

# 水稻耐肥性与氮肥施用量的研究

孙 羲 王岳定  
(浙江农业大学)

## 前 言

根据群众“因土种植,看苗施肥”的经验,在肥力高的土壤上,选用耐肥强的品种,而在肥力低的土壤上,则选用耐肥弱的品种,前者施肥量高,后者施肥量低。农民这种传统的栽培习惯对我国农业生产获得大面积较好的收成起了很大作用。

关于水稻品种耐肥性不同的原因,目前了解得还很少。日本在这方面曾进行过一些研究<sup>[1]</sup>。据马场<sup>[2]</sup>试验,耐肥品种一般对氮的同化作用较强,因此植株中蛋白质—N/水溶性—N 比值较耐肥弱的品种高。津野等<sup>[3]</sup>研究叶片含氮量与碳同化率的关系指出,在水稻生长初期,叶片含氮量与碳的同化能力成正相关,就是在抽穗期,单株叶片含氮量也与单株碳的总同化率成直线关系。由于耐肥品种叶片含氮量高,碳的同化率也高,所以植株中碳水化合物的含量,特别是茎和叶鞘中的含量,基本上不受氮肥施用量的影响,而耐肥弱的品种则不然,其植株中碳水化合物的含量随氮肥用量的增加而减少(高桥<sup>[4]</sup>),故在高氮水平下反而减产。植株的光合作用和呼吸作用也因品种的耐肥程度而有差别,长田等<sup>[5]</sup>以中稻进行试验表明,耐肥程度愈高的品种,植株的  $\frac{\text{光合作用}}{\text{呼吸作用}}$  比值也愈大,但在早稻中并未发现有此项关系<sup>[6]</sup>。此外,也早有试验证明硅能增强水稻的耐肥性。因硅在叶片中主要呈硅胶形态<sup>[7]</sup>存于细胞壁内,它能增强叶片的硬度,使叶片与茎所形成的锐角变小,从而和缓了在多肥条件下叶部生长过度繁茂和易于发生披叶的不良影响,于是改善了叶片的受光势,增加了群体的透光率,故有利于光合作用,因而能增强水稻的耐肥性。但是水稻各品种根系的吸附面和阳离子代换量与耐肥性的关系还很少研究,各品种对土壤氮营养水平的要求,这方面的研究也不多。从事这方面试验,其目的不仅是为了总结群众因土种植的经验,而且还希望找出主要早稻品种各生育期对土壤氮营养的要求,俾能为合理施肥提供依据。

## 试验材料与方法

大田试验于1963年在杭州华家池进行。试验田为小粉土,在浙江省水网平原地区分布较广,是水稻土中具有代表性的一种。其特点是土壤质地较轻,排水较好,有机质分解较快,土壤反应一般属微酸性至中性,氮肥肥效一般显著。试验田土壤的基本肥力情况见表1。试验前用大麦匀地播种,使土壤肥力一致。水稻品种用耐肥强的矮脚南特,耐肥中等的陆财号和耐肥弱的503。肥料用量分五级,即不施氮肥(N<sub>0</sub>),每亩施硫酸铵10斤(N<sub>1</sub>),20斤(N<sub>2</sub>),40斤(N<sub>3</sub>)和80斤(N<sub>4</sub>)。田间小区采取裂区排列,即各施肥水平均包括

表1 試驗田基本肥力情况

土 壤	有机质(%)	全氮量(%)	水解氮 (毫克/100 克土)	有效磷 (ppm)	有效钾 (ppm)	pH	土壤质地
表土(5寸)	1.39	0.086	6.4	11	54.3	6.3	细砂壤土
心土(5寸)	0.94	0.045	4.9	—	—	6.8	细砂壤土

三个品种。主区面积为 1/30 亩,再分三个副区,每副区面积为 1/90 亩。試驗重复四次,除一个重复作样本分析和考种用外,其余三个重复計算产量。磷、钾肥料分別用过磷酸鈣和硫酸钾,相当于每亩施  $P_2O_5$  和  $K_2O$  各 8 斤,其中一半作基肥,一半作追肥,磷肥于分蘖初期、钾肥于幼穗分化期施用。氮肥分三次施用,一次作耙面肥,占总施肥量的 40%;第二次在分蘖初期,用量与耙面肥同;最后一次在幼穗分化期,用量占总施肥量的 20%。施肥后結合耘田,并于分蘖盛期、幼穗分化期和抽穗期分別采取土壤和植株样本。土壤只采取表土(5寸),于各副区随机采取 10 点,混合后风干备用。植株样本每副区采取有代表性的 10 丛,选取整株全部叶片,在当天以 80% 酒精提取測定叶绿素、氨基酸。因为田间栽培采取植株易于伤根,故另以 Espino 溶液,并調节至 pH 6.0 进行水稻砂培,以便測定根的总吸附面和活跃吸附面。由于水稻不仅可吸收铵态氮和硝态氮,而且也能吸收利用氨基酸和各种酰胺<sup>[8]</sup>,故采用丘林法測定水解氮作为土壤有效氮。根的吸附面和活跃吸附面用 Kolocof 法測定;根阳离子代換量按 Drake 等<sup>[9,10]</sup>方法測定。叶片蛋白质用碱性硫酸铜沉淀,然后消煮測定;氨基酸以单向紙上层析,以酚:水(80:20)作溶剂。其他項目均按一般方法測定。

## 試驗結果与討論

### (一) 各早稻品种的产量与氮肥用量的关系

供試各水稻品种施用不同量氮肥后所得产量結果列于表 2 和图 1。

表2 水稻各品种产量与氮肥用量的关系

处 理	品 种	503		陆 财 号		矮 脚 南 特	
		小区平均产量 (斤)	折合亩产 (斤)	小区平均产量 (斤)	折合亩产 (斤)	小区平均产量 (斤)	折合亩产 (斤)
	$N_0$	3.83	344.7	4.33	389.7	4.50	405.0
	$N_1$	4.13	371.7	4.96	446.4	4.86	437.4
	$N_2$	4.50	405.0	5.50	495.0	5.31	477.9
	$N_3$	4.53	407.7	6.60	594.0	6.20	558.0
	$N_4$	3.30	297.0	6.07	546.3	6.96	626.4

表 2 和图 1 指出,耐肥品种矮脚南特产量随氮肥用量增加而增高,耐肥弱的 503 品种,其产量只有在低氮水平下才随着氮肥用量的增加而增加;而在施肥量高时,由于严重倒伏,产量反比不施肥的低,同时秕谷率多,千粒重低,品质也較差。品种陆财号以  $N_3$  处理的产量最高,如繼續增施氮肥,后期也发生倒伏。

根据以上试验结果表明,矮脚南特以  $N_4$  处理的产量最高,亩施硫酸铵 80 斤,平均亩产 626.4 斤;陆财号以  $N_3$  处理的最高,亩施硫酸铵 40 斤,亩产 594.0 斤;品种 503 在  $N_2$  和  $N_3$  两处理中产量相差极微(仅 2.7 斤/亩),但  $N_3$  处理的秕谷率较多(31.88%),千粒重较低(26.37 克),而  $N_2$  处理的秕谷率较少(28.4%),千粒重较高(27.42 克),故仍以  $N_2$  施肥量较为适当,即亩施硫酸铵 20 斤,获得相当于亩产 405 斤。根据氮肥用量和产量的关系,证明以上三品种耐肥顺序是:矮脚南特 > 陆财号 > 503,与群众经验完全一致。

## (二) 各水稻品种生长情况与土壤氮营养水平的关系

由于以上三种水稻品种对土壤肥力的要求不同,因此水稻各生育期土壤有效氮的含量也因品种而有差异。为了研究品种耐肥性与土壤氮素营养水平的相互关系,于水稻各生育期,在施肥后 5—7 天分别采取各副区表土,以扩散法测定水解氮含量。由于矮脚南特吸肥力很强,就是在最高施肥量时( $N_4$ ),土壤水解氮也未超过土壤原有含氮量,即 6.4 毫克/100 克土(于分蘖期为 3.6 毫克,幼穗分化期为 2.8 毫克,抽穗期为 4.5 毫克)。从产量形成因素来看,其中有效穗数、每穗粒数以及千粒重除  $N_3$  处理稍有虫害影响外,其余均随氮肥用量增加而增高(此项资料略)。故以上施肥量尚不能判断土壤氮素营养水平是否适量,更不能认为过量,而需要作进一步试验。至于陆财号和 503,其各生育期土中有效氮的含量则列于表 3 和图 2。

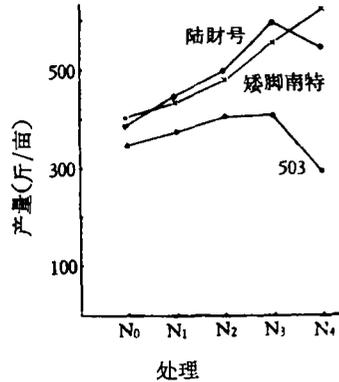


图 1 各早稻品种产量与氮肥用量的关系

表 3 503 和陆财号各生育期土壤中水解氮的含量(毫克/100 克土)

品 种	处 理	生育期及取样日期				生长情况
		插秧期 (5月10日)	分蘖盛期 (5月28日)	幼穗分化期 (6月9日)	抽穗期 (6月26日)	
503	$N_1$	6.4	4.7	5.5	5.4	分蘖不足
	$N_2$	6.4	5.8	8.5	6.3	生长正常
	$N_4$	6.4	6.6	11.1	10.2	倒伏
陆财号	$N_1$	6.4	5.0	5.7	4.5	分蘖不足
	$N_2$	6.4	5.7	6.8	4.8	生长正常
	$N_4$	6.4	6.5	12.1	7.1	倒伏

品种 503 在幼穗分化期,当每百克土中水解氮含量为 11.1 毫克,抽穗期为 10.2 毫克时,抽穗后植株即倒伏。如土壤水解氮低于 4.7 毫克/100 克土,由于分蘖不足,有效穗数较少( $N_1$  处理的每丛平均只有 9.7 个有效穗数,而  $N_2$  处理的则有 13.0 穗),所以产量也较低。陆财号在幼穗分化期如每百克土的水解氮超过 12.1 毫克,在抽穗期每百克土为 7.1 毫克,则后期也发生轻度倒伏。如在分蘖期土壤中水解氮每 100 克土低于 5.0 毫克,则由于分蘖少,每丛平均只有 7 个穗子,所以产量也不高。由本试验看出,以上两品种在分蘖期土壤中水解氮每百克土不宜低于 4.7 或 5.0 毫克,而在幼穗分化期不要超过 11.1 或 12.1 毫克,否则不是分蘖不足,就要引起不同程度的倒伏,从而影响产量。据木内等<sup>[11,12]</sup>试验,

土壤代換性鉍每百克土为 2 毫克时,水稻分蘖緩慢,在 1 毫克以下时,則分蘖完全停止,如超过 2 毫克,分蘖旺盛,达 4 毫克以上时,分蘖就非常充分了。在通常情况下,每百克土壤中鉍的浓度在 2 毫克以下时,水稻对氮的吸收将不能保持相当于每克干物质每天吸收在 1 毫克以上。水稻每日吸收氮的速度如在 1 毫克/克干物质时,分蘖便停止<sup>[12]</sup>。虽然我們試驗結果較木內等的为高,但水稻除能吸收利用土中鉍态氮外,氨基酸态氮、酰胺态氮以及硝态氮也都能吸收利用<sup>[9]</sup>,故分析土壤中水解氮較之分析單純的氨态氮更符合实际。

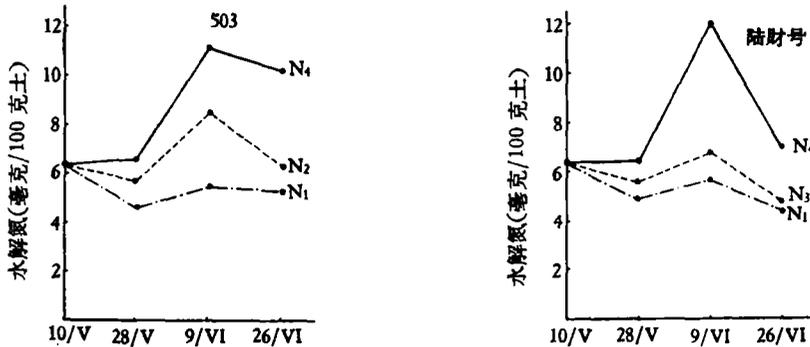


图 2 503 和陆财号各生育期土壤中水解氮的含量  
 取样日期: 10/V 插秧期 28/V 分蘖期 9/VI 幼穗分化期 26/VI 抽穗期

此外,在高氮水平,以上两品种不仅发生倒伏,而且在生长期間发现有部分烂根現象,特别是耐肥弱的 503 品种更为明显。据 Ерыгин 等<sup>[13]</sup>研究,认为水稻在大量氮肥条件下,由于进入植株內的氮增加,影响体内干物质的合成。当每克干物质含有 0.12—0.15 毫克  $NH_3$  时,这种抑制作用就开始表现出来,而且根較茎則更为敏感。又据 Vines 等<sup>[14]</sup>試驗,认为植物受氮的毒害是由于氮抑制了根系的呼吸作用,可能是抑制了細胞内电子的传递,从而影响呼吸。所以在施用氨态氮肥較多时,根系的发育和植株的生长常常受到抑制。所以氮肥使用不可过量,特别是耐肥弱的品种,更应注意。

**(三) 水稻各品种的耐肥性与根系特性的关系**

于水稻各生育期測定水稻根的阳离子代換量,分析样本均采自  $N_2$  处理的植株。此外还以砂培研究根系总吸附面和活跃吸附面,初期生长用 Espino 溶液培养,以后浓度加倍播种后 50 天測得的结果列于表 4。

表 4 水稻各品种根的总吸附面和活跃吸附面

品 种	总吸附面(厘米 <sup>2</sup> )	活跃吸附面(厘米 <sup>2</sup> )	活跃吸附面占总吸附面的 %
503	4158	594	14.3
陆财号	6600	1089	16.5
矮脚南特	6600	1155	17.5

表 5 指出,耐肥品种根的活跃吸附面以及阳离子代換量均較大,耐肥弱的品种均較小,耐肥中等的品种則界乎二者之間。据 Харня<sup>[15]</sup>的研究,水稻根系活跃吸附面在分蘖期和孕穗期达到最大值,这时根的呼吸强度也較高,这些条件均有利于水稻对养料的吸收。

因此，我們认为根的活跃吸附面和阳离子代換量可作为衡量水稻耐肥性的一个指标。因为活跃吸附面可以代表吸收养料的有效面积，而阳离子代換量则可代表吸收阳离子的强度，两者均与耐肥性有密切关系。

表 5 水稻各品种根的阳离子代換量(毫克当量/100 克干重)

品 种	生 育 期	分 蘖 期	幼 穗 分 化 期
503		5.71	11.19
陆财号		7.79	12.71
矮脚南特		8.43	16.38

#### (四) 水稻品种耐肥性与叶片某些成分的关系

1. 硅：矮脚南特叶片中硅的含量随氮肥用量增加而稍有增加，而陆财号和 503 则相反，它们叶片中硅的含量随氮肥用量增加而减少。就植株外形观察，在高氮处理的小区(N<sub>4</sub>)，矮脚南特叶片生长始终保持正常，而 503 和陆财号到抽穗期即有披叶发生。其原因是否完全由于硅的减少所致，尚须进一步试验加以证实。各品种在抽穗期叶片中 SiO<sub>2</sub> 含量见表 6。

表 6 抽穗期叶片中 SiO<sub>2</sub> 的含量(% 干重)

品 种	处 理	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>
503		9.10	8.79	8.86	7.33	倒 伏
陆财号		7.38	7.46	6.53	5.48	倒 伏
矮脚南特		—	5.19	6.46	5.81	6.03

2. 叶绿素、蛋白质和氨基酸：矮脚南特叶片中叶绿素的含量，不论那一施肥水平，也不论在分蘖期或幼穗分化期，均较 503 高，而陆财号大多在二者之间。因叶绿素含量高，有利于光合作用，由此也可说明其耐肥的特性。

矮脚南特叶片蛋白质含量在分蘖期几乎随氮肥用量增加而增加，而陆财号和 503 叶片中蛋白质含量虽然也随氮肥用量而增加，但增加到某一程度后如再增施氮肥，并不能增加叶片中蛋白质的含量。这就说明耐肥品种矮脚南特对氮的同化能力似较陆财号及 503 为强。表 7 是各品种在分蘖期和幼穗分化期的分析结果。

表 7 各品种叶片叶绿素和蛋白质态氮的含量(% 干重)

品 种	503			陆 财 号			矮 脚 南 特		蛋白质 -N 分蘖期
	叶 绿 素		蛋白质 -N 分蘖期	叶 绿 素		蛋白质 -N 分蘖期	叶 绿 素		
	分蘖期	幼穗分化期		分蘖期	幼穗分化期		分蘖期	幼穗分化期	
N <sub>0</sub>	1.00	0.93	2.69	1.16	0.99	1.31	1.35	1.01	1.88
N <sub>1</sub>	1.04	0.96	2.86	1.08	1.06	—	1.36	—	2.72
N <sub>2</sub>	1.36	1.03	—	1.33	1.08	1.69	1.46	1.05	3.05
N <sub>3</sub>	1.40	1.06	3.22	1.46	1.13	3.19	1.57	1.11	3.59
N <sub>4</sub>	1.46	1.34	3.00	1.57	1.26	2.99	1.57	1.34	3.76

至于各品种叶片中氨基酸的种类, 不論在分蘖期、幼穗分化期或抽穗期均无显著差异。叶片中主要氨基酸有丙氨酸、纈氨酸、谷氨酸、天門冬氨酸等, 其中以丙氨酸含量最多。

## 总 结

1. 耐肥品种矮脚南特产量随氮肥用量增加而增加, 在試驗条件下, 每亩施硫酸銨 80 斤, 获得最高产量。耐肥弱的品种 503 在低氮水平下产量較高, 每亩施硫酸銨 20 斤时, 获得較好产量, 而在高氮水平, 由于倒伏, 反而減产; 陆財号品种耐肥性介乎两者之間, 其产量以每亩施硫酸銨 40 斤的最高。

2. 由于各品种吸肥能力不同, 在各生育期土中有效氮含量也不相同。品种 503 在幼穗分化期, 当土中水解氮每百克土含量在 11.1 毫克, 抽穗期在 10.2 毫克时, 抽穗后即行倒伏。如土中水解氮含量每百克土低于 4.7 毫克, 由于氮素不足, 分蘖少, 产量也較低。陆財号品种在分蘖期, 土中水解氮每百克土不宜低于 5.0 毫克, 而在幼穗分化期和抽穗期也不要超过 12.0 毫克和 7.1 毫克, 否則不是由于分蘖不足, 便是引起植株倒伏。矮脚南特非常耐肥, 本試驗还没有发现氮肥用量过多引起生长不良的影响。

3. 耐肥品种矮脚南特根的活跃吸附面和阳离子代換量均較大, 耐肥弱的品种 503 均較小, 耐肥中等的陆財号則介乎二者之間。

4. 矮脚南特叶片中叶綠素含量随氮肥用量而增加, 503 品种, 不論那一施氮水平, 其叶綠素含量均較前者为低, 陆財号叶片中叶綠素含量多在二者之間。叶片中硅的含量在矮脚南特則随氮肥用量增加而稍有增高, 而陆財号和 503 則随氮肥用量增加而減少。至于叶片中氮的同化能力, 矮脚南特似較陆財号或 503 为強。

## 参 考 文 献

- [1] 吳方正編譯: 日本关于水稻耐肥性的研究。农业譯丛, 8: 1—5, 1963。
- [2] 戶荊義次、松尾孝徽: 稻作講座。65, 朝倉书店, 1956。
- [3] Tsoo, T. et al. (津野幸人等): Studies on yield-forecast in main crops, V, The effect of light receiving condition and nitrogen content in plant on the dry matter production of rice plant. Proc. of Crop Sci. Soci., Japan, 28:188—190, 1959.
- [4] Takahashi Y. et al. (高橋保夫等): Studies on the varietal differences in nitrogen and carbohydrate metabolism affected by different supply of nitrogen. Proc. of Crop Sci. Soci., Japan, 28:22—24, 1959.
- [5] Osada, A. et al. (長田明夫等): Studies on the relationship between photosynthesis and varietal adaptability for heavy manuring in rice plant: I. The relationship in the case of medium-maruring varieties. Proc. of Crop Sci. Soci., Japan, 30:320—323, 1962.
- [6] Osada, A. et al. (長田明夫等): II. The relationship in the case of early-maturing varieties. Proc. of Crop Sci. Soci., Japan, 30:324—327, 1962.
- [7] Yoshida, S. Onishi, Y and Kitagishi, K: The Chemical nature of silicon in rice plant. Soil and Plant Food, 5:23—27, 1959.
- [8] Shimoda, Y.: The absorption and translocation of amino acids and amides in rice plants. Soil and Plant Food, 6:59—65, 1960.
- [9] Drake M. et al.: Cation-exchange capacity of plant roots. Soil Sci., 72:139—147, 1951.
- [10] Mclean, E. O. and Baker F. E.: Cationic activities in systems of plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 17:100—102, 1953.
- [11] 木内知美、石阪英男: 水稻の收量形成过程に及ぼす栄養条件の影響(窒素)。日本土壤肥科学杂志, 31: 285—291, 1960。

- [12] 木内知美等：水稻の收量形成过程と土壤の窒素、加里条件との关系。日本土壤肥科学杂志，32:300—304，1961。
- [13] Ерыгин, П. С., Алешин, Е. П.: 水稻生理基本问题的研究。III. 氮对水稻的影响。水稻译丛，第七辑，8—12 页，1963。
- [14] Vines, H. M. and Wedding R. T.: Some effects of ammonia on plant metabolism and a possible mechanism for ammonia toxicity. *Plant Physiol.*, 35:820—825, 1960.
- [15] Харанян, Н. Н.: Физиология Растений. 9: 488—492, 1962.

## STUDIES ON THE ENDURANCE FOR HEAVY NITROGEN APPLICATION OF EARLY RICE

SUN HSI AND WANG YÜEH-TING  
(*Agricultural University of Chekiang*)

### (Summary)

Three varieties of early rice, namely Dwarf-Nanta, Lo-tsai and 503 were studied for their endurance at various rate of application of ammonium sulphate. Their root characteristics and leaf composition were analysed. Positive correlations have been found between the endurance of rice plants to heavy nitrogen fertilizer and the absorption surface and cation exchangeable capacity of their roots. The order of stability of the three varieties of rice at heavy nitrogen application is Dwarf-Nanta > Lo-tsai > 503. Dwarf-Nanta showed a slight increase of silica in leaves with an increased rate of nitrogen supply. On the contrary, the content of silica in leaves decreased with increasing supply of nitrogen in Lo-tsai and 503. Under high nitrogen application, the contents of protein-N and chlorophyll in the leaves of Dwarf-Nanta, presumably due to its strong nitrogen assimilation power, also appeared higher than the other two varieties.

The amount of available nitrogen (0.5 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hydrolysable) in soils under rice cultivation varies at different stages of rice growth. It has been found that the number of tillering of the rice 503 and Lo-tsai was reduced when the contents of available nitrogen dropped below 4.7 and 5.0 mg/100 gm of soil respectively. The upper limits of the available nitrogen in soil at panicle forming and heading stages for rice 503 are 11.1 and 10.2 mg/100 gm of soil and for Lo-tsai are 12.1 and 7.1 mg/100 gm of soil respectively. Both varieties of rice showed lodged in the soils with available nitrogen exceeding the said levels. The present experiment has not revealed the upper limit of nitrogen supply of Dwarf-Nanta.