稻对增硝的响应是否与前人在非水分胁迫条件下的研究结果一致,也不明确。为此,本试验拟采用溶液培养的方法,在适度水分胁迫条件下,进一步探讨增硝营养对不同基因型水稻苗期生长和氮素(NH_4^+ 及 NO_3^-)吸收同化特征的影响,为合理调节水稻生长环境的 NH_4^+ 和 NO_3^- 比例,提高氮肥利用率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用冈优 527(杂交籼稻)、扬稻 6 号(常规籼稻)、中早 3 号(常规粳型旱稻)、农垦 57(常规粳型水稻)作为供试材料。

盛放营养液的容器为高 21.6 cm,内径为 52.5 cm 圆柱型塑料水盆,水稻栽植用钻孔塑料定植模板均匀布孔,孔距 7.0 cm,每板 21 个孔,每孔定植 2 苗。PEG-6000(分析纯)为四川省西陇化工有限公司进口分装。

1.2 营养液配制及处理

营养液配制参照国际水稻研究所(IRRI)常规营养液配方^[13]。将稻种浸在 30% 的双氧水中消毒 30

min,用去离子水冲洗并挑选饱满、大小一致的放入发芽盒,用去离子水在 25℃ 人工气候箱内进行培养。培养至 2 叶 1 心时,供 1/2 全营养液,3 叶 1 心时用完全营养液水培(其营养液的铵硝配比为 100:0、50:50 和 0:100),至第 4 叶完全展开时,选择长势一致的秧苗,冲洗并吸去游离水后立即称重,选择重量一致的秧苗移栽于塑料水盆中,进行 PEG-6000 胁迫处理,浓度分别为 0%、5%(分别比对照的渗透势降低 0、0.05 MPa),每隔 3 d 更换一次营养液,其中均加入双氰胺(氮素用量的 5%)以抑制硝化作用,植株生长室温度控制为 28℃ ± 2℃;相对湿度为 60% ± 5%,光照时间 14 h·d⁻¹,每天早晚调节营养液 pH 至 5.5,每处理重复 4 盆。试验处理持续 14 d 后,各处理于上午 9:00 分别取水稻植株顶部向下两片完全展开叶(统一截取叶片中间部分)、完整根的混合样品(干物重的测定每盆处理取样 10 株,其他项目测定每盆各取样 5 株),4 次重复,取平均值。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 氮含量和脯氨酸含量 稻株 105℃ 杀青后 80℃ 烘干称重并粉碎,用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,并用 Büchi 全自动凯氏定氮仪测定含氮量;脯氨酸(Pro)含量按李合生^[14]法测定。

1.3.2 光合特性 用 LI-COR 6400 型便携式光合仪分别在处理的第 14 天,晴天上午 9:30 ~ 11:30 测定顶部最新完全展开叶的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)(人工控制条件: CO_2 浓度为 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,温度为 30℃,光照强度为 1 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的红蓝光源,流量计设定为 500 $\text{mL}\cdot\text{s}^{-1}$)。

1.3.3 叶长、宽及叶面积 处理第 14 天测定叶长、宽及茎基宽,用长宽系数法计算叶面积,取平均值。

1.3.4 SPAD 值及叶绿素含量 用 SPAD-502 型叶绿素仪测定功能叶顶部 1/3 处、中部和基部 1/3 处的 SPAD 值,每盆重复 10 次,取平均值,并按照李合生^[14]法测定其 Chl 含量。

1.3.5 苗高及营养液 pH 值 在处理后的第 14 天调查各处理水稻的株高,观测 10 株取平均值;每天早晚用 pH 计测定营养液 pH 值,测定后调节 pH 值至初始值。

1.4 统计分析

试验数据均采用 STATISTICA 5.5、Excel 2003 等软件进行统计分析,显著性分析采用以 F 测验为基础的 Duncan's 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 光合特性

由图 1 可知,水分胁迫处理前,各品种对不同铵硝配比处理的功能叶净光合速率(P_n)的响应因品种因素稍有差异。冈优 527 和扬稻 6 号的 P_n 以铵硝配比 100:0 处理最高,50:50 处理次之,均显著高于 0:100 处理。中早 3 号和农垦 57 的 P_n 以铵硝配

比 50:50 处理最高,100:0 处理次之,均显著高于 0:100 处理。因此,过低的铵硝配比不利于提高 P_n ,妨碍水稻干物质积累。不同水分胁迫和铵硝配比对不同基因型水稻叶片气孔导度(G_s)、蒸腾速率(Tr)的影响与 P_n 值的变化趋势基本一致(农垦 57 的铵硝配比 0:100 处理除外),而铵硝配比 0:100 处理的胞间 CO_2 浓度(C_i)显著高于其他铵硝配比处理,品种间差异不显著。

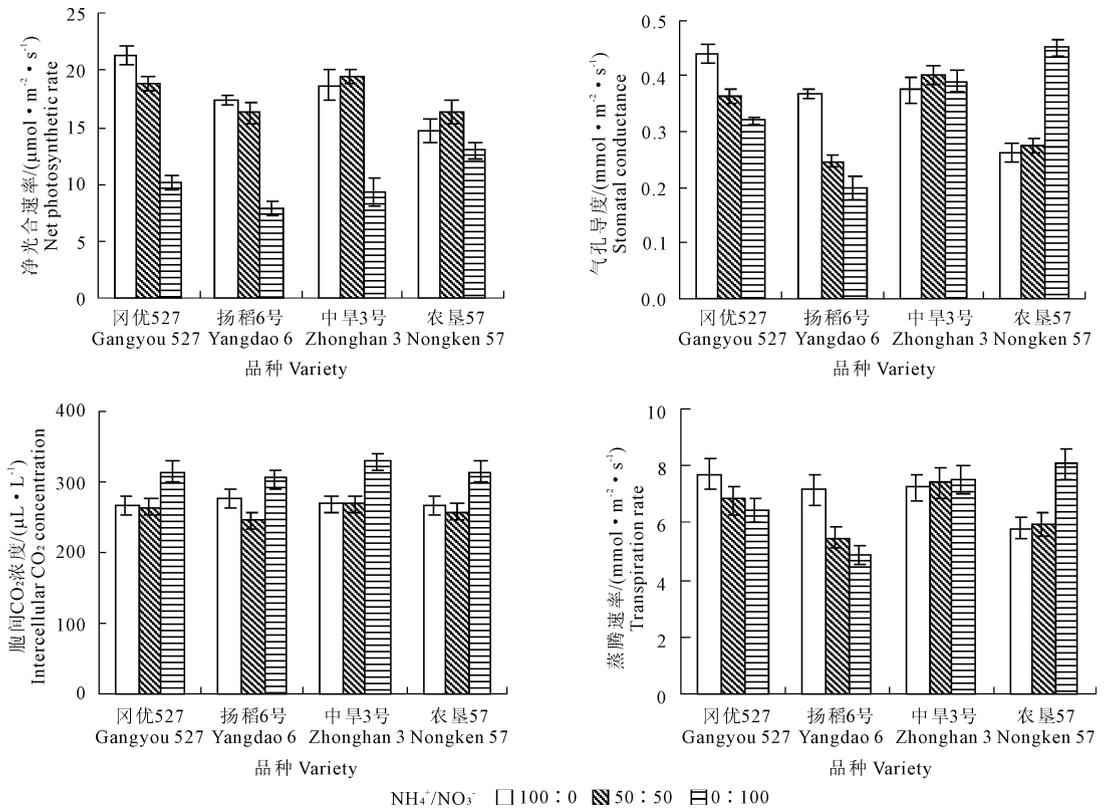


图 1 水分胁迫前不同铵硝配比处理对水稻幼苗光合特性的影响

Fig. 1 Effects of ammonium/nitrate ratio on net photosynthetic rate in rice seedlings

由图 2 可知,两种水分处理条件下功能叶的 P_n 均为:杂交籼稻 > 常规籼稻,常规粳型早稻 > 常规粳稻。5% PEG 水分胁迫处理 14 d 后,除冈优 527 和中早 3 号的铵硝配比 100:0 和 50:50 的 P_n 较 0% PEG 处理升高外,其他品种和处理的 P_n 均降低。同一水分处理下,冈优 527 和扬稻 6 号 P_n 均以铵硝配比 100:0 处理最高,50:50 处理次之,均显著高于 0:100 处理;而中早 3 号和农垦 57 的 P_n 以铵硝配比 50:50 处理最高,100:0 处理次之,均显著高于 0:100 处理。

2.2 干物质累积的变化

由表 1 可知,5% PEG 处理显著增加了水稻的根干重,虽然各品种增幅有所不同,但都表现为适度水分胁迫刺激了根系生长。除中早 3 号和冈优 527

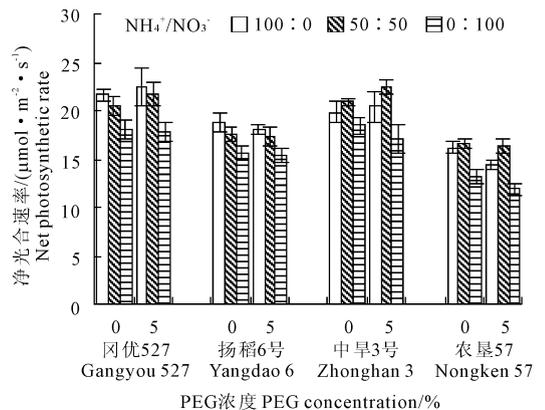


图 2 PEG 水分胁迫 (14 d) 和不同铵硝配比处理对水稻幼苗 P_n 的影响

Fig. 2 Effects of PEG (14 d) and ammonium/nitrate ratio on net photosynthetic rate in rice seedlings

铵硝配比 50:50 和 0:100 处理外,5% PEG 处理均增加了茎干重;除扬稻 6 号的铵硝配比 100:0 处理和农垦 57 的 50:50 和 0:100 处理外,5% PEG 处理均减少了叶干重;5% PEG 处理增加了各品种的根叶

比及根冠比;同一水分胁迫下,冈优 527 和农垦 57 的根、茎、叶干重均为铵硝配比 100:0 处理最高,50:50 处理次之,而扬稻 6 号和中早 3 号均为铵硝配比 50:50 处理最高,100:0 处理次之。

表 1 PEG 水分胁迫和铵硝配比处理对水稻幼苗干重的影响

Table 1 Effects of PEG and ammonium/nitrate ratio on dry weight in rice seedlings

品种 Variety	铵硝配比 Ammonium /nitrate ratio	PEG 浓度/% PEG concentration	根 Root /g	茎 Stem /g	全部叶 Leaves /g	根叶比 Root/leaves	根冠比 Root/shoot	
冈优 527 Gangyou 527	100:0	0	0.240 a	0.273 b	0.404 a	0.59 fgh	0.35 d	
		5	0.248 a	0.293 a	0.372 b	0.67 de	0.37 c	
	50:50	0	0.158 c	0.207 c	0.290 de	0.55 ij	0.32 f	
		5	0.205 b	0.184 d	0.279 e	0.74 bc	0.44 b	
	0:100	0	0.114 ef	0.164 ef	0.233 fg	0.49 klm	0.29 hi	
		5	0.137 d	0.143 hi	0.216 gh	0.63 ef	0.38 c	
	平均 Average			0.184	0.211	0.299	0.61	0.36
	扬稻 6 号 Yangdao 6	100:0	0	0.138 d	0.162 ef	0.272 e	0.46 mn	0.28 ij
5			0.160 c	0.193 cd	0.326 c	0.49 kl	0.33 ef	
50:50		0	0.138 d	0.194 cd	0.317 c	0.44 n	0.27 j	
		5	0.161 c	0.208 c	0.293 d	0.55 ij	0.32 f	
0:100		0	0.072 g	0.166 e	0.218 gh	0.33 o	0.19 k	
		5	0.101 f	0.091 k	0.145 ij	0.70 cd	0.43 b	
平均 Average			0.129	0.169	0.262	0.49	0.30	
中早 3 号 Zhonghan 3		100:0	0	0.105 f	0.146 ghi	0.241 f	0.44 n	0.27 j
	5		0.117 ef	0.134 ij	0.229 fg	0.51 jk	0.32 f	
	50:50	0	0.120 e	0.146 ghi	0.270 e	0.44 mn	0.29 hi	
		5	0.123 e	0.139 hij	0.218 gh	0.56 ghi	0.34 de	
	0:100	0	0.098 f	0.151 fgh	0.197 h	0.50 k	0.28 ij	
		5	0.114 ef	0.101 k	0.135 ij	0.84 a	0.48 a	
	平均 Average			0.113	0.136	0.215	0.55	0.33
	农垦 57 Nongken 57	100:0	0	0.124 e	0.197 cd	0.223 fgh	0.56 hi	0.30 gh
5			0.137 d	0.199 c	0.228 fgh	0.60 fg	0.32 f	
50:50		0	0.077 g	0.107 k	0.155 i	0.50 k	0.29 hi	
		5	0.110 ef	0.160 efg	0.208 h	0.53 ijk	0.30 gh	
0:100		0	0.078 g	0.126 j	0.130 j	0.60 fg	0.30 gh	
		5	0.115 ef	0.151 fgh	0.152 i	0.76 b	0.38 c	
平均 Average			0.107	0.157	0.183	0.59	0.32	

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lower case letters in the same columns means significant difference at $P < 0.05$.

2.3 营养液 pH 值的日变化

考虑到各品种同一铵硝配比处理的营养液 pH 值日变化趋势相似,而各铵硝配比处理间差异较大,采用各铵硝配比处理下 4 个品种营养液 pH 值日变化的平均值进行分析(图 3)。铵硝配比 100:0 处理的 pH 值在处理第 12 小时和第 24 小时一直下降,且第 24 小时的 pH 值与 CK 差异显著,由稻株选择性吸收 NH_4^+ 分泌 H^+ 造成;铵硝配比 50:50 处理的

pH 值在处理第 12 小时较 CK 增加,而在第 24 小时较 CK 下降,但差异均不显著,可能与水稻幼苗白天和夜晚的生理周期不同而产生对不同形态氮素选择性吸收,进而造成 pH 值不同。铵硝配比 0:100 处理的 pH 值在处理第 12 小时和第 24 小时一直升高,且第 24 小时的 pH 值显著高于 CK,因为水稻植株只能吸收利用 NO_3^- ,同时吸收 H^+ 平衡体内电荷,造成生长介质 pH 值上升。

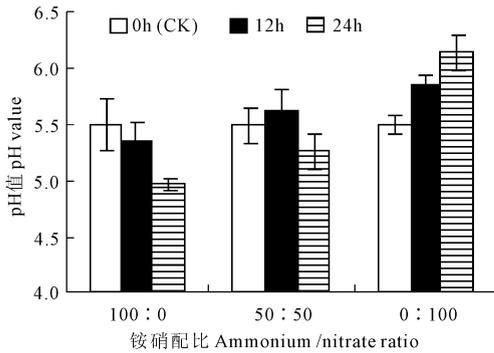


图 3 PEG 水分胁迫和铵硝配比处理对营养液 pH 值日变化的影响

Fig.3 Effects of PEG and ammonium/nitrate ratio on diurnal variation of pH value in nutrient solution

2.4 苗高、茎基宽及叶面积

由图 4 可知,水分胁迫处理 14 d 后,同一铵硝配比处理下,4 个品种苗高均为 0% PEG 处理高于 5% PEG 处理。同一水分处理下,4 个品种各水分处理的苗高均以铵硝配比 0:100 处理最低,铵硝配比 100:0 和 50:50 间苗高差异由品种及水分处理的差异决定。

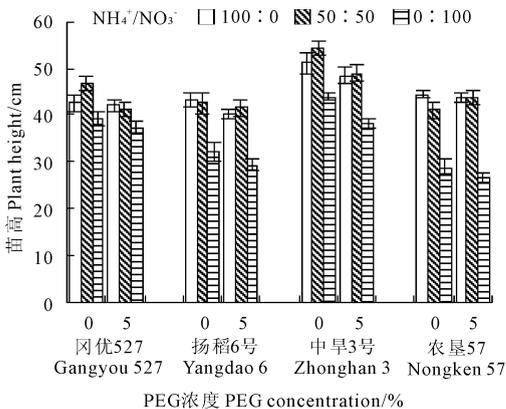


图 4 PEG 水分胁迫 (14 d) 和不同铵硝配比处理对水稻幼苗苗高的影响

Fig.4 Effects of PEG (14 d) and ammonium/nitrate ratio on plant height in rice seedlings

由表 2 可知,同一水分处理下,冈优 527 和农垦 57 的倒 1 叶和倒 3 叶叶长为铵硝配比 100:0 处理最高,而扬稻 6 号和中早 3 号为铵硝配比 50:50 处理最高,4 个品种均以铵硝配比 0:100 处理的倒 1 叶和倒 3 叶叶长最小,倒 1 叶和倒 3 叶叶面积同叶长的变化规律相同;同一铵硝配比处理下,5% PEG 处理增大了冈优 527 和农垦 57 铵硝配比 50:50 处理的倒 1 叶叶长和叶面积,而导致其他品种和处理降低。倒 2 叶叶长和叶面积变化规律和倒 1 叶相似。茎基宽品种间差异显著,但同一品种水稻不同处理间差异不显著,与倒 1 叶、倒 2 叶叶长的变化趋势一致。

2.5 植株吸氮量

由图 5 可知,不同基因型水稻的吸氮量对水分及铵硝配比处理的响应差异显著,单株吸氮量:冈优 527 > 扬稻 6 号 > 中早 3 号 > 农垦 57, 表现为:籼稻 > 粳稻,其品种间差异规律同干重趋势表现一致(表 1)。5% PEG 处理并未显著降低氮累积量;同一水分处理下,不同基因型水稻氮累积量随硝态氮比例的提高有不同程度的降低,冈优 527 和农垦 57 降幅显著;铵态氮比例 $\geq 50\%$ 的处理下,5% PEG 处理对不同基因型水稻的氮累积量稍有减少,但降幅不显著,而粳稻氮累积量在铵态氮比例 $\geq 50\%$ 处理下提高,在此基础上再增硝会导致中早 3 号氮累积量的显著下降。

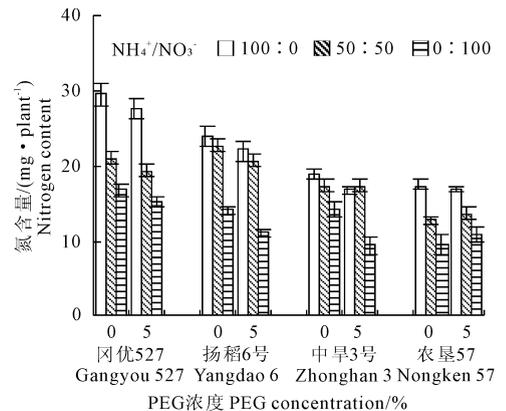


图 5 PEG 水分胁迫和铵硝配比处理对水稻幼苗吸氮量(全株混合样)的影响

Fig.5 Effects of PEG and ammonium/nitrate ratio on nitrogen content (whole plants mixed) in rice seedlings

2.6 叶片脯氨酸含量

中早 3 号的 Pro 含量(图 6)与吸氮量(图 5)趋势相同,而其它品种相反。同一水分处理下,铵硝配比 0:100 处理的 Pro 含量最高,50:50 处理次之,100:0 处理最低,但中早 3 号恰好相反。

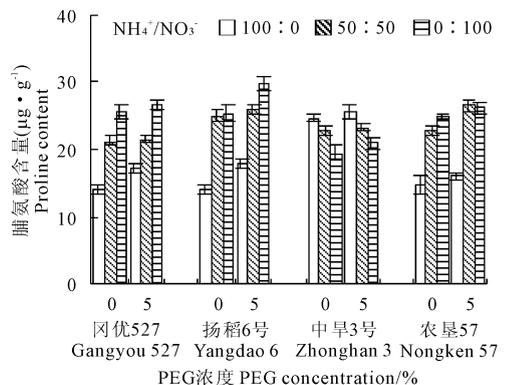


图 6 PEG 水分胁迫和铵硝配比处理对水稻幼苗脯氨酸含量的影响

Fig.6 Effects of PEG and ammonium/nitrate ratio on Pro content in rice seedlings

表 2 PEG 水分胁迫和铵硝配比处理对水稻幼苗叶面积和茎基宽的影响

Table 2 Effects of PEG and ammonium/nitrate ratio on area of top 3 leaves and base width of stem in rice seedlings

品种 Variety	铵硝配比 Ammonium /nitrate ratio	PEG 浓度/% PEG concentration	倒 1 叶 Top 1st leaf		倒 2 叶 Top 2nd leaf		倒 3 叶 Top 3rd leaf		茎基宽/cm Base width of stem
			长/cm Length	面积/cm ² Area	长/cm Length	面积/cm ² Area	长/cm Length	面积/cm ² Area	
冈优 527 Gangyou 527	100:0	0	31.90	29.67	25.85	21.33	21.20	14.73	0.92
		5	26.85	24.65	22.98	20.22	18.45	12.36	0.85
	50:50	0	25.53	22.71	22.55	18.01	15.03	9.32	0.88
		5	25.98	23.50	20.35	17.05	15.58	9.71	0.91
	0:100	0	24.78	22.46	19.60	16.16	14.13	8.49	0.81
		5	24.63	20.87	18.68	16.41	14.58	8.91	0.79
	平均 Average			26.61	23.98	21.67	18.20	16.50	10.59
扬稻 6 号 Yangdao 6	100:0	0	28.28	26.76	21.55	23.00	16.33	10.26	0.84
		5	23.30	20.36	19.53	16.90	13.95	8.09	0.81
	50:50	0	30.00	33.23	22.33	27.11	16.33	10.96	0.85
		5	29.55	32.03	24.05	30.00	19.45	14.26	0.83
	0:100	0	21.10	17.44	15.53	13.24	10.73	6.05	0.77
		5	18.93	14.04	14.65	11.19	10.43	5.63	0.70
	平均 Average			25.19	23.98	19.61	20.24	14.54	9.21
中早 3 号 Zhonghan 3	100:0	0	31.60	22.63	23.48	19.21	13.78	6.31	0.91
		5	29.95	20.30	22.73	18.47	14.80	6.25	0.89
	50:50	0	32.33	25.67	26.05	18.67	16.83	8.59	0.93
		5	29.13	20.43	21.38	18.59	14.03	6.39	0.90
	0:100	0	29.00	22.34	23.33	18.01	16.73	8.59	0.89
		5	25.97	17.27	19.60	10.99	15.83	8.41	0.83
	平均 Average			28.83	20.77	22.76	17.32	15.33	7.42
农垦 57 Nongken 57	100:0	0	29.08	17.26	22.30	15.96	16.78	6.70	0.79
		5	27.95	16.72	21.73	14.97	17.80	7.27	0.76
	50:50	0	25.83	13.18	20.95	12.53	16.40	5.84	0.74
		5	27.78	16.56	20.90	15.11	16.48	5.97	0.77
	0:100	0	20.00	9.70	16.75	8.47	12.85	4.61	0.70
		5	16.67	8.14	14.50	7.69	13.67	4.97	0.67
	平均 Average			24.55	13.59	19.52	12.46	15.66	5.89

2.7 叶绿素含量和 SPAD 值

由图 7 可知,非水分胁迫下,4 个品种的 Chl a 含量以铵硝配比 100:0 处理最高,0:100 处理次之;5% PEG 处理降低了铵硝配比 50:50 处理的农垦 57 Chl a 含量,但显著提高了其他品种 Chl a 含量。非水分胁迫下,4 个品种的 Chl b 含量以铵硝配比 100:0 处理最高,0:100 处理最低;5% PEG 处理降低了铵硝配比 100:0 处理 Chl b 含量,提高了 0:100 处理和除中早 3 号外其他品种的铵硝配比 50:50 处理的 Chl b 含量。非水分胁迫下,总 Chl 含量各品种均为铵硝配比 100:0 处理最高,50:50 处理次之,0:100 处理最低。5% PEG 胁迫降低了农垦 57 各氮肥处理及其他品种纯铵态氮处理的总 Chl 含量;而除此

(农垦 57 各氮肥处理及其他品种纯铵态氮处理的)之外,其他品种的其他氮肥处理的总 Chl 含量相反。说明适度水分胁迫有利于增加总 Chl 含量。各品种的 SPAD 值(图 7D)变化趋势同总 Chl 含量一致。

3 讨论与小结

3.1 适度水分胁迫下增硝营养对不同基因型水稻苗期光合特性的影响

在小麦上,有研究^[15]表明,叶片 P_n 以铵硝混合处理较高, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 处理次之, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 处理较低。而在水分胁迫与非水分胁迫下,水稻 P_n 、 G_s 、 Tr 和 G_i 均以纯铵态氮处理最大,铵硝配比 50:50 处理次之,纯硝态氮处理最小^[2]。在水稻上,不同铵硝配比

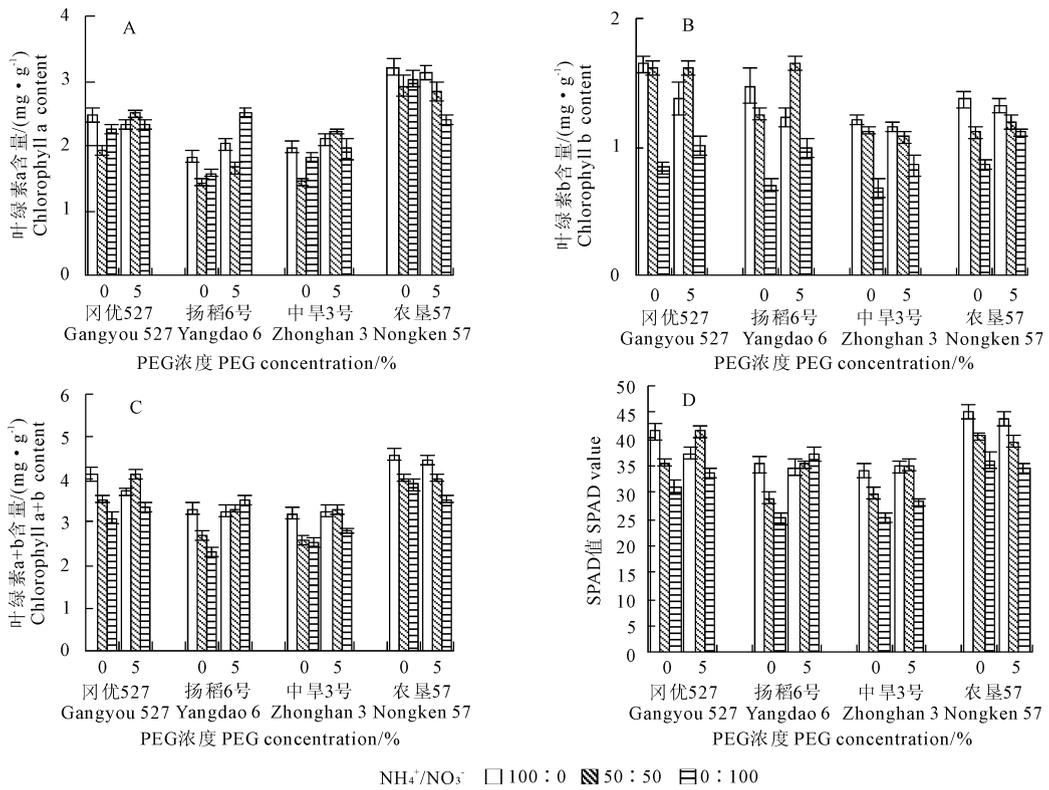


图 7 PEG 水分胁迫和铵硝配比处理对水稻幼苗 Chl a(A)、Chl b(B)、Chl a + b(C)含量和 SPAD 值(D)的影响

Fig.7 Effects of PEG and ammonium/nitrate ratio on Chl a (A), Chl b (B), Chl a + b (C) content and SPAD value(D) in rice seedlings

处理下,水分胁迫对幼苗光合特性的影响研究较多^[2,16-18],但结论并不一致。本试验表明,不同基因型水稻 P_n 存在明显差异,杂交籼稻 > 常规籼稻,常规粳型早稻 > 常规粳稻。水分胁迫处理前各品种 P_n 对不同铵硝配比的响应因品种因素有一定差异,籼稻的 P_n 以铵硝配比 100:0 处理最高,50:50 处理次之,而粳稻的 P_n 以铵硝配比 50:50 处理最高,100:0 处理次之,均显著高于 0:100 处理。5% PEG 水分胁迫 14 d 降低了除冈优 527 铵硝配比 100:0 和 50:50 处理外其他品种和处理的 P_n 。扬稻 6 号和中早 3 号铵硝配比 100:0 处理的 P_n 高于 50:50 处理;而农垦 57 的铵硝配比 50:50 处理的 P_n 高于 100:0 处理,表明品种间对不同铵硝配比处理的响应存在一定差异。

3.2 适度水分胁迫下增硝营养对不同基因型水稻苗期其他生理特性的影响

铵硝配比、PEG 胁迫浓度及不同基因型品种间存在相互作用的关系。本研究结果表明,同一铵硝配比处理下,4 个品种的脯氨酸含量均为 5% PEG 处理高于 0% 处理,这是对水分胁迫的适应性反应,在一定程度上抵御外界干旱的伤害,这与朱维琴等^[19]、戴高兴等^[20]的研究结果一致。本试验中,同一铵硝配比处理下,4 个品种的根干重均为 5% PEG 处理高于 0% 处理,适度水分胁迫表现出有利

于各基因型水稻根系的生长。同一水分胁迫下,扬稻 6 号和中早 3 号的根、茎、叶干重均为铵硝配比 50:50 处理最高,100:0 处理次之,而冈优 527 和农垦 57 的干重均为铵硝配比 100:0 处理最高,50:50 处理次之,0:100 处理最低,说明不同基因型水稻根系生长对水分胁迫的反应存在一定差异。

本试验条件下,5% PEG 胁迫处理表现出有利于刺激不同基因型水稻生理代谢活性的提高,促进水稻幼苗的生长;在适度的水分胁迫下,适量增加硝态氮施用比例,有利于提高水稻苗期光合作用(冈优 527 和农垦 57)、促进渗透调节物质和氮的积累,维持细胞正常的代谢。从不同基因型水稻对不同水氮条件下的响应来看,籼稻较粳稻优势可能更大。

3.3 不同基因型水稻的抗旱机制差异

本试验结果表明,除常规粳型早稻(中早 3 号)和杂交籼稻(冈优 527)铵硝配比 50:50 和 0:100 处理外,5% PEG 处理均增加了茎干重;除常规籼稻(扬稻 6 号)的铵硝配比 100:0 处理和常规粳型水稻(农垦 57)的 50:50 和 0:100 处理外,5% PEG 处理均减少了叶干重。同一水分胁迫下,冈优 527 和农垦 57 的根、茎、叶干重均为铵硝配比 100:0 处理最高,50:50 处理次之,而扬稻 6 号和中早 3 号均为铵硝配比 50:50 处理最高,100:0 处理次之。在铵硝配比 100:0 处理下,水分胁迫程度由 0 增加到 5%,中早 3

号的根冠比和根叶比增加幅度最大,分别达到了18.52%和15.91%,高于另外3个水稻品种的平均值10.08%和9.07%。但在铵硝配比0:100处理下,水分胁迫程度由0增加到5%,扬稻6号和中早3号的根冠比增加幅度很大(分别达到了126.32%和71.43%),远高于冈优527、农垦57的根冠比增幅(分别为31.03%和26.67%);根叶比增加幅度也很大(分别达到了112.12%和68.00%),远高于冈优527、农垦57的根叶比增幅(分别为28.57%和26.67%)。本试验结果还表明,中早3号叶片的Pro含量(图6)与吸氮量(图5)趋势相同,而本试验选用的另外3个水稻品种相反。同一水分处理下,3个水稻品种的铵硝配比0:100处理的Pro含量最高,50:50处理次之,100:0处理最低,但中早3号恰好相反。这些品种在本试验中对适度水分胁迫下增硝对不同基因型水稻苗期生长及生理特性的响应特性能否能够代表了所在基因型所有品种的相关特性,还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 高迎旭,周毅,郭世伟,等.不同形态氮素营养对水稻抗旱性影响的研究[J].干旱区研究,2006,23(4):598-603.
- [2] 宋娜,郭世伟,沈其荣.不同氮素形态及水分胁迫对水稻苗期水分吸收、光合作用及生长的影响[J].植物学通报,2007,24(4):477-483.
- [3] 周毅,郭世伟,宋娜,等.水分胁迫和供氮形态耦合作用下分蘖期水稻的光合速率、水分与氮素利用[J].中国水稻科学,2006,20(3):313-318.
- [4] 周毅,郭世伟,陈贵,等.胁迫萌发与不同水分胁迫强度下水稻对供氮形态的响应[J].南京农业大学学报,2006,29(1):57-62.
- [5] 柏彦超,钱晓晴,沈淮东,等.不同水、氮条件对水稻苗生长及伤流液的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):76-81.
- [6] 孙娜.水分胁迫对不同基因型水稻生理及根系蛋白组的影响[D].杭州:浙江师范大学,2009.
- [7] 段英华,张亚丽,沈其荣.增硝营养对不同基因型水稻苗期氮素吸收同化的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(2):210-215.
- [8] 段英华,张亚丽,沈其荣.增硝营养对不同基因型水稻苗期吸铵和生长的影响[J].土壤学报,2005,42(2):260-265.
- [9] 曹云,范晓荣,孙淑斌,等.增硝营养对不同基因型水稻苗期硝酸还原酶活性及其表达量的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(1):99-105.
- [10] 曹云,范晓荣,贾莉君,等.不同水稻品种对NO₃⁻同化差异的比较[J].南京农业大学学报,2005,28(1):52-56.
- [11] 李勇,周毅,郭世伟,等.铵态氮和硝态氮营养对水、旱稻根系形态及水分吸收的影响[J].中国水稻科学,2007,21(3):294-298.
- [12] 孙园园,孙永健,吴合洲,等.水分胁迫对水稻幼苗氮素同化酶及光合特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1016-1022.
- [13] 毛达如,申建波.植物营养研究方法[M].第2版.北京:中国农业出版社,2005.
- [14] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [15] 肖凯,张树华,邹定辉,等.不同形态氮素营养对小麦光合特性的影响[J].作物学报,2000,26(1):53-58.
- [16] 周毅,郭世伟,宋娜,等.供氮形态和水分胁迫对苗期-分蘖期水稻光合与水分利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(3):334-339.
- [17] 陈贵,周毅,郭世伟,等.水分胁迫和不同形态氮素营养对苗期水稻光合特性的影响[J].南京农业大学学报,2007,30(4):78-81.
- [18] 陈贵,周毅,郭世伟,等.水分胁迫条件下不同形态氮素营养对水稻叶片光合效率的调控机理研究[J].中国农业科学,2007,40(10):2162-2168.
- [19] 朱维琴,吴良欢,陶勤南.氮营养对干旱逆境下水稻体内可溶性渗透调节物质的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2003,29(5):479-484.
- [20] 戴高兴,彭克勤,萧浪涛,等.聚乙二醇模拟干旱对耐低钾水稻幼苗丙二醛、脯氨酸含量和超氧化物歧化酶活性的影响[J].中国水稻科学,2006,20(5):557-559.

(上接第128页)

- [4] 刘廷松,李桂芬.设施栽培条件下葡萄盛花期的光合特性[J].园艺学报,2003,30(5):568-570.
- [5] 房林,张振文,贾媛媛,等.杨凌地区3个葡萄品种光合特性比较[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):203-208.
- [6] 满丽婷,赵文东,郭修武,等.不同架式晚红葡萄浆果膨大期光合特性研究[J].河南农业科学,2009,(3):82-85.
- [7] 张付春,潘明启,卢春生.吐鲁番四个葡萄品种光合日变化及其光响应特征[J].新疆农业科学,2011,48(6):1001-1005.
- [8] 邹琦.植物生理生化试验指导[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [9] 许大全.光合作用气孔限制分析中的一些问题[J].植物生理学通讯,1997,33(4):241-244.
- [10] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982,(33):317-345.
- [11] Farquhar G D. Carbon isotope discrimination and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1989,(40):520-523.
- [12] Wunsche J N, Palmer J W, Greer D H. Effect of crop load on fruiting and gaseous change characteristics of Braeburn/M26apple trees at full canopy[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2000,125(1):93-99.
- [13] 刘水丽.人工光源在封闭式植物工厂中的应用研究[D].北京:中国农业科学院,2007.
- [14] 郭春爱,刘芳,许晓明.叶绿素b缺失与植物的光合作用[J].植物生理学通讯,2006,42(5):967-973.
- [15] Tanaka A, Ito H, Tanaka R, et al. Chlorophyll a oxygenase (CAO) is involved in chlorophyll b formation from chlorophylla[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1998,(95):12719-12723.