

土地利用变化与土壤养分的变化——以河北省遵化县为例

傅伯杰, 郭旭东, 陈利顶, 马克明, 李俊然

(中国科学院生态环境研究中心系统生态开放研究实验室, 北京 100085)

摘要:土地利用变化可以引起土壤养分的变化。以河北省遵化县为例, 研究该县 1980 年到 1999 年土地利用变化及土壤养分的变化。结果表明, 近 20a 来, 旱地、草地、水田面积大幅度减少, 林地和村镇用地大幅度增加。旱地转换为林地, 土壤有机质提高了 21%, 全氮提高了 10%, 碱解氮提高了 65%, 速效磷提高了 17%, 速效钾提高了 17%。旱地转换为草地, 土壤有机质提高 38%, 全氮提高了 37%, 碱解氮提高了 71%, 速效磷提高了 2%, 速效钾提高了 28%。退耕还林还草不仅改变了土地覆被, 而且提高了土壤养分。

关键词:土地利用变化; 土壤养分; 退耕还林还草

Land use changes and soil nutrient changes: a case study in Zunhua County, Hebei Province

FU Bo-Jie, GUO Xu-Dong, CHEN Li-Ding, MA Ke-Ming, LI Jun-Ran (Department of Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 2871, Beijing 100085, China)

Abstract: Land use Change is the results of interactions between physical factors and human activities. Land use change may influence many natural phenomena and ecological processes, including soil nutrient and soil water change, runoff and soil erosion, biodiversity and biogeochemical cycle. Land use changes can results in land degradation, such as water and soil loss, land desertification. It also can control water and soil loss, land desertification, and improve soil quality. Since late 1970s, the new land policy "Household Responsibility System" was implemented in the Chinese countryside, which has advanced China's agriculture and led to great changes in land-use structure. Land use change has resulted in some changes in soil nutrients. This paper took Zunhua County, a typical agricultural area in northern China as a case study to analyze the relationship between land use changes and soil nutrient changes. The objectives are (1) to identify land-use change within two typical periods of 1980 and 1999. (2) to examine soil nutrient changes between 1980 and 1999, and (3) to analyze the relationships between land use changes and soil nutrient changes.

Land use change from 1980 to 1999 shows: (1) the area of farmland, grassland and paddy field decreased by 40%~50%; (2) the areas of forest, residential land, and water field increased by over 60%; (3) unutilized land had been transformed to farmland, forest, and residential land. The results of a transition matrix reflected the area increase or decline of each land use type. Between 1980 and 1999, 29%, 10%, and 10% of cultivated farmland were converted to forest, residential land and grassland respectively. About 64% of grassland was transformed to forest. About 59% of unutilized land was transformed to grassland, and 31% was transformed to forest.

The soil nutrient status of farmland in 1999 increased significantly ($p < 0.10\%$) compared to 1980. The

基金项目: 国家自然科学基金重点基金(批准号 49831020)和中国科学院知识创新基金(KZCX2-405)资助项目

收稿日期: 2000-10-03; 修订日期: 2001-03-28

作者简介: 傅伯杰(1958~), 男, 陕西咸阳市人, 研究员, 博士生导师。主要从事景观生态学研究。

increase in organic matter content was because of an increase in straw incorporation. The differences in organic matter content for forest between 1980 and 1999 were not statistically significant. Except for available P, soil nutrient levels for grassland improved significantly between 1980 and 1999. Soil nutrient changes could be related to large changes from grassland to forest and from farmland to forest and grassland. The introduction of forest-grassland may have reduced the loss of soil nutrients by erosion and leaching.

Land use changes have resulted in soil nutrient changes in the study area. The soils under forest in 1999 transformed from farmland in 1980 increased in organic matter by 21%, total nitrogen by 18%, available nitrogen by 65%, available phosphorus by 17% and available potassium by 17%. Similarly, in the area which was converted from farmland in 1980 to grassland in 1999, soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen, available phosphorus, and available potassium increased by 38%, 37%, 71%, 2%, 28%, respectively. Changes from farmland to forest and grassland not only changed land cover but also improved soil fertility and probably reduced soil nutrient losses.

Key words: land use changes; soil nutrients; Northern China

文章编号:1000-0933(2001)07-0926-06 中图分类号:S155,S158 文献标识码:A

土地利用是自然条件和人为活动的综合反映,它的变化可以引起许多自然和生态过程的变化,如土壤养分和水分的变化^[1~3],地表径流与侵蚀^[4],生物多样性和生物地球化学循环^[5~7]。土地利用变化可导致水土流失、土地沙漠化等土地退化现象,亦可以达到控制水土流失和沙漠化,提高土壤质量的目的^[8,9]。因此,研究土地利用变化的生态环境效应具有重要的理论意义和实用价值。本文以河北省遵化县为例,研究近20a来该县的土地利用变化与土壤养分变化的相互关系与作用机制,为退耕还林还草,合理利用土地提供科学依据。

1 研究区域特征

遵化县地处河北省唐山地区西北部的长城脚下,总面积为1521km²,由低山丘陵和山间冲积、洪积平原构成的盆地,境内四周被前震旦系和震旦系地层组成的燕山余脉所环绕,地势由东北向西南逐渐倾斜,中间是蓟运河水系的沙河、黎河冲积、洪积而成的大片平原,平原中部有一条东西走向,宽2~3km的狭长低山,形成“三山两川”的地形特征。全县低山丘陵面积占全县总面积的64.4%,海拔不足300m的则占90%;平原占总面积的35.6%,大部分海拔在80m以下。该县属于东部季风区暖温带半湿润区,大陆性气候显著,四季分明。土地利用类型有旱地、草地、林地、水田等。土壤类型主要为褐土和潮土。种植制度以冬小麦-夏玉米为主的两年三熟制。20世纪70、80年代,由于森林砍伐和陡坡开荒,遵化的东北低山地带、北部丘陵区以及东南山地区的耕地土层较薄,水土流失情况较为严重。比如位于北部丘陵区的大安口一带,陡坡开荒仅一年,在5m×5m的坡面上,发育有17条切沟,沟宽15~30cm,沟深10~20cm。90年代以来,由于土地利用变化以及小流域综合治理,水土流失得到一定控制,但是局部地区由于开矿破坏了植被,水土流失有加重现象。

2 材料与方法

应用MSS和TM遥感影像数据资料获得研究区域1980年和1999年的土地利用图。应用ILWIS地理信息系统进行土地利用变化分析。一是分析近20a来土地利用面积的变化,二是用转移矩阵法分析土地利用类型之间的转化。

研究区域1980年的土壤数据是遵化县全国第二次土壤普查的数据。土壤养分的野外采样点是在1980年遵化县全国第二次土壤普查的主剖面点位基础上,于1999年6~11月份在研究区域选取样点297个,其中旱地213个样点,林地65个,草地24个,水田5个。取0~20cm的表层土壤,测定有机质、全氮、碱解氮、速效钾和速效磷5种土壤养分要素。每一采样点周围选取3个点,以3点的平均值作为该样点的最终数据。

土样采集后,放入自制的约为20cm×15cm的土袋中。回到室内后,剔除土壤中植物根系及残体、石

块、昆虫尸体等杂物,选择通风良好的地点风干。已风干的土样磨细后,过 0.15~1mm 的细筛,用于土壤的化学分析。

速效钾和速效磷的测定称取 2g 小于 1mm 的土壤样品,用 3% 的 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 提取液取半小时,过滤后,过滤液用 ICP 等离子发射光谱仪测定。全氮的测定是称取 0.5g 左右过 100 目的土壤样品,加入 5ml 浓 H_2SO_4 ,消化定容到 50ml,吸收 20ml 消化液,加入 10ml 50% 的 NaOH 溶液,蒸出 NH_3 ,用 H_3BO_3 吸收后以 HCl 滴定计算全氮含量。碱解氮的测定是称取 2g 小于 1mm 的土壤样品,与 1.2g FeSO_4 和 Zn 粉混合均匀, (FeSO_4 :Zn 为 5:1),放入凯氏瓶,加入少量液体石蜡及 20ml 蒸馏水,蒸馏出 NH_3 ,用 H_3BO_3 吸收后以 HCl 滴定计算碱解氮含量。有机质的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法测定。具体作法是,称取 0.5g 左右过 100 目的土壤样品,加入少量 Ag_2SO_4 粉末,加入 10ml 1N 的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液和 20ml 浓 H_2SO_4 ,放置半天,使其充分氧化,用 1N FeSO_4 滴定过量的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$,计算有机质含量^[10]。1980 年土壤速效磷采用钼锑比色法,速效钾采用火焰光度法。全氮、碱解氮和有机质的测定方法与 1999 年相同^[11]。

3 结果与讨论

3.1 土地利用变化

1980 年到 1999 年遵化县土地利用面积和比例的变化见表 1。该县 1980~1999 年土地利用变化具有以下特点:(1)旱地、草地、水田面积大幅度减少,减少量在 40%~50%;(2)林地、村镇用地和水域在大幅度增加,增幅均在 60% 以上;(3)未利用土地已全部被利用,转换为旱地和林地等。

表 1 1980 年到 1999 年土地利用面积的变化

Table 1 Area changes of land use types from 1980 to 1999

土地利用类型	1980 面积	比例(%)	1999 面积	比例(%)
Land use types	Area(km ²)	Percent	Area(km ²)	Percent
旱地 Farmland	892.5	58.5	545.4	35.8
林地 Forest	226.8	14.8	650.2	42.7
草地 Grassland	312.9	21	175.5	11.5
水田 Paddy field	21.9	1.4	11.3	0.8
村镇用地	21.4	1.4	125.0	8.4
Residential land				
水域 Water	5.9	0.4	13.6	0.9
未利用土地	39.6	2.5	0	0
Unutilized land				

表 2 显示了 1980 年到 1999 年遵化县土地利用转移矩阵。研究结果不仅显示了土地利用面积的增减,更重要的是显示了土地利用变化的方向。由表 2 得出,近 20a 来,遵化县 28.9% 的旱地转换为林地,10.1% 转换为城镇居住用地,9.6% 转换为草地,反映出退耕还林还草取得一定成效。亦有 63.9% 的草地转换为林地,未利用土地的 59.3% 转换为草地,31.3% 转化为林地。土地利用变化的主要驱动因子是政策因素,1980 年以后,由于农户承包等土地利用政策的实施,和农田投入的增加及产量的提高,促进了退耕还林还草。

3.2 土壤养分变化

表 3 和表 4 是 1980 年和 1999 年各类土地利用类型土壤养分的描述性统计。在旱地、林地、草地和水田等各种土地利用类型中,速效磷的变异系数都高于速效钾、有机质、碱解氮和全氮,表明土壤速效磷含量在样点之间的差异最大;1980 年 4 种土地利用类型相比,林地 5 种养分要素的变异系数均高于旱地、草地和水田相应养分要素的变异系数^[12]。1999 年林地养分要素的变异系数也较高。这是由于林地包含了油松林、荆条、栗树和果园等多种类型,土壤养分差异较大。1999 年旱地速效钾和速效磷的变异系数都低于 1980 年,碱解氮基本上持平,这是由于近年来化肥的广泛施用减少了样点之间的养分差异。

表 5 是各类土地利用类型土壤养分的平均含量及其方差分析结果。在各类土地利用类型中,林地的土壤养分含量最高。比如 1980 年,林地速效钾、速效磷、有机质、碱解氮和全氮的含量分别为 106mg/kg、23.7mg/kg、1.38%、76.94mg/kg 和 0.0792%,均高于其它 3 种土地利用类型的养分含量;1999 年林地的速效钾、有机质、碱解氮和全氮含量也高于旱地、草地和水田,速效磷含量与旱地基本上相当;1980 年土壤有机质含量最低的是草地,为 1.05%;1999 年有机质含量最低的是旱地,为 1.38%。

1999 年同 1980 年相比,旱地的 5 种土壤养分含量均有显著增加($p < 0.0001$),速效钾、速效磷、碱解氮及全氮含量的增加主要与化肥用量的增加有关;有机质含量的增加主要与耕作措施的改变有关,20 世纪 70 年代末 80 年代初,耕作措施比较粗放;进入 20 世纪 90 年代以来,遵化县普遍推广了高留茬和秸秆还田等耕作措施,减少了土壤养分的流失;另外,“过腹还田”等一些适用技术也有利于有机质的积累。1999 年林

地同 1980 年相比,土壤速效钾和速效磷的变化很小,有机质有一定的增加,但不显著;碱解氮有较为明显的增加,全氮也有显著增加。土壤氮素的增加部分是随有机质的增加而增加,果园、板栗林的施肥也有一定的影响。1999 年草地的速效磷没有太大的变化,但其余 4 种养分要素比 1980 年都有显著增加,这些变化与土地利用的变化有关,1980 年到 1999 年大面积的草地转化成了林地,同时部分旱地转化成草地,即原来的草-旱结构转向林-草结构,而后者能够有效得减少养分的流失。水田土壤的碱解氮和有机质含量有所增加,而速效钾、速效磷和全氮略低于 1980 年的含量。

表 2 1980 年到 1999 年遵化县土地利用转移矩阵(转移百分比)

Table 2 Transition matrix of land use types from 1980 to 1999(transition probabilities in percent)

土地利用类型 Land use types 1980	1999						1980 (km ²)	1999 (km ²)
	旱地 Farmland	林地 Forest	草地 Grassland	水田 Paddy field	村镇 Residential land	水域 Water		
旱地 Farmland	50.1	28.9	9.6	0.7	10.1	0.6	892.5	545.4
林地 Forest	8.4	78.8	10.9	—	1.1	0.8	226.8	650.2
草地 Grassland	12.6	63.9	20.2	—	2.3	1	312.9	175.5
水田 Paddy field	66.6	0.6	—	18.1	14.7	—	21.9	11.3
村镇 Residential land	8.5	0.2	—	—	91.3	—	21.4	125.0
水域 Water	15.7	34.3	2.8	—	0.4	46.8	5.9	13.6
未利用土地 Unutilized land	59.3	31.3	1.9	0.9	6.6	—	39.6	—

表 3 1980 年各类土地利用类型土壤养分的描述性统计

Table 3 Descriptive statistics of soil nutrients in land use types in 1980

土地利用 Land use types	土壤养分要素* Soil nutrients	样本数 Sample number	最小值 Min.	最大值 Max.	中数 Median	标准差 Standard deviation	平均值 Mean	变异系数 Coefficient of variance
旱地 Farmland	有机质 OM(%)	79	0.53	2.20	1.17	0.28	1.17	23.5%
	全氮 TN(%)	78	0.0340	0.1340	0.0690	0.0155	0.0699	22.2%
	碱解氮 AN(mg/kg)	78	37.00	118.00	66.00	15.02	67.32	22.3%
	速效磷 AP(mg/kg)	79	1.2	70.1	15.1	12.5	18.2	68.6%
	速效钾 AK(mg/kg)	79	10.7	150.6	66.4	26.2	72.8	36.0%
林地 Forest	有机质 OM(%)	72	0.80	5.73	1.27	0.63	1.38	45.9%
	全氮 TN(%)	71	0.0350	0.1980	0.0750	0.0	0.0790	32.9%
	碱解氮 AN(mg/kg)	71	24.00	180.00	68.00	30.7	76.94	39.9%
	速效磷 AP(mg/kg)	72	4.6	96.0	20.1	14.7	23.7	62.0%
	速效钾 AK(mg/kg)	71	23.6	255.9	89.1	56.1	106.0	52.9%
草地 Grassland	有机质 OM(%)	19	0.70	1.30	1.08	0.15	1.05	14.3%
	全氮 TN(%)	20	0.0450	0.0870	0.0670	0.0120	0.0680	17.6%
	碱解氮 AN(mg/kg)	20	36.00	87.00	60.00	14.66	57.55	25.5%
	速效磷 AP(mg/kg)	19	2.5	57.8	18.3	13.7	20.9	65.6%
	速效钾 AK(mg/kg)	19	40.7	188.9	75.3	35.2	79.2	44.4%
水田 Paddy field	有机质 OM(%)	16	0.80	2.70	1.25	0.41	1.31	31.0%
	全氮 TN(%)	16	0.0530	0.0930	0.0730	0.0098	0.0747	13.1%
	碱解氮 AN(mg/kg)	16	40.0	111.0	67.5	16.1	68.3	23.6%
	速效磷 AP(mg/kg)	16	9.6	55.9	22.5	11.4	23.3	48.9%
	速效钾 AK(mg/kg)	16	59.0	123.5	83.4	18.0	86.7	20.8%

* OM = Organic matter, TN = Total nitrogen, AN = Available nitrogen, AP = Available phosphorus, AK = Available potassium, 下同 The same below

3.3 土地利用变化与土壤养分变化

除 1999 年比 1980 年土壤养分的含量普遍增加外,土地利用的变化,尤其是退耕还林还草引起了土壤

表 4 1999 年各类土地利用类型土壤养分的描述性统计
Table 4 Descriptive statistics of soil nutrients in land use types in 1999

土地利用 Land use types	土壤养分要素 Soil nutrients	样本数 Sample number	最小值 Min.	最大值 Max.	中数 Median	标准差 Standard deviation	平均值 Mean	变异系数 Coefficient of variance
旱地 Farmland	有机质 OM(%)	83	0.18	2.22	1.38	0.31	1.38	22.5%
	全氮 TN(%)	81	0.0400	0.1400	0.0810	0.0224	0.0874	25.6%
	碱解氮 AN(mg/kg)	73	21.20	187.50	93.0	23.14	94.92	24.4%
	速效磷 AP(mg/kg)	83	2.5	77.2	22.9	13.7	26.2	52.2%
	速效钾 AK(mg/kg)	83	19.5	173.5	83.2	27.6	88.8	31.1%
林地 Forest	有机质 OM(%)	65	0.79	5.71	1.39	0.91	1.63	56.0%
	全氮 TN(%)	63	0.0600	0.1900	0.0870	0.0210	0.0890	23.6%
	碱解氮 AN(mg/kg)	63	39.60	263.70	105.00	45.30	113.46	39.9%
	速效磷 AP(mg/kg)	65	5.1	99.2	24.1	15.6	26.0	60.6%
	速效钾 AK(mg/kg)	65	53.0	245.2	104.5	40.1	111.4	36.0%
草地 Grassland	有机质 OM(%)	24	0.91	2.35	1.41	0.31	1.46	21.4%
	全氮 TN(%)	24	0.0600	0.1337	0.0870	0.0183	0.0890	20.6%
	碱解氮 AN(mg/kg)	24	51.60	201.30	98.00	36.33	102.24	35.5%
	速效磷 AP(mg/kg)	24	8.6	56.1	23.5	10.1	23.9	42.5%
	速效钾 AK(mg/kg)	24	49.0	207.8	96.3	37.0	106.9	34.6%
水田 Paddy field	有机质 OM(%)	5	0.72	1.96	1.59	0.48	1.47	32.4%
	全氮 TN(%)	5	0.0110	0.1130	0.0590	0.0430	0.0690	62.3%
	碱解氮 AN(mg/kg)	5	81.0	109.6	97.0	12.1	95.6	12.6%
	速效磷 AP(mg/kg)	5	11.5	42.3	12.6	13.2	19.6	67.4%
	速效钾 AK(mg/kg)	5	60.3	112.8	68.7	20.8	78.7	26.4%

表 5 各类土地利用类型土壤养分的方差分析
Table 5 Means of soil nutrients in land use types between 1980 and 1999

土地利用 Land use types	养分要素 Soil nutrients	1980	1999	F
旱地 Farm land	有机质 OM(%)	1.17	1.38	20.1 ^c
	全氮 TN(%)	0.0699	0.0874	32.7 ^c
	碱解氮 AN(mg/kg)	67.3	94.9	76.5 ^c
	速效磷 AP(mg/kg)	18.2	26.2	15.2 ^c
	速效钾 AK(mg/kg)	72.8	88.8	14.4 ^c
林地 Forest	有机质 OM(%)	1.38	1.63	3.47
	全氮 TN(%)	0.0792	0.0894	6.27 ^a
	碱解氮 AN(mg/kg)	76.94	113.46	30.41 ^c
	速效磷 AP(mg/kg)	23.7	26	0.82
	速效钾 AK(mg/kg)	106	111.4	0.42
草地 Grass- land	有机质 OM(%)	1.05	1.46	27.5 ^c
	全氮 TN(%)	0.0680	0.0895	20.6 ^c
	碱解氮 AN(mg/kg)	57.55	102.24	26.5 ^c
	速效磷 AP(mg/kg)	20.9	23.9	0.71
	速效钾 AK(mg/kg)	79.2	106.9	6.21 ^a
水田 Paddy field	有机质 OM(%)	1.3	1.47	0.53
	全氮 TN(%)	0.0747	0.0685	0.31
	碱解氮 AN(mg/kg)	68.25	95.64	12.11 ^b
	速效磷 AP(mg/kg)	23.2	19.6	0.32
	速效钾 AK(mg/kg)	86.7	78.7	0.72

a 显著性水平为 5% Significant at 5%; b 显著性水平为 5%
Significant at 1%; c 显著性水平为 0.1% Significant at 0.1%

养分的变化。表 6 显示了旱地转化为林地和草地以及草地转化为林地土壤养分的变化情况。1980 年到 1999 年,研究区域内有 35 个旱地采样点转换为林地, 21 个旱地采样点土地利用转换为草地, 14 个草地的采样点转换为林地。林地转换为旱地和草地的面积小, 样点少, 不具有统计意义。

由表 6 可知,旱地转换为林地,土壤有机质提高了 21%,全氮提高了 18%,碱解氮提高了 65%,速效磷提高了 17%,速效钾提高了 17%。旱地转换为草地,土壤有机质提高 38%,全氮提高了 37%,碱解氮提高了 71%,速效磷提高了 2%,速效钾提高了 28%。研究表明,退耕还林还草,不仅改变了土地覆被,防治水土流失和土地沙化,而且提高了土壤养分,特别是土壤有机质的增加,改善了土壤结构,更有效地控制了水土流失和沙漠化等土地退化现象。

4 结论

近 20a 来,遵化县的土地利用发生了较大的变化。旱地、草地、水田面积大幅度减少,林地和村镇用地大幅度增加。大面积的旱地转化为林地和草地,这种土地利用变化不同程度地提高了土壤养分。根据旱地转化为林地和草地的面积比,以及土壤各种养分提高的比例,可估算出退耕还林还草,使全县土壤有机质增加了 9%,全氮增加了 8%,碱解氮增加了 25%,速效磷增加了 10%,速效钾增加了 7%。退耕还林还

草不仅改变了土地覆被,而且提高了土壤养分。

表 6 1980 年与 1999 年相比点位养分的转换情况

Table 6 Soil nutrient changes from 1980 to 1999 in sample sites

1980~1999	有机质 OM(%)	全氮 TN(%)	速效氮 AN(mg/kg)	速效磷 AP(mg/kg)	速效钾 AK(mg/kg)	点位数 Sample size
旱地-林地 Farmland-orest	1.15~1.39	0.076~0.090	72.8~120.2	21.7~25.4	98.8~115.8	35
旱地-草地 Farmland-Grassland	1.05~1.45	0.067~0.092	60.1~102.8	24.4~24.9	86.4~110.8	21
草地-林地 Grassland-Forest	1.06~2.28	0.07~0.091	58.3~123.3	20.7~26.5	78.2~106.4	14

参考文献

- [1] Fu B J, Ma K M, Zhou H F, et al. The effect of land use structure on the distribution of soil nutrients in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(8): 732~736.
- [2] FU B J, Chen L D, Ma K M, et al. The relationship between land use and soil conditions in the hilly area of loess plateau in northern Shaanxi, China. *Catena*, 2000, 39: 69~78.
- [3] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响. *地理学报*, 1999, 54(3): 241~246.
- [4] Burel F, Baudry J, Lefeuvre J C. Landscape structure and the control of water runoff. In: Bunce R G H, Ryszkowski L, Paoletti M G. eds. *Landscape Ecology and Agroecosystems*. Boca Raton, FL: Lewis, Lewis, 1993. 41~47.
- [5] Freemark K E, Merriam H G. Importance of area and habitat heterogeneity to bird assemblages in temperate forest fragments. *Biological Conservation*, 1986, 36: 115~141.
- [6] 陈利顶, 傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义. *生态学报*, 2000, 20(4): 581~586.
- [7] Correll D L, Jordan T E, Weller D E. Nutrient flux in a landscape: Effects of coastal land use and terrestrial community mosaic on nutrient transport to coastal waters. *Estuaries*, 1992, 15: 431~442.
- [8] Fu B J, Gulinck H, Masum M Z. Loess erosion in relation to land-use changes in the Ganspoel catchment, central Belgium. *Land Degradation & Rehabilitation*, 1994, 5: 261~270.
- [9] Islam K R, Weil R R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2000, 79: 9~16.
- [10] 刘光菴主编. 土壤理化分析与剖面描述. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [11] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查数据. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [12] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 557~563.