

稻田中西吡的硝化抑制效应*

陈克文 卢伟娥

(福建农学院)

稻田施用氮肥,由于硝化和反硝化作用交替进行,引起脱氮损失或淋失,氮素利用率很低。一些稻田氮素平衡研究指出,水稻对氮肥的利用率为20—62%,平均35%;土壤中残留3—21%,平均12%;损失31—61%,平均52%〔1〕。可见稻田中氮素损失相当严重。采用深层施肥和分期施肥等措施,对于提高氮肥利用率有一定效果。添加硝化抑制剂,控制土壤中硝化细菌的活动,从而减少氮素损失,这是提高氮肥肥效的另一重要途径。

目前国内外应用的硝化抑制剂种类繁多,其中以

西吡[2-氯-6-(三氯甲基)吡啶,代号CP]使用较为普遍。本文通过培育试验和田间试验等方法,研究了西吡在稻田土壤中的硝化抑制作用及其对水稻产量的影响,为稻田合理使用西吡提供依据。

一、材料与方法

(一)培育试验 包括实验室研究和田间埋管试验。供试土壤为我院沙县教学农场的冲积性水稻土,土壤风干后,过2毫米筛孔备用,其理化性质如表1。

表1 供试土壤的理化性质

土号	物理性粘粒(%) (<0.01 毫米)	pH	有机质 (%)	全氮 (%)	C/N	NH ₄ -N NO ₃ -N		饱和持水量 (%)
						(毫克/100克土)		
1	34.9	5.3	1.80	0.10	10.4	0.79	未检出	47.7
2	29.0	5.3	1.73	0.08	12.1	2.77	0.78	52.6

注:土号1为第1、2次实验用;土号2为第3次实验用。

每份用干土100克,加入氮素20毫克,并按试验要求,添加5—15ppm西吡。氮肥有碳铵和氯化铵两种,均配成水溶液加入土壤中。西吡配成丙酮溶液洒入土壤,待丙酮挥发后,再调节水分,置于27℃恒温箱中培育,经常补充蒸发损失的水分,定期采样测定NH₄-N和NO₃-N,计算各处理的硝化率。淹水土壤以铵态氮回收率作为硝化抑制效果的指标。其计算公式如下:

$$\text{硝化率}\% = \frac{\text{NO}_3\text{-N}}{\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}} \times 100$$

$$\text{铵态氮回收率}\% = \frac{\text{NH}_4\text{-N}_{\text{空白土壤}} - \text{NH}_4\text{-N}_{\text{累积累量}}}{\text{NH}_4\text{-N}_{\text{添加量}}} \times 100$$

田间条件下的埋管试验,系根据各处理的要求,将土壤、肥料和西吡混合均匀,填入硬质塑料管中,管底扎尼龙纱,插入早稻试验田的保护区中。浇水保持水田状态,水分管理和早稻试验田相同,定期采样分

析。

以上各次试验均设置两个重复。土壤中NH₄-N和NO₃-N的测定均采用蒸馏法。土样用pH1.0—1.5的N KCl+0.1N HCl提取液,振荡浸提1小时,滤液加MgO用蒸汽蒸馏法测定NH₄-N含量,蒸馏残渣加入达氏合金粉使NO₃-N还原为NH₄-N,再用蒸馏法测得NO₃-N含量。

(二)田间试验 在我院沙县教学农场和沙县洋枋大队进行了三次田间试验。试验地土壤为冲积性水稻土,肥力中等,渗漏性较强,土壤的理化性质如表2。各次田间试验小区面积为0.05—0.1亩,三次重复,随机区组排列。试验处理见表7—9。

供试氮肥为碳铵,并配施过磷酸钙和氯化钾作为基肥。西吡剂量按碳铵含氮量的3%计算。关于西吡不同剂量试验,则按试验要求添加不同量的西吡。氮肥表施时,先排除田面水,再撒施肥料,并立即耕耙,使一部分碳铵混入表层土壤中。氮肥深施者,均制成

* 参加田间试验工作的尚有林齐民、刘淑欣、李双霖、薛晓珍等同志。

表2

试验地土壤的理化性质

试验地点	pH	有机质 (%)	全氮 (%)	速效磷 (P ₂ O ₅ , ppm)	速效磷 (K ₂ O, ppm)	质地
本院沙县教学农场	5.2—5.3	1.7—1.8	0.08—0.10	9—14	90—240	轻壤
沙县洋枋大队	5.4	1.21	0.11	10	33	轻壤

注：速效磷：0.1N HCl-钼酸液浸提，钼兰比色法测定。

速效钾：1N 中性 Na₂SO₄ 液浸提，四苯硼钠比浊法测定。

表3

西吡抑制硝化作用的效果

(N毫克/100千克土)

处 理	7天			14天			21天			28天		
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	硝化率 (%)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	硝化率 (%)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	硝化率 (%)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	硝化率 (%)
空白	1.48	0.48	24.5	1.90	0.86	31.2	1.76	1.59	47.5	1.02	2.91	74.0
碳铵	21.81	0.94	4.13	21.56	2.21	9.36	18.82	4.82	20.4	15.99	7.95	33.2
碳铵+CP	21.97	0.30	1.35	22.83	0.52	2.23	23.37	0.65	2.71	23.64	0.79	3.23

注：西吡(CP)用量为6 ppm(以干土重为基础，下同)。

球肥，先耙田再施肥，于四丛稻苗中间塞施，入土深度2—3寸。球肥调制方法有二：1974年早稻田间试验，系将碳铵混合五倍泥土，制成团状肥料直接塞施。其余各次试验，则将碳铵与1.5倍干细土混合，用造粒机压制球肥，再按上法塞施。

二、结果与讨论

(一)西吡对硝化作用的影响

1. 西吡在土壤中的硝化抑制效果，为了代表早作时的水分状况，调节供试土壤的含水量为饱和持水量的60%，使土壤呈湿润状态，作培育试验。

从试验结果(表3)可以看出，单施碳铵的处理，铵态氮含量不断下降，硝态氮含量持续增加，而碳铵添加西吡的处理，抑制了硝化细菌的活动，硝化率显著低于单施碳铵的处理，培育至4周时，其硝化率仅为单施碳铵处理的十分之一。无论是添加或未添加西吡的处

理中，铵态氮和硝态氮总量都相近，两者消长的数量基本上互为补偿。从空白土壤的硝化率可以看出，供试土壤的硝化活性颇高，表明西吡的硝化抑制效果好。

从表3还可看出，碳铵添加西吡的处理，由于硝化作用受到抑制，其硝态氮生成量甚至比空白土壤为低。看来西吡不仅抑制氮肥的硝化过程，同时也影响了土壤中无机态氮的硝化作用，因此有利于土壤中氮素以铵态氮存在，避免淋失。

2. 西吡在淹水土壤中对铵态氮回收率的影响：调节供试土壤水分饱和持水量的130%，使土壤表面保持薄水层，以作淹水培育试验。从表4可以看出，在淹水土壤中，碳铵添加西吡的处理培育2周，铵态氮回收率反而比单施碳铵的处理为低，这可能在硝化作用迟滞期，由于西吡刺激另一些微生物的生长和繁殖，生物固定作用占优势，致使铵态氮回收率略低于对照处理，待微生物消亡后，又可使氮素释放出来。在越过

表4

淹水土壤中配施西吡与铵态氮回收率的关系

(N毫克/100克干土)

处 理	14天		28天		56天	
	NH ₄ -N	回收率 (%)	NH ₄ -N	回收率 (%)	NH ₄ -N	回收率 (%)
空白	8.02		9.53		9.74	
碳铵	27.41	96.9	21.91	61.9	18.61	44.3
碳铵+CP	24.18	80.8	23.99	72.3	20.68	54.7
氯化铵	27.51	97.4	31.74	111.1	33.02	116.4
氯化铵+CP	22.88	74.3	27.73	91.0	32.00	111.3

注：CP用量为10ppm。

了硝化作用迟滞期,即培育4—8周后,铵态氮回收量显著提高。比对照增加21ppm,回收率提高了10.4%。

施用不同品种的氮肥在培育过程中,铵态氮回收率差异很大。培育初期(2周时间内)施用碳铵和氯化铵的铵态氮回收率差异不明显,但培育4—8周后,氯化铵处理中铵态氮回收量明显增加,比碳铵处理增加49—72%。但氯化铵添加西吡的处理却未能提高铵态氮的回收率。这可能由于氯根具有硝化抑制效应,且

氯化铵属生理酸性肥料,能使土壤酸度增加,硝化活性减弱,进一步提高其硝化抑制效果[2]。

3. 田间埋管条件下西吡对铵态氮回收率的影响:在田间淹水土壤中,氮素不仅通过反硝化作用脱氮损失,还会随水淋失;尤其在保肥能力较弱的土壤中,氮素淋失的可能性更大。因此实验室研究结果同田间条件的试验结果必然有较大的差异。需要进一步研究。

田间埋管培育试验结果(表5)表明,碳铵处理的

表5 田间埋管培育下配施西吡对铵态氮回收率的影响
(N毫克/100克干土)

处 理	30天(5月7日测定)		60天(6月6日测定)		90天(7月6日测定)	
	NH ₄ -N	回收率(%)	NH ₄ -N	回收率(%)	NH ₄ -N	回收率(%)
空 白	4.92	—	2.37	—	1.47	—
碳 铵	17.57	63.2	11.53	45.8	1.87	2.0
碳铵+CP	18.44	67.6	15.57	66.0	9.41	39.7
氯化铵	16.76	59.2	—	—	1.08	0
氯化铵+CP	20.01	75.4	—	—	13.73	61.3

注:CP用量为10ppm。

表6 淹水土壤中西吡剂量对铵态氮回收率的影响
(N毫克/100克干土)

处 理	14天		28天		56天	
	NH ₄ -N	回收率(%)	NH ₄ -N	回收率(%)	NH ₄ -N	回收率(%)
碳 铵	27.41	96.9	21.91	61.9	18.61	44.3
碳铵+5ppm CP	24.66	83.2	24.83	76.5	21.18	57.2
碳铵+10ppm CP	24.18	80.8	23.99	72.3	20.68	54.7
碳铵+15ppm CP	24.15	80.6	24.31	73.9	23.07	66.6

注:空白土壤NH₄-N回收量同表4。

铵态氮回收率同实验室研究结果相近。例如,田间培育60天后,碳铵处理中铵态氮回收率为45.8%,而实验室培育56天后为44.3%(表4)。碳铵添加西吡同样比单施碳铵的处理增加了铵态氮回收量。在同样的田间培育条件下,氯化铵添加西吡的处理,也可提高铵态氮回收量,培育时间越长,回收的铵态氮量越显著地高于单施氯化铵的处理,如培育90天后,氯化铵添加西吡者铵态氮回收率达61.3%,而对照处理回收的铵态氮极少。该结果与实验室研究结果截然不同,乃由于氯根在田间条件下容易淋失,据实测结果,氯化铵处理在田间培育一个月后,只有痕迹的氯离子存在。因而由于氯根所引起的硝化抑制作用大大减弱,只有配施西吡,才能提高铵态氮回收量。由此可见,在本试验的土壤条件下,无论是碳铵或氯化铵配施西吡,均有利于土壤中保持较高量的铵态氮供作物吸收。

(二)西吡剂量与水稻增产效应的关系

1. 西吡剂量对铵态氮回收率的影响:西吡施入土壤中,由于挥发和降解为6-氯吡啶羧酸,不断从土壤中消失。为使硝化抑制作用持续进行,需要添加适量的西吡。培育试验证明(表6),培育2周,即硝化作用的迟滞期内,添加西吡的各处理之间回收的铵态氮量差异不显著。培育4周时,以低剂量(5ppm)西吡的抑制效果好,铵态氮回收率高。培育8周后,西吡剂量为15ppm的处理,其铵态氮回收率显著增加,比碳铵对照处理提高22%,比剂量为5ppm和10ppm的两个处理增加9—12%。看来,在淹水土壤中配施高剂量西吡,能延长硝化抑制效应的持续时间,但剂量多少应综合考虑经济效益和西吡对环境质量的影

响。

2. 西吡剂量对水稻产量的影响:西吡用于田间

时,其添加量常按施氮量的百分数表示。从表7看出,碳铵配施不同剂量的西吡,都有一定的增产效果。其中西吡剂量为施氮量的1—3%者,其增产率为8—9%。如西吡剂量提高到施氮量的5%,增产效果反而降低。

结合水稻分蘖动态调查和产量构成因素的分析来看,西吡对水稻产量的影响主要是延长肥效,加强幼穗形成期氮素的供应,提高单株成穗率和增加每穗粒数,促使产量增加。西吡剂量为氮素的5%时,虽然单株分蘖数较多,但成穗率没有相应提高,千粒重反

而减少,增产率下降。

(三)土壤条件与施肥方法对西吡增产效果的影响

本试验的供试稻田为轻壤质冲积性水稻土,土壤肥力中下水平,土质偏砂,渗漏性较大,氮肥容易淋失。试验地土壤反映虽然较酸,但在淹水种稻期间,pH值稳定上升,据田间实测结果,pH值为5.8—6.3,且春夏水稻生长季节,土壤温度较高,有利于硝化细菌的活动,容易脱氮损失或淋失,一般氮肥效应较好,所以使用西吡的效果显著(表7)。

西吡增产效果与施肥方法有关。从表8可以看出,

表7 西吡剂量对早稻产量的影响

处 理	稻 谷 产 量 (斤/亩)	增 产 量 (斤/亩)	增 产 率 (%)
碳 铵	580		
碳铵 + 1% CP	628	48	8.4
碳铵 + 3% CP	631	52	8.9
碳铵 + 5% CP	599	19	3.4

注: (1) $LSD_{0.05}$: 26.9斤/亩; $LSD_{0.01}$: 36.9斤/亩。

(2) 碳铵含N 16.56%, 每亩施用50斤(面肥20斤,追肥30斤。追肥于插秧后10天施用)。

表8 不同施肥法配施西吡对水稻增产的效果

处 理		早 稻 (珍 汕 97)		晚 稻 (691)	
		稻 谷 产 量 (斤/亩)	%	稻 谷 产 量 (斤/亩)	%
表 施	碳 铵	580	100	640	100
	碳铵 + CP	631	109	702	110
深 施	碳 铵	652	113	700	110
	碳铵 + CP	647	112	696	109
LSD(斤/亩)		0.05	26.9	32.0	
		0.01	36.9	47.0	

注: 供试碳铵含N 16.56%, 每亩施用50斤。早稻试验田面肥20斤,追肥30斤。追肥按各处理要求于插秧后10天施下。晚稻试验田分两次追肥, 均按各处理要求于插秧后14天和40天施下。各处理施用等量磷、钾肥。

碳铵深施区比表施区增产稻谷9—12%, 这说明氮肥深施是提高肥效的重要方法。碳铵表施时, 配施西吡的效果也较好, 比对照区增产稻谷9—10%。但碳铵深施时, 添加西吡的效果不显著, 甚至无效。1974年两次田间试验都已证明, 在深施条件下, 用西吡处理的球肥和未加西吡的普通球肥作比较, 稻谷产量基本一致, 而干物质总产量稍有增加的趋势(干物质增加1.5—3.8%), 主要是稻草产量较高。

氮肥表施配合施用西吡的效果较好的原因, 根据稻田氮素损失机理, 是不难理解的。业已证明淹水土壤中, 硝化与反硝化作用交替进行, 是导致脱氮损失的主要原因。在土壤的氧化层, 不但其中存留的氮素

可以进行硝化作用, 并使硝态氮渗入还原层, 引起反硝化脱氮损失, 而且与氧化层毗邻的还原层中的铵态氮, 通过铵离子的浓度梯度, 不断扩散到氧化层, 进行硝化作用后, 再回到还原层而脱氮损失[3]。因此, 在表施条件下, 氮肥配加西吡能防止硝化作用, 从而减少脱氮损失; 而深施条件下, 氮肥处于嫌气环境中, 硝化作用减弱, 氮素损失较少, 所以深施时配加西吡的效果不显著。为了进一步验证深层施肥条件下配合施用西吡的效果, 我们于1977年晚季稻又进行一次田间试验, 其结果如表9所示, 碳铵添加西吡深施者与不加西吡深施的相比, 产量基本一致, 不同施肥时期的结果相近。据此认为, 稻田深层施肥可以不必添加

表9

碳铵添加西吡球肥深施对水稻产量的影响

追肥时期 (插秧后天数)	西吡处理	稻草产量		稻谷产量	
		斤/亩	%	斤/亩	%
15天	未加	772	100	752	100
	添加	728	94	744	99
30天	未加	725	100	762	100
	添加	779	107	738	97

注：晚稻品种为农晚1号。基肥每亩施用氮素4斤，壮尾肥2斤。用碳铵制成球肥深施。并施用等量磷、钾肥。

西吡。

根据碳铵添加西吡表施和碳铵球肥深施效果相近的试验结果(表8)，我们认为，在劳力不足地区，氮肥添加西吡表施，似可代替球肥深施。水稻生长中后期，深层追肥不便，也可将氮肥配加西吡表施。早直播稻田，约经一个多月后淹灌，基肥氮素在淹灌前几乎全部形成硝态氮，将会通过淋溶和反硝化作用造成氮素损失。在这种情况下，氮肥配施西吡将有显著的增产效果。

三、结 语

通过培育试验和田间试验，研究了稻田土壤中西吡的硝化抑制效应及其对水稻的增产效果，主要结果如下：

1. 实验室培育试验证明，碳铵添加西吡能提高铵态氮回收率，但氯化铵添加西吡的效果不明显。然而在田间培育条件下，氯化铵添加西吡者则显著提高了铵态氮回收率。

2. 西吡适宜剂量为氮素用量的1—3%，在轻壤质

水稻土中，碳铵添加西吡表施，比对照区增产稻谷48—62斤/亩，增产率9—10%。

3. 西吡使用效果与土壤条件密切相关。凡土壤供氮水平较低，土质偏砂，容易导致反硝化脱氮损失或淋失者，氮肥配施西吡的效果一般都较好。

4. 西吡使用效果受施肥方法的影响。通过三次田间试验结果证明，氮肥添加西吡表施者，增产效果显著，而深施时，添加西吡的效果不明显。因此，在劳力紧张的情况下，氮肥添加西吡进行表施，可代替碳铵球肥深施。

参考文献

- (1) 朱兆良：土壤中氮素的转化和移动的研究近况。土壤学进展，第2期，1—16页，1979。
- (2) Golden D.C. et al. Plant and Soil, 59:147—151, 1981.
- (3) Reddy K. R., J. Soil Sci. Amer., 40:528—533, 1976.