

水稻的氮素营养问题

I. 土壤氮素供应强度及其持续时间对水稻器官协调生长的影响*

刘芷宇 刘晚兰

(中国科学院土壤研究所)

两年来的丰产经验总结工作^[1,2]指出,丰产的形成必然是水稻植株器官协调生长的结果,即在一定的生物学产量的基础上,利用农业栽培技术,使苗、株、穗、粒等器官能协调的生长,而且有适时地物质推移,也即既有一定的穗数,又能促使每穗粒数和粒重的增加以达到较高的经济产量。因而,水稻协调生长是人为要求下高产形成的基础;它的产生与土壤营养元素的供应状况有着密切的联系。但是,任何一种土壤,无论是肥土或瘦土总是不能完全与植株良好的生长发育要求相适应。因此,营养元素供应状况的调节即成为获得协调生长的重要手段。由于在水稻所需要的全部营养元素中,氮素较磷、钾等元素更为活跃;并敏锐受到人为措施的影响^[2]。因此,氮素的供应状况也就成为调节时的主要对象,特别在中性水稻土上显得更为重要。有关这方面的工作,国内外都累积了不少的资料,主要是研究氮肥的形态、水平、施用时期的效果问题^[3-7]。而这些问题的实质看来是如何利用不同性质、数量的氮肥和不同的施用时期以调节土壤—水稻间氮素供求关系的问题。另一方面,我国农民几千年来从生产实践中累积了极为丰富的经验,象陈永康丰产水稻栽培技术中的“小暑发棵、大暑长粗、立秋长穗”和“前轻、中重、后补”的追肥经验及“肥田黄透再施,瘦田见黄即施,一般田不黄不施”因土制宜的施肥原则^[8],也都涉及到水稻氮素营养的实质问题。因此,研究土壤氮素的供应容量与供应强度及其持续时间的关系,它们对植株器官发生、形成的作用以及影响这些作用的条件等等,都有可能为水稻的合理施肥及其因土制宜提供科学依据和途径。一年来,我们即围绕这方面进行了一些初步工作,主要内容是在学习陈永康水稻丰产经验的基础上探求土壤氮素供应强度及其持续时间对水稻器官生长的影响并分析其原因。

一、试验设计与方法

试验材料部分参考陈永康亲自掌握的四块丰产田(田块代号为17、19和江1、江3),这些田块都位于南京丘陵地区的冲田上,为下蜀系黄土性物质上发育的马肝土、青泥土和

* 1. 参加本试验工作的还有赵长生、曹亚澄、尹楚良、陈碧云、朱学浩、曹景勤等同志。

2. 原稿承本所李庆远先生、陈家坊先生审改,朱兆良同志提供了土壤方面的分析资料(表1,图10)及宝贵意见,谨此致谢。

3. 本项工作为陈永康经验总结协作组土肥专业组工作之一。

小粉土。有机质含量为 1.6—3.0%，全氮为 0.10—0.18%，质地属重壤—轻粘。由于大田情况下条件较为复杂，措施频繁，不能阶段地控制养分的供应状况，因此用盆栽方法在不同生育时期设立不同氮素供应状况的处理。以下的结果主要来源于这一部分试验。

盆栽试验的供试品种为晚粳稻老来青，土壤为黄马肝土，每盆用土 6 公斤，盆底不渗漏。施基肥灌水后土壤全氮 0.122%（干重计算），有机质 1.56%。6 月 9 日插秧（秧龄 30 天），每盆栽 3 穴，每穴 5 株。所有处理放于室外，并列成四行一排，试验分别在四个生育时期进行处理：I 分蘖期（6 月 23 日），II 拔节始期（7 月 26 日），III 拔节期（8 月 1 日），IV 穗分化期（8 月 11 日）。在第 III 时期中有高、低二级基肥水平，其余时期均采用中量基肥，具体处理方法列于表 1。

表 1 土壤氮素供应强度、持续时间的处理方法

处理代号	基肥用量*/盆 (克)	预期造成的氮素供应状况	处 理 方 法	
			肥料用量/盆	加入次数
O	猪粪 150	对 照	不 施	—
M	”	供应强度小， 持续时间较长	腐熟猪粪 160 克 (折 0.9 克 N)	一次施入与 表土混匀
W ₁₀	”	供应强度较小， 持续时间较长	硫酸铵 2.5 克 (折 0.5 克 N)	每次施入用量的 1/10， 连续 10 天施完
W ₁	”	供应强度大， 持续时间短	同 上	一次施入

* 此处为中量基肥处理。低基肥处理的用量为每盆 100 克猪粪，高基肥处理为每盆 300 克猪粪。猪粪含全氮 0.580%（湿重计算），水分 79.8%。

试验方法是分别采用不同的追肥方法和种类人为地造成氮素供应强度及其持续时间上的差异，其中 W₁ 的处理是每盆用 2.5 克硫酸铵一次施入，模拟土壤中氮素供应强度大，

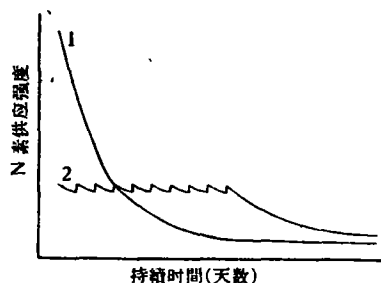


图 1 试验设计示意图

1. 强度大，持续时间短
2. 强度小，持续时间长

持续时间短。W₁₀ 是将同样量的硫酸铵连续 10 日，每天施入十分之一用量，形成土壤中氮素供应强度小，持续时间较长，类似有机肥的供应状况。另外，设立施用有机肥 M 和不施肥 O 的处理对照。图 1 即有关设计的示意图。设计的不足之处在于一定时间内氮素的供应容量不完全相等。如 W₁₀ 在施肥后的 1—9 天内容量比 W₁ 要小。同时，由于硫酸铵的成分简单，有效利用率高，因此它们与有机肥或土壤中的实际供应情况并不完全相符。只能从水稻的吸收利用方面相对地比较这样的供应状况。量的概念上没有绝对的意义。

在试验过程中，曾用化学方法进行了土壤氮素供应状况的测定。其中强度指标是以 MgO 与土壤直接蒸馏的氮量为依据，已有的结果认为其中主要是 NH₄—N 和部分易水解的酰胺态氮，容量指标是 0.5 N NaOH 所蒸馏的氮量减去 MgO 蒸馏的氮量表示较为复杂的氮化物^[9]。测定结果列于表 2。从表 2 中可以看出，W₁ 处理的 MgO—N 在 0—3 厘米土层中，施肥后第 1 天含量最高，第 5 天即迅速下降，仅略高于对照处理，20 天时即与对照相等；3—10 厘米土层中的趋势同于上层，但处理间的差异要小得多，施肥后第五天即不明显。W₁₀ 处理中则不同，0—3 厘米土层中施肥后一天 MgO—N 显著低于 W₁，

表 2 不同处理土壤氮素的供应状况(毫克/100 克干土,拔节期处理)

处理	施肥后 天数	测定项目		MgO—N				0.5N NaOH—MgON			
		基肥水平		高 肥		低 肥		高 肥		低 肥	
		土壤 层次		0—3 厘米		3—10 厘米		0—3 厘米		3—10 厘米	
				0—3 厘米	3—10 厘米	0—3 厘米	3—10 厘米	0—3 厘米	3—10 厘米	0—3 厘米	3—10 厘米
W ₁	1			26.6	6.20	25.4	7.09	13.9	10.80	14.14	8.46
	5			7.97	1.00	1.86	1.03	9.62	10.76	7.90	5.71
	10			1.38	1.39	1.06	1.14	9.42	9.86	10.18	6.90
	15			—	—	1.02	0.94	—	—	8.39	7.48
	20			1.03	1.40	1.35	1.38	8.78	8.55	8.17	7.73
	30			1.11	1.27	1.07	1.31	8.41	8.05	8.31	7.99
W ₁₀	1			3.06	1.23	3.00	1.80	11.24	8.73	8.84	9.89
	5			6.29	1.50	2.74	0.92	8.84	11.05	8.08	6.97
	10			1.94	1.52	1.93	1.50	9.45	9.14	9.24	7.46
	15			—	—	1.50	1.03	—	—	8.39	8.52
	20			1.26	1.41	1.37	1.13	8.36	8.79	6.75	8.20
	30			1.07	1.05	1.17	1.41	8.54	8.73	8.62	7.90
O	1			0.82	0.56	0.77	0.91	10.78	8.97	8.25	7.38
	5			—	—	1.20	0.89	—	—	7.98	6.94
	10			1.23	1.03	0.70	0.66	7.82	8.44	9.37	8.53
	15			—	—	0.84	1.09	—	—	9.80	8.58
	20			1.17	1.24	1.30	0.91	8.82	8.58	7.43	8.45
	30			0.89	0.99	—	—	9.34	7.93	—	—

但 5 天时就居于各处理的首位, 20 天才与对照相等。表明了不同处理間土壤氮素供应强度及其持续时间是可以反映预期的结果。此外, 在基肥用量不同的情况下, 不同处理的供应状况表现在 MgO—N 的含量上, 高低基肥的处理間差异极不明显。但是 0.5 N NaOH—MgON 量则高基肥的各处理都高于低基肥的各处理, 也即在供应容量上高基肥比之低基肥来得大。关于有机肥处理的供应状况没有列入表中, 因为试验结果表明用上述指标不能反映实际情况, 一般测定结果偏高, 这可能由于腐熟猪粪中含有较多的易为碱液所能分解的有机态氮。因此, 有机肥处理的强度与持续时间的状况只能从植株吸收利用的结果中加以说明。

二、試驗 結 果

(一) 氮素供应状况对水稻器官生长的影响

1. 对分蘖数的影响: 分蘖期处理的结果表明, 施用硫酸铵调节的处理分蘖数都显著地高于施用有机肥和对照的处理, 但同样用量的硫酸铵处理中, 由于氮素供应强度及其持续时间的不同, 结果也不一样。供应强度大、持续时间短的 W₁ 处理, 其分蘖数明显地低于强度小、持续时间长的 W₁₀ 处理 (图 2)。在分蘖高峰期, 前者每盆为 94 苗 (包括主茎在内),

而后者为 109 苗。同样的差距影响到有效穗的形成,两处理間相差 13% 左右。拔节期和分化期处理的结果与此相似,但对分蘖数无明显影响。

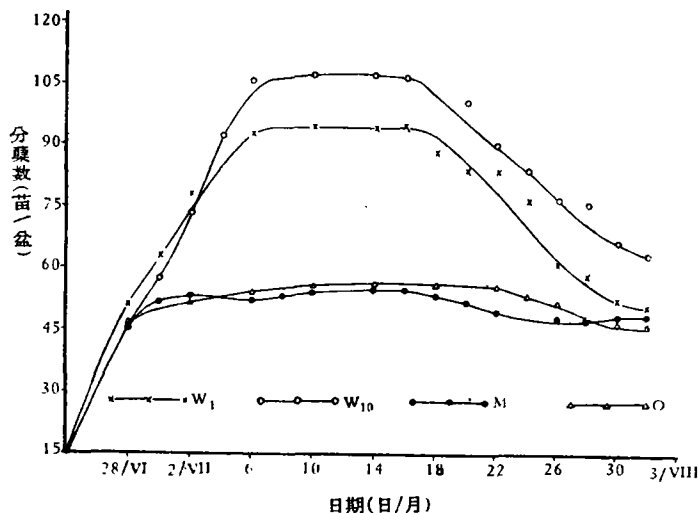
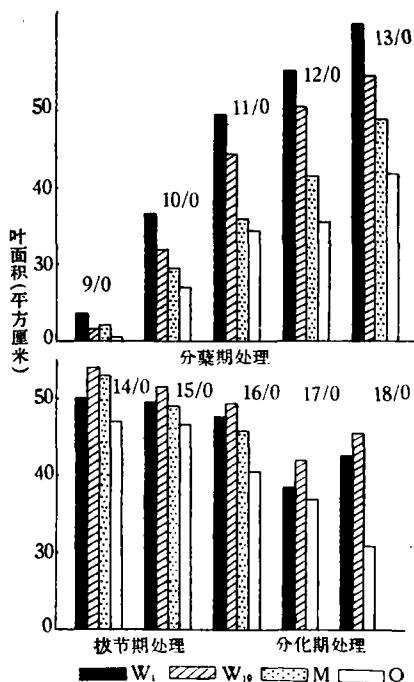


图2 氮素供应状况对分蘖数的影响(6月23日分蘖期处理,基本苗 15 株)

看来,氮素供应强度小、持续时间長有利于促进晚稻分蘖,增加有效穗。

2. 对叶面积的影响:在不同的生育时期内,氮素供应状况的影响不一样。分蘖期处理的结果是 W_1 的各层叶面积明显地大于 W_{10} 和其他处理(图 3)。同时, W_1 与其他处理表现出差异的时间上显得要早一些。在施肥后 10 天时即表现得较为明显。而 W_{10} 推后到施肥后的第 20 天, M 处理则更晚一些。拔节期以后处理的结果不如分蘖期明显, W_1 与 W_{10} 之間略有相反的趋势。表现出分蘖期间 W_1 比 W_{10} 更促进叶面积的增大,而拔节期以后作用有所不同。



9/0—18/0 为主茎第 9 叶到第 18 叶

图3 氮素供应状况对叶面积的影响

3. 对茎秆长度和重量的影响:拔节始期和穗分化期处理的结果一致表现出不同氮素供应状况对茎秆长度的影响小于对重量的影响(图 4)。图中为施

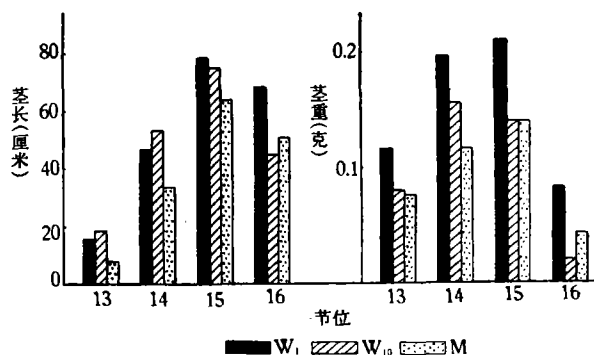


图4 氮素供应状况对茎长度和重量的影响

肥后 30 天的测定结果,其中 W_1 与 W_{10} 茎长度的差异除第 16 节外均很相近,但干重的结果却不相同,从第 13 节到第 16 节 W_1 都明显地高于 W_{10} ,而且这些差异还随节位的上升而增加。将它们换算成单位长度重量作为茎秆发育良好与否的指标时,则表现为 W_1 优于 W_{10} 的处理(图 5)。这不仅表现在处理后第 30 天测定结果中,即使到成熟时仍然保持这种变化的趋势。 W_1 处理的主茎平均单位长度干重要比 W_{10} 高 18%。至于 M 的处理在茎干重上虽比 W_{10} 稍低一些,但因为茎长度也短,因此单位长度干重比 W_{10} 要大。看来,假如茎秆单位长度的干重能够反映壮秆,那末拔节始期土壤中具有强度大、持续时间短的氮素供应状况是较为有利的。

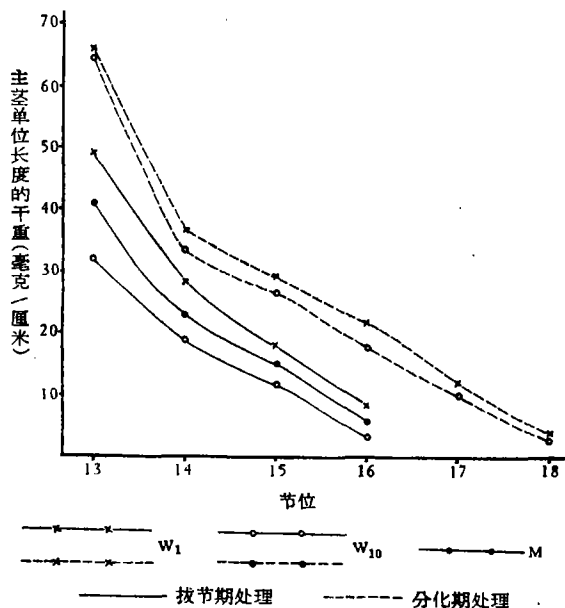


图 5 氮素供应状况对单位长度茎干重的影响

4. 对每穗粒数的影响:已有的结果表现了三种情况,即拔节始期处理的每穗粒数的多少为 $M > W_1 \approx W_{10}$, 拔节期处理的为 $W_{10} > W_1 \approx M$, 而穗分化期处理的差异不明显(表 3)。看来这三种结果是水稻穗分化期所要求的氮素供应状况有关。而生产实践上则与不同肥料发挥效用的施肥时期有关。上述结果看来,在满足晚稻穗形成所需养分的有效施肥期,有机肥一般在拔节始期(7月下旬)施用,硫酸铵在穗分化前(8月初)施用较为合适。而在此有效施肥期内则氮素供应强度小、持续时间长是大穗形成的有利条件。

5. 对粒重的影响:表 3 中可以看出各生育期处理中,千粒重的变幅都很小,最多相差 2—3 克。其中只有以有机肥调节的 M 处理在所有的处理中都明显地要高一些,而 W_1 与 W_{10} 处理间则完全无差异。这是否意味着粒重比粒数的形成要求更低的氮素供应强度与更长的持续时间?由于本试验中强度水平与持续时间范围的限制尚不能得出明确的概念。

6. 对产量的影响:氮素供应状况看来主要通过对穗数和粒数的影响而影响到产量。试验结果表明,凡是促进分蘖,增加有效穗及每穗粒数的处理产量均高。但是由于处理的生育时期不同,影响产量的主要方面也不一样,例如,分蘖期和拔节始期处理的 W_{10} 主要决定于穗数的增多。因此,拔节始期的 M 处理,虽然每穗粒数多,但由于穗数少,产量仍较

表 3 氮素供应状况对粒数、粒重及产量的影响

时期及处理		每穗粒数(主茎)	千粒重(克)	产量(克/盆)
分 蘖 期 (6 月 23 日)	IM	—	28.23	49.3±4.9
	IW ₁₀	—	27.81	62.1±3.0
	IW ₁	—	27.72	52.0±3.1
拔节始期 (7 月 26 日)	IIM	85.8±2.6	30.01	55.9±—
	IIW ₁₀	80.5±1.1	28.56	64.3±2.5
	IIW ₁	80.7±0.9	28.81	60.9±1.2
拔 节 期 (8 月 1 日)	IIIM	89.3±3.2	29.74	49.4±—
	IIIW ₁₀	98.7±1.9	—	54.0±—
	IIIW ₁	90.4±2.4	28.09	48.9±—
穗 分 化 (8 月 11 日)	IVW ₁₀	70.2±1.2	28.55	52.7±3.2
	IVW ₁	73.9±1.4	28.01	57.0±1.9
— 对照		66.3±1.6	28.48	46.9±1.8

其他处理为低。拔节后期的情况却不同,当时由于对分蘖的影响已很小,因此对粒数的影响就成为决定产量的重要方面。

(二) 氮素供应状况对水稻体内物质累积与分配的影响

1. 对干物质累积与分配的影响:总干重的结果表明(图 6),不同处理的差异都在施肥后 10 天的测定结果中才表现得较为明显,其中单株累积量 W_1 和 W_{10} 都高于 M_{01} 而 W_1 和 W_{10} 之间则主要表现在增长速度的不同,至施肥 15 或 20 天后总量即接近相等。从不同

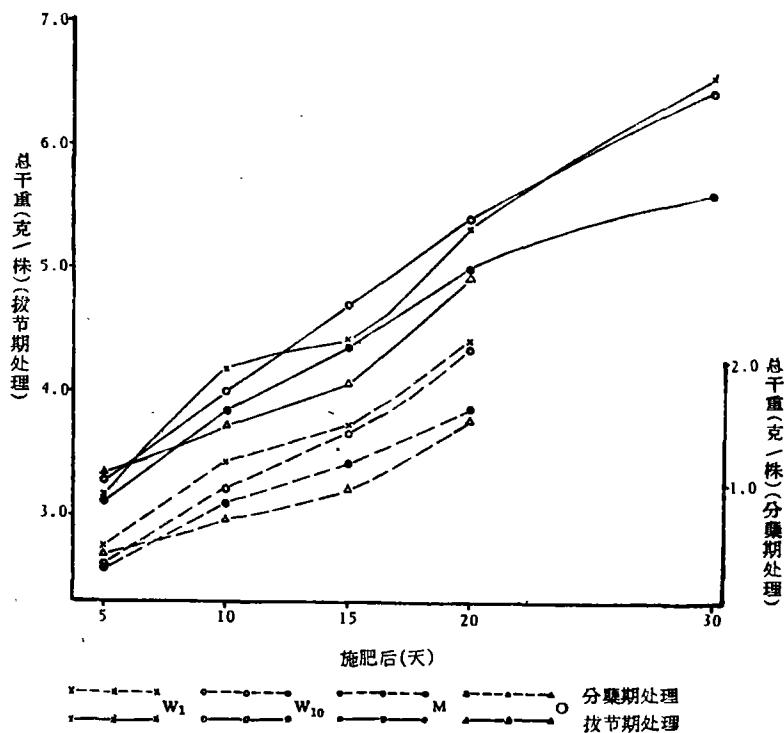


图 6 氮素供应状况对单株总干重累积的影响

器官上看,处理間的影响并不等同,如在分蘖期处理,氮素供应状况的影响主要表现在分蘖的干物质累积量的差异上而对主茎的影响较小(图 7)。在拔节期处理的,氮素状况则对叶片干重的影响最为明显。因此,植株中全部累积物质的分配上, W_1 和 W_{10} 的叶片占总干重的百分数都较高,鞘则相对地减小。而 M 和 O 两处理则与此有所不同(表 4)。同

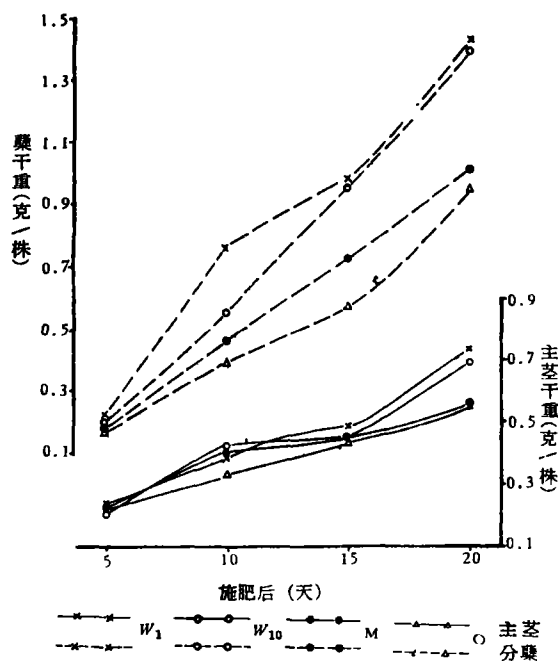


图 7 氮素供应状况对主茎与分蘖干物质累积的影响

表 4 氮素供应状况对拔节期叶、鞘、茎干物质累积和分配的影响

处理	器官名称	施肥后 天数		5 天		10 天		15 天		20 天		30 天	
		项目											
		干重 (克/株)	占总干重 %	干重 (克/株)	占总干重 %	干重 (克/株)	占总干重 %	干重 (克/株)	占总干重 %	干重 (克/株)	占总干重 %	干重 (克/株)	占总干重 %
O	叶	1.58	47.3	1.63	44.6	1.87	45.7	2.06	41.8	—	—	—	—
	鞘	1.76	52.7	1.99	54.5	2.14	52.3	2.75	55.9	—	—	—	—
	茎	—	—	0.03	0.9	0.08	2.0	0.11	2.3	—	—	—	—
M	叶	1.52	48.2	1.80	46.8	2.11	48.6	2.20	44.4	2.44	43.3	—	—
	鞘	1.61	51.8	2.00	51.9	2.15	49.5	2.64	53.2	2.94	52.2	—	—
	茎	—	—	0.06	1.3	0.08	1.9	0.11	2.4	0.25	4.5	—	—
W_{10}	叶	1.64	49.2	1.88	46.7	2.42	51.3	2.59	47.7	2.97	46.0	—	—
	鞘	1.70	50.8	2.11	52.4	2.22	47.1	2.73	50.3	3.22	49.9	—	—
	茎	—	—	0.05	0.9	0.07	1.6	0.11	2.0	0.26	4.1	—	—
W_1	叶	1.62	51.8	1.98	48.9	2.19	49.7	2.48	46.4	2.87	44.0	—	—
	鞘	1.51	48.2	2.08	51.1	2.14	48.5	2.69	50.3	3.26	49.9	—	—
	茎	—	—	—	—	0.08	1.8	0.18	3.3	0.40	6.1	—	—

时, W_1 和 W_{10} 之間也不完全一样, 施肥 10 天以內 W_1 的叶片干物质分配百分数比 W_{10} 要高, 但 10 天以后 W_{10} 却大于 W_1 ; 而茎的情况則相反。

另一組基肥用量不同的試驗結果表明, 氮素供应强度及其持續時間对水稻生长的影响还受到基肥水平的制約。在基肥水平較高的条件下, 不論是利用不同性質的肥料(如 M 与 W_1 和 W_{10} 之間), 或同样肥料不同施用以造成不同的氮素供应状况(如 W_1 与 W_{10} 之間), 对干物质累积量的影响都无明显的差异。而在基肥水平較低时, 不同的氮素供应状况其影响就很不同, 尤其在叶片上表現得更为显著(图 8)。

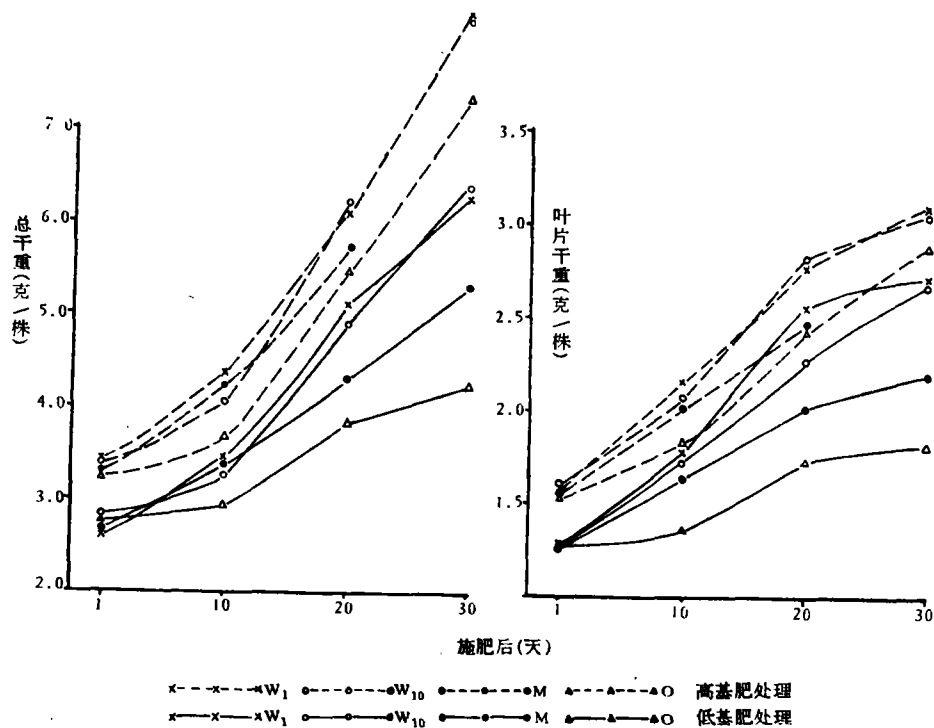


图 8 不同基肥用量下氮素供应状况对干物质累积的影响(拔节期处理)

2. 对氮化合物累积与分配的影响: 不同处理的叶片含氮量的結果表明, 施肥可以影响当时已定型和正在生长的 4—5 片叶, 其中对当时尚未出鞘的新生叶影响尤为显著(图 9)。而氮素供应强度及其持續時間还影响到叶片中氮素含量升降的速度。如图 9 所示, W_1 处理的 12—14 叶中含氮量在施肥后 10 天內則呈现升降的变化, 且幅度很大, 而 W_{10} 和 M 处理, 虽然在含量上有所差别, 但是变化趋势相同, 起伏也較和緩, 高峯維持的时间亦为較长。同样的情况也反映在单株氮素的累积量上(表 5)。表 5 所示結果中, 值得注意的是 W_1 处理中第 14 叶的氮量累积量, 在施肥后 5 天时虽显著地高于 W_{10} , 但 5 天以后差异就不明显了。說明这时 W_1 处理的氮素累积量有急速下降的情况, 而 15 叶中在施肥后的 10—20 天中 W_1 的累积量都大大地超过 W_{10} 和其他处理。看来在这两层叶片内物质累积的消长过程具有明显地联系性, W_1 处理中下层叶片的氮素向新生叶运轉可能要快一些。

从叶片蛋白态氮与非蛋白态氮的含量及其比值的結果表明(表 6), 施肥以后, 处理間具有明显差异。其中非蛋白态氮表現的尤为显著; 而蛋白态氮的結果看来是与表 5 所示

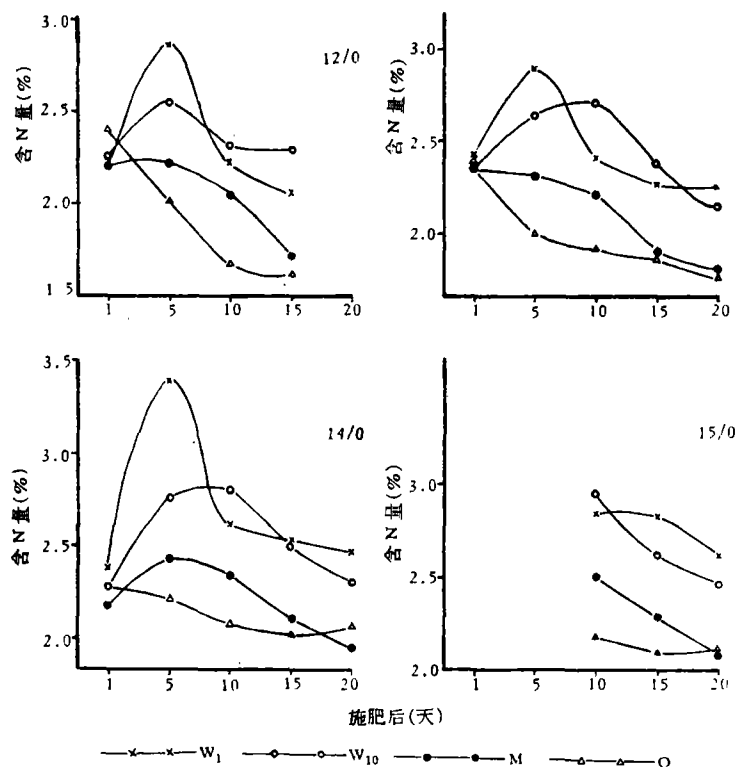


图9 氮素供应状况对叶片含氮量的影响(拔节期处理,当时主茎定型叶片为第12叶)

表5 氮素供应状况对叶片氮素累积量的影响(毫克氮/株,拔节期处理)

叶层	施肥后天数 处理	5天	10天	15天	20天
14/0	O	3.86	3.98	3.68	3.32
	M	3.68	4.46	4.01	3.71
	W ₁₀	4.95	5.82	4.61	4.24
	W ₁	6.05	5.17	4.63	4.73
15/0	O	—	3.35	3.67	3.03
	M	—	4.30	4.36	4.30
	W ₁₀	—	—	4.92	5.44
	W ₁	—	5.27	6.01	6.70

全氮累积量的变化相类似;在 W_1 与 W_{10} 之间,差异主要是累积高峰出现的先后不同。因此,表现在非蛋白态氮与蛋白态氮的比值上 $W_1 > W_{10}$, 表明 W_1 的蛋白质合成能力要低于 W_{10} 。根据一般地理解非蛋白态氮是较易于运转的氮化物形态,因此在氮素供应强度大、持续时间短的情况下,叶片中非蛋白态氮含量的增加,也就可能为氮化物较快地运转创造了条件。

表 6 氮素供应状况对蛋白态氮和非蛋白态氮含量的影响*
(毫克氮/第 14 叶片, 拔节期处理)

项目 \ 处理		施肥后天数							
		5 天	比值%**	10 天	比值%	15 天	比值%	20 天	比值%
蛋白态氮	O	3.41		3.47		3.25		2.99	
	M	3.64		3.94		3.54		3.29	
	W ₁₀	4.25		5.19		4.33		3.75	
	W ₁	5.22		4.56		—		4.10	
非蛋白态氮	O	0.453	13.3	0.499	14.4	0.419	12.9	0.328	11.0
	M	0.549	15.1	0.521	13.2	0.470	13.3	0.420	12.9
	W ₁₀	0.696	16.4	0.627	12.1	0.535	12.4	0.485	12.9
	W ₁	0.837	16.0	0.725	16.9	—	—	0.628	15.3

* 蛋白态氮与非蛋白态氮的测定方法是用 2% 三氯乙酸沉淀蛋白质过滤分离后分别用 Kjeldahl 氏微量法测定全氮。

** 比值% = 非蛋白态氮 / 蛋白态氮 × 100。

3. 对物质运转速度的影响: 为了进一步肯定氮素供应强度及其持续时间对物质运转速度的影响, 在拔节期的有关处理中利用含有放射性 $C^{14}O_2$ 的空气在日光下密闭系统内饲喂叶片(同化时间为 20 分钟), 喂后 24 小时取样测定茎秆中(包括生长点在内)所含 C^{14} 的放射强度, 作为一定时间内物质运转速度的指标。试验分别在施肥后的第 5 天和第 12 天进行。结果表明, W₁ 处理的茎秆中所含 C^{14} 的放射总强度比 W₁₀ 要高(表 7)。这在施肥后 5 天的结果中如此, 12 天后仍然如此, 而且差异更为明显。同时, 茎秆内不同类型

表 7 氮素供应状况对拔节期物质向茎中运转的影响*
(C^{14} 脉冲数/分/30 株主茎)

项目 \ 处理		总量	氨基酸	醇溶性糖	淀粉	残余物
5 天	W ₁	14784	659	1279	5073	7761
	W ₁₀	8962	252	1234	3461	4015
12 天	W ₁	18363	748	2944	10541	4131
	W ₁₀	10884	429	1389	3183	5880

* 不同类型物质分组的方法是将供分析的样品用 82% 乙醇提取, 低温减压蒸干, 转溶于 40℃ 蒸馏水中, 通过阳离子交换树脂分离氨基酸, 通过阴离子树脂分离醇溶性糖, 再用淀粉酶水解残渣中的淀粉, 将以上分离物及残渣分别吸取一定量用 T-25-BФЛ 型计数管测定 C^{14} 强度。

的组成物质中所含 C^{14} 的强度也不很相同。在氨基酸、醇溶性糖和淀粉等物质中 W₁ 的处理所含 C^{14} 的强度都高于 W₁₀ 的处理。与总量相类似即施肥后 12 天的结果比 5 天的更为明显。但不溶物的情况则相反。如果前一部分物质理解为贮藏态或易于运转的物质, 后一种理解为结构态或不易运转的物质, 则上述结果表明, 在本试验条件下的一定时间内植物体内物质的运转能力似乎是 W₁ > W₁₀, 而合成能力则可能为 W₁₀ > W₁。

三、討 論

1. 氮素供应状况影响器官生长的原因

土壤的氮素供应强度及其持续时间对水稻器官生长的影响，看来是通过植株体内氮素累积和转运速度的影响而发生作用。由于不同生育时期内叶、鞘、茎、穗本身的生长特点和对物质累积强度的不同，所产生的影响也就有所不同。

前述结果中，不同生育时期内的主茎与分蘖，叶片与茎秆以及下层叶片与新生叶之间的物质组成和分配关系都表明了氮素供应强度大、持续时间短有利于物质运转；而强度小、持续时间长有利于物质的合成。因此，氮素供应强度大、持续时间短的情况下总是表现出当时中心生长器官物质分配较多和累积较快。例如在拔节期以前，体内物质的分配在分蘖中多于主茎；拔节期以后则分配到茎秆中要多一些。当然，生长中心的器官中物质分配量的多少并不能全部反映该器官是否生长良好，因为任何时期总是有几个器官同时在生长，例如分蘖期的主茎与分蘖，拔节期的叶、鞘、茎、穗等，因此中心生长器官的物质累积固然重要，而器官间的相关生长也不可忽视，但是植株生长发育的过程必定是苗、株、穗、粒器官生长上的推移过程。所以在一定范围内物质向当时的生长中心累积得较多是可以作为生长良好的一个指标。由于不同器官的特点各异，影响该器官物质累积的条件也就不相同。例如叶片，在营养生长期时，其本身作为物质合成与累积的中心时，氮素供应强度大，叶片内物质累积量也大；强度小则累积量也小。因此，供应强度的影响表现比持续时间更为显著，于是， W_1 处理的叶面积也就显著地较 W_{10} 为大。拔节期以后，由于叶、鞘、茎、穗同时生长，物质的分配关系就较为复杂。此时，茎、穗是生长中心，叶片在累积物质的同时还进行着活跃的转运，因此，氮素供应状况对叶片的影响不如前期显著，而对茎秆的影响则较为明显。看来，这时叶片中物质运转能力的大小与茎秆中物质累积的多少有直接联系。氮素供应强度大及其持续时间短时，从叶片中向茎秆转入的物质就多，对氮化物如此，对碳水化合物看来也是如此。这可能由于在较短时间所累积的氮素在合成象蛋白质等的氮化物比例上相对地减少，以及氮素集中吸收后所带来碳同化作用的加强^[10]，也就在一定程度上加强了它们的累积与向茎秆中运转的可能性。由此可以认为，在决定物质向茎秆中累积的因素中氮素的供应强度大虽有影响，但其较短的维持供应时间可能显得更重要一些。反之，如果供应的条件是强度大、持续时间也长，结果就可能与上述情况相反。因为高量氮素供应水平的结果在一定程度上减少了碳水化合物的累积及向生长中心运转^[10]，从而削弱了茎秆的形成。

促进穗分化强度，增多粒数所需要的氮素供应状况与茎秆又可能有所不同。由于影响穗粒多少的物质来源主要还依赖于叶、鞘中可调配物质的多少，而且，叶片内一定的氮含量与小穗数的相关性曾被证实^[11]。所以，穗分化时氮素的供应状况如果是强度大、持续时间短，那么叶片内氮素水平提高虽快但维持时间较短，因而不能满足穗形成过程的全部需要。而强度小、持续时间长，从这一角度来看，却是具备了有利的条件。

当然，影响水稻器官生长的条件中，土壤氮素供应状况虽很重要，但其它的许多环境因素也都与此存在着相互联系，相互制约的关系。其中如光照条件，既影响水稻对氮素的吸收也影响物质的运转，因而能够较明显地影响了茎秆与穗粒的形成^[12-16]。因此，结合大

田生产的情况确定影响器官协调生长的氮素供应状况显然要复杂得多。在了解各器官分别的需求以外,还必需考虑到器官间的相互关系与生长限度,特别是营养体生长的限度问题。例如,在前期防止叶片陡长,避免过早封行而影响株间光照条件的不足,也就会反过来影响不同氮素供应状况的效果。

2. 在确立施肥原则上掌握土壤氮素供应状况的意义

由于不同器官对氮素供应状况的要求不同,而不同的生育时期内中心生长的器官也不同。因此在水稻生长发育的不同阶段掌握土壤的氮素供应状况应该有所区别的。根据以上的试验结果可以初步认为,在光照条件能适当满足的条件下,晚粳稻所要求的土壤氮素供应状况可能是分蘖初期缓而长,拔节初期快而短以及穗分化期又缓而长。如何使土壤的供应状况适应这种需求?看来主要取决于采用不同性质的肥料加以调节。目前在栽培水稻时常用的肥料,不外乎厩肥类型的有机肥与硫酸铵等速效性氮肥。因此,在要求缓而长的氮素供应时,可以施用有机肥调节或采用少量多次的办法施用化肥,快而短时则可采用速效的氮素。根据它们对植株生长产生明显效果的时间来看,有机肥一般是10—15天,而化肥则为5—7天。至于对单季晚粳稻的施肥时期问题,可有以下两方面的情况。第一种情况即在肥料充足的条件下,施用适当基肥后主要在分蘖末期施一次速效的氮肥,拔节期施一次有机肥,穗分化始期根据需要补一点速效的氮肥是有利于获得壮稈大穗的。第二种情况即在肥料缺乏仅足一次施用时,如果肥料是硫酸铵,那末经济有效的施用时期应该放在穗分化前几天,如陈永康认为的“立秋边下”;如果是有机肥就应该提前在拔节初期“大暑边下”,可以争取到穗大粒重从而提高产量。以上这些从器官生长的需要出发所提出的施肥时期与肥料种类的配制问题是与陈永康施肥技术中掌握“小暑发棵,大暑长粗,立秋长穗”和“前轻,中重,后补”的追肥经验基本符合。只是大暑时施肥的作用问题,在强调施用有机肥的情况下是否是长粗?抑或是长穗为主的问题看来还值得商榷。

至于生产实践中施肥原则的确立,不仅要根据水稻生长发育的需要,同时也要考虑到土壤供肥的特点而施加不同的措施才能切实地符合供求关系上的协调。因此陈永康的“肥田黄透再施,瘦田见黄即施”因土而异的施肥原则,看来就极有意义。因为肥田一般是氮肥供应容量大,施肥后一定强度氮素持续供应的时间较长;而瘦田则相反。例如南京附近的黑马肝土和黄马肝土,青泥土和小粉土虽都发育在丘陵地区黄土性母质上,但肥力水平和水分状况却很不相同,氮素的供应特点也就各异(图10)。其中黑马肝土和青泥土肥力水平较高,渗透性能较差,施肥后氮素供应状况是稳而长。黄马肝土和小粉土则相反,施肥后氮素供应状况的来势较猛,落劲也较快。因此,前一类土壤上调节的重点是在某些生育时期抑制其一定强度氮素的持续供应时间,施肥时则须用量少,并可较多地利用速效肥料;而且,在拔节期还宜配合排水落干的方法以控制氮素的持续供应。而后一类土壤调节的重点却在于加强一定强度氮素所能维持的时间,改善土壤不持久的供肥特点,特别在分蘖初期与穗分化期显得更为重要。因此,在这些时期施肥时则需要多施用有机肥;排水落干的措施也就相对地放在比较次要的地位。这样,不论各类土壤原有的基础如何?在了解它的氮素供应状况后加以人为地调节,看来都能基本上满足水稻协调生长的共同要求。陈永康在不同田块上掌握的原则实际也是如此的,因而都能异途同归达到千斤的产量(表8)。由此可以看出,施肥原则掌握的主要内容是根据水稻器官协调生长的需要

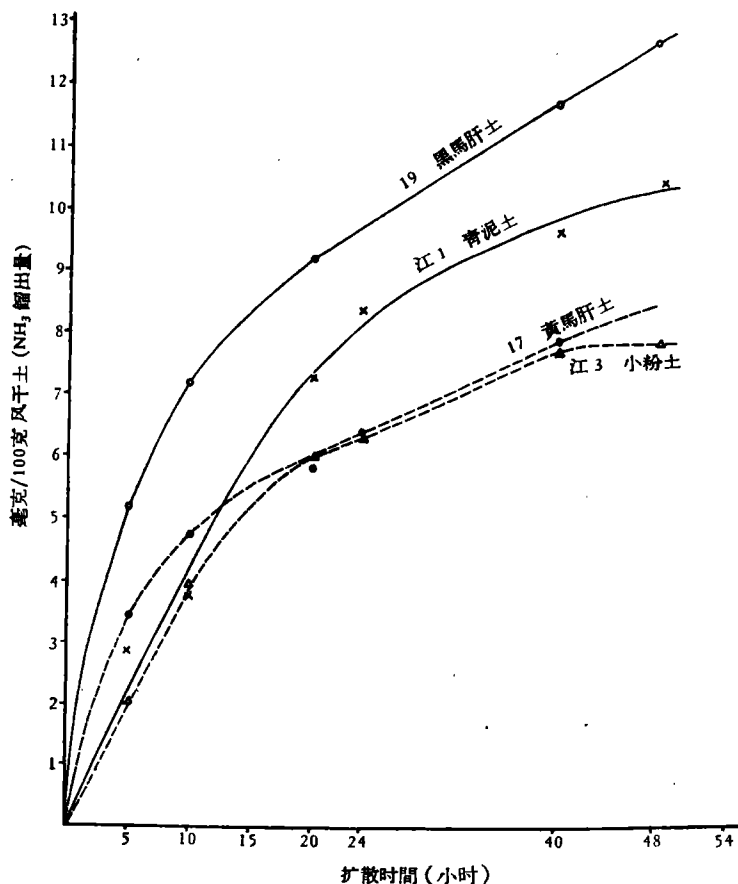


图 10 南京附近几种土壤的氮素供应状况

表 8 陈永康产量试验田的施肥状况*(1960 年)

田号	土壤名称	肥力水平	基肥用量 (亩)	追肥时期与用量(斤/亩)				产量 (斤/亩)
				小暑	大暑	立秋		
17	黄馬肝土	有机质1.87 全氮0.113	泥肥 100 担 (含N0.166%)	24/VI 人粪尿 28担	6/VII 猪粪 13担	25/VII 1/VIII 猪粪 A.S. 20担 7斤		1152
19	黑馬肝土	有机质3.05 全氮0.195	泥肥 50 担 (同上)	1/VII A.S. 1 斤	11/VII A.S. 0.5斤	30/VII 3/VIII 猪粪 A.S. 11担 1.5斤		1147
江1	青泥土	有机质2.24 全氮0.138	猪粪 30 担 S.P.30 斤		9/VII 15/VII A.S. A.S. 10斤 5斤	6/VIII 猪粪 13担	19/VIII 9/IX A.S. A.S. 10斤 3斤	1113
江2	青泥土	有机质2.75 全氮0.142	猪粪 20 担 S.P.30 斤		9/VII 17/VII A.S. A.S. 10斤 6斤	5/VIII 猪粪 13担	19/VIII 9/IX A.S. A.S. 8斤 4斤	1050
江3	小粉土	有机质1.59 全氮0.101	猪粪 30 担 S.P.30 斤		9/VII 22/VII 猪粪 A.S. 14.3担 1斤	5/VIII 猪粪 20担	19/VIII 9/IX A.S. A.S. 8斤 1斤	940

* 水稻品种均为晚梗老来青, 17、19 田栽秧期早, 为 6 月 3 日, 江 1—3 栽秧期较晚, 为 6 月 14—16 日。
S.P. 为过磷酸钙, A.S. 为硫酸铵。

以調節土壤的氮素供应強度及其持續時間,造成最和諧与最有效的土壤—植物供求关系。

此外,土壤氮素的供应状况除了决定于原有养分含量及施肥措施以外,土壤物理状况的影响也很重要。对植稻土壤來說,还受到土壤軟烂状况的影响。两年来的某些研究資料說明(陈家坊, 1962), 土壤軟烂程度不同, 土壤固、液相中 N、K 的含量与比例均不相同, 土壤的矿化率与扩散速度也不一样。而土壤的軟烂状况又与水分状况有着密切联系。因此, 在調節氮素供应状况时, 不仅依靠施肥, 还需配合水浆管理, 即陈永康經驗中的“以水調肥”, 也是极为重要的。关于这方面的相互联系以及氮素供应強度、持續時間的影响范围和条件, 还有待于进一步研究。

四、摘 要

1. 晚稻植株的不同器官对氮素供应状况的反映不同, 其中叶片較为敏銳。而同一器官在不同生育时期内影响也不一样。在盆栽的条件下, 叶片在分蘖期中, 氮素供应強度大、持續時間短比強度小、持續時間长的处理更能促进叶片干物质累积, 增大叶面积。而拔节期以后, 影响不明显并略有相反趋势。对于茎稈則在供应強度大及其持續時間短的情况下, 不論拔节期或分化期处理都明显地促进其干重的增加。穗粒的形成条件却是強度小而持續時間长的有利于每穗粒数的提高。但是, 氮素供应状况的影响显著与否还可能受着基肥水平的制約, 在高量基肥的条件下影响极不显著。

2. 土壤氮素供应状况影响器官生长的原因, 初步看来是通过對植株体内氮素累积和运轉速度的影响而发生作用。由于不同生育时期内, 叶、鞘、茎、穗本身的生长特点各异, 所要求的物质累积与运轉的強度也各不相同。因此, 氮素供应状况对器官生长的影响也就不全相同。

3. 根据試驗結果, 初步认为水稻对土壤氮素供应状况的要求是分蘖初期緩而长, 拔节期快而短, 穗分化期緩而长。因此, 結合不同土壤的供肥特点需要利用有机廐肥或速效化肥等性質不同的肥料在次数及用量上加以調節。

4. 初步认为施肥原則掌握的主要内容是根据水稻器官协调生长的需要以調節土壤的氮素供应強度及其持續時間, 造成最和谐与最有效的土壤—植物供求关系。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院土壤研究所: 水稻丰产的土壤环境, 农业丰产研究丛书第三集, 科学出版社, 1961。
- [2] 陈家坊、程云生、刘芷宇: 1961, 陈永康的水稻高产措施和理論的初步总结, 土壤, 1961 年, 第 8 期, 6—16。
- [3] 鮑文奎、严育瑞: 肥料对于作物生长和发育的影响(I)水稻。农业学报, 5 (2): 137—154, 1954。
- [4] 藤原彰夫、大平幸次、成田精一: 作物的氮素营养に関する研究(2)。水稻体的含氮素成分の分布と变异。日本土壤肥料杂志, 22 (2): 97—102, 1951。
- [5] 木内知美、石阪英男: 水稻の収量形成過程に及ぼす栄養条件の影響(氮素)。日本土壤肥料杂志, 31 (7): 285—291, 1960。
- [6] 大島正男: 水稻の氮素营养に関する研究 [II], 氮素基肥量を异にてた水稻にすける氮素追肥の影響。日本农业技术研究所报告, B(11): 199—232, 1961。
- [7] Bonner G.: The role of organic matter, especially manure, in the nutrition of rice. *Bal. Gaz.*, 108: 267—276 1946。
- [8] 中国农业科学院江苏分院: 陈永康水稻肥水技术研究。华东农业科学通报, 1960, 11—20。
- [9] 朱兆良: 土壤氮素供应状况的研究 I. 土壤碱解时氮的释放速率作为預測植稻土壤氮素供应状况的指标。土壤学报, 10 (1): 55—72, 1962。

- [10] 藤原彰夫、大平幸次、大槻胜、成田精一：作物氮素营养に関する研究(1)。氮素の施用と水稻の生育収量及び炭水化物集積との関係。日本土壤肥料杂志, **22** (2): 91—96, 1951。
- [11] 玖村敦彦：水稻に於ける炭水化物の生産并に行动に関する研究(V)。稔実及ぼす氮素的影响。日本作物学会記事, **25** (4): 214—218, 1957。
- [12] 玖村敦彦：水稻に於ける叶身の氮素濃度が収量構成要素に及ぼす影响。日本作物学会記事, **24** (3): 177—180, 1956。
- [13] 大島正男、村山登：水稻の氮素营养に関する研究(1)。氮素营养を异にする水稻の生育各期における遮光の影響。日本农业技术研究所报告, **13** (10): 1—36, 1960。
- [14] 沈汎懋：水稻各时期各叶片光合产物的运转与分配。农业学报, **11** (1): 30—40, 1960。
- [15] 馬場紉、高桥保夫、岩田岩保：水稻の胡麻叶枯病罹病に関する营养生理の研究 (VI)。日照が无机成分の吸収に及ぼす影响。日本作物学会記事, **22** (3): 49—50, 1954。
- [16] 唐錫华：不同时期密、肥条件对水稻器官生长发育的影响。中国科学院植物生理研究所稻麦群体研究论文集。155—182, 上海科学技术出版社, 1961。

THE NITROGEN NUTRITION OF RICE (1) THE INFLUENCE OF SOIL NITROGEN SUPPLYING STATUS ON THE HARMONIOUS GROWTH OF THE ORGANS OF RICE PLANT

T. Y. LIU AND W. L. LIU

(Institute of soil science, Academia Sinica)

(ABSTRACT)

The present paper deals with the influence of the intensity and its persistence of nitrogen supply to the formation and development of the organs of rice plant and also with the resulting physiological feature of these influences. Pot culture experiments with paddy soils were conducted in open field. Organic manure and ammonium sulphate were applied at different stages of growth, i.e. tillering, internode elongating and panicle differentiating stage. The results are summarized as follows:

1. Experiments revealed that various organs of rice plant gave different responses to the status of nitrogen supply, and to the same organs, their responses of nitrogen varies at different stages of growth. At the tillering stage, a strongly intensified and less persistent supply of nitrogen, as in the case of ammonium sulphate, promoted the assimilation of dry matter in leaf blade, and consequently enlarged the leaf areas. Such an effect on the leaf blade, however, terminated after the internode elongating stage, and more accumulation of dry matter was found in the stems. Top dressing of manures, pertinently after the internode elongating stage, gave a moderate but persistent supply of nitrogen at that time and resulted the formation of large and healthy ears. Under the experimental condition, such treatments have been proved favourable to the growth and yield of rice.

2. The influence on the growth of the organs, as resulted by changing the status of nitrogen supply, is mainly induced by the rate of accumulation and translocation of nitrogen in plant. A strongly intensified, but less persistent, nitrogen supply accelerates the rate of translocation of nitrogenous materials, while a less intensified but rather persistent supply of nitrogen retains more nitrogenous materials in leaf blade.

3. It is evidently that the demand of nitrogen supplying status of rice plant differs at different growing stages. Under the experimental condition, high yields of rice crops were attained by a slower but persistent rate of nitrogen supply in the tillering stage; a faster but less persistent rate in the internode elongating stage and also a moderate but persistent rate in the panicle differentiating stage. Since property of soil nitrogen varies in different soil type, the regulation of nitrogen supplying status by fertilization should be different in each cases.