

# 沙棘林退化对土壤性质及水土流失的影响

谢立亚<sup>1,2</sup>, 舒乔生<sup>1,2</sup>

(1. 重庆水利电力职业技术学院, 重庆 永川 402160; 2. 辽宁省水土保持研究所, 辽宁 朝阳 122000)

**摘要:** 辽宁省建平县有亚洲最大的人工沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)林,对防治当地水土流失具有重要的作用。然而由于多种原因,该区沙棘林呈现大面积死亡的现象。通过样地调查沙棘林的死亡程度,并进行土壤理化性质和水土流失的测定,研究了沙棘林退化对土壤性状和水土流失量的影响。结果表明,随着沙棘活立木数量的减少,土壤容重增加1.40%~7.31%,有机碳含量和全氮含量分别降低7.81%~21.89%和9.33%~27.65%,说明沙棘林退化对土壤结构和养分产生显著的破坏作用。人工模拟降雨试验表明,纯沙棘林地的水土流失较轻,侵蚀模数为539 t/(a·km<sup>2</sup>)。随着沙棘死亡率提高,水土流失逐步加剧,入侵树种榆树纯林(*Ulmus pumila*)地达到1 526 t/(a·km<sup>2</sup>)。土壤性质的恶化和水土流失的加剧,会对土壤有机质和土壤结构进一步破坏,使沙棘死亡速度加快,从而形成恶性循环。

**关键词:** 土壤理化性质; 水土流失; 沙棘

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)03-0019-05

中图分类号: S157.5

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.005

## Effects of Sea Buckthorn Degradation on Soil Properties and Soil and Water Loss

XIE Li-ya<sup>1,2</sup>, SHU Qiao-sheng<sup>1,2</sup>

(1. Chongqing College of Water Resources and Electric Engineering, Yongchuan, Chongqing 402160, China; 2. Liaoning Institute of Soil and Water Conservation, Chaoyang, Liaoning 122000, China)

**Abstract:** The biggest sea buckthorn(*Hippophae rhamnoides*) artificial forest in the Asian is located in Jianping County, Liaoning Province, China, which has an important role in controlling soil and water loss. A large area of sea buckthorn in this district died for various reasons in recent years. In order to study the effects of sea buckthorn degradation on soil properties and soil and water loss, the forest's death rate was surveyed by sample plot, and soil physiochemical properties and soil and water loss were measured for different death rates. As the number of sea buckthorn living trees decreased, soil bulk density increased by 1.4%~7.31% and soil porosity and organic matter decreased by 7.81%~21.89% and 9.33%~27.65%, respectively, which shows that sea buckthorn degradation could destroy soil texture and nutrient significantly. The artificial rainfall simulation showed that soil erosion modulus of 539 t/(a·km<sup>2</sup>) was measured in well grew sea buckthorn forest and it increased with the increase in sea buckthorn death number. Soil erosion modulus reached 1 526 t/(a·km<sup>2</sup>) when sea buckthorn was almost replaced by elm(*Ulmus pumila* L.) because of removal of died sea buckthorn. The aggravation of soil and water loss and the deterioration of soil properties damaged soil organic matter and texture, then the death rate of sea buckthorn accelerated, and thus vicious cycle formatted.

**Keywords:** soil physical and chemical properties; soil and water loss; sea buckthorn

植被作为重要的生态因子,是控制水土流失,改善生态环境的有效措施,在自然生态环境中占有极其重

要的地位<sup>[1]</sup>。沙棘(*Hippophae rhamnoides*)为胡颓子科落叶性灌木,耐旱,抗风沙,广泛用于水土保持林建

收稿日期:2013-10-26

修回日期:2013-12-02

资助项目:辽宁省自然科学基金项目“辽西坡耕地植物地埂的抗蚀机理研究”(201202108);重庆水利电力职业技术学院人才引进基金项目“地埂植物带群体防蚀效益的空间评价”(KRC201304)

作者简介:谢立亚(1973—),女(汉族),辽宁省营口市人,硕士,副研究员,主要从事水土保持科学研究和水利科学教学工作。E-mail: xly2004@126.com。

通信作者:舒乔生(1973—),男(汉族),江西省上饶市人,博士,副研究员,主要从事水土保持科学研究和水利科学教学工作。E-mail: cysqs@163.com。

设;同时它在预防和治疗心脑血管疾病、恶性肿瘤、糖尿病等疾病方面均具有不可替代的作用。

自 20 世纪 50 年代末开始,辽宁省西部的建平县引种沙棘,80 年代大力开展沙棘林营造工作,现有人工沙棘林面积达  $6.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,占全国人工沙棘林面积的 12%,因此该县拥有全国乃至亚洲最大的人工沙棘林<sup>[2]</sup>。大面积人工沙棘林在保持水土、改善生态环境、促进经济发展等方面都起到了积极的作用。然而近年来,该区域人工沙棘林出现大面积死亡的现象,据统计死亡面积近  $3.90 \times 10^4 \text{ hm}^2$  (死亡率达 58.5%)<sup>[2-3]</sup>。沙棘林大面积死亡破坏了生态环境,制约了该县的经济的发展,同时也对沙棘在荒漠化防治应用方面提出了新的挑战<sup>[4]</sup>。

关于沙棘林大面积死亡的原因,有些学者<sup>[4-5]</sup>对其进行了深入分析,认为主要有老化自然死亡、过度干旱、病虫害、经营管理不善(如过牧)等原因,并提出了防治对策。然而关于沙棘林死亡引起土壤性质和水土流失变化的研究报道较少。本项研究采用时空替代法<sup>[6-8]</sup>,通过样地测试,分析沙棘林的死亡程度对土壤理化性质和水土流失的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试点选择

试点位于辽宁省建平县建平镇胡家店村红金台小流域,土壤为黄土母质发育的褐土,水土保持树种主要有沙棘、榆树、油松(*Pinus tabulaeformis*)、柠条(*Caragana korshinskii*)等,属辽西低丘区的典型小流域,该流域沙棘林有 20 a 以上的林龄,目前出现逐步死亡的现象,取而代之是榆树的入侵,表现出与演替相近似的特征。

### 1.2 研究方法

1.2.1 标准地划分 根据植被演替研究的通用方法——“时空替代法”<sup>[6-8]</sup>,在空间上选择纯沙棘林期(未死亡,  $F_1$ );榆树入侵期(沙棘死亡率 16.86%,  $F_2$ );榆树发展期(沙棘死亡率 51.74%,  $F_3$ );榆树优势期(沙棘死亡率 71.51%,  $F_4$ );纯榆树林期(沙棘死亡率 95.35%,  $F_5$ )5 个标准地,设 3 次重复,分别作为沙棘退化的 5 个阶段,标准地尺寸为  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ,各标准地平均坡度为  $7^\circ$ ,死亡的沙棘均被搬运移出。各标准地活立木数量见表 1。

1.2.2 土壤理化性质测定 对每个样地采用 5 点法分层(0—20, 20—40, 40—60 cm)进行土壤取样,测定土壤机械组成、容重、有机质含量等理化性质。机械组成采用吸管法、容重采用环刀法、有机质和全氮

(TN)含量分别用重铬酸钾氧化和半微量凯氏法测定。

表 1 各标准地活立木数量

样地	沙棘/株	榆树/株	沙棘死亡率/%
$F_1$	172	3	—
$F_2$	143	22	16.86
$F_3$	83	41	51.74
$F_4$	49	59	71.51
$F_5$	8	76	95.35

土壤颗粒分形维数( $D$ )的计算方法,采用黄冠华等<sup>[9]</sup>推导的数学模型:

$$\lg\left[\frac{M(r < \bar{R}_i)}{M_T}\right] = (3 - D) \lg\left(\frac{\bar{R}_i}{R_{\max}}\right) \quad (1)$$

式中:  $M_T$ ——全部土壤颗粒的总质量(g);  $M(r < \bar{R}_i)$ ——粒径  $r$  小于某一给定平均粒径  $\bar{R}_i$  的土壤颗粒质量(g);  $\bar{R}_i$ ——土壤机械组成中两筛分粒径  $R_i$  和  $R_{i+1}$  的算术平均值(mm);  $R_{\max}$ ——土壤最大颗粒粒径(mm);  $D$ ——土壤颗粒分形维数。

1.2.3 水土流失量测试 在每个标准地中建立  $4 \text{ m} \times 2 \text{ m}$  的简易移动式水土流失径流场,径流场采用 PVC 塑料板制成,下边由集流槽与集流桶相接,其余 3 边为厚 4 mm,高 200 mm 的塑料板,试验时将其插入地中,以阻挡区内外径流的交换。采用人工模拟降雨机进行降雨,雨强分别选定为 1.0, 1.5, 2.0 mm/min,每次降雨时间为 30 min,每个雨强重复 3 次,总降雨量接近该区域的年侵蚀性降雨量,降雨开始后记录产流时间和产流量,每隔 3 min 取 1 次水样,过滤后用烘干法称取土样测定泥沙量,用以确定土壤侵蚀量。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤理化性质

对每个样地所取的土样进行土壤机械组成、容重、有机碳、全氮等理化性质测定,分析沙棘死亡对土壤性质的影响,测定结果见表 2。

从表 2 可看出,对于每一个样地,随着土层深度的增加,土壤有机碳和全氮含量总体上呈减少的趋势,容重随深度增加而增大( $p < 0.05$ ),这主要是由于林木枯枝落叶层的多年积累,表层土壤的有机质含量较高,从而土壤容重较小。尽管土壤机械组成随深度并无明显变化规律,但上层的土壤分形维( $D$ )大于下层,表明沙棘对表层土壤质地有改善作用,随着深度增加,对质地改善的作用变小。

表 2 不同样地土壤理化性质

样地	深度/ cm	机械组成/%			容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	分形 维数
		砂粒(2 ~0.05 mm)	粉粒(0.05 ~0.002 mm)	黏粒 (0.002 mm)				
F <sub>1</sub>	0—20	38.25±4.08	41.68±4.26	20.07±3.12	1.31±0.26	16.58±3.12	1.25±0.17	2.852
	20—40	41.38±3.52	41.04±4.98	17.58±2.61	1.34±0.18	15.39±2.68	1.18±0.11	2.824
	40—60	39.29±3.69	41.35±6.17	19.36±2.74	1.37±0.21	15.24±3.04	1.14±0.15	2.813
F <sub>2</sub>	0—20	41.27±7.67	38.80±5.26	19.93±3.12	1.33±0.34	17.21±2.64	1.12±0.16	2.821
	20—40	40.36±5.24	41.15±3.88	18.49±1.99	1.35±0.36	8.98±1.06	0.74±0.09	2.796
	40—60	38.96±4.16	42.67±4.29	18.37±2.05	1.40±0.41	12.37±1.68	0.79±0.10	2.735
F <sub>3</sub>	0—20	29.08±3.47	49.56±5.07	21.36±2.16	1.29±0.27	15.88±2.01	1.13±0.17	2.785
	20—40	32.65±3.06	47.88±4.16	19.47±1.36	1.32±0.19	14.39±1.37	1.08±0.20	2.791
	40—60	35.19±6.34	44.66±5.99	20.15±2.67	1.34±0.25	13.25±2.35	1.03±0.06	2.713
F <sub>4</sub>	0—20	40.72±3.95	39.25±4.65	20.03±3.18	1.45±0.31	12.57±2.46	0.96±0.08	2.782
	20—40	39.39±4.56	41.02±5.18	19.59±2.16	1.42±0.27	12.36±1.65	0.92±0.11	2.763
	40—60	37.91±6.15	43.36±5.79	18.73±3.05	1.37±0.16	11.94±1.99	0.89±0.13	2.758
F <sub>5</sub>	0—20	40.22±4.82	41.15±6.14	18.63±2.68	1.48±0.18	12.96±2.16	0.96±0.15	2.763
	20—40	41.33±7.13	41.24±5.19	17.43±1.96	1.43±0.29	12.38±2.34	0.87±0.09	2.779
	40—60	39.92±4.63	41.41±4.39	18.67±2.35	1.41±0.32	12.09±2.07	0.76±0.07	2.731

对于不同样地之间比较,随着沙棘死亡的升高,土壤容重总体上出现逐步增大的趋势、有机碳和全氮含量则逐步降低。与纯沙棘林相比,其他样地的土壤容重增加 1.40%~7.31%(榆树发展期则出现降低现象),有机碳含量和全氮含量分别降低 7.81%~21.89%和 9.33%~27.65%。

方差分析结果(表 3)表明,除粉粒和黏粒含量外,砂粒含量、容重、有机碳和全氮含量的差异性总体

上达到显著水平( $p<0.05$ ),初步表明沙棘死亡率对土壤性质具有较为显著的影响。随着沙棘死亡率增加,表层土壤的分形维逐步下降,虽然纯榆林与纯沙棘林之间的差异达到显著水平,但总体上差异不显著;分析过程表明,对不同深度的分形维进行平均和方差分析无实质意义,即林木死亡对土壤质地的影响主要局限于表层,因此表 3 中未列出分形维数的方差比较结果。

表 3 不同样地土壤理化性质的方差分析结果

统计量	砂粒	粉粒	黏粒	容重	有机碳	全氮
均方差	176.752	115.408	8.842	0.039	33.439	0.304
F 值	7.247	2.484	0.112	3.043	9.026	11.001
显著性 $p$	0.001	0.063	0.978	0.024	0.000	0.000

通过进一步多重比较分析(表 4)可看出,纯沙棘林与榆树发展期的土壤容重较小,有机碳、全氮含量较高,它们与榆树优势期、纯榆林之间的差异显著,表明随着沙棘死亡率的升高,土壤结构产生破坏,并且土壤养分含量也逐步下降,即沙棘林的退化导致土壤性状呈逐渐退化趋势。榆树入侵期的土壤有机碳和全氮含量表现出与低死亡率样地差异显著,与高死亡率样地之间差异不显著;从土壤机械组成看,仅有榆树发展期的砂粒含量显著低于其他样地间,粉粒含量最高( $p<0.05$ ),黏粒含量差异不显著;出现这些特殊奇异值的原因还不清楚,但这并不影响沙棘死亡对土壤性质影响结果的总体趋势。

按照植被演替规律,沙棘死亡和榆树生长意味着植被的正向演替,土壤的各项理化性质会随着植被的演替而得到改善<sup>[1]</sup>,然而在本研究中却出现了相反的现象。这主要是由于沙棘林生长茂盛时,刺状针叶使人畜无法进入林区进行破坏;当沙棘出现死亡时,农民会将死亡的沙棘枯枝作为薪柴收集运走,枯枝落叶等凋落物未及时分解,土壤有机质未得到补充;加上该区降雨以暴雨为主、林地覆盖度下降和土壤入渗不良,降雨极易形成地表径流,致使土壤表层有机质和土壤团粒结构遭到破坏,土壤容重增加,土壤抗蚀性必然减弱,因此土壤理化性质向恶性循环方向发展<sup>[10-11]</sup>。

表 4 不同样地土壤理化性质的多重比较结果

样地		最小显著差(LSD)					
		砂粒	粉粒	黏粒	容重	有机碳	全氮
F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	-0.556	0.481	0.074	-0.019	2.883*	0.309*
	F <sub>3</sub>	7.333*	-6.013*	-1.324	0.024	1.229	0.111
	F <sub>4</sub>	0.299	0.145	-0.447	-0.073*	3.446*	0.268*
	F <sub>5</sub>	-0.849	0.089	0.759	-0.098*	3.259*	0.329*
F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	0.556	-0.481	-0.074	0.019	-2.883*	-0.309*
	F <sub>3</sub>	7.889*	-6.491*	-1.398	0.043	-1.655*	-0.198*
	F <sub>4</sub>	0.855	-0.336	-0.521	-0.055	0.563	-0.041
	F <sub>5</sub>	-0.293	-0.392	0.685	-0.079	0.375	0.019
F <sub>3</sub>	F <sub>1</sub>	-7.333*	6.013*	1.324	-0.024	-1.229	-0.111
	F <sub>2</sub>	-7.889*	6.491*	1.398	-0.043	1.655*	0.198*
	F <sub>4</sub>	-7.033*	6.155*	0.877	-0.097*	2.217*	0.157*
	F <sub>5</sub>	-8.182*	6.099*	2.083	-0.122*	2.030*	0.217*
F <sub>4</sub>	F <sub>1</sub>	-0.299	-0.145	0.447	0.073*	-3.446*	-0.268*
	F <sub>2</sub>	-0.855	0.336	0.521	0.055	-0.563	0.041
	F <sub>3</sub>	7.033*	-6.155*	-0.877	0.097*	-2.217*	-0.157*
	F <sub>5</sub>	-1.149	-0.056	1.206	-0.025	-0.187	0.061
F <sub>5</sub>	F <sub>1</sub>	0.849	-0.089	-0.759	0.098*	-3.259*	-0.329*
	F <sub>2</sub>	0.293	0.392	-0.685	0.079	-0.375	-0.019
	F <sub>3</sub>	8.182*	-6.099*	-2.083	0.122*	-2.030*	-0.217*
	F <sub>4</sub>	1.149	0.056	-1.206	0.025	0.187	-0.061

注：\*表示多重比较结果在  $p<0.05$  水平上显著。

2.2 水土流失量

水土流失测定过程数据见表 5。由于试验区土壤为黄土母质上发育的淋溶褐土,其表土质地粗,孔隙大,雨强较小时,短期内雨水下渗迅速;而表层以下即为质地较为坚硬的黄土,结构不良,渗水性能差,水分下渗受阻,如继续降雨或雨强增大时,则进入超渗产流阶段,迅速形成坡面片流,且径流加深,流速较急。试验过程表明,纯沙棘林的产流较慢,且产流总量较少,随着死亡率的升高,产流量逐步增加,这主要是由于纯沙棘林的土壤容重较小,有机质含量较高,土壤入渗率较大的缘故;随着沙棘的死亡与榆树数量的增加,土壤的入渗率逐步减小,导致产流量上升。径流量增加和流速的增大,形成集中股流,对土壤的冲刷力加强;同时,沙棘的死亡和榆树的入侵导致表层土壤的根系分布变得稀疏,使土壤的固持作用也减弱,土壤的抗蚀能力下降,因此产沙量也呈现逐步上升的态势。

随着沙棘的死亡和榆树数量的增加,侵蚀强度逐步增大。由于土壤结构的破坏,随着时间的延长,侵蚀强度将会进一步加大(表 6)。

表 5 人工模拟降雨条件下径流量和侵蚀量

样地	雨强/ (mm·min <sup>-1</sup> )	径流量/ L	侵蚀量/ g
F <sub>1</sub>	1.00	33.7±1.95	144.33±21.94
	1.50	58.57±0.85	542.67±109.16
	2.00	102.60±1.75	749.67±75.25
F <sub>2</sub>	1.00	38.43±1.25	190.67±14.29
	1.50	68.37±1.85	723.67±785.21
	2.00	120.73±11.40	1 171.00±67.95
F <sub>3</sub>	1.00	49.27±2.74	217.00±18.52
	1.50	84.60±4.11	886.67±140.48
	2.00	145.87±6.98	1 379.00±64.49
F <sub>4</sub>	1.00	55.07±4.60	421.33±67.40
	1.50	89.27±7.70	1 239.00±127.74
	2.00	159.67±6.09	1 756.00±44.19
F <sub>5</sub>	1.00	62.27±4.31	560.67±76.71
	1.50	99.00±3.14	1 415.33±101.76
	2.00	183.77±8.96	2 092.00±38.97

表 6 各样地径流模数和侵蚀模数

样地	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>
径流模数/(m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> )	73 075±4 502	85 213±4 836	104 900±5 131	114 000±5 056	129 388±6 309
侵蚀模数/(t·a <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> )	539±85	782±86	931±103	1 281±139	1 526±167

## 2.3 讨论

目前研究成果表明,植被改善表土的土壤结构、物理化学性质及微地形<sup>[12]</sup>,增加有机质,增强团聚体稳定性,降低容重及渗透阻力<sup>[13]</sup>,这些性质的改变会进一步影响坡地产流机制;林木茎叶截留降雨、根系固结土壤和阻碍径流传递,从而降低水土流失,这些对防治水土流失非常重要<sup>[14-16]</sup>。然而防治效果与植被结构密切相关,层次结构较好的植被比单层植被更能保护土壤,减轻水蚀程度,而个体性乔木防治水土流失的效果并不理想<sup>[17]</sup>。随着植被结构的破坏或植被的退化,土壤结构随之破坏,理化性质发生恶化,在水土流失的作用下,土壤营养的流失会增加<sup>[18]</sup>。因此,沙棘林生长茂盛时,刺状针叶阻止了人畜的破坏,植被对土壤的保护作用较好;随着沙棘死亡率的上升及大量的枯枝落叶被收集运走,榆树呈个体性生长发展,短期内难以形成结构较好的植被层,致使林地覆盖度下降、土壤有机质也不能及时补充、土壤入渗率降低,容易形成集中地表径流;同时由于表层土壤根系的稀疏,土壤的抗蚀性必然减弱,从而导致水土流失加剧。

## 3 结论

(1) 沙棘林在改善土壤理化性质方面的作用明显,虽然榆树已逐步入侵并良好生长,然而沙棘的死亡仍然对土壤容重、有机质和全氮含量产生显著影响,随着沙棘活立木数量的减少,土壤容重增大,土壤有机质和全氮含量减少,土壤结构遭到破坏。

(2) 纯沙棘林产流较少,随着沙棘的死亡和榆树数量的增加,侵蚀强度逐步增大。土壤理化性质的恶化,土壤表层更易形成集中地表径流,导致水土流失加剧,剧烈的水土流失又使土壤有机质和结构产生破坏,进一步加快沙棘的死亡,形成恶性循环。

(3) 近年来,当地林业和水土保持部门对人工沙棘林的退化现象非常重视,但一直仅就其林木损失本身进行评估,对其引起的生态问题未进行系统的观测,本项研究从土壤性质和水土流失方面入手,作为沙棘退化对生态环境影响的研究基础,今后将着重研究沙棘退化导致土壤特性改变和水土流失加剧的深层次原因。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 章文杰,宋洪涛.滇西北亚高山地区植被演替中的土壤物理性质研究[J].山东林业科技,2007(2):8-10.
- [2] 宫海志,王军.建平县沙棘林大面积死亡成因分析及经

营对策[J].中国水土保持,2003(4):17-18.

- [3] 张连翔,惠兴学,黄立华,等.建平县沙棘林大面积死亡原因及其治理对策[J].沙棘,2002,15(3):26-29.
- [4] 李树彬,党福江.建平县沙棘林大面积死亡原因调查分析[J].水土保持科技情报,2001(6):4-6.
- [5] 惠兴学,张连翔,孔繁弼,等.建平县沙棘林大面积死亡成因调查分析及对策[J].防护林科技,2002(2):53-55.
- [6] 闫芊,何文珊,陆健健.崇明东滩湿地植被演替过程中生物量与氮含量的时空变化[J].生态学报,2006,25(9):1019-1023.
- [7] 宋洪涛,张劲峰,田昆,等.滇西北亚高山地区黄背栎林植被演替过程中的林地土壤化学响应[J].西部林业科学,2007,36(2):65-70.
- [8] 王韵,王克林,邹冬生,等.广西喀斯特地区植被演替对土壤质量的影响[J].水土保持学报,2007,21(6):130-134.
- [9] 黄冠华,詹卫华.土壤颗粒的分形特征及其应用[J].土壤学报,2002,39(4):490-497.
- [10] 章明奎.亚热带丘陵区植被退化对红壤理化性质的影响[J].土壤,1995(5):241-244.
- [11] 余健,房莉,单奇华,等.植被退化对土壤性质的影响及防治对策[J].安徽农业科学,2007,35(15):5228-5229.
- [12] Zha Xuan, Tang Keli, Zhang Keli, et al. The impacts of vegetation on soil characteristics and soil erosion[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1992,6(2):52-59.
- [13] Thompson D B, Walker L R, Landau F H, et al. The influence of elevation, shrub species, and biological soil crust on fertile islands in the Mojave Desert, USA[J]. Journal of Arid Environment, 2005,61(4):609-629.
- [14] Dillaha T A. Vegetative filter strips for agricultural nonpoint-source pollution control [J]. Tran. of the ASAE, 1989,32(3):513-519.
- [15] Chaubey I, Edwards D R, Daniel T C, et al. Effectiveness of vegetative filter strips in controlling losses of surface-applied poultry litters constituents[J]. Tran. of the ASAE, 1995,38(6):1687-1692.
- [16] Doyle R C, Stanton G C, Wolf D C. Effectiveness of forest and grass buffer strips in improving the water quality of manure polluted runoff [C]// ASAE Winter Meeting. St. Joseph, Michigan: ASAE, 1977: 77-2501.
- [17] Gonzalez Hidalgo J C, Raventos J, Echevarria M T. Comparison of sediment ratio curves for plants with different architectures[J]. Catena, 1997,29(3/4):333-340.
- [18] 张兴昌,邵明安.植被覆盖度对流域有机质和氮素径流流失的影响[J].草地学报,2000,8(3):198-203.