

■ 张德罡 著

东祁连山杜鹃灌丛

生态系统研究

Study on *Rhododendron* Shrubland Ecosystem
in Eastern Qilian Mountains

甘
肃
教
育
出
版
社



东祁连山杜鹃灌丛生态系统研究

Study on *Rhododendron* Shrubland Ecosystem
in Eastern Qilian Mountains

□ 张德罡 著

甘肃教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

东祁连山杜鹃灌丛生态系统研究/张德罡编著. —兰州: 甘肃教育出版社, 2003
ISBN 7-5423-1200-6

I. 东... II. 张... III. 祁连山—杜鹃花科—生态系统—研究 IV. Q949.772.308

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 037223 号

责任编辑: 康克仁

封面设计: 陈珂

东祁连山杜鹃灌丛生态系统研究

张德罡 著

甘肃教育出版社出版发行

(730000 兰州市滨河东路 296 号)

兰州人民印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 7.5 插页 2 字数 180 千

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—1,000

ISBN 7-5423-1200-6 定价: 16.00 元

(图书若有破损、缺页可随时与本社联系)

序

广泛分布在青藏高原的高寒灌丛是高寒带的地带性植被，其中，由我国独有成分百里香杜鹃、头花杜鹃、烈香杜鹃和陇蜀杜鹃为建群种的高寒杜鹃灌丛，是最具代表性的类型之一。它位于高山带阴坡，生境阴湿，土壤有永冻层。除浓密的灌木层外，还有十分发达的苔藓层及不发达的草本层。高寒杜鹃灌丛的生态位处于高寒草甸、高寒冻原与山地寒温性针叶林之间，生态序列位置的特殊性，决定了它的功能与利用的多样性。

高寒杜鹃灌丛是我国西北和西南地区内、外陆流域的重要水源涵养林类型之一，它的存在和系统稳定状况，对于青藏高原及相邻地区水分和热量平衡具有十分重要的作用。由于它分布在高寒带的较湿润的生境，因而具有较强的生态环境功能，较丰富的生物多样性；在资源利用上，除用作薪柴、医药和花卉外，更多地用于藏系家畜特别是牦牛的夏季放牧地。

长期以来，由于地处偏远、高寒，条件严酷，交通不便，对青藏高原的高寒杜鹃灌丛的研究很少。例如，任继周（1957）、姜恕（1963）、张经纬和王金亭（1966）等的早期工作；卓正大（1975）对甘肃省的高寒杜鹃灌丛的报道；此后有《中国植被》（1980）、《四川植被》（1980）、《青海植被》（1987）、《甘肃植被》（1997）等专著的综合论述以及其他作者的专题报道等。上述论著曾就高寒杜鹃灌丛的自然条件、植物区系、形态解剖、类型、群落的一般特征、利用现状等作了论述。但这些报道大多是短期的路线调查研究成果，系统的定位研究很少。

过去，由于对高寒杜鹃灌丛的生态系统特征和经济意义了解不多，对它所提供的生态系统服务的价值更是知之甚少。这些都影响了对高寒杜鹃灌丛的保护和合理利用，因而对其利用一直存

在很大的盲目性和破坏性。过度采薪，过度放牧，甚至清除灌木，导致杜鹃灌丛面积日益缩小，郁闭度降低，涵养能力下降，径流减少且不稳定，直接影响了周围地区的生态环境和农牧业生产。

张德罡博士的专著《东祁连山杜鹃灌丛生态系统研究》，是作者在祁连山甘肃天祝段，历经两年的定位研究所获资料的基础上写成的。在这本专著中，作者全面、系统、深入地介绍和论述了上述四种杜鹃属植物的形态特征、生理特点，杜鹃群落的一般特征，生态特性、植物量动态及净第一性生产力、光能转化率，群落的水土保持效能，干扰对群落及土壤的影响、受损灌丛群落的恢复生长等问题的研究成果。这些研究大多属国内外的首次报告，有些处于高寒杜鹃灌丛研究领域的前缘。这些研究成果，也在一定程度上回答了如何正确认识杜鹃灌丛的生态功能和合理经济利用的问题。因此，《东祁连山杜鹃灌丛生态系统研究》一书是对高寒灌丛植被生态学的重要贡献。

在书稿付梓之时，作者邀我作序，基于对这本专著的了解和认识，我十分乐意和负责地写下了如上的文字，以作为对它的评价和简要介绍。

感谢作者的辛勤劳动，祝贺作者的重要贡献。

胡自治

2003年8月15日

摘 要

东祁连山金强河河谷及其两侧山地地区的高寒灌丛可分为高寒常绿革叶灌丛植被亚型和高寒落叶灌丛植被亚型。其中高寒常绿革叶灌丛植被亚型有头花杜鹃+百里香杜鹃灌丛和陇蜀杜鹃灌丛 2 个群落。高寒落叶灌丛植被亚型有 6 个群落,即杯腺柳灌丛、金露梅灌丛、鲜黄小檗灌丛、短叶锦鸡儿灌丛、窄叶鲜卑木灌丛和藏沙棘灌丛。坡向、坡度和海拔是影响本地区 8 类高寒灌丛群落分布的主要因素。

杜鹃灌丛中的灌木多呈矮生、密集状。杜鹃叶片常绿,具茸毛、蜡质、革质和反卷特点。群落中绝大多数植物为地面芽、矮高位芽和地下芽,一年生植物和地上芽植物仅占 10.5%。百里香杜鹃、头花杜鹃、烈香杜鹃主要以较小的叶面积和密鳞片来保存水分,以抵御低温引起的生理性干旱对植物的伤害,而陇蜀杜鹃则以厚角质层来实现对水分的保存。4 种杜鹃的叶片反卷方式及程度也有差异。叶片的抗寒、抗旱适应特点可概括为:百里香杜鹃为小叶密鳞半落叶抗寒抗旱适应对策;头花杜鹃为小叶密鳞强反卷抗寒抗旱适应对策;烈香杜鹃为中叶疏鳞角质反卷抗寒抗旱适应对策;陇蜀杜鹃为大叶厚角质反卷抗寒抗旱适应对策。

杜鹃灌丛群落地上植物量自返青开始逐渐上升,8 月达到最高值 $950.2 \text{ g/m}^2 \text{ DM}$ 。地上植物量的主体由灌木构成,其中又以杜鹃最为重要,占 72.5%。灌木地下植物量仍以杜鹃为主,占 62.6%。百里香杜鹃和头花杜鹃的热值含量分别为 21.94 KJ/g 和 21.68 KJ/g ,两种杜鹃不同部位热值含量的顺序为叶>茎>根,其净

第一性生产力也是叶>茎>根，而且保持低增长状态，具有顶级群落的特征。群落光能（总辐射）转化率为 0.102%。

杜鹃花属植物生活史周期可划分为：萌动期、生长期、越冬前期和越冬休眠期 4 个阶段。从烈香杜鹃、头花杜鹃到百里香杜鹃，萌动期依次推迟，花期依次提前。陇蜀杜鹃生长季明显长于其它三种杜鹃。移栽后 4 种杜鹃均表现出不适症状，百里香杜鹃和头花杜鹃不适应症状表现早，烈香杜鹃与陇蜀杜鹃反应相对迟缓，并表现出了一定程度的潜在适应性。

杜鹃的枝叶含水量在一个生长季中呈单峰型变化，以降低含水量来应对漫长的休眠期。6、7、8 月枝叶水分含量较其它月份为高（7 月份最高），新枝生长量占全年生长量的 60%~80%。4 种杜鹃在生长高峰期净光合速率存在差异，陇蜀杜鹃光合积累的月份较长。光抑制现象是对郁闭度较大的阴坡灌丛环境的适应，反映了高寒地区植物同化积累对温度因素的依赖性。

东祁连山阴坡杜鹃群落在海拔 2950 m~3700 m 的范围内垂直分异特征明显。在海拔 3300 m 以下以百里香杜鹃和头花杜鹃为绝对优势，烈香杜鹃和陇蜀杜鹃从海拔 3100 m 以上开始出现，其盖度在海拔 3300 m 左右时迅速增大，取代百里香杜鹃和头花杜鹃而成为建群种和优势种，在海拔 3600 m 后陇蜀杜鹃达最大值。除陇蜀杜鹃为集聚分布外，柳、鬼箭锦鸡儿、金露梅、烈香杜鹃、头花杜鹃和百里香杜鹃均为随机分布。随海拔高度上升，由于具有较强的适应严酷条件的能力，陇蜀杜鹃的分布格局由集聚型逐渐转变为随机型。

杜鹃枝、叶微弱电信号波由具有一定周期性的组峰组成。随着水培天数的增加，波周期普遍出现延长现象，到叶片表现出严重失水症状时，组峰内两单波振幅间有极小的锯齿波出现。CV 图和 DPV 图中大小两对氧化还原峰峰电流明显下降，氧化还原峰电势差增大，显示几种杜鹃 DNA 都与 Co(en)_3^{3+} 发生了相互作用。

通过峰电流变化值、峰电势差变化值、 ΔE_p 与 A_{260} 的比值及 CV 图和 DPV 图的叠加, 分析其 DNA 与 Co(en)_3^{3+} 的作用, 结果都显示大小顺序为陇蜀杜鹃、烈香杜鹃、头花杜鹃。

正常杜鹃灌丛群落的土壤有机质含量年内呈锯齿状变化趋势, 有效 N 的变化趋势与有机质相似, 且两者间呈正相关关系 ($r=0.8794$, $P<0.01$), 全 N 和全 P 在年内变化较小。砍伐后有有机质、全 N、全 P 含量变幅很小, 有效 N 含量则在砍伐后有所上升。在植被完全遭到破坏的自然滑坡地段, 土壤有机质和有效 N 有大幅度下降, 全 N 和全 P 也有不同程度的下降。土壤 pH 值在年内的变化同土壤有机质相似, 但变幅不大。灌木被砍伐后, 土壤温度明显上升, pH 值略有上升, 而自然滑坡地段的土温和 pH 值上升幅度最大。土壤含水量与灌木盖度有正相关关系, 但灌木被砍伐初期, 土壤含水量降幅较小。而在植被完全被破坏的自然滑坡地段, 土壤含水量有大幅下降。

人工模拟降雨结果表明, 砍伐对照、砍伐、滑坡对照和滑坡各样方的降雨吸收率均在 95% 以上。灌木群落受到干扰破坏后, 其保持水分的功能也因此降低。尤其是滑坡地段, 其降雨吸收率较对照减少 3.5 个百分点, 但下降幅度并不显著, 这是因为滑坡地段植被截留降水能力的下降, 部分地得到含水量较低的土壤的补偿。灌木被砍伐后, 其截留降水的能力在苔藓的超补偿作用下不但没有下降, 反而略有升高, 但这种升幅并不显著。

滑坡、滑坡对照、砍伐、砍伐对照和与灌丛相邻的阳坡草地 5 个样地在实施人工模拟降雨后出现径流的最小降雨量 (降水量阈值) 分别为 10、13、79、75 和 5 mm; 地表径流量分别为 733、175、9、29 和 2840 g/m^2 ; 径流系数分别为 0.0458、0.0109、0.00011、0.00035 和 0.284 g/m^2 ; 侵蚀模数分别为 3.726、0.131、0.016、0.01 和 2.002 g/m^2 。按照水土流失严重程度, 可将损害群落水土保持功能的干扰因素按危害程度由大到小排列如下顺序: 滑坡 > 放牧 > 砍

伐。

苔藓对群落的水土保持功能具有极其重要的作用，新鲜苔藓的最大持水量可达到自身重量的138%，而接近干枯的苔藓更高达159%。杜鹃灌丛植被苔藓层片盖度与水土流失量呈极显著负相关关系，土壤侵蚀模数可用以下模型来描述： $M = 1410.6e^{-0.1775c}$ （ $r=0.9973$ ， C 为苔藓层片盖度）；地表径流系数的描述模型则为： $R = 1416.2e^{-0.088c}$ （ $r=0.9057$ ， C 为苔藓层片盖度）。

估算出的年土壤侵蚀量，滑坡地段最高，达 193.75 kg/hm^2 ；其次是阳坡草地，为 166.57 kg/hm^2 ；随后依次是滑坡对照、砍伐和砍伐对照，分别为 6.81 、 0.16 和 0.10 kg/hm^2 。在各干扰因子中，对群落保持土壤功能的损害强度顺序为：滑坡>重度放牧>砍伐>轻度放牧。各样地的土壤有机质损失量大小顺序与土壤侵蚀量相同，即滑坡地段最高，为 17.83 kg/hm^2 ，其次是阳坡草地、滑坡对照、砍伐和砍伐对照，分别为 16.71 、 1.13 、 0.04 和 0.02 kg/hm^2 。由于土壤全 N 含量与土壤有机质含量相关性很高，所以各样地的土壤全 N 侵蚀量变化模式与土壤有机质侵蚀量基本相同。同样是滑坡地段最高，为 0.8913 kg/hm^2 ，其次是阳坡草地、滑坡对照、砍伐和砍伐对照，分别为 0.8828 、 0.0661 、 0.0016 和 0.0010 kg/hm^2 。在各样地 P 的侵蚀量规律与土壤侵蚀量基本相同。即滑坡地段最高，达 0.07556 kg/hm^2 。其次是阳坡草地，为 0.06996 kg/hm^2 。随后依次是滑坡对照、砍伐和砍伐对照，分别为 0.00354 、 0.00008 和 0.00005 kg/hm^2 。在所有干扰动力中，砍伐和轻度放牧造成的水土流失最小，重度放牧居中，滑坡最大。这一结果与各样地植物群落的结构、种群密度、灌丛—草本—苔藓层片的完整性、物种多样性等性质是相符的。

砍伐后，灌木的再生自然高度由高到低依次为：柳>头花杜鹃>金露梅>百里香杜鹃>鬼箭锦鸡儿>烈香杜鹃，分别为 28.4 、 27.1 、

24.2、23.8、15.5 和 12.6 cm。它们恢复到原群落高度的程度依次为金露梅>鬼箭锦鸡儿>柳>头花杜鹃>百里香杜鹃>烈香杜鹃，分别达到 72.7%、56.6%、32.2%、31.4%、30.2%和 14.3%。金露梅和鬼箭锦鸡儿的恢复程度最高，而 3 种杜鹃的恢复速度较慢，其中，烈香杜鹃的恢复能力最低。

砍伐样方的群落内各灌木的分盖度从大到小依次为：头花杜鹃>柳>鬼箭锦鸡儿>百里香杜鹃>金露梅>烈香杜鹃，分别为 10.8%、7.8%、6.2%、5.0%、4.9%和 0.4%。以再生种群分盖度占对照种群中分盖度的百分比为指标，各灌木由大到小的排列次序为：鬼箭锦鸡儿>金露梅>头花杜鹃>柳>百里香杜鹃>烈香杜鹃，分别达到 159.0%、158.1%、60.7%、35.5%、25.5%和 22.2%。其中，鬼箭锦鸡儿和金露梅的恢复能力强，百里香杜鹃和烈香杜鹃的恢复水平较低。

柳、头花杜鹃、鬼箭锦鸡儿和百里香杜鹃在恢复初期形成的地上植物量较高，分别达到 35.3、31.0、23.7 和 21.5 g/m²；而金露梅和烈香杜鹃较低，为 4.4 和 1.5 g/m²。与对照群落比较后，用各灌木恢复生长形成的地上植物量占对照的百分比排序，由大到小依次为：鬼箭锦鸡儿>金露梅>柳>头花杜鹃>百里香杜鹃>烈香杜鹃，分别达到 48.7%、27.4%、20.0%、9.9%、7.4%和 5.9%。尽管柳和头花杜鹃的形成的地上植物量较高，在所有灌木中排在最前列，但相对于其在原群落中的情形却相差很大。而鬼箭锦鸡儿和金露梅的地上植物量绝对量较小，但距原群落已较为接近。百里香杜鹃和烈香杜鹃的表现在所有灌木中仍然最差。

灌木被砍伐后，鬼箭锦鸡儿、金露梅和柳能够快速适应新的生境条件，充分利用新生境条件下的各种资源进行恢复生长，在群落恢复演替的前期生长速度较快，它们在良好光照下的生长发育强于相对遮荫条件下的状况。相比之下，杜鹃属植物不能较好地适应新的生境条件，再生恢复速度相对迟缓。

灌木被清除后，形成了有利于草本层片的条件。草层高度为对照群落的 70.5%，仅降低减少了 5.4 cm；盖度则为对照的 229.7%，增加了 22.7 个百分点；地上植物量为对照的 114.3%，增加了 18.3 g/m²。灌木被砍伐后苔藓处于一种非常不利于其生长发育的条件之下，其平均厚度为对照群落的 42.3%，减少 1.5 cm；盖度为对照的 70.1%，降低 12.7 个百分点；地上植物量为对照的 34.8%，减少 229.3 g/m²。由于苔藓不适应砍伐后的强太阳辐射，3 年之中始终呈现萎缩趋势，属较为典型的逆行演替。

在滑坡干扰下，百里香杜鹃在灌木层中消失。在 3 年的恢复期过程中，各灌木的自然高度由高到低依次均为：柳>头花杜鹃>金露梅>鬼箭锦鸡儿。高度增长量排列次序为：柳>鬼箭锦鸡儿>金露梅>头花杜鹃。各灌木的分盖度在滑坡群落内从大到小依次为：鬼箭锦鸡儿>柳>金露梅>头花杜鹃。柳、鬼箭锦鸡儿和金露梅均在群落几乎从裸地开始的演替过程中，对贫瘠土壤及强光照条件表现出较强的适应能力。

灌木层中，鬼箭锦鸡儿、柳、金露梅和头花杜鹃地上植物量分别达到 271.7 g/m²、41.2 g/m²、26.2 g/m² 和 16.9 g/m²，鬼箭锦鸡儿所占比例很高，达 76.3 %，是地上植物量主要的构成部分。与对照比较，其各自的地上植物量占对照的百分比排列次序为：鬼箭锦鸡儿>金露梅>柳>头花杜鹃，分别达到 198.1 %、66.8 %、20.8 % 和 10.0 %。

截止 2000 年生长季结束，滑坡群落灌木层片的高度、盖度和地上植物量分别达到 38.4 cm、31.7 % 和 339.1 g/m²，占原群落的 53.3 %、64.0 % 和 49.0 %，灌木层在总体上已恢复到原群落的 50%。总体而言，滑坡产生后，鬼箭锦鸡儿和金露梅的恢复速度较快，柳居中，头花杜鹃的恢复生长能力最差。

与砍伐后的情况相似，恢复后形成的生境条件有利于草本植物的生长发育。滑坡群落中草本层的高度、盖度和地上植物量分

别达到 19.2 cm、47.5%和 212.1 g/m^2 ，是对照群落的 1.26 倍、2.09 倍和 1.65 倍。在滑坡对照群落中，草本层的高度、盖度和地上植物量分别为 15.4 cm、22.7%和 128.2 g/m^2 。

在滑坡样地中，群落内的苔藓平均厚度、盖度和地上植物量仅为 0.4 cm、7.5 %和 15.9 g/m^2 ，分别为对照群落的 25.0 %、21.9 %和 7.8%，表明苔藓层片的恢复大大滞后于草本和灌木层片。滑坡地段的群落完全恢复所需时间要比砍伐地段更长。

群落中的灌木、草本和苔藓 3 个层片处于一种即相辅相成、又相互消长的关系。灌木层与苔藓层之间属互惠的正相关关系，它们在群落中占据着不同的生态位。灌木层与草本层之间为相互竞争的负相关关系，两者的生态位重叠。草本层与苔藓层无论是地下还是地上均基本处于相同的空间，生态位也有所重叠，它们之间也呈负相关关系。

东祁连山杜鹃灌丛是高原寒冷气候下的产物，属生长和更新缓慢的顶级群落，是具有保持水土、涵养水源的巨大生态学价值和放牧牦牛、藏羊的草地资源，但由于其受干扰后的恢复速度缓慢，因此利用过程中必须依据自然规律，把科学、有效的保护和合理、适度的利用有机地结合起来。应建立以围栏封育为主要技术手段控制载畜量，限制或禁止砍伐灌木，严禁破坏苔藓层，以保证群落的完整性和再生能力，使该地区的草地畜牧业实现可持续发展。

关键词：杜鹃灌丛；东祁连山；生态系统；水土保持；受损恢复；植物量；干扰

Abstract

The alpine shrub communities distributed in Jinqianghe of the eastern Qilian Mountains are two subtypes: evergreen coriaceous leaf shrub community including *Rhododendron capitatum* + *R. thymifolium* and *R. przewalskii*, and alpine deciduous shrub community including *Salix cupularis*, *Dasiphora fruticosa*, *Berberis diaphana*, *Caragana brevifolia*, *Sibiraea angustata* and *Hippophae tibetica*. The aspect and degree of slope are main factors affecting the distribution of above-mentioned shrub communities.

The shrubs of *Rhododendron* community are low-growing and dense. The leaf of *Rhododendrons* is featured with tinsel, cereous, coriaceous and evolute aspects. Most of species are hemicryptophytes, phanerophytes and geophytes, meanwhile, the therophytes and chamaephytes account for only 10.5%.

The aboveground phytomass of the community shows a single peak curve, and it reaches the peak value ($950.2 \text{ g/m}^2 \text{ DM}$) in August. The community phytomass is comprised mainly by *Rhododendrons*, it accounts for 72.5% of aboveground and 62.8% of underground phytomass. The caloric values of *R. capitatum* and *R. thymifolium* are 21.94 KJ/g and 21.68 KJ/g. The caloric value order of *R. capitatum* and *R. thymifolium* for different part is leaf > stem > root. The aboveground net primary productivity of *Rhododendron* is $301.7 \text{ g/m}^2 \text{ DM}$, and its total solar conversion efficiency is 0.1021%. The community keeps a low increasing pattern during growth period; this is one of features of climax.

The life history of *Rhododendrons* includes 4

stages: germination stage, growth stage, pre-over-winter stage and winter quiescent stage. The order of blooming date of *Rhododendrons* is *R. przewalskii*, *R. thymifolium*, *R. capitatum* and *R. anthopogonoides*. After transplanted from original habitat to Lanzhou, the *Rhododendrons* appear inadaptation to new conditions, however, *R. przewalskii* has the potential adaptation among them.

The water content in leaf and stem of *Rhododendrons* is higher in June, July and August and the maximum is in July. The growth increment of stem accounts for 60% ~ 80%. The net photosynthetic rate varies among *Rhododendrons* and *R. przewalskii* lasts longer photosynthetic accumulation. Light repression is the adaptation of *Rhododendron* community with high canopy density to environment, it reflects the dependence of plants in alpine area on temperature during photosynthate accumulation.

Rhododendron community has the significant segregative feature within the range of altitude from 2950 m to 3700 m. *R. thymifolium* and *R. capitatum* are dominant in the area under 3300 m. *R. anthopogonoides* and *R. przewalskii* appear from 3100 m. Their coverage is increasing rapidly from 3300 m and become constructive and dominant species. The constructive species are replaced by *R. przewalskii* from 3600 m. All shrubs except *R. przewalskii* show random distribution in the lower area, however, along with the altitude, the distribution pattern of *R. przewalskii* changes from random distribution to aggregated distribution because of its higher adaptability to harsh climate.

The weak electric signal from stem and leaf of *Rhododendrons* is composed with periodic group waves. With the increase of water culture time, the wave period occurs prolongation. The minimal

sawtooth waves turn up within amplitudes of two single waves when sever water loss symptom of leaf represents. In CV graphs and DPV graphs, the summit current of oxidoreduction electric potential is decreased significantly and the oxidoreduction electric potential difference is increased relatively. This means the DNA of 4 *Rhododendrons* interact with Co(en)_3^{3+} . The adaptive strategy were analyzed in quantity by the CV graphs, DPV graphs and the value of $\Delta E_p / A_{260}$ on the interaction between the DNA and Co(en)_3^{3+} . The results from electrochemistry analysis are same as the result of morphology and physiology, i.e. *R. przewalskii* > *R. anthopogonoides* > *R. capitatum*.

The content of organic matter (OM) in the soil of *Rhododendron* community shows a saw-like fluctuation. The available nitrogen (AN) is positively correlated with OM ($r = 0.8794$, $P < 0.01$). The contents of total nitrogen (TN) and total phosphorous (TP) behave a stable status. The contents of OM, TN and TP have a little change in the first year after the shrub is deforested. Meanwhile, the content of AN has a notable increase after deforested. However, the contents of OM and AN decreased greatly in the area where the vegetation was totally destroyed by landslip, the TN and TP contents decreased as well. The soil temperature and pH value within 0-10 cm increased after deforested, and the increase is the highest in landslip area.

The rainfall-reserving rates of deforest plot (DP), landslip plot (LP), contrast of deforest plot (CDP) and contrast of landslip plot (CLP) are more than 95% by simulated rainfall. The function of water conservation of the community is decreased due to disturbance and the rainfall-reserving rate in LP is especially decreased by 3.5

percentage units compared with CLP. However, this decrease is not significant because the water conservation function is partly replaced by low-water-content soil. The ability of water conservation of community is increased by the hyper-compensating effect of moss layer after shrubs are deforested, but the increase is not significant either.

Threshold values of rainfall causing runoff under simulation rainfall in LP, CLP, DP, CDP and alpine steppe plot on south-facing slope (ASP) are 10, 13, 79, 75 and 5 mm respectively; the related runoff are 733, 175, 9, 29 and 2840 g/m² respectively; the runoff coefficients are 0.0458、0.0109、0.00011、0.00035 and 0.284 g/m²; The erosion modulus are 3.726、0.131、0.016、0.01 and 2.002 g/m². Based on the degree of caused water and soil erosion, the order of disturbing factors is landslide > grazing > deforest.

Moss layer plays a very important role for water and soil conservation. The maximum water holding capacity of live moss can reach 138% of itself weight and dried moss can reach as high as 159%. The relationship between moss coverage and water and soil loss is significantly negative and the soil erosion modulus can be described as $M = 1410.6e^{-0.1775c}$ ($r = 0.9973$, c is moss coverage), the runoff coefficient can be described as $R = 1416.2e^{-0.088c}$ ($r = 0.9057$, c is moss coverage).

The estimated annual soil loss in LP is the highest (193.75 kg/hm²), which followed by ASP (166.57 kg/hm²), CLP (6.81 kg/hm²), DP (0.16 kg/hm²) and CDP (0.10 kg/hm²). Based on the degree of damage to community, the disturbing factors follow the order of landslide > heavy grazing > deforest > light grazing. The OM

loss in different plots follows same order with soil loss, i.e., LP (17.83 kg/hm²), ASP (16.71 kg/hm²), CLP (1.13 kg/hm²), DP (0.04 kg/hm²) and CDP (0.02 kg/hm²). Because of high degree of correlation with soil OM content, the situation of TN loss is similar with OM, i.e., LP (0.8913 kg/hm²), ASP (0.8828 kg/hm²), CLP (0.0661 kg/hm²), DP (0.0016 kg/hm²) and CDP (0.0010 kg/hm²). It is same for TP loss with following order, LP (0.07556 kg/hm²), ASP (0.06996 kg/hm²), CLP (0.00354 kg/hm²), DP (0.00008 kg/hm²) and CDP (0.00005 kg/hm²). Landslip causes the most severe water and soil loss, heavy grazing takes the second place, which followed by deforest and light grazing. This coincides with the community structure, population density, integrity of 3 layers (shrub, herb and moss) and diversity in related plots.

The order of regrowth height of shrubs in DP is *Salix* spp.(28.4 cm), *Caragana jubata* (27.1 cm), *R. capitatum* (24.2 cm), *Dasiphora fruticosa* (23.8 cm), *R. thymifolium* (15.5 cm) and *R. anthopogonoides* (12.6 cm). The order of their rehabilitation degree to the height in original community is *Dasiphora fruticosa* (72.7%), *Caragana jubata* (56.6%), *Salix* spp. (32.2%), *R. capitatum* (31.4%), *R. thymifolium* (30.2%) and *R. anthopogonoides* (14.3%). *Dasiphora fruticosa* and *Caragana jubata* have the highest degree of rehabilitation and 3 *Rhododendrons* take the lowest degree.

The order of shrub coverage in DP is *R. capitatum* (10.8%), *Salix* spp (7.8%).*Caragana jubata* (6.2%), *R. thymifolium* (5.0%), *Dasiphora fruticosa* (4.9%), and *R. anthopogonoides* (0.4%). The order of their rehabilitation degree to the coverage in original community is *Caragana jubata* (10.8%), *Dasiphora fruticosa* (7.8%), *R. capitatum* (6.2%), *Salix* spp. (5.0%), *R. thymifolium* (4.9%)