

大麦生长与土壤酸度的关系

臧惠林 张效朴 何电源

(中国科学院南京土壤研究所)

GROWTH OF BARLEY IN RELATION TO SOIL ACIDITY

Zhang Hui-lin, Zhang Xiao-pu and He Dian-yuan

(Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica)

红壤、砖红壤以及在这些土壤上发育的水稻土,都呈酸性或强酸性反应,在栽培水稻时,农民素有施用石灰的习惯。近年来这些地区种植大麦的面积日益扩大,例如浙江金华地区1978年大麦种植面积即达54万亩。但在大麦栽培上普遍存在早衰低产现象,这是否和土壤酸度有关?不同石灰物质对大麦生长的影响如何?为此,我们进行了以下三方面的工作。

一、不同酸度的土壤与大麦生长的关系

(一) 材料和方法

用广东、江西、浙江三省发育于玄武岩、花岗岩、红沙岩、第四纪红色粘土及衢江冲积物的砖红壤及红壤性水稻土共九种土壤进行盆栽试验。土壤的一些理化性质见表1,土壤分析按常规方法进行^[2]。

为明确土壤酸度与大麦生长的关系,同时了解在不同土壤上大麦对钙、镁营养元素的反应,分别用等当量的碳酸钙和碳酸镁来调节土壤pH。盆栽处理有:(1)对照,每盆装土2.5公斤(其它处理均同),按每盆N、P₂O₅、K₂O各0.6克计算,加入硫酸铵2.83克、磷酸二氢钾1.15克和硫酸钾0.37克;(2)碳酸钙(N、P₂O₅、K₂O用量同对照),每盆加碳酸钙8.3克;(3)碳酸镁(N、P₂O₅、K₂O用量同对照),每盆加碳酸镁4.0克。重复4次,大麦品种为“早熟三号”。成熟收获时称其干重,在大麦生长中期及收获后测定各处理的土壤pH。

(二) 结果及讨论

大麦是对土壤酸度敏感的作物,五十年代在江西的研究证明^[1],在pH4.5的红壤荒地上不施石灰,大麦几乎不能生长。在本试验中,砖红壤上的大麦在出苗十天后,就发现对照植株叶尖发黄,半个月后只长2片真叶。施碳酸镁处理的大麦第三片真叶(心叶)卷曲枯死,呈典型的缺钙症状,这可能是由于土壤含钙量低和镁抑制了钙的吸收之故。施碳酸钙处理的大麦生长比较正常。出苗后50天,对照植株生长矮小,根系棕色粗短和无侧枝,

表 1 盆栽土壤性质
Table 1 Some properties of the soils used for pot experiment

采土地点 Location	代号 No.	土壤名称 Soil name	母质 Parent material	质地 Texture		有机质 Organic matter %	交换性盐基(毫克当量/100克土) Exchangeable base (m.e./100g.soil)					交换性酸 (毫克当量/ 100克土) Exchangea- ble acidity (m.e./ 100g.soil)	阳离子 交换量 (毫克当量/ 100克土) CEC (m.e./ 100g.soil)	pH	
				名称 Texture name	<0.001mm %		K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	总量 Sum			(H ₂ O)	(KCl)
广东徐闻 Xuwen, Guangdong	1	砖红壤	玄武岩 Basalt	粘土 Clay	23.5	2.51	0.12	0.07	0.28	0.08	0.55	2.53	8.18	4.71	4.10
广东徐闻 Xuwen, Guangdong	2	赤土田	玄武岩 Basalt	粘土 Clay	46.3	6.07	0.12	0.04	—	—	—	0.46	14.68	5.45	4.72
江西资溪 Zixi, Jiangxi	3	乌沙土	花岗岩 Granite	细沙土 Fine sand	7.3	1.13	0.11	0.15	1.15	0.21	1.62	0.08	3.98	6.41	5.45
江西峡江 Xiajiang, Jiangxi	4	白沙泥	花岗岩 Granite	粉壤土 Silty loam	15.7	2.82	0.15	0.14	2.21	0.34	2.84	0.53	8.31	5.50	4.32
江西刘家 Liujiu, Jiangxi	5	红沙土	红沙岩 Red sandstone	细沙土 Fine sand	7.6	1.28	0.11	0.14	1.34	0.23	1.82	0.04	4.18	6.56	5.58
浙江衢县 Qu Xian, Zhejiang	6	泥沙土	河流冲积物 Illuvial deposits	沙壤土 Sandy loam	8.7	2.43	0.13	0.18	1.80	0.27	2.38	0.32	6.27	6.04	5.03
浙江金华 Jinhua, Zhejiang	7	黄泥田	第四纪红色粘土 Quaternary red clay	粘壤土 Clay loam	25.0	1.45	0.24	0.13	1.95	0.43	2.75	0.52	8.61	5.63	4.47
浙江金华 Jinhua, Zhejiang	8	大泥土	第四纪红色粘土 Quaternary red clay	粘壤土 Clay loam	22.1	2.88	0.22	0.17	3.77	0.41	4.57	0.09	9.75	6.30	5.40
浙江金华 Jinhua, Zhejiang	9	麸浆土	第四纪红色粘土 Quaternary red clay	粘壤土 Clay loam	23.3	2.84	0.24	0.25	1.04	0.16	1.69	0.99	6.70	5.15	4.26

呈典型的铝中毒症状。施碳酸镁的大麦地上部因心叶枯死,已无法继续生长,但因碳酸镁已中和土壤酸度到 pH 5.90,根系发育较正常。其它各种类型土壤施碳酸镁的和碳酸钙处理一样,生长都很正常。Foy, C.D., 等 1964^[3] 用营养液栽培大麦,当铝的浓度达 6ppm 时,产量为无铝处理的 22%。在我们的试验中,砖红壤的交换性铝高达每百克土 17.1 毫克,因此施用石灰降低交换性铝含量后,每盆干物重显著高于对照。

由于盆栽施用的肥料为硫酸铵和硫酸钾,大麦吸收肥料中的阳离子多于阴离子,加之肥料本身在土壤中的转化,以及大麦生长过程中根系分泌有机酸和呼吸时排出二氧化碳等,使各种土壤的对照处理在盆栽过程中 pH 值都有明显下降,这种下降的趋势从表 2 可以看出,越到后期越明显。土壤 pH 值下降的大小,与土壤缓冲性能密切相关。例如 3 号土的原始土壤 pH 6.41,阳离子交换量每百克土 4 毫克当量,对照处理土壤 pH 值下降 1.68。8 号土的原始土壤 pH 6.30,阳离子交换量为 10 毫克当量,其 pH 值仅下降 0.69。从两种土壤的缓冲曲线图(图 1)可以看到,它们的 pH 值变化虽然差别很大,但大致都相当于每百克土 2.1 毫克当量的氢离子。

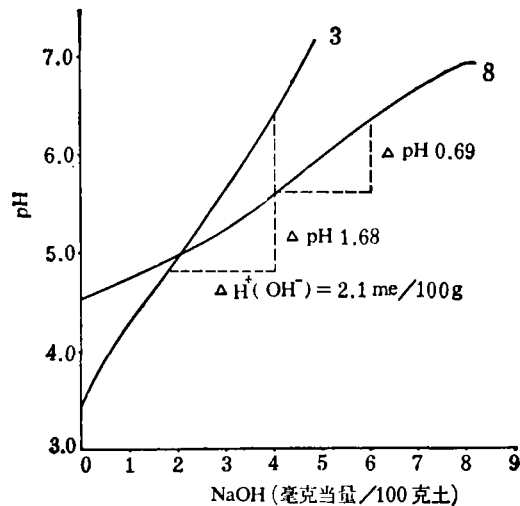


图 1 乌沙土及大泥土的缓冲曲线

注: 3 为乌沙土, 8 为大泥土。

由于盆栽土壤受到不同程度的酸化,除大泥土外,其余几种土壤在大麦收获时,对照处理的土壤 pH 都在 4.8—5.3 之间,在施用碳酸钙或碳酸镁使土壤 pH 值达 6—7 左右后,大麦干物重都得到不同程度的增加。从表 3 的结果看出,除砖红壤和白沙泥上施碳酸钙显著高于碳酸镁外,其它土壤这两种处理间效果都没有显著差别,因此可以把它们的增产作用主要看作是调节土壤 pH 的效果。

若以盆栽土壤的 pH 值作自变量 (x), 施用石灰物质后大麦干物重的增加%为依变量 (y), 求二者的相关,大麦生长中期土壤 pH 与干物重增加%的回归方程式为: $y = 293.4 - 51.5x$, $r = -0.697^{**}$, $n = 13$, 大麦收获期土壤 pH 与干重增加%的回归方程式为: $y = 243.7 - 44.6x$, $r = -0.822^{**}$, $n = 13$, 都达到 1% 显著平准。由于施用

表 2 盆栽大麦的土壤 pH 变化

Table 2 Changes of soil pH at different growing stages of barley (pot experiment)

土壤代号 No.	土壤名称 Soil name	盆栽前 pH(H ₂ O) Before experiment	对 照 Check		碳 酸 钙 CaCO ₃		碳 酸 镁 MgCO ₃	
			孕穗期 Booting	收获期 Harvest	孕穗期 Booting	收获期 Harvest	孕穗期 Booting	收获期 Harvest
1	砖红壤	4.71	4.50	4.51	5.90	4.94	5.90	5.57
2	赤土田	5.45	5.05	4.80	—	—	5.50	5.00
3	乌沙土	6.41	5.05	4.73	6.00	5.44	6.05	5.38
4	白沙泥	5.50	5.38	5.26	6.90	6.90	7.20	7.03
5	红沙土	6.56	5.30	5.01	7.00	6.86	7.10	6.90
6	泥沙土	6.04	5.40	5.04	7.05	6.38	7.10	6.46
7	黄泥田	5.63	5.50	5.02	6.65	6.12	6.90	7.00
8	大泥土	6.30	5.60	5.61	6.80	6.53	6.95	6.68

表 3 盆栽大麦的干物质重量(克/盆)

Table 3 Dry weight of barley in pot experiment (g/pot)

土 壤 Soil name	项 目 Item	对 照 CK	碳 酸 钙 CaCO ₃	碳 酸 镁 MgCO ₃	L.S.D
砖 红 壤	平 均 值 Mean value	0.88	16.92	0.46	2.58*
	比对照增加 Increment	—	16.04**	-0.42	3.72**
赤 土 田	平 均 值 Mean value	15.44	—	18.33	3.49*
	比对照增加 Increment	—	—	2.89	5.28**
乌 沙 土	平 均 值 Mean value	24.75	34.24	35.81	3.37*
	比对照增加 Increment	—	9.49**	11.06**	4.85**
红 沙 土	平 均 值 Mean value	24.56	27.26	26.13	2.15*
	比对照增加 Increment	—	2.70*	1.57	3.10**
白 沙 泥	平 均 值 Mean value	26.92	30.18	27.59	1.76*
	比对照增加 Increment	—	3.26**	0.67	2.54**
泥 沙 土	平 均 值 Mean value	20.33	26.21	26.90	1.14*
	比对照增加 Increment	—	5.88**	6.57**	1.63**
黄 泥 田	平 均 值 Mean value	21.72	25.04	25.36	1.87*
	比对照增加 Increment	—	3.32**	3.64**	2.59**
大 泥 土	平 均 值 Mean value	34.62	32.53	33.29	4.30*
	比对照增加 Increment	—	-2.09	-1.33	—

注: *机率(P)=0.05, **机率(P)=0.01 (以下均同)。

了导致土壤酸化的肥料,各种土壤酸化后的 pH 值因土壤缓冲性能不同而有很大差异,因此盆栽前的土壤 pH 与施用石灰的增产%没有显著的相关。这说明在大麦施用石灰时,必须估计到土壤受作物和肥料酸化后的 pH 值。同时根据上述回归方程式可以看出,大麦生长中期的土壤 pH 值在 5.7 以下,收获时的土壤 pH 低于 5.5,施用石灰物质都可得到不同程度的增产。

用红壤及红壤性水稻土 22 对土壤 pH(x) 和每百克土交换性铝毫克数(y) 统计其相关,得到 $y = 66.84 - 11.9x$, $r = -0.854^{**}$, 因此当土壤 pH5.6 以上时,交换性铝的含量就很低。这种情况和有人^[4]报道的当土壤 pH5.5 时,测得的盐基饱和度近 100% 是相近的。

二、不同种类的肥料对土壤酸度和大麦生长的影响

为了了解不同肥料对土壤酸度和大麦生长的影响,在浙江省金华麸浆土(红壤性水稻土)上进行了两个方面的试验(土壤性质见表 1)。

(一) 不同种类氮肥对土壤酸度及大麦生长的影响

试验在温室和田间进行,处理有:(1)对照,盆栽每盆装土 1.5 公斤,每盆加过磷酸钙 2.14 克(P_2O_5 0.3 克)和硫酸钾 0.56 克(K_2O 0.3 克),田间每亩施用过磷酸钙 40 斤和氯化钾 15 斤;(2)硫酸铵,每盆施 1.42 克(N 0.3 克),田间每亩施 40 斤,磷钾肥用量同对照;(3)尿素,每盆施 0.6 克,田间每亩施 16 斤, P_2O_5 、 K_2O 用量同(2);(4)硝酸钠,每盆施 1.83 克,田间每亩施 58 斤, P_2O_5 、 K_2O 用量同(2)。盆栽试验分施石灰(每盆施用碳酸钙 4.15 克)和不施石灰两组。盆栽肥料与土均匀混和一次施用。田间试验按一般施肥方式条施在播种沟内,磷钾肥一次施用,氮肥分播种时和三叶期各施用 50%,小区面积为 3 厘。盆栽和田间试验各处理均重复 3 次。

大麦生长过程中除施硝酸钠外,其余处理的土壤都受到不同程度的酸化。孕穗初期测定,无论田间或盆栽试验,其对照处理由于施用过磷酸钙和硫酸钾(或氯化钾),盆栽土壤较原始土壤的 pH 降低 0.38,田间降低 0.48;施用硫酸铵后盆栽较对照又降低 0.37,田间降低 0.43(表 4);施用尿素对土壤酸度没有明显影响;硝酸钠则可提高土壤 pH,盆栽条件下比对照高 0.42,田间高 0.98。由于硫酸铵和硝酸钠对土壤 pH 的影响不同,这两种肥料导致土壤 pH 在田间相差达 1.41。根据田间直接测定,这一差别仅表现在 5 公分宽的播幅内,大麦行间土壤 pH 的变化就很小。

土壤酸化的结果,导致活性铝明显增加。在不施石灰的情况下,大麦生长受到不同程度的影响,出现程度不等的黄化现象。特别是施硫酸铵处理的植株最为严重。施用石灰调节土壤 pH 到 6.0 以上,凡是施氮的植株生长都很正常。土壤酸化对大麦生长的影响,在田间反映更为明显,促使大麦不断早衰死亡。

由于土壤酸化影响大麦生长,大麦的干物重(盆栽)和籽实产量都显著降低(表 5)。田间小区试验中,施用硫酸铵的大麦产量比对照处理还低,几乎收不到籽实。施用石灰调节土壤 pH 后,硫酸铵和尿素的肥效相近。施用硝酸钠的大麦,无论盆栽或田间试验其产量

表 4 不同种类的肥料对土壤酸度的影响
Table 4 Effect of different fertilizers on soil acidity

处 理 Treatment	盆栽试验 Pot experiment				田间试验 Field experiment		
	不施石灰 No liming		施石灰 Liming		pH(H ₂ O)	pH(KCl)	交换性 Al ⁺⁺⁺ (毫克/100 克土) Exchangeable aluminum (mg/100g. soil)
	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	交换性 Al ⁺⁺⁺ (毫克/100 克土) Exchangeable aluminum (mg/100g. soil)	pH(H ₂ O)			
栽种前 Original soil	5.15	4.26	5.31	—	5.15	4.26	5.31
对照 Check	4.77	4.16	7.92	7.18	4.67	4.21	10.8
硫酸铵 (NH ₄) ₂ SO ₄	4.40	3.97	13.95	6.51	4.24	3.92	16.11
尿素 CO(NH ₂) ₂	4.66	4.11	9.18	7.14	4.74	4.17	7.65
硝酸钠 NaNO ₃	5.19	4.31	6.39	7.31	5.65	4.73	3.42

注: 孕穗期测定。Note: Determined at booting stage of barley.

表 5 不同种类的肥料对大麦干物质重量和产量的影响
Table 5 Effect of different fertilizers on dry weight and grain yield of barley

处 理 Treatment	盆栽试验(克/盆) Pot experiment (g/pot)						田间试验(斤/亩) Field experiment (jin/mu)			
	不施石灰 No liming		施石灰 Liming		平均干重 Dry weight	与对照的比较差数 As compared with ck.	与对照的比较差数 As compared with ck.	籽粒产量 Grain yield	与对照的比较差数 As compared with ck.	与硫酸铵的比较差数 As compared with (NH ₄) ₂ SO ₄
	平均干重 Dry weight	与对照的比较差数 As compared with ck.	与对照的比较差数 As compared with ck.	与硫酸铵的比较差数 As compared with (NH ₄) ₂ SO ₄						
对照 Check	5.65	—	0.85	—	6.91	—	—	51.0	—	44.0
硫酸铵(NH ₄) ₂ SO ₄	6.50	0.85	—	5.99**	12.90	—	-44.0	7.0	—	—
尿素 CO(NH ₂) ₂	10.65	5.00**	4.00**	6.59**	13.50	0.60	63.3**	114.3	63.3**	107.3**
硝酸钠 NaNO ₃	13.26	7.61**	6.76**	9.42**	16.33	3.43*	93.3**	144.3	93.3**	137.3**
L. S. D.	2.07* 3.06**		2.84* 4.21**				25.93* 38.37**			

均是最高的。不同形态的氮肥对土壤 pH 的影响, Riley 等^[5]也得到了类似的结果, 施用铵态氮肥和硝态氮肥, 根际土壤的 pH 值可相差 1.99, 土体(盆栽)可相差 0.45。我们测定的土体 pH 值与他们的结果相近。

(二) 施用不同量的硫酸铵对大麦生长的影响

通过上述试验表明, 施用硫酸铵可酸化土壤促使大麦严重早衰减产。为进一步明确在不施石灰和施用石灰的基础上, 硫酸铵用量和大麦生长的关系, 在浙江省金华麸浆土上又作了田间微区试验, 微区面积为 2 平方米, 在磷钾肥的基础上, 氮肥用量分五级(包括对照不施氮), 每级相差 20 克硫酸铵, 共分施石灰(每 2 平方米熟石灰 300 克)和不施石灰两组。每个处理重复三次, 抽穗期割取地上部份称其鲜重。

以大麦鲜重(y)对氮肥水平(x)作图(图 2), 当不施石灰时, 大麦鲜重和硫酸铵用量呈显著负相关。但在施用石灰的基础上, 鲜重和硫酸铵用量则呈极显著正相关。这说明只有施用石灰调节土壤 pH 至适宜于大麦生长后, 硫酸铵的肥效才可得到充分发挥。否则硫酸铵用量愈增加, 大麦生长就愈差, 这更进一步证实了硫酸铵酸化土壤对大麦生长的不良作用。

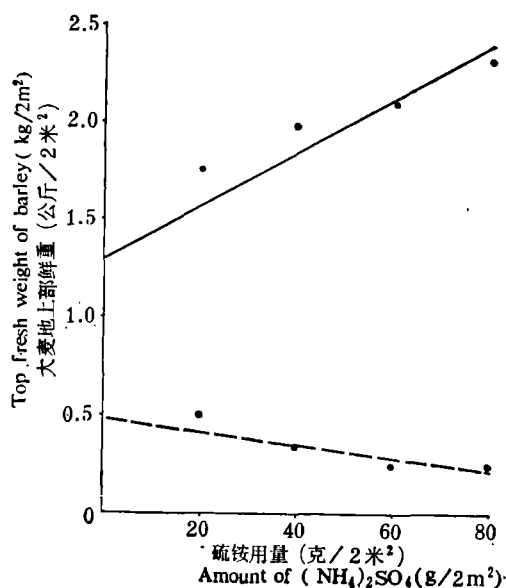


图 2 石灰对施用不同用量的硫酸铵的肥效影响

Fig. 2 Effect of lime on the response of barley to different amount of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

— 施石灰 Dressing lime
 ---- 不施石灰 No lime

三、不同石灰物质对土壤 pH 及大麦产量的影响

为初步了解不同石灰物质对调节土壤 pH 的效果, 在金华麸浆土上布置了田间小区

试验,处理有:(1)对照(每亩施硫酸铵40斤、过磷酸钙40斤、氯化钾15斤);(2)熟石灰(每亩施200斤,耙前撒施),氮磷钾肥用量同(1);(3)石灰石粉(80%过60目,每亩条施300斤),氮磷钾肥用量同(1);(4)炼铁高炉渣粉(含氧化钙42.7%,全部过60目,每亩条施300斤),氮磷钾用量同(1)。重复三次,小区面积3厘。

由于硫酸铵、过磷酸钙和氯化钾使土壤酸化,大麦孕穗期的土壤pH值低至4.0左右,因此对照处理的大麦生长很差,施用石灰物质后生长正常。在三种石灰物质中,熟石灰的溶解度较大且作用快,故前期土壤pH提高较快,到大麦收获期,高炉渣和石灰石粉对土壤pH的影响相近。可能是石灰石粉在大麦生长前期对土壤pH的提高不够大,大麦生长仍受抑制,产量显著低于高炉渣和熟石灰的处理(表6)。熟石灰和高炉渣对大麦产量的影响则十分相近。

表6 不同石灰物质对大麦产量的影响

Table 6 Effect of different liming materials on yield of barley

处 理 Treatment	孕穗期土壤 pH Soil pH at booting stage	收获时土壤 pH(H ₂ O) Soil pH at harvest time	籽粒产量(斤/亩) Grain yield (jin/mu)	与对照比较差数 As compared with ck.
对 照 Check	3.96	4.30	11.6	—
熟 石 灰 Hydrated lime	5.71	5.98	223	211.4
高 炉 渣 粉 Blast-furnace slag	5.34	6.18	228	216.4
石 灰 石 粉 Ground limestone	5.16	6.18	154	142.4

注1. 孕穗期的pH在田间直接测定。

Note 1. pH determined directly in the field at booting stage of barley.

2. L.S.D 31.8* 47.1**.

参 考 文 献

- [1] 中国科学院土壤研究所甘家山红壤试验场, 1958: 红壤荒地的利用。科学出版社。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所, 1978: 土壤理化分析。上海科学技术出版社。
- [3] Abruna, F., Pearson R. W. and Perez-Escolar, R., 1975: Lime Response of Corn and Beans in Typical Ultisols and Oxisols of Puerto Rico. Soil Management in Tropical America, 261—282, North Carolina State University, USA.
- [4] Foy, C. D. and Brown, J. C., 1964: Toxic factors in acid soils II Differential aluminum tolerance of plant species. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28: 27—32.
- [5] Riley, D. and Barber, S. A., 1971: Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root induced pH changes at root-soil interface. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 35: 301—306.