

文章编号:1007-7588(2005)04-0063-08

层次分析法在江河源区高寒草地退化研究中的应用

周华坤^{1,4}, 赵新全¹, 周立¹, 唐艳鸿², 刘伟¹, 师燕³

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2. 国立环境研究所, 日本筑波 305-8506;
3. 青海省西宁市规划建设局, 西宁 810001; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:以江河源区退化高寒草甸为对象,利用层次分析法,探讨了高寒草地的退化原因和恢复治理措施的有效性。结果表明:长期超载过牧和暖干化气候是导致高寒草甸退化的主导因子,贡献率为 65.99%;伴随草地初始退化出现的鼠虫和毒杂草泛滥危害是加速高寒草甸退化的重要因子,贡献率为 15.03%;人类不合理干扰造成的高寒草甸退化也不应忽视,贡献率为 9.64%。各个恢复治理措施组合权重的分配格局相对均衡,其中围栏封育和划区轮牧(E_2)与控制放牧强度(E_1),效益较好,组合权重达 0.3007。层次分析法可为草原管理,防止草地退化、恢复治理退化草地、优化利用草地资源提供定量依据。

关键词:层次分析法;江河源区;草地退化;退化原因;恢复治理措施

草地退化是目前我国北方牧区面临的最重大的生态环境问题^[1],位于青藏高原的江河源区也不例外。该地区许多草场由于缺乏科学管理,长期超载过牧,加上由此导致的严重的鼠虫害和毒杂草泛滥,不合理的人为干扰以及暖干化气候的影响,草地退化日趋严重,面积逐年扩大^[2,3]。江河源区高寒草地的大面积退化直接威胁到该地区人类和家畜的生存与发展,威胁到社会秩序的安定,也威胁到长江、黄河中下游地区的生态平衡。从 20 世纪 80 年代以来,当地畜牧、草原、土地等部门及中央有关科研院所对高寒草地的退化形成与综合治理进行了针对性的试验研究,取得了一批实用成果^[4-8]。

层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, 简称 AHP 法) 在系统工程和环境评价等方面应用相当广泛^[9,10]。近年来,层次分析法在草地方面的应用研究也日益增多。刘振乾等^[11]运用该方法对三江平原沼泽化草地的生态脆弱性进行了评价研究。孟林^[12]将层次分析法用在草地资源的评价中,认为该方法简单有效客观。万里强等^[13]运用层次分析法原理对西部草业科技发展重点问题进行了评价,认为西部草业发展的关键在于加强草地退化方面的研究。赵英伟等^[14]运用层次分析法研究了我国西部地区草地资源可持续利用评价指标体系。本文应用层次分析法,将草原管理的复杂问题分解为若干层次和因素,通过各因素之间的比较判断和计算,算出

不同管理方案的权重(或组合权重),从而为最佳方案的选择提供基础。

1 研究方法

层次分析法是美国运筹学家 A. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的^[9,10,15],是一种新的定性定量相结合的系统分析方法,它将决策者对复杂对象的决策思维过程数量化具有较广泛的实用性。其主要步骤:

(1) 分析问题,确定系统的管理目标 C ; 根据目标及问题性质,将系统区分为若干管理层次及因素 (F)。

(2) 从第二层次开始,逐次确定判断矩阵,计算各因素的权重。首先逐对比较基本因素 F_i 和 F_j 对目标的贡献大小,给出它们之间的相对比重 a_{ij} 。根据统计资料、专家意见和分析研究者的认识,加以平衡后给出判断矩阵的数值,得到判断矩阵 A ,为应用方便用以下形式表示:

目标 C	F_1	F_2	.....	F_n	权重
F_1	a_{11}	a_{12}	.....	a_{1n}	1
F_2	a_{21}	a_{22}	.....	a_{2n}	2
...
F_n	a_{n1}	a_{n2}	.....	a_{nn}	n

式中: a_{ij} 是因素 F_i 对目标 C 的权重,它表示诸因素中 F_i 对目标贡献的相对大小,计算公式如下:

收稿日期:2004-05-02;修订日期:2005-01-04

基金项目:国家“十五”科技攻关项目课题“江河源区退化草地治理技术与示范”(编号:2001BA606A-02)。

作者简介:周华坤(1974~),男,青海乐都人,博士,主要从事草地生态学研究。

$$\begin{cases} b_i = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ik}}{n} \\ i = \frac{b_i}{b_i} \quad i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

向量 $\varpi = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 称为权重向量。

(3) 在逐层计算中,若系统的 L 层次有元素 n 个,第 $(L+1)$ 层次有元素 m 个。第 $(L+1)$ 层次元素对于第 L 层次 n 个元素的相对权重向量分别为: $\varpi_1, \varpi_2, \dots, \varpi_m$, 其中 $\varpi_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in})^T$, 第 L 层次元素的组合权重为 $\varpi = (u_1^L, u_2^L, \dots, u_n^L)^T$, 那么,第 $(L+1)$ 层次元素的组合权重向量 $\varpi^{L+1} = (u_1^{L+1}, u_2^{L+1}, \dots, u_m^{L+1})^T$ 为:

$$\varpi^{L+1} = \sum_{i=1}^n U_i^L \cdot \varpi_i$$

在实例中,该计算过程从第二层次开始,递阶层次逐层向下计算,直到算得最下层元素的组合权重,即系统最下层各个因素对总目标的贡献。

2 研究区概况

2.1 自然条件概况

江源区深居青藏高原腹地,位于青海省南部,依据卫星影象资料分析,江源区总土地面积为 $0.19 \times 10^8 \text{ hm}^2$,其中黄河源区以达日县境内的麦多唐贡玛峡为界,位于 $33^\circ 30' \sim 35^\circ 25' \text{ N}$, $96^\circ 00' \sim 99^\circ 45' \text{ E}$,行政区域上包括青海省果洛藏族自治州的玛多县、达日县、玛沁县以及甘德县所属的部分地区;长江源区以登艾龙曲汇口至治多县境为界,位于 $33^\circ 30' \sim 35^\circ 35' \text{ N}$, $90^\circ 93' \sim 95^\circ 75' \text{ E}$,行政区域上包括青海省玉树藏族自治州的曲麻莱县和治多县以及格尔木市所属的飞地唐古拉乡^[2,16]。

江源区平均海拔4000m左右,自然条件十分严酷。江源区具有典型的内陆高原气候特征^[2],如终年寒冷,四季不分,大部分地区年均气温低于 0°C ,大于 5°C 的积温小于 650°C ;水热同季,降水集中,该区域暖季多雨,年降水量在 $326.0 \text{ mm} \sim 555.1 \text{ mm}$,一年中热量相对集中的6月~8月份,降水量占全年的80%以上;辐射强烈,光照资源丰富,太阳年辐射量在 $60 \times 10^8 \text{ J/m}^2$ 以上,各地年日照时数在 $2200 \text{ h} \sim 2900 \text{ h}$;气象灾害类型多,发生频繁,干旱、雪灾、霜冻、大风和冰雹等十分常见。江源区的土壤以高山草甸土为主,并分布有面积不大的高山草原土和高山寒漠土。江源区植被类型较为简单,从东南到西北,依次分布着高寒灌丛、高寒草

甸和高寒草原等植被生态类型,以高山草甸和高寒草原化草甸为主,局部高海拔地带分布垫状植被和流石滩稀疏植被。

2.2 江源区草地退化现状

江源区是青海省乃至整个青藏高原的重要畜牧业基地,草场面积 $0.16 \times 10^8 \text{ hm}^2$,占该区域总土地面积的85.9%,其中高寒嵩草草甸草场面积 $0.13 \times 10^8 \text{ hm}^2$,占总草场面积的78.72%^[2]。

江源区草地退化方面的研究报道最早开始于20世纪70年代^[17],迄今已屡见不鲜。近40年来,植被区域性退化严重,草地退化达可利用面积的26%~46%,退化速度由20世纪70年代的3.9%增加到20世纪90年代的7.6%^[3],部分草地甚至退化为毫无利用价值的次生裸地“黑土滩”,根据遥感资料分析,目前这种退化趋势有增无减,尤以黄河源区草地退化更为严重^[2]。

根据玛多县1997年的抽样调查资料和达日县重度退化草地遥感解译资料,可以显示整个江源区90年代以来草地退化态势^[16]。玛多县1987年与1997年进行过两次大规模的草地调查,可以看出,90年代以来大面积草地退化的程度明显加剧,尽管轻度退化面积有所减少,但中度和重度退化草地分别比80年代增加了 $50.59 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和 $62.36 \times 10^4 \text{ hm}^2$,总退化面积增加了 $53.80 \times 10^4 \text{ hm}^2$,增加比例为50.29%。1989年达日县的重度退化草地约 $8.07 \times 10^4 \text{ hm}^2$,而据1997年卫片影像判断^[18],此类土地面积已达 $20.62 \times 10^4 \text{ hm}^2$,年平均增加 $1.25 \times 10^4 \text{ hm}^2$,年增长率为15.49%,这充分反映出江源区退化草地的扩展十分强烈。以江源区的青海省果洛州为例,退化草地占全州可利用草地面积的49%,鼠害面积占可利用草地面积的44%,极重度退化草地面积占21.1%^[19]。

据不完全统计,目前江源区约有 $357.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 退化草地,约占草地总面积的1/3,其中严重退化草地面积约 $95.66 \times 10^4 \text{ hm}^2$,约占退化草地面积的26.79%^[16,20],这已经威胁到当地的生态环境、生物多样性保护和畜牧业经济的发展。江源区高寒草地急剧恶化降低了草地的生产能力和承载能力,致使该地区陷入“贫穷—草地生态环境破坏—更加贫穷”的恶性循环,严重制约了畜牧业经济的发展,导致贫困状况加剧,如达日、班玛二县已被沦为国定贫困县,曾为全国牧区富县的黄河源头第一县——玛多,也被沦为贫困县^[21]。

江河源区草地退化同时,对当地及中下游地区的生态环境产生负面影响,如黄河源区草地退化后植被盖度下降,生物量减少,涵养水源和保持水土的能力下降,从而促使土地沙化、湖泊干枯、湿地萎缩、水土流失加剧^[16,22,23],成为严重制约当地畜牧业经济发展的环境因素。由于湖泊干涸、河流断流,黄河自青海省的出境水量自 70 年代以来不断减少,已由最初的 $673 \text{ m}^3/\text{s}$ 下降为 $517 \text{ m}^3/\text{s}$,平均减少 23%,这对黄河中下游的社会经济发展产生了不利的影 响^[20]。湿地萎缩导致沼泽植被的大量消失,物种多样性下降明显。另外,由于近年来草地生态环境的恶化,特别是沼泽化高寒草地的退缩,以及对野生动物的偷捕滥猎和对冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)、麻花苣(*Gentiana straminea*)等药用植物的大肆采掘,生物种分布区缩小,一些物种逐渐变为濒危物种,目前江河源区境内受到威胁的生物物种约占其总类的 15%~20%,高于世界 10%~15%的平均水平^[16,20]。

3 结果与分析

宏观上可将高寒草甸生态系统的管理调控分为两个层次:退化原因分析和治理措施实施。前一层次包括导致高寒草甸退化的诸多原因,后一层次是各种恢复治理措施。根据笔者等在江河源区多年的野外实际调查,草地退化原因和驱动力的分析研究,退化草地恢复治理的实践经验 and 不同学科相关专家的意见^[2,8,16,24],综合分析后,认为高寒草甸退化原因层次包括以下 6 个因素: F_1 为长期超载过牧; F_2 为鼠虫、毒杂草危害; F_3 为人类不合理干扰(铲挖草皮、挖药、淘金、修路、挖沙采石和滥垦滥伐等); F_4 为畜群结构不合理; F_5 为暖干化气候; F_6 为土壤侵蚀、冻融作用。恢复治理措施层次包括以下 8 个因素: E_1 为控制降低放牧强度; E_2 为围栏封育和划区轮牧; E_3 为建立人工草地; E_4 为鼠虫害与毒杂草控制; E_5 为停止人类不合理干扰; E_6 为施肥、补播、松耙; E_7 为优化畜群结构; E_8 为优良牧草选育。

一般都认为^[1,6,8],鼠虫和毒杂草泛滥是草地退化的结果之一,是由于草地退化造成了鼠虫和毒杂草泛滥,而鼠虫和毒杂草泛滥又进一步加剧了草地退化,这和周华坤等对江河源区草地退化原因的论述^[2]是一致的。鼠虫和毒杂草泛滥是江河源区草地退化的一个初始结果和中间的一个表象,草地退化的最终结果是次生裸土化和沙化。综观江河源区草地退化原因的众多文献论述,绝大多数将鼠虫和毒

杂草泛滥作为草地初始退化的一个伴生物,同时又是草地继续退化的促进因素。为此,本文将鼠虫、毒杂草危害作为高寒草甸退化的一个原因(F_2)。

草地管理的目的在于保护草原植被、维持生态平衡的前提条件下获得最佳的经济效益,达到可持续发展的目的。若依此为总目标 C ,可将高寒草甸放牧生态系统的管理问题归结为以下的层次结构图(图 1)。

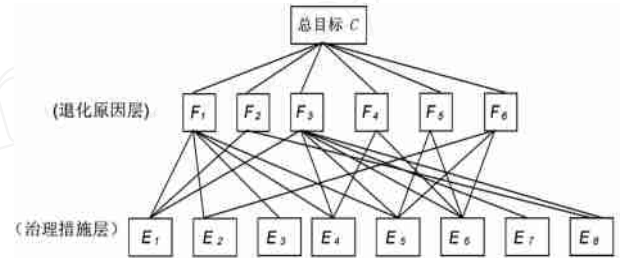


图 1 高寒草甸放牧生态系统层次结构

Fig. 1 The hierarchy of alpine meadow grazing ecosystem

3.1 高寒草甸退化因素权重的确定

从 20 世纪 80 年代以来,江河源区草场退化面积的剧增,草地生态环境的恶化,引起了地方政府部门和科研机构的高度重视,青海省有关畜牧、草原、土地等专业部门及中科院西北高原生物研究所对退化草地的形成与综合治理进行了大量研究和恢复治理工作,开展了包括国家“十五”科技攻关项目(2001BA606A-02,江河源区退化草地治理技术与示范)和青海省“九五”重点科技攻关项目(96-N-112,“黑土型”退化草地植被恢复技术研究)等一批重要研究工作,进行了较大规模的恢复治理以及调查和咨询工作。

在江河源区所辖的果洛州达日县、玛沁县、玛多县,玉树州的曲玛莱县、治多县以及格尔木市的唐古拉乡不同地方进行了各类退化草地植物群落调查、生物量测定、鼠害调查、土样养分测定等详细地调查研究;通过江河源区各县畜牧、草原、气象部门,青海省草原总站,青海省农牧厅和青海省气象局收集了草地退化面积、畜群结构、人工草地面积、鼠害情况、退化草地恢复治理效果、历年的气象参数等一些资料;在达日县建设乡和窝寨乡、玛沁县军牧场和雪山乡等一些草地退化严重地区调查了若干牧户的草场面积、牲畜数量、草地建设投入和方式、鼠虫和毒杂草对草地的危害状况、对草地退化原因的认识、牧户的收入和人口等;依托上述研究项目和国家退耕还草工程,先后在果洛州达日县和玛沁县严重退化草

地上建成近7 000hm² 优质高产人工草地,有效缓解了当地的草畜矛盾,保护了天然草地,为退化草地的恢复治理起到了较好的示范作用。

为了对草地退化各因素权重值的确定更具有权威、科学合理性,除了咨询牧民外,同时咨询了一批长期从事江河源区退化草地成因、恢复治理研究工作的专家和当地草原、畜牧部门的行政管理人员与技术人员(共21人)。这些被咨询人员来自于中科院西北高原生物所、青海省畜牧兽医科学院、青海大学农牧学院、青海省气象局、青海省草原总站、青海省农牧厅、青海省果洛州草原站,专业背景涉及草地生态、植物生态、恢复生态、草地保护、气象和畜牧等。许多被咨询人员都对长期超载过牧这一草地退化因素赋予了较大的权重值,气象部门的专家对暖干化气候赋予了较大的权重值,但他们认为长期超载过牧在退化草地的形成中的贡献也不容忽视,权重值也较高。

根据上述江河源区退化草地的实际调查工作和专家意见,通过综合分析,根据层次分析法数学模型计算得到退化原因的判断矩阵及有关权重(表1)。表1中 a_{ij} 表示退化原因 F_i 对目标 C 的权重($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$),各权重计算如下: $b_1 = \sqrt[6]{1 \times 5 \times 7 \times 7 \times 3 \times 9} = 3.0031$;同理, $b_2 = 1.1472$, $b_3 = 0.7355$, $b_4 = 0.3064$, $b_5 = 2.0328$, $b_6 = 0.4061$, 利用公式 $w_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^6 b_i}$ 计算得: $w_1 = 0.3935$, $w_2 = 0.1503$, $w_3 = 0.0964$, $w_4 = 0.0402$, $w_5 = 0.2664$, $w_6 = 0.0532$ 。得到权重向量 $W = (0.3935, 0.1503, 0.0964, 0.0402, 0.2664, 0.0532)^T$ 。

上述高寒草地退化原因的权重大小次序为: $w_1 > w_5 > w_2 > w_3 > w_6 > w_4$,表明长期超载过牧和暖干

表1 高寒草地退化原因的判断矩阵与权重

Table 1 The judging matrix and weight values of degrading causes of alpine meadow

退化原因	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	权重
F_1	1	5	7	7	3	9	$w_1 = 0.3935$
F_2	1/5	1	3	5	1/5	5	$w_2 = 0.1503$
F_3	1/7	1/3	1	3	1/5	3	$w_3 = 0.0964$
F_4	1/7	1/5	1/3	1	1/7	2	$w_4 = 0.0402$
F_5	1/3	5	8	7	1	5	$w_5 = 0.2664$
F_6	1/9	1/5	1/3	1/2	1/5	1	$w_6 = 0.0532$

化气候是导致高寒草甸退化的主导因子,贡献率为65.99%;伴随草地初始退化出现的鼠虫和毒杂草泛滥危害是加速高寒草甸退化的重要因子,贡献率为15.03%;人类不合理干扰造成的高寒草甸退化也不容忽视,贡献率为9.64%,尤其在西部大开发的今天,高寒地区工程项目日益增多,应引起重视;另外,由于土壤侵蚀、冻融作用,畜群结构不合理造成的高寒草甸退化占9.34%。

3.2 各项恢复治理措施的权重分析

为了研究各项管理措施的有效性,首先计算各个退化原因下各恢复治理措施的判断矩阵及权重。具体计算结果如下:

3.2.1 退化原因 F_1 (长期超载过牧) 下,各措施的判断矩阵及权重:其中 a_{j1} 表示退化原因 F_1 下治理措施 E_j ($j = 1, 2, \dots, 8$) 的权重,即第 j 项治理措施对退化原因 F_1 的有效程度。

	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	措施权重
E_1	1	1/2	1/2	3	5	3	5	7	$w_{11} = 0.1656$
E_2	2	1	3	5	7	5	5	9	$w_{21} = 0.2233$
E_3	2	1/3	1	3	5	4	5	7	$w_{31} = 0.1792$
E_4	1/3	1/5	1/3	1	3	1	2	3	$w_{41} = 0.1076$
E_5	1/5	1/7	1/5	1/3	1	1/2	1/2	1	$w_{51} = 0.0707$
E_6	1/3	1/5	1/4	1	2	1	3	5	$w_{61} = 0.1104$
E_7	1/5	1/5	1/5	1/2	2	1/3	1	3	$w_{71} = 0.0818$
E_8	1/7	1/9	1/7	1/3	1	1/5	1/3	1	$w_{81} = 0.0614$

3.2.2 退化原因 F_2 (鼠虫、毒杂草危害) 下,各措施的判断矩阵及权重:其中 a_{j2} 表示退化原因 F_2 下治理措施 E_j ($j = 1, 2, \dots, 8$) 的权重,即第 j 项治理措施对退化原因 F_2 的有效程度。

	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	措施权重
E_1	1	1	2	1/5	3	2	3	7	$w_{12} = 0.1420$
E_2	1	1	2	1/5	5	3	3	7	$w_{22} = 0.1542$
E_3	1/2	1/2	1	1/7	3	1	3	5	$w_{32} = 0.1174$
E_4	5	5	7	1	7	5	7	9	$w_{42} = 0.2546$
E_5	1/3	1/5	1/3	1/7	1	1/3	1/2	1	$w_{52} = 0.0711$
E_6	1/2	1/3	1	1/5	3	1	2	4	$w_{62} = 0.1124$
E_7	1/3	1/3	1/3	1/7	2	1/2	1	3	$w_{72} = 0.0880$
E_8	1/7	1/7	1/5	1/9	1	1/4	1/3	1	$w_{82} = 0.0603$

3.2.3 退化原因 F_3 (人类不合理干扰) 下,各措施的判断矩阵及权重:其中 a_{j3} 表示退化原因 F_3 下治理措施 E_j ($j = 1, 2, \dots, 8$) 的权重,即第 j 项治理措施对退化原因 F_3 的有效程度。



	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	措施权重
E_1	1	1	1/5	1/2	1/7	1/3	1	1/2	$13 = 0.0785$
E_2	1	1	1/5	1/2	1/7	1/2	1	1/2	$23 = 0.0806$
E_3	5	5	1	3	1/5	2	3	2	$33 = 0.1585$
E_4	2	2	1/3	1	1/7	1/2	1	1	$43 = 0.0989$
E_5	7	7	5	7	1	7	8	9	$53 = 0.2692$
E_6	3	2	1/2	2	1/7	1	2	3	$63 = 0.1269$
E_7	1	1	1/3	1	1/8	1/2	1	1	$73 = 0.0900$
E_8	2	2	1/2	1	1/9	1/3	1	1	$83 = 0.0974$

3.2.4 退化原因 F_4 (畜群结构不合理) 下,各措施
的判断矩阵及权重:其中 μ_4 表示退化原因 F_4 下治
理措施 $E_j (j = 1, 2, \dots, 8)$ 的权重,即第 j 项治理措施
对退化原因 F_4 的有效程度。

	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	措施权重
E_1	1	1	1	1	2	2	1/8	2	$14 = 0.1146$
E_2	1	1	2	2	2	1	1/8	2	$24 = 0.1197$
E_3	1	1/2	1	1	1	1	1/9	1	$34 = 0.0957$
E_4	1	1/2	1	1	1	1	1/9	1	$44 = 0.0957$
E_5	1/2	1/2	1	1	1	1	1/9	1	$54 = 0.0916$
E_6	1/2	1	1	1	1	1	1/9	1	$64 = 0.0957$
E_7	8	8	9	9	9	9	1	9	$74 = 0.2954$
E_8	1/2	1/2	1	1	1	1	1/9	1	$84 = 0.0916$

3.2.5 退化原因 F_5 (暖干化气候) 下,各措施的判
断矩阵及权重:其中 μ_5 表示退化原因 F_5 下治理措
施 $E_j (j = 1, 2, \dots, 8)$ 的权重,即第 j 项治理措施对退
化原因 F_5 的有效程度。

	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	措施权重
E_1	1	1	1	1	1/2	1/2	1	1	$15 = 0.1126$
E_2	1	1	1	1	1/2	1/2	1	1	$25 = 0.1126$
E_3	1	1	1	1	1/2	1/2	1	1	$35 = 0.1126$
E_4	1	1	1	1	1/2	1/2	1	1	$45 = 0.1126$
E_5	2	2	2	2	1	2	3	3	$55 = 0.1749$
E_6	2	2	2	2	1/2	1	3	3	$65 = 0.1605$
E_7	1	1	1	1	1/3	1/3	1	1	$75 = 0.1071$
E_8	1	1	1	1	1/3	1/3	1	1	$85 = 0.1071$

3.2.6 退化原因 F_6 (土壤侵蚀、冻融作用) 下,各措
施的判断矩阵:其中 μ_6 表示退化原因 F_6 下治理措
施 $E_j (j = 1, 2, \dots, 8)$ 的权重,即第 j 项治理措施对退
化原因 F_6 的有效程度。

	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	措施矩阵
E_1	1	1/2	3	2	1/5	3	2	4	$16 = 0.1548$
E_2	2	1	5	3	1/2	4	3	5	$26 = 0.1919$
E_3	1/3	1/5	1	1/3	1/5	3	1/2	2	$36 = 0.0017$
E_4	1/2	1/2	3	1	1/5	3	2	3	$46 = 0.1301$
E_5	5	2	5	5	1	7	5	8	$56 = 0.2519$
E_6	1/3	1/4	1/3	1/3	1/7	1	1/3	2	$66 = 0.0808$
E_7	1/2	1/3	2	1/2	1/5	3	1	3	$76 = 0.1163$
E_8	1/4	1/5	1/2	1/3	1/8	1/2	1/3	1	$86 = 0.0725$

上述各措施权重反映了诸措施对某一特定退化
原因的有效性。为分析某项措施对各种原因的综合
效应,还计算了措施的组合权重。

组合权重向量为

$$\mu = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ u_8 \end{pmatrix} = \begin{matrix} \\ \\ 6 \\ i \\ \\ \\ 8i \end{matrix} \begin{pmatrix} 1i \\ 2i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 8i \end{pmatrix}$$

将以上各表权重数据代入计算得:

$$\mu = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ u_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1369 \\ 0.1638 \\ 0.1374 \\ 0.1309 \\ 0.1281 \\ 0.1235 \\ 0.1007 \\ 0.0787 \end{pmatrix}$$

组合权重 U_j 表示第 j 项治理措施 E_j 的组
合权重。如果组合权重较大,则表明其治理的综合效应好。
显然, $u_2 > u_3 > u_1 > u_4 > u_5 > u_6 > u_7 > u_8$,除了 u_2
较大以外, u_3, u_1, u_4, u_5, u_6 都比较接近, u_7, u_8 较
小。说明,除了围栏封育和划区轮牧 (E_2) 的治理效
益较好以外,建立人工草地 (E_3)、通过减少实际载
畜量来降低放牧强度 (E_1)、鼠虫害与毒杂草控制
(E_4)、停止人类不合理干扰 (E_5)、施肥、补播、松耙
改良退化草地 (E_6) 这些治理措施效益也较高,优化
畜群结构 (E_7) 和优良牧草选育 (E_8) 在治理退化草
地方面的效益(尤其快速和短期效应)和贡献相对较
低,这和各种措施在实际中实施的结果是一致的^[5, 25],
没有一种治理措施能够完全替代其它。各个治理措施
组合权重的这种相对均衡的分配格局(图 2)与高寒草
甸退化现状(包括退化程度和退化面积大小)有关。不
同的退化草地需要不同的恢复

治理策略,因地制宜,综合治理^[2]。周华坤等^[2]从江河源区退化草地综合治理条件下的恢复演替分析中也得出,各个治理策略对退化草地的恢复都有不同大小的贡献。对于轻度退化草地,应以保护为主,通过减轻放牧压力,降低放牧强度的措施,即可以防止其进一步退化,向原生草甸植被方向演替。对于中度退化草地,应采取补播、施肥等措施,提高土壤肥力,同时消灭鼠害、围栏封育,将会有效遏制草场继续退化,并取得较好的经济效益。对于重度退化和极度退化草地,恢复治理难度较大,应综合采取上述治理措施,建立人工、半人工草地,恢复植被,重建或改建生态系统,进而达到一种新的生态平衡。

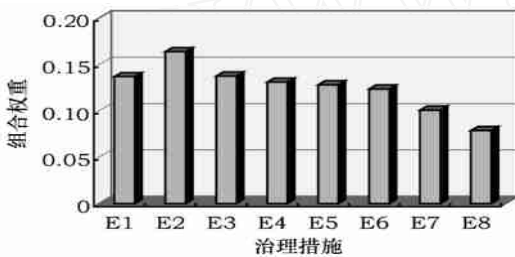


图 2 不同治理措施组合权重的分配

Fig. 2 The distribution of integrated weight values of different restoring measures

注释: E_1 为(减少实际载畜量)控制降低放牧强度; E_2 为围栏封育和划区轮牧; E_3 为建立人工草地; E_4 为鼠虫害与毒杂草控制; E_5 为停止人类不合理干扰; E_6 为施肥、补播、松耙; E_7 为优化畜群结构; E_8 为优良牧草选育。

4 讨论与结论

(1) 长期超载过牧和暖干化气候是导致高寒草甸退化的主导因子,贡献率为 65.99%;伴随草地初始退化出现的鼠虫和毒杂草泛滥危害是加速高寒草甸退化的重要因子,贡献率为 15.03%;其余原因影响相对较小。气候的变化在较大尺度上人类是无法改变的,但可以通过减少温室气体的排放,延缓或阻止气候温暖化。超载过牧和鼠虫危害占 54.38%,所以退化草地的恢复治理应依此为切入点,重点通过改善放牧制度、减轻放牧压力、控制载畜量,同时控制鼠虫危害。

(2) 治理措施及其权重不仅可以表明它们对特定退化原因的治理效应,也反映了它们对特定退化原因的有效性。

(3) 措施组合权重反映了措施对不同退化原因的综合效应。结果表明,围栏封育和划区轮牧(E_2)与控制放牧强度(E_1),效益较好,其比重为

30.07%;鼠虫害与毒杂草控制(E_4)、停止人类不合理干扰(E_5)、施肥、补播、松耙改良退化草地(E_6)这些治理措施效益也较高,比重都在 12%以上,优化畜群结构(E_7)和优良牧草选育(E_8)在治理退化草地方面的效益相对较低,低于 12%。这和野外观察和退化草地恢复试验的研究结果是一致的,如马玉寿等^[25]、王启基等^[41]对极重度退化草地~“黑土滩”的恢复治理实践,周华坤等^[26,27]运用封育措施调整放牧强度、治理退化草地的研究,景增春等^[7,28]通过鼠虫害与毒杂草控制来治理退化草地的实践,李希来等^[29]对青海南部江河源区家庭牧场优化经营模式的探讨等等。

(4) 将层次分析法用于高寒草甸退化研究,使那些难以量化的指标(如退化原因、恢复治理措施的有效程度)得以量化,为制定草原管理对策,防止草地退化、恢复治理退化草地、优化利用草地资源提供了定量依据。

参考文献 (References):

- [1] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策[J]. 中国农业科学, 1997, 30(6): 1~9. [LI Bo. The rangeland degradation in north China and its preventive strategy[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1997, 30(6): 1~9.]
- [2] 周华坤, 周立, 赵新全, 等. 江河源区“黑土滩”型退化草场的形成过程与综合治理[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5): 51~55. [ZHOU Hua-kun, ZHOU Li, ZHAO Xin-quan, et al. The degraded process and integrated treatment of “black soil beach” type degraded grassland in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(5): 51~55.]
- [3] 程国栋. 关于江河源区生态环境保护与建设研究的几点认识[J]. 地球科学进展, 1998, 13(增刊): 1~5. [CHENG Guo-dong. Some concepts of ecological environment protection and construction in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Advance in Earth Science*, 1998, 13(Suppl.): 1~5.]
- [4] 王启基, 周兴民, 沈振西, 等. 不同调控策略下退化草地恢复与重建的效益分析[A]. 高寒草甸生态系统(第4集)[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 343~352. [WANG Qi-ji, ZHOU Xing-min, SHENG Zheng-xi, et al. Benefit analysis of restoration and regeneration under different controlling measures[A]. In: Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem, the Chinese Academy of Sciences (eds). *Alpine Meadow Ecosystem (Fasc4)* [C]. Beijing: Science Press, 1995. 343~352.]
- [5] 李希来. 补播禾草恢复“黑土滩”植被的效果[J]. 草业科学, 1996, 13(5): 17~19. [LI Xi-lai. The effects of reseeding graminoids on the “black beach” vegetation[J]. *Pratacultural Science*, 1996, 13(5): 17~19.]
- [6] 李文华, 周兴民. 青藏高原生态系统及优化利用模式[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998. [LI Wen-hua, ZHOU Xing-min. *Ecosystem and Optimal Utilized Pattern of Qinghai-Tibet Plateau*

- [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1998.]
- [7] 景增春, 樊乃昌, 周文扬, 等. 盘坡地区草场鼠害的综合治理[J]. 应用生态学报, 1991, 2(1): 32~38. [JING Zhen-chun, FAN Nai-chang, ZHOU Wen-yang, et al. The integrated treatment to the rodent destruction at the grassland of Panpo[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1991, 2(1): 32~38.]
- [8] 赵新全, 张耀生, 周兴民. 高寒草甸畜牧业可持续发展: 理论与实践[J]. 资源科学, 2000, 22(4): 50~61. [ZHAO Xin-quan, ZHANG Yao-sheng, ZHOU Xing-min. Theory and practice for sustainable development of animal husbandry on the alpine meadow pasture[J]. *Resource Science*, 2000, 22(4): 50~61.]
- [9] 徐建华, 余庆余. 人类生态系统[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1993. 121~136. [XU Jian-hua, YU Qing-yu. Human Ecosystem[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1993. 121~136.]
- [10] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1996. [WANG Lian-fen, XU Shu-bo. The Introduction of the Analytic Hierarchy Process [M]. Beijing: Renmin University Press, 1996.]
- [11] 刘振乾, 刘红玉, 吕宪国. 三江平原湿地生态脆弱性研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 241~244. [LIU Zheng-qian, LIU Hong-yu, LV Xian-guo. Ecological fragility of wetlands in Sanjiang Plain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(2): 241~244.]
- [12] 孟林. 层次分析法在草地资源评价中应用的研究[J]. 草业科学, 1998, 15(6): 1~4. [MENG Lin. Application of the analytic hierarchy process on the grassland resource [J]. *Pratacultural Science*, 1998, 15(6): 1~4.]
- [13] 万里强, 候向阳, 李向林. 层次分析法在西部草业发展中的应用[J]. 草业学报, 2003, 12(5): 1~7. [WAN Li-qiang, HOU Xiang-yang, LI Xiang-lin. Application of the Analytic hierarchy process of the grassland industry in Western China [J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2003, 12(5): 1~7.]
- [14] 赵英伟, 刘黎明, 白晓飞. 西部大开发草地资源可持续利用评价与发展对策[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 15~18. [ZHAO Ying-wei, LIU Li-ming, BAI Xiao-fei. Evaluation and countermeasures of sustainable utilization of grassland resource in development of western China[J]. *Chinese Journal of EcoAgriculture*, 2004, 12(2): 15~18.]
- [15] Satty T. L. The Analytical Hierarchy Process[M]. USA: Mc Graw-Hill Company, 1980.
- [16] 王根绪, 程国栋. 江河源区的草地资源特征与草地生态变化[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 101~107. [WANG Gen-xu, CHENG Guo-dong. Characteristics of grassland and ecological changes of vegetations in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(2): 101~107.]
- [17] 彭立鸣, 阎新文. 青海省玉树州曲麻莱秃斑地及其改造[J]. 中国草原, 1980, 2(4): 7~17. [PENG Li-ming, YAN Xin-wen. The bare land and its restoration at Qumalai, Yushu Prefecture, Qinghai Province[J]. *Grassland of China*, 1980, 2(4): 7~17.]
- [18] 陈全功, 卫亚星, 梁天刚. 青海省达日县退化草地研究: I. 退化草地遥感调查[J]. 草业学报, 1998, 7(2): 58~63. [CHEN Quan-gong, WEI Ya-xing, LIANG Tian-gang. The investigation of grassland degradation in Dari County of Qinghai Province: I Remote sensing and mapping[J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 1998, 7(2): 58~63.]
- [19] 周华坤, 周立, 刘伟, 等. 青海省果洛州草地退化原因与畜牧业可持续发展策略[J]. 草业科学, 2003, 20(10): 19~25. [ZHOU Hua-kun, ZHOU Li, LIU Wei, et al. The study on the reason of grassland degradation and the strategy of sustainable development of animal husbandry in Guoluo Prefecture, Qinghai Province[J]. *Pratacultural Science*, 2003, 20(10): 19~25.]
- [20] 严作良, 周华坤, 刘伟, 等. 江河源区草地退化状况及成因[J]. 中国草地, 2003, 25(1): 73~78. [YAN Zuo-liang, ZHOU Hua-kun, LIU Wei, et al. Grassland degradation and degrading causes of the source region of Yangtze and Yellow Rivers [J]. *Grassland of China*, 2003, 25(1): 73~78.]
- [21] 周华坤, 周立, 刘伟, 等. 青海省玛多县草地退化原因与畜牧业可持续发展[J]. 中国草地, 2003, 25(6): 63~67. [ZHOU Hua-kun, ZHOU Li, LIU Wei, et al. The reason of grassland degradation and sustainable development of animal husbandry of Maduo County, Qinghai Province[J]. *Grassland of China*, 2003, 25(6): 63~67.]
- [22] 摆万奇, 张锦锂, 谢高地, 等. 黄河源区玛多县草地退化成因分析[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 823~826. [BAI Wang-qi, ZHANG Jin-li, XIE Gao-di, et al. Cause analysis of grassland degradation of Maduo County in source region of Yellow River[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 823~826.]
- [23] 张耀生, 赵新全, 周兴民. 青海省草地畜牧业可持续发展战略与对策[J]. 自然资源学报, 2000, 15(4): 328~334. [ZHANG Yao-sheng, ZHAO Xin-quan, ZHOU Xing-min. Sustainable development and strategies of grassland animal husbandry of Qinghai Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15(4): 328~334.]
- [24] 李希来. 青藏高原“黑土滩”形成的自然因素与生物学机制[J]. 草业科学, 2002, 19(1): 20~22. [LI Xi-lai. The natural factors and biological mechanism of “black beach” formation on Tibetan Plateau[J]. *Pratacultural Science*, 2002, 19(1): 20~22.]
- [25] 马玉寿, 郎百宁. 江河源区高寒草甸退化草地与恢复重建技术研究[J]. 草业科学, 2002, 19(9): 1~5. [MA Yu-shou, LANG Bai-ning. The study of degraded grassland and restoring measures of alpine meadow in the source region of Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Pratacultural Science*, 2002, 19(9): 1~5.]
- [26] 周华坤, 周立, 刘伟, 等. 封育措施对退化与未退化矮嵩草草甸的影响[J]. 中国草地, 2003, 25(5): 15~22. [ZHOU Hua-kun, ZHOU Li, LIU Wei, et al. The influence of fencing on degraded *Kobresia humilis* meadow and non-degraded *Kobresia humilis* meadow[J]. *Grassland of China*, 2003, 25(5): 15~22.]
- [27] 周华坤, 周立, 赵新全, 等. 围栏封育对轻牧与重牧金露梅灌丛的影响[J]. 草地学报, 2004, 12(2): 140~144. [ZHOU Hua-kun, ZHOU Li, ZHAO Xin-quan, et al. The Influence of fencing on lightly grazing *Potentilla fruticosa* shrub and heavily grazing *Potentilla fruticosa* shrub[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2004, 12(2): 140~144.]
- [28] 景增春, 王文翰, 王长庭, 等. 江河源区退化草地鼠害的治理研究[J]. 中国草地, 2003, 25(6): 36~40. [JING Zhen-chun, WANG Wen-han, WANG Chang-ting, et al. Study on rodent pest management of degenerated grassland in the source region of Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Grassland of China*, 2003, 25(6): 36~

40.]
 [29] 李希来 青南高原家庭牧场优化经营模式的探讨[J]. 草业科学, 2001, 18(4): 50 ~ 53, 56. [LI Xi-lai. A optimal pattern of

management for family farm on Southern Qinghai Plateau [J].
Pratacultural Science, 2001, 18(4): 50 ~ 53, 56.]

Application of Analytic Hierarchy Process on the Alpine Grassland Degradation in the Source Region of the Yangtze and Yellow Rivers

ZHOU Hua-kun^{1,4}, ZHAO Xin-quan¹, ZHOU Li¹, TANG Yan-hong², LIU Wei¹, SHI Yan³

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China;

2. National Institute for Environmental Studies Tsukuba 305-8506, Japan;

3. Bureau of Programming and Construction, Xining, Qinghai Province, Xining 810001, China;

4. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The degradation of alpine grassland is serious in the source region of the Yangtze and Yellow Rivers. The area of degraded grassland is 357.13×10^4 ha, accounting for a third of available grassland in the region. Serious grassland degradation has brought great impacts to local ecological environments, biodiversity conservation, and animal husbandry development. Analytic Hierarchy Process (AHP) was adopted for analyzing the causes of alpine grassland degradation and efficiency of different restoring measures were evaluated in the region. The results shown that Long-term over-grazing process, warming and drying climate are the main causes of alpine grassland degradation with a contribution of 65.99%. The damages from hedgehog and pest as well as rampant toxic weeds are coupling with the primitive degradation and accelerating the process of alpine grassland degradation, attribution to 15.03%. Human activities rank in the third place with a contribution rate of 9.64% to alpine grassland degradation. Except for the natural factors such as warming and drying climate, and freeze-thaw erosion, there are four others of anthropic factors contributing to alpine grassland degradation. The contribution of natural factors to alpine grassland degradation accounts for 31.96%, while anthropic factors accounting for 68.04%. These data revealed that about 70% of alpine meadow degradation is caused by human irrational disturbance and about 30% attribute to natural factors. Moreover, improper grassland management such as long-term over-grazing, rampant toxic weeds, introduction of invasive species, and irrational structure of livestock cause alpine grassland degradation directly and indirectly. The contribution of improper grassland management to alpine meadow degradation reaches to 58.40%. The integrated weight values reflect the integrated effects of restoring measures on different causes of alpine grassland degradation. The distributing pattern of integrated weight value of different restoring measures is equilibratory. The fencing, rotating grazing system (E_2) and decreasing grazing intensity (E_1) are better than other measures with the integrated weight value of 0.3007. The integrated weight values of pest harm control (E_4), human irrational disturbance control (E_5) and restoring degraded grassland by fertilizing, reseeding and loosing (E_6) are larger than 0.1200. The integrated weight values of optimization of livestock structure (E_7) and selection of high quality cultivars (E_8) are less than 0.1200. The study shown that the AHP can provide meaningful data for improving grassland management, preventing grassland from degradation, restoring degraded grassland and grassland optimal utilization as well.

Key words: The analytic hierarchy process (AHP); The source region of the Yangtze and Yellow River; Grassland degradation; Degenerative causes; Restoring measures