

干旱区土地利用方式对沙漠化土地恢复能力的评价

王葆芳¹, 贾宝全¹, 杨晓晖¹, 刘星晨¹, 王君厚²

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714)

摘要: 研究表明: 土地利用方式和人为生产经营活动方式及干扰程度对荒漠化土地的恢复和重建有很大影响, 草田轮作地的土壤有机质(5.908g/kg)和全 P(1.095g/kg)含量最高, 分别是荒漠地和果树地的 10.2、6.1 倍和 1.6、1.4 倍, 全 N 量以牧草地最高, 分别是其它地类的 2.7~1.6 倍, 林地有机质含量仅次于草田轮作地和农地, 荒漠地土壤营养元素最低。果树地和林地的微生物以细菌为主, 分别占微生物总量的 58.0% 和 48.1%, 牧草地以固氮菌为绝对优势, 占微生物总量的 51.1%, 农地的放线菌多于牧草地、林地、果树地和荒漠地, 荒漠地土壤微生物数量最低。农地对土壤的细化作用大于牧草地和林地。开发区经过 15a 治理后, 植物多样性指数和均匀度分别由 0.981 和 0.319 提高到 1.825 和 0.483, 优势度由 0.708 降到 0.552。

关键词: 干旱区; 荒漠化土地; 恢复能力评价

Effects of Land-use Types on Restoration of Desertified Land in Arid Zone of China

WANG Bao-Fang¹, JIA Bao-Quan¹, YANG Xiao-Hui¹, LIU Xing-Chen¹, WANG Jun-Hou²

(1. Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2030~2035.

Abstract: Land degradation of dryland ecosystems has become one of the most severe constrains to the sustainable development in northwestern China. This study was carried out in the Ulanbuhe desert in western Inner Mongolia during periods of 1994~1998, in order to reveal the mutual relationships between the production systems and restoration of soil fertility on agriculture development area.

Soil physical and chemical characteristics were measured for various land-use types in the agriculture development area, including woodland, cropland, fruit orchard, grassland, grass and crops rotation land, and desert. The soil characteristics measured include soil texture and soil nutritive elements, that is, soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, total potassium, and available potassium. Soil samples were made by random sampling method for each land-use type, with three duplications. Soil samples were analyzed according to the China's national standards.

Soil microorganisms were accounted for each land-use type, by using the random sampling method and five duplications. Microorganism accounting was carried out according to the China's national standard. Identification of bacteria was made by the Institute of Microorganism, Chinese Academy of Sciences.

Investigation of vegetation community was carried out on the desert, shelterbelts, and various abandoned farmlands with different years, respectively. Investigation plot size is 5 × 5 m, with 8 duplications for each land type. The abundance (*R*) is indicated by the number of species in the plant community. Important value = relative abundance + relative coverage + relative frequency.

The species-diversity index (*D*) is calculated by: $D = 3.3219(\log N - 1) = \sum_{i=1}^s n_i \log n_i$

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070601); “九五”国家科技攻关资助项目(96-017-01-05)

收稿日期: 2002-04-10

作者简介: 王葆芳(1950~), 男, 黑龙江人, 副研究员。主要从事防治荒漠化研究。E-mail: wang BF@jif. forestry. ac. cn

The community evenness (J) is calculated by: $J = [N(N/S - 1)] / \sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1)$

The Simpson ecological dominance (C) is calculated by: $C = \sum_{i=1}^s \{ [n_i(n_i - 1) / N(N - 1)] \}$

Where, N is total number of individuals of all species, n_i is the number of individuals of i -th species, s is the number of species.

The results showed that the human disturbances such as land-use type and its production system exert significant influence on land desertification and its restoration, and there are significant differences in soil fertility for different land-use types.

In the grass-crop rotation land, the soil organic matter is 5.908 g/kg and total phosphorus is 1.095 g/kg, which are the highest among the investigated land-use types, they are 10.2 times and 6.1 times as that of desert land respectively, and 1.6 times and 1.4 times of that of fruit orchard respectively. Total nitrogen in grassland is 2.7~1.6 times of that of other land-use types, which is the highest among them. The organic mater in the woodland is 8.89 times as desert land, which is just lower than that in the cropland and the grass-crop rotation land.

In fruit orchard and woodland the dominant soil microorganisms are bacteria, which occupy 58% and 48.1% the total microorganisms respectively. In grassland, the dominant ones are nitrogen-fixing bacteria, which account to 51.1% of total soil microorganisms. The number of ray fungi in cropland is more than that in grassland, woodland, fruit orchard land, and desert land.

The nutritive elements and microorganisms in desert are lowest among all the land-use types. The anti-wind-erosion ability of grassland is stronger than that of woodland. The capability of cropland to fine soil is more powerful than that of grassland and woodland.

At the initial stage of developing and using desert land, the species diversity index, community evenness and dominance of plant communities are 0.981, 0.319 and 0.708 respectively. But after 15 year of the development of desert land, the species diversity index and evenness index increase to 1.825 and 0.483 respectively, while dominance index decreases to 0.552.

Those results reconfirmed that the human misuse and irrational production activities are the key factors accelerating land degradation.

Key words: arid zone; sand desertification; land restoration

文章编号: 1000-0933(2002)12-2030-06 中图分类号: S153, S155, S158 文献标识码: A

土地荒漠化可逆性问题是人们关注的热点问题之一^[1]。研究表明,过牧导致的沙漠化占 30.1%,过度农垦占 26.9%,水资源利用不当占 9.6%^[2]。土地利用变化可导致土地沙漠化等土地退化现象,亦可达到控制沙漠化,提高土壤质量的目的^[3,4]。据报道^[5],我国到 21 世纪初,人均耕地下降至 0.1hm²。因此,退化土地的恢复与重建技术,已成为当前急待研究的课题。为了揭示人为活动与改变荒漠景观,恢复土地生产系统能力,以中国林科院沙漠林业实验中心为基点开展本研究,旨在探索荒漠沙地土地恢复和重建人工绿洲的可行性和有效性,研究人类生产经营活动和土地资源利用方式对荒漠化土地恢复的影响和调控机理。

1 试区概况

试区地处乌兰布和沙漠东北缘,位于 106°46'E,40°28'N,属荒漠与干草原的过渡地带。气候特征为:年平均气温 6.8~7.6℃,年降水量 105~144.6mm,年蒸发量 2110.8~2966mm,≥8 级大风日数 7.9~28.3d,全年 40%的扬尘日数和大风日数及 60%的沙尘暴日数集中于春季。

试区东临黄河,位于内蒙古河套平原的西南。原始荒漠区下伏地面为古河床冲积平原,地貌呈现流动沙丘,垄状半固定沙丘,灌丛沙堆,粘质土平地和风蚀洼地相间分布的特征。沙丘高一般为 1~3m,个别高达 5m 以上。

土壤为发育在冲击-湖积型成土母质及风积型母质上的漠钙土,分为松沙质漠钙土、沙壤质漠钙土及粘沙壤典型漠钙土 3 种类型。表层土以沙为主,中下层土壤以粘土和漠钙土相间分布。地下水埋深 5m 左右。

植被以荒漠植被占主导地位,以旱生及超旱生沙生灌木或半灌木为主。约有植物 176 种,分属 36 科。主要优势种有白茨(*Nitrariatangutorum bobr.*)、霸王(*Zygophyllumxanthoxylon maxim*)、油蒿(*Artemisia ordosica krasch.*)、沙竹(*Psamochloa villosa*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla* var. *gracilis*)等。

开发区由 1979 年开始建设,开发前为固定、半固定沙丘相间分布的风沙地貌,经治理,现已形成完整的以林为主的农业开发区,截止 1998 年已开发治理荒漠沙地 5500hm²。

2 研究方法

1994~1998 年,每年 8 月份,对新开发区各土地利用类型,按随机抽样布点,分别选取 3~5 块样地,各剖面分 3 层取土样(0~25cm、25~60cm、60~120cm),制成混合土样,剔除植物根系及石砾等杂物,风干后,测定有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、速效 P、速效 K 和土壤机械组成,以 3 个样地的平均值作为该土地类型的年度测定值,再取 5a 的算术平均值作为最终数据。有机质采用丘林法测定,全氮用凯氏法,碱解氮用碱解扩散法,全磷用硫酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法,速效磷用 0.5mol/L 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,全钾用酸溶-火焰光度计法,速效钾用醋酸铵浸提-火焰光度计法,土壤机械组成用比重计法。

1996~1998 年,每年 5、8、10 月份,对各土地利用类型,按随机抽样布点,分别选取 5 块样地,调查土壤微生物,各剖面分 3 层取样(2~10mm、10~30mm、30~100mm),然后混合制样,测定微生物,分别计算各样地的 3 个月的平均值,然后计算 5 块样地的平均值作为最终数据。微生物计数采取平板法、稀释法和土粒法。菌种由中国科学院微生物研究所鉴定。

植物群落调查对象为未受人为干扰的荒漠区、农田林网区和不同年限的弃耕地,调查时间为 7~9 月份,每月 1 次,样方面积为 5m×5m,各地类样方重复 8 次,共调查样方 143 个。

①群落物种丰富度及种群重要值 丰富度(*R*)用群落种数表示;重要值=相对多度+相对盖度+相对频度。

②物种多样性指数:

$$D = 3.3219(\log N - 1) = \sum_{i=1}^s n_i \log n_i \tag{1}$$

式中,*N* 是所有种的个数,*n_i* 是第 *i* 个种的个数,*s* 是种数。

③均匀度 均匀度指样方中各植物种多度的均匀程度,即观察多样性与最高多样性的比率:

$$J = [N(N/S - 1)] / \sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1) \tag{2}$$

式中,*N* 是所有种的个数,*n_i* 是第 *i* 个种的个数,*s* 是种数。

④生态优势度 以表示群落的组成结构特征:

$$C = \sum_{i=1}^s \{[n_i(n_i - 1) / N(N - 1)]\} \tag{3}$$

式中,*N* 是所有种的个数,*n_i* 是第 *i* 个种的个数,*s* 是种数。

3 结果与分析

3.1 土地利用类型对恢复土壤肥力的影响

据研究,土地利用方式可引起自然和生态过程变化及土壤养分变化^[6]。因此,土地开发利用方式对提高和恢复沙漠化土地肥力具有重要的作用。

由图 1 看出:①按内蒙古河套地区农田肥力标准划分^[7],各土地利用类型的土壤有机质和全 N 量都处于低产田下限值(5g/kg)左右,除荒漠地外其它土地利用类型的全 P 和全 K 量均高于中产田的上限值(0.7~0.8g/kg 和 20g/kg)。各土地利用类型的土壤营养元素含量排序均为全 K>有机质>全 P>全 N。各土地利用类型的全 K 量占营养元素总量的 78.29%~87.29%,有机质、全 P 和全 N 量分别占 8.16%~17.41%、2.55%~3.23%、0.79%~2.21%。上述数据表明了该地区土壤富含 K 素,N 素极低,P 素不足的特点。②荒漠沙地土壤有机质、全 N、全 P、全 K 含量分别比其它地类低 5.0~22.3、1.5~4.2、4.5~6.1、3.7~4.3 倍。这说明在一定的环境条件下,荒漠化土地在人类合理的干预下是可以逆转的。但是由于土地利

用方式和投入经营水平的不同,以及不同作物对土壤养分的消耗的差异,使得对土地养分的补给(地植物、枝叶、肥料、水分等)和调节作用也会存在一定差异^[8,9]。草地轮作地的有机质、全 P 和全 K 含量最高,农田因为每年施用肥料,因而也保持了相对较高的水平,全 N 量以牧草地最高,分别是其它地类的 2.7~1.6 倍(荒漠沙地除外),在不施肥的条件下仍能保持相对较高的全 N 量,这是种植固氮植物(苜蓿、草木樨)培肥的结果。林地的有机质含量仅次于草田轮作地和农地,是荒漠地的 8.89 倍。林地土壤有机质、N 素的提高主要受林分

凋落物及部分枯枝残根的腐解矿化影响。③各地类土壤速效营养元素的排序均为速效 K>碱解 N>速效 P。林地的各项元素相对高于农土和果树地,林地的速效 P 和 K 分别比农地提高了 42.3%和 21.8%,较果树地提高 50.8%和 30.7%。这与农地和果树地长年单施氮肥有关。据研究^[10],长年单施 N 肥,可使土壤全 N 保持平衡,但有效 P、K 显著降低。值得说明的是,草田轮作地、牧草地、荒漠地的碱解 N 和速效 P 均显著低于林地、农地、果树地,而草田轮作地的这两项元素又高于牧草地和荒漠地,这是经营水平和干扰活动强度的差异所致。林地管理措施虽然和牧草地相同(灌水),但由于乔木具有庞大的根系,无疑增强了对土壤矿化物的分解转化作用。

3.2 土地利用类型对土壤微生物的影响

在土壤质量的演变过程中,土壤微生物参与土壤的碳、氮、磷等元素的循环过程和土壤矿物的矿化过程^[11]。微生物种群数量的消长,一般能反映土壤肥力的变化。由表 1 看出,各土地利用类型的微生物总量排序为林地>果树地>牧草地>农地>荒漠地。各地类的细菌和固氮菌数量远远超过放线菌和真菌,最高达 23.3 倍,最低为 1.7 倍。果树地和林地的微生物以细菌占绝对优势,分别占微生物总量的 58.0%和 48.1%,固氮量分别占 33.7%和 32.3%,两者合计分别为 91.7%和 80.4%。农地的细菌和固氮菌占绝对优势,分别占微生物总量的 51.1%和 74.9%,细菌分别占 30.3%和 14.7%。各菌种数量按地类排序分别是:细菌为果树地>林地>农地>牧草地>荒漠地;放线菌为农地>牧草地>林地>果树地>荒漠地;真菌为林地>牧草地>果树地>农地>荒漠地;固氮菌为牧草地>林地>果树地>农地>荒漠地。细菌的数量以果树地和林地最高,为农地和牧草地的 1.63~1.99 倍;相反,农地和牧草地的放线菌数量比果树地和林地高,尤其是农地较果树地和林地增加了 3.3 和 2.1 倍;在真菌分布上,林地和牧草地接近,果树地和农地近于等量,前两者是后两者的 5.2 和 3.4 倍;而荒漠地未见真菌;固氮菌以牧草地最高,分别是林地、果树地、农地、荒漠地的 1.4、1.5、1.5、3.2 倍。许多研究表明^[10~16],通过施肥或种植固氮植物,可提高土壤 N 素水平,增加土壤微生物的繁衍和活性。微生物是供给植物营养元素的活性库。

上述情况表明,土地利用方式和集约经营程度(施肥、土地管理等)及作物对土壤环境的调节作用,是增加土壤微生物,提高土壤肥力,防止土地退化的重要手段。

3.3 土地利用类型对土壤质地的影响

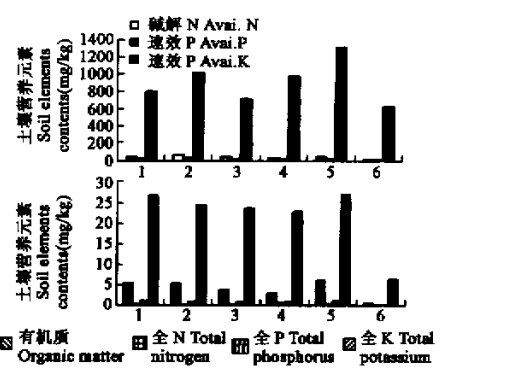


图 1 不同土地利用类型的土壤肥力结构
Fig. 1 The soil fertility structure of different landuse type
1. 农田 cropland 2. 林业 woodland 3. 果树地 orchard
4. 牧草地 grassland 5. 农田 grass and crops rotation
6. 荒漠地 bare desert

表 1 不同土地利用类型土壤微生物的结构($\times 10^3/g$)
Table 1 Soil microorganisms structure of in different landuse type

菌种	林地	果树地	农地	牧草地	荒漠地
Bacterial spawn	Woodland	Orchard	Cropland	Grassland	Bare desert
细菌①	78.2	83.9	48.1	42.2	4.4
放线菌②	13.2	8.5	27.7	13.5	3.3
真菌③	18.6	3.6	3.5	11.8	0.0
固氮菌④	52.6	48.7	47.2	71.7	22.4
总菌数⑤	162.6	144.7	126.5	139.2	29.9

①Bacteria ②Actinomyces ③Fumgus ④Azotobacter
⑤Total

沙漠化是通过土壤风蚀、风沙流、流沙堆积和粉尘吹扬等一系列风沙活动实现的,受此影响,土壤会发生质地粗化,土壤肥力降低,生产力下降等一系列变化。在现代沙漠化过程中,人为因素是加速这一过程的主要驱动力。但是,在人类对土地资源合理开发利用下,这种过程会发生逆转,磴口沙漠林业中心实验基地开发建设的实践就是最好的例证。由表 2 看出,未加改造利用的荒漠地土壤质地粗化作用明显高于其它土地利用类型,荒漠地

表 2 不同土地利用类型的土壤机械组成
Table 2 The soil texture of land utilization types in diferent

土地利用类型 Landuse types	各级土壤粒级含量(%,粒径:mm) Conter of every soil fractions (%,Pllet diamerer:mm)		
	2.0~0.05	0.05~0.002	<0.002
	砂粒 Sand	粉砂 Silt	粘粒 Clay
农地 Cropland	47.62	35.60	16.78
牧草地 Grassland	69.41	18.83	11.76
林地 Woodland	78.22	15.07	6.71
荒漠地 Bare desert	93.54	3.60	2.86

的砂粒含量高达 93.54%,分别是农地、牧草地和林地的 1.96、1.35 和 1.25 倍,而物理粘粒仅有 2.86%,然而被开发利用的各土地利用类型的物理粘粒均有大幅度提高,农地、牧草地和林地的物理粘粒分别是荒漠地的 5.9、4.1 和 2.4 倍;由于农地的抚育管理水平高于牧草地和林地,土壤细化作用明显,其粉沙含量分别是牧草地和林地的 1.9 和 2.4 倍,相反,砂粒含量比牧草地和林地降低了 31.39%和 39.12%;牧草地和林地因作物不同和栽植密度不同,它们的防风蚀效果也不同,牧草地由于栽植密度较大,覆盖度高于林地,其防风蚀作用大于林地,使牧草地的砂粒含量较林地降低了 11.26%。有研究表明^[17],在人为因素的干扰下,耕作土壤在经过 17a 的合理耕作后,与原生土壤比较,土壤质地变化不显著,并且土壤中的营养元素都高于原生土壤,土地并未出现退化现象。这说明只要长期坚持对土地资源的合理保护和开发利用,是可以延缓或遏制沙漠化土地的扩展和发生。

3.4 土地利用类型对植物群落演替和物种多样性的影响

从表 3 可看出,农田防护林体系建设初期,籽蒿+沙竹群丛多样性指数为 0.981,均匀度为 0.319,而优势度高达 0.708。经过 15a 的重建恢复过程,籽蒿、沙竹逐渐衰亡,现已为油蒿群丛所代替。多样性指数、均匀度明显增高,优势度减小。同样,白刺-油蒿群从逐步过渡到白刺+油蒿群丛。而荒漠区的白刺-油蒿群丛,其植物组成、多样性等性状无显著变化。另外,受人为不良耕作制度的影响,耕地因土壤贫瘠而被迫弃耕。弃耕地随弃耕年限增长土壤性状趋于恶化,弃耕贫瘠地肥力越来越低。此时,弃耕地的植物变化进入次生演替阶段。从群落水平特征来看,弃耕地多样性指数、均匀度在弃耕初期随弃耕年限增加降低较大(表 4),在 10a 以后趋于稳定,从生态环境角度看,干旱环境条件下(停止灌溉)的弃耕地植被演替,随着时间的推移,以旱生的植物种代替了中生及湿生的植物种。从时空分布来看,弃耕地在初期是以一年生杂草为优势种,到了中后期,植被向旱生方向演替。

表 3 农田林网区与荒漠区群落演替与多样性

Table 3 The community succession and diversity of shelterbelt network and desert region						
地类 Land types	时间 Years	群丛名称 Plant associations	丰富度 R Abundance	物种多样性指数 D Diversity	均匀度 J Evenness	生态优势度 C Dominance
农田林网 Shelterbelt network	1979	籽蒿 ^① +沙竹 ^②	4	0.981	0.319	0.708
	1994	油蒿 ^③	12	1.825	0.483	0.552
	1979	白刺 ^④ -油蒿	9	2.096	0.337	0.464
	1994	白刺+油蒿	16	2.587	0.432	0.219
荒漠区 Desert region	1979	白刺-油蒿	11	2.218	0.473	0.516
	1994	白刺-油蒿	12	2.193	0.481	0.503

①Artemisia sphaerocephala ②Psamochloa villosa ③Artemisia ordosica ④Nitraria sibirica

表 4 弃耕地不同时期的多样性指数、均匀度和优势度值

Table 4 The diversity and evennes and dominance in different abandoned periods					
弃耕年限(a) Abandonment period	丰富度 R Abundance	多样性指数 D Diversity	均匀度 J Evenness	优势度 C Dominance	总盖度(%) Total cover
1	24	2.911	0.345	0.237	85
4	13	1.932	0.299	0.478	34
10	7	1.195	0.238	0.533	23
17	8	1.143	0.238	0.650	21

4 结论

该地区土壤具有富含 K 素、P 素不足、N 素极低的特点;草田轮作可以有效的提高土壤有机质含量,种植牧草可以大幅度提高土壤全 N 量,在经济条件较差和非宜农荒地上,可通过种草种树来改善和恢复荒漠化土地的生态环境和土壤环境。

土壤微生物与土壤肥力有密切关系。通过对土地资源的开发利用,可以大大增加土壤的细菌和固氮菌数量。林地和果树地以细菌为主,牧草地以固氮菌为绝对优势,农地的放线菌>牧草地>林地>果树地>荒漠地。在被开发利用的土地利用类型中,真菌数量最低,荒漠地未发现真菌。

土壤质地粗化是沙漠化过程的重要标志,遏制土壤粗化的重要措施是防止风蚀和精耕细作的土地管理。农耕地对土壤的细化作用明显大于牧草地和林地。

新开发区建设初期,植物群落的主要类型为籽蒿+沙竹,多样性指数仅为 0.981、均匀度 0.319、优势度 0.708。15a 后,随环境改善籽蒿、沙竹逐渐衰亡被油蒿所替代,多样性指数、均匀度分别提高到 1.825、0.483,优势度降到 0.552。弃耕地植物多样性指数和均匀度随弃耕年限增加而降低,最终以旱生植物种替代了中生及湿生植物种。

参考文献

- [1] Zhao Q G(赵其国). The general situation and its development trend of the international Research on the soil and environment issue. *Soil(in Chinese)(土壤)*,1998,(6): 281~290.
- [2] Yang C F(杨朝飞). Land degradation and its control strategies in China. *China Environmental Science(in Chinese)(中国环境科学)*, 1997,17(2):108~112.
- [3] Fu B J, Gulinc 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.
- [4] 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.
- [5] Zhao Q G(赵其国), et al. The carry forward the cause and forge ahead into the future, Meet 21 century's challenge on the soil science. *Soil(in Chinese)(土壤)*, 1999(5):225~230.
- [6] 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 Shanxi, China. *Catena*,2000,39:69~78.
- [7] Fan R C(樊润成), et al. The present and improvement of medium and low-yield land on the irrigated area in the Great of Yellow River in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Soil Science(in Chinese)(土壤通报)*,1996,27(1):23~25.
- [8] Fu B J(傅伯杰), Guo X D(郭旭乐), Chen L D(陈利顶), et al. Land use changes and soil nutrient changes : a case study in Zun hua County, Hebei Province, China. *Acta Ecologica Sinica(in Chinese)(生态学报)*,2001,21(6):926~931.
- [9] Covi M, Francioso O, Ciavatta C, et al. Influence of long-term residue and fertilizer application on soil humic substances: A study dy electrofocusing. *Soil Science(in Chinese)(土壤科学)*,1992,154(1):8~13.
- [10] Qiu J H(邱进怀), Bao X G(包兴国), Liu S Z(刘生战), et al. Study on the soil fertilization and its control measures in Hexi corridor, Gansu. *Chinese Journal of Soil Science(in Chinese)(土壤通报)*, 1998,29(1):1~3.
- [11] Powlson D S, Brookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 1987,19:159~164.
- [12] Liu S P(刘寿坡), Zhang Y(张英), Zhu Z X(朱占学), et al. Study on influences of fertilization on dynamics of soil nutrient elements in poplar plantation. In: *Research on Site Degradation of Timber Plantation(in Chinese)*. Beijing: Chinese Science and Technology Publishing House, 1992,303~311.
- [13] Shen G F(沈国舫), Jia L M(贾黎明), Zhai M P(翟明普). The soil amelioration effect of poplar-black locust mixed plantation on sand soil and the interaction of mutual supplement of nutrient between tree species. *Scientia Silvae Sinica(in Chinese)(林业科学)*,1998,34(5): 12~19.
- [14] Han X R(韩晓日), Guo P C(郭鹏程), Chen E F(陈恩凤), et al. Immobilization of fertilizer nitrogen by soil microbes and soil and its changes. *Acta Pedologica Sinica(in Chinese)(土壤学报)*,1998,35(3):412~418.
- [15] Singh J S, et al. Microbial biomass acts as a source of Plant nutrients in dry tropical forest and savanna nature. *London*, 1989,338:499~500.
- [16] Shen S M, et al. Mineralization and immobilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass N. *Soil Biol. Biochem.*, 1984,16:437~444.
- [17] Shen 万方数据, Dong G R(董光荣), Li C Z(李长治), et al. Pelations between desertification and soil composition. *Journal of Desert Research(in Chinese)(中国沙漠)*,1992,12(1):40~48.