

不同覆土厚度对裸岩石砾地土壤化学性状和春玉米产量的影响

李娟^{1,2,3}, 张杨^{1,2,3*}, 韩霖昌^{1,2,3}, 李晓明^{1,2,3}

(1. 陕西省地产开发服务总公司, 陕西西安 710075; 2. 国土资源部退化及未利用土地工程整治研究中心, 陕西西安 710075; 3. 陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西西安 710075)

摘要 [目的]为了研究在裸岩石砾地不同覆土厚度作物耕作层土壤理化性状和春玉米产量的变化。[方法]在2011~2012年陕西富平基地设置裸岩石砾地,通过30、40、50、60、80和100 cm 6种不同覆土厚度,分析各不同覆土厚度下土壤化学性状、农艺性状和春玉米产量的差异。[结果]不同覆土厚度对土壤0~50 cm土层土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量具有明显的影响;碱解氮、速效磷和速效钾含量都随着土层深度的增加而减小。在10~30 cm土层,C50处理土壤的碱解氮含量分别比C30、C40、C60、C80和C100处理高3.92%、12.51%、17.51%、3.39%和11.26%。在0~30 cm土层,C50处理土壤的平均速效磷含量分别比C30、C40、C60、C80和C100处理高14.57%、9.57%、2.31%、4.14%和4.91%;在0~50 cm土层,C50处理土壤的平均速效钾含量最大,为112.51 g/kg,即C50处理较其他处理具有保肥作用。不同覆土厚度对春玉米株高、生物量影响显著。覆土厚度不同,直接影响春玉米干物质积累。C50处理春玉米从拔节期到灌浆期的平均株高最高,为150.03 cm;春玉米从拔节期到灌浆期的平均生物量分别为68.65、69.09、72.48、68.91、69.10和68.12 g。不同处理对春玉米产量、产量构成因素影响显著。C50处理平均籽粒产量最高,为6 832.89 kg/hm²;各处理春玉米的平均籽粒产量从大到小依次为C50处理>C40处理>C60处理>C80处理>C30处理>C100处理。[结论]C50处理具有保肥作用且增产效果最佳。

关键词 覆土厚度;春玉米;化学性状;产量

中图分类号 S572 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)05-02037-03

Effects of Different Depth of Soil Thickness on Soil Chemical Properties and Spring Maize Yield on Barren Gravel Land for Land Reclamation

LI Juan et al (Shaanxi Province Real Estate Development Corporation, Xi'an, Shaanxi 710075)

Abstract [Objective]The research aimed to research the effects of different soil cover thickness on plough layer physiochemical properties and spring maize yields on the desert. [Method] Exposed rock land, this study arranged 6 different thickness levels of soil cover listed as 30 cm (C30), 40 cm (C40), 50 cm (C50), 60 cm (C60), 80 cm (C80) and 100 cm (C100) for spring maize cultivating experiment in Fuping, Shaanxi Province in 2012. And the variation of soil physiochemical properties, agronomic traits and yields of spring maize were measured and analyzed. [Result]The changes of soil cover thickness showed significant effects on soil available N, available P and available K, and with the soil thickness increasing, and the contents of soil available N, available P and available K all increased significantly. During 10-30 cm soil layer, soil available N contents under level C50 was higher than that under level C30, C40, C60, C80 and C100 by 3.92%, 12.51%, 17.51%, 3.39% and 11.26%. During 0-50 cm soil layer, the average contents of soil available P under level C50 were higher than that under level C30, C40, C60, C80 and C100 by 14.57%, 9.57%, 2.31%, 4.14% and 4.91% respectively. During 0-50 cm soil layer, the average content of soil available K was 112.51 g/kg under level C50, higher than all the other levels, which showed C50 presented best on fertilizer conservation. The changes of soil cover thickness also showed significant effects on the plant height of spring maize, biomasses and dry matter accumulation. The average plant height of spring maize under C50 was 150.03 cm, higher than the other levels from jointing stage to grain filling stage. The average biomasses under each level were 68.65, 69.09, 72.48, 68.91, 69.10 and 68.12 g respectively. Lastly, the changes of soil cover thickness also showed significant effects on the yield and its composing factors. The highest yield showed under C50 of 6 832.89 kg/hm². All the yields ranged as C50 > C40 > C60 > C80 > C30 > C100 quantitatively. [Conclusion]C50 presented the best on fertilizer conservation.

Key words Soil thickness; Spring maize; Chemical properties; Yield

伴随着人口的急剧膨胀和人类发展过程中对生态环境的肆意破坏,耕地数量急剧减少。如何增加耕地数量和提高耕地质量是农业的主要问题^[1-5]。我国现阶段主要从以下2个方面进行。一方面,要求保护现有耕地的数量和质量;另一方面,需要发现耕地后备资源,作为未来开发的保障^[6-7]。因此,难利用土地的开发整治技术成为我们急需解决的问题。

我国难开发土地主要包括荒草地、沙漠化土地、盐碱地及河滩地等,总面积达到7 090.66万hm²,其中旧河道荒石滩面积约占1/4,是巨大的耕地后备资源^[8-11]。旧河道荒石滩作为一种难利用的土地资源,类似于裸岩石砾地。河道内堆积了大面积分散、凌乱的河卵石,整个河道处于闲置状态,且占用大面积土地资源。如果将综合治理旧河道荒石滩的

技术方法进行科学研究,那么将提供一种新的耕地后备资源。我国目前对旧河道荒滩地研究较少,并且研究结果不尽相同;同时,主要通过客土覆盖的方法进行整治。土壤是作物生长的基础。土壤层厚度是土壤性质的基本属性,但土层覆盖厚度是急需解决的问题^[12-16]。笔者在旧河道已有沙砾地层上开展种植试验,分析耕作层土壤化学性状、作物的农艺性状和作物产量的变化规律,筛选出合理的覆土厚度,以达到提高作物产量,保护生态环境和增加耕地面积。

1 材料与方法

1.1 试验区概况 试验设置于渭南市富平县杜村镇。该区属半干旱大陆性气候,年内降雨分布极不均匀,多集中在7~9月,占全年降雨量的49%,其他季节较干旱。干湿季节分明,干季长于湿季。尤其春季多风少雨,蒸发量大。全年蒸发量1 000~1 300 mm,是降雨量的2.0~2.3倍。6月蒸发量最大,为189.5 mm,12月最小,为44.9 mm。无霜期225 d,年平均气温13.4℃,夏季最高气温41.8℃,冬季最低气温-22.0~-10.0℃。该区域条件基本上满足小麦、玉米、棉

基金项目 陕西省科学技术研究发展计划项目(2011K01-36);陕西省自然科学基金研究计划(2012JQ5015)。**作者简介** 李娟(1986-),女,陕西宝鸡人,硕士研究生,研究方向:旱区农业生态研究。*通讯作者,工程师,硕士,从事农业生态环境研究,E-mail:lijuan8136@163.com。**收稿日期** 2013-01-24

花等作物的生长需要。

1.2 试验设计 该试验于2012年5月实施,采取以覆土厚度为单一因素的试验设计。在前茬作物收获后,对土壤实施全面深松。一般,土壤耕作层深度为30~40 cm。试验田设6种覆土厚度,分别为30、40、50、60、80和100 cm厚度土壤,分别以C30、C40、C50、C60、C80、C100表示。模拟实际条件,客土以下分别用170、160、150、140、120、100 cm砾石(80%)和沙土(20%)填装,如图1所示。试验小区面积为2 m×4 m=8 m²,设置3次重复。根据立地条件,考虑光照、微地形等因素的均一性,试验小区采取自东向西“一”字型布设。

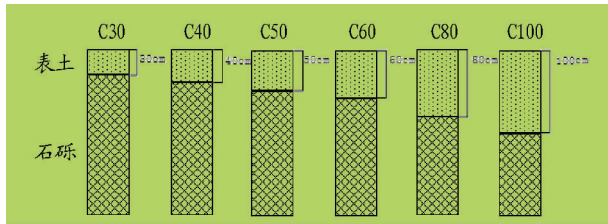


图1 试验研究示意图

试验中,根据陕西省农业厅对玉米田施肥推荐方案,试验田的N、P₂O₅、K₂O施肥量分别为255、180、90 kg/hm²。当播种春玉米时,按小区规划撒施肥料用量,通过人工整地、深松使地表平整,肥料充分混合。试验田全部采用人工播种。其中,磷肥、氮肥、钾肥分别为磷酸二铵、尿素和氯化钾。

供试玉米品种为金诚508,千粒重282.9 g,玉米发芽率89.9%,播种采用人工穴播,种植密度为52 500株/hm²。按小区人工撒施基肥,在玉米大喇叭口期再追肥1次、灌溉1次。在试验期间,其他田间管理措施同当地大田。

1.3 测定项目及方法 在玉米的主要生育期(拔节期、大喇叭口、灌浆期),分别测定玉米株高、植株生物量。每个小区重复3次。生物量的测定采用烘干法(105℃,1 h;70℃,72 h)。

在春玉米收获后,在每个小区以对角线布置5个样点,分别测定0~10、10~30和30~50 cm土层土壤养分含量。土壤碱解氮含量的测定采用碱解扩散法;速效磷含量的测定采用0.5 mol/L NaHCO₃浸提法;速效钾含量的测定采用NH₄OAc

浸提、火焰光度法^[17]。

在每年玉米收获时,各个处理分别按小区全部收获,测定实际产量和有效穗数;随机取15株有代表性的植株,进行室内考种,包括穗粒数和百粒重,用于测定玉米的理论产量和产量构成。

1.4 数据处理 采用Excel2003,对数据、图表进行处理,用DPS7.05数据处理软件对数据进行方差分析、Duncan新复极差法多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同覆土厚度下土壤化学性状的变化 由表1可知,不同覆土厚度对玉米田0~50 cm土层土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量具有明显的影响。土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量均随着土层深度的增加而逐渐减小。在0~10 cm土层,C50处理土壤碱解氮含量最大,为75.77 g/kg,与其他处理之间差异显著(P<0.05)。在10~30 cm土层,C50处理土壤碱解氮含量分别比C30、C40、C60、C80和C100处理高3.92%、12.51%、17.51%、3.39%和11.26%。在30~50 cm土层,C60处理碱解氮含量最高,且与其他处理之间差异显著(P<0.05)。在0~30 cm土层,C50处理土壤碱解氮含量在0.05水平显著增加,土壤氮素的有效性提高。

不同覆土厚度对玉米田0~50 cm土层的土壤速效磷含量影响显著(P<0.05)。在0~10 cm土层,土壤速效磷含量从大到小依次为C50处理、C60处理、C80处理、C40处理、C100处理、C30处理。在0~30 cm土层,C50处理土壤的平均速效磷含量分别比C30、C40、C60、C80和C100处理高14.57%、9.57%、2.31%、4.14%和4.91%。在30~50 cm土层,C50处理土壤的速效磷含量最高,为6.76 g/kg,与其他处理之间差异显著(P<0.05)。

不同覆土厚度对0~50 cm土壤速效钾含量的影响明显。在0~30 cm土层,土壤平均速效钾含量从大到小依次为C50处理、C40处理、C60处理、C100处理、C30处理、C80处理。在0~50 cm土层,C50处理土壤的平均速效钾含量最大,为112.51 g/kg。

表1 0~50 cm土层土壤速效养分含量

mg/kg

处理	碱解氮			速效磷			速效钾		
	0~10 cm	10~30 cm	30~50 cm	0~10 cm	10~30 cm	30~50 cm	0~10 cm	10~30 cm	30~50 cm
C30	74.96±0.98 a	62.29±1.15 ab	-	14.26±0.05 c	8.12±0.60 c	-	142.71±0.02 ab	86.76±2.79 ab	-
C40	73.29±1.01 a	64.96±1.27 b	-	15.82±0.39 b	8.38±0.79 bc	-	144.74±4.11 ab	95.39±2.77 b	-
C50	75.77±0.45 c	65.77±1.10 a	38.97±0.71 c	16.61±0.79 a	9.03±0.13 a	6.76±0.15 a	158.56±2.78 a	99.34±0.84 a	78.54±0.65 b
C60	69.14±0.76 ab	55.97±4.27 c	41.77±3.57 a	16.08±0.22 b	8.98±0.50 b	5.99±0.36 c	150.66±1.39 b	81.57±3.48 c	79.83±1.39 a
C80	73.61±0.41 a	63.61±0.34 ab	39.61±1.27 b	15.95±0.40 b	8.67±0.04 bc	6.10±0.06 b	138.95±0.07 d	85.52±1.39 c	78.28±1.37 b
C100	65.97±0.51 b	59.14±0.48 abc	39.14±1.03 abc	15.53±1.03 bc	8.91±0.38 b	5.82±0.42 c	142.76±1.41 c	91.44±0.75 ab	79.61±1.40 a

注:“-”表示没有数据,土层深度未达到50 cm。同列不同小写字母表示差异在0.05水平显著。

2.2 不同覆土厚度对春玉米株高和生物量的影响 由图2、3可知,由于不同覆土厚度下土壤水分、养分的差异,春玉米的株高和干物量也发生变化。C50处理春玉米从拔节期到灌浆期的平均株高最高,为150.03 cm,各处理之间无显著差异。覆土厚度不同,直接影响春玉米干物质积累。C30、C40、C50、C60、C80和C100处理春玉米从拔节期到灌浆期的平均

生物量分别为68.65、69.09、72.48、68.91、69.10和68.12 g。C50处理有利于土壤水分和养分的吸收,增加植物株高和生物量积累。

2.3 不同覆土厚度对春玉米产量的影响 由表2可知,从产量构成来看,平均单位面积穗数表现为C50处理>C40处理>C30处理>C80处理>C100处理>C80处理,且各处

理间差异显著($P < 0.05$);C50 处理平均穗粒数分别比 C30、C40、C60、C80 和 C100 处理高 1.82%、0.69%、5.81%、1.61% 和 4.96%,各处理间差异显著($P < 0.05$)。C60 处理春玉米

平均百粒重最大,为 33.28 g;C50 处理春玉米产量最高,为 6 832.89 kg/hm²;各处理春玉米产量从大到小依次为 C50 处理、C40 处理、C60 处理、C80 处理、C30 处理、C100 处理,即 C50 处理的增产效果最佳。

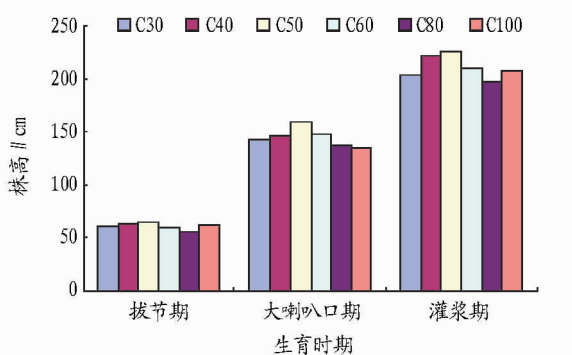


图 2 不同覆土厚度下春玉米主要生育期株高的变化

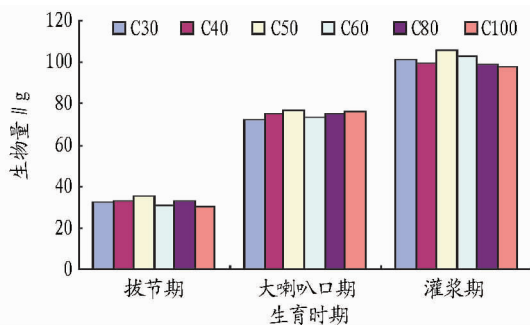


图 3 不同覆土厚度下春玉米主要生育期生物量的变化

表 2 不同覆土厚度对春玉米平均产量及其构成因素的影响

处理	平均单位面积穗数 ×10 ⁴ /hm ²	平均穗粒数 个	平均百粒重//g	平均籽粒产量 kg/hm ²
C30	47 798.00 ± 48.95b	384.00 ± 1.89 c	32.37 ± 0.08 ab	5 942.25 ± 56.78 c
C40	48 333.00 ± 70.72a	421.00 ± 0.34 b	33.27 ± 0.03 a	6 770.86 ± 98.74 b
C50	48 667.00 ± 28.97a	438.00 ± 0.71 a	32.05 ± 0.04 ab	6 832.89 ± 75.89 a
C60	45 995.00 ± 103.64bc	435.00 ± 0.03 a	33.38 ± 0.05 a	6 679.61 ± 44.59 b
C80	47 900.00 ± 142.21b	392.00 ± 1.06 c	33.07 ± 0.03 b	6 209.49 ± 75.65 ab
C100	46 367.00 ± 121.34c	408.00 ± 0.85 ab	31.21 ± 0.06 ab	5 903.27 ± 72.13 c

注:同列不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著。

3 结论与讨论

关于不同覆土厚度对土壤化学性状的影响,石岩等^[18]通过对旱地小麦产量的研究得出,旱地小麦获得高产的土层厚度下限指标应在 160 cm 左右;朱波等^[19]在紫色土生产方向研究表明,40~60 cm 为最佳覆土厚度。合理的覆土厚度有利于土壤养分的利用。刘会平等^[20]对不同覆土厚度的煤矿石充填区土壤生产状况进行研究,发现覆土厚度低于 60 cm 会导致土壤养分的流失。冯全洲等^[21]通过对煤矿塌陷区和矸石山复垦的研究得出适宜草本植物的覆土厚度为 30 cm,灌木 60 cm,乔木 10 m。该研究表明,土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量均随着土层深度的增加而逐渐减小。在 0~30 cm 土层,C50 处理土壤平均碱解氮含量分别比 C30、C40、C60、C80 和 C100 处理高 3.13%、2.38%、13.11%、3.15% 和 13.13%;在 0~50 cm 土层,C50、C60、C80 和 C100 处理土壤平均碱解氮含量分别为 60.17、55.63、58.94 和 54.75 g/kg。在 0~50 cm 土层,C50 处理土壤速效磷含量最高,为 10.80 g/kg,与其他处理之间差异显著($P < 0.05$)。在 10~30 cm 土层,各处理土壤的平均速效钾含量从大到小依次为 C50 处理、C40 处理、C100 处理、C60 处理、C30 处理、C80 处理,与其他处理之间差异显著($P < 0.05$);在 30~50 cm 土层,C60 处理土壤的速效钾含量最高,为 79.83 g/kg。C50 处理有利于提高土壤耕作层的碱解氮、速效磷和速效钾含量。

关于不同覆土厚度对春玉米株高和生物量的影响,不同覆土厚度对作物对土壤水分和养分利用不同,从而春玉米的

株高和生物量不同。该研究表明,C50 处理有利于增加春玉米株高和生物量积累。

关于不同覆土厚度对作物产量的影响,不同覆土厚度下的土壤化学性状不同,形成了不同的玉米生长发育环境。该研究表明,C50 处理促进玉米籽粒的萌发和生长发育,提高了产量。C50 处理春玉米的平均籽粒产量最高,为 6 832.89 kg/hm²;各处理春玉米的平均籽粒产量从大到小依次为 C50 处理、C40 处理、C60 处理、C80 处理、C30 处理、C100 处理,即 C50 处理的增产效果最佳。

关于不同覆土厚度对裸岩石砾地土壤化学性状和作物产量的影响的研究,必须通过长期定位试验研究。该试验年限较短,对耕作层稳定性、作物生长的生理指标研究欠缺,且只研究了对春玉米产量的影响,对其他作物生长和产量的影响还有待于研究。

参考文献

- [1] 崔读昌. 气候变暖对我国农业生产的影响与对策[J]. 中国农业气象, 1992,13(2):16-20.
- [2] 蔡运龙, BARRY S. 全球气候变化下中国农业的脆弱性与适应对策[J]. 地理学报, 1996,51(3):202-210.
- [3] 刘玉杰, 杨艳昭, 封志明. 中国粮食生产的区域格局变化及其可能影响[J]. 资源科学, 2007,29(2):8-14.
- [4] LIU Y S, WANG D W, JAY G, et al. Land use/cover changes, the environment and water resources in northeast China[J]. Environment Management, 2005,36(5):691-701.
- [5] 刘成武, 李秀彬. 1980 年以来中国农地利用变化的区域差异[J]. 地理学报, 2006,61(2):139-145.
- [6] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京:中国农业出版社, 1998.
- [7] 张凤荣, 吴克宁, 胡振琪. 土地保护学[M]. 北京:科学出版社, 2006.

两者的回归系数均大于 0.98。该数学模型可以直观地反映样品中邻氨基苯甲醚含量对土壤微生物多样性影响的结果。

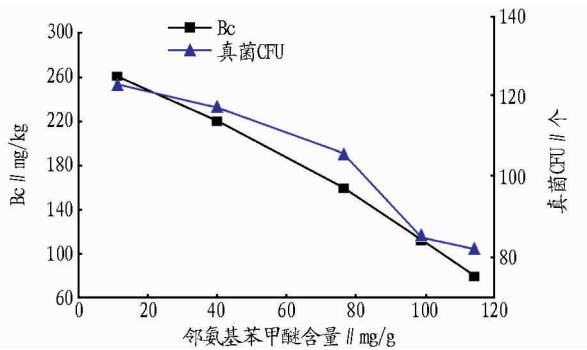


图4 邻氨基苯甲醚含量与生物多样性之间的关系

3 讨论

土壤生物量 C 是反映土壤有机质含量以及微生物数量的直接指标。试验土壤中生物量 C 随着邻氨基苯甲醚含量的增加而减小。这与周玲莉等^[19]研究结果一致。由于土壤中仅有 1% 左右的微生物在人工条件下培养,采用 Liu 等^[20-21]于 1997 年首次应用于微生物群落结构分析的 T-RPLF 法(综合 PCR 技术、DNA 限制酶切技术、DNA 自动序列检测)鉴定土壤中微生物的种类,进一步比较样品中邻氨基苯甲醚含量对土壤微生物的影响。样品的基因组 DNA 电泳检测结果表明,污染严重样品中 DNA 含量较少,进一步表明样品中生物总量较少。这与微生物培养试验和生物量 C 试验的结论相同。因此,土壤样品中微生物多样性受邻氨基苯甲醚含量的影响显著。长期的邻氨基苯甲醚污染对土壤中微生物群落产生一定的选择作用。

参考文献

[1] 林颖,蔡容华. 芳香族化合物生物降解的研究进展[J]. 福建轻纺,2006, 2(2):6-11.

[2] 时召俊,李兵,李昌文,等. 加氢还原法制备邻氨基苯甲醚的研究[J]. 广东化工,2010,37(8):116-129.

[3] 张甘霖,赵玉国,杨金玲,等. 城市土壤环境问题及其研究进展[J]. 土壤学报,2007,44(5):927-932.

[4] 彭静静,张又弛,侯艳伟,等. 炼油厂周边 PAHs 污染土壤中微生物群落结构多样性研究[J]. 生态环境学报,2011,20(5):962-965.

[5] 王菲,苏振成,杨辉,等. 土壤中多环芳烃的微生物降解及细菌种群多样性[J]. 应用生态学报,2009,20(12):3020-3026.

[6] 司航. 有机化工原料[M]. 3 版. 北京:化学工业出版社,1999:180-210.

[7] 曹晓群,张成金,王萍,等. 加氢还原法合成邻氨基苯甲醚的工艺研究[J]. 化工环保,2005,24(7):767-769.

[8] 龙梅,谢孟侠,刘媛. 应用 RP-HPLC 对芳香胺定量分析方法的研究[J]. 北京师范大学学报,2000,36(1):77-81.

[9] JOERGENSEN R G. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass:calibration of the kEc-value[J]. Soil Biol Biochem,1996, 1:25-31.

[10] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2010:60-85.

[11] 沈萍,陈向东. 微生物学实验[M]. 4 版. 北京:高等教育出版社,2007:15-20.

[12] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海:上海科学技术出版社,1979:1-780.

[13] WAKSMAN S A. 放线菌鉴定手册[M]. 北京:科学出版社,1974:1-480.

[14] 彭佩钦,吴金水,黄道友,等. 洞庭湖区不同的利用方式对土壤微生物生物量碳氮磷的影响[J]. 生态学报,2006,26(7):2261-2267.

[15] 白清云. 土壤微生物群落结构的化学估价方法[J]. 农业环境保护,1997,16(6):252-256.

[16] 王辰,王翠苹,刘海彬,等. 微生物对芘和苯并[a]芘污染土壤的修复[J]. 环境科学与技术,2011,34(3):23-28.

[17] 荆瑞勇,王丽艳,王彦杰,等. 乙草胺对土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报,2010,18(6):1302-1305.

[18] 呼秀智,薛占永,王绥华,等. 氟苯尼考对土壤微生物活动影响[J]. 山东畜牧兽医,2011,32(2):3-5.

[19] 周玲莉,姚斌,向仰州,等. 五氯酚胁迫对杨树生长及根际微生物群落的响应特征[J]. 林业科学,2010,46(10):62-68.

[20] LIU W T, MARSH T L, CHENG H, et al. Characterization of microbial diversity by determining terminal restriction fragment length polymorphisms of genes encoding 16S rRNA[J]. Appl Environ Microbiol,1997,11:4516-4522.

[21] 魏群. 分子生物学实验指导[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2007:75-82.

(上接第 2039 页)

[8] 吕贻忠,李保国. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2006.

[9] 肖国举,张强,王强. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J]. 应用生态学报,2007,18(8):1877-1884.

[10] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[11] 张百平,张雪芹,郑度. 西北干旱区不宜作为我国耕地后备资源基地[J]. 干旱区研究,2010,27(1):1-5.

[12] 张本家,高岚. 辽宁土壤之土层厚度与抗蚀年限[J]. 水土保持研究,1997,4(4):57-59.

[13] 石岩,位东斌,于振文,等. 土层厚度对旱地小麦氮素分配利用及产量的影响[J]. 土壤学报,2001,38(1):128-130.

[14] DOMZAI H, HODARA J, TURSK R. The effects of agricultural use on the structure and physical properties of three soil types[J]. Soil and Tillage Research,1993,27:365-375.

[15] 邹连敏. 土地开发整理项目规划设计实用技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.

[16] 杨子生. 中国山区生态友好型土地整理模式初探[C]//刘彦随,杨子生,赵乔贵. 中国山区土地资源开发利用与人地协调发展研究. 北京:中国科学技术出版社,2010.

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,1999:30-106.

[18] 石岩,位东斌,于振文,等. 土层厚度对旱地小麦氮素分配利用及产量的影响[J]. 土壤学报,2001,38(1):128-130.

[19] 朱波,祝福虹,高美荣,等. 土层厚度对紫色土坡地生产力的影响[J]. 山地学报,2009,27(6):735-739.

[20] 刘会平,严家平. 不同覆土厚度的煤矸石填充复垦区土壤生产力评价[J]. 能源环境保护,2010,24(1):52-55.

[21] 冯全洲,徐恒力. 土地复垦的覆土厚度及覆土基质确定[J]. 农业科学和技术,2009,10(4):183-188.