

网络出版时间:2013-09-22 17:09

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130922.1709.028.html>

砒砂岩与沙混合比例及作物种植季数对 复配土壤性质和作物产量的影响

柴苗苗¹, 韩霁昌¹, 罗林涛^{1,2}, 王欢元¹, 马增辉¹

(1 陕西省地产开发服务总公司, 陕西省土地整治工程技术研究中心, 国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室,
陕西 西安 710075; 2 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

【摘要】【目的】探讨砒砂岩与沙不同混合比例及作物种植季数对复配土壤理化性状和作物产量的影响, 为促进毛乌素沙地土地的可持续利用提供理论依据。【方法】2010—2011 年, 在陕西省富平县采用二因素随机试验设计, 将砒砂岩与沙按不同体积比(1:1, 1:2, 1:5)混合后, 分别于第 1 季作物(玉米、大豆、马铃薯)和第 2 季作物(小麦、马铃薯)收获后, 对土壤质地、水稳性团聚体含量、有机质含量及作物产量进行测定, 分析砒砂岩与沙不同混合比例及作物种植季数对测定指标的影响。【结果】1) 随拌沙比例和作物种植季数的增加, 复配土壤耕层砂粒比例增加, 粉粒和黏粒比例减少; 随作物种植季数的增加, 复配土壤耕层质地趋于砂质化, 粉粒和黏粒向土壤下层运移; 2) 砒砂岩与沙 1:1 复配土壤的水稳性团聚体含量明显高于砒砂岩与沙 1:2 和 1:5 复配土壤; 随着作物种植季数的增加, 土壤有机质含量呈增大趋势, 而砒砂岩与沙混合比例对土壤有机质含量的影响不明显; 3) 砒砂岩与沙混合比例和作物种类对复配土壤作物产量影响明显, 总体上表现为 1:2 和 1:5 复配土壤的作物产量较高。【结论】复配土壤耕层质地随作物种植季数的增加趋于砂质化; 砒砂岩与沙 1:1 复配土壤具有较高的水稳性团聚体和有机质含量, 且随作物种植季数的增加而增大; 玉米、大豆和冬小麦适宜在砒砂岩与沙 1:2 复配土壤上种植, 马铃薯适宜在砒砂岩与沙 1:5 复配土壤上种植。

【关键词】 砒砂岩; 沙; 复配土壤; 土壤结构

【中图分类号】 S152.4

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2013)10-0179-06

Effects of soft rock and sand mixing ratios and crop planting frequency on soil and crop yield

CHAI Miao-miao¹, HAN Ji-chang¹, LUO Lin-tao^{1,2},
WANG Huan-yuan¹, MA Zeng-hui¹

(1 Shaanxi Province Estate Development Service Corporation, Shaanxi Province Land Reclamation Engineering
Technology Research Center, Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering,

the Ministry of Land and Resources of China, Xi'an, Shaanxi 710075, China; 2 Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering,
Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: 【Objective】The effects of different blending ratios of soft rock and sand and crop planting frequency on soil structure and crop yield were investigated to improve the sustainable utilization of Mu Us sand land. 【Method】The two-factor randomized trial design was carried out by blending soft rock and sand with three different volume proportions (1:1, 1:2 and 1:5). The experiment was conducted in Fuping,

【收稿日期】 2012-1130

【基金项目】 陕西省科技新星计划项目(2011KJXX60); 陕西省农业攻关计划项目(2012K01-34); 国土资源部公益性行业科研专项(201311005)

【作者简介】 柴苗苗(1988—), 女, 陕西铜川人, 硕士, 主要从事植物营养研究。E-mail: chaimiaomiao87@163.com

【通信作者】 韩霁昌(1962—), 男, 陕西渭南人, 研究员, 高级工程师, 博士, 主要从事土地工程研究。E-mail: 12600357@qq.com

Shaanxi province from 2010 to 2011. Mixed soil texture, water stability aggregates and organic contents of arable layer after first harvest (maize, soybean and potato) and second harvest (wheat and potato) were determined, and thus the effects of blending ratios and crop planting frequency on soil structure and crop yield were investigated. 【Result】 1) Ratio of sand in arable layer of mixed soil increased with the increase of sand blending ratio and crop planting frequency, while clay and silt ratio were opposite. The texture of arable layer of mixed soil gradually became sandy with the increase of crop planting frequency. 2) Water stability aggregate contents reached maximum on 1 : 1 mixing soil, which was significantly higher than that of 1 : 2 and 1 : 5 mixing cases. The organic contents increased with the increase of crop planting frequency, but soil organic contents were not affected. 3) Both blending ratios and crop species had significant effects on crop yield. The overall performance of crop yield with 1 : 1 mixed soil was lower than that of other cases. 【Conclusion】 The texture of arable layer of mixed soil gradually become sandy with the increase of crop planting frequency. Both water stability aggregates and organic contents of mixed soil arable layer reached maximum when the ratio of mixed soil was 1 : 1 mixed soil. The two indexes of mixed soil increased as the increase of crop planting frequency. Corn, soybeans and winter wheat were suitable to grow in 1 : 2 mixed soil, and potato was suitable in 1 : 5 mixed soil.

Key words: soft rock; sand; mixed soil; soil structure

粮食是人类赖以生存和发展的基本物质基础, 保证粮食安全是一个国家的立国之本^[1-2]。确保足够的粮食生产能力是保障粮食安全的核心^[3], 土地作为粮食生产的基础^[4], 其数量和质量是影响粮食安全的 2 个基本因素^[5-6]。据统计, 20 世纪 50 年代后我国耕地数量逐年减少, 2001 至 2007 年耕地由 12 760 万 hm^2 减少至 12 173 万 hm^2 , 7 年间共减少 587 万 hm^2 , 年均减少 83.8 万 hm^2 ^[6]。土地退化是造成我国耕地面积减少的重要原因之一, 而沙漠化则是我国土地退化的一个重要类型。作为我国四大沙区之一的毛乌素沙地, 其本身存在着巨大的挖掘潜力; 沙地境内, 土地沙漠化和砒砂岩的水土流失, 严重制约着该区域的可持续发展。Han 等^[5]研究提出, 毛乌素沙地的砒砂岩和沙二者物理构成存在一定的互补性, 将其按照一定比例混合后, 可以达到改善风沙土的理化性状、提高生产力的目的。刘定辉等^[7]研究表明, 植被尤其植物根系是改善土壤结构的一个重要因素, 植物根系可以增加土壤水稳性团聚体及有机质的含量, 稳定土层尤其是表土层结构, 创造抗冲性强的土体构型。吴淑杰等^[8]认为, 根系等对土壤的挤压是造成土壤水平结构差异的主要原因。通过砒砂岩与沙复配成土可形成新增土壤, 能有效增加耕地面积, 但目前, 对这种新生土壤的研究甚少, 因此, 探究砒砂岩与沙的复配技术以及作物种植季数对复配土理化性质的影响就显得极其必要, 这将有助于降低沙区砒砂岩和沙带来的危害, 充分

挖掘复配土壤的生产潜力, 对促进沙区农业的可持续发展具有重要意义。

本试验根据砒砂岩与沙复配成土组合方案的室内相关研究结果^[9], 在田间试验条件下以砒砂岩与沙混合比例为 1 : 1, 1 : 2 和 1 : 5 (均为体积比) 的 3 种复配土壤为培养介质, 种植适宜当地气候条件的农作物, 分析了砒砂岩与沙不同对比对复配土壤质地、水稳性团聚体含量、有机质含量及作物产量的影响, 同时探讨了不同复配比例下土壤理化性状随作物种植季数的动态变化特征, 以期为毛乌素沙地的开发利用以及该地区沙漠化和水土流失的治理提供参考。

1 材料与方法

1.1 材 料

试验所用沙土和砒砂岩样品均采自位于毛乌素沙地的陕西榆林市榆阳区小纪汗乡。试验在陕西省地产开发服务总公司富平实验基地进行。该基地位于陕西省中部的富平县 ($\text{E}108^{\circ}57' \sim 109^{\circ}26'$, $\text{N}34^{\circ}42' \sim 35^{\circ}06'$) 境内, 海拔 375.8~1 420.7 m, 气候属于大陆性季风温暖带半干旱型气候区, 年总辐射量 5 187.4 MJ/m^2 , 年平均日照时数约 2 389.6 h, 年均气温 13.1 $^{\circ}\text{C}$, 年平均降水量 527.2 mm (1960—1995 年), 降水年际变化大, 年降水量变异系数 (CV) 达到了 21.2%。供试砒砂岩和沙的基本理化性状见表 1。

表 1 砒砂岩和沙的基本理化性状^[10]

Table 1 Physical and chemical properties of tested soft rock and sand

指标 Index		砒砂岩 Soft rock	沙土 Sand
不同粒径土壤 颗粒所占比列/% Proportion	砂粒(≥0.05~<2 mm) Sand	19.57	91.39
	粉粒(≥0.002~<0.05 mm) Silt	72.94	5.51
	黏粒(<0.002 mm) Clay	7.49	3.10
质地 Texture		砂壤土 Sandy loam	砂土 Sand
体积质量/(g·cm ⁻³) Bulk density		1.42~1.67	1.57
结构 Structure		粒状,块状,层状 Granular,block and layer structures	单粒结构 Single structure
毛管孔隙度/% Capillary porosity		44.94	26.33
密实程度 Compactness		紧密 Hard	疏松 Loose
养分含量/ (g·kg ⁻¹) Nutrient content	有机质 Organic matter	3~5	1~3
	全氮 Total nitrogen	0.035	0.03
	全磷 Total phosphorus	0.001 9	0.002 6
	速效钾 Rapidly-available potassium	0.06	0.088
	pH	8.35	8.85
矿物组成/% Mineral composition	SiO ₂	64.67	78.05
	CaO	1.64	2.08
	Al ₂ O ₃	12.83	11.84
	Na ₂ O	1.15	—
	K ₂ O	3.00	2.16

注:“—”表示含量太少或者没有。
Note:“—”denotes lower than detectable limit.

1.2 试验设计

采用二因素随机试验设计,2 个因素分别为砒砂岩与沙混合比例和作物种植季数。砒砂岩与沙混合比例共设 3 个水平,第 1 季作物包括 3 个品种(玉米、大豆、马铃薯),第 2 季作物包括 2 个品种(小麦、马铃薯),共计 9 个处理(表 2),各处理设 3 个重复,小区规格为 2 m×2 m。根据小区立地条件,考虑光照、微地形等因素的均一性,9 个小区采取自南向北

“一”字型布设。通常土壤耕作层深度为 20~40 cm,因此试验小区内将砒砂岩与沙的混合层厚设为 0~30 cm。为了模拟实地条件,土壤剖面中 30~70 cm 土层完全用沙填装;土壤表层(0~30 cm)则依据试验设计要求首先添加厚度分别为 15,10 和 5 cm 的砒砂土,之后分别添加厚度分别为 15,20 和 25 cm 的沙,最后将砒砂岩与沙充分混匀。灌溉和施肥方式均按当地传统进行管理。

表 2 砒砂岩与沙混合比例及作物种类对土壤结构和作物产量影响的试验方案

Table 2 Experiment design of this study

小区编号 Plot number	V(砒砂岩):V(沙) V(Soft rock):V(Sand)	2010 年种植作物 Crops in 2010	2011 年种植作物 Crops in 2011
1	1:1	玉米 Maize	小麦 Wheat
2	1:1	大豆 Soybean	小麦 Wheat
3	1:1	马铃薯 Potato	马铃薯 Potato
4	1:2	大豆 Soybean	小麦 Wheat
5	1:2	马铃薯 Potato	小麦 Wheat
6	1:2	玉米 Maize	马铃薯 Potato
7	1:5	马铃薯 Potato	小麦 Wheat
8	1:5	玉米 Maize	小麦 Wheat
9	1:5	大豆 Soybean	马铃薯 Potato

供试玉米品种为“户单 4 号”,大豆品种为“秦豆 11 号”,马铃薯品种为“夏波蒂”,小麦品种为“小偃 22”。玉米按 24 株/小区的密度种植,大豆按 36 株/小区的密度种植;马铃薯用种薯切块按 36 株/小

区的密度种植;小麦籽种播种量为 135 kg/hm²。所有作物种植前均施足底肥,施磷酸二铵 300 kg/hm²,尿素 150 kg/hm²。玉米、大豆和马铃薯均只灌溉 1 次,追施尿素 1 次,用量 150 kg/hm²。小

麦灌水 3 次,每次 90 mm,冬灌(11-25)1 水,春灌(01-25)1 水,灌浆期(04-25)1 水,春季化学除草 1 次;小麦冬灌时追施尿素 150~225 kg/hm²,春灌追施尿素150~225 kg/hm²。

1.3 测定项目与方法

于作物种植前、第 1 季作物收获后(2010 年)和第 2 季作物收获后(2011 年)采集土壤样品,测定土壤质地、水稳性团聚体($\geq 0.25\sim<7.00$ mm)和土壤有机质含量。其中,土壤质地采用吸管法^[11]测定,水稳性团聚体含量用 Elliott 湿筛法^[12]测定,土壤有机质含量采用重铬酸钾外加热法^[13]测定。整个小区作物收获后测定作物产量。

1.4 数据处理

数据采用软件 SPSS 18.0 中的 ANOVA 进行方差分析,选择最小数法(LSD)进行差异显著性检验,并用 SigmaPlot 10.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 砒砂岩与沙混合比例及作物种植季数对复配土壤耕层质地的影响

土壤质地是影响土壤肥力的一个极其重要的因素,也是决定土壤蓄水、导水与保水、保温、通气、耕作等性能的主要因素之一,与作物栽培具有极为密切的关系^[14]。

由表 3 可知,砒砂岩与沙混合比例和种植作物

均对复配土壤耕层质地产生了一定的影响。从砒砂岩与沙的混合比例来看,种植作物前砒砂岩与沙 1:1 复配耕层土壤质地为壤土,随着拌沙比例的增加,耕层土壤质地从壤土向砂壤土转变;种植 1 季作物之后(2010 年),1:1,1:2 和 1:5 复配土壤耕层质地分别为砂壤土、壤砂土及壤砂土;种植 2 季作物之后(2011 年),1:1,1:2 和 1:5 复配土壤耕层质地均为壤砂土,但 3 种复配土壤耕层不同粒径颗粒组成之间仍存在差异,表现为砂粒含量随着拌沙比例的增加而增大,粉粒和黏粒均随拌沙比例的增加而降低。

随着作物种植季数的增加,1:1 复配土壤耕层质地发生了从壤土—砂壤土—壤砂土的转变,1:2 和 1:5 复配土壤耕层质地均发生从砂壤土—壤砂土—壤砂土的转变。这说明复配土壤耕层中的粉粒和黏粒在田间管理措施(灌溉、耕作等)的影响下可能会随着灌溉水从砂粒间的孔隙向下运移,故耕层土壤中二者的含量降低,使得耕层土壤的质地趋于砂质化,下层的土壤质地则趋于壤土化,土壤质地逐渐得到改良。因此,在沙地土地整治实践中可采取每隔一定年限在土壤表层中混合一定比例砒砂岩的方法,一方面可阻止耕层土壤质地返砂质化的现象出现,另一方面也可使下层土壤的质地持续得到改良。长期来看,整个土壤剖面中的宜耕层厚度可能呈逐渐增加的趋势。

表 3 砒砂岩与沙混合比例及作物种植季数对复配土壤耕层质地、水稳性团聚体和有机质含量的影响

Table 3 Effects of blending ratios(soft rock and sand) and crop planting frequency on soil texture, water stability aggregates and soil organic contents

种植季数 Planting season number	V(砒砂岩): V(沙) V(Soft rock): V(Sand)	不同土壤颗粒所占比例/% Proportion			质地 Texture	水稳性团聚体/% Water stability aggregate	有机质/ (g·kg ⁻¹) Organic
		砂粒 Sand	粉粒 Silt	黏粒 Clay			
种植前 Before planting	1:1	46.84	44.92	8.24	壤土 Loam	28.22±2.83 a	0.42±0.00 a
	1:2	64.67	30.04	5.29	砂壤 Sandy loam	21.55±2.40 a	0.48±0.00 a
	1:5	74.79	20.08	5.13	砂壤 Sandy loam	18.38±2.09 a	0.43±0.00 a
种植 1 季 (2010 年) Planting one season	1:1	68.46	24.02	7.52	砂壤 Sandy loam	29.29±4.31 a	0.64±0.16 a
	1:2	82.09	13.45	4.46	壤砂 Loamy sand	21.87±2.94 a	0.54±0.07 a
	1:5	82.40	13.20	4.40	壤砂 Loamy sand	18.02±1.94 a	0.78±0.03 a
种植 2 季 (2011 年) Planting two seasons	1:1	76.29	18.21	5.50	壤砂 Loamy sand	29.32±1.84 a	3.16±0.83 a
	1:2	81.79	13.94	4.27	壤砂 Loamy sand	23.92±1.55 b	1.27±0.33 a
	1:5	80.99	14.50	4.51	壤砂 Loamy sand	20.82±1.20 c	1.82±0.27 a
方差分析 Significance							
砒砂岩与沙混合比例 Blending ration						* * *	NS
作物种植季数 Crop planting season number						NS	* * *
砒砂岩与沙混合比例×作物种植季数 Blending ration×Crop planting season number						NS	*

注: * * *, * * 及 * 分别表示差异达到 $P=0.001$ 、 $P=0.01$ 、 $P=0.05$ 显著水平,NS 表示无显著差异,以下同。
Note: * * *, * * and * indicate significant difference at $P=0.001$, $P=0.01$ and $P=0.05$ levels, respectively. NS indicates no significant difference. The same below.

2.2 砒砂岩与沙混合比例及作物种植季数对复配土壤水稳性团聚体含量的影响

土壤团聚体是土壤结构最基本的单元,是土壤肥力的协调中心,影响着土壤的孔隙性、持水性、通透性和抗蚀性,是土壤性状的敏感性物理指标,可以用来反映生态恢复过程中土壤质量的演变历程^[8]。

由表 3 可见,砒砂岩与沙的混合比例明显影响了耕层土壤水稳性团聚体的含量,在同一种植季数下,砒砂岩与沙的混合处理土壤水稳性团聚体含量均表现为 1:1>1:2>1:5。随种植季数的增加,同一混合比例处理下土壤水稳性团聚体含量逐渐增大,作物种植季数以及二者之间的交互效应对耕层土壤水稳性团聚体含量无显著影响。种植第 2 季后,砒砂岩与沙按 1:1,1:2 及 1:5 比例复配土壤水稳性团聚体含量较种植之前分别提高了 3.9%,11.0%和 13.3%。可见,复配土壤物理结构随作物种植季数的增加呈现出良性发展的态势。

2.3 砒砂岩与沙混合比例及作物种植季数对复配土壤有机质含量的影响

土壤有机质是反映土壤质量和健康的重要指标之一,被认为是土壤质量和功能的核心^[15],能直接或间接地影响土壤的许多物理、化学及生物特性和过程^[16-17],而且作物产量与土壤有机质含量具有密切的联系^[18]。已有研究表明,土壤有机质含量提高 0.1%,可使作物产量提高 10%~20%^[19]。因此,在一定范围内,土壤有机质含量的增加,对促进作物生长发育、提高作物产量与品质具有至关重要的作用。

由表 3 可知,作物种植季数对复配土壤耕层有机质含量有极显著影响($P<0.001$),砒砂岩与沙混合比例对耕层土壤有机质含量影响不明显,二者之

间的交互效应显著影响了复配土壤耕层的有机质含量。3 种复配土壤耕层有机质含量始终均较低。种植作物之前不同混合比例的复配土壤有机质含量表现为 1:2>1:5>1:1,均小于 0.5 g/kg;种植 1 季作物之后表现为 1:5>1:1>1:2,均小于 0.8 g/kg;种植 2 季作物之后表现为 1:1>1:5>1:2,均高于 1 g/kg。3 种复配土壤耕层有机质含量均表现为随作物种植季数的增加呈逐渐增大的趋势,当砒砂岩与沙混合比例分别为 1:1,1:2 和 1:5 时,种植 2 季作物土壤的有机质含量较种植前平均分别增加了 2.74,0.79 和 1.39 g/kg。表明砒砂岩与沙复配土壤的肥力随作物种植季数的增加而逐渐增强,这对后期作物在复配土壤上的生长、复配土壤肥力的继续提高具有互相促进的作用。

2.4 砒砂岩与沙混合比例及作物种类对作物产量的影响

由表 4 可知,砒砂岩与沙混合比例对 2 季作物产量均产生了明显影响。总体而言,砒砂岩与沙 1:2 和 1:5 复配土壤作物产量较高,而砒砂岩与沙 1:1 复配土壤作物产量较低。结合表 3 可知,种植 2 季作物之后,砒砂岩与沙 1:1 复配土壤水稳性团聚体和有机质含量均明显高于砒砂岩与沙 1:2 与 1:5 复配土壤,但砒砂岩与沙 1:1 复配土壤作物产量却较低,造成这一现象的原因可能是由于试验所选作物更适宜于在砒砂岩与沙 1:2 和 1:5 复配土壤的质地上生长。砒砂岩与沙按不同比例复配土壤第 1 季作物产量表现为 1:2>1:5>1:1(第 1 季由于品种选择不当,导致 3 号、5 号及 7 号 3 个小区土豆绝收);复配土壤的第 2 季作物产量则表现为 1:5>1:2>1:1。

表 4 不同作物种植季数下砒砂岩与沙混合比例对作物产量的影响

Table 4 Effects of blending ratios on crop yields with different crops planting frequencies				
V(砒砂岩):V(沙) V(Soft rock):V(Sand)	2010		2011	
	种植作物 Crops	实际产量/(t·hm ⁻²) Actual crop yields	种植作物 Crops	实际产量/(t·hm ⁻²) Actual crop yields
1∶1	玉米 Maize	7.50	小麦 Wheat	6.30
	大豆 Soybean	2.88	小麦 Wheat	5.76
	马铃薯 Potato	—	马铃薯 Potato	25.11
1∶2	大豆 Soybean	4.60	小麦 Wheat	8.21
	马铃薯 Potato	—	小麦 Wheat	6.69
	玉米 Maize	8.75	马铃薯 Potato	29.25
1∶5	马铃薯 Potato	—	小麦 Wheat	6.41
	玉米 Maize	8.25	小麦 Wheat	7.91
	大豆 Soybean	3.96	马铃薯 Potato	35.24

注:“—”表示由于品种选择不当造成该处理作物当季绝收。
Note:“—” means no yields due to unsuitable selection of crop species.

从作物种类来看,砒砂岩与沙 1:2 复配土壤玉米和大豆实际产量最高,分别达 8.75 和 4.60

t/hm², 砷砂岩与沙 1 : 1 复配土壤 2 种作物实际产量均较低, 分别为 7.50 和 2.88 t/hm²; 砷砂岩与沙 1 : 2 复配土壤小麦实际产量平均为 7.45 t/hm², 砷砂岩与沙 1 : 1 复配土壤小麦实际产量较低, 平均为 6.03 t/hm²; 马铃薯于 2011 年在砷砂岩与沙 1 : 5 复配土壤上实际产量最高, 达 35.24 t/hm²。

可见, 作物产量不但受复配土壤混合比例的影响, 而且受作物种类的明显影响。

3 结 论

1) 砷砂岩与沙混合比例以及作物种植季数均对复配土壤耕层粒径组成产生了一定影响。随着拌沙比例及作物种植季数的增加, 耕层土壤的砂粒含量增加、粉粒和黏粒含量减少。复配土壤耕层质地随作物种植季数的增加趋于砂质化, 长期来看, 整个土壤剖面中的宜耕层厚度可能呈增大趋势。

2) 砷砂岩与沙混合比例对耕层土壤水稳性团聚体含量影响显著 ($P < 0.001$), 砷砂岩与沙 1 : 1 复配土壤的水稳性团聚体含量明显高于砷砂岩与沙 1 : 2 和 1 : 5 复配土壤, 复配土壤水稳性团聚体含量随作物种植季数增加而逐渐增大。

3) 不同比例复配土壤耕层有机质含量均小于 4 g/kg, 且种植 2 季作物后, 复配土壤有机质含量表现为 1 : 1 > 1 : 5 > 1 : 2, 且砷砂岩与沙 1 : 1 复配土壤有机质含量明显高于其他 2 种复配土壤; 不同比例复配土壤耕层有机质含量均表现为随作物种植季数增加而逐渐增加。

4) 砷砂岩与沙 1 : 2 和 1 : 5 复配土壤作物实际产量较高, 而砷砂岩与沙 1 : 1 复配土壤作物产量较低; 玉米、大豆和小麦适宜在砷砂岩与沙 1 : 2 复配土壤上种植, 马铃薯适宜在砷砂岩与沙 1 : 5 复配土壤上种植。

[参考文献]

[1] Herrero M, Thornton P K, Notenbaert A M. Smart investment in sustainable food production: Revisting mixed crop-livestock systems [J]. Science, 2010, 327: 828-830.

[2] Fedoroff N V, Battisti D S, Beachy R N. Radically rethinking agriculture for the 21st century [J]. Science, 2010, 327: 833-834.

[3] 刘军芳. 土地开发整理与粮食安全的关系探析 [J]. 山西农业科学, 2008, 36(9): 3-6.

Liu J F. The relationship between food security and land exploitation rearrangement in China [J]. Journal of Shanxi Agriculture Science, 2008, 36(9): 3-6. (in Chinese)

[4] 刘燕华, 杨勤业. 西藏自治区的土地、粮食和人口 [J]. 自然资

源学报, 1991, 6(2): 127-136.

Liu Y H, Yang Q Y. Land, food and population in the Tibet autonomous region [J]. Journal of Natural Resources, 1991, 6(2): 127-136. (in Chinese)

[5] Han J C, Xie J C, Zhang Y. Potential role of feldspathic sandstone as a natural water retaining agent in Mu Us Sandy Land, Northwest China [J]. Chinese Geographical Science, 2012, 22(5): 550-555.

[6] 李文学. 土地整理与粮食安全 [J]. 理论与当代, 2008(10): 42-45.

Li W X. Land rearrangement and food security [J]. Theory and Contemporary, 2008(10): 42-45. (in Chinese)

[7] 刘定辉, 李 勇. 植物根系提高土壤侵蚀性机理研究 [J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 34-38.

Liu D H, Li Y. Mechanism of plant root improving resistance of soil to concentrated flow erosion [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(3): 34-38. (in Chinese)

[8] 吴淑杰, 韩喜林, 李淑珍. 土壤结构、水分与植物根系对土壤能量状态的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(3): 24-26.

Wu S J, Han X L, Li S Z. The influence of soil structure, water content and plant root on soil energy appearance [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2003, 31(3): 24-26. (in Chinese)

[9] 韩霁昌, 刘彦随, 罗林涛. 毛乌素沙地砷砂岩与沙快速复配成土核心技术研究 [J]. 中国土地科学, 2012, 26(8): 87-94.

Han J C, Liu Y S, Luo L T. Research on the core technology of remixing soil by coft rock and sand in the Maowusu Sand Land region [J]. China Land Science, 2012, 26(8): 87-94. (in Chinese)

[10] 王愿昌, 吴永红, 李 敏, 等. 砷砂岩地区水土流失及其治理途径研究 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2007.

Wang Y C, Wu Y H, Li M, et al. Research on governance approach of soil erosion in Arsenic sandstone areas [M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 2007. (in Chinese)

[11] 朱东海. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980: 466-536.

Zhu D H. Soil physical and chemical analysis [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980: 466-536. (in Chinese)

[12] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1986, 50(3): 627-633.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-34.

Bao S D. Soil chemical analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 30-34. (in Chinese)

[14] 刘 毅. 根据土壤质地制定作物栽培方案 [J]. 青海农林科技, 2001(3): 61.

Liu Y. The scheme of crop cultivation according to soil texture [J]. The Science and Technology of Qinghai Forestry, 2001(3): 61. (in Chinese)