干旱区土地利用和土壤改良及植被恢复方式对沙地养分的恢复效应

张 瑞,张景波,曹良图
(中国林业科学研究院 沙漠林业实验中心,内蒙古 磴口 015200)

摘　要:为研究干旱区土地利用、土壤改良和植被恢复方式对沙地养分的恢复效果,在乌兰布和沙漠东北缘开展试验研究。研究表明,土地利用方式和人为合理的经营活动对沙漠化土地肥力的恢复和提高有较大影响,在农业耕作制度中,其改土培肥效应以草田轮作最高,农作物套种次之,农作物单种最低;在荒漠沙地上种植农作物较果树更有利于保护土壤生态环境;在荒漠沙地上造林,应以防护林为主,不宜营造大规模杨树速生丰产林;在沙地上营造灌木薪炭林,可起到改良贫瘠沙地的功效;在沙地上种植沙打旺、草木樨和苜蓿均可有效的提高沙化土地肥力,以沙打旺效果最好,草木樨次之,苜蓿最差;在围栏封沙育草中,不同植物群落类型对沙地土壤改良效果有所不同,多植物群落优于单一植物群落。土壤氮磷比由高到低依次排序为白刺+沙蒿>沙蒿+沙竹>沙蒿>沙竹>小花棘豆+沙蒿>白刺>小花棘豆,土壤氮磷比的高低主要取决于氮素水平。

关键词:干旱区土地利用;薪炭林;绿肥种植;围栏封育;改土效应
中图分类号:F301.24;S153.6　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1005-3409(2010)04-0153-05

Effect of Arid Region Land Use and Soil Modified and Vegetation Restoration on Sandy Nutrient Recovery

ZHANG Rui, ZHANG Jing-bo, CAO Liang-tu
(*Chinese Academy of Forestry Experimental Center of Desert*, *Dengkou*, *Inner Mongolia* 015200, *China*)

Abstract: To study the arid land use, soil modified and vegetation restoration on sandy nutrient effect, the research is carried out in the Ulan Buh Desert northeastern margin. The results showed that land use and human activities on desertification and rational management to restore and improve land fertility, have greater influence in the agricultural farming systems, its improving soil fertility and crop rotation of grass as the highest, followed by crop intercropping, crop monoculture minimum. In the desert sand, crops have more ability than fruit to protect soil ecological environment; afforestation in the desert sand, protection forest should be mainly, not to create large-scale poplar forest; in the sand to create a fuelwood, can play an improved effectiveness of barren sand; planted in the Astragalus adsurgens Pall., Melilotus suaveolrns Ledeb. and Medicago sativa L. can effectively improve the sandy soil fertility, Astragalus adsurgens Pall. was the best, Melilotus suaveolrns Ledeb., Medicago sativa L. was the worst; grass in the fenced sand sports, different plant communities on sandy soil improvement effect of different, plant communities better than the single. Order of nitrogen and phosphorus ratio were Nitraria tangutorum Bobr. + *Artemisia ordosica* Krasch. > *Artemisia ordosica* Krasch. + *Psammochloa villosa* > *Artemisia ordosica* Krasch > *Psammochloa villosa* > *Oxytropis glabr* + *Artemisia ordosica* Krasch. > *Nitraria tangutorum* Bobr. > *Oxytropis glabr*, the level of soil nitrogen and phosphorus ratio main depends on the nitrogen level.

Key words: arid region land use; fuelwood; green manure planting; fencing; soil improvement effect

土地退化是荒漠化的结果,土地退化包括①风蚀和水蚀致使土壤物质流失;②土壤的物理、化学和生物特性或经济特性退化;③自然植被长期丧失。它是荒漠化研究的核心问题。沙漠化是导致土地质量与

收稿日期:2010-03-16
资助项目:国家科技支撑专题(2006BAD26B08010)
作者简介:张瑞(1973—),男,内蒙古人,工程师,从事荒漠化防治方面研究。E-mail:nmzhangjb@126.com

生产力下降的主要原因，而人类对土地资源的无序经营加速了沙漠化的进程[1-2]。研究表明[3]：过牧导致的沙漠化占30.1%，过度农垦占26.9%，过度樵采占33.7%，水资源利用不当占9.6%，工矿交通建设占10%。赵其国指出[4]，受上述因素影响，我国到21世纪初，人均耕地下降至0.1 hm^2，林地0.11 hm^2，草地0.25～0.26 hm^2。随着人类对土地利用强度的不断增强，人为因子对土壤质量的演化起着越来越重要的作用，并成为决定土壤肥力发展方向的基本动力之一[5]。在1998年第16届国际土壤学会大会上，土地荒漠化可逆性问题已成为人们关注的热点问题之一[6]。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沙漠景观，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地开展本项研究，旨在探索沙漠化土地恢复和重建的可行性和有效性，研究人类生产经营活动和土地资源利用方式对沙漠化土地恢复的影响和调控机理。

1 研究区自然概况

试验区设在中国林科院磴口沙漠实验中心。试区地处乌兰布和沙漠东北缘，位于106°46′ E，40°28′ N，海拔1 044～1 061 m，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℃，≥10℃积温3 002～3 221℃，太阳总辐射643.5 kJ/cm^2，无霜期130～170 d；年降水量105～144.6 mm，年蒸发量2 110.8～2 966 mm，相对湿度47%；主风向西北风，≥8级大风日数7.9～28.3 d，年沙尘暴日数20.0 d，年扬尘日数79.6 d，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年大风日数16.5 d。

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，黏质土平地和风蚀洼地相间分布的特征。沙丘高一般为1～3 m，个别高达5 m以上。土壤为发育在冲积—湖积型成土母质及风积型母质上的漠钙土，可分为松沙质漠钙土、沙壤质漠钙土及黏沙壤典型漠钙土3种类型。表层土以沙为主，中下层土壤以黏土和漠钙土相间分布。地下水埋深5 m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。主要优势种有白刺（*Nitraria tangutorum* Bobr.）、霸王（*Zygophyllumxanthoxylon* Maxim.）、油蒿（*Artemisia ordosica* Krasch.）、沙竹（*Psamochloa* villosa）、猫头刺（*Oxytropis aciphylla* var. gracilis）等。

人工绿洲开发前为固定、半固定沙丘相间分布的风沙地貌，现已形成完整的以林为主的农业开发区。

2 研究方法

2.1 土地利用类型对沙地土壤肥力的恢复效应

对人工绿洲内各土地利用类型，按随机抽样布点，分别选取3块样地进行养分分析，各剖面分3层取土样（0－25，25－60，60－120 cm），制成混合土样，剔除杂物风干后，测定有机质、全N、全P、全K、碱解N、速效P、速效K，有机质采用丘林法测定，全氮用凯氏法，速效氮用碱解扩散法，全磷用硫酸－高氯酸消煮－钼锑抗比色法，速效磷用0.5 mol/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。以3个样方的平均值进行比较研究。

2.2 灌木薪炭林对沙化土地的改土效应

试验树种为沙棘、花棒、杨柴。采用1年生苗造林，栽植密度1 m×2 m，小区面积0.7 hm^2，各树种重复3次，共计9个小区，总面积6.3 hm^2。每年灌水2次。于造林前和造林后第5年分别在9个固定样地内选取土样，各剖面分3层取土样（0－30，30－60，60－100 cm），测定有机质、全N、速效P和速效K，测定方法同上。采用9个样方的算术平均值进行对比分析。

2.3 种植绿肥对沙化地土壤肥力的恢复能力

供试材料为苜蓿、沙打旺和草木樨，在沙丘推平后，试验小区按随机区组排列，小区面积0.2 hm^2，各重复3次，于5月中旬进行撒播，每1 hm^2播种量为15～22.5 kg，浅耙1次后随后浇水，在出苗7～10 d后再浇1次水，3种植物的出苗率均在65%以上。达到试验要求。我们分别于绿肥播种前和播种5 a后采用随机取样的方法对土壤进行了分层取样（0－20，20－40，40－60，60－80，80－100 cm），测定有机质含量、全N、全P、全K、速效N、速效P和速效K，土壤样品分析方法同上。采用5层测定值的平均数进行统计分析。

2.4 荒漠沙地封育后不同植物群落类型对土壤肥力的影响

围栏封沙育草试验地面积为150 hm^2（1 500 m×1 000 m）。共设立8个土壤观测固定样地，标准地面积为20 m×20 m，在封育7 a后对土壤进行取样分析，各剖面分5层取样（10，30，50，70，100 cm），测定有机质、速效氮、速效磷和速效钾。土样分析方法同上。

3 结果与分析

3.1 土地利用类型对沙地土壤肥力的恢复效应

土地利用方式影响土壤的功能和性质[7]。研究

表明，在沙化土地的恢复和重建过程中，由于人类对土地的开发利用方式和经营强度的不同，其恢复和提高沙化土地肥力的作用是不同的（表 1）。由表 1 看出，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，表明该地区土壤富含 K 素，N 素极低，P 素不足的特点；各土地利用类型的土壤各项养分含量均大大高于荒漠沙地，说明沙化土地肥力在人类合理的干预下是可以得到恢复的；按有机质、全氮、速效氮 3 项指标排序依次为草木樨玉米草田轮作地＞苜蓿地＞玉米套种小麦地＞小美旱防护林地＞籽瓜农地＞小美旱用材林地＞苹果地＞荒漠沙地；从上述结果可以看出，在农业耕作制度中，其改土培肥效应以草田轮作最高，农作物套种次之，农作物单种最低；在荒漠沙地开发利用上，种植农作物较果树更有利于保护土壤生态环境；在荒漠沙地上植树，不仅可以防风固沙，而且还能够改良土壤，提高土壤肥力，其营造方式以防护林最佳；土壤全氮和速效氮含量以牧草地最高，分别是其它地类的 2.59～1.64倍和 1.67～1.07 倍（荒漠沙地除外），针对该地区土壤氮素极度贫乏的状况，在沙地开发利用初期应种植牧草，以加速沙地土壤肥力的恢复和提高。据估算[8]，1 年生苜蓿固定到土壤中的 N 约为 35～305 kg/hm，高于其它农作物地和天然草场，应作为沙地开发的首选固氮植物。

表 1　各土地利用类型土壤肥力比较

土地利用类型	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}）	施肥量（kg·hm^{-2}）
荒漠沙地（对照）	0.579	0.142	0.181	6.194	6.722	5.416	610.0	未施
杨树防护林地	4.923	0.25	0.888	25.174	30.623	22.457	1250.0	未施
杨树用材林地	3.648	0.24	0.528	25.775	29.625	8.003	1016.7	未施
苜蓿地	3.893	0.596	0.858	22.630	35.324	11.274	966.7	未施
草木樨玉米轮作地	5.908	0.364	0.815	26.568	33.012	11.607	1300.0	281.3
玉米套种小麦地	5.280	0.341	0.978	26.431	32.770	14.910	790.0	562.5
籽瓜单种地	3.924	0.256	0.746	25.212	27.471	8.284	890.0	570
苹果地	3.625	0.230	0.670	24.564	21.104	10.366	858.4	862.5

3.2　灌木薪炭林对沙化土地的改土效应

薪材是生物能源，是我国主要能源之一。它不仅是我国农村生活用能的主要来源，也是西北沙区防治沙漠化的主要手段之一。在防风固沙的同时肩负着改良土壤的重任。研究表明，在荒漠沙地上营造灌木薪炭林，5 年后其沙地土壤肥力得到有效的恢复和改善（图 1）。由图 1 看出，沙地造林前 30，60，100 cm 土壤有机质分别为 2.116，2.276，1.743 g/kg，造林后（5 a）分别增至 2.886，2.598，3.171 g/kg，分别提高了 36.38%、14.15%、81.93%；造林前全 N 分别为 0.166，0.209，0.177 g/kg，造林后（5 a）分别增至 0.255，0.249，0.195 g/kg，分别提高 53.62%、19.14%、10.17%；速效 P 分别提高 52.89%、48.78%、46.46%；速效 K 除了 30 cm 提高 21.05% 外，而 60，100 cm 却分别下降了 5.26%和 11.75%，这可能与薪炭林的消耗和新陈代谢及矿化物的转化速率有关。从营养元素的分布结构上看，造林前后也有所差异，造林前有机质最高值分布在 60 cm 土层，造林后则分布于 100 cm 土层；全 N 最高值前者分布在中层，后者分布于表层；速效 P 前者分布在表层，后者分布于表层；速效 K 前者分布在表层和中层，而后者呈自上而下递减规律，这显然与林木根系生长发育过程有关。

3.3　种植绿肥对沙化地土壤肥力的恢复能力

乌兰布和沙漠东北缘流动沙地具有黄灌条件，但是由于沙地保水保肥能力差，土壤贫瘠成为该地区土地开发利用的主要限制因子。因此改良土壤是该地区首要解决的问题。种植绿肥则是改良沙地土壤的重要措施。研究表明，3 种绿肥植物均有改善和提高沙化土地肥力的作用。由图 2 看出，种植绿肥 5 年后，苜蓿地土壤有机质、全 N、全 P、速效 N、速效 P、速效 K 分别增加了 4.755，0.022，0.201 g/kg、8.12，5.3，15.0 mg/kg；沙打旺地分别增加 16.121，0.101，0.070 g/kg、10.34，1.6，19.6 mg/kg；草木樨地分别增加 1.556，0.362，0.663 g/kg、9.79，0.9，9.0 mg/kg；从增肥效果来看，3 种绿肥各不相同，沙打旺对有机质、速效 N、速效 K 的增效优于苜蓿和草木樨；草木樨对全 N、全 P 的增效优于沙打旺和苜蓿；苜蓿对速效 P 的增效优于沙打旺和草木樨；值得注意的是，3 种绿肥的全 K 含量均出现下降规律，即苜蓿、沙打旺和草木樨分别降低 47.891，34.707，43.474 g/kg，这可能与植物对养分的吸收有关，据测定[9]，3 种绿肥的茎叶和根系的含钾量均高于含磷量。也有试验表明（我国南方和北方长期多点定位试验），在不施钾肥或少施钾肥的情况下，土壤速效钾一般均有不同程度的下降[10]。由上述结果可以看出沙打旺的增肥效应最好，草木樨次之，苜蓿最差。

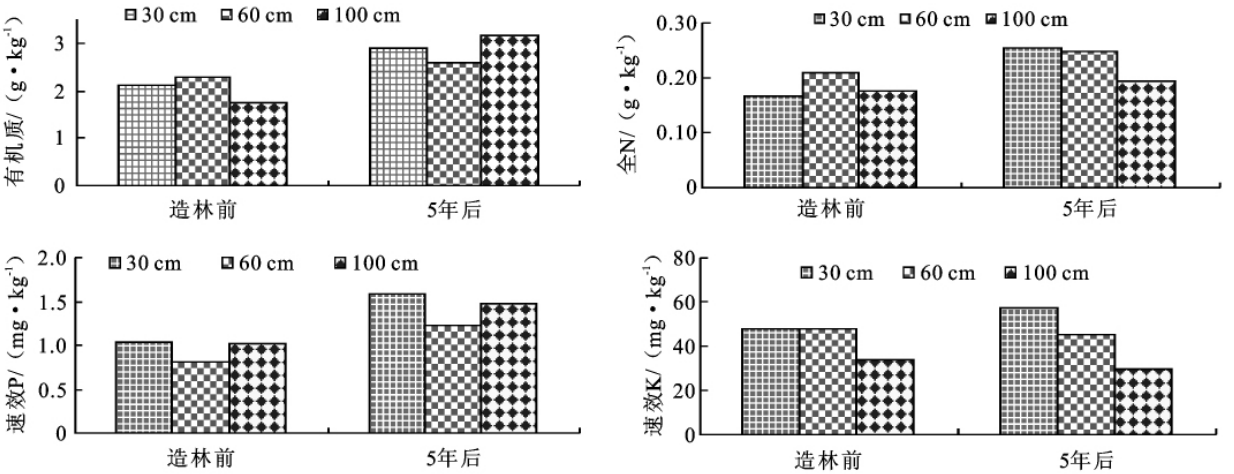

图1 沙土种植薪炭林前后土壤养分变化情况

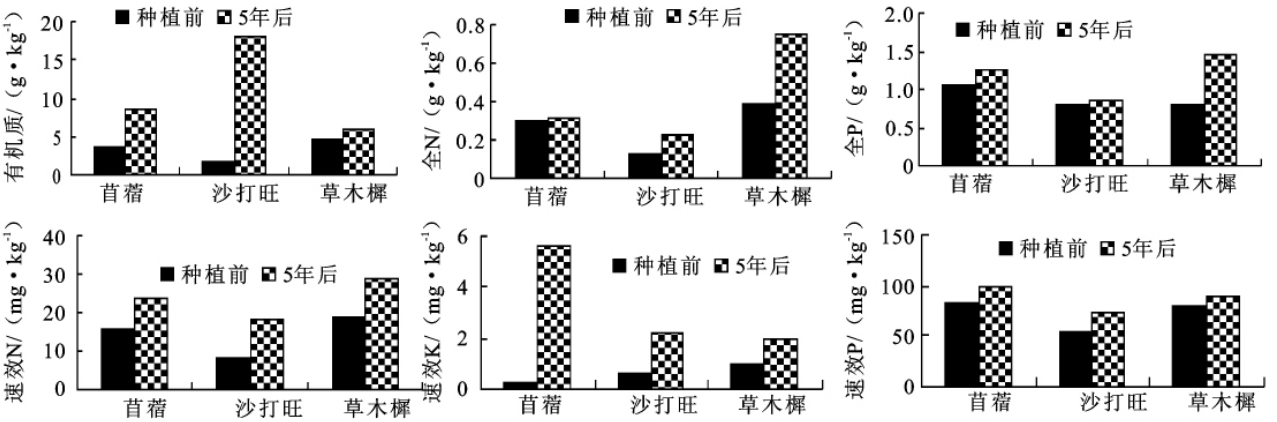

图2 绿肥种植前后土壤养分变化情况

3.4 荒漠沙地封育后不同植物群落类型对土壤肥力的影响

围栏封沙育草是恢复沙地植被和改良沙地土壤的有效途径。研究表明(表2),不同植物群落类型的土壤肥力存在差异。白刺+沙蒿群落土壤的有机质、速效N和速效K含量最高,与沙蒿和白刺群落相比,前者分别是后者的1.22,1.68,1.83和1.43,1.22,1.06倍;与同类型的沙蒿+沙竹和小花棘豆+沙蒿群落相比,前者分别是后者的1.39,1.48,1.30和1.57,2.10,1.18倍;沙蒿+沙竹与沙竹群落相比,前者分别是后者的1.76,1.13和1.34倍;小花棘豆+沙蒿与小花棘豆群落相比,前者分别是后者的1.17,1.17和1.31倍。从以上结果可以看出,复种群落的土壤肥力优于单种群落,但从速效P来看,除沙蒿外,其它单种植物群落的速效P含量均高于同类复种群落,其原因不明,有待研究。

表2 封育7年后不同植物群落的土壤肥力比较

植被类型	有机质/(g·kg⁻¹)	速效N/(mg·kg⁻¹)	速效P/(mg·kg⁻¹)	速效K/(mg·kg⁻¹)
沙蒿	6.30	0.75	0.19	52.60
白刺	5.37	1.03	0.34	90.50
白刺+沙蒿	7.70	1.26	0.25	96.20
沙蒿+沙竹	5.55	0.85	0.19	74.30
沙竹	3.15	0.75	0.22	55.65
小花棘豆+沙蒿	4.90	0.60	0.19	81.90
小花棘豆	4.20	0.51	0.21	62.70

土壤中氮和磷是植物必需的大量元素。研究表明,氮磷比在生态系统中具有重要意义[11],土壤氮/磷比的变化与植物密度的变化密切相关,并且是干旱区油蒿群落演替的原因之一[12]。本试验结果表明(图3),氮磷比由高到低依次排序为白刺+沙蒿(5.04)>沙蒿+沙竹(4.47)>沙蒿(3.94)>沙竹(3.41)>小花棘豆+沙蒿(3.16)>白刺(3.03)>小花棘豆(2.43),其变化趋势与前所述一致。由图3看出,各植物群落间的土壤磷素变化相对较小(0.15~0.09 mg/kg),而氮素变化相对较大(0.75~0.23

mg/kg)。可以认为氮磷比的高低主要取决于氮素水平，而氮素水平与植物的多样性有关，即对同一个植物种而言，单种植物群落的土壤含氮量低于复种植物群落。由此说明氮素是影响植物群落演替的原因之一。

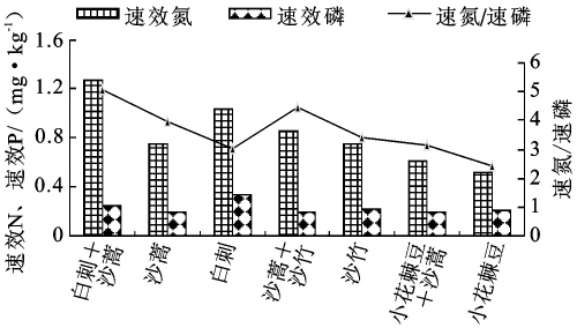

图 3　不同植物群落的氮磷比

4　结 论

(1)该地区土壤氮素贫乏，磷素不足，富含钾素；各土地利用方式在人类合理的干预下，可以使沙化土地的肥力得到恢复和提高；在农业耕作制度中，其改土培肥效应以草田轮作最高，农作物套种次之，农作物单种最低，草田轮作是以高产高效可持续发展的农牧结合耕作制度，该模式即可注重经济效益，又能保护土壤生态环境，提高土壤肥力，实现土地资源的可持续利用；在荒漠沙地上种植农作物较果树更有利于保护土壤生态环境；在荒漠沙地上造林，应以防护林为主，不宜营造大规模杨树速生丰产林；针对该地区土壤氮素极度贫乏的状况，在沙地开发利用初期应种植牧草，以加速沙地土壤肥力的恢复和提高。

(2)在沙地上营造灌木薪炭林，不仅可以为农牧民提供生活能源，而且也能起到改良贫瘠沙地的功效。

(3)种植绿肥是改良沙地土壤的重要措施，3 种绿肥植物均可有效的提高沙化土地肥力。沙打旺对有机质、速效 N、速效 K 的增效优于苜蓿和草木樨，草木樨对全 N、全 P 的增效优于沙打旺和苜蓿，苜蓿对速效 P 的增效优于沙打旺和草木樨，从增肥的综合效果比较，沙打旺最好，草木樨次之，苜蓿最差。

(4)围栏封沙育草是恢复沙地植被和改良沙地土壤的既经济又有效的方式。不同植物群落类型对沙地土壤改良效果有所不同，多植物群落优于单一植物群落。土壤氮磷比由高到低依次排序为白刺＋沙蒿＞沙蒿＋沙竹＞沙蒿＞沙竹＞小花棘豆＋沙蒿＞白刺＞小花棘豆，土壤氮磷比的高低主要取决于氮素水平，而氮素水平与植物的多样性有关。

参考文献：

[1]　王涛. 西部大开发中的沙漠化研究及其灾害防治[J]. 中国沙漠，2000，20(4)：345-348.

[2]　赵文智，程国栋. 人类土地利用的主要生态后果及其缓解对策[J]. 中国沙漠，2000，20(4)369-374.

[3]　杨朝飞. 中国土地退化及其防治对策[J]. 中国环境科学，1997，17(2)：108-112.

[4]　赵其国，吴志东. 继往开来，迎接 21 世纪对土壤科学的挑战[J]. 土壤，1999，31(5)：225-230.

[5]　郝玉光，刘芳，张伟华，等. 乌兰布和沙区人工绿洲土壤养分动态研究[J]. 干旱区资源与环境，2009，23(7)：176-181.

[6]　赵其国. 土壤与环境问题国际研究概况及其发展趋势[J]. 土壤，1998，30(6)：281-290.

[7]　张金波，宋长春. 土地利用方式对土壤碳库影响的敏感性评价指标[J]. 生态环境，2003，12(4)：500-504.

[8]　王庆锁，张玉发，苏加楷，等. 苜蓿－作物轮作研究[J]. 生态农业研究，1999，7(3)：35-38.

[9]　杨晓晖，王葆芳，江泽平. 乌兰布和沙漠东北缘三种豆科绿肥植物生物量和养分含量及其对土壤肥力的影响[J]. 生态学杂志，2005，24(10)：1134-1138.

[10]　谢建昌，周建民. 我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展[J]. 土壤，1999，31(5)：244-254.

[11]　Smith V H. Effects of nitrogen：phosphorus supply ratios on nitrogen fixation in agricultural and pastoral ecosystems[J]. Biogeochemistry，1992，18(1)：19-35.

[12]　邬畏，何兴东，张宁，等. 油蒿群落演替中的植物密度对土壤氮/磷比的响应[J]. 土壤学报，2009，46(3)：472-479.