

围栏封育对沙化草地植被及土壤特性的影响

刘建, 张克斌, 程中秋, 苏鹏飞, 王黎黎

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 对宁夏自治区盐池县不同围封类型的沙化草地植被以及土壤有关特性进行了分析研究。结果表明: (1) 围栏封育使植物组成发生了明显变化。(2) 适度的围封年限(< 8 a) 可以使群落盖度、平均密度、地上生物量以及物种多样性明显提高, 过长的围封年限(> 19 a) 反而使各植被数量特征以及物种多样性呈现下降趋势。(3) 围栏封育可以降低土壤容重, 增加土壤孔隙度, 提高土壤含水量。表明适度的围封年限既有利于植被的恢复, 又有利于土壤特性的改良。但过长时间的围栏封育会导致植被结构和功能的退化以及草地生产力下降。

关键词: 围栏封育; 沙化草地; 植被数量特征; 物种多样性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)04-0180-05

中图分类号: S812.4

Influences of Fencing on Vegetation and Soil Properties in Sandy Grassland

LIU Jian, ZHANG Ke-bin, CHENG Zhong-qiu, SU Peng-fei, WANG Li-li

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The influences of different fencing types on vegetation and soil properties were studied in Yanchi County, Ningxia Hui Autonomous Region. The results showed that: (1) The plants composition was obviously changed; (2) Proper fencing periods (< 8 a) made community coverage, density, aboveground biomass and species diversity obviously increase; excessive fencing periods (> 19 a) could decrease vegetation quantitative feature and species diversity; (3) Fencing reduced the soil bulk density, increased the soil porosity and moisture. Therefore, proper fencing periods were good for plant restoration and soil melioration, excessive fencing periods resulted in the degradation of vegetation structure and function, and the decline of grassland productivity.

Keywords: fencing; sandy grassland; vegetation quantitative feature; species diversity

草地退化已成为我国生态环境的重大问题, 尤其对于干旱区沙化草地而言, 其形势尤其严峻。为使退化了的草地植被得以恢复, 必须采取相应的措施。其中, 围栏封育就是草地植被恢复与重建的一项重要措施。然而在封育过程中, 草地植被的组成、结构以及功能如何变化, 是否封围时间越长, 草地结构和功能恢复地越好; 或是过长的封育最终会导致草地生产力的下降; 更加重要的问题在于围封多长的时间后停止围封, 才会继续有利于植被的生长及利用。这些都是研究草地植被恢复时需要重点关注的问题。

目前, 国内有关围栏封育措施对沙化草地影响的研究已有较多的开展。具体研究内容主要涉及沙化草地植被群落盖度、高度及生物量^[1-3]、物种多样性^[4-6]以及土壤特性^[7-9]等。几乎所有研究都证明, 在

封育初期, 植被生物量、盖度等特征指标明显提高。然而, 有关最佳封育时间的研究结果不尽相同, 这主要是由于草地退化程度、研究时间长短等因素造成的。本研究通过对不同封育年限植被群落特征及土壤有关特性的研究, 为今后制定科学合理的沙化草地管理体系提供参考。

1 研究地概况

盐池县位于宁夏回族自治区东部, 地理位置处于北纬 $37^{\circ} 04' - 38^{\circ} 10'$, 东经 $106^{\circ} 30' - 107^{\circ} 41'$ 。北与毛乌素沙漠相连, 南靠黄土高原。该县属于典型中温带大陆性气候, 年均气温为 8.1°C 。年均无霜期为 165 d; 年降水仅 250~350 mm。土壤类型以灰钙土为主, 其次是黑垆土和风沙土, 此外有黄土、少量的盐

收稿日期: 2011-01-11

修回日期: 2011-01-19

资助项目: 国家自然科学基金项目“半荒漠地区湿地植被群落时空分布特征研究”(30771764); 国家林业局宁夏盐池荒漠化定位监测项目

作者简介: 刘建(1985—), 男(汉族), 安徽省萧县人, 硕士研究生, 主要研究方向为荒漠化防治与监测。E-mail: liujianliujian1985@126.com。

通信作者: 张克斌(1957—), 男(汉族), 陕西省兴平市人, 博士, 教授, 主要从事荒漠化防治及干旱区环境管理研究。E-mail: ctcc@126.com。

土、白浆土等。植被类型有灌丛、草原、草甸、沙地植被和荒漠植被, 其中草原分干草原和荒漠草原, 常见植物种类以旱生和中旱生类型为主。

研究地点位于盐池县北部的鄂尔多斯缓坡丘陵区, 即毛乌素沙地西南缘的柳杨堡乡, 距盐池县城 20 km, 海拔为 1 582 m。选取 3 块样地, 即围封 19 a 样地、围封 8 a 样地和未围封样地, 其中围封 19 a 的样地始于 1991 年第 1 批全国防沙治沙试验示范, 采用水泥桩、铁丝网围栏, 完全排除放牧等活动的干扰, 围封时间长达 19 a; 围封 8 a 的样地, 从 2002 年以来采取围栏封育措施, 未围封样地一直受放牧等活动的干扰。3 种处理方式样地相邻, 地势均较平坦, 土壤类型也基本一致, 均为灰钙土, 因此其自然条件基本相同。

2 研究方法

2.1 样地布设及数据测度方法

在 3 类样地内, 采用样线和样方结合法, 分别布设 3 条典型样线, 每条样线上每隔 10 m 布设一个样方, 布设 5 个样方。3 类样地共布设 45 个样方。因实验区内植物以草本为主, 故布设面积为 1 m × 1 m 规格的样方。分别统计样方内植被总盖度, 物种名称, 各物种盖度、株丛数、高度、地上生物量等指标。盖度采用目测法测定, 高度采用植物自然高度测定, 地上生物量采用齐地刈割法测定。此外, 在每个样方附近处, 分别利用环刀法在 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm 各土层取样, 装入铝盒, 记录与取样点及土层相对应的铝盒编号, 并带回实验室进行测定。

2.2 分析指标及数据分析方法

本研究选用 5 个多样性指数, 即 Margalef 指数(丰富度指数)、Simpson 指数及 Shannon—Wiener 指数(综合多样性指数)、Pielou 指数及 Heip 指数(均匀度指数), 并以物种重要值为运算单位进行计算。重要值及各个多样性指数的计算公式可参考相关文献^[10-16]。3 类样地各项数据间的差异采取 ANOVA 方差分析及 Duncan 多重比较检验法, 数据分析通过 SPSS 13.0 完成。

3 结果分析

3.1 围栏封育对植物物种组成的影响

调查结果表明, 3 类草地植物均以豆科、菊科、禾本科为主(图 1)。围封 19 a 草地出现 6 科 16 属 17 种植物, 其中菊科植物 5 种, 占此类样地全部物种的 29.41%。豆科植物 5 种, 占的 29.41%。禾本科植物 3 种, 占 17.65%; 围封 8 a 草地出现 9 科 17 属 18

种植物, 其中菊科植物 3 种, 占 16.67%。豆科植物 3 种, 占 16.67%。禾本科植物 4 种, 占 22.22%; 未围封草地出现 12 科 20 属 23 种植物, 其中菊科 5 种, 占 21.74%。豆科 5 种, 占 21.74%。禾本科植物 6 种, 占 26.09%。可以看出, 围封 19 a 草地植物种类为 3 类草地中最少, 围封 8 a 草地物种种类稍多于前者, 未围封草地植物种类最多。由此可见, 就本研究而言, 围栏封育 8 a 及 19 a 草地相对于未围封草地植物种类不但没有增加, 反而在一定程度上有所下降。因此, 单从物种丰富度角度考虑, 围封年限应该少于 8 a。过长的围封年限会使物种丰富度降低。分析其原因, 主要是由于围封草地缺乏放牧活动的适度干扰, 一些受放牧影响较大的植物如阿尔泰狗娃花、达乌里胡枝子等优势种迅速生长并占据了封育草地大量的资源空间, 抑制了其它植物的生长。

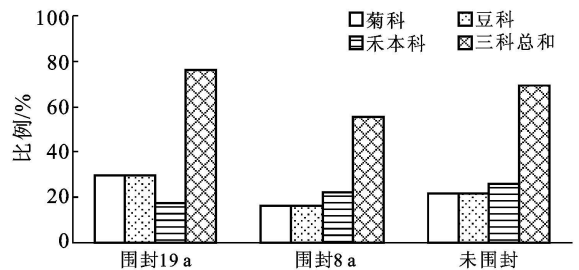


图1 不同封育类型草地植物种类组成

3 类草地不同生活型植物所占比例见图 2。可以看出, 多年生草本植物在围封 19 a 草地中所占比例最大 (58.82%), 在未围封草地所占比例最小 (43.48%); 一年生草本植物在围封 19 a 草地中所占比例最小 (17.65%), 在未围封草地所占比例最大 (30.43%); 此外, 灌木、半灌木在围封 19 a, 围封 8 a, 未围封草地所占比例依次为 23.53%, 22.22% 和 26.09%, 相差不大。由此可见, 围封可以促进多年生草本植物的生长, 同时抑制了一年生草本植物的生长。

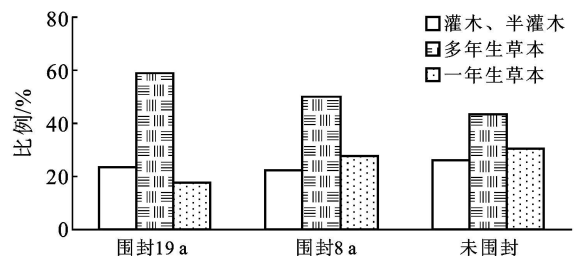


图2 不同围封类型草地植物生活型组成

此外, 3 类草地群落优势种也发生了较大的变化。未围封草地植物优势种为黑沙蒿、丝叶山苦荬、刺沙蓬等, 围封 8 a 草地植物优势种为黑沙蒿、刺沙

蓬、狗尾草、苦豆子、丝叶山苦荚等,围封 19 a 草地植物优势种为阿尔泰狗娃花、达乌里胡枝子、叉枝鸦葱等。可以看出,围封 19 a 草地植物优势种相对于其它两类草地有较大的区别,说明较长时间的围封使得草地植物群落组成、结构发生了较大的改变。

3.2 围栏封育对植被数量特征的影响

由表 1 可以看出,3 类草地植被数量特征呈现出明显的变化趋势。围封 8 a 草地的植被盖度、高度、密度及地上生物量均是 3 类草地中最高,未围封草地次之,围封 19 a 草地最低。方差分析及 Duncan 多重比较结果表明,3 类草地植被盖度、高度差异性不显著($p > 0.05$);围封 8 a 草地植被群落密度与其它两类草地均有显著差异($p < 0.05$),围封 19 a 草地植被群落密度与未围封草地之间差异性不显著($p > 0.05$);此外,围封 8 a 草地地上生物量与围封 19 a 草地差异性显著($p < 0.05$)。

围封 8 a 草地在植被盖度、群落密度及植物地上生物量方面相对于未围封草地均有较大程度的提高。

通过调查,刺沙蓬、狗尾草等一年生草本植物的大量出现是造成围封 8 a 草地群落密度比较大的主要原因。围封 19 a 的草地各个植被数量特征较未围封草地均在一定程度上有所降低。在围栏封育过程的前期($< 8 a$),草地植被因不再遭受牛羊等牲畜的踩踏、采食而得以快速自然恢复,植被各特征如盖度、密度、高度及地上生物量明显提高。然而,随着围封时间的延长,群落优势种对资源的占用抑制了其它生命力相对较弱物种的生长。另外,沙化草地土壤生物结皮的形成限制了降雨的入渗,降低了草地对降雨的利用效率。尤其对于降雨稀少的盐池县而言,情况更加严重。随着围封时间的延长,沙质土壤结皮不断加厚,入渗土壤的有效降雨以及被植物利用的有效降雨更为有限。同时,围栏封育使得草地缺少与外界的物质及营养的交流,导致营养元素无法更新和补充,最终导致草地生产力的下降。说明并不是围栏封育时间越长,植被生长状况就越好。并且可以推论,围封措施对植被恢复起到了先促进后抑制的作用。

表 1 不同围封类型草地植被数量特征

植被数量特征	围封 19 a	围封 8 a	未围封
盖度/ %	42.60±17.25 ^a	50.50±23.27 ^a	45.50±13.83 ^a
高度/ cm	18.15±6.55 ^a	18.33±6.49 ^a	18.30±6.00 ^a
密度/ (株·m ⁻²)	41.00±18.89 ^a	149.10±125.97 ^b	48.90±37.78 ^a
地上生物量/ (g·m ⁻²)	146.00±37.38 ^a	301.40±165.71 ^b	253.15±164.80 ^{ab}

注:同一行相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

3.3 围栏封育对植物多样性的影响

沙化草地植被演替是内因与外因长期共同作用的结果,全面衡量物种多样性需从物种丰富度、均匀度和综合多样性 3 个方面进行比较,它们从不同的角度反映了群落物种组成的结构水平、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异^[17]。物种丰富度即反映群落中植物种类的多少;均匀度反映了群落中不同物种的多度(生物量、盖度或其它指标)分布的均匀程度;综合多样性指数是物种水平上多样性和异质性程度的度量,除受物种丰富度影响外,还受物种均匀度的影响。

由表 2 可以看出,从物种丰富度角度分析,3 类草地 Margalef 指数差异性不显著($p > 0.05$),其中未围封草地物种丰富度高于其它两类草地,围封 19 a 草地物种丰富度最低;从均匀性角度分析,3 类草地 Pielou 指数及 Heip 指数均无显著差异($p > 0.05$),其中围封 8 a 草地均匀度最高,未围封草地次之,围封 19 a 草地

最低;从综合多样性角度分析,围封 8 a 草地与围封 19 a 草地 Simpson 指数及 Shannon—Wiener 指数均呈现显著差异($p < 0.05$)。和均匀性变化趋势一样,围封 8 a 草地综合多样性指数最大,未围封草地次之,围封 19 a 草地最小。可以看出,围封 19 a 草地各项指数均为 3 类草地中最低;围封 8 a 草地除丰富度外,其它各项指数均为 3 类草地中最高。

围封 8 a 草地的物种丰富度低于未围封草地,而其综合多样性高于未围封草地,这是由于物种综合多样性指数是物种丰富度和均匀度的函数,受二者的共同作用的影响。这表明围封后沙化草地植被恢复过程中,均匀度对物种多样性起着更为重要的作用。

围封 8 a 草地与围封 19 a 草地的综合多样性指数的显著差异性表明,封育年限对草地植被群落结构有至关重要的影响。过长的封育时间会导致草地植被结构和功能的严重退化,系统抵御外界不良干扰的能力以及稳定性急剧减弱。

表2 不同围封类型草地物种多样性指数

多样性指数	围封 19 a	围封 8 a	未围封
Margalef	0.869±0.522 ^a	1.086±0.251 ^a	1.216±0.255 ^a
Simpson	0.605±0.208 ^a	0.763±0.052 ^b	0.708±0.062 ^{ab}
Shannon—Wiener	1.238±0.541 ^a	1.641±0.173 ^b	1.472±0.215 ^{ab}
Pielou	0.796±0.138 ^a	0.877±0.060 ^a	0.827±0.043 ^a
Heip	0.685±0.155 ^a	0.762±0.109 ^a	0.686±0.059 ^a

3.4 围栏封育对土壤容重的影响

由表3可以看出, 围栏措施对土壤容重影响较小, 基本只对表层土壤(0—10 cm)造成比较明显的作用。在20—30 cm较深的土壤层处, 3类草地的土壤容重已基本没有差别。其中0—10 cm土壤层未围封草地的土壤容重稍大于其它两类草地, 这可能是由于受到放牧影响, 动物的踩踏所致。而围封措施使得表层土壤免受外界压力, 孔隙度增大, 土壤结构疏松, 土壤容重减小, 自然结构得以恢复。

表3 不同围封类型草地的土壤容重 g/cm³

土层深度/cm	围封 19 a	围封 8 a	未围封
0—10	1.45±0.04 ^a	1.48±0.02 ^a	1.54±0.08 ^a
10—20	1.48±0.05 ^a	1.50±0.03 ^a	1.55±0.11 ^a
20—30	1.59±0.12 ^a	1.59±0.02 ^a	1.60±0.09 ^a

3.5 围栏封育对土壤含水量的影响

方差分析结果表明(表4), 3类草地各土壤层的含水量差异性不显著($p > 0.05$)。各个土壤层含水量围封19 a草地最大, 围封8 a草地次之, 未围封草地最小。即随着封育年限的增加, 相应土壤层的含水量也随之增加。此外, 分别针对各个样地而言, 未围封草地及围封8 a草地随着土壤深度的增加含水量也相应增加, 而围封19 a草地10—20 cm土壤层含水量却大于20—30 cm土壤层含水量。分析其原因, 应该是土壤生物结皮所致。

土壤生物结皮是微生物、藻类、地衣、苔藓植物类群与土壤共同形成的有机复合体, 在干旱区生态系统中扮演着重要的角色, 它可以影响干旱区土壤的结构、功能、生产力^[18]。随着封育年限的增加, 土壤生物结皮的覆盖面积及厚度逐年增加, 结构也更紧密。根据以往对生物结皮的研究结果^[19-20], 土壤生物结皮在发展到一定阶段后会影响水分的入渗。同时, 生物结皮可以限制水分的蒸发, 保持表层土壤湿度。围封19 a草地土壤生物结皮的覆盖面积及厚度相对较大, 而未围封草地由于牛羊等牲畜的踩踏, 生物结皮无法形成或完整良好的发展。围封19 a草地20 cm以下较深的土壤层由于生物结皮对水分入渗深度的影响, 西北半干旱区较为稀少的降雨无法入渗至较深的土

壤层, 从而导致围封19 a草地10—20 cm土层土壤含水量大于20—30 cm土层土壤含水量。

表4 不同围封类型草地土壤含水量 %

土层深度/cm	围封 19 a	围封 8 a	未围封
0—10	5.32±1.39 ^a	4.48±0.75 ^a	3.72±0.60 ^a
10—20	6.26±2.31 ^a	5.52±1.17 ^a	4.56±0.63 ^a
20—30	5.94±0.80 ^a	5.66±0.95 ^a	4.68±0.54 ^a

4 结论

(1) 就本研究而言, 围栏封育8 a及19 a草地的植物种类相对于未围封草地而言不但没有增加, 反而在一定程度上有所下降; 围封8 a草地相对于未围封草地优势种改变不大, 而围封19 a草地优势种相对于未围封草地改变较大; 围封可以促进多年生草本植物的生长, 同时抑制了一年生草本植物的生长。围封8 a草地在植被盖度、群落密度及植物地上生物量方面相对于未围封草地均有较大程度的提高, 而围封19 a的草地各个植被数量特征相对于未围封草地均在一定程度上有所降低。围封8 a草地除丰富度指数外, 其它各项指数为3类草地中最高; 围封19 a草地各项指数均为3类草地中最低。随着封育年限的增加, 沙化草地表层土壤容重随之减小, 同一土壤层的含水量随之增加。

(2) 通过分析, 围封8 a草地植被数量特征及群落结构特征整体优于未围封草地, 而围封19 a草地植被生长状况较差。表明围封措施对植被恢复起到了先促进后抑制的作用。虽然围封8 a草地在植被盖度、生物量等主要特征方面高于未围封草地, 但方差分析显示二者并未达到显著差异; 同时, 围封8 a草地虽然在综合多样性指数方面高于未围封草地, 但是其物种丰富度相对于未围封草地已经有所下降。可以推断植被恢复的峰值阶段已经过去, 本研究区沙化草地最佳围封年限应该在8 a以内, 这与以往研究结果吻合^[1, 3, 5, 17]。由于受到研究条件的限制, 本研究只有3类封育类型草地可以用来分析, 从而导致无法更加准确地确定最佳围封年限, 因此还需要进一步完善实验设计, 以期可以确定本研究区最合适的围封时间段。

[参 考 文 献]

- [1] 胡小龙, 郭建英, 兰登明, 等. 浑善达克沙地退化草场的封育效果及其评价[J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, 28(1): 63-65.
- [2] 曹永翔, 张克斌, 王海星, 等. 宁夏盐池封育区植被数量特征波动研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8): 154-157.
- [3] 郑翠玲, 曹子龙, 王贤, 等. 围栏封育在呼伦贝尔沙化草地植被恢复中的作用[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(3): 78-81.
- [4] 王燕, 王辉, 李永兵, 等. 干旱荒漠区封育沙地植被群落特征变化研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(5): 40-44.
- [5] 宝音陶格涛, 陈敏. 退化草原封育改良过程中植物种的多样性变化的研究[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 1997, 28(1): 87-91.
- [6] 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[J]. 干旱区研究, 2007, 24(5): 669-674.
- [7] 范燕敏, 孙宗玖, 武红旗, 等. 封育对山地草地植被及土壤特性的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(3): 79-82.
- [8] 李景刚, 贾树海, 赵国平, 等. 围栏封育对退化草原土壤性质的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 280-282.
- [9] 刘长娥, 安沙舟, 孙宗玖, 等. 围栏封育对新疆伊犁绢蒿草地的影响[J]. 草业科学, 2008, 25(10): 10-14.
- [10] 郑翠玲, 曹子龙, 赵廷宁, 等. 浑善达克沙地南缘农牧交错带弃耕地植被的演替规律[J]. 中国水土保持学, 2005, 3(1): 72-76.
- [11] 呼格吉勒图, 杨劼, 宝音陶格涛, 等. 不同干扰对典型草原群落物种多样性和生物量的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(3): 6-11.
- [12] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II: 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [13] 欧芷阳, 杨小波, 吴庆书. 尖峰岭自然保护区扩大区域植物多样性研究[J]. 生物多样性, 2007, 15(4): 437-444.
- [14] 茹文明, 张金屯, 张峰, 等. 历山森林群落物种多样性与群落结构研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 456-4566.
- [15] 郭艳萍, 张金屯, 刘秀珍. 山西天龙山植物群落物种多样性研究[J]. 山西大学学报: 自然科学版, 2005, 28(2): 205-208.
- [16] 赵淑清, 方精云, 宗占江, 等. 长白山北坡植物群落组成、结构及物种多样性的垂直分布[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 164-173.
- [17] 左万庆, 王玉辉, 王凤玉, 等. 围栏封育措施对退化羊草草原植物群落特征影响研究[J]. 草业学报, 2009, 18(3): 12-19.
- [18] 宋阳, 严平, 张宏, 等. 荒漠生物结皮研究中的几个问题[J]. 干旱区研究, 2004, 21(4): 339-443.
- [19] 张克斌, 卢晓杰, 李瑞, 等. 北方农牧交错带沙地生物结皮研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 147-151.
- [20] 赵允格, 许明祥, 王全九, 等. 黄土丘陵区退耕地生物结皮对土壤理化性状的影响[J]. 自然资源学报, 2006, 21(3): 44-448.

(上接第 179 页)

由于地表径流汇集, 切沟往往形成在道路下坡, Nessyen 研究^[8]发现, 在埃塞俄比亚高地地区, 道路建成后, 路段下坡即产生 9 条新的切沟, 而在距路段以下 100~500 m 距离则出现了 7 条切沟。这一结果与本研究结果相似, 也进一步验证了道路地貌部位可影响切沟发育的事实, 对流域道路规划提出重要挑战。

4 结论

(1) 从数量关系看, 鹤北流域道路长度与切沟长度存在一定关系, 表现在土质路面的道路对切沟影响较大, 从地貌部位上考虑, 流域谷底和坡面下部道路长度与切沟长度关系最密切; 坡面道路与坡面沟长度关系不大, 谷底沟同时受到坡面道路和谷底道路的影响, 与坡面和谷底道路长度关系密切。

(2) 鹤北小流域切沟分布与道路分布关系密切, 道路两侧约 25 m 范围内, 切沟长度增长迅速, 是治理的重点区域。次一级不同小流域 25 m 缓冲区内切沟所占比例又存在较大差异, 与道路空间分布有关, 如谷底有道路存在的小流域切沟长度较大。

[参 考 文 献]

- [1] 张学俭, 武龙甫. 东北黑土地水土流失修复[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [2] 李全, 杨岳奉, 孟令钦, 等. 松花江流域防洪规划[R]. 长春: 松辽水利委员会, 2004.
- [3] 孟令钦, 李勇. 东北黑土区沟蚀研究与防治[J]. 中国水土保持, 2009(12): 40-42.
- [4] 于章涛, 伍永秋. 黑土地切沟侵蚀的成因与危害[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2003, 39(5): 70-705.
- [5] 史志华, 陈利顶, 杨长春, 等. 三峡库区土质道路侵蚀产沙过程的模拟降雨试验[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6785-6792.
- [6] 张科利, 徐宪利, 罗丽芳. 国内外道路侵蚀研究回顾与展望[J]. 地理科学, 2008, 28(1): 119-123.
- [7] 伍永秋, 刘宝元. 切沟、切沟侵蚀与预报[J]. 应用基础与工程科学学报, 2000, 8(2): 134-142.
- [8] Jan Nyssen, Jean Poesen, Jan Moeyersons, et al. Impact of road building on gully erosion risk: A case study from the northern Ethiopian highlands[J]. Earth Surface Processes and Landforms. 2002, 27: 1267-1283.