植物营养与肥料学报 2002,8(4):385～389
Plant Nutrition and Fertilizer Science

陕北沙区不同利用方式风沙土的养分特征

石　辉[1,2],吴金水[2],陈占飞[3]
(1 西南师范大学资源环境学院,重庆北碚 400715;2 中国科学院水利部水土保持研究所,陕西杨凌 712100;
3 陕西榆林市农业科学研究所,陕西榆林 719000)

摘要:通过分析陕北沙区榆林市不同利用方式形成的流动风沙土、半固定风沙土、固定风沙土(紧沙土)和由人类生产活动形成的耕种固定风沙土、耕灌固定风沙土的养分特征,发现随着植被的增加,流动沙丘逐渐被固定,流动风沙土、半固定风沙土、固定风沙土含有较多养分的细颗粒增多使表层养分逐渐增加。耕种固定风沙土由于生产活动,加速了土壤有机质的矿化,使土壤有机质、氮素含量降低;而磷肥的使用,使土壤有效磷增加。耕灌固定风沙土作为当地的基本农田受人类活动影响,引水拉沙,增加土壤细颗粒含量,且大量施肥,使这种土壤的肥力有了较大地提高。

关键词:陕北沙区;风沙土;养分特征
中图分类号:S155.5　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2002)04-0385-05

Nutrient characteristics of aeolian sandy soils under different utilization in northern Shaanxi

SHI Hui[1,2], WU Jin-shui[2], CHEN Zhan-fei[3]
(1 College of Resou. and Envir. Southwest Normal Univ. Beibei, Chongqing 400715; 2 Inst. of Soil and Water Conserv., CAS and Ministry of Water Resou., Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 Inst. of Agri. Sci. in Yulin municipality, Yulin, Shaanxi 719000, China)

Abstract: In this paper, the nutrient characteristics of five kinds of aeolian sandy soils sampled from Yulin municipality of northern Shaanxi Province were studied. Among these soils, moving, semi-fixed, and fixed aeolian sandy soils are formed under natural conditions, and cultivated-fixed, irrigated-fixed aeolian sandy soils are formed through artificial cultivation activities. The results showed that with the increase of vegetation, moving dunes were gradually fixed, the nutrient content of surface soil gradually increased from moving aeolian sandy soil to semi-fixed and fixed aeolian sandy soil because the fine grains, which contain more nutrients, were not blown away at a large degree and the content of fine grains in soils gradually increased after vegetation cover improved. The contents of soil organic matter and nitrogen decreased because of the accelerated mineralization of organic matter by human activities. Meanwhile, application of phosphorus fertilizer made the available phosphorus enhance. The irrigated-fixed aeolian sandy soil, the principal farmland in Yulin municipality, was intensively affected by artificial production activities. The fertility of irrigated-fixed aeolian sandy greatly improved by irrigation and fertilization, so the soil nutrient content was higher than that of other soils.

Key words: desert region of northern Shaanxi; aeolian sandy soils; characteristics of nutrients

陕北沙区地处毛乌素沙漠南缘,面积达　1173675hm^2。在历史上,当地曾是广阔的草原,陕

收稿日期:2001-09-11
基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(G2000018605);中国科学院"百人计划"项目资助。
作者简介:石辉(1968—),男,陕西眉县人,博士,教授,主要从事水土保持、土壤侵蚀、土壤物理及土壤物质循环方面的研究。

西靖边县的统万城遗址证明了这一点[1,2]。但由于不合理的土地利用，草原植被被破坏，就地起沙[2,3]，形成了现在这种荒漠景观。经过几十年的综合治理，一些流动沙丘被固定，在一些地区已经形成了人进沙退的可喜局面。风沙土是在风沙母质上发育形成的一种幼年土壤，同时也是该地区的一种主要土壤类型。了解不同利用方式下风沙土的养分特征，对于流动沙丘的治理和风沙土的合理利用有着重要的意义。

1 土壤调查与样品采集

以榆林县为主要采样地区，进行土壤调查与样品采集。

流动风沙土一般为新月形沙丘、沙垄和格状沙丘。植被主要为一些沙生植物，如沙米（*Agriophyllum arenarium*）、沙蓬（*Agriophyllum squarrosum*）、沙芥（*Pugionium cornutum Gaertn*）、沙竹（*Psammochloa mongolica Hitchc*）、牛心朴子（*Cynanchum komarovii*），生长稀疏，覆盖度一般小于15%。流动风沙土为正在移动的风沙土，土壤发育弱。半固定风沙土是由于流动风沙土随植被覆盖度的增加，流动沙丘呈现出半固定状态而形成的一类土壤。由于流动沙丘被半固定，因而半固定风沙土上的植被不同于流动风沙土，主要为白茨（*A. blepharolepis*）、沙嵩（*Artemisia desertorum*）、沙柳（*Aggropyron mongolicum*）、苦豆子（*Sophora alopecuroides L.*）、锦鸡耳（*Caragana microphylla*）、白草（*Penisetum flaccidum*）等，植被覆盖度15%～30%。固定风沙土是由相对平缓的半固定风沙土形成的。对于尚未开发利用的固定风沙土，它的植被主要有白茨、沙嵩、沙柳、柠条（*Caragana korshinskii*）、苦豆子、花棒（*Hedysarum scoparium*）、踏朗（*Hedysarum mongolicum*）、甘草（*Glycyrrhiza uralensis*）等，覆盖度一般达到30%以上。一些固定风沙土被直接开辟为耕地，形成耕种固定风沙土，另一部分通过引水拉沙等措施形成耕灌耕种固定风沙土，成为风沙土区的主要农业土壤。

调查共采集到流动风沙土剖面样品10个，半固定风沙土样品12个，固定但未开发利用的固定风沙土（一般称作紧沙土）10个，耕种固定风沙土样品15个和耕灌固定风沙土15个。每个剖面按照0～20、20～40、40～60cm分别采样。将采集到的样品进行风干，按照土壤农化分析方法分析土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷和速效钾，并每个土类选择2个代表样进行土壤粒径分析。有机质采用重铬酸钾容量法，全氮采用半微量开氏法，全磷高氯酸硫酸消解法，全钾氢氟酸高氯酸酸消解法；碱解氮利用扩散皿法，速效磷采用0.5mol/L碳酸氢钠浸取，速效钾采用醋酸铵浸取[4]。

2 结果与讨论

2.1 土壤有机质

土壤有机质是反映土壤肥力高低的一个重要指标，有机质主要来源于生物作用。未受耕作影响的风沙土，反映了流动沙丘随着植被的增加而固定，有机质积累、肥力提高过程。固定风沙土被开辟成农田以后，有机质含量的高低反映了人为活动对风沙土肥力的影响。风沙土表层的有机质含量变化在0.04%～1.32%之间，平均为0.42%；有机质含量低于0.35%的土样占到了整个样品数的60%。在没有人类耕作活动的情况下，流动风沙土由于植被覆盖度低，本身形成有机质的枯枝落叶少，且风蚀强烈，有机质的积累少，平均仅有0.118%，处于风沙土有机质含量分布的低值区。随着植被覆盖度的提高，形成半固定风沙土，其有机质含量得到了一定的提高，平均含量上升到0.202%。风沙土被完全固定以后，随着植被覆盖度的提高，有机质急剧上升，平均达到0.736%，部分土样有机质达到了1%以上（表1）。

表1 风沙土表层有机质含量分布

Table 1 Distribution of organic matter in surface layer (0～20cm) of aeolian sandy soils

土壤 Soil	样本数(No.) Samples									有机质平均 O.M
	0.04%～0.19%	0.20%～0.35%	0.36%～0.51%	0.52%～0.67%	0.68%～0.83%	0.84%～0.99%	1.00%～1.15%	1.16%～1.32%	合计 Total	
MAS	10								10	0.118%
SFS	5	7							12	0.202%
FAS			1	3	3	1	2		10	0.736%
CFS	3	9	3						15	0.265%
IFS		3	2	2	2	2	2	2	15	0.744%
Total	18	19	6	5	5	3	4	2	62	
Percentage	29.03%	30.65%	9.68%	8.06%	8.06%	4.84%	6.45%	3.23%	100.00%	

注(Note)：MAS-流动风沙土 Moving aeolian sandy soil；SFS-半固定风沙土 Semi-fixed aeolian sandy soil；FAS-固定风沙土 Fixed aeolian sandy soil；CFS-耕种固定风沙土 Cultivated fixed aeolian sandy soil；IFS-耕灌固定风沙土 Irrigated fixed aeolian sandy soil. 下同，Same as follows.

固定风沙土被开辟为农田以后,其土壤有机质受人为活动的影响越来越大。耕种固定风沙土表层的有机质含量平均为0.265%,仅为紧沙土的1/3。因为农业生产将地上部的生物量进行收获,仅有地下部的根系作为有机物质的主要来源,减少了有机物的输入。同时,作为耕种土壤,不断的耕作活动,加速了原有有机质的矿化。耕灌固定风沙土表层有机质平均为0.744%,高于固定风沙土和耕作固定风沙土。一方面由于土壤水分条件较好,作物生产力较高,形成的残余物质增多,另一方面引水拉沙过程中带来了大量的粘粒,而粘粒对土壤有机质具有富集作用[5];同时由于土壤水分条件较好,农作物的地下生物量增加,使土壤有机质的来源增多。

从剖面分布可以看出(图1),流动、半固定和耕种固定风沙土有机质含量在整个剖面上差异较小;固定和耕灌固定风沙土表层(0~20cm)有机质含量远远高于下部层次。从流动风沙土到半固定风沙土、固定风沙土,土壤剖面有机质有了一定提高,但以固定风沙土表层有机质提高幅度最大。由于固定沙丘的植被主要是直根系植物,表层的根系密度较大而下层较少,因而土壤表层有机质含量大大高于底层。

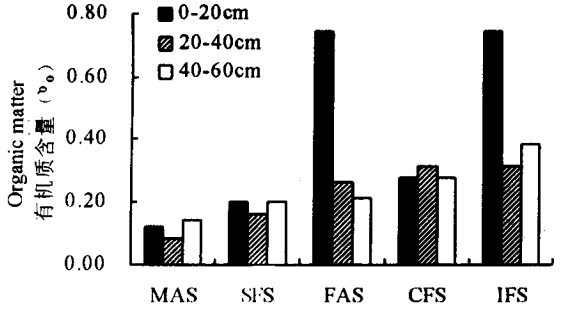

图1　风沙土剖面有机质含量

Fig 1　Content of organic matter in the profiles of aeolian sandy soils

MAS-流动风沙土 Moving aeolian sandy soil; SFS-半固定风沙土 Semi-fixed aeolian sandy soil; FAS-固定风沙土 Fixed aeolian sandy soil; CFS-耕种固定风沙土 Cultivated fixed aeolian sandy soil; IFS-耕灌固定风沙土 Irrigated fixed aeolian sandy soil. 下同, Same as follows

2.2　土壤氮素

土壤氮素含量的高低直接影响着植被的生长。几种风沙土表层全氮含量见表2,从中可以看出,土壤氮素与有机质有相似的分布。流动风沙土表层的全氮含量处于整个风沙土的最低区,平均为0.0078%,半固定风沙土和固定风沙土分别增加到0.0161%和0.0309%。耕种固定风沙土由于耕作的影响,全氮含量低于固定风沙土;耕灌固定风沙土的全氮含量最高,为0.0349%,是流动风沙土全氮含量的4.47倍。土壤中的全氮与有机质有正相关关系,从而风沙土中有机质的分布形式决定了其全氮的分布状态。

在剖面上,风沙土平均全氮含量仍以固定风沙土、耕种固定风沙土和耕灌固定风沙土为高(图2)。在自然条件下,由于流动风沙土、半固定风沙土和固定流动风沙土的植被存在差异,全氮在3个层次间的比例分别为1.5:1.01:1, 1.32:1.09:1和2.53:1.09:1。

碱解氮含量的高低反映了植物生长期间利用氮素的高低,它的含量反映了供氮水平。流动风沙土表层碱解氮含量为8.19~20.00 mg/kg,平均14.61 mg/kg;半固定风沙土为10.62~21.52 mg/kg,平均16.47 mg/kg;固定风沙土16.33~40.95 mg/kg,平均29.19 mg/kg;耕种固定风沙土12.48~21.55 mg/kg,平均17.68 mg/kg;耕灌固定风沙土19.03~44.71 mg/kg,平均30.90 mg/kg。

表2　风沙土表层全氮含量分布比较

Table 2　Distribution of total nitrogen in surface layer (0~20cm) of aeolian sandy soils

土壤 Soil	样本数(No.) Samples									全氮平均
	0.0032%~0.0093%	0.0094%~0.0155%	0.0156%~0.0217%	0.0218%~0.0279%	0.0280%~0.0341%	0.0342%~0.0403%	0.0404%~0.0465%	0.0466%~0.0527%	合计 Total	Tot.N
MAS	10								10	0.0078%
SFS	5	7							12	0.0161%
FAS			1	3	3	1	2		10	0.0309%
CFS	3	9	3						15	0.0215%
IFS		3	2	2	2	2	2	2	15	0.0349%
Total	11	6	14	13	8	3	3	4	62	
Percentage	17.74%	9.68%	22.58%	20.97%	12.90%	4.84%	4.84%	6.45%	100.00%	

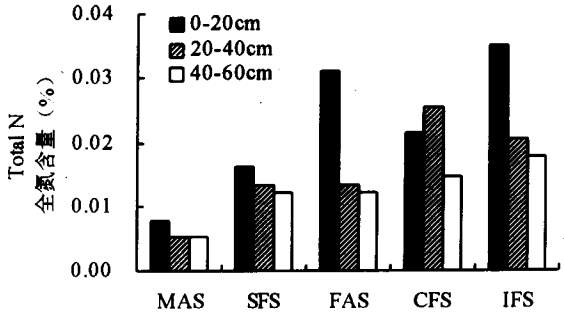

图2 风沙土剖面全氮的分布

Fig. 2 Content of total nitrogen in the profiles of aeolian sandy soils

2.3 土壤磷素

土壤中的全磷包括有机态和无机态两种形式，有机态磷主要来源于成土过程中的生物作用，而无机态磷除使用化肥外主要来源于成土母质。对于风沙土表层土壤来说，其全磷含量受母质和植被的共同作用，不象有机质和全氮那样主要与植被有关，因而各种风沙土的全磷含量在0.0325%～0.1358%。除了流动风沙土全磷含量较低外，其余几个土壤之间的差异不大(表3)。风沙土剖面上全磷含量的差异比有机质和全氮小(图3)，这可能由于风沙土总的剖面发育不明显，成土母质中的磷是其主要来源的缘故。

流动风沙土、半固定风沙土、固定风沙土的可被植物直接利用的速效磷平均含量分别为3.64、5.37和9.30 mg/kg。说明从流动沙丘到固定沙丘，随植被覆盖度的增加，生物作用对磷素的活化增强，在全磷含量差异不大的情况下速效磷含量增加。耕种固定风沙土和耕灌固定风沙土的有效磷含量分别为9.89 mg/kg和11.10 mg/kg，高于流动、半固定、固定风沙土，表现出受强烈的人为活动的影响，施肥成为有效磷含量增加的一个重要原因。

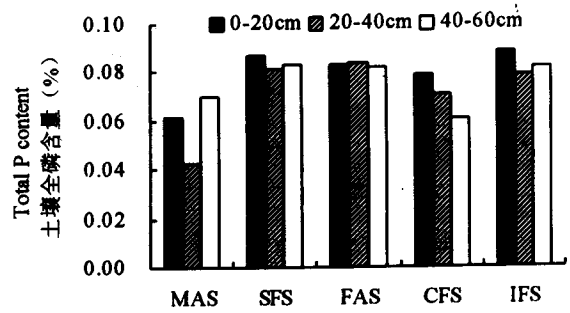

图3 风沙土剖面全磷含量分布

Fig. 3 Content of total phosphorus in the profiles of aeoliant soils

表3 风沙土表层全磷含量比较

Table 3 Distribution of total phosphorus in surface layer (0～20cm) of aeolian sandy soils

土壤 Soil	样本数(No) Sample								合计 Total	平均 Tot.P
	0.0325%～0.0442%	0.0443%～0.0560%	0.0561%～0.0678%	0.0679%～0.0896%	0.0897%～0.1004%	0.1005%～0.1122%	0.1123%～0.1240%	0.1241%～0.1358%		
MAS	3	2	2	1	1	1			10	0.0615%
SFS	1	1	1	3	2	1	3		12	0.0869%
FAS		1	1	4	2	1		1	10	0.0831%
CFS		4	2	4	1	2	2		15	0.0786%
IFS			4	5	1	1	4		15	0.0886%
Total	4	8	10	17	7	6	9	1	62	
Percentage	6.45%	12.90%	16.13%	27.42%	11.29%	9.68%	14.52%	1.62%	100.00%	

2.4 有效钾

全钾含量决定于土壤的含钾矿物，主要包括原生矿物和粘土矿物，风沙土的全钾含量平均在1.92%[3]。但风沙土的有效钾含量较低。流动风沙土的有效钾含量在33.4～48.0 mg/kg之间，平均40.8 mg/kg；半固定风沙土的有效钾含量32.4～82.3 mg/kg，平均57.4 mg/kg；固定风沙土的有效钾含量51.6～105.3 mg/kg，平均78.7 mg/kg；耕种固定风沙土的有效钾含量48.5～85.2 mg/kg，平均69.0 mg/kg；耕灌固定风沙土的有效钾含量64.1～96 mg/kg，平均77.2 mg/kg。这可能是该地降水较少使矿物的分解作用减弱。

2.5 土壤物理性粘粒

风沙土地区气候干燥，植被稀少，昼夜温差较大，风大而且频繁。一旦不存在植被，在风蚀作用下，沙粒在地表流动，以致流沙蔓延。其成土作用，主要包括两个方面，一是在风力的作用下，沙粒堆积在原有土壤的表层，使原来土壤的成土过程中断，新的成土过程又重新开始；二是在风力作用下，原有的土壤腐殖质层丧失，结构破坏，细颗粒被刮走，引起

沙化。因此，风沙土中细颗粒的含量高低直接与养分含量有关。

表 4 是风沙土物理性粘粒（<0.01 mm），1～0.05mm 颗粒与土壤养分含量的相关分析。从中可以看出，风沙土耕层土壤粘粒含量与土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮和速效钾呈显著或极显著的正相关关系；而 1～0.05mm 粗颗粒含量与上述养分呈负相关关系。对于所分析的几种风沙土，由于流动和半流动风沙土植被覆盖度低，防止风蚀的能力弱，表层土壤中<0.01 mm 的物理性粘粒经常被风吹走，含量较低，仅为 4.83% 和 7.43%；随着植被覆盖度的提高，抗风蚀能力逐渐增强，固定风沙土的物理性粘粒上升到 15.38%。当固定风沙土被开垦用做农田以后，虽然在生产中采取了一些防止风蚀的措施，但在风蚀强烈的春季，作物尚未覆盖地表，部分粘粒被风吹走，含量降低。耕灌固定风沙土由于引洪灌溉，洪水中的细颗粒在土壤表层沉积，因而增加了表层土的粘粒含量（表 5）。物理性粘粒含量的高低决定了风沙土养分的上述含量特征。

表 4　风沙土物理性粘粒（<0.01 mm），1～0.05mm 颗粒与土壤养分含量的相关分析

Table 4　Correlation analysis between physical clay (<0.01 mm), sand (1～0.05mm) and contents of soil nutrients

	有机质 O.M	全氮 Tot. N	全磷 Tot. P	碱解氮 Avail.N	速效磷 Avail.P	速效钾 Avail.K
物理性粘粒（<0.01 mm）Physical clay	0.916**	0.897**	0.764**	0.875**	0.453	0.823**
1～0.05mm 颗粒 Sand	-0.827**	-0.808**	-0.853**	0.862**	0.567	-0.719*

注（Note）：*、** 分别表示差异显著性达 5%、1% 水平（$R_{0.01}=0.765$，$R_{0.01}=0.632$，n=8）。*、** means significant at 5%、1% levels.

表 5　风沙土耕层的机械组成

Table 5　The mechanical composition of cultivated horizon (0～25cm) of aeolian sandy soils

土壤 Soil	机械组成 Mechanical composition		
	1～0.05mm	0.05～0.01mm	<0.01mm
MAS	93.93%	1.27%	4.83%
SFA	90.33%	2.24%	7.43%
FAS	73.90%	10.72%	15.38%
CFS	75.72%	11.90%	12.38%
IFS	68.87%	14.63%	16.50%

3　小结

3.1　陕北风沙土表层养分含量较低。有机质含量平均为 0.42%；全氮平均为 0.0233%；全磷平均为 0.0803%；碱解氮平均为 22.0 mg/kg；速效磷平均为 8.22 mg/kg；速效钾平均为 65.8 mg/kg。流动风沙土和半固定风沙土的含量最低，固定风沙土和耕灌固定风沙土的含量最高。养分含量高低与风沙土物理性粘粒（< 0.01 mm）含量成正相关，与 1～0.05mm 颗粒含量成负相关。

3.2　养分含量在剖面上的分布特点，主要与其成土过程有关。流动和半固定风沙土在移动过程中，覆盖于过去土壤的表层，由于植被的枯枝落叶，表层有机质、全氮、全磷含量较高；而底层为埋藏土壤的表层，本身养分含量较高，因而剖面显示出上下两层养分含量较高而中间较低的趋势。固定后，植被的生物小循环作用增强，因而出现上高下低的养分特征。耕种和耕灌风沙土由于受人为活动的影响，其养分含量变化的规律性较弱。

3.3　从成土过程可知，流动风沙土由于植被稀少、风蚀强烈，土壤中物理性粘粒的含量较低，各种养分含量也较低。随着植被的增加，流动沙丘逐渐被固定，土壤颗粒组成的细颗粒增多，使流动风沙土、半固定风沙土、固定风沙土的表层养分逐渐增加。耕灌和耕种固定风沙土作为当地的基本农田，通过灌溉和施肥，使这种土壤的养分含量较其他风沙土为高。

参 考 文 献：

[1] 史念海，曹尔琴，朱士光．黄土高原森林与草原的变迁[M]．西安：陕西人民出版社，1985．180-208．

[2] 北京大学地理系，中国科学院自然资源综合考察委员会，中国科学院兰州沙漠研究所，等．毛乌素沙区自然条件及其改良利用[M]．北京：科学出版社，1983．1-16．

[3] 陕西省土壤普查办公室．陕西土壤[M]．北京：科学出版社，1992．177-186．

[4] 南京农学院．土壤农化分析[M]．北京：农业出版社，1980．1-94．

[5] 水利部水土保持司．水力综合治沙技术与实践[M]．西安：陕西科学技术出版社，1996．85-118．