

影响安徽省土壤中有效钼含量的因素研究

张 继 榛

(安徽省农业大学, 230036)

摘 要

试验结果表明,影响安徽省土壤有效钼含量的因素主要有:(1)成土母质的影响:硅质页岩和湖积物发育的土壤有效钼含量最高,其平均值分别为 0.176 和 0.157 $\mu\text{g/g}$;而黄土沉积物、黄土古河(湖)沉积物及紫色砂岩发育的土壤有效钼含量最低,平均为 0.005—0.070 $\mu\text{g/g}$,此类母质发育的土壤有 90%的有效钼都在临界值 0.15 $\mu\text{g/g}$ 以下。(2)水、旱种植不同的影响:统计了 140 个种植水稻的水稻土壤有效钼含量一般都在 0.15 $\mu\text{g/g}$ 上下;而 81 个种旱作物的旱地土壤有效钼都在 0.100 $\mu\text{g/g}$ 以下。(3)水稻土亚类间水湿程度的影响:受水湿影响越深土壤有效钼含量越趋于增加,一般潜育型水稻土平均高于潴育型、渗育型和淹育型。(4)施磷的影响:在一定的施磷水平下,土壤有效钼及作物体内钼的含量均有增加;而施磷过量会产生反效果;磷对土壤有效钼含量的影响程度是因土类不同而异。(5)种植作物会引起土壤有效钼的亏损,但部分可用秸秆还田来弥补。

关键词 土壤有效钼,成土母质,旱地土壤,水稻土,施磷水平,土壤钼亏损

一、前 言

根据全省各地 13 个主要土类,共 15 种母质发育的 1400 个土壤(其中有 1006 个耕层,394 个剖面)样品,所进行的土壤有效钼含量及分布状况的研究,曾于 1990 年作过报道^[1]:安徽全省的土壤有效钼含量分为四级,即 <0.1 ; $0.1-0.15$; $0.15-0.2$; $>0.2\mu\text{g/g}$,其中 0.15 $\mu\text{g/g}$ 为临界下限; 0.2 $\mu\text{g/g}$ 为临界上限。全省有 88% 的土壤有效钼低于 0.15 $\mu\text{g/g}$,尤其皖西和皖北的土壤缺乏有效钼比江淮、沿江及皖南更严重。全省土壤有效钼含量变幅很大,其变幅范围从 0.003 到 0.731 $\mu\text{g/g}$ 之间。作者在 1987—1990 年的研究过程中,同时对稻、麦、豆、玉米等作物进行了系统的田间和盆栽试验,基本上弄清了安徽省土壤有效钼的现状及作物对土壤钼需求的紧缺情况。为了合理施用钼肥及有针对性地生产微肥提供理论依据,为此,对影响安徽土壤有效钼含量和分布的几个因素,进行了进一步的探讨。影响土壤有效钼含量及分布频率因诸多因素而异。Pendias 等^[12]和 B. E. Devies^[16] 以及其它研究者^[4,11] 先后对此作了多方面研究。本试验所研究的影响因素主要有成土母质、水旱不同种植情况、水湿影响程度不同以及不同施磷水平等。

二、材料和方法

供研究的土壤样品(包括盆栽、田间等辅助试验的土壤)有效钼的测定均采用 Tamm 溶液浸提振荡 8 小时(液:土=10:1),示波极谱测定;植株钼经湿消化后,亦采用示波极谱法测定。

三、结果与讨论

(一) 成土母质对土壤有效钼含量的影响

1. 不同母质发育的土壤有效钼含量及丰缺频率表现出差异 由于不同母质中的钼含量存有很大差异,所以直接影响到土壤中有效钼含量的状况,过去曾有过一些报道^[2,3,14]。本研究的结果(表1)再次说明了这一观点,硅质页岩和湖积物土壤有效钼含量最高,平均值分别为0.176和0.157 $\mu\text{g/g}$,且含量达中、高水平的比其它母质发育的土壤为多,分布频率也比其它母质发育的土壤高。而黄土冲积物、黄土古河(湖)及紫色砂岩发育的土壤中,分别有94%、100%和94%的土壤其有效钼都低于临界下限0.15 $\mu\text{g/g}$,实际含量平均分别只有0.069 \pm 0.004,0.050 \pm 0.002和0.069 \pm 0.005 $\mu\text{g/g}$ 。河流沉积物及石灰岩母质发育的土壤有效钼状况较上述三种母质的情况略好,平均含量十分接近于0.15 $\mu\text{g/g}$ 。这些研究结果与中科院南京土壤所1980年发表的结果基本一致^[3]。

表1 不同母质发育的土壤有效钼均值($\mu\text{g/g}$)及分布频率(%)

Table 1 Average contents ($\mu\text{g/g}$) and distribution frequencies (%) of available Mo in soils derived from various parent materials

母 质 Parent material	土壤数 Number of soils	土壤有效钼均值 Mean available Mo ($\mu\text{g/g}$)	分布频率 Distribution frequency			
			Very low (Mo<0.1 $\mu\text{g/g}$)	Low (Mo 0.1—0.25 $\mu\text{g/g}$)	Medium (Mo0.15— 0.2 $\mu\text{g/g}$)	High (Mo>0.2 $\mu\text{g/g}$)
酸性岩 AR	87	0.086 \pm 0.007	65	20	10	5
紫色岩 PR	85	0.069 \pm 0.005	76	18	4	2
硅质页岩 SS	14	0.176 \pm 0.041	43	14	14	29
碳酸盐岩 CR	47	0.126 \pm 0.016	53	14	16	17
泥质页岩 MS	50	0.093 \pm 0.009	70	18	10	2
第四纪红土 Q ₄	58	0.092 \pm 0.005	67	17	16	0
下蜀系黄土 XL	228	0.094 \pm 0.006	75	18	3	4
山河冲积物 MRA	13	0.088 \pm 0.007	62	38	0	0
长江冲积物 CA	43	0.084 \pm 0.009	79	7	2	12
河流冲积物 RA	89	0.138 \pm 0.011	51	20	11	18
黄土冲积物 LOA	100	0.069 \pm 0.004	86	8	5	1
湖积物 LS	34	0.157 \pm 0.019	35	24	15	26
黄土古河冲积物 ALL	102	0.050 \pm 0.002	96	4	0	0

2. 同一土类由于母质不同土壤的有效钼表现出的差异: 表2以水稻土、棕红壤、潮土及黄棕壤为例,说明在同一土类中由于母质不同土壤有效钼也表现出明显差异。由九种母质形成的152个水稻土中,河流沉积物和碳酸盐母质发育的水稻土有效钼含量最高,平均分别为0.178和0.152 $\mu\text{g/g}$ 属中等钼水平;酸性岩和紫色岩水稻土次之,平均值为0.102 $\mu\text{g/g}$;第四纪红土、下蜀黄土及长江冲积物发育的水稻土有效钼含量最低,仅在0.04—0.07 $\mu\text{g/g}$ 。由六种母质发育的117个旱地棕红壤中,硅质页岩发育的土壤有效钼含量最高,平均为0.153 $\mu\text{g/g}$ 属中等钼水平;从安山岩和紫砂岩发育的土壤次之,平均为

表 2 发育于不同母质的水稻土、棕红壤、潮土及黄棕壤中有效钼含量的差异

Table 2 Available Mo variations in paddy soils, brown-red soils, cultivated meadow soils, and yellow-brown soils derived from various parent materials.

土类 Soil type	母质 Parent material	地 点 Location	土样数 Number of sample	钼含量变幅($\mu\text{g/g}$) Mo content range ($\mu\text{g/g}$)	Mo 均值 ($\mu\text{g/g}$) Mean Mo content ($\mu\text{g/g}$)
水稻土	河流冲积物	宣城, 宁国, 六安等五县	29	0.048—0.424	0.178
	第四纪红土	宣城, 广德	17	0.005—0.193	0.072
	下蜀系黄土	广德, 寿县, 巢湖等五县	39	痕—0.121	0.060
	紫色岩	广德, 天长, 休宁, 黟县	6	0.040—0.145	0.102
	湖积物	合肥, 繁昌, 休宁等七县	28	0.057—0.655	0.192
	酸性岩	霍山, 泾县, 广德, 黟县	9	0.019—0.148	0.105
	泥质页岩	广德, 宁国	5	0.040—0.124	0.075
	碳酸盐岩	祁门, 石台, 泾县	13	0.031—0.381	0.152
	长江冲积物	沿江	6	0.030—0.057	0.040
棕红壤	第四纪红土	歙县, 休宁等 13 县	38	0.031—0.577	0.106
	酸性岩	太平, 绩溪等 10 县	25	0.005—0.251	0.107
	泥质页岩	怀宁, 祁门等 9 县	29	0.028—0.611	0.098
	硅质页岩	休宁, 石台, 广德	6	0.064—0.320	0.153
	碳酸盐岩	祁门	4	痕—0.068	0.042
	其它	枞阳, 太湖, 郎溪等 10 县	15	0.032—0.388	0.134
潮土	黄土冲积物	阜阳, 界首	22	0.017—0.180	0.082
	长江冲积物	安庆市部分县	32	0.020—0.248	0.066
	河流冲积物	合肥, 天长	6	0.074—0.466	0.200
黄棕壤	下蜀黄土	霍邱, 巢湖, 六安等 6 县	28	0.003—0.174	0.075
	酸性岩	金寨, 六安, 凤阳	6	0.091—0.328	0.150

0.134 $\mu\text{g/g}$, 接近临界下限; 第四纪红土及花岗岩(酸性岩)发育的土壤再次之; 而石灰岩发育的土壤有效钼含量最低, 平均仅为 0.042 $\mu\text{g/g}$ 属钼极缺水平。表 2 还例举了由三种母质发育的 60 个潮土中, 河流冲积物发育的土壤有效钼含量最高, 平均为 0.200 $\mu\text{g/g}$, 远远高于长江冲积物或近代黄土沉积物发育的土壤(后二者的土壤有效钼都在 0.1 $\mu\text{g/g}$ 以下)。发育于酸性花岗岩母质的黄棕壤有效钼平均为 0.15 $\mu\text{g/g}$, 明显地高于发育在下蜀黄土的黄棕壤有效钼。0.075 $\mu\text{g/g}$ 。由此可见, 表 2 的结果再次说明了母质对土壤有效钼含量的重要影响。

(二) 水、旱种植情况的不同对土壤有效钼含量的影响

水、旱种植制度的不同, 其土壤有效钼含量有明显的差异, 据全省各地的调查资料证明, 旱地土壤中有效钼含量明显地低于种水稻的水稻土(表 3)。以安徽省面积最大的丘陵区——天长和凤阳两县的土壤为代表, 15 个旱地有效钼平均含量为 0.087 $\mu\text{g/g}$, 而相同母质的 48 个水田土壤有效钼却达 0.135 $\mu\text{g/g}$; 同样在本省南部的石台及祁门两县土壤中, 旱地有效钼也明显低于水田土壤的有效钼; 还有合肥地区及皖南、大别山区的几个县的土壤, 旱地和水田土中有效钼也呈同样的趋势。

(三) 水稻土中水湿程度不同对有效钼含量的影响

表 3 水、旱不同种植条件下的土壤有效钼含量 ($\mu\text{g/g}$)Table 3 Comparison of available Mo content ($\mu\text{g/g}$) between upland and paddy soils

母 质 Parent material	地 点 Location	土 类 Soil type	土样数 Number of sample	Mo含量变幅 ($\mu\text{g/g}$) Mo content range ($\mu\text{g/g}$)	Mo 均值 ($\mu\text{g/g}$) Mean Mo content ($\mu\text{g/g}$)
下蜀黄土	合肥地区	水稻土	46	0.024—0.193	0.064
		黄褐土 (旱地土)	39	0.020—0.224	0.054
下蜀黄土	天长,凤阳	水稻土	48	0.060—0.468	0.135
		黄褐土 (旱地土)	15	0.051—0.133	0.087
酸性岩	岳西,太平, 旌德等县	水稻土	29	0.016—0.607	0.093
		棕红壤 (旱地土)	14	0.033—0.257	0.089
		黄棕壤 (旱地土)	10	0.016—0.240	0.075
碳酸盐岩	石台,祁门	水稻土	17	0.046—0.381	0.147
		棕红壤 (旱地土)	3	0.053—0.068	0.062

表 4 水稻土不同亚类有效钼含量 ($\mu\text{g/g}$) 比较Table 4 Comparison of available Mo content ($\mu\text{g/g}$) among various types of paddy soils

地 点 Location	母 质 Parent material	水稻土亚类 Paddy soil type	有效钼含量 ($\mu\text{g/g}$) Available Mo ($\mu\text{g/g}$)
岳西县汤池乡	酸性岩	潜育型	0.016
		潜育型	0.257
岳西县连云乡	酸性岩	潜育型	0.021
		潜育型	0.069
桐城县朱桥乡	下蜀黄土	潜育型	0.076
		潜育型	0.138
太平县三口乡	酸性岩	潜育型	0.034
		潜育型	0.127
肥西县李祠	下蜀黄土	淹育型	0.052
		潜育型	0.067
凤阳县江山乡	下蜀黄土	漂洗型	0.068
		潜育型	0.139
天长县乔田乡	下蜀黄土	漂洗型	0.134
		潜育型	0.161

研究发现,在不同水湿程度下生成的水稻土亚类中,由于水湿程度的影响其有效钼含量表现出明显差异,表 4 中几对土壤例子,其母质、耕作种植等情况基本一致,仅仅因根据

水湿程度不同而划分成的亚类, 结果表明: 潜育型水稻土有效钼含量显著低于潜育型水稻土, 而淹育型水稻土又低于潜育型水稻土。而且还可以看出受水湿状况影响程度越深, 有效钼含量越趋高。但当地的漂洗型水稻土, 因漂洗层多在 20cm 以内, 这种土壤的养分和粘粒易于流失, 因此, 其有效钼含量相对较低。

关于水湿程度对土壤有效钼含量的影响情况, 前人 Samuel 曾引用了 Fleming(1973) 的试验结果阐明在排水良好的土壤中有有效钼仅为 $0.39 \mu\text{g/g}$, 排水不充分的土壤有效钼为 $0.44 \mu\text{g/g}$, 而排水不好的土壤有效钼可高达 $2.36 \mu\text{g/g}$, 他认为排水不好的土壤容易积累高量的有效钼, 因而可使植物体内积累的钼也随着过量地增加, 甚至会使牧草对牲畜产生毒害^[19]。由此可见, 我们所研究的土壤水湿程度对土壤有效钼含量的影响与前人研究的相一致。

(四) 施入不同量的磷对土壤中有有效钼含量的影响

1988 年我们在中性至碱性土壤中施入磷酸盐, 结果 15 天后土壤有效钼均有下降, 而至 30 天时又转而上升, 其受影响程度是因施磷水平和土壤类型不同而异^[5] (表 5)。同年我们又在施磷对大豆和玉米幼苗吸收积累土壤钼的研究中也观察到施磷对土壤钼有影响^[10], 汪新民等(1987—1989)的研究也表明了施磷对土壤有效钼影响的类似情况。

据表 5 统计, 施磷水平 (x) 与土壤有效钼 (y) 之间是呈极显著曲线相关关系:

(1) 施磷与棕红壤中有效钼的相关性

$$15 \text{ 天: } y = 0.14 - 0.001x + 5.81 \times 10^{-6}x^2 \quad r = 0.964^{**} \quad n = 9$$

$$30 \text{ 天: } y = 0.17 + 0.0005x - 2.73 \times 10^{-6}x^2 \quad r = 0.881^{**} \quad n = 9$$

(2) 施磷与黄褐土中有效钼的相关性

$$15 \text{ 天: } y = 0.095 - 0.0007x + 3.8 \times 10^{-6}x^2 \quad r = 0.761^* \quad n = 9$$

$$30 \text{ 天: } y = 0.095 + 0.0023x - 3.42 \times 10^{-5}x^2 + 1.31 \times 10^{-7}x^3 \quad r = 0.960^{**} \\ n = 9$$

(3) 施磷与砂姜黑土中有效钼的相关性

$$15 \text{ 天: } y = 0.727 + 0.0054x - 0.0001x^2 + 4.47 \times 10^{-7}x^3 \quad r = 0.923^{**} \quad n = 9$$

$$30 \text{ 天: } y = 3.3 - 0.001x + 3.66 \times 10^{-6}x^2 \quad r = 0.805^{**} \quad n = 9$$

在棕红壤、黄褐土、砂姜黑土、灰潮土及黄潮土在施入磷酸盐 $10-75 \mu\text{g/g}$ 后, 土壤对钼的吸附量都降低了, 磷的浓度越高对钼吸附量的下降幅度越大, 其中碱性土壤表现更为明显^[6]。Roy 等人(1986)认为土壤在吸附阴离子中, 其吸附力有大有小, 他们证明从被土壤吸附的强弱和难易程度来看, 依次是磷酸根 > 砷酸根 > 钼酸根^[18]。Barskad 认为, 过磷酸盐对增加酸性土壤中钼的有效性影响最大^[19]。Davies 引用了 Mulder 用黑曲霉法的试验, 证明了施磷酸盐肥料增加了土壤有效钼的含量^[16]。Barrow (1969, 1974) 也指出过磷、钼、硫三者的阴离子在土壤中产生竞争性吸附, 其中钼酸根离子的吸附力是较小的^[14]。我们认为, 磷酸盐对土壤有效钼的影响是复杂的, 但磷酸盐对土壤吸附性钼酸根的解吸作用可能有助于土壤被 Tamm 液浸提性钼量的增加。

(五) 连年种植引起土壤有效钼的亏损

种植作物对土壤有效钼必然会产生消耗。E. B. Davies (1980) 的研究中曾提到: 在澳大利亚南部的塔斯马尼亚 (Tasmania) 和北部等地区, 谷物种植 80—100 年后土壤中

表 5 施用不同水平的磷对土壤有效钼含量的影响 ($\mu\text{g/g}$)
 Table 5 Influence of P application level rate on soil available Mo

土 类 Soil type	施 P 水平 (x) ($\mu\text{g/g}$) P application ($\mu\text{g/g}$) (x)	施磷后土壤有效钼 (y) Soil available Mo after P application ($\mu\text{g/g}$) (y)	
		第 15 天 15th day	第 30 天 30th day
棕红壤 (有效 Mo = $0.177\mu\text{g/g}$)	0	0.162	0.169
	5	0.142	0.173
	10	0.125	0.179
	30	0.118	0.182
	50	0.109	0.189
	70	0.099	0.199
	90	0.105	0.190
	110	0.106	0.186
	150	0.128	0.183
黄褐土 (有效 Mo = $0.090\mu\text{g/g}$)	0	0.086	0.093
	5	0.096	0.107
	10	0.086	0.120
	30	0.066	0.147
	50	0.086	0.143
	70	0.071	0.133
	90	0.066	0.120
	110	0.061	0.117
	150	0.086	0.113
砂姜黑土 (有效 Mo = $0.298\mu\text{g/g}$)	0	0.275	0.290
	5	0.305	0.318
	10	0.314	0.316
	30	0.320	0.300
	50	0.370	0.295
	70	0.315	0.284
	90	0.235	0.279
	110	0.218	0.207
	150	0.280	0.265

钼严重地被消耗^[13]。按联合国粮农组织的资料,每公顷生产 7 吨小麦,要从土壤中移去 0.013kg 钼^[17]。用这个量计算,如果约每亩生产 500kg 小麦则需移去 0.9 克的钼。根据我们 1987—1989 年对麦、稻、豆和玉米的有关试验中,初步发现每亩谷物大约要从土壤中移去 $0.5—1$ 克有效钼^[7-10]。

安徽省土壤大面积地严重缺钼与连年种植而又未施过钼肥有密切关系,缺钼目前已成为当地农业生产中的限制因素之一,虽然可通过秸秆还田,但是远不足以补偿。因从作者的试验中可得知,目前当地几个主要的稻种其成熟期的稻草、稻茬(地上部分)及糠壳中钼的浓度分别只有 1.43 、 2.13 和 $3.43\mu\text{g/g}$ ^[7];麦秸钼浓度约仅在 $0.4\mu\text{g/g}$ 左右^[9];六周龄玉米地上部分和根的钼分别也只有 $0.34—0.66$ 和 $0.64—0.98\mu\text{g/g}$ ^[10];成熟大豆的地上部和根其钼分别为 $3.23—4.91$ 和 $1.62—3.63\mu\text{g/g}$ ^[9]。如按每亩施以 100kg 秸秆还田,也只能提供一茬作物所需钼的 10% 左右,而且更不能平衡土壤有效钼的盈亏。因此,直接补

施钼肥,并结合通过合理施肥加以调动土壤中原有钼的有效性,这样才有可能改善土壤有效钼的状况。在近几年全省许多地区的实践中也充分证明了这一点。

参 考 文 献

1. 张继祿,1990: 安徽省土壤有效钼含量与分布。安徽农学院学报,第4期,250—256页。
2. 刘铮、朱其清等,1982: 我国缺乏微量元素土壤及其区域分布。土壤学报,第19卷3期,213—216页。
3. 刘铮等,1980: 土壤中的钼与钼肥的应用。《中科院微量元素学术交流会汇刊》,114—123页,科学出版社。
4. 中国科学院贵阳地球化学研究所,1977: 微量元素钼在中国土壤中的含量区划初探。环境地质与健康,第1期,30—420页。
5. 程素贞、张继祿,1989: 不同施磷水平对土壤钼有效性的影响。安徽农业科学,第1期,37—42页。
6. 汪新民,1990: 土壤对钼的吸附及土壤供 Mo 能力。安徽农学院学报,第4期,280—287页。
7. 张继祿、程素贞、章力干,1990: 水稻钼营养规律初探。水稻研讨会论文集,85—92页,中国科技大学出版社。
8. 程素贞、罗孝荣,1990: 大豆对 Mo 与氮、磷、钾的吸收分配动态及相互关系初步研究。大豆科学,第9卷3期,241—246页。
9. 张继祿、范先虎,1990: 冬小麦利用土壤有效 Mo 研究。安徽农学院学报,第4期,300—307页。
10. 张继祿、倪南,1990: 磷水平对玉米、大豆幼苗钼营养状况的影响。安徽农学院学报,第4期,308—312页。
11. Krauskoff, K. B. 1984: 微量营养元素的地球化学, J. J. 莫尔维特等编《农业中的微量元素》,20—23页,农业出版社。
12. Alina, Kabata, Pendas et al, 1984: "Trace elements in soils and plants", CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, USA, 199—204.
13. Adama, F., 1980: Interaction of phosphorus with other elements in soils and plants. Proc. Symp. Am. Soc. Agro., Madison Wisconsin USA, 655.
14. Barrow, N. J., 1974: On the displacement of adsorbed anions from soils: 1. Displacement of molybdate by phosphate and hydroxide. Soil Sci., 116: 423—431.
15. Barshad, I., 1951: Factors affecting the molybdenum content of pasture plants, I, Nature of soil molybdenum growth of plants and soil pH. Soil Sci., 71: 297—313.
16. Davies, E. B., 1956: Factors affecting molybdenum availability in soils. Soil Sci., 80: 209—211.
17. Kommler, G., 1974: Modern aspects of wheat manuring, IPI-Bulletin, No 1, p.28.
18. Roy, W. R., Hassett, J. J., and Griffin, R. A., 1986: Competitive coefficients for the adsorption of arsenate, molybdate, and phosphate mixtures by soils. Soil Sci. Soc. Am, J., 50: 1176—1182.
19. Samuel, I. Tisdale et al, 1984: "Soil fertility and fertilization", 4th Edition, Macmillan publishing House, NY, USA, 378—382.

FACTORS RELATED TO CONTENT OF AVAILABLE MOLYBDENUM IN SOILS OF ANHUI PROVINCE

Zhang Jizhen

(*Agricultural University of Anhui Province, 230036*)

Summary

Factors related to the content of available Mo in soils of Anhui Province were investigated.

Soils derived from siliceous shale and lacustrine sediments had the highest available Mo content, averaging 0.176 and 0.157 $\mu\text{g/g}$ respectively; soils from the inundated deposits of the Yellow River, loess fossil lake deposits and purple sand stones had the lowest available Mo content, averaging 0.005—0.070 $\mu\text{g/g}$, with 90% of the soils below the critical value of 0.150 $\mu\text{g/g}$ soil.

Available Mo content of 140 paddy soils were about 0.150 $\mu\text{g/g}$, but those of 81 upland soils below 0.100 $\mu\text{g/g}$. Variation of Mo content were found among various paddy soil types. Gleyed paddy soils contained apparently more available Mo than other paddy soils.

The effect of P addition on soil available Mo content varied with the P rate, soil type, time, and cropping system.

The shortage of soil available Mo due to long-term cropping was a serious problem in the agricultural production of Anhui Province, though it could be partly supplemented by returning crop residue to the fields. Extra fertilization of Mo is needed.

Key words Soil available Mo, Parent material, Upland and paddy soils, P-fertilization, soil molybdenum consumption