

高寒草原不同退化阶段土壤颗粒分形特征

柳妍妍, 胡玉昆, 公延明

(中国科学院新疆生态与地理研究所 中国科学院干旱区生物地理与生物资源重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 土壤分形维数能够很好地反映土壤结构及土壤养分特征。利用杨培岭的土壤分形模型对巴音布鲁克高寒草原 4 种不同退化阶段(未退化 CK、轻度、中度和重度)土壤分形维数变化进行了研究,探讨了土壤分形维数与土壤颗粒含量、土壤理化性质及其与草地退化的关系。结果表明:(1)土壤分形维数随退化程度的加重其值增大,分形维数在 2.573~2.635。(2)土壤分形维数与不同粒径土壤颗粒含量之间存在明显的相关关系,其中土壤分形维数与砂粒含量呈极显著负相关($p=0.01$),与粉粒含量呈显著正相关($p<0.05$),与黏粒含量呈极显著正相关($p<0.0001$)。(3)土壤分形维数与有机质含量和全氮含量呈显著负相关,与容重呈显著正相关,与土壤退化指数呈负相关(但不显著)。(4)适度放牧有利于提升土壤质量,但不能超过阈值。

关键词: 高寒草原; 退化阶段; 土壤颗粒; 分形维数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0138-05

中图分类号: S812.2

Fractal Dimensions of Soil Particles in Different Degenerate Stages of Alpine Steppe

LIU Yan-yan, HU Yu-kun, GONG Yan-ming

(Key Laboratory of Biogeography and Bioresources in Arid Land,

Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Soil fractal dimension can better reflect soil texture and soil nutrient characters. Bayanbulak alpine grassland was taken as the research objective in August 2009. Yang Peiling's soil fractal model was used to analyze four different degenerate stages(non-degeneration CK and slightly, moderately and heavily deteriorated grasslands). Soil fractal dimension in relation to soil particles, soil physicochemical properties and soil degradation were discussed respectively. Results showed that: (1) Soil fractal dimension varied from 2.573 to 2.635 for the different degradations and increased with the increased degree of degradation. (2) There were significant differences between fractal dimension and different grain levels. Specifically, fractal dimension was significantly negatively correlated with sand content($p=0.01$), but significantly positively correlated with clay content($p<0.0001$). (3) There existed significant negative correlations between fractal dimension and SOM and total nitrogen content. The correlation between fractal dimension and soil bulk density was significantly positive. There was a positive correlation between fractal dimension and soil degradation index. (4) Moderate grazing could promote soil quality, but could not exceed the threshold value.

Keywords: alpine steppe; degenerate stage; soil particles; fractal dimension

土壤作为一种由不同颗粒组成,具有不规则形状和自相似结构的多孔介质,是具有一定分形特征的系统^[1]。近年来,分形维数在土壤研究中得到了广泛应用,利用分形维数可以进一步揭示土壤的其他化学物理性状以及其对生态环境的指示意义。Katz 等^[2]采用扫描电子显微镜检查法和光学数据相结合方法对

砂岩的研究表明很多砂岩的孔隙具有几何分形特征; Arya 等^[3]和 Turcotte^[4]分别研究了土壤颗粒的分形现象和分形维数的计算方法; Tyler 等^[5]和杨培岭等^[6]在前人的基础上对分形维数的计算公式进行了修正,并提出了土壤颗粒粒径分布的质量分形维数计算模型,该模型被广泛应用于表征土壤颗粒的分形特

收稿日期:2012-04-23

修回日期:2012-11-28

资助项目:国家重点基础研究发展计划“973”项目“干旱区地下有机碳过程及其与无机碳吸收的关系”(2009CB825103)

作者简介:柳妍妍(1982—),女(汉族),甘肃省庄浪县人,硕士,研究实习员,研究方向为草地生态学。E-mail:liuyanyan@ms.xjb.ac.cn。

通信作者:胡玉昆(1957—),男(汉族),山东省淄博市人,研究员,主要从事草地生态学研究。E-mail:huyukun@ms.xjb.ac.cn。

征^[1],不同土地利用类型下土壤粒径分形特性^[7]及退化土壤结构分形特征的研究^[8]等方面。但随着激光衍射技术的发展,王国梁等^[9]首次提出了土壤颗粒体积分形维数的概念,并通过多方面的研究证明了土壤体积分形维数的优越性。众多研究表明,分形维数不仅能够表征土壤粒径大小,还能反映土壤质地的均一程度以及土壤的通透性,宫阿都等^[8]也认为土壤粒径分形维数可以作为退化土壤结构评价的一项综合性定量指标。

巴音布鲁克是我国第一大亚高山高寒草原,也是新疆开都河重要的水源涵养地,对全疆尤其是南疆的生态环境保护具有特殊的意义。由于过度放牧、开垦、滥挖、鼠害、毒害草入侵等原因,该地土壤养分降低,土壤质量下降,草地严重退化^[10],这引起了学者们的高度关注。有关巴音布鲁克地上植被部分的研究已不少,但关于土壤颗粒分形维数的变化方面的研究不足,本文旨在通过对巴音布鲁克高寒草原不同退化阶段土壤团粒结构分形特征进行研究分析,探讨分形维数与土壤理化性质及土壤退化之间的关系,以期高寒草原恢复治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

巴音布鲁克高寒草原位于新疆巴音郭楞蒙古自治州和静县西北,天山南坡中段,地理坐标为北纬 $42^{\circ}18' - 43^{\circ}34'$,东经 $82^{\circ}27' - 86^{\circ}17'$,海拔在 $2\ 460 \sim 2\ 760$ m。该区气候属典型的高寒气候类型,干旱,寒冷,多风,年均气温 -4.8°C ,年均降水量 276.2 mm,年蒸发量 $1\ 135.2 \text{ mm} \pm 112.3$ mm,年日照 $2\ 541 \pm 75$ h,全年积雪日在 $150 \sim 180$ d,无绝对无霜期。土壤类型为高寒草原土,成土母质为黄土,表土干燥紧实。高寒草原有高等植物 16 科, 26 属, 36 种,主要物种有羊茅(*Festuca ovina*)、紫花针茅(*Stipa purpurea*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与取样方法 2009年8月中旬,在中国科学院巴音布鲁克草原生态研究站(海拔 $2\ 460$ m)附近取样。土壤为亚高山草原土,成土母质为黄土,土层厚度 $50 \sim 150$ cm。按农业部于2003年颁布的《天然草地退化、沙化和盐渍化分级标准》确定4个退化阶段进行样地设置,每个退化阶段下设置5个面积为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的样地,共计20个,用GPS测量每个样地经度、纬度及海拔高度,样地具体情况为未退化(CK)($42^{\circ}53.820' \text{N}, 83^{\circ}42.830' \text{E}$;海拔 $2\ 466$ m)、轻度($42^{\circ}53.135' \text{N}, 83^{\circ}42.339' \text{E}$;海拔 $2\ 470$ m)、中度

($42^{\circ}56.077' \text{N}, 83^{\circ}43.051' \text{E}$;海拔 $2\ 520$ m)和重度($42^{\circ}53.499' \text{N}, 83^{\circ}42.495' \text{E}$;海拔 $2\ 465$ m)。

土壤样品的采集采用5点混合法,按 $0-10$, $10-20$, $20-30$ cm共3个层面分别采集土壤样品,采样完毕后将同一块样地、同一层次的土壤混合并按四分法取部分土样装入封口袋带回室内进行理化性质和土壤粒径的分析,同时用环刀按同样层次取样用于土壤容重的测定。

1.2.2 土壤样品测定方法 有机质采用重铬酸钾—硫酸氧化法,全氮采用重铬酸钾—硫酸硝化法,全磷采用氢氧化钾碱熔—钼锑抗比色法,全钾和速效钾均采用火焰光度法,速效氮采用蒸馏法,速效磷采用碳酸氢钠法。测定分析工作由中国科学院新疆生态与地理研究所土壤分析实验室完成。土壤容重采用环刀法,土壤颗粒组成采用吸管法,根据美国制,将悬液分级吸取 $0.25 \sim 2$, $0.05 \sim 0.25$, $0.02 \sim 0.05$, $0.005 \sim 0.02$, $0.002 \sim 0.005$ 和 <0.002 mm,共计6个粒级范围。

1.2.3 土壤分形维数的计算 土壤粒径分布遵循自相似原理,由大于某一粒径 R_i ($R_i > R_{i+1}$, $i=1,2,3,\dots$)的土粒构成的体积 $V(r > R_i)$ 可由下式计算^[9]:

$$V(r > R_i) = C_v | 1 - (R_i/\lambda_v)^{3-D} | \quad (1)$$

式中: R_i ——特征尺度; C_v, λ_v ——颗粒形状、尺度的常数。当 $R_i=0$ 时,式(1)变为计算全部土壤颗粒总体积 V_T ,即 $V(r > R_i) = V_T = C_v$;当 $R_i = R_{\max}$ (R_{\max} 为最大粒径)时, $\lambda_v = R_{\max}$ 。因此有:

$$V(r > R_i)/V_T = 1 - (R_i/R_{\max})^{3-D} \quad (2)$$

调整式(2)可得:

$$V(r < R_i)/V_T = (R_i/R_{\max})^{3-D}$$

土壤粒径体积分布的分形维数为 $V(r < R_i)/V_T$ 和 (R_i/R_{\max}) 的对数线性回归拟合方程的斜率 $(3-D)$ 中的 D 。

1.2.4 土壤退化指数的计算 为定量描述土壤退化程度,本文引进Islam土壤退化指数^[11],具体公式如下^[12]:

$$\text{DI} = [(p_1 - p_1')/p_1' + (p_2 - p_2')/p_2' + \dots + (p_n - p_n')/p_n'] / n \times 100\% \quad (3)$$

式中:DI——土壤退化指数; p_1', p_2', \dots, p_n' ——未退化草地土壤属性1,属性2,……属性 n 的值; p_1, p_2, \dots, p_n ——其他不同程度退化草地土壤属性1,属性2,……属性 n 的值; n ——选择的土壤属性数。土壤退化指数可为正数也可为负数,负数表明土壤退化,正数表明土壤不仅没有退化,而且质量有所提高。本文选择的土壤属性包括土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾和容重。

1.2.5 数据分析 利用 Excel 和 SPSS 13.0 软件对获取的数据进行统计及相关分析,用 SigmaPlot 10.0 制图。

2 结果与分析

2.1 土壤颗粒分形维数及与不同粒径土壤颗粒含量的关系

吴承祯等^[13]认为土壤团粒结构粒径分布的分形维数不仅能够表征土壤团聚体粒径大小的影响,而且还能反映质地均一性的程度、土壤通透性及抗蚀性以及土壤肥力。土壤颗粒分形维数越高,表征土壤结构

越紧实,通透性较差,而分形维数越小,则土壤质地相对松散,通透性较好。应用土壤颗粒体积分布确定土壤颗粒大小分布分形维数(表 1),各退化演替阶段草原 0—30 cm 土壤颗粒的分形维数在 2.573~2.635。总体说来 3 个土层的分形维数,重度退化阶段均大于其他退化阶段,其值为 2.620,2.631,2.635,表明高寒草原退化对土壤机械组成具有一定影响。植物类型由地面芽密丛型群落向地下芽根茎型群落演替使得土壤黏粒下沉,加上淋溶或灌溉等作用,上层土壤黏粒向下淋溶和悬移,造成土壤分形维数增大,土壤黏性增大,通水和透气性变差,容重增大,有机质含量降低。

表 1 不同土壤粒级分布及土壤颗粒的分形维数

土层深度/cm	样地	土壤粒级组成百分含量/%						分形维数	决定系数 R^2
		砂粒		粉粒			黏粒		
		0.25~2	0.05~0.25	0.02~0.05	0.005~0.02	0.002~0.005	<0.002		
0—10	CK	5.179±0.455	17.967±1.317	30.973±2.093	32.251±3.307	7.742±0.820	5.888±0.784	2.597±0.106	0.814
	轻度	3.393±0.512	28.105±0.950	29.351±1.243	26.732±1.462	6.788±1.489	5.630±1.735	2.573±0.173	0.846
	中度	1.268±0.295	18.201±0.650	35.665±1.520	31.127±1.329	7.521±0.693	6.218±0.254	2.589±0.089	0.813
	重度	2.013±0.259	16.554±0.855	28.525±1.813	36.400±1.650	9.187±1.734	7.320±0.389	2.620±0.064	0.796
10—20	CK	5.321±0.723	12.090±0.815	30.892±1.117	35.147±2.231	9.256±0.335	7.293±1.341	2.621±0.231	0.797
	轻度	0.973±0.178	19.734±1.283	31.810±2.651	32.651±3.482	8.381±1.368	6.451±0.661	2.599±0.140	0.809
	中度	1.528±0.530	13.249±0.255	33.949±4.405	35.288±5.853	8.783±0.689	7.203±1.389	2.616±0.062	0.793
	重度	2.468±0.348	14.266±0.618	32.487±1.832	35.249±1.111	8.567±1.557	6.962±0.357	2.631±0.085	0.797
20—30	CK	7.868±1.756	13.212±1.086	32.739±1.256	33.461±0.552	6.878±0.831	5.843±0.449	2.583±0.065	0.809
	轻度	1.440±0.315	17.402±1.466	27.221±0.685	36.859±1.475	9.682±1.140	7.396±0.762	2.624±0.136	0.794
	中度	1.193±0.215	13.294±1.198	39.727±2.832	31.990±1.626	7.386±0.690	6.411±0.836	2.592±0.084	0.803
	重度	1.239±0.249	10.590±0.919	27.732±1.506	41.659±3.050	11.073±0.435	7.707±1.630	2.635±0.113	0.764

土壤粒级之间,0.25~2 mm 粒级的颗粒组成体积百分含量最小,在 0.973%~7.868%;以 0.005~0.02 mm 粒级的颗粒组成体积百分含量最大,在 26.732%~41.659% 范围内(表 1)。砂粒(0.05~2 mm)、粉粒(0.05~0.002 mm)、黏粒(<0.002 mm)的体积及百分含量分别在 11.829%~31.498%,62.871%~80.464%,5.630%~7.707%,可以看出土壤团聚体较多、通气性、透水性较好。分析结果表明,土壤粒径分布分形维数与砂粒含量呈极显著负相关($p=0.01$),与粉粒含量呈显著正相关($p<0.05$),与黏粒含量呈极显著正相关($p<0.0001$)。应用回归分析得到土壤粒径分布分形维数与砂粒、粉粒、黏粒含量之间的决定系数 R^2 分别为 0.499,0.409,0.873。分析土壤粒径分布分形维数与黏粒含量之间的关系发现,土壤粒径分布分形维数与黏粒含量呈强正相关关系($R^2=0.873, p<0.0001$),该结果表明应用 Tyler 公式计算得到的土壤颗粒分布分形维数受土壤黏粒含量的影响较为显著,黏粒的体积百分含量决

定了土壤颗粒分形维数的大小,同时也受土壤最大粒径级别的影响。由图 1 可以看出,当砂粒含量一定时,土壤最小粒径所占比例越大,分形维数则越大,这与大多数研究结果一致^[13-14],说明土壤颗粒分布分形维数在一定程度上可以表征土壤质地的均一程度。

2.2 土壤分形维数与土壤理化性质的关系

数据分析显示(表 2)土壤有机质除了在中度退化状态下随着土壤深度的增加表现为先降低后增大的趋势外,在其余 3 种(CK、轻度和重度)状态下均表现为降低趋势,并且有机质含量在重度退化情况下减少较为明显;在 4 种不同状态下,土壤全 N 均随土壤深度的增加而呈现出减小趋势,但随着退化程度的加深,全 N 含量逐渐减少;全 P,全 K 变化趋势不明显,但在轻度退化时平均值最大;速效 N 和速效 K 含量最高值都出现在 CK 0—10 cm 处,速效 P 则出现在轻度退化草地 0—10 cm 处;土壤容重在 CK 和轻度退化阶段随土壤深度增加其值增加,但在中度退化阶段容重最高值出现在 0—10 cm 处,而在重度退化阶段其

最大值则出现在 10—20 cm 处,随着退化程度的加深,土壤容重增大,表明高寒草原退化对土壤理化性状的改变具有明显作用。相关分析表明(表 3),分形维数与土壤有机质含量和全氮含量呈显著负相关;容

重与土壤分形维数呈显著正相关。由此说明土壤颗粒分形维数可以作为反映土壤理化性质的特征之一,土壤分形维数越大,土壤理化性质越差,容重越大,土壤退化越严重,越不适宜植物的生长。

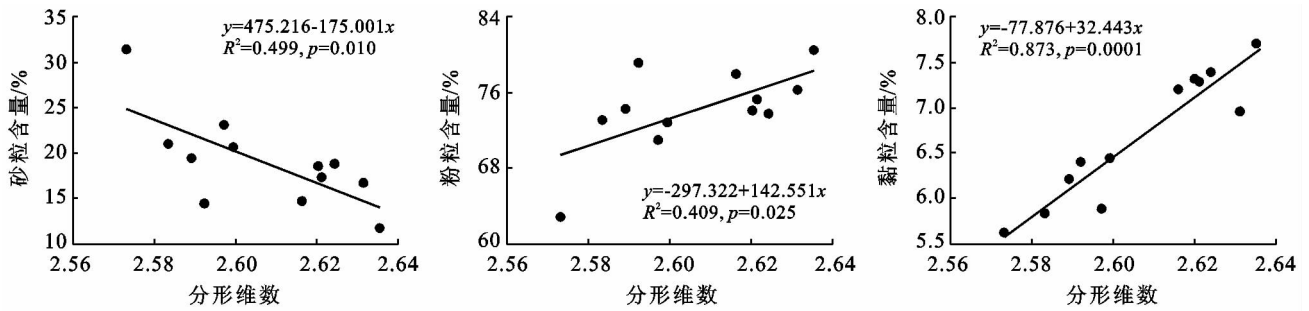


图 1 土壤粒径分布分形维数与土壤颗粒含量之间的关系

表 2 草地不同退化阶段不同深度土壤理化性质变化

土层深度/cm	退化程度	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全 N/ (g · kg ⁻¹)	全 P/ (g · kg ⁻¹)	全 K/ (g · kg ⁻¹)	速效 N/ (mg · kg ⁻¹)	速效 P/ (mg · kg ⁻¹)	速效 K/ (mg · kg ⁻¹)	容重/ %
0—10	CK	76.87±5.98	8.00±1.20	0.69±0.09	29.66±4.86	213.40±27.30	9.80±1.70	358.90±45.70	88.70±9.80
	轻度	73.03±7.52	7.30±0.90	0.76±0.06	64.20±7.52	190.30±20.80	11.20±1.50	191.60±20.30	93.10±7.60
	中度	66.32±10.11	6.50±0.80	0.63±0.08	29.03±3.69	161.50±11.90	10.80±0.90	243.80±31.60	98.80±10.50
	重度	36.42±3.84	6.00±1.00	0.83±0.05	26.25±2.94	204.80±30.60	5.60±0.80	232.40±27.70	100.90±13.70
10—20	CK	53.38±7.52	5.20±0.90	0.61±0.11	22.33±9.65	34.60±5.80	3.00±0.90	180.30±21.50	91.80±15.20
	轻度	51.39±11.36	5.50±1.30	0.71±0.23	57.52±9.42	150.00±20.30	6.90±1.50	83.30±11.60	93.20±20.30
	中度	53.28±9.68	5.60±1.20	0.67±0.09	24.57±6.53	135.50±11.90	4.80±1.70	123.80±9.70	96.60±14.50
	重度	27.95±6.87	3.70±0.70	0.78±0.730	24.05±4.02	58.40±8.20	4.60±0.50	110.60±18.30	106.50±23.80
20—30	CK	33.01±5.74	3.60±0.50	0.51±0.03	25.78±4.26	81.50±18.70	3.00±0.20	95.50±12.30	93.60±8.70
	轻度	26.69±2.36	2.80±0.60	0.59±0.02	44.59±6.95	39.70±6.30	3.10±0.70	58.00±4.90	97.80±10.30
	中度	63.15±9.86	3.80±0.80	0.54±0.08	19.40±2.03	46.10±4.20	2.50±0.60	22.90±4.60	85.30±9.50
	重度	10.24±1.12	3.60±0.90	0.51±0.06	25.78±3.89	81.50±12.60	3.00±0.40	95.50±16.80	103.60±17.70

表 3 土壤分形维数与土壤理化性质相关关系

项目	有机质	全 N	全 P	全 K	速效 N	速效 P	速效 K	容重
全 N	0.936							
全 P	-0.950*	-0.957*						
全 K	0.137	0.189	0.077					
速效 N	0.565	0.529	-0.334	0.882				
速效 P	0.482	0.392	-0.214	0.876	0.982*			
速效 K	0.133	0.378	-0.431	-0.521	-0.487	-0.643		
容重	-0.884	-0.988*	0.953*	-0.096	-0.411	-0.258	-0.518	
分形维数	-0.954*	-0.951*	0.876	-0.403	-0.746	-0.648	-0.074	0.952*

注: * 相关分析显著性水平 $p < 0.05$ 。

2.3 土壤分形维数与土壤退化指数的关系

根据计算得出的退化草地土壤退化指数(图 2),草地轻度退化时,土壤理化性状好于对照,土壤退化指数升高,呈现为正数,表明土壤质量有所提高。但随着放牧程度的加剧,土壤退化指数急剧下降,到中度退化时,土壤退化指数呈现为负数,表明土壤质量

下降。到重度退化时,土壤退化指数进一步下降,表明土壤质量进一步下降,土壤退化。这说明在轻度退化阶段,土壤质量有所提升,这是由于放牧能够多途径地增加土壤微生物的生产力,提高硝化酶和反硝化酶活性以及硝化酶活性 P 反硝化酶活性比例,促进 N 素矿化、提高 N 的有效性,同时抑制 N 流失^[15],从而

提升土壤质量。这与李以康等^[16]对三江源区高寒草甸的土壤养分研究和蔡晓布等^[17]在藏北退化高寒草原的研究结果一致。在土壤退化过程中土壤有机质和全 N、P 表现为先增加后降低的趋势,但也有研究表明,随退化程度加重,有机质含量降低,土壤全 N 则表现为先升高后降低^[18]。这也反映出草地退化与土壤退化的不一致性,土壤退化滞后于草地退化。

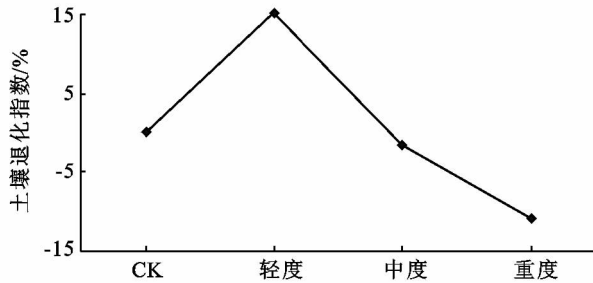


图 2 草地不同退化程度土壤退化指数

对土壤分形维数和土壤退化指数进行相关分析,结果表明,二者呈现负相关关系($r = -0.743$),说明土壤分形维数越高,土壤退化指数越小,表明土壤退化越严重。

3 讨论与结论

(1) 大多数研究结果表明^[13-14],土壤分形维数越大,土壤中细颗粒物含量越高。以往学者^[12,15]提出分形维数能客观表征土壤粒径大小组成,为理想的土壤肥力测定指标。本研究分析结果表明,土壤粒径分布分形维数与砂粒含量呈极显著负相关($p = 0.01$),与粉粒含量呈显著正相关($p < 0.05$),与黏粒含量呈极显著正相关($p < 0.0001$),说明土壤颗粒分形维数在一定程度上能表征土壤的均一程度。随着草地退化,黏粒含量增高,土壤颗粒分形维数逐渐增大,表明在草地退化现阶段,虽然地表植被已经退化,但是土壤并未表现出沙质化现象,反映出草地退化与土壤退化的不一致性,土壤退化滞后于草地退化,同时也说明了土壤会随着草地的退化而出现沙质化的发展趋势。

(2) 本研究结果表明,土壤颗粒分形维数与有机质含量具有显著负相关关系,即分形维数越高,有机质含量越少。这与赵勇钢等^[14]对半干旱典型草原区封育草地的研究结论相近,而与田佳倩等^[19]和徐冰等^[20]研究结果相反,并且后者的研究区域都是沙质草地,在沙质草地退化过程中,土壤黏粒含量减少,沙粒含量增多,分形维数降低,土壤有机质含量降低。高寒草原放牧时牲畜践踏会产生压实效应,上层土壤被

踏压紧实,容易产生地表径流^[21],有机质被雨水冲蚀,使土壤有机质含量降低。因此,不同的草地类型在退化过程中,土壤颗粒分形维数的表现也不同。宫阿都等^[8]对金沙江干热河谷退化土壤研究发现,对于同一土壤退化系列,分形维数越高,土壤退化越严重。本研究结果表明,土壤分形维数和土壤退化指数显著负相关关系,土壤分形维数越高,土壤退化指数越小,退化越严重。

(3) 本研究结果表明,草地在轻度放牧时,土壤理化性状得到提升;中度放牧时,土壤有机质和全氮含量有所增加;而重度放牧时,土壤质量骤降,说明适度的放牧可以提高土壤质量,但不能超过阈值。因此,研究草地生态系统及其组分的特征、动态与相互作用机制,探索系统健康管理的途径,还有待进一步加强。

[参 考 文 献]

- [1] 苏永中,赵哈林. 科尔沁沙地农田沙漠化演变中土壤颗粒分形特征[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 71-74.
- [2] Katz A J, Thompson A H. Fractal sandstone pores: implication for conductivity and pore formation[J]. Phys. Rev. Lett., 1985, 54(12): 1325-1328.
- [3] Arya L M, Paris J F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data[J]. Soil Science Society of America Journal, 1981, 45(6): 1023-1031.
- [4] Turcotte D L. Fractals and fragmentation[J]. Journal of Geophysical Research, 1986, 91(B2): 1921-1926.
- [5] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(2): 362-369.
- [6] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的质量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报, 1993, 38(20): 1896-1899.
- [7] 王德, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 不同土地利用类型下土壤粒径分形分析[J]. 生态学报, 2007, 27(7): 3081-3089.
- [8] 宫阿都, 何毓蓉. 金沙江干热河谷区退化土壤结构的分形特征研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 112-115.
- [9] 王国梁, 周生路, 赵其国. 土壤颗粒的体积分形维数及其在土地利用中的应用[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 545-550.
- [10] 柳妍妍, 胡玉昆, 于建梅, 等. 轮叶马先蒿危害现状及防治对策[J]. 干旱区研究, 2008, 25(6): 778-782.
- [11] Islam K R, Weil R R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh [J]. Agriculture, Ecosystem and Environment, 2000, 79(1): 9-16.
- [12] 李宝富, 熊黑钢, 张建兵, 等. 古尔班通古特沙漠与绿洲交错带土地利用变化对土壤特性的影响[J]. 冰川冻土, 2012, 34(3): 573-582.

(下转第 184 页)

生物在氮源充足的情况下,需要更多有机碳才能维持活性,因而会加快土壤有机碳的分解矿化^[15],常规农作方式施用化肥无法维持土壤有机质的活性,有机碳储量下降。虽然试验未测定土壤微生物活性,但有机农作土壤团聚体中碳氮含量增加,已说明施用化肥和有机肥影响了土壤碳氮的固持能力。

3 结论

有机农作大豆土壤稳定性增加,团聚体中碳氮含量显著增加,土壤碳汇效应增强,有机农作方式可能比常规农作方式更有利于土壤碳氮资源持续利用。常规农作大豆经过 3 a 转换为有机农作大豆,虽然时间短,但土壤团聚体及碳氮储量特征对有机农作管理方式响应敏感,有机农作方式不仅提升了土壤有机质水平,而且固定了更多的有机碳,有利于农业固碳和减排温室气体。

[参 考 文 献]

- [1] 卢金伟,李占斌. 土壤微团聚体研究进展[J]. 水土保持研究,2002,9(1):81-85.
- [2] Golchin A, Clarke P, Oades J M, et al. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils[J]. Australian Journal of Soil Research, 1995,33(6):975-993.
- [3] Jastrow J D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1996,28(425):665-676.
- [4] Six J, Conant R T, Paul E A, et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils[J]. Plant and Soil, 2002,241(2):155-176.
- [5] 闰峰陵,李朝霞,史志华,等. 红壤团聚体特征与坡面侵蚀定量关系[J]. 农业工程学报,2009,25(3):37-41.
- [6] Nelson D W, Sommers L E. Total carbon, organic carbon, and organic matter: Laboratory methods [M] // Sparks D L. Methods of Soil Analysis (Part 3): Chemical Method. SSSA, Inc.: Madison, 1996:961-1010.
- [7] Rodriguez J C. Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain[J]. Biology and Fertility of Soils, 2001,33(1):53-61.
- [8] 徐阳春,沈其荣. 长期施用不同有机肥对土壤各粒级复合体中 C,N,P 含量与分配的影响[J]. 中国农业科学, 2000,33(5):65-71.
- [9] Martens D A, Frankenberger J. Modification of infiltration rates in an organic-amended irrigated soil[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 1992,84(4):707-717.
- [10] Shukla M K, Lal R, Ebinger M. Determining soil quality indicators by factor analysis[J]. Soil and Tillage Research, 2006,87(2):194-204.
- [11] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates[J]. European Journal of Soil Science, 2000,51(4):595-605.
- [12] Balesdent J, Besnard E, Arrouays D, et al. The dynamics of carbon in particle-size fractions of soil in a forest-cultivation sequence[J]. Plant and Soil, 1998, 201(1):49-57.
- [13] Six J, Bossuyt H, Degryze S, et al. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics[J]. Soil and Tillage Research, 2004,79(1):7-31.
- [14] Elliott E T, Coleman D C. Let the soil work for us[J]. Ecological Bulletin, 1988,39(1):23-32.
- [15] 孟磊,蔡祖聪,丁维新. 长期施肥对土壤碳储量和作物固定碳的影响[J]. 土壤学报,2005,42(5):769-776.
- [13] 吴承祯,洪伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究[J]. 土壤学报,1999,36(2):162-167.
- [14] 赵勇钢,赵世伟,华娟,等. 半干旱典型草原区封育草地土壤结构特征研究[J]. 草地学报,2009,17(1):106-112.
- [15] 侯扶江,杨中艺. 放牧对草地的作用[J]. 生态学报, 2006,26(1):243-264.
- [16] 李以康,韩发,冉飞,等. 三江源区高寒草甸退化对土壤养分和土壤酶活性影响的研究[J]. 中国草地学报, 2008,30(4):51-58.
- [17] 蔡晓布,张永青,邵伟. 不同退化程度高寒草原土壤肥力变化特征[J]. 生态学报,2008,28(3):1034-1044.
- [18] 周万海,冯瑞章,满元荣. 黄河源区不同退化程度高寒草地土壤特征研究[J]. 草原与草坪,2008(4):24-28.
- [19] 田佳倩,周志勇,包彬,等. 农牧交错区草地利用方式导致的土壤颗粒组分变化及其对土壤碳氮含量的影响[J]. 植物生态学报,2008,32(3):601-610.
- [20] 徐冰,赵淑银,郭克贞,等. 草地开发与保护过程中土壤颗粒分形特征[J]. 草业科学,2009,26(7):143-146.
- [21] 廖咏梅,陈劲松. 米亚罗地区亚高山针叶林在不同人为干扰条件下的土壤分形特征[J]. 生态学杂志,2005,24(8):878-882.

(上接第 142 页)