植物营养与肥料学报 2001,7(3):278～284
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同氮源与钾水平对杂交组合及常规稻生长和养分吸收的影响

李　华，杨肖娥，罗安程
（浙江大学环境资源学院，浙江杭州 310029）

摘要：采用营养液培养法研究了不同氮源和钾水平对杂交稻及其亲本和常规稻生长、叶绿素含量、养分吸收的影响。结果表明，水稻生长、叶绿素的含量及养分吸收与氮源供应密切相关。在供钾充足的条件下，杂交稻上位叶的干物质产量以硝态氮营养的最高，其次为硝态氮与铵态氮混合营养；保持系与杂交稻的趋势一致。杂交稻下位叶和根系干物质积累量受3种氮源的影响与恢复系相一致，即：硝＋铵混合＞硝态氮＞铵态氮。硝态氮营养比硝＋铵混合及铵态氮更有效地提高杂交稻功能叶片中的叶绿素含量。杂交稻与其亲本植株地上部全氮含量受3种氮源的影响为：硝＋铵混合＞硝态氮＞铵态氮；然而杂交稻地上部的吸氮量受氮源的影响为硝态氮＞硝＋铵混合＞铵态氮，与保持系的规律一致。杂交稻地上部钾含量及吸收量在3种氮源处理间有差异，表现为硝态氮＞硝＋铵混合＞铵态氮，保持系的趋势一致，但与恢复系不同。研究结果还表明，杂交稻对硝态氮的营养特性具有明显杂种优势。3种氮源对水稻生长、营养吸收的影响程度与钾营养状况及水稻品种有关；杂交水稻及其亲本较常规稻受影响更大。在高钾供应时，各项指标受到氮源影响的程度都明显高于低钾处理，其中以硝态氮为氮源更有利于杂交水稻生理及营养优势特性的发挥。

关键词：氮源；钾供应水平；杂交稻；常规稻
中图分类号：S511；Q945.1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2001)03-0278-07

钾是水稻必需的的大量元素，水稻对钾的需要量显著高于磷[1]。我国南方水稻主产区土壤含钾量普遍较低。随着高产耐肥品种的选用，杂交稻的推广，氮、磷肥用量的增加，复种指数的提高，钾在水稻生态系统中的亏缺已经成为了制约水稻增产的主要因素之一。针对我国钾肥资源相对贫乏，而需钾面积增加的趋势，如何提高钾素利用已成为当今人们关注和研究的热点。

水稻常被认为是喜铵作物，对铵态氮的吸收多于硝态氮，铵态氮是水稻吸收利用的较好形态[2]。但也有报道认为，在以铵态氮或硝态氮单独作为氮源时，水稻都能良好的生长，而以2种形态同时供给时生长更好。硝态氮与铵态氮配合施用比使用单一施硝态氮或铵态氮效果好[3]。不同品种之间对各种氮源的吸收利用也有较大的差异。杨肖娥等的研究表明，在生殖生长期杂交水稻对硝态氮的吸收能力明显的大于常规稻。生育后期施用硝态氮比铵态氮能更有效地保证水稻植株体内正常的生理代谢，提高稻谷产量[4,5]。

氮、钾之间存在着一定的互作效应。水稻对氮的吸收及所吸收氮形态在一定程度上取决于钾供应[6]，然而，杂交水稻及其亲本系和常规稻生长营养吸收与钾水平及不同氮源之

收稿日期：2000-12-13
基金项目：浙江省自然科学基金青年科技人才专项资金(315200)资助。
作者简介：李华(1971—)，女，北京市人，博士研究生，主要从事植物营养环境生态方面的研究。

间的关系仍不十分清楚。本研究旨在以杂交稻及其亲本和常规稻为材料,研究不同氮源及钾供应水平对根叶生长、生理及养分吸收的影响,以期搞清杂交水稻对不同氮源的营养特性受其亲本的影响程度。

1　材料与方法

1.1　试验设计

供试水稻(*Oryza sativa L.*)品系为杂交稻威优 402 及其亲本:保持系(V20B)和恢复系(R402),和常规稻(嘉育 293)。营养液采用国际水稻所吉田昌一配方[7]。

3 种氮源分别为硝态氮,铵态氮和硝铵混合态氮。铵态氮用$(NH_4)_2SO_4$、硝态氮用$Ca(NO_3)_2$、硝铵混合态氮用NH_4NO_3为氮源,浓度均为 40mg/L;钾设 5 和 40mg/L 2 个水平,以K_2SO_4的形式提供。各处理均重复 3 次,随机排列。试验于 1999 年在浙江大学华家池校区网室中进行。

1.2　植株的培养

水稻种子经消毒,清水冲洗后于石英砂中催芽。挑选 10d 苗龄且生长一致的幼苗,移栽于盛有 1/4 完全营养液 2.5L 塑料容器中培养,每个容器定植 7 束,每束 2 株。一周后用自来水冲洗根后移入含有不同氮钾处理的营养液中培养。营养液每 6d 更换 1 次,每天使用 0.1 mol/L HCl 或 NaOH 调节 pH 至 5.0~5.5。

1.3　样品制备和测定方法

培养 40d 后,测定功能叶叶绿素含量;50d 后取样测定株高和根长,收获。收获时分上位叶(顶部第一、二、三叶)、下位叶(除顶部三叶外其余叶片)、根 3 部分取样,用自来水冲洗植物组织表面,再经过蒸馏水冲洗后,于 105℃ 杀青 15min 后,在 80℃下烘干,称取干物重,各部分样品粉碎后备用。

叶绿素采用乙醇-丙酮浸泡提取的方法[8];植株粉碎烘干样经H_2SO_4-H_2O_2消化,含氮量采用凯氏定氮法测定;植株钾含量采用火焰光度计(JF12-1B)测定。

2　结果与分析

2.1　主根长、株高

杂交水稻与其父母本及常规稻相比,在形态学上具有一定的差异,特别是根系[9],这些差异在一定程度上决定了杂交稻在产量上的优势。

杂交水稻的主根长度在不同氮源供给下,均随着营养液中钾浓度的增加而变化。以硝态氮及硝铵混合态氮作为氮源,特别是以硝态氮为氮源时,无论是在低钾还是高钾条件下杂交稻的根长都明显高于其父母本及常规稻(表 1)。在以铵态氮为氮源时,杂交稻根系方面的优势特性没有得以充分的显现,尤其是在低钾下,表现出了对钾胁迫的极度不适应。这可能是由于在钾素缺乏情况下,水稻对铵态氮的吸收数倍于钾素充足的水稻植株,由于吸收迅速,氨不能及时转化为氨基酸或酰氨,造成氨的积累,从而最终形成对水稻根系生长的毒害作用[10]。

表 1 还看出,所选用杂交组合各部分株高亦受到钾供应水平的影响,表现为随着钾供应水平的提高而递增的趋势。同时,株高对氮处理的反应存在品系间差异。常规稻不同氮源处理间的变化很小;杂交稻在高钾条件下硝铵混合态氮及硝态氮处理的株高明显高于铵态氮处理,差异达显著水平,父母本表现出与杂交稻相似的规律;低钾处理时,杂交水稻株高受 3 种氮源影响差异较小。不论何种氮源,杂交稻主根长、株高均大于保持系,小于恢复系。

表1 不同氮钾处理对水稻生长的影响

Table 1 Effect of N sources and K levels on growth of rice

品种 Var.	施钾量 K rate(mg/kg)	主根长 Root length (cm)			株高 Plant height (cm)		
		NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+/NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+/NO_3^-
杂交稻	5	20.10 ±1.07	27.60 ±2.23	25.60 ±1.99	56.75 ±2.41	59.05 ±3.46	56.80 ±2.89
	40	24.15 ±0.57	31.90 ±1.19	27.50 ±1.37	58.50 ±1.14	66.05 ±2.04	65.55 ±2.98
保持系	5	19.45 ±0.51	25.55 ±1.12	22.45 ±1.87	52.90 ±1.02	58.30 ±2.24	52.25 ±3.34
	40	23.95 ±1.11	29.55 ±1.41	26.80 ±1.73	57.70 ±2.22	60.30 ±2.38	63.90 ±2.74
恢复系	5	20.95 ±2.18	19.00 ±0.78	20.05 ±1.17	60.85 ±2.36	60.95 ±1.56	63.75 ±2.34
	40	24.96 ±1.45	34.20 ±1.02	29.07 ±1.49	63.85 ±2.90	67.85 ±2.02	69.90 ±2.46
常规稻	5	22.90 ±0.71	24.30 ±1.14	23.20 ±1.56	53.65 ±1.42	49.80 ±2.28	50.80 ±3.12
	40	23.55 ±1.15	26.25 ±1.73	25.50 ±3.11	57.35 ±2.30	58.45 ±3.46	57.95 ±3.00

2.2 水稻生物产量

不同氮源和钾水平对水稻干重都有显著的影响。杂交水稻亲本系、常规稻植株上位叶、下位叶、根系干重及总干物积累在低钾水平供应时，均低于高钾处理（图1）。可见，充足的钾素供应是水稻植株健康生长并获得高产的必要条件。

高钾条件下，恢复系各个部分干重受氮源影响表现为硝铵混合态氮＞硝态氮＞铵态氮而保持系表现为硝态氮＞硝铵混合态氮＞铵态氮。杂交稻上位叶表现出了与保持系相似的规律，而其下位叶及根受不同氮源的影响则表现出了与恢复系相同的规律。常规稻受不同氮源影响的程度较其它供试品种小，其上、下位叶干重受硝铵混合态氮及铵态氮的影响程度基本相近，但均显著大于硝态氮的影响；根系干重受3种氮源的影响则明显的大于上、下位叶。在低钾水平下，3种氮源对各部位干重的影响都明显小于高钾处理，但不同氮源之间对干重影响未达到显著水平。

2.3 功能叶片叶绿素含量

叶绿素含量（或二氧化碳同化速率）通常被作为指示杂交水稻光合作用优势强弱的指标[11]。许多研究证明，杂交水稻在营养及生殖生长期的光合速率均高于其亲本和常规品种；但也有报道认为，杂交稻在生长初期净光合速率低于其亲本[12]。本研究结果（图2）表明，低钾条件下，除了以硝态氮为氮源，杂交水稻和保持系的叶绿素含量基本没有差异外，以铵态氮和硝＋铵混合态氮为供试氮源时，杂交水稻功能叶中的叶绿素含量均低于其恢复系，高于其保持系。在高钾和硝态氮氮源条件下，杂交水稻功能叶中叶绿素含量显著高于保持系，而与恢复系相近；以铵态氮为氮源时，杂交稻与亲本间叶绿素含量差异较小。但以硝＋铵混合态氮为氮源，杂交水稻的含量显著高于其父母本及常规稻。常规稻功能叶中叶绿素含量在低钾条件下要高于杂交稻，而在高钾条件下却明显低于杂交稻。硝态氮比铵态氮更能增加水稻的叶绿素含量。与单一氮源相比，两种氮源同时使用对于功能叶

叶绿素含量的影响与硝态氮差异不大，只是在高钾处理时杂交水稻叶绿素含量明显高于其父母本及常规稻。

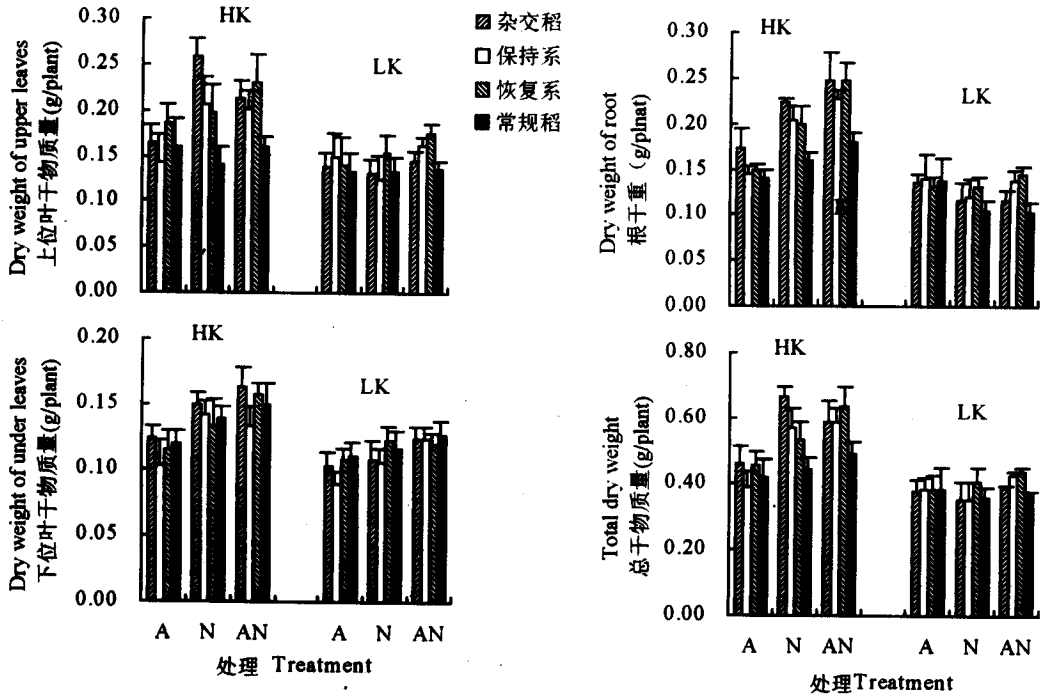

图 1　氮钾处理对威优 402 亲本系及其常规稻生物量的影响

Fig.1　Effect of N and K treatments on dry weight

(A:NH_4^+；N:NO_3^-；AN:NH_4^+/NO_3^-；HK:K 40mg/L；LK:K 5mg/L)

2.4　氮浓度及氮吸收

氮吸收为特定器官干物质重量×氮浓度。表 2 表明，不同的氮钾处理对水稻植株中各部分的氮含量及吸收量有显著的影响。在高钾(K 40 mg/L)条件下，3 种供试氮源，杂交稻氮含量及吸收均显著地高于常规稻。各供试品种全氮含量受 3 种氮源的影响为硝＋铵混合＞硝态氮＞铵态氮；而地上部吸氮量却因品种不同而呈现一定的异。恢复系各个部位吸氮量表现为硝＋铵混合＞硝态氮＞铵态氮；保持系则为硝态氮＞硝＋铵混合＞铵态氮。杂交稻地上部氮吸收表现出与保持系一致的规律；常规稻各部分氮吸收量表现为硝＋铵混合＞硝态氮＞铵态氮的规律。

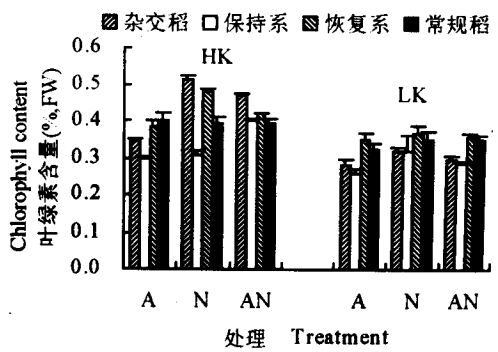

图 2　氮钾处理对 4 种水稻叶绿素含量的响

Fig.2　Effect of N and K treatments on chlorophyll content of rice varieties

(A:NH_4^+；N:NO_3^-；AN:NH_4^+/NO_3^-；HK:K 40mg/L；LK:K 5mg/L)

比较杂交稻及其父母本地上部氮浓度可以发现，高钾水平，杂交稻氮含量均大于其恢复系，而小于保持系，但与恢复系差异小，与保持系差异大；低钾水平，杂交稻氮含

表 2 不同氮钾处理对植株氮含量、氮吸收量的影响

Table 2 Effect of N sources and K levels on N content and absorption of shoot

品种 Var.	施钾量 K rate(mg/kg)	N 含量 Content (%)			N 吸收 Absorption (g/plant)		
		NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+/NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+/NO_3^-
杂交稻	40	1.95 ±0.06	2.20 ±0.08	2.09 ±0.10	0.32 ±0.04	0.56 ±0.04	0.45 ±0.02
	5	2.39 ±0.09	2.37 ±0.07	2.34 ±0.04	0.33 ±0.01	0.31 ±0.02	0.34 ±0.05
保持系	40	2.16 ±0.13	2.24 ±0.12	2.15 ±0.06	0.31 ±0.08	0.46 ±0.04	0.43 ±0.02
	5	2.25 ±0.07	2.26 ±0.16	2.23 ±0.05	0.34 ±0.01	0.28 ±0.05	0.36 ±0.03
恢复系	40	1.80 ±0.05	1.98 ±0.05	1.70 ±0.12	0.34 ±0.03	39 ±0.03	0.39 ±0.04
	5	2.30 ±0.08	2.25 ±0.10	2.29 ±0.11	0.32 ±0.02	0.34 ±0.04	0.40 ±0.02
常规稻	40	1.73 ±0.03	1.93 ±0.11	1.83 ±0.07	0.28 ±0.04	0.27 ±0.04	0.29 ±0.03
	5	2.01 ±0.07	2.03 ±0.07	1.97 ±0.08	0.27 ±0.04	0.27 ±0.04	0.27 ±0.03

量均高于其父母本。考虑生物量的影响,以硝态氮为供应氮源,杂交稻氮吸收量表现出明显高于其父母本;而氮源为铵态氮及硝铵混合态时,杂交组合各成分间则没有明显的差异。

钾的供应极显著的提高了水稻对硝态氮吸收,但高钾水平植株全氮的含量及吸收却低于低钾水平。据分析,铵离子对辅酶传递电子有阻碍作用;且低钾时,有一部分氮会进入液泡替代钾的非专性功能有关[13,14]。

2.5 钾浓度和钾吸收

钾供应水平对各供试基因型不同部位钾的含量及吸收有极显著影响(表 3)。随着供钾水平的提高,植物体内钾浓度及吸收具有较大的增幅,且不同品种钾营养特性也因外源氮源的不同而呈现不尽一致的规律。杂交稻地上部钾浓度及钾吸收在 3 种氮源之间的差异均表现为硝态氮>硝+铵混合>铵态氮。不同氮源对杂交稻地上部钾浓度、钾吸收的影响与保持系的趋势一致,而不同于恢复系。

高钾水平时,杂交稻钾含量及吸收均显著的高于常规稻,且该种特性没有受到氮源形式的影响;但与父母本间的关系因氮源的不同而有较大差异。以铵态氮为供试氮源,杂交稻钾含量小于其恢复系,大于保持系;而以硝态氮和硝铵混合态氮为氮源,则接近于保持系,而大于恢复系。除了以铵态氮为供试氮源,杂交稻植株钾吸收量介于父母本之间以外,其余 2 种氮源杂交稻钾吸收均显著高于其父母本。

3 讨论

杂交水稻的重要特点之一,是能将双亲的优良性状综合在一起,达到优缺点互补的目的[15]。本研究发现杂交水稻在干物质积累方面、地上部生长发育、根系生长与机能上具有的超亲优势及强于常规稻的优势,并与钾营养水平及氮源的形态有着密切关系。杂交水稻

表 3　不同氮钾处理对植株钾含量、钾吸收量的影响

Table 3　Effect of N sources and K levels on K content and absorption of shoot

品种 Var.	施钾量 K rate(mg/kg)	K 含量 Content (%) NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+/NO_3^-	K 吸收 Absorption (g/plant)) NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+/NO_3^-
杂交稻	40	2.20 ±0.12	2.70 ±0.07	2.34 ±0.09	0.36 ±0.04	0.60 ±0.04	0.50 ±0.02
	5	0.62 ±0.06	0.50 ±0.09	0.64 ±0.05	0.09 ±0.02	0.07 ±0.02	0.09 ±0.05
保持系	40	1.72 ±0.09	2.72 ±0.08	2.38 ±0.09	0.25 ±0.08	0.56 ±0.04	0.48 ±0.02
	5	0.56 ±0.08	0.62 ±0.07	0.82 ±0.05	0.08 ±0.01	0.08 ±0.05	0.13 ±0.03
恢复系	40	2.24 ±0.07	2.16 ±0.06	2.17 ±0.12	0.42 ±0.03	0.43 ±0.03	0.50 ±0.04
	5	0.87 ±0.06	0.74 ±0.06	0.61 ±0.06	0.12 ±0.02	0.11 ±0.04	0.11 ±0.02
常规稻	40	1.98 ±0.08	1.76 ±0.05	1.81 ±0.07	0.32 ±0.04	0.25 ±0.04	0.29 ±0.03
	5	0.63 ±0.05	0.71 ±0.06	0.63 ±0.06	0.08 ±0.05	0.09 ±0.03	0.09 ±0.02

具有的优良性状只有在钾素营养充足的情况下才能得以表现;不同氮源的影响也是基于充足钾素供应基础之上的。

钾对于水稻光合能力方面的影响一般没有氮那么显著,但在氮磷供给充足的条件下,也有一定的作用[5]。本研究结果进一步说明了这一结论,并表明杂交水稻较其恢复系和保持系及常规稻更易受到这样的影响。这种影响同时还与氮源形态密切相关,以硝态氮为氮源有利于杂交优势的体现。杂交组合及常规稻各部位氮的积累表现出了对硝态氮的高亲和性;但全氮含量受硝+铵混合态的影响要大于硝态氮,这是由于稀释效应的结果。

杂交组合及常规稻在养分吸收上有差异。与常规稻及保持系和恢复系相比,杂交水稻表现有明显的杂交优势,这种优势的体现是以充足的养分供应为前提的,并且受氮素形态的影响。与常规稻相比杂交稻具有对硝态氮营养的高亲和力[16]。本研究结果表明,杂交稻具有对硝态氮营养的杂种优势,而且,杂交稻这种营养特性与其保持系和恢复系密切有关。杂交稻地上部氮吸收表现出与保持系一致的规律,但与恢复系不同。3 种氮源中以硝态氮为氮源更有利于促进植株对钾的吸收及含量的提高。这与该时期水稻根呼吸作用中末端氧化酶以黄酶为主有关[10]。杂交水稻对钾的需求显著地高于其父母本、常规稻,但这种杂种优势只有在高钾供应时候才得以显现。

杂交稻对硝态氮的吸收利用具有杂种优势,而且硝态氮提高了杂交稻钾的吸收利用效率。因此,应考虑适时的追施硝态氮肥料,以提高杂交稻的生产潜力,及缓解因杂交稻面积不断增加而造成的钾素肥料相对供应不足,成本上升等生产中的实际问题。

参 考 文 献:

[1] 肖恕贤,覃金生,等. 杂交早稻需肥特性和施肥技术研究[J]. 作物学报, 1982, 8(1):23-32.

[2] Sasakawa H, Yamamoto Y. Comparison of the uptake of nitrate and ammonium by rice seeding[J]. Plant Physiol., 1978,

62: 665-669.

[3] Kaeim A Q M R, Viamis J. Comparative study of the effect of ammonium and nitrate nitrogen in the nutrition of rice[J]. Plant and Soil, 1962, 16:32-41.

[4] 杨肖娥,孙羲. 杂交水稻和常规水稻生育后期对 NO_3^--N 和 NH_4^+-N 的营养效应[J]. 核农学报,1990, 4:80-86.

[5] 杨肖娥,孙羲. 杂交水稻和常规水稻生育后期追施 NO_3^--N 和 NH_4^+-N 的生理效应[J]. 作物学报,1991,17(4):283-289.

[6] 罗安程,杨肖娥. 氮钾供应水平与水稻生育后期对不同形态氮吸收的关系[J]. 中国农业科学,1998,31(3):62-65.

[7] 吉田昌一,福尔诺 D A,科克 J H,戈梅斯 K A. 水稻生理学实验手册[M]. 北京:科学出版社,1975. 7-63.

[8] 陈福明, 陈顺伟. 混合液法测定叶绿素含量的研究[J]. 林业科技通讯, 1984,(2): 4-8.

[9] 李泽炳,肖翊华,等. 杂交水稻的研究与实践[M]. 上海:上海科学技术出版社,1982.

[10] 孙羲. 植物营养与肥料[M]. 北京:中国农业出版社,1988. 102-155.

[11] 杨肖娥,孙羲. 杂交水稻(F1)光合作用的优势及其与氮素营养的关系[J]. 浙江农业大学学报,1991,17(4):355-359.

[12] Yamauchi M S, Yoshida J. Heteroses in net photosynthetic rate, leaf area, tillering, and some physiological characters of $35F_1$ rice hybrids [J]. Experimental botany, 1985, 36:274-280.

[13] 倪青山,安林升. 三系杂交水稻幼苗 NH_4^+、K 吸收的动力学分析[J]. 植物生理学报, 1984,10(4):381-390.

[14] Woodhouse H W and Hardwick K. The growth of tomato seedings in relating to the form of N supply[J]. New Phytol., 1980, 65:518-525.

[15] 闵绍楷,等. 水稻育种学[M]. 北京:中国农业出版社, 1996.

[16] Luo A C, Xu J M, Yang X. Effect of nitrogen supply on absorption of ammonium and nitrate by conventional and hybrid rice during reproductive growth[J]. Plant Soil, 1993. 155/156:395-398.

Effects of nitrogen sources and potassium levels on growth and nutrient content of hybrid, its parent and conventional rice

LI Hua, YANG Xiao-e, LUO An-cheng

(College of Envir. And Resou. Sci., Zhejiang Univ., Hangzhou 310029, China)

Abstract: Solution culture was carried out to study the effect of nitrogen sources and potassium supply levels on growth and chlorophyll content of hybrid rice, its parent lines, and conventional rice. The results showed that the chlorophyll content, growth index, and nutrition content of different varieties were closely related to potassium supply levels and N sources. Comparing to high K supply, low K supply for each variety resulted in lower plant height, shorter root length, less dry weight, and lower chlorophyll content. Hybrid rice and its parent lines had greater response to N sources than conventional rice at the high potassium level. Hybrid rice showed better heterosis when supplied with NO_3^--N under high K supply level than with either NH_4^+ / NO_3^- or NH_4^+-N.

Key words: nitrogen source; potassium supply level; hybrid rice; conventional rice