黄土高原不同植被坡地土壤无机磷形态分布研究

张素霞，吕家珑，杨瑜琪，符孟虎
(西北农林科技大学资源环境学院，陕西 杨凌 712100)

摘　要：采用石灰性土壤无机磷分级体系，选取黄土高原 4 种典型植被：柠条、马铃薯、苜蓿和枣树，与裸地作比较，对自然表层土壤中磷素状况进行分析。结果表明：研究区土壤全磷含量 0.55～0.85 g/kg，速效磷含量2.402～5.920 mg/kg，均处于较低状态；无机磷含量占全磷的 60.76%～90.85%，在各无机磷形态中，以 Ca－P (79.37%)为主，几乎没有闭蓄态磷(O－P)；不同无机磷形态的比例顺序是：O－P＜Ca_2－P＜Al－P＜Fe－P＜Ca_8－P＜Ca_{10}－P，其中柠条林地的 Ca_2－P 和 Ca_8－P 无机磷最高，其次是枣树，马铃薯和苜蓿几乎相等。相关分析表明，Ca_2－P 和 Ca_8－P 与速效磷均呈显著的正相关关系，因此，Ca_2－P 和 Ca_8－P 是土壤速效磷的主要来源。

关键词：无机磷形态；分布；典型植被；黄土高原
中图分类号：S153.6　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-7601(2008)01-0029-04

黄土高原丘陵沟壑区位于我国的干旱半干旱区，植被破坏和水土流失十分严重，生态环境恶劣。最大限度地以植被覆盖土地，是治理水土流失的主要途径之一[1～3]，而植被恢复是生态建设的关键；植物生长要以养分供应为条件，土壤中养分含量的高低及养分形态直接影响植被的生长；因此，研究不同植被类型下土壤中养分及其形态具有重要的理论和实践意义；前人的研究主要以土壤水分和土壤肥力水平为主[4,5]，鲜见以某种营养元素及其形态为主的研究。本研究以黄土高原几种典型植被类型下的土壤为研究对象，研究土壤中磷素养分水平及无机磷素形态分布特征，以期为黄土高原的植被恢复和生态建设积累数据。

1　材料与方法

1.1　样品采集

本试验在陕西省米脂县进行，2005 年 11 月选取 4 种常见植被的坡面(每个坡面植被单一，未间杂其它植被，其中枣树和人工柠条林龄分别为 6 年和 23 年，马铃薯地常年种植马铃薯，中间休闲且当季未施磷肥)，坡长坡度坡向均相近，在不同植被的坡面中部(GPS 定位)采 0～20 cm 土样(多点混合)。土壤为黄绵土，均未施肥。采样地的基本情况见表 1。

表 1　土壤分布位置的自然特性和基本理化性状

Table 1　Physical and chemical characters of soils with different vegetation

植被类型 Vegetation type	采样地点 Location	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude (m)	坡度 Gradient (°)	全磷 Total P (g/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	全氮 Total N (g/kg)	硝态氮 Ammoniac N (mg/kg)	铵态氮 Nitrate N (mg/kg)	有机质 Organic matter (g/kg)
荒地 Bare land	姬家峁 Jijiamao	N37°44′	E110°09′	933	29°	0.8501	2.402	0.267	4.50	4.830	3.12
柠条 *Caragana korshinskii*	泉家沟 Quanjiagou	N37°46′	E110°16′	1031	29°	0.5501	5.920	0.344	5.56	4.318	4.61
苜蓿 *Medicago sativa* L.	刘家湾 Liujiawan	N37°41′	E110°07′	977	27°	0.5891	5.322	0.172	9.02	5.103	4.05
马铃薯 *Solanum tuberosum*	泉家沟 Quanjiagou	N37°46′	E110°16′	1076	27°	0.6825	4.802	0.287	8.56	4.153	2.66
枣树 *Ziziphus jujuba*	磨石沟 Moshigou	N37°47′	E110°17′	977	27°	0.6361	2.429	0.223	4.71	5.066	4.16

收稿日期：2007-04-17
基金项目：黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501－138)；“973”项目(2005CB121102)；西北农林科技大学创新团队计划项目资助。
作者简介：张素霞(1981－)，女，河南漯河人，硕士研究生，研究方向为土壤化学。
通讯作者：吕家珑(1962－)，男，甘肃民乐人，博士，教授，博士生导师，研究方向为土壤化学。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.2 分析测定

无机磷分级采用蒋柏藩等提出的方法[6]，其它项目均采用常规分析法[7]。

2 结果与分析

2.1 不同植被下土壤全磷和速效磷含量状况

为了更加直观表达，将表1中不同植被土壤中全磷和速效磷含量以图1表示。

由表1和图1可看出：研究区内不同植被下土壤中磷素含量总体不高，平均0.5501～0.8501 g/kg；各种植被类型覆盖土壤全磷含量相近，裸地略高(没有达到显著水平)，总体与土壤母质中的含量接近，有植被生长的土壤中磷素被植被的生长消耗了一部分；速效磷含量极低，且不同植被下其含量相互比较差异均显著，说明植被对速效磷含量影响很大。除苜蓿地和柠条林地分别为5.332 mg/kg和5.920 mg/kg，含量接近中等外，其余土壤都在5 mg/kg以下，有效磷素供应能力差；尤其是裸地，因缺少植被覆盖，地表裸露，表层土壤中与有机质和养分结合的细粒易受到雨水冲刷，且缺少植物对养分的活化作用，所以速效磷含量最低，为2.402 mg/kg；柠条林地速效磷含量最高，说明其作为豆科灌木类植物，不但根系活化土壤养分的能力较强，而且林龄较长，具有强大保持水土能力，减少养分随土壤侵蚀而流失[8]；苜蓿地速效磷含量仅次于柠条林地，这与其作为良好的饲料作物，喜Ca和P充足的土壤，耐干旱低温有关[9]，且由表1可知：与其它植被相比，苜蓿固氮能力强，促进磷的吸收和潜在有效磷转化[10]；其次是马铃薯地4.802 mg/kg，这与马铃薯作为陕北高产农作物，养分输出大，且重茬种植有关；再次为枣树地，含量2.429 mg/kg，这是因为枣树林龄较小(6年)且长势较差，对土壤磷素的活化能力相对其它植被较小。

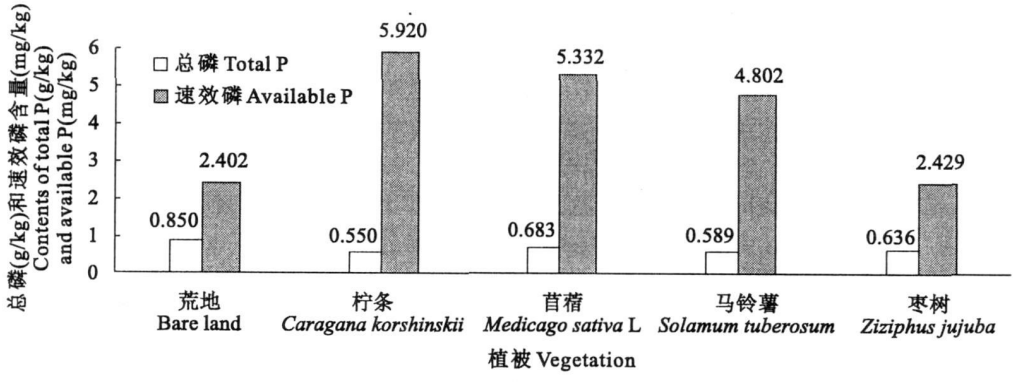

图1 不同植被下土壤全磷和速效磷含量

Fig.1 Contents of total P and available P in soils with different vegetation

2.2 不同植被下无机磷组分分布状况

应用蒋柏藩等提出的无机磷分级方法，对以上土壤无机磷组分进行测定，无机磷分布情况列于表2，各组分所占比例列于表3。

表2 不同植被下土壤的无机磷组分分布状况(mg/kg)

Table 2 Inorganic phosphorus fractionation of soils with different vegetation

植被类型 Vegetation type	无机磷组分 Inorganic P fractionation							无机磷 Inorganic P	占全磷比例(%) Percentage
	Ca_2—P	Ca_8—P	Ca_{10}—P	Ca—P	Al—P	Fe—P	O—P		
荒地 Bare land	3.381	8.453	388.0	399.8	11.05	13.40	—	558.1	65.7
柠条 *Caragana korshinskii*	4.441	31.148	347.5	383.1	13.88	11.60	—	480.8	87.4
苜蓿 *Medicago sativa* L.	3.651	10.107	462.9	476.7	9.206	14.61	—	543.0	79.6
马铃薯 *Solanum tuberosum*	3.551	12.243	397.9	413.7	5.528	14.94	—	535.2	90.8
枣树 *Ziziphus jujuba*	3.161	12.594	298.0	313.7	5.79	10.96	—	386.5	60.8

注：“—”表示O—P在检测限以下。 Note: “—”means O—P was not found.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　不同植被下土壤无机磷组分的比例

Table 3　Percentage of inorganic phosphorus fractionation of soils with different vegetation

植被类型 Vegetation type	Ca_2—P	Ca_8—P	Ca_{10}—P	$\sum Ca$—P	Al—P	Fe—P
荒地 Bare land	0.61	1.51	69.51	71.63	1.98	2.40
柠条 *Caragana korshinski*	0.92	6.48	72.28	79.68	2.89	2.41
苜蓿 *Medicago sativa* L.	0.67	1.86	85.26	87.79	1.70	2.69
马铃薯 *Solanum tuberosum*	0.66	2.29	74.34	77.30	1.03	2.79
枣树 *Ziziphus jujuba*	0.82	3.26	77.10	81.17	1.50	2.84
平均值 Mean	0.73	2.98	75.66	79.37	1.82	2.62

由表 2、表 3 可知:在各种植被土壤中,无机磷占土壤全磷绝大部分比例(60.76%～90.85%),不同植被下土壤无机磷含量顺序为:马铃薯>柠条>苜蓿>裸地>枣树。在各无机磷形态中,以 Ca—P 为主,占无机磷总量的 79.37%,其次是 Fe—P 和 Al—P,分别占无机磷总量的 2.62%和 1.82%;O—P 在检测限以下,这与鲁如坤[11]研究结果一致,北方土壤为石灰性土壤,风化程度高,闭蓄态磷比重小,且其与土壤结合紧密,外有氧化物包被,检测比较困难。

比较不同植被下土壤无机磷各形态占无机磷总量的百分数,呈如下顺序:Ca_2—P,柠条>枣树>苜蓿>马铃薯>荒地;Ca_8—P,柠条>枣树>马铃薯>苜蓿>荒地;Al—P,柠条>荒地>苜蓿>枣树>马铃薯;Fe—P,枣树>马铃薯>苜蓿>柠条>荒地;Ca_{10}—P,苜蓿>枣树>马铃薯>柠条>荒地。

与其它植被相比,柠条林地土壤 Ca_2—P 和 Ca_8—P 的无机磷比例最大,Fe—P 和 Ca_{10}—P 比例低,说明柠条林地中潜在磷源的含量少,有效性磷的含量多,这与柠条作为豆科灌木,根系发达,根部大量的根瘤菌,可以固定空气中的游离态氮,增加土壤含氮量,加之柠条枝叶茂盛,枯落物多,可以增加土壤有机质和全氮,起到培肥地力的作用[12～15]有关,这与表 1 结果一致;并且大量根系分泌物的存在,根系分泌物主要为小分子的有机酸[16],从而导致根际 pH 下降,根际土壤难溶性的磷养分得到活化,有效性提高。

枣树林地土壤 Ca_2—P 和 Ca_8—P 的无机磷比例,仅次于柠条林地,其次是马铃薯和苜蓿,两者 Ca_2—P 和 Ca_8—P 比例几乎相等,说明枣树有效磷含量和对潜在磷源的转化能力大于苜蓿和马铃薯,这与表 1 结果中的有机质和氨态氮含量较马铃薯和苜蓿高一致。

由表 2 和表 3 可知:除 Al—P 外,裸地土壤各无机磷形态含量和比例均为最低,这是因为裸地缺少植被覆盖和根系对土壤养分的活化;这与表 1 结果一致,与其它植被相比,裸地速效磷最低,速效氮和有机质含量也较低。

2.3　不同植被下土壤各无机磷形态与速效磷的关系

由表 4 可知:Ca_2—P 和 Ca_8—P 与速效磷呈显著正相关关系,说明 Ca_2—P 和 Ca_8—P 对速效磷的影响最大,均是有效磷源,可为植被吸收。Al—P、Fe—P 和 Ca_{10}—P 与速效磷呈正相关关系,但相关性不显著,表明这 3 种形态的磷对速效磷影响相对较小。Ca_2—P 和 Ca_8—P 呈极显著的正相关关系,说明 Ca_8—P 是 Ca_2—P 最直接转化磷源。Ca_2—P 和 Ca_8—P 都与 Fe—P 和 Ca_{10}—P 呈负相关关系,说明当条件适合时,Fe—P 和 Ca_{10}—P 可以向 Ca_2—P 和 Ca_8—P 转化。Fe—P 和 Ca_{10}—P 呈极显著正相关关系。

表 4　不同植被下土壤各无机磷形态与速效磷的关系($n=15$)

Table 4　The correlation of inorganic P fraction and available P

	Ca_2—P	Ca_8—P	Al—P	Fe—P	Ca_{10}—P	速效磷 Available P
Ca_2—P	1.00000	0.66338**	0.45493	−0.33317	−0.16378	0.53796*
Ca_8—P	—	1.00000	0.61639*	−0.49894	−0.35545	0.59758*
Al—P	—	—	1.00000	−0.21106	0.10080	0.36098
Fe—P	—	—	—	1.00000	0.85177**	0.29012
Ca_{10}—P	—	—	—	—	1.00000	0.42379
速效磷 Available P	—	—	—	—	—	1.00000

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 结 论

陕北黄土高原不同植被下的自然土壤，由于自然环境和人为干扰的共同作用，土壤肥力水平低下，除了全磷因自身难移动性和母质及成土作用的原因而含量较高外，速效磷、全氮、速效氮和有机质含量均非常低。

裸地土壤全磷含量最高，植物吸收也是影响土壤含磷量的一个重要因素；同时裸地速效磷含量最低，缺少地表植被覆盖加剧土壤中有效养分的损失；各种植被土壤的速效磷含量均不高，有效磷素供应能力差。

在各种植被土壤中，无机磷占土壤全磷绝大部分比例，在各无机磷形态中，以Ca－P为主，其次是Fe－P和Al－P，O－P在检测限以下。

不同植被相比，Ca_2－P和Ca_8－P的无机磷比例顺序为：柠条＞枣树＞苜蓿≈马铃薯＞荒地。

Ca_2－P和Ca_8－P与速效磷呈显著正相关关系，Ca_2－P和Ca_8－P与Fe－P和Ca_{10}－P呈负相关关系，Ca_2－P与Ca_8－P呈极显著的正相关关系。

以上分析可见，试验区坡地土壤，由于水土流失严重，养分贫瘠，植被恢复对生态建设有积极的影响。其中以根系强大的植被（柠条、苜蓿和枣树）作用最大，在三者之间，又因柠条林龄长，且为豆科灌木，根部分泌有机酸，能活化土壤中的潜在养分而作用最大；其次是浅根系植被（马铃薯），最后是裸地。因此，在黄土高原这样的生态脆弱区，不宜毁林弃草，应长期进行人工育林育草活动，其中选择深根系植被和豆科植被是有效减少黄土高原坡地水土流失的一个重要途径。

参 考 文 献：

[1] 朱象三.黄土高原开发治理研究[M].西安：陕西科学技术出版社，1990.1－353.

[2] 金争平，王喜生，张占全.不同治理措施植被恢复效果的初步研究[J].干旱区资源与环境，2001，15(3)：32－34.

[3] 吴仁润，张志学.黄土高原苜蓿研究的回顾与展望[J].中国草业科学，1998，(5)：1－6.

[4] 查 轩，唐克丽，张科利，等.植被对土壤特性及土壤侵蚀的影响研究[J].水土保持学报，1992，6(2)：52－58.

[5] 李香兰，田积莹，张成娥.黄土高原不同林型对土壤物理性质的影响的研究[J].林业科学，1992，28(2)：98－105.

[6] 顾益初，蒋柏藩.石灰性土壤无级磷分级的测定方法[J].土壤，1990，22(2)：101－102.

[7] 鲍士旦.土壤农化分析(第3版)[M].北京：中国农业出版社，2000.1－495.

[8] 牛西午，张 强，杨治平，等.柠条人工林对晋西北土壤理化性质变化的影响研究[J].西北植物学报，2003，23(4)：628－632.

[9] 高菊清.紫花苜蓿栽培技术[J].山西林业，2006，(6)：13－18.

[10] 刘建中，李振生，李继运.利用植物自身潜力提高土壤中磷的生物有效性[J].生态农业研究，1994，2(1)：16－23.

[11] 鲁如坤.土壤农业化学分析(第2版)[M].北京：中国农业出版社，2000.1－638.

[12] 牛西午.柠条的栽培与利用[M].太原：山西科学教育出版社，1988.1－240.

[13] 贾 丽.柠条研究进展[J].植物研究，2001，21(4)：515－518.

[14] 刘增文，李雅素.黄土丘陵柠条林地养分状况及循环规律[J].生态学杂志，1997，16(6)：27－29.

[15] 王生芳.柠条栽培的土壤肥力评价[J].青海农林科技，1986，3：29－31.

[16] ROVIA A D. Rhizosphere research－85 years of progress and frustration[A]. Keister D L, Cregan, P B. The rhizosphere and plant growth[C]. Kluwer: Academic publishers, 1991.3－13.

Study on inorganic phosphorus fractionation on sloping land with different vegetation in the Loess Plateau

ZHANG Su-xia, LU Jia-long, YANG Yu-qi, FU Meng-hu

(*College of Resources & Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shannxi* 712100, *China*)

Abstract: By inorganic phosphorus fractionation method for calcareous soils, study was made on the forms and compositions of inorganic phosphorus in 0～20 cm layer of calcareous soil on sloping land with different vegetation in the Loess Plateau. The typical vegetation included bare land, *Caragana korshinskii*, *Solanum tuberosum*, *Medicago sativa* L. and *Ziziphus jujuba*. The results showed that the content of total P in the soil with five kinds of vegetation was high, from 0.55 to 0.85 g/kg, but the content of available P was low except *Caragana korshinskii* (5.920 mg/kg) and *Medicago sativa* L. (5.332 mg/kg). It was also found that inorganic phosphorus was the main proportion of TP. Among the inorganic phosphorus fractionation, the order of the proportion was Ca_2－P＜Al－P＜Fe－P＜Ca_8－P＜Ca_{10}－P, and the order of the contents of Ca_2－P and Ca_8－P of the soil was *Caragana korshinskii*＞*Ziziphus jujuba*＞*Medicago sativa* L.≈*Solanum tuberosum*. And O－P was not found. We also found that both Ca_2－P and Ca_8－P had a positive correlation with available P, and Ca_2－P had a positive correlation with Ca_8－P.

Key words: inorganic phosphorus fractionation; distribution; typical vegetation; loess plateau

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net