

我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展

朱兆良

(中国科学院南京土壤研究所)

土壤供氮和氮肥施入土壤后氮素的去向,是研究氮肥合理施用的两个重要方面。近些年来,国内在这两个方面都进行了不少的工作,积累了一些资料。本文想对有关资料尽可能地加以汇集和综合,以便从中得到一些基本概念,并为进一步的研究提供一些基础资料和线索。

一、作物对土壤氮素的依赖性

土壤的氮素供应在作物氮素营养中的作用,可以从量和质两个方面进行评价。作物对土壤氮素的依赖性,是从量的方面进行评价的一个指标。它在探讨土壤培肥和耕作改制以提高复种指数时,都有一定的参考价值。

作物对土壤氮素的依赖性,是指作物成熟时所积累的氮素中,来自土壤氮的比例。通常它是以同一田间试验中,无氮区作物地上部分累积氮量,除以施氮高产区作物地上部分累积氮量而计得的。这是非示踪法。另外也有用 ^{15}N 标记氮肥进行田间微区试验,以成熟时作物累积氮中来自土壤氮的比例计算的,即为 ^{15}N 示踪法。由于氮肥激发作用的影响, ^{15}N 示踪法的结果一般都明显地高于非示踪法。从评价土壤氮素供应在作物生产中的相对重要性来看,似以非示踪法的结果为宜。因为示踪法所测得的来自土壤的氮量,包括不施氮肥时土壤的供氮量,和在氮肥的激发作用影响下土壤所增加的供氮量。从激发作用的机制来看,所增加的这一部分氮,基本上是 ^{15}N 标记肥料氮与土壤氮之间进行生物交换作用的结果,并没有提高作物的氮素营养水平。基于这一想法,我们只将国内田间试验中,用非示踪法所得到的作物对土壤氮素依赖性的结果汇集于表1。至于盆栽试验中得到的这类数据,由于意义不大都未采用。

表1 作物地上部分累积氮中来自土壤氮的百分率 (非示踪法,田间试验成熟期)

地 点	作 物	施氮肥区产量(斤/亩)	来自土壤氮的% ^{**}	数据个数	文 献
黑 龙 江	玉 米	1176-1322	77.5+4.6	6	[1]
天 津	小 麦	807-1067	73.3+6.2	5	[2]
河 南	小 麦	527	78.2	1	[3]
山 西	谷 子	335-444	77.1±6.4	6	[4]
四 川	棉 花	149-191*	82.8+2.4	9	[5]
江 苏	大 麦	485-675	45.2±7.8	5	[6]
上 海	大 麦	—	48.3	19	[7]
江 苏	单季晚稻	876-976	75.9±4.0	13	[8]
江 苏	双季早稻	879-974	57.8±1.3	5	[8]
江 苏	双季早稻	692-891	57.2	14	[9]
江 苏	双季早稻	—	69.8	14	[10]
上 海	双季早稻	319-670	51.9±7.0	5	[11]
江 苏	双季晚稻	—	57.4±3.7	5	[12]
云 南	中稻(麦茬)	—	64.2±2.2	5	[13]
云 南	中稻(蚕豆茬)	—	82.9±8.5	6	[13]

* 皮棉

** $\bar{X} \pm SD$

对各地不同作物来说,作物对土壤氮素的依赖性的平均值,大多在50%以上。表明,土壤氮素供应是作物稳产高产的一个重要基础。从不同地区来看,北方地区的数据还很少,有待进一步积累。对南方地区的不同作物来说,此值约为45—83%,不同作物之间差别较大。冬作大麦的数值为45—48%,明显地低于水稻。不同季别的水稻对土壤氮素的依赖性也有很大的差别,变动于52—83%之间。其中以生长期长的单季晚稻为最高,平均达到76%,而生长期比较短的双季早稻和双季晚稻则较低。从数据比较多的双季早稻来看,约为52—70%,大多在60%左右。这与不同季别水稻生长期间,耕层土壤有效积温的不同有密切的关系^[8]。此外,从两组中稻的结果来看,豆茬稻对土壤氮素的依赖性显著高于麦茬稻,可能与豆茬种稻时土壤的供氮能力比较高有关。因此,改用生长期短的作物以提高复种指数,以及减少豆科作物和豆科绿肥的种植面积等,都将导致作物对土壤氮素依赖性的降低,从而要求增加氮肥的用量。

二、土壤供氮量

土壤供氮量既是评价土壤肥力的一个重要指标,又是从氮素的供求关系出发,估算氮肥适宜用量的一个重要参数。

土壤的供氮量主要包括当季作物种植时,土壤中已经积累的矿质氮量,和在作物生长期内土壤氮素的矿化量。将成熟期无氮区地上部分累积氮量计为土壤供氮量时,其中还包括了降雨、

表2 土壤对一季作物的供氮量 (田间试验,以成熟时地上部分累积氮量计算)

地 点	作 物	无氮区产量 (斤/亩)	土壤供氮量 (斤/亩)	土壤供氮量	数据个数	文 献
				0—20厘米土壤全氮量		
江 苏	双季早稻	570 ± 98	8.8 ± 1.6	1.9 ± 0.5	9	[9]
太湖地区	双季早稻	600 ± 91	8.6 ± 1.8*	1.8 ± 0.7*	29	[14]
江 苏	双季早稻	—	8.9 ± 1.9*	1.8 ± 0.3*	7	[8]
浙 江	双季早稻	508	8.1**	—	9	[15]
浙 江	双季早稻	540 ± 130	9.0 ± 2.4	1.9 ± 0.6	24	(1)
湖 南	双季早稻	476 ± 155	9.1 ± 2.3	1.5 ± 0.5	4	[16]
福 建	双季早稻	470 ± 154	7.5**	1.8**	19	(2)
广 西	双季早稻	501	7.0	2.7	1	[17]
江 苏	双季晚稻	272 - 634	6.9***	—	15	[12]
太湖地区	双季晚稻	447 ± 113	4.6 ± 1.5****	1.1 ± 0.5****	18	[14]
浙 江	双季晚稻	645	10.3**	—	9	[15]
广 东	双季晚稻	401	8.1	2.0	1	[17]
江 苏	中 稻	—	8.3	2.5	1	[18]
云 南	中 稻	—	—	2.6 ± 0.07	5	[13]
云 南	中 稻	—	—	3.10 ± 0.03	3	[13]
江 苏	单季晚稻	—	14.3 ± 1.5	3.3 ± 0.3	3	[19]
山 西	谷 子	295	4.5	3.0	1	[4]
河 南	小 麦	267	5.6	2.8	1	[3]
江 苏	小 麦	—	4.5 ± 0.8	2.0 ± 0.3	7	[20]
江 苏	大 麦	378 ± 60	4.9 ± 1.0	1.4 ± 0.4	5	[6]

* 扣除了秧苗氮。

** 以每百斤稻谷产量地上部分累积氮素1.6斤折算,未扣除秧苗氮。

*** 连续第二季无氮处理,未扣除秧苗氮。

**** 连续第二季无氮处理,扣除了秧苗氮。

表列数据系 $\bar{X} \pm SD$ 。

(1) 浙江省农科院中心实验室速氮组,1975 (资料)。

(2) 林增泉等,1981 (资料)。

灌溉水、种子或秧苗带入的氮量等。为了准确计,应当扣除秧苗氮。因为由秧苗带入的氮量比种子多,特别是在秧苗大、栽插密度高的情况下更是如此。例如,太湖地区的双季晚稻,由秧苗带入的氮量每亩可达2—3斤。现将土壤对不同作物的供氮量的数据汇集于表2。从各试验的平均值来看,土壤对一季作物的供氮量在4.5—14.3斤/亩之间。双季早稻的数据比较多,从不同试验和地区来看,其平均值大多在每亩9斤左右。其中,有的是扣除了秧苗氮的,有的则没有扣除。如果以双季早稻的秧苗带入的氮量每亩为一斤估算,则不同地区不同试验中,土壤对双季早稻的供氮量平均每亩约为8—9斤,占0—20厘米土层中土壤全氮储量的1.8%左右。但是,各个试验中的标准差都比较大,这表明,影响土壤对双季早稻供氮量的因素是很多的。例如,土壤类型和性质、前茬的种类和有机肥料的施用情况,以及当季水稻的耕作和田间管理措施等。

在第一季不施氮肥下测得的土壤对双季晚稻的供氮量的数据比较少,而且也没有扣除秧苗氮。从双季早稻开始连续不施氮肥种植双季晚稻时,土壤对这种第二季无氮处理的双季晚稻的供氮量,从扣除了秧苗氮的数据来看,平均只有4.6斤/亩,占0—20厘米土壤全氮储量的1.1%,明显地低于对双季早稻的供氮量。根据在苏南和上海进行的观测,在连续不施氮肥下,土壤对双季早稻和双季晚稻的总供氮量为 13.1 ± 2.8 斤/亩,占0—20厘米土壤全氮储量的 $2.8 \pm 1.2\%$ ($n=18$)^[14]。这个数值与表2中土壤对单季晚稻的供氮量相接近。至于中稻,数据比较少,从供氮量占0—20厘米土层土壤全氮储量的百分率来看,似乎介于单季晚稻和双季早稻之间。看来,这是因为不同季别水稻的生长期长短不同,从而使耕层土壤的有效积温有所不同所致。

旱作方面的材料比较少。从江苏的小麦和大麦的数据来看,土壤对冬作麦类的供氮量,可能低于对水稻的供氮量。

三、氮肥的氮素损失

氮肥施入土壤后的氮素损失,是提高氮肥中氮素利用率的潜力之所在,又是研究氮素循环和平衡的基本资料。目前,在田间直接测定氮素损失还有困难。通常是从¹⁵N标记氮肥的氮素平衡账间接地计算氮素的损失率。显然,这种方法得出的氮素损失率误差比较大。这在下面讨论不同试验以及同一试验中不同处理间的差异时,是必须考虑到的问题。现将国内近些年来,用¹⁵N标记氮肥进行的氮素去向研究中的氮素损失项加以汇集和讨论。

1. 稻田中氮肥的氮素损失 硫酸、尿素和碳铵在水稻移栽前表施时氮素损失的情况如表3。在非石灰性土壤上,硫酸的氮素损失显著低于尿素,尿素的氮素损失则大致与碳铵相近或略低一些,两者都达到50%左右。在石灰性土壤上,三种氮肥的氮素损失都很严重。硫酸在石灰性土壤上表施时,氮素损失也达到51%,比在非石灰性土壤上高得多。这与石灰性土壤上氨的挥发损失较多有关。

表4是水稻田中硫酸的氮素损失的一部分数据。在石灰性土壤上作基肥表施时,氮素损失高达41.5—51.2%,作基肥混施时也达到50.3—54.4%,由于与基肥表施不属同一组试验,因而难以直接比较以说明混施的作用;硫酸作基肥深施时,氮素损失降为3.1—30.2%,

表3 水稻移栽时所施氮肥的氮素损失^[21]
(田间微区)

地点	土壤	氮肥	¹⁵ N损失%
江苏	石灰性	硫酸	51.2
		尿素	47.3
		碳铵	70.2
江苏	非石灰性	硫酸	28.5
		尿素	53.9
		碳铵	57.4
浙江	非石灰性	硫酸	12.7
		尿素	43.8
		碳铵	51.5

表4 水稻田中硫酸铵的氮素损失

地点	土壤	试验方法	处 理	¹⁵ N 损失%	文献
宁夏	石灰性	田间微区	基肥表施	41.5	〔22〕
			基肥表施 + NaH ₂ PO ₄	51.6	
			基肥深施 NaH ₂ PO ₄	3.1	
江苏	石灰性	田间微区	基肥表施	47.5	(1)
		基肥深施7厘米	30.2		
江苏	石灰性	田间微区	基肥混施	50.3	〔23〕
		基肥混施	54.4		
江苏	石灰性	田间微区	基肥表施	51.2	〔21〕
江苏	非石灰性	田间微区	基肥表施	24.2	
			基肥深施6厘米	18.4	
			返青肥表施	35.9	
			穗肥表施	20.8	
江苏	非石灰性	田间微区	返青肥表施	34.3	〔25〕
			返青肥表施	36.0	
江苏	非石灰性	盆栽	基肥混施	9	〔26〕
			追肥表施	49	

(1) 南京土壤所脱氮组1978, 资料。

表6 水稻田中碳铵的氮素损失

地点	土壤	试验方法	处 理	¹⁵ N 损失%	文献
上海	非石灰性	田间微区	分次施	56.7	〔11〕
			基肥混施	49.6	
			分次施	67.5	
			基肥混施	36.5	
			分次施	48.6	
			基肥混施	37.8	
湖北	非石灰性	盆栽	面 施	49.9	〔28〕
			基肥混施	31.1	
			面 施	46.0	
			基肥混施	15.4	
江苏	非石灰性	盆栽	粒肥基肥深施	0	〔26〕
			粒肥早期追肥深施	8	
			粉肥基肥混施	4	
			粉肥早期追肥表施	62	
			包膜粒肥基肥深施	5	

比作基肥表施的减少损失17—48%。在非石灰性土壤上, 硫酸铵的氮素损失比较少, 在作基肥或返青肥表施时, 损失为24.1—36.0%, 作基肥深施或穗肥表施时, 损失降至18.4—20.8%。显然, 在水稻生长盛期表施, 由于根系吸收能力强, 施入的氮肥迅速被水稻所吸收, 从而减少了损失。

尿素水解后产生碳酸铵, 易于发生氨的挥发损失, 而与土壤原先的酸碱度的关系不大。例如, 尿素作水稻基肥施于土表时, 无论是石灰性土壤或非石灰性土壤, 氮素的损失都比较高, 如表5所示, 损失在33.3—53.9%之间。与土混施时, 尿素的氮素损失为35.3—40.1%, 在同组试验中, 基肥混施比基肥表施减少损失8—14%。尿素粒肥作基肥深施的氮素损失最低, 只有13.1—21.2%, 比粉肥作基肥表施减少损失25—40%。在水稻生长中期作追肥表施, 氮

表5 水稻田中尿素的氮素损失

地点	土壤	试验方法	处 理	¹⁵ N 损失%	文献
江苏	石灰性	田间微区	基肥表施	47.3	〔21〕
			基肥混施	39.5	
			基肥粒肥深施6厘米	21.2	
			中期追肥表施	25.8	
江苏	非石灰性	田间微区	基肥表施	53.9	〔21〕
			基肥表施、中期烤田	51.7	
			基肥混施	40.1	
			基肥粒肥深施6厘米	13.1	
			中期追肥表施	29.9	
浙江	非石灰性	田间微区	基肥表施	43.8	〔21〕
			基肥混施	35.3	
			基肥粒肥深施6厘米	18.7	
			中期追肥表施	27.9	
吉林	非石灰性	田间微区	基肥表施	33.3	〔27〕
			基肥深施15厘米	4.1	
湖北	非石灰性	盆栽	面 施	35.7	〔28〕
			全层基施	12.7	
			面 施	20.5	
			全层基施	3.7	

素损失在25.8—29.9%之间, 比作基肥表施的低16—24%。

有关碳铵在不同施用方法下氮素损失的数据比较少。如表6所示, 在田间微区试验中, 在通常的分次施用(主要是表施)下, 碳铵的氮素损失高达48.6—67.5%, 作为基肥混施时, 氮素损失降为36.5—49.6%, 减少损失7—31%。在盆栽试验中, 也有相同的趋势。碳铵粒肥深施, 氮素损失很少。

如表4, 表5和表6所示, 在盆栽试验中, 无论是硫酸, 或是尿素和碳铵, 与土混施(包括全层基施)下, 氮素损失只有4—31%, 大多在15%以下, 比田间微区的试验结果低得多, 看来与混施的方法有关。在盆栽试验中, 一般是将氮肥与风干磨碎的土壤拌混, 然后灌水。这种混施方法能够达到将氮肥充分混施入土的目的, 因而减少氮素损失的作用就较大。而在田间微区试验中, 一般是将新鲜土与氮肥拌混, 或淹水后施入氮肥, 再搅混。这种施用方法, 不可能象盆栽那样将氮肥充分混施入土, 因而减少氮素损失的作用就相对小一些。

硝化抑制剂的作用, 曾引起广泛的注意。从表7的结果来看, 在水稻田中, 供试的几种硝化抑制剂, 对减少氮肥氮素损失的作用不大, 最好时也不过只减少损失7—10%, 不如改表施为混施的作用大。

2. 旱作土壤中氮肥的氮素损失 氮肥的氮素损失有随氮肥用量的增加而增多的趋势(表8、表9)。在缺磷、缺钾的土壤上, 施用磷肥和钾肥, 可以显著地减少氮素损失。在石灰性土壤上硫酸铵深施, 或非石灰性土壤上碳铵深施, 都比表施或深施1寸的氮素损失少, 这可能与深施减少了氮的挥发损失有关。

虽然, 尿素粒肥在水稻上深施是减少氮素损失的有效方法, 但在冬作物小麦上作返青肥施用, 情况不尽相同。有时, 尿素粒肥深施并不比粉肥表施的氮素损失少(表8)。这可能是因

表7 硝化抑制剂对氮肥的氮素损失的影响

地点	土壤	作物	试验方法	氮肥	处 理	¹⁵ N 损失%	文 献
江 苏	石灰性	水 稻	田间微区	硫 铵	基肥表施	47.5	(1)
					同上+CP	45.6	
					基肥深施7厘米	30.2	
					同上+CP	29.8	
					中期表施	26.2	
					同上+CP	21.5	
吉 林	非石灰性	水 稻	田间微区	尿 素	以绿肥为底、氮肥 深施7厘米	45.0	〔27〕
					同上+CP	42.3	
					基肥表施	33.3	
					同上+CP	26.3	
					同上+ASU	25.9	
					同上+ACT	23.2	
朔 北	非石灰性	水 稻	田间微区	尿 素	基肥深施15厘米	4.1	〔29〕
					同上+CP	4.1	
					同上+ASU	6.0	
					同上+ACT	3.2	
					分次表施	20.7	
					同上+CP	10.5	
陕 西	石灰性	小 麦	田间微区	尿 素	分次表施	48.5	〔30〕
					同上+CP	41.4	
					基肥混施	41.7	
					同上+CP, ASU	43.1—47.2	
					或氮甲苯	46.6	
					基肥混施	46.6	
北 京	石灰性	春小麦—夏谷	盆 栽	硫 铵	同上+CP, ASU	41—44.5	〔31〕
					或均三磷	41—44.5	
					分次施	11.1	
					同上+CP, ASU	9.2—9.3	

(1) 南京土壤研究所脱氮组1978, 资料。

为不同条件下氮素损失的主要途径不同。粉肥表施下，尿素与土接触面大于粒肥深施，因而水解可能快一些，但水解形成的铵态氮，在返青期气温尚低的条件下，呈氨而挥发损失的可能性并不大；尿素粒肥深施时，尿素与土壤接触面小，水解慢，如果施后遇雨，分子态尿素易遭淋失，因而其氮素损失有时反而可能比粉肥表施的多。在江苏无锡进行的试验，即属这种情况。

在北方地区，小麦生长期降雨少，氮素淋失的可能性比较小，但是北方地区多为石灰性土壤，氨的挥发损失应该是铵态氮肥损失的重要途径，因而氮肥深施可以减少氮素损失。对于尿素来说，撒施土表后随即适量灌水，也可以达到深施、减少氮素损失的目的^[41]。表8中在河北用石灰性土壤进行的研究表明，作为小麦返青肥表施后立即灌水与施后4天再灌水，氮素的损失率没有差异。其可能的原因是，小麦返青期气温低，尿素水解慢，而且即使水解成铵后，氨的挥发也不多，所以表施后即使过几天再灌水，氮素损失也不致显著增加。

旱作上，硝化抑制剂减少氮素损失的试验，都是在石灰性土壤上进行的。由于石灰性土壤上，氨的挥发是氮素损失的重要途径，因此，即使硝化抑制剂能抑制硝化作用，从而减少反硝化或淋洗损失，但却可能促进氨的挥发损失。因此，硝化抑制剂没有表现出减少氮肥氮素损失的作用(表7)。

表10列出了硝酸磷肥中，不同形态氮素在水田和旱地中氮素损失的研究结果。与一般概

表8 旱作土壤中尿素的氮素损失

地 点	土 壤	试验方法	作 物	处 理	¹⁵ N损失%	文 献
江 苏 (淮 安)	石 灰 性	田间微区	小 麦	粉肥返青肥表施	18.8	〔32〕
				粉肥返青肥条施	22.6	
				粒肥返青肥深施	20.2	
江 苏 (无 锡)	非石灰性	田间微区	小 麦	粉肥返青肥表施	23.0	
				粉肥返青肥条施	35.3	
				粒肥返青肥深施	30.0	
浙 江 (金 华)	非石灰性	田间微区	小 麦	粉肥返青肥表施	28.5	
				粉肥返青肥条施	24.7	
				粒肥返青肥深施	4.5	
上 海	非石灰性	田间微区	大 麦	基肥分层施+追肥	33.9	〔7〕
				分 次 施	34.5	
				基肥分层施+追肥	49.1	
江 苏	非石灰性 (白 土)	田间微区	大 麦	N	43.2	〔6〕
				NP	30.3	
				NPK	23.9	
黑 龙 江	非石灰性	田间微区	玉 米	种肥深施6厘米	51.7	〔33〕
河 北	石 灰 性	盆 栽	小 麦	按 节 肥	73.6	〔34〕
				基肥深施3寸	29.4	
				返 青 肥	9.4	
河 北	石 灰 性	盆 栽	小 麦	1/3基肥+2/3返青肥	11.5	〔35〕
				返青肥表施4天后浇水	28.7	
				返青肥穴施后立即浇水	14.8	
四 川	非石灰性	盆 栽	油 菜	返青肥表施后立即浇水	26.2	〔36〕
				折7斤N/亩	12.2	
				折14斤N/亩	33.4	
				折21斤N/亩	28.5	
				折28斤N/亩	23.6	
折35斤N/亩	7.8					

表9

旱作土壤中硫酸铵、碳铵和硝铵的氮素损失

地点	土壤	试验方法	作物	氮肥	处 理	¹⁵ N损失%	文献
河 北	石灰性	田间微区	小 麦	碳 铵	基肥20斤碳铵	4.6	〔37〕
					基肥40斤碳铵	16.3	
					基肥60斤碳铵	22.0	
江 苏	非石灰性	盆 栽	小 麦	碳 铵	粒肥基肥深施	15	〔26〕
					粒肥返青肥深施	18	
					粉肥基肥混施	12	
					粉肥返青肥表施	50	
					基肥分层深施+追肥	42.9	
上 海	非石灰性	田间微区	大 麦	碳 铵	分 次 施	53.5	〔7〕
					表 施	63.8	
甘 肃	石灰性	盆 栽	小 麦	¹⁵ NH ₄ ⁺ ¹⁵ NO ₃ ⁻	深 施 1 寸	52.7	〔38〕
					深 施 2 寸	26.2	
					深 施 3 寸	19.2	
					苗 肥	45.0	
					拔 节 肥	19.0	
					抽穗期追肥	20.4	
					开花期追肥	49.8	
					1.5克/6.8公斤土	25.6	
					3.0克/6.8公斤土	26.2	
					4.5克/6.8公斤土	40.4	
浙 江		盆 栽	油 菜	硫 铵	抽苔期施	76.3	〔39〕
					抽苔期+花期施	62.8	
					花 期 施	66.6	

念相一致，在水稻田中混施硝态氮，氮素损失严重。

现将水稻田¹⁵N标记氮肥微区试验中，氮素损失的结果综合成表11。在当前的施用方法下，碳铵的氮素损失约在40—70%之间；尿素的氮素损失略低于碳铵，除深施外，约为30—55%；硫酸铵在非石灰性土壤上损失比较少，可以估计为15—35%，而在石灰性土壤上则达30—50%左右。当然，这是一个非常粗略的估计。至于旱作，则还需要进一步积累资料。

表10 硝酸磷肥中不同形态氮素的损失〔40〕

(基肥混施)

地点	土壤	试验方法	作物	¹⁵ N标记部位	¹⁵ N损失%
江苏	石灰性	盆 栽	小 麦	¹⁵ NO ₃ ⁻	14.6
				¹⁵ NH ₄ ⁺	13.3
江西	非石灰性	盆 栽	小 麦	¹⁵ NO ₃ ⁻	10.8
				¹⁵ NH ₄ ⁺	16.9
江苏	石灰性	田间微区	水 稻	¹⁵ NO ₃ ⁻	94.0
				¹⁵ NH ₄ ⁺	59.8
浙江	非石灰性	田间微区	水 稻	¹⁵ NO ₃ ⁻	96.4
				¹⁵ NH ₄ ⁺	36.8

表11

水稻田中氮肥的氮素损失%(田间微区试验)

施用方法	硫 铵		尿 素		碳 铵	
	石灰性土壤	非石灰性土壤	石灰性土壤	非石灰性土壤	石灰性土壤	非石灰性土壤
基肥表施和早期追肥	41.5—51.2	12.7—36.0	47.3	23.2—53.9	70.2	51.5—57.4
基肥混施	50.3—54.4	31.8—42.9	39.5	17.1—45.3	—	29.1—49.6
基肥深施	3.1—30.2	—	—	3.2—6.0	—	—
粒肥基肥深施	—	—	21.2	13.1—18.7	—	—
中期追肥	21.5—26.2	—	25.8	27.9—29.9	—	—
基肥为主+追肥	—	4.4—32.3	—	—	—	—
分次追肥表施	—	—	23.1—37.6	31.2	—	41.4—57.5

参 考 文 献

- [1] 黑龙江省农业科学院土壤肥料研究所, 土壤肥料, 第4期, 23—25页, 1978。
- [2] 赵振达等, 土壤通报, 第4期, 27—29页, 1979。
- [3] 桑德兰、梁国林, 河南农林科技, 第8期, 11—13页, 1981。
- [4] 晋清源等, 山西农业科学, 第3期, 2—4页, 1981。
- [5] 纪旗, 四川农业科技, 第3期, 28—32页, 1979。
- [6] 潘遵谱等, 江苏农业科学, 第4期, 14—22页, 1980。
- [7] 施秀珠等, 土壤养分、植物营养与合理施肥(孙贻主编), 328—340页, 农业出版社, 1983。北京。
- [8] 朱兆良等, 土壤学报, 15(2): 126—137, 1978。
- [9] 江苏省农业科学院土壤肥料研究所、苏州地区农业科学研究所, 江苏农业科学, 第2期, 1—9页, 1981。
- [10] 潘遵谱等, 江苏农业科学, 第5期, 15—23页, 1982。
- [11] 夏振邦等, 土壤学报, 15(2): 113—125, 1978。
- [12] 潘遵谱等, 江苏农业科学, 第6期, 1—8页, 1983。
- [13] 张玉明等, 土壤肥料, 第4期, 6—8页, 1982。
- [14] 朱兆良等, 土壤学报, 21(1): 29—36, 1984。
- [15] 浙江省农业科学院土壤肥料研究所高产土壤组, 土壤通报, 第1期, 11—13页, 1982。
- [16] 廖先苓等, 农业现代化研究, 第3期, 27—33页, 1983。
- [17] 中国科学院南京土壤研究所编, 中国土壤, 360—375页, 科学出版社, 1978。北京。
- [18] 史居贤、孙庚寅, 江苏农业科学, 第9期, 37—40页, 1982。
- [19] 朱兆良, 土壤, 第4期, 136—140页, 1982。
- [20] 蒋仁成、李德民, 江苏农业科学, 第3期, 1—7页, 1981。
- [21] 陈荣业、朱兆良, 土壤学报, 19(2): 122—130, 1982。
- [22] 贾义等, 土壤通报, 第2期, 27—29页, 1982。
- [23] 黄东迈等, 江苏农业科学, 第10期, 1—9页, 1982。
- [24] 俞金洲等, 土壤, 16(3): 106—107, 1984。
- [25] 朱兆良等, 科学通报, 第11期, 503页, 1977。
- [26] 陈荣业等, 土壤, 第6期, 213—217页, 1978。
- [27] 赫崇岩等, 土壤通报, 第3期, 1—3页, 1981。
- [28] 郭云桃、李家书, 湖北农业科学, 第7期, 14—18页, 1981。
- [29] 郭智芬等, 原子能农业应用, 第1期, 24—29页, 1980。
- [30] 张卫、李永潮, 原子能农业应用, 第1期, 41—45页, 1981。
- [31] 王福钧等, 原子能农业应用, 第2期, 34—39页, 1981。
- [32] Chen R. Y. and Zhu Z. L., Fertilizer Research, 3(1): 63—71, 1982。
- [33] 袁增玉等, 原子能农业应用, 第2期, 51—56页, 1981。
- [34] 刘宗衡、邢竹, 河北农学报, 8(1): 29—32, 1983。
- [35] 刘宗衡、邢竹, 土壤肥料, 第5期, 21—23页, 1983。
- [36] 袁光明、刘启鑫, 原子能农业应用, 第2期, 16—20页, 1982。
- [37] 李仁岗等, 土壤通报, 第4期, 21—22页, 1982。
- [38] 华屋嘉等, 甘肃农业科技, 第6期, 21—24页, 1982。
- [39] 季吟秋等, 浙江农业大学学报, 8(1): 65—71, 1982。
- [40] 吕美林等, 化肥工业, 第2期, 14—17页, 1981。
- [41] 刘宗衡等, 土壤肥料, 第3期, 36—39页, 1980。