

砂姜黑土无机磷的形态 与肥力的关系

过兴度

张俊民

徐 强

(中国科学院南京土壤研究所)

(安徽省蒙城县引用外资项目办公室)

摘 要

本文按顾益初、蒋柏藩的方法对砂姜黑土中无机磷的形态进行了区分,研究了各形态的有效性。结果表明,除 $\text{Ca}_{10}\text{—P}$ 外,其它形态的无机磷都具有一定的有效性,从而否定了关于石灰性土壤中 Ca—P 都是无效的传统概念。

砂姜黑土是黄淮海平原南部面广量大的严重缺磷的中低产土壤^[1]。由于它略具石灰性,无机磷主要以 Ca—P 的形态存在,用张守敬、杰克逊方法^[2]不能对 Ca—P 进一步分级,因而难以阐明它与土壤肥力的关系^[3,4]。近年来,蒋柏藩、顾益初提出的测定石灰性土壤无机磷的新方法^[5,6]。为了探索砂姜黑土无机磷的形态特点与肥力的关系,我们应用这个新方法对砂姜黑土进行了无机磷形态与肥力关系的研究,现报道如下。

一、供试土壤的一般理化性质

供试土壤是采用1988年安徽省蒙城县农业引用外资项目办公室的砂姜黑土养分监测点部分剖面的表层^[7],以此作为高肥类型和中肥类型的样品。由于该区自80年代以来,采取了综合治理措施,并连年施用磷肥,有效磷含量有所增加,肥力水平也明显提高,基本上都属于中肥和高肥类型。低肥类型的样品有1963年采自宿县的碱黑土表层和1983年采于涡阳县的碱黑土表层和死黑土的耕层。

由表1可知,供试砂姜黑土耕层(表层)的一般理化性质具有如下特点:(1)除碱黑土呈强碱性反应($\text{pH}9.8$)外,其余土壤均呈中性至碱性反应($\text{pH}6.7\sim8.4$);(2) CaCO_3 的含量一般 $<1\text{gkg}^{-1}$,但受黄泛物质覆盖影响的淤黑土和红花淤黑土,其 CaCO_3 的含量分别为 21.1 、 35.3 和 92.5gkg^{-1} ;(3)有机质和全氮含量的变幅分别为 $2\sim23.5\text{gkg}^{-1}$ 和 $0.2\sim1.51\text{gkg}^{-1}$,其含量顺序都是高肥 $>$ 中肥 $>$ 低肥;(4)高肥类型全磷的平均含量为 1.17gkg^{-1} ,中肥和低肥类型分别为 0.77 和 0.57gkg^{-1} ,明显反映了全磷含量与土壤肥力的关系。在高肥类型中88—9号红花淤黑土全磷含量最高,达 2.1gkg^{-1} ,因其耕层实行上是近代偏粘的黑泛物质。在低肥类型中,淮83—8号死黑土全磷含量最低,只有 0.54gkg^{-1} ,这与质地偏轻的河湖相沉积母质关;(5)土壤有机磷的含量与土壤有机质的含量呈明显的正相关($r=0.909$, $n=26$)。由于砂姜黑土有机质含量不高,因此有机磷的含量也不高,仅 $65\sim247\text{mgkg}^{-1}$,但是高肥 $>$ 中肥 $>$ 低肥的趋势仍然很明显;(6)高肥类型速效磷的平均含量达 27.2mgkg^{-1} ,中肥和低肥类型分别为 15.4mgkg^{-1} 和 5.3mgkg^{-1} 。故砂姜黑土速效磷的平均含量也是高肥 $>$ 中肥 $>$ 低肥。在高肥类型中,88—9号红花淤黑土的速效磷高达 65.7mgkg^{-1} ,这与新的黑泛沉积母质及培肥都有关系;在低肥类型中,淮83—5号碱黑土的速效磷含量最低,仅 5mgkg^{-1} ,除与质地较轻和有机质

表1

砂姜黑土耕层(表层)的一般理化性质

肥力水平	剖面 号码	土种 名称	pH (H ₂ O)	CaCO ₃ gkg ⁻¹	有机质 gkg ⁻¹	全氮 (N) gkg ⁻¹	全磷 (P ₂ O ₅) gkg ⁻¹	有机磷 (P ₂ O ₅) mg kg ⁻²	速效磷 (P ₂ O ₅) mg kg ⁻¹	粘粒 ($<0.002\text{mm}$) g kg ⁻¹	质地 (美国制)
高肥	88—4	青黑土	7.4	0.5	13.6	0.93	0.80	205	10.3	300	粉砂粘土
	88—5	青黑土	7.5	2.7	16.8	1.11	0.88	173	16.8	356	粉砂粘土
	88—9	红花淤黑土	8.4	92.5	23.5	1.51	2.10	350	65.7	459	粘土
	88—11	厚淤黑土	8.3	35.3	14.5	0.98	1.13	267	15.8	414	粘土
	88—18	青黄土	7.7	1.5	15.4	0.87	0.96	240	27.6	286	粉砂粘土
	平均值			26.5	16.8	1.08	1.17	247	27.2	363	
中肥	88—24	青白土	6.7	1.7	9.3	0.74	0.74	93	21.0	241	粉砂粘壤土
	88—12	薄淤黑土	8.2	21.1	10.5	0.56	0.95	152	20.8	288	粉砂粘土
	88—17	青白土	6.7	0.6	11.3	0.88	0.73	143	6.5	237	粉砂粘壤土
	88—2	黄土	7.2	1.3	11.4	0.70	0.74	135	15.0	277	粉砂粘土
	88—3	黑土	7.6	1.8	9.9	0.63	0.69	148	10.6	269	粉砂粘土
	平均值			5.3	10.5	0.70	0.77	134	15.5	262	
低肥	皖45	碱黑土	9.8	6.9	5.2	0.28	0.69	50	6.5	100	粉砂壤土
	淮83—5	碱黑土	9.57	14.2	2.0	0.10	0.91	70	5.0	798	砂壤土
	淮83—8	死黑土	7.64	11.4	9.3	0.62	0.54	75	6.0		
	平均值			10.8	5.5	0.33	0.71	65	5.8		

注：① 速效磷用Olesen法测定，有机磷用灼烧减重法测定。

含量最低有关外，还与长期未曾施用磷肥有关；(7) 粘粒($<0.002\text{mm}$) 含量大体变化在100—450gkg⁻¹间，质地多数属于粉砂粘土和粘土。

二、结果与讨论

(一) 砂姜黑土无机磷形态组成的特点

按蒋柏藩、顾益初方法，将砂姜黑土无机磷区分为Al—P、Fe—P、O—P和Ca—P，并将Ca—P进一步区分为Ca₂—P、Ca₈—P和Ca₁₀—P。

由表2和表3可以看出：(1) 砂姜黑土的磷素以无机磷为主，占全磷含量的75—90%以上，有机磷一般只占全磷量的10—25%；(2) 无机磷组成中以Ca—P为主，占无机磷总量50—80%；O—P次之，占无机磷总量15—20%；Fe—P和Al—P含量较低，而且相近，分别占无机磷总量5—10%和3—10%；(3) 在Ca—P组成中以Ca₁₀—P为主，占无机磷总量的60—75%；Ca₈—P次之，占5—15%，Ca₂—P含量最少，只占1—3%，与速效磷含量接近，(4) 各种形态的无机磷含量，综合起来看，其规律为Ca₁₀—P>O—P>Fe—P>Al—P>Ca₈—P>Ca₂—P。Ca—P总量占无机磷的相对比例明显高于中性和酸性等非石灰性土壤。

(二) 砂姜黑土无机磷的形态与土壤肥力的关系

据沈仁芳、蒋柏藩等人的研究①，石灰性土壤中的无机磷组成与土壤肥力有密切关系，其中Ca₂—P和Al—P是有效的(易溶性的)，Ca₈—P和Fe—P是迟效态的(枸溶态的)，O—P是微溶性的，而Ca₁₀—P是无效态的(难溶性的)。他们已用生物试验予以证实。

① 沈仁芳，石灰性土壤磷有效性研究(硕士论文)。

表2

不同肥力砂姜黑土耕层(表层)的无机磷组成

肥力水平	剖面号	无机磷组成 ($P_2O_5, mg \cdot kg^{-1}$)							
		总量	Al—P	Fe—P	O—P	Ca—P			
						总量	Ca ₂ —P	Ca ₈ —P	Ca ₁₀ —P
高	88—4	585	41.0	76.1	105	362	11.1	42.1	310
	88—5	711	56.9	61.9	128	462	17.8	51.9	391
	88—9	1762	229	24.7	264	1022	65.1	388	564
	88—11	967	116	82.2	280	493	17.4	203	271
	88—18	716	70.9	73.2	122	451	29.4	107	315
肥	平均值	948	103	199	180	558	28.2	153	370
中	88—24	628	57.1	62.8	163	345	20.7	49.6	276
	88—12	820	90.2	67.2	139	525	33.3	213	287
	88—17	542	46.6	59.6	119	314	9.21	21.9	232
	88—2	645	53.5	61.5	123	406	16.1	71.0	310
	88—3	568	44.9	46.0	102	375	13.1	32.9	320
低	平均值	641	53.5	60.9	128	391	16.6	78.3	298
肥	皖45	464	30.2	13.0	65.0	353	6.03	22.1	316
	淮83—5	647	6.46	18.9	80.7	541	4.32	18.5	518
	淮83—8	415	5.59	37.6	87.4	284	5.31	15.2	263
	平均值	509	1.41	23.2	77.7	393	5.22	21.9	366

表3

不同肥力砂姜黑土耕层中各种形态磷的相对值

肥力水平	剖面号码	有机磷 占全磷 %	速效磷相对值(%)		无机磷的相对值(%)						
			占全磷	占无机磷	Al—P	Fe—P	O—P	Ca—P			
								总量	Ca ₂ —P	Ca ₈ —P	Ca ₁₀ —P
高	88—1	25.6	1.3	1.8	7.0	13	13	62	1.9	7.2	53
	88—5	19.7	1.9	2.4	9.0	8.7	18	65	2.5	7.3	55
	88—9	16.7	3.1	3.7	13	14	15	58	3.7	22	32
	88—11	23.6	1.4	1.6	12	8.5	29	51	1.8	21	28
	88—18	25.9	2.9	3.9	9.9	11	17	63	4.1	15	41
肥	平均值	22.1	2.1	2.7	10	11	19	60	2.8	15	42
中	88—24	12.5	2.8	3.3	9.1	10	26	55	3.3	7.9	44
	88—12	16.0	2.2	2.5	11	8.2	17	64	2.9	26	35
	88—17	19.6	1.3	1.7	8.6	11	22	58	1.7	4.6	52
	88—2	18.2	2.0	2.3	8.3	10	19	63	2.5	11	49
	88—3	21.4	1.5	1.9	7.9	8.1	18	66	2.3	5.8	58
低	平均值	17.5	2.0	2.3	9.0	9.5	20	61	2.5	11	48
肥	皖45	7.3	0.6	1.4	6.5	2.8	14	76	1.3	7.1	68
	淮83—5	7.7	0.5	0.8	1.0	2.9	12.5	84	0.7	2.9	80
	淮83—8	13.9	1.1	1.4	1.3	9.1	21.1	68	1.3	3.7	63
	平均值	9.6	0.8	1.2	2.9	4.9	15.9	76	1.1	4.6	70

表2及表3还表明,在土壤无机磷组成中, Ca₂—P、Al—P、Fe—P和Ca₈—P的含量以肥力高的土壤较多;而Ca₁₀—P则以肥力低的土壤较多;O—P则无规律可循。说明Ca₂—P、Al—P、Fe—P和Ca₈—P对提高土壤肥力和作物产量有重要作用。这与沈仁芳和蒋柏藩的研究结果相一致。从而证明了石灰性土壤中,除Al—P和Fe—P对作物生长有效外, Ca₂—P和

Ca₈-P也是有效磷的重要给源。

据过兴度研究^[4]，淮北砂姜黑土中的有机质与全氮、碱解氮和交换量等呈极显著相关，而与速效磷呈显著相关，可见土壤机质、全氮、碱解氮和速效磷的含量，是衡量砂姜黑土肥力水平的重要依据。

为了进一步阐明砂姜黑土中各种形态无机磷的生物有效性，特将6种不同形态无机磷的含量分别与有机质、全氮、碱解氮、全磷、有机磷、速效磷的含量进行了相关分析(表4)。相关系数表明：(1) Al-P、Ca₂-P、Ca₃-P和Fe-P都与有机质、全氮、全磷和速效磷达到显著甚至极显著相关，特别是Ca₂-P和Al-P尤为突出；(2) O-P与全氮、全磷、速效磷达到显著相关；(3) Fe-P和Ca₈-P与碱解氮、有机质也达到极显著相关；(4) Ca₁₀-P与养分含量无相关性。说明砂姜黑土中除Ca₁₀-P外都是有效的。从而否定了石灰性土壤中Ca-P都是无效的传统概念。

表4 砂姜黑土耕层中无机磷形态与土壤养分含量的相关系数

无机磷形态	Al-P	Fe-P	O-P	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Ca ₁₀ -P
有机质	0.723**	0.841**	0.257	0.786**	0.688*	0.263
全氮	0.768**	0.378	0.723**	0.742**	0.625*	0.195
碱解氮	0.441	0.641*	0.416	0.022	0.315	-0.109
全磷	0.939	-0.143	0.752**	0.908**	0.911**	0.507
有机磷	0.006	0.881**	0.239	0.374	0.797**	0.052
速效磷②	0.931	-0.05	0.687*	0.997	0.769**	0.352

注：① * 显著相关，(P<0.05)，** 极显著相关(P<0.01)，n=13；

② 速效磷用Olsen法测定。

(三)砂姜黑土施用磷肥问题

80年代以来，绝大多数砂姜黑土连年施用了磷肥，每亩用量约相当于P₂O₅5kg，土壤速效磷含量明显增加，因此缺磷现象得到了缓解，但仍需施用磷肥，否则难以持续增产。施用时必须遵循下列原则：(1) 因土施肥，均衡增产。速效磷含量较低的中、低产土壤可适当多施，而速效磷含量高的高产土壤可适当少施；(2) 氮磷配合，提高效益。因为砂姜黑土既缺磷，又缺氮，氮磷配合施用，可以明显提高效益，比单施同量氮肥或磷素的增产效益高，这是多年来行之有效的办法，应该继续采用；(3) 增施有机肥料，以提高土壤有机质的含量。这不仅可以提高土壤的供磷强度，而且可以改良砂姜黑土的某些不良物理性质；(4) 集中施磷，减少固定。据吴文荣等研究^[3]，砂姜黑土对磷的固定能力很强，而且固定速度很快，因此应该提倡集中施用磷肥，以减少土壤对磷的固定；(5) 实行旱改水，提高磷的有效性。在水源有保证的砂姜黑土区，可有计划地进行旱改水，从而提高磷的有效性。

参 考 文 献

- [1] 张俊民、潘玉生、孙怀文、胡积琳等，安徽淮北平原土壤，第4章，上海人民出版社，1976。
- [2] 中国土壤学会土壤农化分析委员会，土壤农业化学分析法，科学出版社，1983。
- [3] 吴文荣、方世经、周恩嘉等，砂姜黑土磷素状况及磷肥施用，砂姜黑土综合治理研究，第172—178页，安徽科技出版社，1988。
- [4] 过兴度，砂姜黑土腐殖质的特征与肥力的关系，砂姜黑土综合治理研究，第302—309页，安徽科技出版社，1988。
- [5] 蒋柏藩、顾益初，石灰性土壤无机磷分级体系的研究，中国农业科学，第22卷，第3期，1989。
- [6] 顾益初、蒋柏藩，石灰性土壤无机磷分级的测定方法，土壤，第22卷，第2期，1990。