

S 791.254  
赤黄壤酸化后对油松种子萌发的影响

唐鸿寿

(中国科学院生态环境研究中心系统生态开放研究室 北京 100085)

**摘要** 赤黄壤酸化后,化学性质和物理性质均发生明显变化,pH 值下降,并淋溶出大量对植物生长有害的 Al 离子,土壤团粒结构受到破坏,土壤的保水性增加,通气性变差,粘度增加,油松种子在酸化后的赤黄壤中萌发率下降,其直接原因是土中 Al 离子大量增加,间接原因是土壤 pH 值下降( $\text{pH} \geq 3.5$ )。部分油松种子萌发后,因土壤粘度增加,针叶被粘在上内,最终导致幼苗死亡。赤黄壤粘度增加是由于土壤酸化后,粒径普遍变小,尤其是小于  $250\mu\text{m}$  的小团粒数量增加造成的。

**关键词** 赤黄壤酸化,油松萌发,铝离子,土壤团粒,土壤粘度。

种子萌发

EFFECT OF RED-YELLOW SOIL ACIDIFICATION ON  
SEED GERMINATION OF CHINESE PINE

TANG Hong-Shou

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085, China)

**Abstract** After acid treatment, the chemical and physical properties of red-yellow soil significantly changed. The pH decreased, and numerous Al ions, which are harmful to plant growth, were leached. The structure of soil aggregates was damaged, followed by an increase of soil stickiness and water maintainability, and a decrease of air penetrability. The germination of Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis* Carr), seeds decreased after sowed in red-yellow soil acidified by  $\text{H}_2\text{SO}_4$  solution. The direct cause was an increase of a large number Al ions, and the indirect cause was pH decrease ( $\text{pH} \geq 3.5$ ). After a part of seeds germinated, for the stickiness of soil increased, the needles were stucked together in the soil, and finally the seedlings died. The stickiness increase of red-yellow soil was caused by the universal change because of the diameter of soil aggregates which became to be smaller, and by the increase of micro-aggregates which are less than  $250\mu\text{m}$ .

**Key words** red-yellow soil acidification, Chinese Pine germination, Al ion, soil aggregate, soil stickiness.

酸沉降污染在我国西南地区较为严重,四川、贵州两省多数地区均有不同程度的酸雨,且有逐渐扩大的趋势<sup>[1,2]</sup>。自 70 年代末,在西南地区多处发生因酸沉降污染而引起的大面积森林衰亡<sup>[3,4]</sup>。1996 年下半年

本研究得到 Tsumugu Totsuka 教授和 Masatoshi Aoki 教授的热情指导,在此表示感谢。

收稿日期:1998-05-04,修改稿收到日期:1998-09-05。

对四川省茂县的考察发展,当地也有酸沉降发生,而且有大面积油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)死亡<sup>\*</sup>。油松死亡的原因较为复杂,但酸沉降污染是不能排除的重要原因之一,因此,开展酸沉降污染对油松生长影响的系统研究十分必要。考虑到酸沉降不仅可以直接影响森林的生长,还可以通过酸化土壤间接对森林的生长造成影响<sup>[1]</sup>。因此在开展酸沉降对油松生长影响的系统研究中,应将土壤酸化对油松生长影响作为研究内容之一。为保证试验条件均一,不受外界环境干扰,本试验全部在人工气候箱内进行,光照为自然光(太阳光),温、湿条件模拟当地雨季油松种子播种季节的一般自然气候条件。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

植物材料为油松,种子由北京市林木种子站提供。实验用土系母岩为非固结性沉积岩的赤黄壤,采自日本国爱知县丰桥市实验农场,采土深度 0~40cm,备用土过 5mm 筛。

### 1.2 土壤酸化处理

按每升土加入 100ml 0.3N、0.6N 和 0.9N  $H_2SO_4$  水溶液,分别对处理 1、处理 2 和处理 3 的土壤进行酸化处理,3d 后,按处理 1、处理 2、处理 3 和对照土壤体积加入 3 倍量无离子水浸泡,1 周后将水滤掉,上述土壤分别装入容量为 500ml 的聚乙烯花盆内备用。

### 1.3 种子播种

油松种子经 65℃ 温水浸种 24h 后,用 0.5% 高锰酸钾消毒 30min,播种于处理 1、处理 2、处理 3 和对照土内,播种深度 0.5cm,每盆播种 15 粒,每个处理 20 盆,此后每日喷洒无离子水。

### 1.4 不同 pH 条件下油松种子萌发实验

将油松种子播种于底部垫有滤纸的玻璃培养皿内,每个培养皿播种 30 粒种子,每个处理 10 个培养皿,用 pH3.0、pH3.5、pH4.0 和 pH5.6(对照)的  $H_2SO_4$  水溶液每日浸湿滤纸。

### 1.5 不同 Al 离子浓度条件下油松种子萌发实验

将油松种子播种于底部垫有滤纸的培养皿内,每个培养皿内播种 30 粒种子,每个处理 10 个培养皿,以  $AlCl_3$  为溶质,配制 Al 离子浓度分别为 0mg/L(对照)、10mg/L、30mg/L、50mg/L 和 70mg/L 的水溶液,并将上述溶液用  $H_2SO_4$  调至 pH4.0,每日按各处理浸湿滤纸。

### 1.6 环境条件

上述花盆和培养皿全部置于室外同一自然光(太阳光)型日本 KOITO 公司的人工气候箱内。在人工气候箱内,6:00~16:00 温度为 25℃,18:00~4:00 为 18℃,4:00~6:00 和 16:00~18:00 为温度过渡时间。相对湿度 24h 恒定 70%。

### 1.7 土壤团粒分析方法参见文献[6]。

### 1.8 土壤三积(土、水、空气体积)分析

用容量为 100ml 的土壤环刀取土样,分别称湿重和 105℃ 24h 烘干后的干重,重量差为水的重量,即可换算出水体积。土的体积用阿基米德定律测出,空气体积=100ml-水体积-土体积。

### 1.9 土壤 pH 值和元素分析

将风干土壤过孔径为 5mm 的土壤筛,取 10g 风干土与 25ml 无离子水或 25ml 1mol/L KCl 水溶液混合,振荡 10min 后静止 1h,用日本 HORIBA 公司 M-12 型 pH 计测土的 pH 值。在室温 25℃ 条件下,取 10g 风干土样与 50ml 无离子水混合,连续振荡 60min,滤纸过滤后,用日本 SHIMADZS 公司 AA-670/GV-6 型原子吸收分光仪测 Ca、Mg、K、Al 和 Mn 等元素。

上述全部实验于 1997-04-01~1997-08-31 在日本东京农工大学内完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤溶液 pH 和元素浓度

从表 1 可见,土壤酸化后,其 pH 值随  $H_2SO_4$  加入量的增加而下降,与对照相比,在处理 1、2、3 中,pH

\* 待发表

分别下降 0.77、1.16 和 1.27。随着土壤 pH 的下降,土中可溶性 Al 离子和 Mn 离子明显增加。Mn 离子在处理 1、2、3 中分别是对照 18.5 倍、27.5 倍和 28 倍。Al 离子在处理 1、2、3 中分别是对照 17.2 倍、163 倍和 448 倍。Al 离子浓度与土的 pH 值呈明显负相关。K、Ca、Mg 离子浓度也随土壤 pH 值下降而增加,但增加幅度小于 Al 离子,而且在 3 个处理中 K、Ca、Mg 离子浓度差异不大。

表 1 油松种子播种前的赤黄壤溶液 pH 值和元素浓度

Table 1 Element concentration and pH of soil solution analysis conducted just before sowing the Chinese Pine seeds to the potted red-yellow soil

	pH		元素 Element				
	H <sub>2</sub> O	KCl	Ca	Mg	K	Mn	Al
对照	4.93	3.79	0.31	0.20	0.66	0.51	0.16
Control	(0.00)	(0.00)	(0.01)	(0.01)	(0.04)	(0.03)	(0.01)
处理 1	4.16	3.57	1.15	1.00	1.63	9.44	2.75
Treatment 1	(0.02)	(0.01)	(0.08)	(0.02)	(0.07)	(0.47)	(0.13)
处理 2	3.77	3.51	1.67	1.69	2.48	14.0	26.0
Treatment 2	(0.01)	(0.01)	(0.10)	(0.09)	(0.11)	(0.92)	(1.55)
处理 3	3.66	3.46	1.93	2.93	2.16	14.3	71.8
Treatment 3	(0.01)	(0.01)	(0.14)	(0.20)	(0.18)	(0.61)	(3.48)

以上数据为 4 次测定的平均值,括弧内数字为标准差。Each value is the mean of 4 determination. Value in parenthesis shows standard deviation.

## 2.2 水稳定性土壤团粒分析

土壤酸化处理后,各级筛上的土壤残留累积率均小于对照。换言之,随着 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 添加量增加,各级筛的土壤累积通过率都比对照增加了(表 2)。筛的孔径越小,土壤的 pH 值越低,处理与对照之间的差异越大,在 0.5mm 筛,处理 1、2、3 的累积通过率分别是对照的 123%、144% 和 148%;在 0.3mm 筛,处理 1、2、3 的累积通过率分别是对照的 118%、157% 和 161%;在 0.1mm 筛,处理 1、2、3 的累积通过率分别是对照的 114%、160% 和 200%。这说明土壤经酸化处理后,土团粒分散明显,土团粒的直径随土的 pH 值下降而下降。

## 2.3 土壤的三积(土、水、空气体积)分析

赤黄壤酸化后,三积(土、水、空气体积)发生了明显变化(表 3),在处理 1、2、3 中,空气体积分别是对照的 43%、34% 和 25%,水体积分别是对照的 166%、170% 和 175%;土体积分别是对照的 116%、124% 和 131%。上述结果表明,在相同容积条件下,赤黄壤中空气所占比例随土的 pH 值下降而减少,水和土颗粒的比例随土的 pH 下降而增加。即土壤酸化后,土壤的保水性增强了,而通气性下降了。

## 2.4 种子萌发状况

在处理 1 中,油松的发芽率与对照相比稍有增加(表 4),但在处理 2 中明显下降,在处理 3 中发芽率几乎为零。表 5 中列出了油松在处理 2 中的萌发状况,一些种子萌发正常,而后发育为正常幼苗。另一些种子萌发后,其弯曲的茎可以露出地面,但由于土壤酸化后变粘,阻力增大,针叶被粘在土里,无法随茎在生长伸直过程中破土而出,其中一部分由于生长应力的作用,弯曲的茎自行折断。另一部分针叶被粘在土中,在幼茎生长伸直过程中,反而根被拔出,倒立于土壤之上。这两种状况的结果是松苗死亡。另外,还有一些种子根本不萌发。

在表 6 中可见,当 Al 离子浓度为 10mg/L 的情况下,油松萌发率与对照相比略有下降,在 30mg/L 和 50mg/L 处理中,萌发率比对照分别下降 10.7% 和 37%,当 Al 离子浓度为 70mg/L 时,油松种子吸胀后,仅有部分种子的种皮可以裂开,但不能萌发为幼苗。上述结果表明,当 Al 离子浓度 ≤ 50mg/L 时,虽然油松

种子萌发率下降,但仍可萌发。

从表 7 可见,油松种子在 pH4.0 时萌发率最高,可达对照的 129%,pH3.5 时萌发率为对照的 108%,当 pH3.0 时,萌发率明显下降,比对照低 42%,但仍可萌发。

表 2 油松种子播种前赤黄壤的水稳定性团粒分析

Table 2 Analysis of water-stable aggregates of red-yellow soil conducted just before sowing the Chinese Pine seeds

	筛孔直径 Sieve (mm)	残留率 RR(%)	累积残留率 RAR(%)	累积通过率 PTAR(%)	累积通过率/对照 PTAR/PTARC
对照 Control	2.0	14.4(0.8)	14.4	85.6	
	1.0	18.3(0.7)	32.6	67.4	
	0.5	21.8(1.3)	54.4	45.6	
	0.3	15.2(0.8)	69.6	30.4	
	0.1	12.1(0.4)	81.8	18.4	
处理 1 Treatment 1	2.0	10.2(0.8)	10.2	89.8	105
	1.0	12.0(0.6)	22.2	77.8	115
	0.5	17.5(1.5)	39.7	60.3	132
	0.3	24.3(1.7)	64.0	36.0	118
	0.1	15.0(1.1)	79.0	21.0	114
处理 2 Treatment 2	2.0	11.5(0.6)	11.5	88.5	103
	1.0	9.7(0.7)	21.2	78.8	117
	0.5	13.3(0.8)	34.5	65.5	144
	0.3	17.7(1.2)	52.2	47.8	157
	0.1	18.4(1.1)	70.6	29.4	160
处理 3 Treatment 3	2.0	6.8(0.4)	6.8	93.2	109
	1.0	10.9(0.9)	17.7	82.3	122
	0.5	14.8(1.1)	32.6	67.5	148
	0.3	18.6(1.4)	51.0	49.0	161
	0.1	12.1(0.8)	63.1	36.9	200

RR; remain ratio, RAR; remain accumulation ratio, PTAR; pass through accumulation ratio, PTAR/PTARC; PTAR/PTAR of control; 以上数据为 3 次测定的平均值,括弧内数字为标准差, Each value is the mean of 3 determination. Value in parenthesis shows standard deviation.

表 3 油松种子播种前赤黄壤的三积分析

Table 3 The result of three phases of red-yellow soil analysis conducted just before sowing the Chinese Pine seeds in the soil (%)

	对照 Control	处理 1 Treatment 1	处理 2 Treatment 2	处理 3 Treatment 3
空气体积 Gas phase volume	40.3(3.5)	17.4(1.2)	13.7(0.9)	10.0(0.7)
液体体积 Liquid phase volume	26.9(2.2)	44.5(1.8)	45.6(2.5)	47.0(1.9)
固体体积 Solid phase volume	32.8(2.8)	38.1(2.1)	40.7(2.2)	43.0(2.6)

以上数据为 3 次测定的平均值,括弧内数字为标准差。 Each value is the mean of 3 determination. Value in parenthesis shows standard deviation.

表 4 赤黄壤酸化后油松种子萌发率

Table 4 Germination of Chinese Pine seeds sowed in red-yellow soil treated with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution

	对照 Control	处理 1 Treatment 1	处理 2 Treatment 2	处理 3 Treatment 3
萌发数/盆 Germination amount/pot	7.1	7.6	3.4 <sup>*</sup>	0.05 <sup>**</sup>
萌发率(%) Germination ratio	47.3	50.3	22.3	0.3

\*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$ 

表 5 油松种子在处理 2 土壤中的萌发状况

Table 5 Germination status of Chinese Pine seeds sowed in the soil of treatment 2

	萌发 Germination	倒立 Stand upside down	断茎 Stem broken	不萌发 Non-germination
总量 Total amount	67	8	10	206
Percentage(%)	22.3	2.7	6.3	68.7

表 6 不同 Al 离子浓度条件下油松种子萌发率

Table 6 Germination of Chinese Pine seeds with different concentration of Al ion

	0mg/L	10mg/L	30mg/L	50mg/L	70mg/L
数量/盆 Amount/pot	11.5	11	10.3	7.3 <sup>*</sup>	0 <sup>**</sup>
Percentage(%)	38.3	36.7	34.2	24.2	0

\*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$ 

表 7 不同 pH 条件下油松种子萌发率

Table 7 Germination of Chinese Pine seeds with different pH

	pH			
	5.6	4.0	3.5	3.0
数量/盆 Amount/pot	9.5	12.3	10.3	5.5 <sup>*</sup>
Percentage(%)	31.7	40.8	34.2	18.3

\*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$ 

### 3 讨论

土壤团粒结构是由大团粒相互粘合形成的,而大团粒是由小团粒相互粘合而成的。Edwards 等指出<sup>[7,8]</sup>,大团粒和小团粒之间的粒径分界线是 250 $\mu\text{m}$ ,即直径大于 250 $\mu\text{m}$  的团粒为大团粒,小于 250 $\mu\text{m}$  的团粒为小团粒,并认为大团粒间的粘液成分与小团粒间的粘液成分不同,而且粘结强度也不同,小团粒间粘液的粘结强度高于大团粒。因此,在土壤样品中,如果小团粒的比例增加,土壤就会变粘。在本研究中,能通过 100 $\mu\text{m}$  筛的团粒当然属于小团粒。处理 2 和处理 3 的土壤样品在 100 $\mu\text{m}$  筛的通过率分别为对照的 160% 和 200%,可见在处理 2 和处理 3 中,土壤变粘是由于土壤酸化后小团粒数量增多造成的。

在酸化处理后,赤黄壤的团粒结构受到破坏,土壤的物理性质发生明显变化,遇水后易于分散,失水后又马上凝聚,并在土壤表面形成一层硬壳,这种硬壳一旦形成,水和空气都很难通过,植物种子也很难穿过硬壳萌发<sup>[9]</sup>。在处理 2 和处理 3 中都有硬壳现象发生。另外,在处理 2 和处理 3 中,由于土壤酸化后,土团粒直径普遍变小,使土壤的三积发生变化,土壤中空气与对照比明显减少。在处理 2 和处理 3 中,空气体积分别只有对照的 34% 和 25%,加之硬壳存在,土壤内空气很难与外界的空气进行交换,与对照相比,无法提供充足的空气供油松种子呼吸,因此,不排除土中空气过少也是造成种子萌发率下降的原因之一。

M. Miwa 和 C. Lee 等报道<sup>[10,11]</sup>,在土壤酸化过程中,当土壤 pH > 4.0 时,仅淋溶出少量 Al 离子。当土

壤  $\text{pH} \leq 4.0$  时,则淋溶出大量 Al 离子,本实验中也观察到类似现象,可溶性 Al 离子的大量增加,会对植物产生严重的毒害作用,造成植物生长缓慢,甚至死亡<sup>[11]</sup>。本研究中不同 Al 离子浓度条件下油松种子萌发实验表明,当 Al 离子浓度达  $30\text{mg/L}$  时,油松种子萌发率即开始下降,达  $50\text{mg/L}$  时,萌发率仅为对照的 63%,达  $70\text{mg/L}$ ,则完全不萌发。C. Lee<sup>[11]</sup> 等报道, Mn 和 Al 对植物均有毒害作用,但 Al 的毒害较强。本实验中,处理 2 和处理 3 的 Mn 离子浓度基本相同, Al 离子在处理 3 中是处理 2 的 3 倍,种子在处理 2 中可以萌发,在处理 3 中几乎不萌发,显然是 Al 离子在起作用。在本实验中,由于 Mn 离子浓度增加很小,因而对种子萌发影响较小。因此认为,在处理 2 中种子萌发率下降、处理 3 中种子几乎不萌发,主要是由于 Al 离子增加造成的。

在土壤酸化后,也淋溶出少量 Ca, Mg, K 等元素,由于这些是植物生长的必需元素,且离子浓度变化不大,不影响油松种子萌发率<sup>[11]</sup>。

在不同 pH 条件下的种子萌发实验中发现(表 7),单纯降低环境 pH 值( $\text{pH} \geq 3.5$ )未能发现油松种子萌发率下降。这说明赤黄壤酸化后(表 1),导致土壤 pH 值下降,但 pH 值下降不是造成种子萌发率下降的直接原因,其直接原因是 Al 离子的增加, pH 值的降低是造成种子萌发率下降的间接原因,它导致淋溶出大量对油松种子有害的 Al 离子。

在处理 2 中,当 Al 离子浓度为  $26\text{mg/L}$  时(表 1),油松种子萌发率为 22.3%(表 4)。在不同 Al 离子浓度对种子萌发率影响的试验中(表 6),当 Al 离子浓度为  $30\text{mg/L}$  时,种子萌发率为 34.2%,略高于处理 2 的种子萌发率。其原因可能是种子在培养皿中空气充足,且无泥土覆盖,种子萌发阻力较小。而在处理 2 中,由于泥土覆盖,土壤中空气相对不足,加之土壤酸化后粒径变小,黏度增加,均增加了种子萌发难度。

实验中还发现,当环境 pH 值在 4.0 左右时,油松种子萌发率稍高于对照。斐迪<sup>[12]</sup>曾用  $\text{H}_2\text{O}_2$  对油松种子催芽,以提高萌发率。低浓度的  $\text{H}_2\text{O}_2$  和  $\text{H}_2\text{SO}_4$  对油松种皮均有轻度腐蚀作用,可以降低种皮强度,并促进种子吸胀,这可能是提高萌发率的原因之一,至于提高萌发率的生理机制,还需进一步研究。

#### 参 考 文 献

- 1 国家环保局. 1992 年中国环境年鉴. 北京: 中国环境年鉴社, 1993. 447~478
- 2 国家环保局. 1994 年中国环境年鉴. 北京: 中国环境年鉴社, 1995. 307~308
- 3 刘厚田, 杜晓明, 张维平. 重庆南山的酸性降水与马尾松衰亡. 酸雨与农业. 北京: 中国林业出版社, 1989. 140~145
- 4 马光靖, 余叔文, 曾林. 奉节县山区大气污染、酸性降水、酸雾与华山松衰亡的初步观测. 酸雨与农业. 北京: 中国林业出版社, 1989. 157~161
- 5 向华辉. 酸雨致土壤酸化原因初探. 酸雨与农业. 北京: 中国林业出版社, 1989. 96~98
- 6 刘孝义. 土壤物理及土壤改良研究法. 上海: 上海科学出版社, 1982. 10~12
- 7 Edwards A P & Bremner J M. Microaggregates in soil. *Journal of Soil Science*, 1967, **18**: 64~73
- 8 Tisdall J M & Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Journal of Soil Science*, 1982, **33**: 141~163
- 9 徐化成. 油松. 北京: 中国林业出版社, 1993. 84~289
- 10 Makato Miwa. Effects of soil acidification on the growth of Japanese Cedar seedlings grown in three soils from different parent materials. *J. Japan Soc. Air Pollut.* 1994, **29**(5): 254~263
- 11 Choonghwa Lee. Growth and element content of red pine seedlings grown in brown forest soil acidified by adding  $\text{H}_2\text{SO}_4$  solution. *J. Japan Soc. Atmos. Environ.* 1997, **32**(1): 46~57
- 12 Takeshi Iuta. Effects of low pH and excess Al on growth, water content and nutrient status of Japanese Cedar seedlings. *Environmental Sciences*, 1996, **4**(2): 113~125
- 13 斐迪. 双氧水处理油松种子促进发芽试验初报. 陕西林业科技, 1980, (2): 21~23