

稻田氮肥深施技术的改进及其效益评价*

陈荣业 陈 菁 张建才

(中国水稻研究所)

摘 要

“稻田以水带氮肥深施技术”对现有水稻施用氮肥方法作了改进，它将稻田施肥与水分管理结合起来，使表施的氮肥随水下渗带入土层中，减少了氮肥的损失，提高了氮肥的增产效果和利用率。1987年在浙江省进行的13个小区示范试验和4个大田对比试验结果表明，此技术与常用施肥法相比，可以减少1至2次追肥，节肥率30%以上，增产率约7%，每亩增产稻谷25—30公斤。

减少氮肥损失、提高氮肥效率有助于解决举世瞩目的粮食、能源和环境问题，国内外对其研究历来十分重视，国际肥料发展中心和国际水稻研究所一直将它作为重点研究项目。中国水稻研究所1984年起在认真总结国内外各种提高氮肥利用率途径的基础上，对水稻生产中氮肥用量大、损失多的问题，进行了如何提高稻田氮肥利用率的研究，主要是寻求一些便于各地稻农掌握的、省工高效的氮肥合理施用技术。至1986年，我们通过室内模拟试验、盆栽试验和田间试验，业已明确：将稻田氮肥施用方法与水分管理结合起来，施肥前对稻田停止灌水晾田数天，尽可能控制土壤处于水不饱和状态，再把氮肥表施，然后立即复水，使氮肥随水下渗带入土层中，能达到氮肥深施的目的。我们把这方法称之为“稻田以水带氮肥深施技术。”它对水稻省肥增产的作用十分显著，可作为氮肥经济合理施用技术之一，在具有排灌条件的稻田中推广应用^[1]。

为了进一步明确此技术在不同具体条件下应用的实际效益，1987年在浙江省衢州、富阳、金华、绍兴、嘉兴、湖州、德清等地进行了多点示范试验。现将试验情况和试验结果予以总结，供参考。

一、试验方法

(一) 小区对比试验

此试验旨在明确稻田以水带氮肥深施技术在各地生产条件下应用的实际效果。试验采用多点重复，按统一试验方案布置在当地有代表性的农田上。试验田要求肥力均匀，管理方便排灌条件好，周围干扰因素少。布置试验时将田块四边留作保护行，中间划分为4区，做好

* 示范试验得到了浙江省土肥站胡之康、何增荣，衢州市农科所叶元林，富阳县大青乡政府华观玉，金华市农科所陈云香，绍兴市土肥站范浩定，嘉兴市土肥站范俊生、严强，湖州市土肥站王伯先，湖州市农科所张悟民，德清县土肥站厉正春的帮助，特此致谢。

沟埂，设置如下处理：

1.不施追肥。此区单施基肥，基肥包括尿素7.5公斤/亩，过磷酸钙15公斤/亩、氯化钾7.5公斤/亩和有机肥(用量按当地习惯水平)，栽秧前撒施混入土中；

2.持续渍水下表施，基肥同处理1，追肥2次，分别于移栽后7天和15天各施尿素7.5公斤/亩；

3.以水带氮肥深施。基肥同处理1，移栽5天后断水搁田，尽可能在追肥前控制稻田土壤水分处于不饱和状态，至移栽后10天前每亩追施尿素7.5公斤，然后立即复水，让氮肥随水下渗入土层中；

4.搁田后复水表施。其施肥量、施肥期及稻田水浆管理完全与处理3同，唯追肥在复水后进行。

处理1(不施追肥)是作为其它处理的对照的。通过差减法了解追施的氮肥在不同施用技术下的增产效果和利用率。处理2是模拟目前各地水稻生产中常采用的氮肥用量、用法和用期，用以综合比较现有水稻氮肥施用技术和以水带氮肥深施技术(处理3)的效应。处理3和处理4相比，即可看出“以水带氮”化肥深施的效果。

1987年在浙江省按上述试验方案布置了13个试验点。其中早稻试验点3个，晚稻试验点

10个，主要分布在浙江省主要产粮区杭嘉湖平原、宁绍平原和金衢盆地。试验田土壤呈酸性或中性反应，有机质和全氮含量水平中等(表1)各试验点每个处理的面积绝大多数约为0.2亩；种植当地主栽的或正在推广中的水稻品种。所有试验点收获时均单打单收计产，并取样进行考种。试验过程中定点观察各处理水稻分蘖动态。部分试验点还定期采样测定水稻地上部的干物重和含氮量变化。

表1 各试验田基本情况(1987年)

季别	试验地点	前作	土壤	pH	有机质%	全N%
早稻	富阳大畚乡	油菜	黄泥田	6.7	2.99	0.173
	衢州农科所	大交	泥质田	6.7	3.08	0.188
	衢州万田乡	油菜	红筋泥	5.0	2.40	0.166
晚稻	皇天畈农场	油菜	泥质田	6.9	3.28	0.220
	富阳大畚乡	早稻	黄泥田	6.7	2.99	0.173
	衢州农科所	早稻	泥质田	6.5	3.39	0.182
	衢州万田乡	早稻	红筋泥	5.0	2.40	0.166
	衢州花园镇	早稻	泥质田	6.7	3.08	0.188
	金华蒋堂	早稻	红壤	5.7	2.44	0.150
	绍兴皋北乡	早稻	青紫泥	6.5	3.62	0.154
	湖州什山乡	早稻	青紫泥	6.0	3.67	0.201
	德清武康镇	早稻	泥质田	6.2	2.99	0.155
	嘉兴加北乡	早稻	青紫泥	6.7	3.51	0.200

(二) 大田示范试验

试验在本所皇天畈农场高产模式区中进行。选择条件基本相同的相邻田块作为示范田和对比田，示范田的水、肥管理按稻田以水带氮肥深施技术的要求进行；对比田的水、肥管理由高产模式区负责实施。

试验区土壤的有机质和全氮含量较高(分别在3.5%和0.23%上下)，磷的水平中等(0.5MNaHCO₃浸提的速效P约9.6ppm)，而钾的水平较低(IN NH₄OAc浸提的速效K约66ppm)。

早稻示范试验I：示范田和对比田的面积都是3.2亩，前茬紫云英，生长极差，地上部收割作饲料。种植籼稻晚熟品种中83-49，3月25日播种，5月3日移栽，8月4日收获。基肥亩施厩肥18担、碳铵20公斤过磷酸钙15公斤，氯化钾7.5公斤和生石灰50公斤。示范田应用以水带氮肥深施技术，于5月13日开始断水搁田，5月19日亩施尿素5公斤。对比田追肥二次，分别于5月11日和5月28日每亩各施尿素10公斤和5公斤。示范田对比田少施追肥一次，每亩少施尿素10公斤。

早稻示范试验II：示范田和对比田的面积都是4.18亩，冬闲田。种植籼稻晚熟品种辐8-1，4月2日播种，5月4日移栽，7月30日收获。基肥每亩施碳铵20公斤、过磷酸钙15公

斤、氯化钾7.5公斤和生石灰50公斤。示范田于5月13日开始控水搁田，5月19日采用以水带氮肥深施技术亩施尿素5公斤。对比田追肥3次，分别于5月12日、5月15日和5月24日每亩各施尿素10公斤、5公斤和5公斤。示范田对比田少施追肥2次，每亩少施15公斤尿素。

晚稻示范试验 I：示范田和对比田面积分别为9.6亩和6.4亩。种植粳稻品种 H₁₂₀₉，6月20日播种，8月7日移栽，11月9日收获。基肥亩施碳铵15公斤、过磷酸钙15公斤和氯化钾7.5公斤，前作早稻稻草全部还田。示范田8月18日开始控水搁田，8月21日采用以水带氮肥深施技术亩施尿素7.5公斤。对比田追肥3次，分别于8月12日、8月22日和9月3日每亩各施尿素10公斤、2.5公斤和4公斤。示范田对比田少施追肥2次，每亩少施9公斤尿素。

晚稻示范试验 II：示范田和对比田的面积都是4.18亩。种植杂交水稻汕优85，6月11日播种，8月1日移栽，10月28日收获。基肥的品种、用量与上一示范试验同。示范田8月11日开始控水搁田，8月13日采用以水带氮肥深施技术亩施尿素7.5公斤。对比田3次追肥，分别于8月8日、8月18日和9月3日每亩各施尿素7.5公斤、5公斤和3公斤。示范田对比田少施追肥2次，每亩少施8公斤尿素。

二、试验结果和讨论

(一) 稻田以水带氮肥深施技术的省肥增产效益

1. 小区对比试验结果

表2列出了1987年浙江省各示范试验点各处理的产量结果。从表2可见，各试验点的产量大都是以水带氮肥深施区最高，13个试验点平均亩产达384公斤。有个别试验点结果反常，可能与试验布置过迟有关。如嘉兴点的晚稻试验8月13日才布置，栽插过迟，稻苗生长参差不齐，明显影响了试验效果。

将各试验点各处理的产量配对进行统计分析，结果(表3)表明，以水带氮肥深施与搁田后复水表施和不施追肥相比，有极显著的产量差异；它与每亩多施7.5公斤尿素的处理(持续渍水下表施)相比，有9个试验点增产，有4个试验点产量持平或略低，合计平均增产稻谷25公斤/亩，t测验达显著水平。

表2 1987年浙江省各示范试验点水稻的产量结果(稻谷, 公斤/亩)

季别	试验地点	处理1	处理2	处理3	处理4
早稻	富阳大青乡	304	227	360	340
	衢州农科所	407	413	427	413
	衢州万田乡	454	437	483	475
晚稻	皇天坂农场	365	384	405	397
	富阳大青乡	283	368	380	347
	衢州农科所	353	437	430	400
	衢州万田乡	320	406	401	389
	衢州花园镇	332	370	361	348
	金华蒋堂	213	250	263	260
	绍兴皋北乡	365	373	425	398
	湖州什山乡	263	298	303	280
	德清武康镇	398	411	430	406
	嘉兴加北乡	327	299	320	330
	平均	337	359	384	368

将不施追肥的产量作对照，用差减法算出的不同施用方法下氮肥对水稻的增产效果列于表4。从表4可见，尿素采用以水带氮肥深施技术，与稻田水分管理、尿素用量和

表3 各处理平均产量比较及其差异显著性

处理	平均产量 \bar{X} 公斤/亩	n = 13		
		$\bar{X}-337$	$\bar{X}-359$	$\bar{X}-368$
3	384	47**	25*	16**
4	368	31**	9	
2	359	22		
1	337			

* 差异显著； ** 差异极显著。

用期都一样的搁田后复水表施相比,每公斤肥料氮素平均增产稻谷从9公斤提高到13.6公斤,净增加4.6公斤,氮肥的增产效率提高了50%。与追肥2次的持续渍水下表施相比,则氮肥增产效率提高的幅度更大。其原因除了氮肥深施与表施产生的差别外,显然还与两者在稻田水分管理、追肥次数、用量和用期上的不同有关。与常规的氮肥施用方法相比,稻田以水带氮肥深施的省肥增产效益,若按每公斤尿素0.80元、每公斤稻谷0.50元计算,一般在15元/亩以上。

2. 大田示范试验结果

在皇天坂农场高产模式区示范试验得到的结果列于表5。从表5可见,采用以水带氮肥深施技术的示范田与按丰产模式进行水肥管理的对比田相比,每亩平均少施化肥氮4.83公斤,节肥率45%;节省化肥成本8.40元,同时增产稻谷30公斤,价值15元,省肥增产合计每亩增加纯收益23.40元。

表5 稻田以水带氮肥深施技术在皇天坂农场高产模式区大田示范试验结果

水稻季别和品种	施用化肥量 (N公斤/亩)				稻谷产量 (公斤/亩)				经济效益*(元/亩)		
	示范田	对比田	省量	省量%	示范田	对比田	增产	增产%	省肥	增产	合计
早稻中83-49	5.7	10.3	4.6	45	550	519	31	6.0	8.0	15.5	23.5
早稻辐8-1	5.7	12.6	6.9	55	455	412	43	10.4	12.0	21.5	33.5
晚稻H129	6.0	10.1	4.1	41	392	345	47	13.6	7.2	23.5	30.7
杂交晚稻汕优85	6.0	9.7	3.7	38	367	367	0	0	6.4	0	6.4
平均	5.85	10.68	4.83	45	441	411	30	7.3	8.4	15.0	23.4

* 按每公斤尿素0.80元, 每公斤稻谷0.50元计算。

上述对比试验和示范试验得到的结果清楚表明,稻田以水带氮肥深施技术的实用性强、适应性广,省肥增产效果十分明显。它与惯常施肥法比较,节肥率30%以上,增产率约7%,平均每亩增产稻谷25—30公斤,省肥增产合计平均每亩增加收益约20元。此外,不少试验点应用此技术后,稻田病虫危害指数下降,加上水稻追肥次数的减少,估计在用工方面还能获得一定的效益。

(二) 稻田以水带氮肥深施技术省肥增产的机理

稻田以水带氮肥深施技术之所以能够省肥增产,主要是氮肥深施可以减少损失并提高肥效。试验结果表明,通过控制稻田土壤处于水不饱和状态,施肥后立即复水,可将表施的60%以上的化肥氮带入土层中,从而减少了肥料氮素的损失,较大幅度提高了肥料氮素的吸收利用率。此外,以水带氮肥深施前的控水搁田,能促进水稻根系的发育,也有助于增加水稻对施入氮肥的吸收利用。以今年得到的部分试验点的试验结果为例,水稻对以水带肥深施区的尿素氮利用率平均高达54%,搁田后复水表施区的尿素氮利用率平均为35%,持续渍水下表施区的尿素利用率平均只有26%。另外,用¹⁵N示踪尿素进行的田间微区试验结果也表明,以水带氮肥深施,在水稻—土壤体系中的¹⁵N回收率有明显的提高,损失率平均减少了约15%(未发表资料)。

从各地试验情况来看,应用以水带氮肥深施技术的稻田,稻苗移栽返青活棵后,经过断

表4 不同施用方法下氮肥对水稻的增产效果

氮施用方法	用量(公斤/亩)		平均稻谷产量(公斤/亩)	每公斤氮素增产(公斤)
	尿素	N		
以水带氮肥深施	7.5	3.45	384	13.6
搁田后复水表施	7.5	3.45	368	9.0
持续渍水下表施	7.5×2	3.45×2	359	3.2
不施追肥	0	0	337	—

水耨田，通气促根，追肥复水后，出蘖快而整齐，成穗率明显增加，稻株生长均匀稳健，稻丛紧凑而不披叶，病虫害大大减轻，符合水稻丰产早发、足苗、稳长的要求。各试验点考种结果(表6)表明，以水带氮肥深施区的成熟稻株，与持续渍水下表施区的相比，有效穗数虽然略低些(t测试差异不显著)，但穗粒数、实粒数、结实率和千粒重均有明显的提高(t测试超过或接近5%显著水平)。据此分析，稻田以水带氮肥深施的增产原因是使水稻穗大、粒多，增加千粒重和提高结实率。

表6 氮肥施用技术对水稻经济性状的影响

氮肥施用技术	株高 (cm)	有效穗 (万/亩)	总粒数/穗	实粒数/穗	结实粒 (%)	千粒重 (g)
以水带氮肥深施	77.3ab	29.9a	68.0a	61.6a	90.6a	25.35bc
耨田后复水表施	76.1b	29.6a	63.0a	57.3b	90.9a	25.45b
持续渍水下表施	78.0a	30.8a	64.8ab	56.6b	87.3b	25.01c
不施追肥	73.5c	27.1b	63.9b	57.8b	90.5a	25.97a

注：同一项目内，有相同字母的数值表示差异不显著 (P=0.05)。

(三) 应用稻田以水带氮肥深施技术的条件和要领

这项技术在水稻生产中的实用性和适应性很强，除漏水漏肥严重的田块外，有灌排条件的一般稻田均可应用。

应用稻田以水带氮肥深施技术的要领是：在水稻栽插返青活棵后，根据水稻需氮和土壤供氮特点，适时适量施用氮肥。由于以水带氮肥深施的肥料氮素损失较少，利用率较高，肥效发挥具有缓、稳、长的特点，因而施肥量要严格控制在习惯施肥法减少用量三分之一上下。对双季稻追肥一次即可，同时施肥期也要注意不能过迟，以免水稻生长后期贪青迟熟，影响产量，一般掌握在栽插后10—15天施入为宜。施肥前通过停止灌水或排水耨田控制稻田土壤处于水不饱状态，耨田时要开好田边沟和田中的丰产沟，以便排水一致，耨田均匀。耨田时间的长短视天气、土质和秧苗素质情况适当掌握，以使稻田土壤达到水不饱状态，田面出现微裂为度，随后施入氮肥，施肥后要立刻灌水。灌水时不要“大水冲灌”，要“多进口小水细流”，让灌溉水沿丰产沟和田边沟慢慢流入稻田中，使施入的氮肥就地溶解随水渗入土层中，达到深施的目的。

必须指出，以水带氮肥深施技术中的适度耨田，主要目的是使稻田表层土壤产生一些孔隙，为表施氮肥随水下渗达到深施创造条件，它不同于生产实践中在水稻有效分蘖期后或达到所需穗数后所采取的“烤田”措施。如无降雨，天气晴朗，一般可通过自然落干使稻田土壤处于水不饱状态，不必采用排水措施，这样即可节省灌溉用水，同时也可避免过度重烤对水稻早期发棵生长可能产生的抑制作用。如施前连遇阴雨，无法控制稻田土壤水不饱状态，则深施的效果估计会受到影响，用肥量应适当加大，或者视以后水稻生长情况，再适量追施一次。

为了使稻田“以水带氮肥深施技术”在实践中不断完善和提高，除通过多点大面积示范，进一步明确此技术在不同条件下应用的实际效益外，还需因时因地制宜，结合土壤条件、气候因素、稻作季别、品种特性、栽培措施、病虫防治等具体情况，研究以水带氮肥深施技术最适宜的控水方法和程度，以及施肥期和施肥量，同时还要进一步研究此技术省肥增产的机理，了解它对发挥土壤潜在肥力、地力更新、养分平衡与转化，以及水稻吸收养分能力和生

(下转第142页)

政府对茅山道院进行了整修，对溶洞进行了清理，修建了盘山公路和石级，新建了新四军抗日根据地陈列馆以及一些饭店、商店、旅馆等旅游设施，形成了道教圣地、自然风光、森林公园、革命纪念馆有机结合的旅游区。茅山旅游区西距南京71公里、东离常州68公里、北至镇江45公里，离句容、丹阳、金坛、溧水等县城仅三十公里左右，有公路与各市县相通，可大力发展以上市县到茅山一日游活动。茅山地区也应增加丝绸、刺绣、地毯、竹木工艺品等旅游工艺品生产，发展有地方特色的食品，如草莓酒、草莓汁、草莓酱的生产。茅山也适宜兴建一些疗养机构。

(二)改善农业生态环境 改善农业生态环境使之形成良性循环，是从根本上改变农业生产条件、增加农业后劲，促使稳产高产的必要措施。根据目前茅山丘陵地区灌溉水源不足、防洪标准不高和农田水利工程配套不齐的现状，应继续大搞农田基本建设，兴修一批中小型水库、提水站；开挖环山沟、引水渠，搞好渠系配套，同时对原有水库、塘坝进行加固修浚、发展喷灌技术，彻底解决水源不足和消除旱涝灾害。

充分利用本区粮、棉、油加工的副产品，大力发展养猪、增加厩肥，发展沼气和薪炭林，节约烧草，增辟农村燃料来源，增加秸秆还田数量，利用茶园、果园间种越冬绿肥，做到养用结合，不断提高土壤肥力，改善土壤性状。

茅山低山丘陵地区还有不少宜林荒地、疏林地，应大力发展用材林、经济林、薪炭林、高产草坡，增加林木和植被覆盖率，减少水土流失，改善农业生态环境。

本区乡镇工业虽然起步较晚，但近年来已发展了一批冶金、化工、水泥等工业，造成了一定的污染，应及时治理，在新建工厂时要充分考虑环境效益，不产生新的污染，同时要科学施用化肥、农药，防止农业污染。

(三)大力发展教育和科学技术事业 现代化的经济建设必须依靠科学技术的进步和现代化管理水平的提高，依靠劳动者素质的提高。科技、管理人才的培养和劳动者素质的提高有赖于教育事业的发展。大量统计资料表明，一个地区的经济发展水平与技术、管理、教育水平成一定的函数关系。而茅山地区的科技、文化、教育基础差，在很大程度上阻碍了农业现代化建设的进程。因此，重视教育，增加教育经费，培养人才，提高教师的政治、社会和经济地位；普及、推广农业和工业科学技术，发展农村职业技术教育和成人教育，培养适应经济发展需要的各类人才是当务之急。只有这样，才能促进茅山地区农村经济的发展和科技、管理水平的提高。

总之，只要合理规划，统筹安排，茅山地区定能成为一个农业、林业、乡镇工业和旅游业发达的地区。

(上接第129页)

长发育的作用，使之和其他行之有效的农业技术措施一道，转化成强大的生产力，推动水稻生产和水稻科学蓬勃向前发展。

参 考 文 献

- [1]陈荣业等，稻田以水带氮肥(尿素)深施技术研究。中国水稻科学1(3): 284—191, 1987。