

三江源地区各类生态系统土壤的 性状及其形成能力

邵景安, 邵全琴, 刘纪远

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 土壤形成是 MA 框架下生态系统支持功能的基本内容。运用 GIS 空间分析功能, 测算了青海三江源区生态系统支持功能。结果表明: ①源区土壤形成和生态系统支持功能呈从东南向西北降低的趋势; ②源区各生态系统土壤形成的支持功能具有湿地生态系统> 森林和草地生态系统> 农田生态系统> 荒漠和裸土地及裸岩石砾地的特点; ③源区各生态系统支持功能具有从湿地生态系统、森林生态系统、草地生态系统、农田生态系统到荒漠和裸土地及裸岩石砾地依次降低的趋势; ④草地生态系统退化诱导草地土壤形成功能的退化, 进而驱使草地生态系统支持功能的降低; ⑤强度人为干扰造成生态系统土壤各种性状向退化方向发展, 土壤形成及生态系统支持功能下降。结果有助于丰富人们从土壤形成视角, 对生态系统支持功能的理解和认识。

关键词: 生态系统; 支持功能; 土壤形成; MA 框架; 三江源区

文章编号: 1000-0585(2009)03-0613-12

1 前言

土壤形成是 MA (千年生态系统评估) 框架下生态系统支持功能的基本内容^[1]。地表覆被是土壤形成和发育的核心驱动因子之一, 并通过土壤形成奠定生态系统面向人类各项服务功能形成和发展的基础。生态系统中土壤形成涉及成土和成土后的保持状况^[2,3]。但现有关于土壤形成的研究大多从长时间尺度土壤生成过程的成土发育入手^[4], 而很少考虑人类活动尺度内土壤形成后理化性状的保持。生态系统成土快, 但未必能保持得住^[5,6]。生态系统支持功能依赖于土壤形成后良好理化性状的保持^[7], 没有很好的理化性状, 生态系统支持功能就不能很好发挥。而且, 理解不同生态系统下, 土壤形成后理化性状差异, 对识别生态系统支持功能和土壤环境背景, 制定生态系统支持功能和土壤健康状况保持策略都是必不可少的。青海三江源区特殊的高寒生态条件, 塑造了土壤形成过程中生物化学作用弱和物理作用强的基本特性。近年来, 全球气候变化和人类活动的扰动使源区土壤不同程度退化^[8,9], 并通过与地表各生态系统的互馈作用, 威胁源区乃至国家生态安全。测算源区土壤形成后期理化性状差异, 是理解和认清生态系统支持功能的首要任务。研究拟从土壤形成角度, 分析源区在现代时间尺度上生态系统支持功能及其与土壤形成间的互馈

收稿日期: 2008-03-14; 修订日期: 2008-10-05

基金项目: 国家支撑项目“国家生态恢复重建的综合监测评估关键技术研发”(2006BAC08B00); 中国科学院西部行动计划项目“三江源区生态-生产功能区的区划及其评估研究”(KZCX2-XB2-06-03)。

作者简介: 邵景安(1976), 男, 安徽亳州人, 博士后。主要研究领域土地利用与生态过程。

E-mail: shaoja@lreis.ac.cn

效应，不仅是源区环境变化研究面临的新的科学问题，也是制约国家生态经济发展的重大战略需求。

2 材料与方法

2.1 区域概况

青海三江源区系黄河、长江和澜沧江的源头地区，地处青藏高原腹地、青海省南部，面积 35.65 万 km²。受高寒条件影响，土壤基质形成原始，大多厚度薄、质地粗、肥力低、易受蚀，尚处于年轻发育阶段。生态系统类型和结构的异同决定土壤形成的基本特征^[10]。源区不同生态系统（图 1a），主要土壤类型包含 10 个土类、16 个亚类、21 个土种（图 1b）。草地生态系统，土壤类型多为高山草甸土、亚高山草甸土和高山草原土；湿地生态系统，土壤类型以沼泽土和泥炭土为主；森林生态系统主要涉及高山草甸土和亚高山草甸土；荒漠生态系统，环境恶劣，成土物理风化为主，土壤层薄，质地差，有机质含量低，土壤类型有石质土、高山荒漠草原土和粗骨土；农田生态系统大多源于草地生态系统的转化，光热和水分条件较好，土壤类型以黑钙土和栗钙土为主（表 1）。

2.2 数据收集

三江源区生态系统土壤形成后理化性状的保持主要体现在土壤质地、土层厚度、有机质和土壤营养元素含量等方面。土壤类型采用亚类为基本单元，遵照全国土壤普查办公室制定的土壤分类系统中的命名。而在对土壤理化性状进行成图时，文中细划到土种，其命名使用青海土种志和青海农业区划进行。理化性状参照中国生态系统研究网络观测与分析标准《土壤理化分析与剖面描述》中的方法，剖面层次分根际层和底土层进行归并。源区土壤类型数据和理化性状源于第二次全国土壤普查编制的中国土种志（第 5 卷）、青海土壤、青海土种志、青海农业区划；源区土壤类型图、源区生态系统类型图、1990~2004 年间草地退化图、流域河网图、DEM（100m）等都来自于《三江源区生态系统本底状况

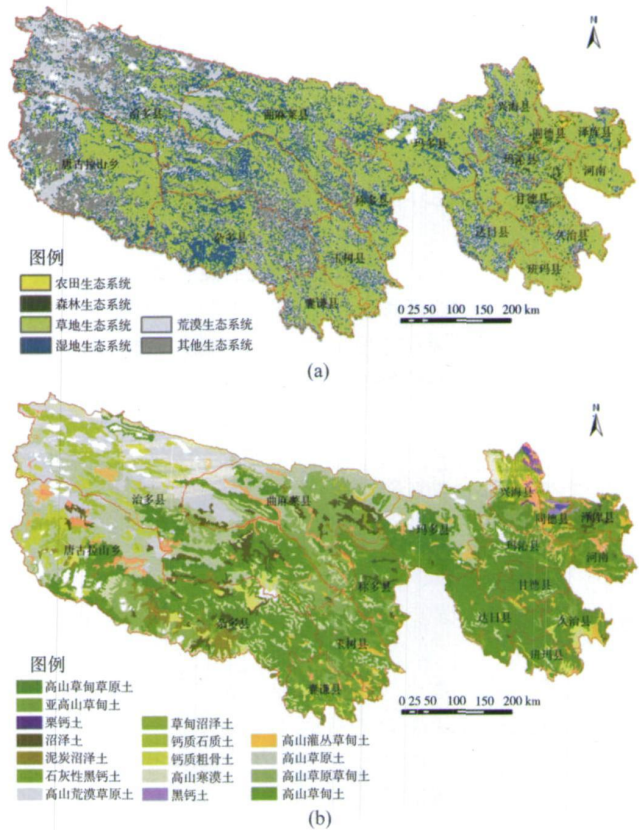


图 1 三江源生态系统类型 (a) 和主要土壤类型 (b) 的空间分布

Fig. 1 The spatial distributions of ecosystem types (a) and primary soil types (b)

综合评估》课题组^[11]。

2.3 数据处理与分析

生态系统类型沿用三江源课题组的6类分类系统^[11]。在ArcGIS环境下,结合三江源区行政界线,从1:100万全国土壤类型图提取源区土壤类型空间分布图,借助青海土种志、土壤、农业区划和中国土种志(第5卷)中对源区土壤空间分布、指示植被、生产力状况、理化性状等的描述,河流分布图对水系、滩地和DEM对地面海拔、高程的刻画等资料,并考虑不同类型土壤对生态系统的特定指示,对源区土壤类型图进行修正。再根据不同土壤典型剖面对土壤理化性状的描述,在认同不同区域同一土壤类型的理化性状一致的情况下,对其进行空间赋值,从而得到源区不同土壤理化性状的空间分布图。草地退化程度与等级划分采用三江源课题组依据《天然草地退化、沙化、盐泽化的分级指标》(GB19377),并根据遥感影像判读原理和特点所制定的草地退化遥感分类系统和分级标准^[11]。通过生态系统类型图和草地退化图与土壤图的叠加,得到不同生态系统和草地退化程度下土壤类型、质地、土层厚度、有机质和养分等理化性状的空间格局。运用理化性状的分异,展现不同生态系统类型下,土壤形成功能的变化以及由草地退化所引起的草地生态系统土壤形成功能的下降。不同草地退化程度对草地土壤退化有深刻影响^[12],具有显著的正相关关系^[13,14]。文中利用这一关系,进行草地退化与土壤形成功能退化趋势的分析。

3 结果与讨论

3.1 三江源区各类生态系统的土壤质地

三江源区土壤质地以砂壤、粘壤和粉砂粘壤土为主,但各生态系统间差异较大(表1)。草地生态系统土壤质地以砂壤和粘壤为主;农田生态系统土壤以粘壤土为主;荒漠和裸土

表1 三江源生态系统主要土壤类型、面积及根际层和底土层质地
Tab 1 The primary soil types, their areas and textures of root zone and downsoil zone of every ecosystem in three river sources

生态系统	土壤亚类	土种	面积 (hm ²)	根际层	底土层	生态系统	土壤亚类	土种	面积 (hm ²)	根际层	底土层
农田	黑钙土	山地草黑土	11502	壤砂	砂壤	草地	亚高山草甸土	亚高山黑土	1282084	壤土	粉砂粘壤
生态	石灰性黑钙土	草坡黄黑土	21399	砂壤	砂土	生态	高山草原土	高山覆砾土	3285280	砂土	砂粘壤
系统	栗钙土	坡地暗黄土	7052	粘壤	粘壤	系统	高山草甸草原土	高山松皮土	1505396	粘壤	粉砂粘壤
(I)		中层黄土	7438	粘壤	粘壤	(III)	高山荒漠草原土	高山砂砾土	1280038	砂壤	砂粘壤
		厚层黄土	14235	粘壤	粉砂粘壤	湿地	沼泽土	薄层积炭土	160706	砂壤	砂壤
	亚高山草甸土	亚高山黑土	6964	壤土	粉砂粘壤	生态	泥炭沼泽土	厚层积炭土	145433	粘壤	粉砂粘壤
森林	高山草甸土	高山软皮土	860021	粘壤	壤粘	系统	草甸沼泽土	草地青泥土	40955	砂壤	粘壤
生态	高山草甸草原土	高山坚皮土	92373	砂壤	砂壤	(IV)	低位泥炭土	薄层泥炭土	15050	砂壤	粘壤
系统	高山灌丛草甸土	高山灌苔土	96148	壤粘	壤粘	荒漠生	钙质石质土	漠境石质土	274804	砂土	
(II)	亚高山草甸土	亚高山黑土	204568	壤土	粉砂粘壤	态系统	钙质粗骨土	漠境粗骨土	102705	砂壤	
草地	高山草甸土	高山薄皮土	1251731	砂壤	壤土	(V)	高山荒漠草原土	高山砂砾土	982248	砂壤	砂粘壤
生态		高山软皮土	6642648	粘壤	壤粘	其他生态	钙质石质土	漠境石质土	432172	砂土	
系统	亚高山草甸土	高山坚皮土	1376606	砂壤	砂壤	系统(VI)	高山寒漠土	石质寒漠土	1194204	砂壤	
(III)		高山剥蚀土	769466	壤土	粘壤						

地及裸岩石砾地土壤因土体富含砾石和石块而呈砂质和砂壤质；森林生态系统土壤以壤粘为主；湿地生态系统土壤具有砂壤和粘壤特性。质地差异对土壤形成和保持特性有重要影响，进而作用于生态系统支持功能。源区砂粒质的荒漠土壤，质地粗糙，保育植被能力差，生态系统支持功能最低。以砂壤和粘壤质为主的草地生态系统土壤，水热气肥耦合较好，生态系统支持功能较高。肖玉等^[15]对青藏高原生态系统保持功能研究，在土壤质地指标上获得了同样结论。同时，土壤质地状况对生态系统退化反映敏感，随退化强度增加，土壤中砾石和砂粒含量增多，而粉粒和粘粒含量逐渐下降，生态系统支持功能降低。

各生态系统土壤根际层通常以砂壤和粘壤为主，而底土层具有砂壤、粘壤和粉砂粘壤特性（图2）。这与源区特殊的高原环境和各生态系统植被状况对土壤颗粒的再分配有很大关系。但不同生态系统的土壤质地分层特性差异较大。草地土壤根际层以砂壤为主，而底土层为粘壤或粉砂粘壤质，这种土壤质地构体有利于草地生态系统支持功能的维持。根际层砂壤孔隙大，有利于降水的入渗，而底土层粘壤或粉砂粘壤则会对入渗的降水进行拦截，从而使草地生态系统具有保水保肥作用。土壤母质特性及其所孕育的植被状况与土壤质地关系密切，影响土壤特性及生态系统支持功能的发挥。草地生态系统土壤源于冲积、洪积和坡积物，具有砂壤或粉砂粘壤特性，利于粘粒和粉粒下移。而荒漠及裸土地和裸岩石砾地土壤主要来源于坡积物和风积物，质地以砂质为主，植被生长稀疏，保水保肥能力差，维持植被生长的能力极低。农田生态系统土壤质地的分层较好，但根际层砂质的农田，在降水少、蒸发大和风蚀、冻融侵蚀强的情况下，有机质和土壤养分保蓄困难，对维持生态系统支持功能不利。

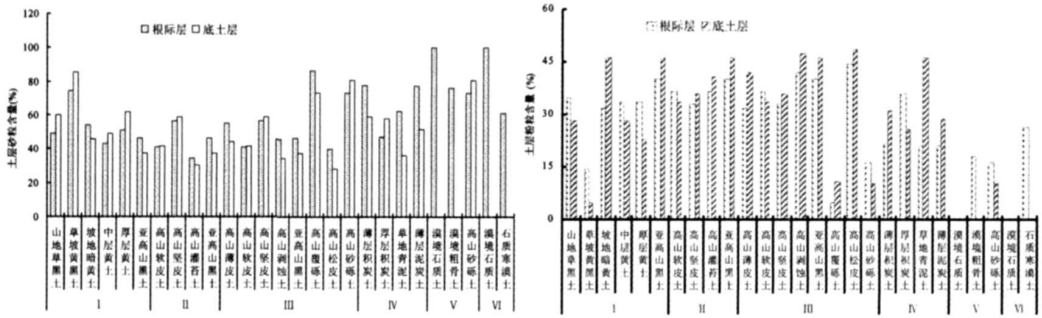


图2 三江源生态系统主要土壤类型根际层和底土层土层砂粒和粉粒含量

Fig 2 The primary soil types soil sandy and silt content of root zone and downsoil zone of ecosystem

3.2 三江源区各类生态系统的土层厚度

三江源区各生态系统主要土壤类型间土层厚度差异明显，呈现从东南向西北降低趋势（图3）。土层厚度与其生态系统生境条件关系密切。农田生态系统大多分布在低山丘陵坡麓、湖盆周围和沿河两岸的坡麓、阶地、滩地等地段，发育母质源于冲积、洪积或坡积物，土层较厚，介于50~120cm，最厚达160cm；草地生态系统处于山地阴坡、半阴坡、半阳坡、坡麓地带以及河谷滩地、河漫滩、湖滨低洼处和低位阶地上，土壤母质来源与农田生态系统类似，土层厚度较农田薄，约40~80cm，部分与农田生态系统相当，但土质好，养分含量高；森林生态系统出现在源区东部，气候阴凉湿润，土壤母质来自于坡积物，土层较厚，在50~90cm之间，部分也可达农田生态系统的厚度，适宜高大乔木和灌

丛植被生长；湿地生态系统，水分条件好，土壤母质来源静水沉积物、冰碛物和冰水洪积物，土层较草地和森林生态系统厚，为60~80cm；荒漠和裸土地及裸岩石砾地，石块、碎石和流动的倒石堆广泛分布，土层瘠薄，仅为20cm左右，且只有根际和母质两层。通常情况，土层厚度越厚，生态系统的土壤形成功能越强，生态系统支持其他服务功能的能力也有相同的趋势。

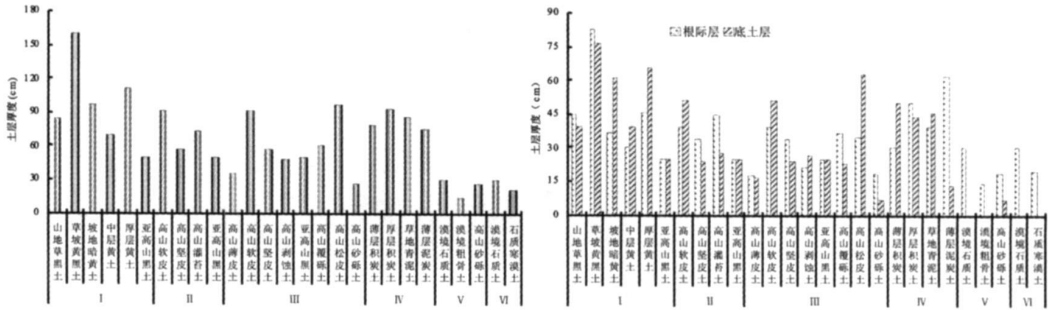


图3 三江源生态系统主要土壤类型土层厚度及根际层和底土层土层厚度
Fig. 3 Soil thicknesses of root zone and downsoil zone of ecosystem primary soil types

土层厚度的分层特征也体现了生态系统支持功能的差异(图3和4)。农田生态系统土壤根际层厚度约35~70cm，而底土层厚度也在这一范围；草地生态系统土壤根际层厚度约20~40cm，底土层厚度20~55cm；湿地和森林生态系统土壤的相应分层厚度分别为(30~60cm和20~40cm)和(20~50cm和25~50cm)。各生态系统土壤根际层土层厚度从厚到浅的顺序为农田生态系统>湿地生态系统>森林、草地生态系统>荒漠和裸土地及裸岩石砾地。根际层是植被生长和养分供给的主要土层，根际层厚度深，则说明植物根系的可伸展潜力越大，植物根系伸展越深，水和养分等的供给就越充分，土壤形成及生态系统的支持能力也越强。湿地生态系统土壤形成及其支持功能的发挥要强于森林生态系统，更强于草地生态系统。而尽管农田生态系统土壤的根际层也较厚，但因人类活动的强度干扰，其支持功能减弱，抗逆性差，生态系统受损后恢复困难。

3.3 三江源区各类生态系统类型的土壤有机质

三江源区土壤有机质的空间分异受制于生态系统类型分布，具有东南高，并向西北递减的特征，但玛多和曲麻莱较中部的较其他地区低，唐古拉东南部与东中部相当，远高于西部大部分地区，甚至较中部的玛多和曲麻莱大部分地区高(图5)。源区东中部较西部自然生境优越，植被生长条件相对较好，以森林、草地、农田和湿地生态系统为主，植物

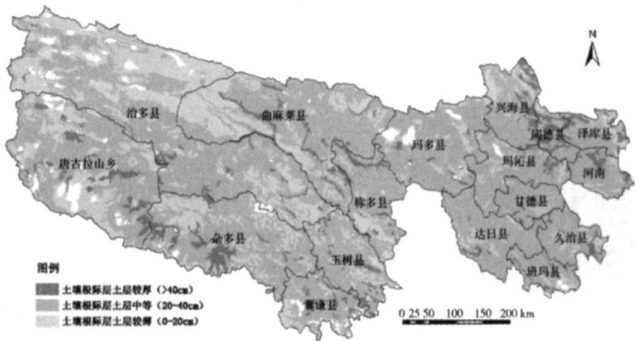


图4 主要土壤类型根际层厚度空间分布
Fig. 4 The distributions of soil thickness of root zone of ecosystems in primary soil types

死亡根系和凋落较多，土壤有机质丰厚，生态系统的支持功能较强。西部荒漠区，生境恶劣，植被生长较差，土壤有机质含量较低，生态系统的支持功能较弱。文献表明，土壤有机质含量与植被盖度存在显著正相关关系^[13]，同时与放牧干扰强度呈负相关^[14]。尽管玛多和曲麻莱部分地区的自然生境与周围地区相当，但因过牧、鼠害等活动的强度干扰，草地退化严重，由植物死亡根系和凋落物所携带的有机质归还土壤较少，从而限制该区土壤形成和生态系统支持功能的发挥。

源区湿地生态系统土壤有机质含量较高，达 $112.6 \sim 425.3 \text{ g kg}^{-1}$ ，森林生态系统次之，为 $138.5 \sim 196.6 \text{ g kg}^{-1}$ ，而草地生态系统有机质含量的变幅较大，在 $14.97 \sim 196.6 \text{ g kg}^{-1}$ 之间，荒漠和裸土地及裸岩石砾地有机质含量最低，尚不足 15.0 g kg^{-1} （图 6）。湿地生态系统植被的密集根系，森林生态系统表土积存的大量枯枝落叶，草地生态系统厚的根际层和密集根系，都使得土壤有机质含量较高。而尽管农田生态系统土层较厚，但有机质含量仅为 $37.7 \sim 94.2 \text{ g kg}^{-1}$ 。原因在于耕作破坏表层土结构，加速土壤有机质的分解，同时作物非生长期，农田地表缺乏覆盖保护，也导致部分土壤有机质侵蚀流失。土壤有机质含量高，生态系统的健康状况及其支持功能就强，呈湿地生态系统、森林生态系统、草地生态系统、农田生态系统、荒漠和裸土地及裸岩石砾地的降低趋势。

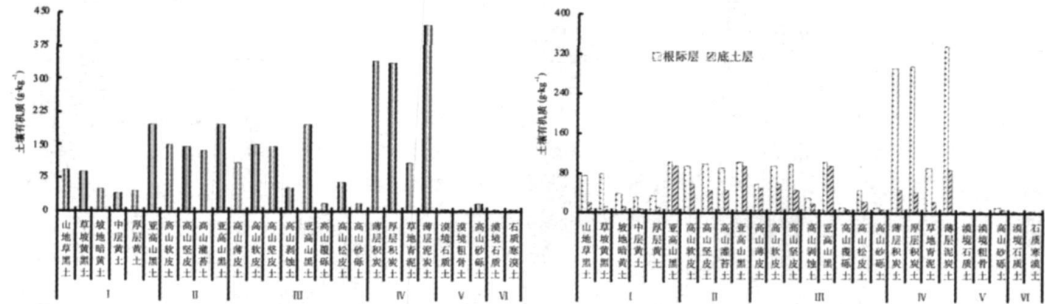


图 6 三江源生态系统类型主要土壤有机质及根际层和底土层有机质含量

Fig. 6 The content of soil organic matter of root zone and downsoil zone of ecosystems in primary soil types

各生态系统土壤根际层有机质含量均大于底土层，说明土壤有机质主要取决于生态系统中植被同化的有机物质和微生物活性（图 6）。根际层枯枝落叶富集、死亡植物根系多，有机质含量高，而底土层根系少，微生物活动弱，有机质含量低。比较根际层与底土层可看出，湿地生态系统土壤根际层有机质含量远高于底土层，农田、森林和草地生态系统土壤有机质的分布也有类似趋势，但根际层与底土层有机质含量差异没有湿地生态系统大。

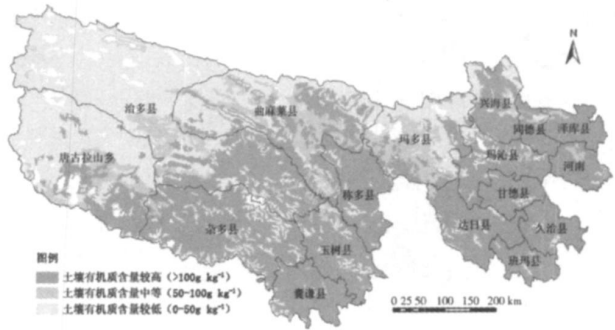


图 5 土壤有机质含量空间分布

Fig. 5 The distributions of soil organic matter of ecosystems in primary soil types

叶和植物根系，而底土层则根系较少，且根际层多为砂壤和粉砂壤土壤质地，通透性较好，微生物活动强度大，土壤有机质分解较快。

三江源区生态系统土壤全磷呈现与土壤有机质和全氮基本一致的分布格局（图 9 和 10），东中部地区高于西部。不同生态系统，土壤全磷含量存在一定差异，总体呈森林、草地、湿地生态系统土壤全磷含量高于荒漠和裸土地及裸岩石砾地。湿地生态系统中，薄层积炭土全磷含量最高，达 6.11 g kg^{-1} ，森林和草地生态系统中的亚高山黑土也达 4.85 g kg^{-1} 。农田生态系统因长期施用磷肥，土壤全磷普遍高于自然生态系统。总体看，三江源各生态系统土壤全磷含量虽有一定的差异，但这种差异并不明显。三江源区生态系统支持功能的评估中，土壤全磷含量可作为潜在依据。

不同成土母质所提供的磷素量是不同的，湿地生态系统土壤只有薄层沼泽土全磷含量较高，而其他土类的含磷量甚至比草地、森林和农田生态系统土壤还低，仅接近于荒漠和裸土地及裸岩石砾地。人类过牧对生态系统土壤全磷也有不同程度的影响，过牧破坏地表覆被，降低其对根系层甚至成土母质的保护，土壤物理风化加速，质地变粗，水土流失加剧。这一过程中，部分土壤磷被带走，从而使土壤全磷降低，进而削弱生态系统的支撑功能。高旭升等^[13]在对三江源高寒草原草地不同退化程度土壤养分变化的研究中，获得了同样结果。土壤全磷的剖面分布，除沼泽土中的薄层积炭土，亚高山草甸土中的亚高山黑土外，其他土壤根际层全磷含量均较底土层高（图 10）。

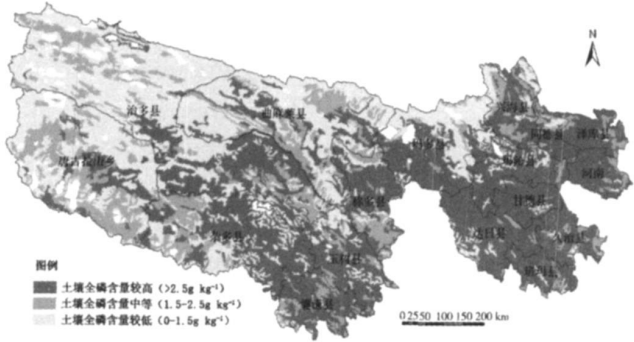


图 9 主要土壤类型全磷含量空间分布

Fig 9 The distributions of total P of ecosystems in primary soil types

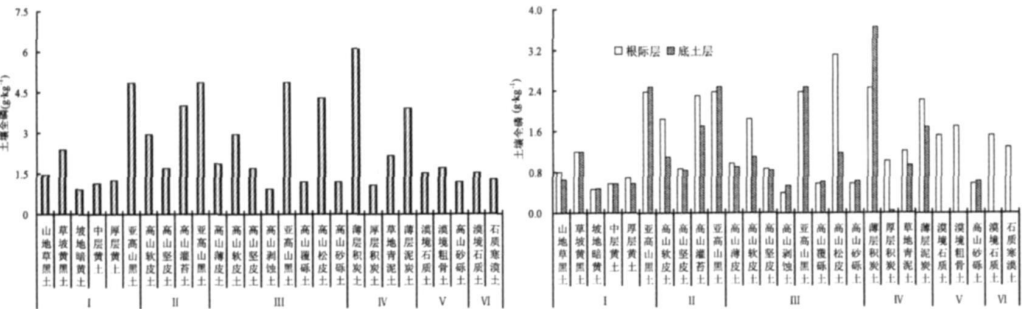


图 10 三江源生态系统的主要土壤类型全磷及根际层和底土层土壤全磷含量

Fig 10 The content of total P of root zone and downsoil zone of ecosystems in primary soil types

三江源区生态系统土壤全钾含量也呈现出东中部地区高于西部的态势（图 11）。这一趋势与土壤有机质、全氮、全磷等含量的空间格局基本一致，但全钾含量高的土壤类型要比土壤有机质、全氮、全磷含量较高的部分分布广。土壤全钾含量多在 $30\sim 50\text{ g kg}^{-1}$ 之

间, 总体呈草地、农田、森林和湿地生态系统土壤全钾含量高于荒漠和裸土地及裸岩石砾地的特点, 特别以草地生态系统中亚高山草甸土全钾含量最高, 达 59.25g kg^{-1} , 而荒漠和裸土地及裸岩石砾地土壤全钾含量最低, 约为 $20.0\sim 45.0\text{g kg}^{-1}$ (图 12)。生态系统土壤全钾含量水平总体较高且变化不大, 不是三江源区植物生长的限制因素, 生态系统支持功能评价中, 土壤全钾可作为潜在指标。

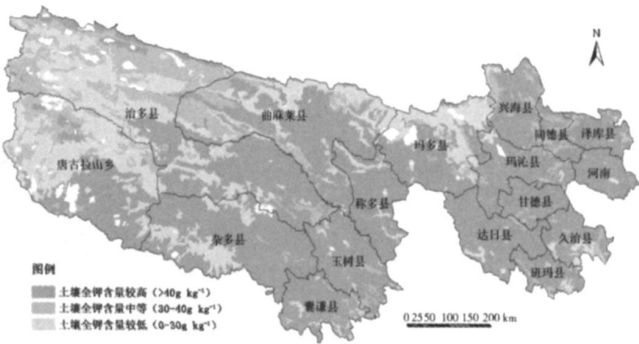


图 11 主要土壤类型全钾含量空间分布
Fig 11 The distributions of total K of ecosystems in primary soil types

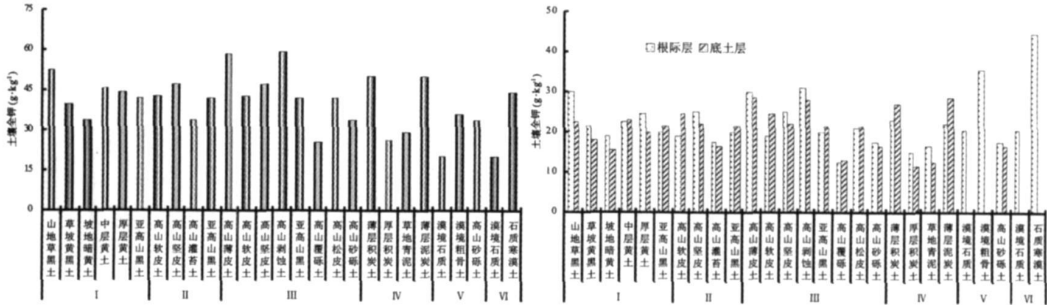


图 12 三江源生态系统主要土壤类型全钾及根际层和底土层土壤全钾含量
Fig 12 The content of total K of root zone and downsoil zone of ecosystems in primary soil types

土壤钾对放牧干扰的响应比土壤全磷更为敏感, 草地过牧区土壤全钾含量甚至比荒漠和裸土地及裸岩石砾地区还低。退化造成土壤颗粒变粗, 土粒越粗, 土壤胶体性状越弱, 土壤对钾离子的吸附性能就越差, 从而引起土壤全钾含量降低。高英志等^[18]认为不同基质草原的钾对放牧有一定的响应, 过度放牧土壤全钾损失严重。农田因作物收获带走大量钾, 从而降低土壤全钾的含量。同时, 钾在土壤中的移动性较强, 土壤全钾含量在各土层分布上没有明显变化。当然, 土壤全钾含量的降低削弱了生态系统支持功能, 但这只在源区草地退化比较严重的区域才会出现 (图 12)。

3.5 三江源区草地生态系统的土壤退化

草地作为三江源区主导基质性景观, 遥感解译表明, 1990~ 2004 年源区草地发生大面积退化, 且以轻度退化为主, 并伴有一定程度的中度和强度退化。在空间格局上, 轻度退化几乎遍及整个源区, 主要集中在中部地区的玛多和曲麻莱, 以及称多中北部、治多东部与曲麻莱接壤地区, 东部和西部地区相对较少。而中度和强度退化主要发生在中部地区的玛多和曲麻莱及治多中东部区域。草地退化实际上是植被- 土壤系统的退化^[19]。源区草地的这种退化格局与草地生态系统土壤形成的空间表现是吻合的。这与三江源课题组对源区上世纪 70 年末至 90 年代初和 90 年代初到 2004 年, 两期草地退化的遥感解译结果是一致的, 即三江源区草地退化的基本格局形成于上世纪 70 年代。而这时也即是全国土壤

普查开始之日。可以说, 草地退化与草地生态系统土壤形成间关系密切。

草地退化除表现在植被破坏、覆盖度降低外, 还表现在土层厚度降低、质地变差、有机质和养分含量降低, 从而诱发草地生态系统土壤形成的退化。但不同土壤类型上的草地退化比重, 引起相应土壤形成退化的广度不同, 通常草地退化比重较大的要广于比重小的, 如中部的玛多和曲麻莱地区要强于东西部地区。且不同的草地退化程度所导致的土壤形成退化强度也不同, 总体呈草地

强度退化> 中度退化> 轻度退化的趋势。轻度退化形成了源区草地生态系统土壤形成功能下降的宏观背景和根本趋势, 中度和强度退化则使这一趋势进一步恶化 (图 13)。综合不同土壤类型发生的草地退化比重及退化程度, 认为发生中度或强度草地退化的土壤, 其生态系统土壤形成功能也呈中度或强度退化 (表 2)。周华坤等^[14]通过对青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征关系分析, 也认为随着草地退化范围的扩展、退化程度的演替, 土壤的形成功能大大受损。

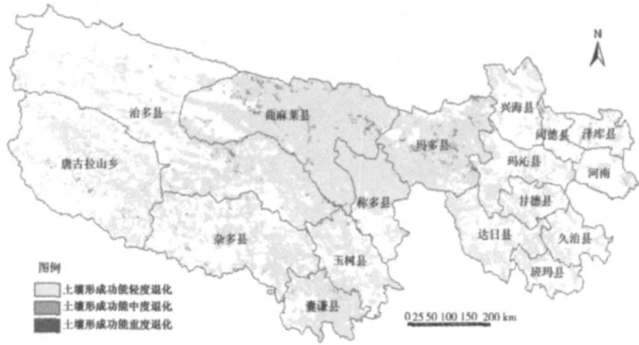


图 13 土壤退化格局

Fig 13 The patterns of soil degradation of grassland ecosystem

表 2 三江源草地生态系统土壤形成功能与草地退化程度的关系*

Tab 2 The relationships of soil formation functions and grassland degradation						
土壤类型	草地退化程度 (%)				土壤形成功能退化	
	轻度	中度	强度	合计		
高山薄皮土	23 96	0 82	-	24 78	↓↓	
高山软皮土	29 46	-	-	29 46	↓	
高山坚皮土	41 77	1 04	-	42 81	↓↓	
高山剥蚀土	68 66	-	-	68 66	↓	
亚高山黑土	23 96	1 02	-	24 98	↓↓	
高山覆砾土	35 02	-	1 17	36 19	↓↓↓	
高山松皮土	38 75	-	1 58	40 33	↓↓↓	
高山砂砾土	12 04	-	0 62	12 66	↓↓↓	

注: * 为某一程度草地退化面积占相应土壤类型的面积比重; ↑、↓、↓↓和↓↓↓ 分别表示伴随草地退化, 草地生态系统的土壤生成能力和支持功能基本维持、轻度退化、中度退化和强度退化。

4 结论

研究以成土后土壤理化性状的保持为切入点, 使用第二次土壤普查资料, 讨论青海三江源区不同生态系统的支持功能。研究有助于弄清青海三江源区生态系统支持功能的本底, 不同生态系统土壤理化性状的保持状况, 丰富人们对 MA 框架下三江源区生态系统支持功能的理解: ①生态系统性质决定源区土壤形成和生态系统支持功能的基本格局, 呈从东南向西北的降低趋势; ②源区各生态系统土壤形成能力差异明显, 表现为湿地生态系统> 森林和草地生态系统> 农田生态系统> 荒漠和裸土地及裸岩石砾地的特点; ③源区各生态系统支持功能具有从湿地生态系统、森林生态系统、草地生态系统、农田生态系统到

荒漠和裸土地及裸岩石砾地依次降低的趋势; ④草地生态系统退化格局与草地土壤形成的态势是吻合的, 这种退化诱使生态系统支持功能的降低; ⑤强度人为干扰造成生态系统土壤各种性状向退化方向发展, 生态系统支持功能下降。

但整个研究看, 由于所使用的数据资料主要来源于第二次土壤普查资料, 时间序列具有静态特征。受自然和人类活动的干扰, 生态系统支持功能是一动态概念, 而土壤形成中理化性状保持也展现一动态过程。就草地生态系统本身而言, 要从土壤形成视角, 识别其生态系统支持功能的变化, 必须对比不同时期不同草地覆盖类型、不同退化程度和不同退化成因下, 相应土壤理化性状的变化。只有这样, 才能从不同侧面测算土壤形成后理化性状的演变态势, 认识生态系统支持功能的变化, 并构建生态系统支持功能健康保持及退化恢复的对策框架。而且, 文中对草地生态系统退化所引起的土壤形成功能的下降, 由于目前缺乏样点数据的验证, 也仅在理论上给予了定性描述, 而未展开定量分析。同时, 研究中没有有关不同剖面层次有关土壤容重的数据, 也未能获得三江源区不同生态系统对土壤形成支持功能的土壤基本性状的密度和储量方面结果。这使得文中的定量表达和分析因资料所限缺乏总体定量表达和对比分析, 这均是作者正在展开的研究思路和研究方向。

致谢: 感谢三江源课题组全体老师和同学对本研究从数据收集到论文写作的帮助和支持。

参考文献:

- [1] 赵士洞, 张永民. 生态系统与人类福祉一千年生态系统评估的成就、贡献和展望. 地球科学进展, 2006, 21(9): 895~ 902
- [2] Yaalon D H. Conceptual models in pedogenesis: can soil-forming functions be solved. *Geoderma*, 1975, 14(3): 189~ 205
- [3] Bockheim J G. Soil development rates in the Transantarctic Mountains. *Geoderma*, 1990, 47(1-2): 59~ 77
- [4] Driese S G, Medaris L G, Ren M H, *et al.* Evolution of some physical properties related to soil quality in the degraded ecosystems of "rañā" formations from SW Spain. *Science of the Total Environment*, 2007, 378(1-2): 130 ~ 132
- [5] 李加林, 刘闯, 张殿发, 等. 土地利用变化对土壤发生层质量演化的影响—以杭州湾南岸滨海平原为例. *地理学报*, 2006, 61(4): 378~ 388
- [6] Humphreys G S, Wilkinson M T. The soil production function: A brief history and its rediscovery. *Geoderma*, 2007, 139(1-2): 73~ 78
- [7] 刘敏超, 李迪强, 温琰茂, 等. 三江源地区土壤保持功能空间分析及其价值评估. *中国环境科学*, 2005, 25(5): 627~ 631
- [8] 龚子同, 张甘霖. 人为土壤形成过程及其在现代土壤学上的意义. *生态环境*, 2003, 12(2): 184~ 191
- [9] Doelman P. Chapter 11 Synthesis for soil management. *Developments in Soil Science*, 2004, 29: 307~ 332
- [10] Pojar J, Klinka K, Meidinger D V. Biogeoclimatic ecosystem classification in British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 1987, 22(1-2): 119~ 154
- [11] 三江源课题组. 三江源区生态系统本底综合评估报告. 中国科学院地理科学与资源研究所, 2007
- [12] 高英志, 韩兴国, 汪诗平. 放牧对草原土壤的影响. *生态学报*, 2004, 24(4): 790~ 797
- [13] 高旭升, 田种存, 郝学宁, 等. 三江源区高寒草原草地不同退化程度土壤养分变化. *青海大学学报(自然科学版)*, 2006, 24(5): 37~ 40
- [14] 周华坤, 赵新全, 周立, 等. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究. *草业学报*, 2005, 14(3): 31~ 40
- [15] 肖玉, 谢高地, 安凯. 青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值. *生态学报*, 2003, 23(11): 2367~ 2378
- [16] Huang D, Wang K, Wu W L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession charae-

teristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China
Journal of Arid Environments, 2007, 70(1): 120~ 136

- [17] 王长庭, 龙瑞军, 曹广民, 等. 三江源地区主要草地类型土壤碳氮沿海拔变化特征及其影响因素. 植物生态学报, 2006, 30(3): 441~ 449
- [18] 高英志, 韩兴国, 汪诗平. 放牧对草原土壤的影响. 生态学报, 2004, 24(4): 790~ 797
- [19] Li X, Li F, Zed R, *et al*. Soil physical properties and their relations to organic carbon pools as affected by land use in an alpine pastureland Geoderma, 2007, 139(1-2): 98~ 105.

Soil property and its formation of ecosystems in three river sources, Qinghai

SHAO Jing'an, SHAO Quan-qin, LIU Ji-yuan

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Soil formation plays an important role in ecosystem sustainable functions under MA framework. This paper, by GIS-based spatial analysis, measured the sustainable functions of ecosystems in the three river sources, through soil preservation indicators. These results suggested that, in the three river sources, the features of different ecosystems determine the basic patterns of soil formation and sustainable functions of ecosystems. These patterns present lower tendency, along the orientation from southeast to northwest. The functions of soil preservation are significantly different among different ecosystems, in the order of wetland> forest and grassland> farmland> desert and bare land and bare rock. The sustainable functions of ecosystems decline in the order of wetland, forest, grassland, farmland, desert and bare land and bare rock. The patterns of grassland degradation are consistent with the distributions of soil preservation. Grassland degradation results in the reduction of ecosystem sustainable functions. Strong human disturbances cause the degradations of soil properties of each type, and induced the decline of the functions of soil formation and sustainable ecosystem. Our findings suggest that it may be useful to understand the sustainable functions of ecosystems from the aspect of soil formation.

Key words: ecosystem; sustainable functions; soil formation; MA formwork; three river sources