

# 毛乌素沙地东南缘沙漠化过程中土壤理化性质分析

杨梅焕, 曹明明, 朱志梅, 邱海军

(西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710127)

**摘要:** 采用空间代替时间的方法, 对毛乌素沙地东南缘沙漠化过程中土壤理化性质变化进行了分析。结果表明, 沙漠化过程中土壤理化性质呈规律性变化, 随沙漠化程度的加剧, 土壤黏粒含量、含水量、有机质、有机碳和全氮含量减少, 土壤砂粒含量、容重和 C/N 增加, 土壤质量下降; 相关性分析结果表明, 容重和 C/N 比与各指标呈负相关关系, 其余各指标间呈正相关关系, 其中容重与有机质、全氮含量之间以及有机质与全氮含量之间存在极显著相关性, 黏粒含量与含水量、容重、有机质和全氮含量之间存在显著相关性, 含水量与容重、有机质和全氮含量之间也存在显著相关性, 说明沙漠化过程中土壤各组分之间存在着密切的内在联系。

**关键词:** 毛乌素沙地; 沙漠化; 土壤理化性质; 土壤质量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0169-04

中图分类号: S812.2, Q948.11

## Soil Physical and Chemical Properties in the Process of Desertification on the Southeastern Edge of Mu Us Sandy Land

YANG Mei-huan, CAO Ming-ming, ZHU Zhi-mei, QIU Hai-jun

(Department of Urban and Resource Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

**Abstract:** By the methodology of "The Temporal for The Spatial", the changes of soil physical and chemical properties on the southeastern edge of Mu Us sandy land were studied. Results showed that soil physical and chemical properties changed regularly in the process of desertification. With the increased degree of desertification, the contents of soil clay, soil water, organic matter, organic carbon, and total nitrogen decreased, while the content of soil sand, soil bulk density, and C/N increased. With the increased depth, the content of soil water and soil bulk density increased and the contents of organic matter, organic carbon, and total nitrogen decreased, while C/N increased firstly and decreased later. Results of correlation analysis showed that the correlations of soil bulk density or C/N ratio with other indicators were negative, while the correlations of other indicators were positive. The negative correlations of soil bulk density with the content of organic matter and total nitrogen were significant at the level of  $P < 0.01$  and so was the positive correlation between the content of organic matter and total nitrogen. The correlations of the content of soil clay with soil water, soil bulk density, the content of organic matter, and total nitrogen were significant at the level of  $P < 0.05$  and so were the correlations of soil water with soil bulk density, the content of organic matter, and total nitrogen. Soil quality was reduced and there were close correlations in soil physical and chemical properties in the process of desertification.

**Keywords:** Mu Us sandy land; desertification; soil physical and chemical properties; soil quality

沙漠化作为一个全球性环境问题日益引起人们的关注<sup>[1]</sup>。对沙漠化的研究, 朱震达<sup>[2]</sup>指出, 其研究和防治的重点应着重放在两种生态系统相毗连的“边界”地区, 即生态系统脆弱带的研究。毛乌素沙地东

南缘位于我国北方农牧交错带的西部, 地质上属于典型的多层次过渡带, 生态环境脆弱, 是我国北方沙漠化最严重的地区之一。

沙漠化演变的一个基本特征就是土壤退化。国

收稿日期: 2009-06-04

修回日期: 2009-07-09

资助项目: 国家自然科学基金“陕北沙漠化土壤驱动机制与植物的耐胁迫性研究”(30700648); 陕西省自然科学基金(2006Z05); 陕西省教育厅项目(08JK442); 西北大学研究生创新项目“陕北毛乌素沙漠生态修复机理研究”(08YZZ27)

作者简介: 杨梅焕(1982-), 女(汉族), 山东省济宁市人, 博士研究生, 主要从事自然地理学研究。E-mail: ym h8307024@163.com。

通信作者: 朱志梅(1972-), 女(汉族), 内蒙古自治区包头市人, 博士, 副教授, 主要从事生态学研究。E-mail: zhuzhimei@nwu.edu.cn。

内外学者<sup>[3-10]</sup>也对沙漠化过程中土壤理化性质的变化进行了相关研究,物理特性方面主要分析了土壤颗粒粒径、含水量、容重等方面的变化<sup>[3-6,9]</sup>,化学性质方面主要集中于对土壤 pH、电导率、土壤养分、全碳、有机质、重金属、含盐量等方面的研究<sup>[3-4,7-8,10]</sup>,并得出一些相似的结论。对毛乌素沙地土壤特性的研究主要集中在土壤水分的时空变化方面<sup>[11-14]</sup>,而对其土壤理化性质的研究鲜见报道。

因此,本研究对生态脆弱区毛乌素沙地东南缘不同沙漠化阶段土壤颗粒组成、水分含量、容重等物理性状和有机质、有机碳、全氮含量等化学性质进行分析,探讨了沙漠化过程中土壤理化性质变化规律,揭示沙漠化过程中土壤各物质含量之间的相互关系及其演变过程,以期对沙漠化地区土壤—植被系统的修复提供科学依据。

## 1 研究区概况

选择毛乌素沙地东南缘陕西省榆林地区沙质草原地带沙漠化程度明显的区域为研究区,该区辖神木县、榆阳区、横山县、靖边县和定边县 4 县 1 区,位于东经 107° 15′—110° 54′,北纬 36° 49′—39° 27′,海拔 1 200~1 400 m,相对高度 10~50 m。

该区属陕北风沙滩地区,沙地占区域总面积的 80% 左右,其中流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘在沙地面积中各占约 1/3。因纬度偏北,属温带寒冷半干旱气候,绝大部分地区年均温小于 8℃,一月均温 -11℃~8℃,7 月均温 22℃~24℃,年内 ≥10℃ 积温为 2 500℃~3 800℃。年降水量 250~440 mm,其中 7—9 月集中了全年降水量的 60%~75%。区内土壤主要为淡栗钙土、栗钙土,丘间低地主要为草甸土,还有风沙土、黑焦土等。沙生植被、草原、草甸、盐生植被、盐生草甸等群落类型均易见。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选择

采用植被动态学中群落的空间序列方法(空间代替时间法),以一定的沙漠化空间梯度系列代表不同的演替阶段,在结合野外调查和图像资料的基础上将沙漠化过程分为 5 个阶段: I 原生植被类型(植被盖度 > 35%), II 潜在沙漠化阶段(植被盖度 25%~35%), III 轻度沙漠化阶段(植被盖度 15%~25%), IV 中度沙漠化阶段(植被盖度 5%~15%), V 重度沙漠化阶段(植被盖度 < 5%)。

2008 年 7 月,在具有明显沙漠化的区域神木县、榆阳区 and 靖边县选取 3 个样地,每个样地基本包括 5

个沙漠化阶段,每个阶段随机选取 3 个 1 m × 1 m 的样方。

### 2.2 土样采集

在选取的每个样方中按照 0—5 cm, 5—10 cm, 10—15 cm, 15—20 cm, 20—25 cm, 25—30 cm 深度分层取样,用于土壤颗粒组成、水分含量、有机质、有机碳和全氮含量等项目的测定,用环刀和土壤盒取土用于土壤容重的测定。

### 2.3 测定方法

土壤颗粒组成采用筛分与比重计相结合的方法测定<sup>[15]</sup>;土壤含水量、容重采用烘干称重法测定;土壤有机质、有机碳含量采用重铬酸钾容量法测定<sup>[15]</sup>;土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定<sup>[15]</sup>。

### 2.4 数据分析

利用 SPSS 软件,对测定数据进行 ANOVA 和相关性分析,研究各理化性状之间的关系。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同沙漠化阶段土壤理化性质变化分析

3.1.1 土壤颗粒组成变化 土壤颗粒组成是土壤质地和结构的重要表征之一,而沙漠化的核心问题是土壤颗粒的粗大化<sup>[16]</sup>。研究区不同沙漠化阶段表层(0—5 cm)土壤颗粒组成变化见表 1,随着沙漠化程度的加剧,土壤颗粒组成发生明显变化,砂粒含量急剧增加,粉粒、黏粒含量趋于减少。这主要是由于沙漠化过程中植被覆盖率越来越低,因而导致裸露的土壤表层细土因风蚀而粗粒化和单粒化,致使土壤机械组成随沙漠化发生巨大转变。

表 1 不同沙漠化阶段土壤颗粒组成变化 %

沙漠化 梯度	土壤粒度分级		
	砂粒 ( > 0.05 mm )	粉粒 ( 0.01~ 0.05 mm )	黏粒 ( < 0.01 mm )
I	43.560	39.720	16.720
II	57.288	35.130	7.582
III	79.702	16.265	4.033
IV	90.596	6.823	2.581
V	96.600	2.083	1.317

3.1.2 土壤含水量、容重变化 水分在沙漠化及其植被演替过程中起着关键作用,特别是在干旱、半干旱地区,水分是土壤发育及植物生长最重要的控制因子。研究区土壤含水量变化如图 1,在沙漠化过程中表层土壤含水量趋于减少,由 I 阶段的 1.522% 降低为 V 阶段的 0.270%,降幅达 82.260%,这主要是由于随着沙漠化程度加剧,地表裸露面越来越大,导致蒸发量也越来越大。在 0—30 cm 剖面中,各沙漠化阶段土壤含水量不存在显著差异( $P > 0.05$ ),而含水

量随土层深度增加均表现出不同程度的增加,总体变化为沙漠化越严重区域随深度的增加其含水量增长幅度越大,这主要是由于沙漠化区域土壤水分的下渗作用较强使得深层土壤含水量高于表层。另外,沙区植被越少,其地下根系的吸水量也越少,进而导致沙漠化严重区域深层土层的含水量较高。

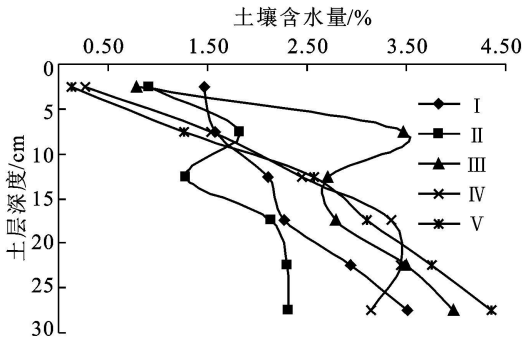


图 1 不同沙漠化阶段土壤含水量剖面变化

土壤容重综合反映了土壤固体颗粒和土壤孔隙的状况。土壤容重小,表明土壤比较疏松,孔隙多,反之,土粒密度大,表明土体比较紧实,结构性差,孔隙少。根据试验数据的统计分析显示,各沙漠化阶段土壤容重并不存在显著差异( $P > 0.05$ )。在每个阶段,表层土壤容重总体偏低,随深度增加土壤容重波动幅度渐大,并有随土层深度增加而增加的趋势,各阶段之间容重的变异性随深度变化而逐渐减小。

3.1.3 土壤有机质、有机碳和全氮含量变化 土壤有机质是土壤中含碳有机化合物的总称,一般占固相总重量的 10% 以下,是土壤形成的主要标志,对土壤性质有很大的影响。有机碳含量按照有机质含量的 58% 计算,其变化趋势与有机质相同(图 2)。

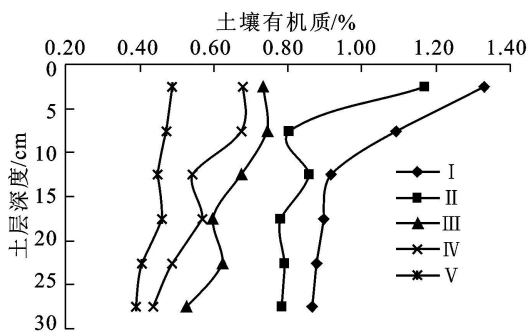


图 2 不同沙漠化阶段土壤有机质变化

沙漠化过程中,土壤有机质和有机碳含量下降,且阶段间存在极显著差异( $P < 0.01$ )。各阶段表层土壤有机质及有机碳含量均最多,且差异最大,V 阶段有机质及有机碳含量仅为 I 阶段的 36%,这是由于随沙漠化程度加剧,地表植被减少,落叶、植物残体

等形成的腐殖质越来越少而导致土壤有机质含量降低;随深度增加,有机质及有机碳含量趋于减少,且 10 cm 以下各阶段土壤有机质含量变化较小。

氮素是植物生长必需的营养元素之一,土壤中的氮素含量直接表征了土壤为植物提供氮的潜能<sup>[3]</sup>。土壤全氮含量变化剖面如图 3 所示,研究区沙漠化过程中表层土壤全氮含量急剧减少,且土壤全氮含量较其它沙漠化区域偏低<sup>[3,17]</sup>;I, II 阶段变化幅度较大,其它各阶段均无较大变化,各阶段 15 cm 以下全氮含量基本不变;统计分析显示,各沙漠化阶段土壤全氮含量存在极显著差异( $P < 0.01$ )。

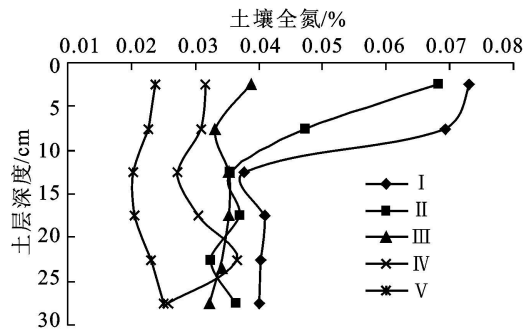


图 3 不同沙漠化阶段土壤全氮变化

3.1.4 土壤 C/N 变化 土壤的 C/N 是衡量土壤 C 和 N 营养平衡状况的指标,与土壤质地、有机质和养分存在密切关系<sup>[18]</sup>。

相关研究表明<sup>[3,7-8,18]</sup>,C/N 越小,土壤质量越高,越能为植物生长提供所需养分。研究区沙漠化过程中 C/N 变化如表 2 所示,由表中可见,随沙漠化程度的加剧,土壤 C/N 整体呈增加趋势,这说明在沙漠化进程中土壤质量逐渐减低,且 N 的衰竭速率要大于 C,这意味着沙漠中植物的生长可能受缺 N 土壤环境限制;另外随深度的增加土壤 C/N 呈现先增加后降低的趋势,其最高值出现在 5~25 cm 范围内,这主要是由于沙生植物根系吸收土壤中的 N 导致其 C/N 较大。

表 2 不同沙漠化阶段 C/N 变化

土壤深度/cm	I	II	III	IV	V
0—5	10.922	10.287	11.319	12.943	12.272
5—10	9.457	10.190	13.505	13.011	12.548
10—15	14.583	14.484	11.467	11.897	13.175
15—20	13.126	12.614	10.107	11.263	13.447
20—25	13.041	14.673	10.945	7.985	10.490
25—30	12.949	12.899	9.775	10.205	9.323

### 3.2 土壤各理化性质之间的相关性分析

沙漠化过程总是伴随着土壤颗粒、含水量、容重、有机质、有机碳和全氮含量有规律的变化,集中体现

在随沙漠化程度的加剧,土壤砂粒含量、容重和C/N升高;含水量、有机质、有机碳和全氮含量降低。而沙漠化土壤各理化性质之间也存在着密切的内在联系,如黏粒含量较多的土壤,其有机碳和全氮含量也相应较高;有机质含量较高的土壤其结构和物理性质也相对稳定<sup>[19]</sup>。

对研究区表层(0—5 cm)土壤理化性质进行相关性分析(表3)发现,土壤容重和C/N与各指标存在

负相关关系,其余各指标间均存在正相关关系;黏粒含量与含水量、容重、有机质和全氮含量之间均存在显著相关性,含水量与容重、有机质和全氮含量也显著相关,容重与有机质和全氮含量之间以及有机质与全氮含量之间存在极显著相关性;C/N与各指标之间的相关性均不显著。其中,有机质与全氮之间的相关系数最大,达到0.9935;容重与含水量容重、有机质和全氮之间的相关系数均较大。

表3 土壤黏粒、含水量、容重、有机质、N及C/N之间相关性分析

项目	黏粒	含水量	容重	有机质	N	C/N
黏粒	1.000 0	0.947 8*	-0.885 9*	0.920 2*	0.889 4*	-0.623 4
含水量		1.000 0	-0.951 8*	0.915 7*	0.909 2*	-0.790 4
容重			1.000 0	-0.970 9**	-0.972 8**	0.847 5
有机质				1.000 0	0.993 5**	-0.782 7
N					1.000 0	-0.844 2
C/N						1.000 0

注:\* 表示显著相关;\*\* 表示极显著相关。

## 4 结论

(1) 在沙漠化过程中,土壤物理性质的转变首先是黏粒等细颗粒物受风蚀作用而减少,砂粒等粗颗粒物增多。在毛乌素沙地东南缘整个沙漠化过程中,黏粒呈指数减少,砂粒呈线性增加。

(2) 研究结果表明,沙漠化过程中,土壤结构发生了转变。表层土壤含水量在整个过程中迅速降低,而随土层深度的增加各阶段土壤含水量呈上升趋势,这主要与地表植被覆盖和蒸发量有关。容重是土壤结构的重要表征特征,在沙漠化过程中表层土壤容重逐渐提高,表明土壤肥力下降,质量降低。

(3) 土壤有机质、有机碳和全氮是反映土壤质量与土壤退化程度的有效表征指标。结果表明,沙漠化过程中,土壤有机质、C和N含量都呈现出随沙漠化程度的加剧和土层深度的加深而急剧降低的趋势,这说明沙漠化导致土壤质量严重退化;C/N的升高则表明在土壤质量退化的过程中N的衰竭更快。

(4) 相关性分析结果表明,该区土壤各理化性质之间存在着密切的相关性。其中,容重与有机质和全氮之间以及有机质与全氮之间存在极显著相关性;黏粒含量与含水量、容重、有机质和全氮之间均存在显著相关性,含水量与容重、有机质和全氮也显著相关。

(5) 土壤理化性质在沙漠化过程中发生了不同程度的变化,但有关不同沙漠化阶段土壤演替及替变阈值的研究至今较少,对该区的后续研究中将进一步探讨沙漠化的演替机制与土壤理化性质之间的关系。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 朱震达. 土地荒漠化: 21世纪全球的一个重要环境问题[J]. 云南地理环境研究, 1994, 6(1): 23-31.
- [2] 朱震达. 土地荒漠化问题研究现状与展望[J]. 地理研究, 1994, 13(3): 104-113.
- [3] 朱志梅, 杨持, 曹明明, 等. 多伦草原土壤理化性质在沙漠化过程中的变化[J]. 水土保持通报, 2007, 27(1): 1-5.
- [4] 苏永中, 赵哈林, 文海燕. 退化沙质草地开垦和封育对土壤理化性状的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 5-8.
- [5] Su Y Z, Zhao H L. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification[J]. Geoderma, 2004, 122(1): 43-49.
- [6] 徐丽恒, 王继和, 李毅, 等. 腾格里沙漠南缘沙漠化逆转过程中的土壤物理性质变化特征[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 690-695.
- [7] Zhou R L, Li Y Q. Desertification effects on C and N content of sandy soils under grassland in Horqin, northern China[J]. Geoderma, 2008, 145(3/4): 370-375.
- [8] 刘颖茹, 杨持, 朱志梅, 等. 我国北方草原沙漠化过程中土壤碳、氮变化规律研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1064-1066.
- [9] 苏永中, 赵哈林, 张铜会, 等. 不同强度放牧后自然恢复的沙质草地土壤性状特征[J]. 中国沙漠, 2002, 22(4): 333-338.
- [10] Wang G P, Zhai Z L, Liu J S. Forms and profile distribution of soil phosphorus in our wetlands across gradients of sand desertification in Northeast China[J]. Geoderma, 2008, 145(1/2): 50-59.

(下转第176页)

大的过程中,最终导致土粒开始反方向的挤压、滚动,宏观上表现为土颗粒沿  $\sigma_2$  和  $\sigma_3$  膨胀。

因此,增加  $\sigma_1$  试样受剪过程中,试样内部土粒的移动,实际上是 3 个主应力方向的“合运动”,是大、中、小主应力耦合作用的结果。

## 4 结论

(1) 应力—应变关系曲线的偏差应力和初始切线模量随着含水率的增大而减小,  $\Delta \varepsilon_2$  和  $\Delta \varepsilon_3$  变化随着含水率的增大而增大,相同含水率下的  $\Delta \varepsilon_3$  变化比  $\Delta \varepsilon_2$  变化大。

(2) 最小主应力方向始终是膨胀的,由于中主应力的影响,反映在切线泊松比上,有大于 0.5 的情况。

(3) 在上述应力路径下,中主应力方向可以表现出一定压缩,然后转为膨胀。

(4) 对于黄土这种弹塑性材料,弹性模量和泊松比不再具有物性参数的意义,而是一种随应力状态及加荷方式变化的状态参量。

(5) 对于黄土这种弹塑性材料,在进行有限元计算时,在某些应力路径下,仅仅调整泊松比接近 0.5,有可能出现较大的误差,甚至导致严重错误。

反映侧向变形的泊松比的计算,依赖于对试验数据的拟合,尽管拟合所采用的函数表达式不是惟一的,但拟合后的函数几何形态及其一阶导数的值应是一致的,拟合结果可依据均方差之和、置信度等来优

化选择。如何寻求和采用最佳的数值拟合方法,也是研究侧向变形的关键问题之一。本试验选用了多项式拟合的方法,对其它的拟合方法未做深入探讨。

现在对于黄土的研究很多并不考虑初始应力状态、加荷方式以及中主应力对土体侧向变形的影响,这与工程实际有较大的差异。而真三轴试验也由于试验仪器、试验方法等多方面的条件限制,要反映所有的工程实际也存在一定的困难,因此真三轴试验的深度和广度也有待进一步的深入研究。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 殷宗泽. 土体的侧向变形[C]//第三届全国青年岩土力学与工程会议论文集. 南京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [ 2 ] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 江苏: 中国水利水电出版社, 1995: 57-60.
- [ 3 ] 殷宗泽, 朱俊高, 卢海华. 土的弹塑性柔度矩阵与真三轴试验研究[C]//第七届岩土力学及基础工程学术会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994, 139-144.
- [ 4 ] 殷宗泽. 高土石坝的应力与变形[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(1): 4-14.
- [ 5 ] 徐志伟. 砂土侧向变形的真三轴试验研究[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(3): 371-374.
- [ 6 ] 徐志伟, 陈瑜瑶. 淤泥土应力—应变矢量增量的真三轴试验研究[J]. 岩土力学, 2000, 21(4): 343-349.
- [ 7 ] 朱俊高, 卢海华, 殷宗泽. 土体侧向变形性状的真三轴试验研究[J]. 河海大学学报, 1995, 23(6): 29-33.
- [ 11 ] 张进虎, 贺康宁, 段玉玺, 等. 毛乌素沙地西南缘不同植被下的土壤水分时空变化研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(1): 96-102.
- [ 12 ] 吕贻忠, 胡克林, 李保国. 毛乌素沙地不同沙丘土壤水分的时空变异[J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 152-154.
- [ 13 ] 王鸣远, 关三和, 王义. 毛乌素沙地过渡地带土壤水分特征及其植物利用[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(2): 37-44.
- [ 14 ] 王志, 王蕾, 刘连友, 等. 毛乌素沙地南缘沙丘水分的时空分布特征[J]. 干旱区研究, 2007, 24(1): 61-65.
- [ 15 ] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1985: 31-52.
- [ 16 ] 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.
- [ 17 ] 王葆芳, 杨晓晖, 江泽平, 等. 不同地区土地沙漠化过程中土壤退化演变规律[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 2-9.
- [ 18 ] 齐雁冰, 黄标, 顾志权, 等. 长江三角洲典型区农田土壤碳氮比值的演变趋势及其环境意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(1): 50-56.
- [ 19 ] 苏永中, 赵哈林. 农田沙漠化过程中土壤有机碳和氮的衰减及其机理研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(8): 928-934.

(上接第 172 页)