

云南德宏州稻田硫素失调和 磷石膏的增产效益*

邓纯章 徐 跃 谢克金 荆桂芬 侯建萍

(中国科学院昆明生态研究所)

蒲敏昌

(云南省土壤肥料工作站)

Sulphur Disbalance in Paddy Fields of Dehong Prefecture in Yunnan Province and Effects of Phosphorus-gypsum in Increasing Yields. Deng Chunzhang, Xu Yue, Xie Ke'in, Jin Guifen, Hou Jianping (Institute of Ecology, Academia Sinica, Kunming), Pu Minchang (Working Station of Soil and Fertilizers, Yunnan Province): *Journal of Ecology*, 8(3), 1989, pp.49-52. Based on the researches of natural environments, crops and humane ecology in Dehong prefecture of Yunnan province, it is found that nutrient physiological disbalance of rice created by sulphur shortage is the major cause for the yield reduction and mortality of rice. The shortage grades of sulphur and corresponding counter-measures are discussed. Years of sulphur-fertilizer experiments indicate that phosphorus-gypsum obtains the best effect in increasing yields, the average increment for rice is $1\ 076\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

key words: sulphur disbalance, paddy field, phosphorus-gypsum, Dehong.

德宏州位于东经 $97^{\circ}38' - 98^{\circ}43'$, 北纬 $23^{\circ}46' - 25^{\circ}17'$, 地处云南高原边缘与支那半岛低矮地形的衔接过渡地带, 境内以宽谷盆地为主, 盆地周围为中切割中山山地, 地带性气候属南亚热带山地季风气候, 年均温 19.5°C 以上, 年降雨量 $1\ 400 - 1\ 700\text{mm}$, 州内耕地以水田为主, 大约有 $8.0 \times 10^4\text{ha}$ 多, 地广人稀, 施肥水平较低, 经常发现大面积水稻减产, 甚至出现水稻死亡现象。

1984年以来, 我们对德宏州的大气、降雨、灌溉水、土壤、岩石和作物进行了大量的采样化验和研究, 发现水稻减产和死亡的主要原因之一是因硫饥饿引起的水稻营养生理失调, 其失调的机制又在于稻田生态系统的各个环节缺硫。1985年以来, 受省经委、科委的委托, 昆明生态研究所, 省土肥站和德宏州、县各级农科

部门共同协作, 开展了稻田施用磷石膏为主的几种含硫肥料的田间试验和示范, 结果证明磷石膏的增产效果最好。在此基础上, 于1987年和1988年, 进行了大面积的推广, 现将结果报道如下。

一、稻田缺硫与自然环境的关系

(一) 土壤母质的含硫状况

德宏州的土壤母质以花岗岩及其变质的片麻岩为主, 其次为砂岩、石英岩、蛇纹岩、安山岩、灰岩、长石等。据报道^[1], 地壳平均含硫 0.06% , 没有风化的火成岩含硫 $0.05 -$

* 李光余高级农艺师和李庆龙等同志参加部分研究工作。

作者简介: 邓纯章, 男, 49岁, 高级工程师, 研究室副主任, 主要从事农田生态物质循环的研究, 曾取得科研成果多项, 其中“水稻缺硫的研究”获中国科学院自然科学成果二等奖。

0.3%^[2]，沉积岩含硫比整个岩石圈和火成岩高5倍，由表1可以看出，德宏州八种主要土壤母质的平均含硫量为0.007%，只有地壳平均含硫量的1/9，德宏州火成岩的平均含硫量只有地壳火成岩含硫量的1/10—1/100。可见这里的土壤母质含硫量之低。其风化后形成的土壤含硫量亦相应较低。

表1 德宏州土壤母质的含硫量(%)**
Tab.1 S content of soil in parent materials in Dehong prefecture

母质 Parent material	幅度 Range	平均 Average	样本数 Sample no.
花岗岩	0.003—0.005	0.005	20
片麻岩	0.009—0.011	0.010	20
砂岩	0.001—0.003	0.003	20
蛇纹岩	0.001—0.060	0.014	5
安山岩	0.001—0.003	0.002	5
石英岩	0.001—0.020	0.010	4
长石	0.001—0.024	0.005	5
石灰岩	0.003—0.030	0.011	6
火成岩平均	0.001—0.060	0.005	59
总平均	0.001—0.060	0.007	85

* 分析方法：燃烧碘量法。

表2 德宏州稻田土壤的含硫量*
Tab.2 S content of paddy fields in Dehong prefecture

县名 County	S (%)		有效硫 Available S SO ₄ (ppm)		样本数 Sample no.
	幅度 Range	平均 Average	幅度 Range	平均 Average	
盈江	0.045—0.048	0.014	3—32	13.0	58
瑞丽	0.003—0.020	0.009	3—34	14.0	92
陇川	0.001—0.027	0.008	3—21	7.4	61
陇川农场	0.001—0.01	0.003	5—20	10.8	23
潞西	0.003—0.013	0.009	8—30	16.6	17
梁河	0.008—0.021	0.012	9—24	14.7	8
总平均 (%)	0.001—0.048	0.010	3—34	12.1	257

* 全硫用燃烧碘量法，有效硫用改进的比法。

(二) 土壤的含硫状况

1984—1988年，我们对德宏州各种类型的稻田土壤采样测定，其含硫量为0.001—0.048%，平均为0.010% (表2)，据 Samei 的分析统计^[11]，温带表土的平均含硫量为0.054%，热带表土的平均含硫量为0.011%，据 Walsh 的研究^[13]，一般耕地土壤的含硫量为0.01—0.05%，可见德宏州稻田土壤全硫的含量低

于热带和一般耕地土壤的含硫量，而只有温带土壤含硫量的1/5。由陇川县1987年的田间试验报告，得出土壤含硫量与施硫增产率的拟合曲线方程 $W(\%) = 5.27 + 0.08/S$, $R = 0.9942$, 1% 的显著水平) 见图1。图1说明，当土壤的含硫量低于0.01% 时，属严重缺硫，含硫量愈低施硫后增产率幅度愈大，当土壤的含硫量在0.01—0.02% 时，属一般性缺硫，施硫后，增产率的变幅较小。由表2 得出，德宏州稻田土壤的有效硫含量为3—34ppm，平均12.1ppm，另由图2 (曲线方程 $W(\%) = 4.85 + 88.05/S$, $R = 0.9921$, 1% 显著水平) 表明，土壤的有效硫含量与施硫增产率同样有良好的相关性，有效硫含量在16ppm 以下时，含硫量愈低施硫的增产幅度愈高。初步估计，德宏州缺硫稻田的面积在 5.0×10^4 ha。

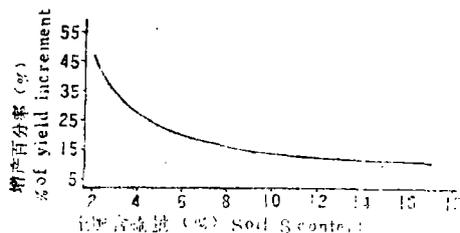


图1 土壤含硫量和施硫增产率间的拟合曲线
Fig.1 Fitted curve between soil S content and yield increment after S application

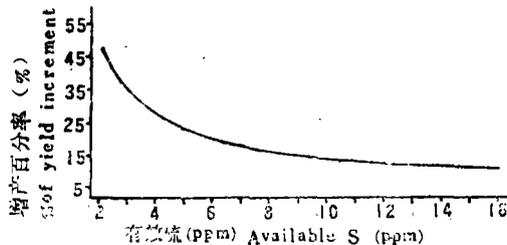


图2 土壤有效硫含量和施硫增产率间的拟合曲线
Fig.2 Fitted curve between soil available S content and yield increment rate after S application

(三) 大气、降雨、灌溉水和渗透水中的硫

据 Слудская 的研究^[4]，大气中的硫主要来源于燃烧煤、化学、冶金工厂的废气、海上尘埃和活火山喷出物，而由于二氧化硫比空气约重一倍，散布的距离只在100km 以内，地处云南西部边境的德宏州，距海洋和国内外工业城市的距离约有300—600km，空气中的含

硫量相应较低。

由几年的分析资料可知，德宏州几个县降雨中的含硫量为0—1.5ppm，平均为0.6ppm，经计算合9—10.5kg·ha⁻¹·年⁻¹，我国南亚热带降雨中的含硫量为29.1kg·ha⁻¹·年⁻¹，德宏州只有它的1/3。

经分析得知，德宏州主要江河的含硫量为0.5—1.5ppm，平均为1.2ppm，与雨季流入稻田灌溉水的含硫量相同，据弗朗西斯科等人的研究^[6]，世界河水的平均含硫量为4.1ppm，而只有当灌溉水的含硫量大于2.3ppm，并施含硫肥料（如硫酸铵）时，水稻才不会因硫不足而减产。

据有关资料^[7]，云南西部年径流量与渗漏量之和约为当年降水量的70%（即流失系数为0.7），经分析，德宏州径流水与渗漏水平均合硫量为1.2ppm，折合15kg·ha⁻¹·年⁻¹，约为降水中含硫量的1.4倍。

二、稻田生态系统中硫的状况和硫肥肥效

在德宏自治州，少数民族没有施农家肥的习惯，过去，一年只种一季水稻，氮磷化肥的施用近年才普遍推广开来，据初步测算，稻田生态系统每年得到的硫为42.7kg·ha⁻¹，支出的硫为45—60kg·ha⁻¹。很显然，对硫素积累的不利环境及气候因素和习惯的耕作方式，是德宏州大面积水田、旱地普遍严重缺硫的主要原因之一。近年来，大面积引进水稻高产杂交品种，扩种生物产量高的甘蔗，改一季水稻为稻麦两季复种，致使作物从土壤中的摄硫量（包括其它元素肥料）成倍增长，若对肥料的增施疏忽，便会形成掠夺式的经营方式。在开展稻田硫素研究的近几年，作者曾在德宏州各县发现大面积水稻缺硫的典型症状，即植株矮化，分蘖力弱，叶尖出现褐黄色细条纹或胡麻斑点，褪色后枯萎，有效穗和穗粒数均较少，一些田块还出现复合缺素症。

1985年以来，在缺硫稻田中施用含硫肥料的田间试验结果表明，以云南磷肥厂的副产物磷石膏的肥效优于天然石膏和硫磺，该厂磷石膏含硫量为15%左右，含P₂O₅1—2%，有促进

土壤团粒结构形成的作用，所含少量污染元素氟经过回收后已低于国家标准。四年来，共做小区试验20组，同田对比72组，初步结果表明，在缺硫地区施磷石膏120—150kg·ha⁻¹（成本费24—30元），可增产稻谷656—1795kg（表3）。1986年，在盈江、瑞丽两县共示范水稻施磷石膏86.3ha，平均增产稻谷1076kg·hg⁻¹，总产增93858kg，增率16.3—35.9%；1987年，在盈江、瑞丽、陇川三县示范水稻施磷石膏3361ha，平均增产稻谷1059kg·ha⁻¹，总产增3.06×10⁶kg，增益190多万元，投入产出比为1:20；1988年，在德宏州的四个县推广水稻施磷

表3 德宏州水稻施磷石膏试验产量
Tab.3 Yield in the experiment of applying Phosphorus-gypsum on paddy fields of Dehong prefecture (kg·ha⁻¹)

试验地区 Experimental region	不施硫 No S application	施硫 S applied	增减土 (%) Increase or reduce	显著性 Significance
岗勐	5486.25	7281.0	+32.7	**
富撒	4811.0	6120.0	+32.7	**
弄岛	6045.0	6700.5	+10.8	*
莲花山	6240.0	7608.0	+21.9	**
莲花山	6045.0	7258.5	+20.1	—
下芒东	3022.5	4443.75	+47.0	—
芒景	3712.5	4672.5	+25.9	—
李曼寨	4485.0	5377.5	+19.9	—
项姐	3772.5	5055.0	+34.0	—
老方寨	3780.0	4927.5	+30.4	—
团结	7185.0	8047.5	+12.0	—
平均	4944.0	6125.75	+23.9	—

** 小区试验极显著 * 小区试验显著 — 同田对比 岗勐为施石膏

表4 施硫对水稻氮/硫比率和叶绿素含量的影响
Tab.4 Influence of sulphur application on the N/S ratio and chlorophyll content of rice

项目 Item		N (%)	S (%)	N/S	叶绿素
					mg·(g鲜叶) ⁻¹ Chlorophyll [mg·(g fresh leaf) ⁻¹]
分蘖期 叶片	不施硫	2.49	0.13	19.2	1.20
	施硫	2.13	0.22	9.7	1.73
收获期 剑叶	不施硫	1.87	0.15	12.5	—
	施硫	1.38	0.17	8.1	—
稻粒	不施硫	1.54	0.11	14.0	—
	施硫	1.68	0.15	11.2	—

石膏 $1.1 \times 10^4 \text{ ha}$, 经现场验收, 小区试验增产稻谷 $1350 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, 同田对比增产稻谷 $600 - 2100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, 1989年计划推广 $3.3 \times 10^4 \text{ ha}$ 。

硫含量和氮/硫比率同样被认为是衡量水稻植株中硫状况的指标, 经分析得知, 缺硫水稻经施用含硫肥料后, 植株几个生育期不同部位的硫含量均有不同程度的增加(表4), 氮/硫比率也相应降到12以下, 分蘖期叶片叶绿素的含量增加 $0.53 \text{ mg} \cdot (\text{g 鲜叶})^{-1}$, 稻米的品质由于蛋白质含量增加 0.88% 而有所提高。

三、结果讨论

1. 云南德宏州大气、降雨、灌溉水、土壤母质、土壤的含硫量全都低于正常值, 径流系数又较大, 稻田生态系统中, 硫素的支出大于收入, 硫素的恶性循环导致作物营养生理失调而减产或死亡。近年来, 水稻杂交高产品系和冬季复种面积迅速扩大, 从土壤中摄走的硫相应增加, 在国内外含硫化肥比例减少的一致趋势下, 建议把增施磷石膏等含硫肥料(稻田每年施 $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 以上纯硫)作为一项常规农业生产措施, 以满足作物正常生长发育的

(上接28页)

高辅助能的效率。

④注意建立合理的生态系统结构, 提高光能利用率。目前许多存在的高畦深沟结构系统, 畦上多是单一作物, 沟里也没有利用, 造成养分多级利用效率低, 光能、土壤和生物资源得不到充分利用。所以要依地下水位和利用情况, 建造合理比例的沟畦结构, 利用畦面间作和水沟种养, 形成立体结构, 可提高光能和土地利用效率。

参 考 文 献

- [1] Groffman, P.M. et al., Nitrogen cycling as affected by interaction of components in a Georgia Piedmont agro-ecosystem, *Ecology*, 67(1), 80-87, 1986.
- [2] Wen Dazhong and Pimentel, D., Energy use

需要。

2. 德宏州土壤质地以砂质为主, 水溶性好的硫肥及其它化肥, 流失、渗漏均比较严重, 排灌系统应重点修理和进一步完善, 形成合理的网络结构, 既能适时灌溉, 又能减少“跑马水”和洪涝灾害。

3. 豆科绿肥含有较多的硫素, 有富集硫的作用, 建议大力推广种植, 农家肥对增加本州砂质土壤的团粒结构有重要意义, 建议改进畜厩和推广沼气, 多渠道、多途径增加有机肥的来源。

参 考 文 献

- [1] Samel, L.T., Soil fertility and fertilizers, Third ed. 279, 1976.
- [2] D.C. Whitehead., Soil and fertilizers, (27), 1, 1964.
- [3] Walsh, L.M., Soil testing and plant analysis., USA Sca, Inc. 1973.
- [4] 李厚实译: 有关土壤与植物营养的硫循环观点, 农业译丛, (9), 58-65, 1964.
- [5] 刘崇群等: 我国南亚热带闽滇地区降雨中养分含量的研究, 土壤学报, 21(4), 1984.
- [6] T.F. Palalon., Sulphur nutrient of rice, The Sulphur Institute, Washington, 1971.
- [7] 中国科学院: 中华人民共和国自然地图集, 70, 1964.

in crop system in northeastern China, in Food and Energy Resources (D. Pimentel ed.), 91-120, Academic Press, New York, 1984.

- [3] Han Chunru and Frank Golley, Energy analysis of advanced collective farms in north China, *Agro-ecosystem and Environment*, 13(3-4), 217-240, 1985.
- [4] 张必洪等: 湖北省四湖地区农田生态系统的能流分析——以洪湖县小巷农场为例, 农业现代化研究, (2), 22-26, 1986.
- [5] 江苏太湖地区农田生态协作组: 江苏太湖地区几种种植制度的物质循环状况, 土壤通报, (3), 1-5, 1983.
- [6] 骆世明等: 农业生态学, 湖南科学技术出版社, 450-456, 1987.
- [7] 刘天福等: 农业投资经济效益研究, 农业出版社, 417-503, 1985.
- [8] 文启孝等: 土壤有机质研究法, 农业出版社, 19-38, 285-295, 1984.
- [9] 中国土壤学会农业化学专业委员会: 土壤农业化学常规分析方法, 科学出版社, 1983.