

青海高寒草甸土壤无机磷形态组成的初步研究*

赵宝莲 左克成 鲍新奎 郭建华

(中国科学院西北高原生物研究所)

青海是我国五大牧区之一,可利用草场有5亿多亩,占全国可利用草场的15%以上。据统计其中高寒草甸草场近2亿5千万亩,占全省可利用草场的50%左右;而沼泽草场和高寒灌丛草甸草场分别占全省可利用草场的12%和6%左右。畜牧业生产率高低的基础是草场的产草量。据试验证实(乐炎舟等,1980年),高寒草甸草场产草量对土壤中磷素状况有很大的依赖性。而磷素的形态组成对土壤有效磷含量和植物吸收利用有重要影响(Susuki等,1963; Pratt等1964; Al—Abbas等,1964; 傅绍青等,1982)。因此对高寒草甸土壤无机磷形态组成的研究有一定意义。但未见有关报道,为此,我们对青海高寒牧区主要土壤无机磷的形态组成和数量进行了测定研究,所得结果如下。

一、土壤样品及分析方法

样品一部分采自青藏高原祁连山东段,门源县牧区境内,海拔3200—3400米,另一部分采自玉树州治多县和玉树县,其中沼泽土系发育于藏嵩草(*Kobresia tibetica*)沼泽化草甸;(普通)高山草甸土发育于小嵩草(*K. Pygmaea*),线叶嵩草(*K. Capillifolia*)草甸;碳酸盐高山草甸土分别采自小嵩草、矮嵩草(*K. humilis*)及线叶嵩草3种草甸下的土壤;高山灌丛草甸土则发育于金露梅(*Dasiphora fruticosa*)、山地柳(*Salix oritrepha*)高寒灌丛下;高山草甸草原土采自治多县的紫花针茅(*Stipa pupurea*)建群小嵩草亚建群的高寒草甸草原下。

所采土壤样品中沼泽土(76-013)有机质含量为13.51—27.81%,全氮含量为0.49—1.12%;淋溶高山灌丛草甸土(76-015)的有机质含量为4.89—16.26%,全氮含量为0.20—0.76%;高山灌丛草甸土(HS-003)的有机质含量为1.80—19.66%;(普通)高山草甸土(玉-062)有机质含量为1.09—15.66%,全氮含量为0.09—0.64%;碳酸盐高山草甸土(80-08)有机质含量为0.71—9.81%,全氮含量0.04—0.58%;高山草甸草原土(治-096)有机质含量约为0.76—1.63%,全氮含量0.13—0.17%。有机质、全氮含量在剖面分布上一般均呈由上而下的渐减趋势。

无机磷的分级测定采用张守敬-Jackson提出的土壤磷分级法和他的改进法(Chang

* 无机磷分级测定承蒙南京土壤所蒋柏藩先生热心指导,顾益初、时正元同志给予大力帮助,特此致谢。

本文1984年3月23日收到。

and Jackson, 1957; Petersen and Corey 1966)。但个别步骤稍有改动。主要分析程序如下：首先用 1N 氯化铵提取水溶性磷，继用 0.5 N pH 8.2 的氟化铵提取，主要是磷酸铝盐 (Al-P)，再用 0.1N 氢氧化钠溶液提取，主要是磷酸铁盐 (Fe-P)，再用 0.5N 硫酸提取，主要是难溶性的磷酸钙盐 (Ca-P)，最后用 0.3 摩尔柠檬酸钠和连二亚硫酸钠提取闭蓄态磷 (O-P)。提取出的磷素以钼锑抗显色，在 751 分光光度计上以 700nm 波长，进行比色测定 (顾益初等, 1980)。

作者对原法的改进主要有：

1. 脱色

按原法是采用活性炭进行脱色，但上述地区的土壤有机质含量很高，上层可达 7—27%，用碱性提取液提取铝磷和铁磷时，提取液颜色很深，多次用大量的活性炭脱色导致提取液数量减少，且仍不易获得适宜于比色的提取液，对分析结果影响很大。为此，我们依据提取液色泽深浅程度，加不同数量的浓 H_2SO_4 ，先絮凝其中的胡敏酸，再加适量的事先经脱磷处理的活性炭，强烈振荡，用无磷滤纸过滤，一般可获得无色清液。

2. 振荡

加提取液后，原方法介绍放在振荡机上振提，但因土粒沉在管底，提取效果不均一，为此在离心管中插一根聚乙稀棒，随着振荡自动搅拌，提取结果较为稳定。

3. 离心

原法介绍，提取铁磷时以 2400 转/分的速度离心 15 分钟，变为提高转速至 4000 转/分，离心时间缩短了 3—5 分钟。

4. 提取时间

原法提取铁磷时，加碱性提取液后放在振荡机上连续振荡 17 小时，振提时间太长，操作和设备有一定困难。为此我们对原法及南京土壤所建议振荡 2 小时放置 16 小时，再振荡 2 小时的方法 (顾益初等, 1980) 进行试验对比，结果较为一致。我们采用了此法，从而解决了上述困难。

5. 提取温度

实验证明，不同温度下提取的磷量不同，为在长时间的提取过程中能使温度保持恒定，采用了陕西微生物所研制的恒温振荡器，温度调至 20℃，并将里面的摇床改装，可以同时放入 30 只离心管，温度均匀而稳定，效果较好，保证了测定条件的统一。

二、分析结果与讨论

上述土壤无机磷分级测定结果列于附表。

由附表可见，沼泽土虽土壤含水很多，排水不畅，但 Ca-P 仍是土壤无机磷组成中的主要形态，占无机磷总量的 54.32—67.32%。O-P 仅次于 Ca-P，在无机磷中亦占重要位

土壤无机磷的形态组成和数量

Soil inorganic phosphorus forms of various soil types and quantities

土壤类型 Soil type	层次深度 Horizon depth (Cm)	pH	碳酸盐 Carbo- nate (Ca CO ₃ %)	含量 (P ₂ O ₅ ppm) Content					相对值 (%) Relative value			
				Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P	总量 Total	Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P
沼泽土 76-013 永安城 海拔: 3000 米 Bog soil Yongancheng Alt.: 3000m	0—20	8.00	16.9	49.3	28.4	547.4	382.6	1007.7	4.89	2.82	54.32	37.97
	20—45	8.00	15.4	36.7	25.7	622.0	189.9	874.3	4.20	2.94	71.14	21.72
	45—58	8.02	24.0	20.3	24.8	608.0	250.1	903.2	2.25	2.74	67.32	27.69
高山灌丛草甸土 76-015 干柴滩 海拔: 3400 米 Alpine scrubby meadow soil, Ganchaitan Alt.: 3400m	0—15	7.40	0	51.7	49.7	84.8	718.8	905.0	5.71	5.49	9.37	79.43
	15—30	7.70	0	121.5	50.4	30.2	712.8	914.9	13.28	5.51	3.30	77.91
	30—70	7.65	0	81.8	48.5	53.6	729.7	913.6	8.95	5.31	5.87	79.87
高山灌丛草甸土 HS-003 盘坡 海拔: 3200 米 Alpine scrubby meadow soil, panpo Alt.: 3200m	0—12	7.24	1.1	54.0	64.4	89.6	309.6	517.6	10.43	12.45	17.31	59.81
	12—26	7.00	0.8	18.5	60.1	65.3	237.5	381.4	4.85	15.76	17.12	62.27
	26—49	7.04	0.6	21.9	48.7	52.8	189.9	313.3	6.99	15.55	16.85	60.61
	49—92	7.20	0.7	39.5	44.0	56.6	213.9	354.0	11.16	12.43	15.99	60.42
	92—117	7.51	0.3	49.3	71.0	409.3	303.2	832.8	5.92	8.52	49.15	36.41
(普通)高山草甸土 玉-062 玉树 海拔: 4350 米 (Ortho) alpine meadow soil, Yushu Alt.: 4300m	0—6	6.63	0	83.2	60.2	96.0	302.2	541.6	15.36	11.12	17.72	55.80
	6—32	6.99	0	39.5	25.7	55.5	304.3	425.0	9.29	6.05	13.06	71.60
	32—63	7.00	0	33.4	25.8	21.6	185.8	266.6	12.53	9.68	8.10	69.69
	63—104	7.02	0	38.4	36.3	102.9	110.1	287.7	13.35	12.61	35.77	38.27
	104—130	—	0	29.0	37.6	105.1	86.7	258.4	11.23	14.55	40.67	33.55
碳酸盐高山草甸土 80-08 无名滩 海拔: 3200 米 Carbonate alpine meadow soil, Wumingtan Alt.: 3200m	0—10	7.91	8.7	30.0	21.7	455.8	532.5	1040.0	2.88	2.09	43.83	51.20
	10—40	8.19	23.4	13.5	17.7	460.1	563.1	1054.4	1.28	1.68	43.64	53.40
	40—53	8.40	21.9	5.6	9.8	710.3	339.3	1065.0	0.53	0.92	66.69	31.86
	53—74	8.51	21.5	18.2	6.5	892.0	248.6	1165.3	1.56	0.56	76.55	21.33
	74 以下	8.52	22.9	7.4	6.8	910.2	337.3	1261.7	0.59	0.54	72.14	26.73
碳酸盐高山草甸土 HS-001 九龙岭 海拔: 3150 米 Carbonate alpine meadow soil, Jiulongling Alt.: 3150m	0—13	8.41	15.9	77.5	13.6	417.8	351.5	860.4	9.01	1.58	48.56	40.85
	13—30	8.49	23.9	53.8	11.4	441.0	470.6	976.8	5.51	1.17	45.15	48.17
	30—60	8.62	29.5	26.8	10.7	535.3	258.5	831.3	3.22	1.29	64.39	31.10
	60—102	9.00	29.1	6.9	1.9	1003.2	190.2	1202.2	0.57	0.16	83.45	15.82
	102—146	9.13	27.0	10.2	0	1176.7	138.5	1325.4	0.77	0	88.78	10.45
高山草甸草原土 治-096 治多江羊滩 海拔: 4200 米 Alpine meadow steppe soil, zhiduo Jiangyangtan Alt.: 4200m	0—10	8.86	15.1	8.0	7.0	408.1	72.7	495.8	1.62	1.41	82.31	14.66
	10—23	8.74	16.4	9.5	6.4	419.8	277.9	713.6	1.33	0.90	58.83	38.94
	23—40	8.94	23.2	8.2	6.1	334.3	282.6	631.2	1.30	0.97	52.96	44.77
	40—60	8.98	24.5	4.7	0.1	301.8	93.2	399.8	1.18	0.02	75.49	23.31

置。Fe-P 含量最少, 仅占 3% 以下; Al-P 占 2.25—4.89%, 二者合计尚占不到无机磷的 10%。

高山灌丛草甸土常分布于高海拔的山地阴坡和偏阴坡, 是本地区土壤中淋溶最强烈的土壤类型之一。由附表可见这类土壤 Al-P, Fe-P 明显增多, Al-P 含量可高达 51—

121 ppm, Fe-P 的含量高达 44—64ppm; 二者分别约占无机磷的 5—13% 与 5—15%, 合计占 11—23%。Ca-P 较上述沼泽土明显减少, 除 92 厘米以下底层含量甚高外, 上中层仅占无机磷的 16—17%。而 O-P 是该土壤无机磷的主要形态, 可占无机磷总量的 60—80%, 仅底层稍低, 这显然与土体中铁离子的移动与氧化还原有关。

与高山灌丛草甸土相比, (普通)高山草甸土和碳酸盐高山草甸土的水分状况依次减少, 物质淋溶程度也相应降低。(普通)高山草甸土一般通层无游离石灰, 或仅底层有石灰反应; 而碳酸盐高山草甸土常从上层或地表起就有石灰反应。在无机磷组成中, (普通)高山草甸土的 Al-P 在 29—83ppm 左右, 占无机磷总量的 9—15%, 而 Fe-P 含量在 25—60ppm, 约占无机磷总量的 6—14%, 二者合计约占无机磷总量的 15—26%, 与高山灌丛草甸土接近, 其绝对数量在剖面分布上呈由上而下减少趋势。Ca-P 含量在 21—105ppm, 上、中层土壤中它可占无机磷数量的 8—17%, 至下层随 pH 上升和碳酸钙含量增高, Ca-P 含量及相对比例亦明显增加, 可达无机磷总量的 35—40%, 这点也与高山灌丛草甸土相似。一般在中上层(0—60 厘米), O-P 是土壤无机磷的主要形态, 含量达 180—300ppm 左右, 占无机磷的 55—70%; 下层则与 Ca-P 相近, 占 33—38%, 二者在下层土壤无机磷中占优势地位。从表中结果看, (普通)高山草甸土与高山灌丛草甸土的无机磷形态的组成变化是比较接近的。

碳酸盐高山草甸土的无机磷组成和含量与高山草甸土和高山灌丛草甸土之间有较大差异。由附表可见, 其 Al-P 及 Fe-P 的相对数量均略低于后两者, Ca-P 的含量和占无机磷的比重则远高于(普通)高山草甸土及高山灌丛草甸土。而 O-P 的数量虽高于后两者, 但相对数量则低于后两者。

高山草甸草原土是所测定土壤中水分条件最差的一种, 物质的淋溶程度较弱, 从地表起就具强石灰反应, 剖面中层有石灰新生体出现。由附表可见其无机磷组成中 Al-P 的含量高于 Fe-P, 均在 10ppm 以下, 而 Fe-P 则在 7ppm 以下, 其绝对含量和相对比例是上述各类土壤中较低的。Ca-P 的数量和相对比例都与碳酸盐高山草甸土接近。但在剖面分布上则有明显差异, 碳酸盐高山草甸土是由上向下 Ca-P 逐渐增多, 而高山草甸草原土则是上层 Ca-P 含量高于下层, 反应了水分状况和淋溶程度上的差异。

由附表可看出, 多种不同形态的无机磷在剖面上的垂直分布各不相同。一般 Al-P 在表层含量最多, 向下逐渐减少。Fe-P 和 Al-P 情况相似, 二者相对含量亦呈向下逐渐降低趋势, 且与土壤类型差别无关。Ca-P 在剖面中的垂直分布情况, 因土壤而异, 水成型的沼泽土上下层 Ca-P 含量差异很小; 高山灌丛草甸土体内由表层向下 Ca-P 渐少, 但有的至底层却又突然增加很多, 增加幅度达 50% 至数倍, 是否与母质或成土母岩岩性以及碳酸钙淋洗深度有关, 有待进一步研究。(普通)高山草甸土情况与此相似。O-P 在剖面上的分布, 则多呈由上而下逐渐减少的趋势。

综上所述, 无机磷总量以沼泽土, 碳酸盐高山草甸土最高, 其次为高山草甸草原土, 再次高山灌丛草甸土、(普通)高山草甸土。沼泽土, 高山草甸草原土, 基本以 Ca-P 为主要存在形态; 碳酸盐高山草甸土则以 Ca-P 和 O-P 二者为主; 高山灌丛草甸土及(普通)高山草甸土以 O-P 为主要形态。同时, 依附表统计, 不同类型土壤的 Ca-P, 其绝对量常与土壤 CaCO_3 百分含量的多少和 pH 的高低有关, 它们间的相关系数 r 分别为 0.777 ($n = 30$) 和 0.751 ($n = 29$), 均达到高度显著水平, 证实了相互间这种关系的可靠性。

由此可见,土壤中无机磷的形态组成与土壤性质相联系。

参 考 文 献

- 乐炎舟、鲍新奎、张金霞、赵宝莲, 1980, 高山草甸土营养物质与植物生长关系的研究, 中国草原, (3): 28—34。
傅绍青、宋金玉, 1982, 土壤有效磷的测定方法与磷素形态关系的研究, 土壤学报 19(3): 305—310。
顾益初、蒋柏藩, 1980, 农业化学中磷素分析概述。土壤, (3): 95—101。
Al-Abbas A. H 等(周鸣铮译, 1965), 1964, 以土壤分级为根据的土壤速效磷测定法, 土壤译丛, (2): 62—64。
Pratt P.F. and M. J. Garber(蒋柏藩译, 1964), 1964, 化学速测的有效磷与无机分级磷的相关性, 土壤译丛, 6: 24—28。
Susuki A., K. Lawton and E. C. Doll (凌云霄译, 1964), 1963, 某些密执安土壤中磷素吸收及土壤速测与磷素形态的关系, 土壤译丛, 4: 53—55。
Chang S. C. And M. L. Jackson, 1957, Fractionation of Soil Phosphorus *Soil science*, 84: 133—144。
Petersen G. W. and R. B. Corey, 1966, A Modified Chang and Jackson Procedure for Routine Fractionation of Inorganic Soil Phosphates. *Soil Science Society of America, Proceedings*, 30(5): 563—565。

PRELIMINARY STUDY ON THE FORMS AND THE COMPOSITION OF SOIL INORGANIC PHOSPHORUS IN ALPINE MEADOW IN QINGHAI PROVINCE

Zhao Baolian Zuo Kecheng Bao Xinkui Guo Jianhua
(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

Referring to Chang—Jackson's method, the forms of inorganic phosphorus of principal soil types in alpine meadow in Qinghai province have been studied. The results indicate that calcium phosphate (Ca-P) and occluded phosphates (O-P) are the principal forms in various soil types, being 80—90% of the total inorganic phosphorus, while the absolute quantities and relative proportions of iron phosphate (Fe-P) and aluminium phosphate (Al-P) are comparatively lower.

The quantities of inorganic phosphorus forms are different in various soil types. Generally Fe-P appears less in bog soil and alpine meadow steppe soil, and Ca-P displays a dominant form of inorganic phosphorus. Both Ca-P and O-P are dominant in carbonate alpine meadow soil, but Fe-P is less. O-P is the main form existing in alpine scrubby meadow soil and ortho alpine meadow soil. Ca-P contents turn to be the least comparatively in the above-mentioned soil types, Fe-P is just opposite, Al-P doesn't distinguish very much in the above-mentioned various soil types.