

DOI: 10.5846/stxb201401110081

陈超, 刘洪来, 杨丰, 王丽学, 郝俊. 羊草草地对原地放堡振动间隔松土的响应. 生态学报, 2014, 34(19): 5494-5502.

Chen C, Liu H L, Yang F, Wang L X, Hao J. Response of *Leymus Chinensis* grassland to situ-vibration scarifying technique. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(19): 5494-5502.

羊草草地对原地放堡振动间隔松土的响应

陈 超^{1,2}, 刘洪来^{1,*}, 杨 丰¹, 王丽学³, 郝 俊¹

(1. 贵州大学动物科学学院, 贵阳 550025; 2. 中国农业大学动物科学技术学院, 北京 100193;

3. 天津市畜牧兽医研究所, 天津 300381)

摘要:以虚实并存耕作理论为指导, 运用原地放堡振动间隔松土技术, 采用野外观测、实地取样与室内分析相结合的方法研究了原地放堡振动间隔松土对羊草草地的改良效果。结果表明, 原地放堡振动间隔松土提高了羊草草地植物高度、盖度、生物量和多样性, 增加了优良类牧草所占比例和载畜力; 运用原地放堡振动间隔松土技术改良羊草草地使每公顷草地植物生产层平均每年增加直接经济收益为 1119.0 元, 动物生产层增加直接经济收益 2142.0 元, 前植物生产层潜在(固碳)经济效益为 219.5 元。通过样地监测和分析可以得出, 原地放堡振动间隔松土措施适用于大面积改良羊草草地和其它优质高产的根茎型草地。

关键词:原地放堡; 羊草草地; 植被特征; 植被多样性; 经济效益

Response of *Leymus Chinensis* grassland to situ-vibration scarifying technique

CHEN Chao^{1,2}, LIU Honglai^{1,*}, YANG Feng¹, WANG Lixue³, HAO Jun¹

1 College of Animal Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China

2 College of Animal Sciences & Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

3 Institute of Animal Husbandry & Veterinary Research of Tianjin, Tianjin 300381, China

Abstract: *Leymus Chinensis* grassland is one of the major types in the Eurasian steppe region, however, *Leymus Chinensis* grassland is in heavy degradation, for example, soil compacted, good kinds of grass decreased, etc. which is owing to lack of good management for long time. So expert of China Agriculture University developed situ-vibration scarifying machine which is based on zone tillage theory, and the machine was applied to reform *Leymus Chinensis* grassland in 2007. Then, in year of 2009 and 2012, field observation, sampling and laboratory analysis were used to analyze the effects. The results showed that application of situ-vibration scarifying technique on *Leymus Chinensis* grassland improved the vegetation height, coverage, biomass and biodiversity, increased the proportion of good pasture and the animal carrying capacity. The method increased farmer's income, including 1119.0 Yuan $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ in plant production layer, or 2142.0 Yuan $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ in animal production layer, and 219.5 Yuan $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ in potential economic benefit (that is carbon sequestration). Through monitoring and analysis, it can be drawn that the situ-vibration scarifying technique is suitable for improve *Leymus Chinensis* grassland or other high-quality rhizome grasslands.

Key Words: situ-vibration scarifying; *Leymus Chinensis* grassland; vegetation characteristics; plant diversity; economic benefit

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31101751); 贵州省科技厅项目(黔科合 NY 字[2012]3011 号, 黔科合 J 字[2011]2325 号)

收稿日期: 2014-01-11; 修订日期: 2014-03-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lhonglai@126.com

羊草 (*Leymus chinensis*) 草地是欧亚大陆草原区的主要类型之一,在我国主要分布在东北平原和内蒙古高原东部,总面积约为 $1.22 \times 10^7 \text{ hm}^2$ [1-2]。由于羊草的适口性较高、生境阈值广,同时羊草在防风固沙、保持水土、涵养水源、维持生物多样性等方面起到的积极作用,使得羊草草地成为适宜我国北方的主要草地类型之一,为我国畜牧业的发展和生态环境的保护提供了重要保障 [3]。长期以来,由于人们对羊草草地的经营不善,尤其是过度利用所导致土壤板结紧实,优良牧草的种类、数量日渐减少,草地生产力和载畜力显著下降,加速了草地退化、沙化和盐碱化过程,严重地威胁中国的食物安全和生态安全 [4-6]。为了使羊草草地生产、生态功能得到可持续发展的发挥,应采取适当措施对草地进行科学改良。

草地改良的方法主要有耩耙压播、免耕补播、浅翻耕、划破草皮和围栏封育等,应用于羊草草地均可不同程度提高草地植物多样性和生产力 [7-9]。但上述改良措施也在一定程度上存在一定缺陷,如耩耙压播和浅翻耕会严重破坏草地植被状况,裸露的土壤在春季大风期间极易成为沙尘暴沙源而影响生态环境,进而加速草地土壤粗化过程 [10-11];免耕补播不适宜在自然环境中以无性繁殖为主、有性生殖为辅的牧草草种(如羊草);划破草皮因破坏了草地原有表皮层而导致作业后地表不平整,同时没有进行亚表层切根,不利于牧草的繁育更新 [2];围栏封育恢复时间较长,对土壤板结紧实的缓解作用较小,且在封育期间要排除家畜的放牧干扰 [11]。

针对目前我国羊草草地土壤板结严重、坚实度高的特点,中国农业大学工学院课题组结合草原农艺要求,根据“虚实耕作”原理,研制出了原地放堡振动间隔松土机,该设备应用振动式间隔松土原理,采用前导切割系统,振动式倒梯形松土部件和带齿镇压装置,实现高坚实度条件下草地土壤的虚实耕作和原地放堡 [12]。本研究采用成对设计的研究方法,通过监测试验分析原地放堡振动间隔松土(以下简称原地放堡)对羊草草地植被数量特征、多样性、载畜力及经济效益的变化,以期退化羊草草地及其他根茎型草地的恢复改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于河北沽源草地生态系统国家野外科

学观测研究站($41^{\circ}44'—41^{\circ}46' \text{ N}$, $115^{\circ}31'—115^{\circ}48' \text{ E}$,海拔 1380—1421 m),地处河北省张家口市;该地区属于半干旱大陆季风气候,年降水量约 430 mm,主要集中于 7—9 月;年均温 1°C ,1 月份平均气温 -18.6°C ,7 月份平均气温分别为 17.6°C ;无霜期 85—110 d, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 1900°C [13-14]。该试验区草地以羊草为优势种,5 月初开始萌发,9 月末枯黄;主要伴生种有披针叶黄华 (*Thermopsis lanceolata*)、漠蒿 (*Artemisia desertorum*) 及平车前 (*Plantago depressa*) 等,土壤类型为栗钙土 [15]。

1.2 试验设计与样品处理

试验样地设置在野外站东南方向,总面积为 100 hm^2 ,南北长 2 000 m,东西宽 500 m,以该区域外的草地作为对照区。在 2007 年 5 月草地返青之前,采用 9ST-460 型草地振动式间隔松土机与 TN654 型拖拉机配套进行草地切根松土作业试验。单组工作部件松土宽度 28 cm,采用 4 组工作部件,间隔 60 cm,未松土部分宽度 32 cm,松土深度为 15—20 cm,作业速度为慢速 3 档,约为 3.5 km/h [14,16]。

草地调查取样分别于 2009 年 8 月和 2012 年 8 月进行。在处理区和对照区随机选择 5 个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的样方,记录每个样方内地植物种类,采用草地调查常规方法测定各物种的高度、盖度、密度和地上生物量 [17]。采用土钻法在试验区和对照区取 0—20 cm,20—40 cm 深的土壤样品,每个土样质量 $\geq 1 \text{ kg}$,共计 40 个样本;土样自然风干、挑出植物根茎和石砾后过 2 mm 筛用于有机碳的测定 [18];用环刀(体积 100 cm^3)取土芯测定土壤容重。

1.3 数据分析与处理

研究区植物的重要值和多样性指数采用如下公式计算 [19-21]:

重要值 (Important value) $P_i = (R_H + R_C + R_D) / 3$

丰富度指数 (Margalef index) $M = (S - 1) / \ln N$

多样性指数 (Simpson index) $D = 1 - \sum P_i^2$

均匀度指数 (Pielou index) $J = (\sum P_i \ln P_i) / \ln S$

Cody 指数 $\beta_c = [g(H) + l(H)] / 2$

Bray-Curtis 指数 $C_N = 2jN / (aN + bN)$

式中, R_H 为相对高度; R_C 为相对盖度; R_D 为相对密度; S 为样方内物种的总数; N 为样方内植物个体数; $g(H)$ 是沿生境梯度 H 增加的物种数目; $l(H)$ 是沿生境梯度 H 失去的物种数目,即在上一个梯度中存在

而在下一个梯度中没有的物种数目; aN 为样地 A 的物种数目; bN 为样地 B 的物种数目; jN 为样地 A (jNa) 和 B (jNb) 共有种中个体数目较小者之和, 即 $jN = \sum_{\min}(jNa+jNb)$ 。

土壤有机碳密度采用如下公式计算^[22]:

$$SOCD = 1/10 \sum D_i \times BD_i \times SOCC_i$$

式中, SOCD 为土壤有机碳密度 (g/m^2); D_i 为土层间隔 (cm); BD_i 为第 i 层土壤容重 (g/cm^3); $SOCC_i$ 为第 i 层土壤有机碳质量分数 (%)。

根据牧草的的饲用经济特性, 将植物生产层中优等、良等、中等、低劣等牧草利用率分别按 80%、60%、40% 和 20% 计算, 牧草干鲜比按照 1:5 计算^[23], 2009 年和 2012 年干草价格分别为 0.9 元/kg 和 1.5 元/kg; 动物生产层增加的经济效益按照每只绵羊每天增重 0.15 kg, 全年放牧时间为 120 d, 羊肉价格为 50 元/kg 计算; 前植物生产层潜在(固碳)的经济效益按照 251.40 元/t 计算^[24]。植物生产层、动物生产层以及前植物生产层所产生的经济效益均采用 2009 年和 2012 年每公顷草地的经济效益总和与成本之差的平均值, 草地采用原地放堡振动间隔松土的成本为 300 元。

基础数据采用 Microsoft Excel 2007 软件进行整理, 利用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 对试验区和对照区各指标进行差异显著性检验, 并利用最小显著性极差法 (LSR) 进行多重比较, ANOVA、LSR 均在 SPSS16.0 软件中进行, 表中不同字母代表 5% 水平下差异显著性。

2 结果与分析

2.1 羊草草地植被数量特征对原地放堡的响应

在 2009 年和 2012 年羊草草地的调查中, 共出

现 49 种植物, 隶属于 17 科 40 属 (表 1)。其中菊科 (Compositae) 植物 13 种, 占调查植物种类的 26.5%; 其次为禾本科 (Gramineae) 和蔷薇科 (Rosaceae), 分别为 7 种和 6 种, 各占 14.3% 和 12.2%。在原地放堡后第 3 年 (即 2009 年) 研究区出现 35 个物种, 处理区和对照区共有种为 13 个, 机械松土新增加了海乳草 (*Glaux maritima*)、扁蓿豆 (*Medicago ruthenica*) 等 15 个物种, 消失的物种为猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*)、白花马蔺 (*Iris actea*) 等 7 种; 研究区原地放堡后第 6 年 (即 2012 年) 出现 32 个物种, 处理区和对照区共有种为 12 个, 原地放堡新增物种为平车前 (*Plantago depressa*), 并头黄芩 (*Scutellaria scordifolia*) 等 15 种, 消失物种为滨藜 (*Atriplex*)、碱蓬 (*Suaeda heteroptera*) 等 5 种。研究区在 2009 年和 2012 年各样地的共有物种为羊草、披针叶黄华 (*Thermopsis lanceolata*) 等 7 个物种, 隶属于 4 科 7 属。随着时间的推移, 处理样地中 2012 年在 2009 年的基础上新增猪毛蒿、皱叶委陵菜 (*Potentilla antrifolia*) 等 12 个物种; 同时有狼毒 (*Stellera chamaejasme*)、旋覆花 (*Inula japonica*) 等 12 个物种消失。羊草草地经过原地放堡处理, 草地群落发生变化, 处理样地盖度和生物量比对照样地增加 62.3% 和 33.8%, 密度减少 25.0%。原地放堡后形成虚实并存土层, “虚部” 实现蓄水、蓄热功能, 成为 “土壤水库、热库”; 虚部孔隙度的增加创造出好气性环境, 使微生物矿化分解活动加强, 增加了植被生长发育提供所需的养分, 起到 “土壤肥库” 作用; “实部” 的毛管浸润提墒供水, 具有 “抽水机” 的作用^[25]。虚实耕作协调了水分贮存与供应, 可以抗春旱、防夏涝、秋墒春用, 同时起到提高土壤肥力的作用; 因此处理区的盖度和生物量等数量指标优于对照区。

表 1 研究区原地放堡后植被数量特征随时间的变化对比

Table 1 Comparison of plant quantitative characteristics between grassland situ-vibration scarifying and control area

植物种 Species	2009 年 (原地放堡后第 3 年) Year of 2009 (3rd year after situ-vibration scarifying)				
	高度 Height/ cm	盖度 Coverage/ %	密度 Density/ (株/ m^2)	生物量 Biomass/ (g/m^2)	重要值 IV
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	43.2/22.3	35.6/35.0	935/1098	339.5/249.3	0.66/0.72
披针叶黄华 <i>Thermopsis lanceolata</i>	11.8/10.5	2.4/1.0	24.2/9.6	24.6/7.4	0.04/0.03
漠蒿 <i>Artemisia desertorum</i>	13.0/4.0	0.0/0.0	0.4/0.4	0.0/0.0	0.01/0.01
苣荬菜 <i>Sonchus brachyotus</i>	11.0/7.4	0.0/0.8	0.2/6.8	0.0/3.2	0.01/0.01
野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i>	8.0/5.8	0.2/0.0	1.8/1.2	2.7/0.3	0.01/0.01

续表

植物种 Species	2009 年(原地放堡后第 3 年) Year of 2009 (3rd year after situ-vibration scarifying)				
	高度 Height/ cm	盖度 Coverage/ %	密度 Density/ (株/m ²)	生物量 Biomass/ (g/m ²)	重要值 IV
皱黄芪 <i>Astragalus tataricus</i>	6.3/4.5	0.8/0.0	2.2/0.4	0.9/0.3	0.01/0.01
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	6.0/4.3	0.0/0.4	0.0/1.2	0.02/3	0.01/0.01
兴安天门冬 <i>Asparagus dauricus</i>	4.0/6.7	0.0/0.4	0.2/3.4	0.0/0.5	0.00/0.01
平车前 <i>Plantago depressa</i>	4.7/3.0	2.6/0.0	34.2/0.2	9.1/0.0	0.03/0.00
并头黄芩 <i>Scutellaria scordifolia</i>	4.9/7.0	0.4/0.0	8.6/0.2	1.5/0.0	0.01/0.01
掌状多裂委陵菜 <i>Potentilla multifida</i>	5.0/6.0	0.0/0.4	0.4/2.4	0.0/1.0	0.01/0.01
狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	5.4/5.0	0.0/0.0	0.8/0.6	0.0/0.1	0.01/0.01
旋覆花 <i>Inula japonica</i>	3.0/5.3	0.0/0.0	0.4/1.0	0.0/0.0	0.00/0.01
海乳草 <i>Glaux maritima</i>	2.0/-	0.0/-	0.0/-	0.0/-	0.00/-
扁蓿豆 <i>Medicago ruthenica</i>	6.3/-	1.3/-	13.4/-	1.4/-	0.02/-
迷果芹 <i>Sphallerocarpus gracilis</i>	6.8/-	0.8/-	3.2/-	2.6/-	0.01/-
问荆 <i>Equisetum arvense</i>	15.6/-	1.6/-	11.4/-	33.5/-	0.05/-
滨藜 <i>Atriplex</i>	3.0/-	0.0/-	0.2/-	0.0/-	0.00/-
朝天委陵菜 <i>Potentilla supina</i>	13.0/-	0.0/-	0.2/-	0.0/-	0.01/-
蔓茎蝇子草 <i>Silene repens</i> Patr	9.0/-	0.0/-	0.2/-	0.0/-	0.01/-
独行菜 <i>Lepidium apetalum</i>	8.0/-	0.0/-	0.4/-	0.0/-	0.01/-
三叶委陵菜 <i>Potentilla freyniana</i>	8.0/-	0.0/-	0.2/-	0.0/-	0.01/-
西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i>	7.0/-	0.0/-	0.2/-	0.0/-	0.01/-
草地风毛菊 <i>Saussurea japonica</i>	4.0/-	0.0/-	0.6/-	0.0/-	0.00/-
束花粉报春 <i>Primula fasciculata</i>	2.0/-	0.2/-	0.8/-	0.0/-	0.00/-
瓣蕊唐松草 <i>Thalictrum petaloideum</i>	3.0/-	0.0/-	0.0/-	0.0/-	0.00/-
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	9.9/-	0.6/-	12.6/-	3.7/-	0.02/-
菊叶委陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i>	16.5/-	0.0/-	0.4/-	0.0/-	0.02/-
猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	-/2.8	-/0.4	-/1.7	-/0.7	-/0.01
白花马蔺 <i>Iris actael</i>	-/17.9	-/0.4	-/3.4	-/6.9	-/0.04
针茅 <i>Stipa krylovii</i>	-/9.6	-/0.4	-/3.8	-/2.7	-/0.02
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	-/19.0	-/0.0	-/0.8	-/0.0	-/0.03
中华小苦菜 <i>Ixeridium chinense</i>	-/6.0	-/0.4	-/2.4	-/1.0	-/0.01
草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	-/17.5	-/0.0	-/0.4	-/0.0	-/0.03
长叶碱毛茛 <i>Halerpestes ruthenica</i>	-/3.1	-/0.4	-/9.2	-/2.2	-/0.01
皱叶委陵菜 <i>Potentilla ancistrifolia</i>	—	—	—	—	—
长叶紫菀 <i>Aster dolichophyllus</i>	—	—	—	—	—
长叶碱毛茛 <i>Halerpestes ruthenica</i>	—	—	—	—	—
黄花草木樨 <i>Melilotus suaveolens</i>	—	—	—	—	—
额河千里光 <i>Senecio argunensis</i>	—	—	—	—	—
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>	—	—	—	—	—
鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i>	—	—	—	—	—
地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i>	—	—	—	—	—
尖叶唐松草 <i>Thalictrum acutifolium</i>	—	—	—	—	—
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	—	—	—	—	—
乳苣 <i>Mulgedium tataricum</i>	—	—	—	—	—
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	—	—	—	—	—
碱茅 <i>Puccinellia distans</i>	—	—	—	—	—
碱蓬 <i>Suaeda heteroptera</i>	—	—	—	—	—

续表

植物种 Species	2012 年(原地放垦后第 6 年)				
	Year of 2012 (6th year after situ-vibration scarifying)				
	高度 Height/ cm	盖度 Coverage/ %	密度 Density/ (株/m ²)	生物量 Biomass/ (g/m ²)	重要值 IV
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	59.0/45.5	51.0/19.8	673/1042	522.3/488.3	0.52/0.68
披针叶黄华 <i>Thermopsis lanceolata</i>	25.0/11.5	2.8/0.2	13.3/5.3	26.2/5.7	0.03/0.02
漠蒿 <i>Artemisia desertorum</i>	34.8/27.0	2.8/1.5	19.7/15.3	50.1/18.1	0.04/0.05
苣荬菜 <i>Sonchus brachyotus</i>	11.0/12.4	0.1/0.3	1.0/5.0	2.6/6.0	0.00/0.02
野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i>	45.8/24.5	1.0/0.3	9.0/3.0	17.6/7.7	0.03/0.03
皱黄芪 <i>Astragalus tataricus</i>	17.3/16.0	2.2/0.2	2.0/0.3	10.2/1.1	0.02/0.02
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	28.0/9.6	0.2/0.8	0.3/3.0	1.6/7.6	0.01/0.02
兴安天门冬 <i>Asparagus dauricus</i>	8.0/8.5	0.0/0.0	0.3/1.0	0.1/0.7	0.00/0.01
平车前 <i>Plantago depressa</i>	14.9/-	0.5/-	2.7/-	6.4/-	0.01/-
并头黄芩 <i>Scutellaria scordifolia</i>	11.1/-	0.1/-	30.7/-	4.7/-	0.01/-
掌状多裂委陵菜 <i>Potentilla multifida</i>	32.6/-	1.3/-	3.3/-	6.8/-	0.02/-
狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	—	—	—	—	—
旋覆花 <i>Inula japonica</i>	—	—	—	—	—
海乳草 <i>Glaux maritima</i>	9.5/9.8	0.0/0.2	0.3/1.0	0.2/3.2	0.00/0.01
扁蓿豆 <i>Medicago ruthenica</i>	26.7/-	1.2/-	4.3/-	7.5/-	0.02/-
迷果芹 <i>Sphallerocarpus gracilis</i>	28.5/-	0.0/-	0.7/-	0.5/-	0.01/-
问荆 <i>Equisetum arvense</i>	34.4/-	14.8/-	20.0/-	122.0/-	0.09/-
滨藜 <i>Atriplex</i>	-/3.0	-/0.0	-/2.0	-/0.2	-/0.00
朝天委陵菜 <i>Potentilla supina</i>	—	—	—	—	—
蔓茎蝇子草 <i>Silene repens</i> Patr	—	—	—	—	—
独行菜 <i>Lepidium apetalum</i>	—	—	—	—	—
三叶委陵菜 <i>Potentilla freyniana</i>	—	—	—	—	—
西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i>	—	—	—	—	—
草地风毛菊 <i>Saussurea japonica</i>	—	—	—	—	—
束花粉报春 <i>Primula fasciculata</i>	—	—	—	—	—
瓣蕊唐松草 <i>Thalictrum petaloideum</i>	—	—	—	—	—
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	—	—	—	—	—
菊叶委陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i>	—	—	—	—	—
猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	41.5/-	0.7/-	2.7/-	6.1/-	0.02/-
白花马蔺 <i>Iris acaulis</i>	-/32.6	-/0.7	-/13.7	-/31.0	-/0.05
针茅 <i>Stipa krylovii</i>	—	—	—	—	—
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	—	—	—	—	—
中华小苦菜 <i>Ixeridium chinense</i>	—	—	—	—	—
草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	—	—	—	—	—
长叶碱毛茛 <i>Halerpestes ruthenica</i>	—	—	—	—	—
皱叶委陵菜 <i>Potentilla anisotricha</i>	9.5/12.3	0.2/0.2	0.3/2.3	0.8/3.1	0.00/0.01
长叶紫菀 <i>Aster dolichophyllus</i>	29.8/2.0	0.2/0.0	0.5/0.3	1.6/0.3	0.01/0.00
长叶碱毛茛 <i>Halerpestes ruthenica</i>	9.2/4.8	0.2/0.0	9.3/5.0	13.3/2.6	0.01/0.01
黄花草木樨 <i>Melilotus suaveolens</i>	56.1/-	1.3/-	1.7/-	4.7/-	0.02/-
额河千里光 <i>Senecio argunensis</i>	31.0/-	1.5/-	7.3/-	20.9/-	0.02/-
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>	38.3/-	0.8/-	3.7/-	2.4/-	0.02/-
鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i>	34.8/-	2.8/-	19.7/-	50.1/-	0.03/-
地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i>	11.0/-	0.1/-	0.3/-	0.1/-	0.00/-
尖叶唐松草 <i>Thalictrum acutifolium</i>	32.5/-	0.5/-	3.3/-	3.9/-	0.01/-
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	16.5/-	0.5/-	1.3/-	4.7/-	0.01/-
乳苣 <i>Mulgedium tataricum</i>	13.1/-	0.2/-	1.3/-	1.8/-	0.01/-
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	-/42.0	-/0.0	-/9.3	-/10.0	-/0.04
碱茅 <i>Puccinellia distans</i>	-/18.2	-/0.5	-/0.7	-/2.9	-/0.02
碱蓬 <i>Suaeda heteroptera</i>	-/4.5	-/0.0	-/0.7	-/0.3	-/0.00

A/B: A 代表处理样地, B 代表对照样地; 表中地上生物量为鲜重; “—”表示没有发现该物种

2.2 羊草草地植物多样性对原地放堡地响应

羊草草地经过原地放堡的第 3 年,处理样地物种丰富度显著高于对照样地(表 2),而均匀度没有显著变化,从而导致多样性指数显著高于对照样地;而原地放堡后第 6 年,处理样地物种丰富度、均匀度和多样性指数之间差异不显著。原地放堡初期植物多样性的增加可能是由于原地放堡对持久土壤种子库形成干扰而引起其萌发所致的^[26]。原地放堡对草地生境的改变有利于羊草等优势种的生长,并使其在生态系统中所占有更宽的生态位;而猪毛蒿等

物种在处理样地中的生态位宽度缩小并逐渐消失(种群竞争)。Cody 指数和 Byra-Curtis 指数均属于 β 多样性,其中 Cody 指数只考虑某物种在群落中的存在与否,而不关注其数目;Byra-Curtis 指数除考虑物种的存在与否以外还关注每一个物种的数量或相对多度,从而可以更好的测算稀疏种的作用^[20]。本研究中,2009 年和 2012 年研究区的 Cody 指数为 18.50 和 17.00,Byra-Curtis 指数为 39.53 和 32.00;表明随着原地放堡处理时间的推移,处理样地和对照样地物种沿环境梯度的替代速率逐渐减小。

表 2 研究区原地放堡后草地植被多样性随时间的变化对比

多样性指数 Diversity index	2009 年(原地放堡后第 3 年) Year of 2009 (3 rd year after situ-vibration scarifying)		2012 年(原地放堡后第 6 年) Year of 2012 (6 th year after situ-vibration scarifying)	
	处理样地 Treatment area	对照样地 Control area	处理样地 Treatment area	对照样地 Control area
Margalef 指数 Margalef index	1.87±0.29a	1.20±0.36b	2.24±0.48a	1.32±0.67a
Simpson 指数 Simpson index	0.51±0.03a	0.44±0.04b	0.67±0.15a	0.46±0.10a
Pielou 指数 Pielou index	0.50±0.02a	0.49±0.04a	0.65±0.12a	0.67±0.33a
Byra-Curtis 指数 Byra-Curtis index	39.53		32.00	
Cody 指数 Cody index	18.50		17.00	

同行不同小写字母代表 5%水平下差异显著

2.3 羊草草地饲用价值和经济效益分析

羊草草地经过原地放堡处理的第 3 年和第 6 年,优、良、中类牧草的盖度、生物量、可利用产量和载畜量均呈现不同程度的增加(表 3),低劣类牧草在处理样地第 3 年基本消失,第 6 年呈现增加趋势。处理样地载畜量 2009 年和 2012 年分别比对照样地

高 1.7 和 3.3 个羊单位。经过对原地放堡作业的羊草草地连续 6a 的调查试验得出,每改良 1 hm²羊草草地,平均每年植物生产层增加直接经济收益为 1119.0 元,动物生产层增加直接经济收益 2142.0 元,前植物生产层潜在(固碳)经济效益为 219.5 元。

表 3 研究区原地放堡后草地生产性能随时间的变化对比

牧草等级 Forage rating	2009 年(原地放堡后第 3 年) Year of 2009 (3 rd year after situ-vibration scarifying)				2012 年(原地放堡后第 6 年) Year of 2012 (6 th year after situ-vibration scarifying)			
	盖度 Coverage/ %	生物量 Biomass/ (g/m ²)	可利用产量 Available yield/ (g/m ²)	载畜量 Herbivore capacity/ (羊单位/hm ²)	盖度 Coverage/ %	生物量 Biomass/ (g/m ²)	可利用产量 Available yield/ (g/m ²)	载畜量 Herbivore capacity/ (羊单位/hm ²)
优等牧草 Excellent Forage	38.5/36.6	344.4/257.8	275.5/206.2	4.6/3.4	56.5/21.8	554.3/519.1	443.4/415.3	7.4/6.9
良等牧草 Good Forage	4.2/0.4	42.6/1.0	25.6/0.6	0.4/0.0	20.4/0	189.3/0.3	113.6/0.18	1.9/0.0
中等牧草 Medium Forage	3.6/1.8	32.5/15.3	13.0/6.1	0.2/0.1	7.7/2.7	118.1/65.3	47.2/1.6	0.8/0.0
低劣牧草 Inferior Forage	0.2/1.2	0.0/3.8	0.0/0.76	0.0/0.0	2.4/0.2	27.5/4.1	5.5/0.8	0.1/0.0
小计 Total	46.5/40.0	419.5/277.9	314.1/213.5	5.2/3.5	87.0/24.7	889.2/588.8	609.7/417.9	10.2/6.9

A/B;A 代表处理样地,B 代表对照样地

3 讨论

羊草草地土壤板结限制其生产和生态功能的发挥。本试验表明,原地放垡措施可以增加羊草草地的盖度和生物量,其主要原因是原地放垡措施在破除土壤紧实的同时提高了土壤含水量和土壤肥力^[15],增加了土壤热容量、减少了土壤散热性,从而提高地温 0.5—1℃,原地放垡措施充分协调了耕层土壤中水、肥、气、热状态,达到用地与养地结合,为作物生长发育创造良好的土壤环境。原地放垡措施对土壤水分的影响程度与闫志坚等在中国北方半干旱退化草地进行的浅翻耕处理对水分的影响基本一致,而对土壤肥力的影响优于浅翻耕处理和条带式改良处理^[27-28]。原地放垡振动间隔松土处理后与对照样地相比其含水率增加 24.15%,土壤有机质质量分数增加 31.72%,全氮质量分数增加 23.08%^[14]。土壤水热条件和肥力状况的优化促进了植被的生长发育,引起植被盖度和生物量的增加;该效果优于王丽娟在内蒙古采用禁牧措施和安耕在腾格里沙漠南缘的围封结果^[29-30],与武广伟等在河北沽源的松土试验和保平在内蒙古锡林郭勒的免耕试验效果相当^[31-32]。

生物多样性是草地生态系统可持续发展和草地健康的核心,是人类赖以生存的基础^[33]。本试验表明,原地放垡第 3 年群落的生物多样性显著高于对照样地,而第 6 年则差异不显著。该结果与王国梁等在安塞县纸坊沟流域和孙磊等在西藏安多开展的围封试验结果基本一致^[34-35];虽然原地放垡初期和围栏措施都可以不同程度地提高草地生物多样性,但是其影响机理却存在一定差异。原地放垡后多样性增加主要是由于人为干扰土壤种子库造成的,而封育则是排除外界干扰,通过自组织使小环境发生改变而导致其它物种逐渐侵入;另外多样性增加的速度和保持的时间也不一样,原地放垡多样性会在干扰后短期内迅速增加,之后随着时间的增加物种多样性会逐渐降低,围栏封育多样性增加所需时间较长,之后一般会趋于相对稳定状态。

草地改良是指在不破坏或很少破坏草地原生植被的条件下,用草地学、农学、生态学的基本原理和方法,通过各种措施优化天然草群成分,提高草地植被盖度和生产力^[36]。本试验表明,经过原地放垡第

3 年和第 6 年,第一性生产力量比对照样地增加 50.9% 和 52.7%,第二性生产力分别提高 1.7 个羊单位/hm² 和 3.3 个羊单位/hm²;该结果优于安耕等在甘肃省的围栏封育、左万庆等在吉林省的围栏封育、宝音贺希格等在内蒙古的免耕补播和沈景林等在青海省划破草皮试验的改良效果^[7,35-38];浅翻耕、深翻耕、松土补播等措施改良羊草草地会使其受到一定程度的破坏,作业后第 1 年羊草草地植被生长缓慢,草地上留有 25%—30% 的裸露土壤,容易为沙尘暴提供沙源;在羊草草地实施切根松土过程中,切根松土部件易将草根拉出或缠绕草根,在土壤含水量低于 10% 以下作业时土壤翻垡率明显增加,土壤破坏率达 40% 以上^[2]。原地放垡对牧草的增产低于管春德在云南省开展的浅翻耕试验结果,这可能是由于实验区地点气候条件相差较大的原因所导致的^[39]。与浅翻耕、深翻耕、松土补播和围栏放牧相比,原地放垡所有过程只是虚部动土且具有实部做“骨架”,具有高效、低耗、动土量小、后效时间长、不易回实等优点^[40-41]。采用原地放垡改良的最佳时间应选择在秋季牧草休眠之后、春季牧草返青之前进行,这样既可以避免由于改良造成的部分裸露土壤被风蚀,又可以有效利用冰雪解冻的水分,改良后的受益时间可达 8a。

4 结论

(1) 原地放垡振动间隔松土措施使羊草样地植被盖度提高约 60%,使羊草草地生物量增加约 30%,可利用牧草产量增加约 45%;处理样地 α 多样性得到不同程度提高, β 多样性随时间的增加逐渐减小。

(2) 原地放垡振动间隔松土措施提高了羊草草地载畜力,连续 6a 的调查试验得出,每改良 1 hm² 羊草草地,平均每年植物生产层增加直接经济效益为 1119.0 元,动物生产层增加直接经济效益 2142.0 元,前植物生产层潜在(固碳)经济效益为 219.5 元。由此可见,原地放垡振动间隔松土措施适用于大面积改良优质、高产的羊草草地和其它根茎型草地。

References:

- [1] Jia S X. Forage floras of Chinese [M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1987.
- [2] Bao P. Situation and developing tendency *Leymus chinensis* grassland mechanized improvement in China. Journal of Inner

- Mongolia Agricultural University, 2002, 23(4): 116-118.
- [3] Dai R, Liu Z H, Lou M Y, Liang J, Yu M Y. Spatial-temporal patterns of grassland degradation in Naqu of Northern Tibet. *Acta Agrestia Sinica*, 2013, 21(1): 37-42.
- [4] Jiang S C, Zhou D W. The effect of three types of overgrazing, deep harrowing, close nursery on the degraded *Leymus chinensis* grassland. *Grassland of China*, 2002, 24(5): 5-9.
- [5] Han J G, Zhang Y J, Wang J, et al. Rangeland degradation and restoration management in China. *Rangeland Journal*, 2008, 30(2): 233-240.
- [6] Huller L, Kay B D, Deen D. Visual assessment of soil structure: Part II. Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany. *Soil and Tillage Research*, 2009, 103(1): 188-196.
- [7] Baoyin H X G, Gao F G, Yao J M, Zhang L Z. Several different technologies to improve Inner Mongolia deteriorated grassland. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2011, 32(3): 38-41.
- [8] Yan Z J, Yang C, Duan X Q. Study on ecological restoration to degenerated *Leymus chinensis* pasture. *Grassland of China*, 2005, 27(5): 1-5.
- [9] Zhang H S, Han J G, Shi Y H. Effects of enclosures and shallow ploughing improvement on the soil seed bank in degraded *Leymus chinensis* meadow grassland. *Caoye & Xumu*, 2009, (160): 6-9.
- [10] Liu K, Xie Y Z. Review on the research of different restorative measures for degraded vegetation. *Grassland of China*, 2005, 27(5): 53-57.
- [11] Li H, Guo Y M. Research status on the technology and machinery of herbages root-cutting. *Journal of Agricultural Research*, 2012, (4): 219-223.
- [12] Li Y L. The development of meadow vibration scarifier [D]. Beijing: China Agricultural University, 2008.
- [13] Zhang W Q, Zhang Y J. Seasonal changes of diet composition of sheep grazing on *Leymus chinensis* grassland. *Pratacultural Science*, 2013, 30(2): 266-273.
- [14] Feng Y F, Liu H L, Lv J Y, Dong X Q, Song J N, Wang K. Effect of situ-vibration spacing scarifying technique to *Leymus chinensis* Grassland. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(8): 43-47.
- [15] Liu H L, Yang F, Huang D, Chen C. Effect and evaluation of soil trace elements after grassland converted into cropland in agro-pasture ecotone of Northern China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(7): 155-160.
- [16] Dong X Q, Song J N, Wang J C, Li Y L, Wu G W. Working mechanism of vibration spacing scarifier for grassland. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(10): 119-123.
- [17] Su D X. China grassland resources survey and map compilation [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2013.
- [18] Chen C, Yang F, Liu H L, Yao H Y, Song G X. Effects and evaluation of soil trace elements after grassland converted into cropland in Guizhou Karst area. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(7): 230-237.
- [19] Ma K P, Liu Y M. Measurements of biology community diversity. *Chinese Biodiversity*, 1994, (4): 231-239.
- [20] Ma K P, Liu C R, Liu Y M. Measurements of biology community diversity: II measurements of β diversity. *Chinese Biodiversity*, 1995, 3(1): 38-43.
- [21] Wang C T, Long R J, Wang Q L, Cao G M, Shi J J, Du Y G. Response of plant diversity and productivity to soil resources changing under grazing disturbance on an alpine meadow. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4144-4152.
- [22] Xu M Y, Li P G, Xie F, Huang D, Wang F, Yan Z M, Wang K. Response of soil organic carbon density to land-use types and management practices change in agro-pastoral zone. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(7): 320-325.
- [23] Zhang Y J. Grassland and pasture management [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2009.
- [24] Peng L H, Chen S, Liu Y X, Wang J. Application of Citygreen model in benefit assessment of Nanjing urban greenbelt in carbon fixation and runoff reduction. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1293-1298.
- [25] Ding Y S. Study on the extension of spacing tillage technique [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [26] Wang Z W, Zhu T C. The seedbank features and its relations on the established vegetation following flooding disturbance on Songnen Steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1392-1398.
- [27] Yan Z J, Chen M, An Y, Xu Z, Duan X Q. Study on improving the degenerated grassland of *Stipa Gradis* and *Leymus Chinensis* region. *Grassland of China*, 2002, 24(3): 7-14.
- [28] Dong K H, Wang J J, Yang G Y, Mu H L, Wang Z C, Cao H J. Study on banded improved-pasture of highslope. *Pratacultural Science*, 1994, 11(2): 30-33.
- [29] Wang L J, Li Q F, Gen X. Effects of banning grazing on Grassland productivity and vegetation composition in Balinyou Banner of Inner Mongolia. *Grassland of China*, 2005, 27(5): 11-14.
- [30] Wu G W, Song J N, Li Y L, Wang J C. Design and experiment on vibration spacing scarifier for meadow. *Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery*, 2010, 41(2): 42-46.
- [31] Bao P. Analysis about soil improvement for increasing output benefit in semi-dry grassland. *Grassland of China*, 1998, (4): 46-48.
- [32] Chen B H. Status and outlook for protection of the world biological diversity. *World Forestry Research*, 1993, 6(4): 1-6.
- [33] Wang G L, Liu G B, Liu F, Hou X L, Zhou S L. Changes in composition and structure of plant communities during the course of restoration at loess gully region. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2550-2557.
- [34] Sun Z J, An S Z, Ma J C. Effect of fencing on vegetation and diversity of steppe in the middle section of northern slope of the Tianshan mountains, China. *Arid Zone Research*, 2007, 24(5): 669-674.
- [35] Ma Z G, Chen M. The theory, methods and trends for grassland improvement. *Grassland of China*, 1994, (4): 63-66.
- [36] An G, Wang T H. Effect of enclosure on restoration of degraded

- grassland. Pratacultural Science, 2011, 28(5): 874-876.
- [37] Zuo W Q, Wang Y H, Wang F Y, Shi G X. Effects of enclosure on the community characteristics of *Leymus Chinensis* in degenerated steppe. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18(3): 12-19.
- [38] Shen J L, Tan G, Qiao H L, Zhang J H, Meng Y. Study on effect of grassland improvement on alpine degraded grassland vegetation. Grassland of China, 2000, (5): 49-54.
- [39] Guan C D. Study on vegetation restoration of mountain shrub-tussock in Yunnan province. Pratacultural Science, 2010, 27(1): 47-51.
- [40] Burgess C P, Chapman R, Singleton P L. Shallow mechanical loosening of a soil under dairy cattle grazing: effects on soil and pasture. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2000, 43(2): 279-290.
- [41] Ma J H. Research on the compare of zone tillage and overseas similar tillage[D]. Beijing: China Agricultural University, 2006.
- 参考文献:**
- [1] 贾慎修. 中国饲用植物志[M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [2] 保平. 我国羊草草地机械化改良发展现状及趋势. 内蒙古农业大学学报, 2002, 23(4): 116-118.
- [3] 戴睿, 刘志红, 娄梦筠, 梁津, 于明洋. 藏北那曲地区草地退化时空特征分析. 草地学报, 2013, 21(1): 37-42.
- [4] 姜世成, 周道玮. 过牧、深翻及封育三种方式对退化羊草草地的影响. 中国草地, 2002, 24(5): 5-9.
- [7] 宝音贺希格, 高福光, 姚继明, 张利枝. 内蒙古退化草地的不同改良措施. 畜牧与饲料科学, 2011, 32(3): 38-41.
- [8] 闫志坚, 杨持, 段新乔. 退化羊草草地生态恢复技术的研究. 中国草地, 2005, 27(5): 1-5.
- [9] 张洪生, 韩建国, 石永红. 围封、浅耕翻改良对退化羊草草地土壤种子库的影响. 草业与畜牧, 2009, (160): 6-9.
- [10] 刘库, 谢应忠. 不同改良措施的研究综述. 中国草地, 2005, 27(5): 53-57.
- [11] 李辉, 郭玉明. 牧草破土切根复壮机械研究进展. 农业化研究, 2012, (4): 219-223.
- [12] 李永磊. 草原振动松土机的研制[D]. 北京: 中国农业大学, 2008.
- [13] 张文青, 张英俊. 天然羊草草地绵羊采食的季节变化. 草业科学, 2013, 30(2): 266-273.
- [14] 冯雨峰, 刘洪来, 吕进英, 董向前, 宋建农, 王堃. 原地放牧振动间隔松土对羊草草地质量的影响. 农业机械学报, 2010, 41(8): 43-47.
- [15] 刘洪来, 杨丰, 黄顶, 陈超. 农牧交错带草地开垦对特有效态微量元素的影响及评价. 农业工程学报, 2012, 28(7): 155-160.
- [16] 董向前, 宋建农, 王继承, 李永磊, 武广伟. 天然草场改良用振动式间隔松土机作业机理. 农业工程学报, 2010, 26(10): 119-123.
- [17] 苏大学. 中国草地资源调查与地图编制[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.
- [18] 陈超, 杨丰, 刘洪来, 姚红艳, 宋高翔. 贵州喀斯特地区草地开垦对土壤微量元素的影响及评价. 农业工程学报, 2013, 29(7): 230-237.
- [19] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [20] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: II β 多样性的测度方法. 生物多样性, 1995, 3(1): 38-43.
- [21] 王长庭, 龙瑞军, 王启兰, 曹广民, 施建军, 杜岩功. 放牧扰动下高寒草甸植物多样性、生产力对土壤养分条件变化的响应. 生态学报, 2008, 28(9): 414-415.
- [22] 徐敏云, 李培广, 谢帆, 黄顶, 王芳, 晏宗明, 王堃. 土地利用和管理方式对农牧交错带土壤碳密度的影响. 农业工程学报, 2011, 27(7): 320-325.
- [23] 张英俊. 草地与牧草管理学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.
- [24] 彭立华, 陈爽, 刘云霞, 王进. Citygreen 模型在南京城市绿地固碳与削减径流效益评估中的应用. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1293-1298.
- [25] 丁元书. 虚实并存耕作技术推广研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [26] 王正文, 祝廷成. 松嫩草地水淹干扰后的土壤种子库特征及其与植被关系. 生态学报, 2002, 22(9): 1392-1398.
- [27] 闫志坚, 陈敏, 安渊, 徐柱, 段新乔. 大针茅+羊草退化草场改良技术的研究. 中国草地, 2002, 24(3): 7-14.
- [28] 董宽虎, 王建军, 杨桂英, 穆虎龙, 王振才, 曹海军. 条带式改良陡坡草地的研究. 草业科学, 1994, 11(2): 30-33.
- [29] 王丽娟, 李青丰, 根晓. 禁牧对巴林右旗天然草地生产力及植被组成的影响. 中国草地, 2005, 27(5): 11-14.
- [30] 武广伟, 宋建农, 李永磊, 王继承. 草地振动式间隔松土机设计与试验. 农业机械学报, 2010, 41(2): 42-46.
- [31] 保平. 半干旱草原区松土改良增产效益分析. 中国草地, 1998, (4): 46-48.
- [32] 陈炳浩. 世界生物多样性面临危机及其保护的重要性. 世界林业研究, 1993, 6(4): 1-6.
- [33] 王国梁, 刘国彬, 刘芳, 侯喜禄, 周生路. 黄土沟壑区植被恢复过程中植物群落组成及结构变化. 生态学报, 2003, 23(12): 2550-2557.
- [34] 孙宗玖, 安沙舟, 马金昌. 围栏封育对草原植被及多样性的影响. 干旱区研究, 2007, 24(5): 669-674.
- [35] 马志广, 陈敏. 草地改良理论、方法与趋势. 中国草地, 1994, 4: 63-66.
- [36] 安耕, 王天河. 围栏等于改良荒漠化草地的效果. 草业科学, 2011, 28(5): 874-876.
- [37] 左万庆, 王玉辉, 王凤玉, 师广旭. 围栏封育措施对退化羊草草原植物群落特征影响研究. 草业学报, 2009, 18(3): 12-19.
- [38] 沈景林, 谭刚, 乔海龙, 张娟华, 孟杨. 草地改良对高寒退化草地植被影响的研究. 中国草地, 2000, (5): 49-54.
- [39] 管春德. 云南山地灌草丛植被恢复研究. 草业科学, 2010, 27(1): 47-51.
- [41] 马军华. 虚实并存(间隔)耕作与国外类耕作的比较研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.