

文章编号: 1007-0435(2004)01-0060-06

# 嵩草草甸退化预测模型的初步研究

刘伟, 周立, 周华坤, 王溪

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**摘要:** 以次级生产力作为衡量草地退化的标准, 以生物量或优良牧草比例作为影响次级生产力的主要因子, 建立嵩草草地退化预测模型; 以优良牧草生物量下降 1% ~ 5% 的速度预测不同程度退化草地之间的过渡时间, 结果表明: 未退化草地演替至重度退化草地所需时间, 最长为 51 年, 最短仅 10.2 年。目前, 青海省草地的平均退化速度为 2.42%。

**关键词:** 草原学; 草地退化; 预测模型; 嵩草草甸

**中图分类号:** S812.3 **文献标识码:** A

## A Preliminary Study on Kobresia Meadow Degradation Forecast Model

LIU Wei, ZHOU Li, ZHOU Hua-kun, WANG Xi

(Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810001, China)

**Abstract:** The study takes a meadow's secondary productivity to assess if it is degrading, and takes the amount of the meadow's aboveground biomass or rate of high-quality grass yield as the major factors that influence the secondary productivity. The benchmark that denotes the transitional period of a meadow's degradation is that its biomass of high-quality grass falls with an annual speed of 1% ~ 5%. The result shows that normally it takes 51 years, the longest, for a plot of meadow to degrade severely and the shortest 10.2 years to deteriorate seriously. At present, the annual average degradation rate of the total Qinghai meadow acreage is 2.42%.

**Key words:** Grassland science; Grassland degradation; Forecast model; *Kobresia* meadow

高寒草甸是青藏高原重要的草地资源。长期以来, 由于人们在重视生产发展的过程中, 缺乏对高寒草甸生态系统深入研究和科学的管理, 造成草地生态环境恶化, 生产力水平不断下降, 严重阻碍了高寒草地畜牧业的持续发展。这一现象已引起了广大草地科学家的高度重视, 并从不同角度作了大量的研究工作<sup>[1-8]</sup>, 但对于草地退化的预测预报则涉及很少<sup>[9-10]</sup>。本文以青藏高原典型的嵩草 (*Kobresia*) 草甸为研究对象, 以家畜生产力和优良牧草比例作为衡量草地质量好与坏的指标, 初步建立草地退化预测模型, 为草地退化的预测预报提供理论依据。

## 1 草地退化标准的确定

草地退化与否或质量好坏, 与草地的用途紧密联系在一起。从生态学角度而言, 草地退化是指草地生态系统背离顶级的一切逆向演替。用于畜牧业生产的草

地, 其退化则是指草地生产力、草地质量下降, 盖度降低, 毒杂草比例上升, 放牧动物喜食的植物种类减少或生物量降低, 其结果是草地次级生产力下降。本文将采用后者作为模型的标准。

草地退化的范围较为广泛, 草地的类型也不尽相同, 其退化的原因也是多种多样的, 因此, 制定统一的草地退化划分标准较为困难, 张大勇等(1990)<sup>[11]</sup>为了评价矮嵩草人工草场质量的优劣, 提出了定量指标—草场质量指数 IGQ (Index of grassland quality)。沼田真(1986)<sup>[12]</sup>则提出了演替 (Degree of succession) 度概念, 即指植被演替阶段背离顶级群落的程度。植被演替度作为衡量植物群落演替的综合性指标, 从植物综合优势度和植被率两方面反映植物群落的演替, 因而可以作为放牧草地植被的定量分析指标。而不同类型的草地其演替度的划分标准必然有所差别。通常情况下, 研究者根据研究对象和研究目的及研究需要, 结合实际情况划分草地退化标准, 多采用轻度退化、中度退化

收稿日期: 2003-04-17; 修回日期: 2003-06-11

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA 606-02); 中国科学院西北高原生物研究所知识创新工程领域前沿项目

作者简介: 刘伟(1965-), 男, 山西运城人, 博士, 主要从事草地退化、害鼠数量控制方面的研究



和重度退化 3 级梯度水平<sup>[13,14]</sup>。本文以小嵩草草甸为研究对象,为了分析和预测草地退化状况,参考国内外制定的退化草地分级标准,将草地划分为:未退化草地(Non-degraded grassland, NDG)、轻度退化草地

(Light degraded grassland, LDG)、中度退化草地(Moderate degraded grassland, MDG)、重度退化草地(Heavi degraded grassland, HDG) 4 级梯度水平(表 1)。

表 1 嵩草草地退化划分标准

Table 1 Standard of grassland degradation for *Kobresia* grassland

退化程度 Degraded level	地上生物量(%) A above-ground biomass	盖度(%) Cover	优良牧草比例(%) Propotion of high quality grasses	土壤坚实度(kg/cm <sup>2</sup> ) Soil stability
未退化草地(NDG)	100	> 85	> 80	> 4
轻度退化草地(LDG)	70~ 85	70~ 85	55~ 80	3~ 4
中度退化草地(MDG)	50~ 70	50~ 70	30~ 55	2~ 3
重度退化草地(HDG)	30~ 50	30~ 50	10~ 30	< 1

青南地区植被类型主要为嵩草草甸(*Kobresia* Meadow),良好的天然草地,其气候顶级群落是以禾草为主,其中植株较高的禾草为上层,植株较低的莎草和杂草类为下层,形成两层空间结构的植物群落。当草地退化后,植物群落的地上、地下生物量、高度、盖度及土壤均会产生变化。在这些因子中,生物量和优良牧草的比例不仅与次级生产力密切相关,而且随着草地退化程度的加重而减少<sup>[18]</sup>,因此,本模型将以生物量和优良牧草的比例作为主要因子。

## 2 草地退化监测指标体系

草地退化监测和质量评价,有生态演替标准和生产力标准。从生态学角度出发,认为草地退化是植物群落的逆向演替的一种过程,在这一过程中,该系统的组成、结构与功能均发生明显变化,原有的有序性和稳态被打破,系统向低能量级转化,或在低能量级水平上形成偏途顶级,建立新的亚稳态<sup>[1]</sup>;而从生产经营的角度出发,则认为草地生产力下降,负载能力降低,植被组成、结构不利于放牧,视为草地退化。青南地区的草地主要用于畜牧业生产,因此,我们采用生产力标准来评价草地的退化程度。所谓的生产力标准,就是依据放牧家畜草地的次级生产力增大还是减小或维持不变,来判断放牧草地是改善、退化还是维持稳定。

草地退化是一个复杂的过程,首先是植被的变化,包括植物群落组成、生产力及空间结构等的改变,继而引起土壤理化性质的变化,并伴随着害鼠等动物群落的变化和放牧家畜生产力的变化<sup>[15,16]</sup>。其中,植物群落的变化是最直接、最先发生和最容易发现的变化,因此,植物群落指标应是监测草地退化的直接指标。

植物群落有众多的度量指标,但其中某些指标与家畜生产力变化没有明显的联系,因而难以用生产力指标进行评价。在生产力评价指标之下,显然只有那些

对家畜生产力产生重大影响的、能够直接反映家畜生产力增减的植物群落指标,即能反映草地放牧价值变化的指标,才是最合适的指标。在这类指标中,优良牧草比例、牧草丰富度既能反映植被的变化,又能指示家畜生产力状况,是把植被变化与家畜生产力变化两种不同属性的事物联系在一起,应该是我们所期望的直接指标,而家畜生产力是度量草地退化程度的间接指标。

为此,将牧草按其对家畜生产力的作用(适口性、营养价值等)进行分类,分别为优良、中等和劣质三个牧草类群<sup>[11]</sup>,并测定优良牧草所占比例。选择牧草生物量或初级生产力作为牧草丰富度的度量指标。家畜生产力可选择单位面积家畜体重增益或个体增重,若放牧强度基本维持不变,两者只相差一个常数,因此两者是等价的。

显然,家畜生产力( $P$ )与优良牧草所占比例( $S$ )和牧草生物量( $B$ )呈正相关关系。

$$P = f(S, B) \quad (1)$$

将其线性化后,得到

$$P = aS + bB + c \quad (2)$$

$a, b, c$  由特定草地决定。

同一块草地要判断其是否退化,就要进行年际家畜生产力比较。设第  $t$  年的家畜生产力为  $P_t$ , 优良牧草比例为  $S_t$ , 牧草生物量为  $B_t$ , 则由(2)式得:

$$P_t = aS_t + bB_t + c \quad (3)$$

$$P_{t+1} = aS_{t+1} + bB_{t+1} + c \quad (4)$$

由(4)式减(3)式得:

$$P_{t+1} - P_t = a(S_{t+1} - S_t) + b(B_{t+1} - B_t) \quad (5)$$

即

$$\Delta P_t = a\Delta S_t + b\Delta B_t \quad (6)$$

式中,  $\Delta P_t$ 、 $\Delta S_t$  和  $\Delta B_t$  分别表示家畜生产力、优良牧草比例和牧草生物量年际变化。

在高寒草甸地区进行的多年放牧强度试验结果表明, 当草地退化不十分严重, 尚未达到“黑土滩”的地步时, 牧草生物量年际变化很小, 甚至为零。这是由于优良牧草在放牧压力下减少后, 在植物种群的竞争过程中, 它所释放的生态空间为其它植物种所补偿, 随之带来了初级生产力。若粗略地认为  $\Delta B_t = 0$ , 则(6)式变为:

$$\Delta P_t = \alpha \Delta S_t \quad (7)$$

即家畜生产力的年际变化( $\Delta P_t$ )是与优良牧草比例年际变化( $\Delta S_t$ )成正比。从而优良牧草比例年际变化( $\Delta S_t$ )表示了家畜生产力年际变化  $\Delta P_t$ ,  $\Delta S_t$  就是度量草地退化的指标。

当优良牧草比例  $S$  增大时, 草地的放牧价值增高, 家畜生产力  $P$  随之升高, 草地状态“改善”; 若  $S$  维持不变,  $P$  亦将保持不变, 草地处于稳定状态; 此时的放牧强度即是保持草地稳定和不退化的放牧强度; 如果  $S$  减少, 则  $P$  亦下降, 表明草地步入退化进程。

对于在放牧压力下牧草生物量也随之变化的草场, 分析家畜生产力( $P$ )与优良牧草比例( $S$ )和牧草生物量( $B$ )的函数关系(1), 不难看出,  $P$  实际上与优良牧草的生物量( $M = SB$ )呈正相关, 即

$$P = f(S \cdot B) \quad (8)$$

将其线性化后, 得到:

$$P = \alpha S \cdot B + \beta = \alpha M + \beta \quad (9)$$

其中,  $\alpha$ 、 $\beta$  为常数, 从而有

$$\Delta P_t = \alpha \Delta M_t \quad (10)$$

类似前面的分析, 优良牧草生物量年际变化( $\Delta M_t = M_{t+1} - M_t$ )与家畜生产力年际变化( $\Delta P_t$ )成正比, 因而根据优良牧草生物量( $M$ )的年际变化, 能够判断草场的改善、稳定或退化, 优良牧草生物量是度量草地退化与否的直接指标, 而家畜生产力为一间接度量指标。

未退化的高寒草甸植物群落, 在空间结构上形成2层, 上层为较高的禾草类, 下层是莎草和杂草类。在较强的放牧压力下, 加大了优良牧草的采食频率, 特别是较高的禾草被家畜反复采食, 因而抑制了它们的生长发育, 植物群落变成一层空间结构, 优良牧草数量减少, 草地开始退化。由于植被高度降低和杂草增多, 草地视野开阔, 营造了适于小型啮齿动物—高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)和高原鼯鼠(*Myospalax baileyi*)栖息的环境<sup>[17, 18]</sup>, 害鼠数量增加, 亦即鼠害是草地退

化的伴生物, 因此, 害鼠数量亦可作为判断草地退化的辅助指标。

### 3 草地退化预警模型

综上所述, 优良牧草比例( $S$ )或优良牧草生物量( $M$ )的年际变化方向和数值, 是判断草地退化的直接指标。当  $\Delta S_t$  或  $\Delta M_t$  为正值时, 表示草地状况“改善”或“正向演替”(朝着气候顶级方向演替), 其数值代表“改善”或演替的速度; 当  $\Delta S_t$  或  $\Delta M_t$  为零时, 则表示草地处于稳定状态或维持放牧偏途顶级群落; 当  $\Delta S_t$  或  $\Delta M_t$  为负值时, 草地处于退化进程或逆向演替, 其数值越大, 说明退化速度越快。

若在放牧压力下草地的植物生物量基本维持不变, 则  $n$  年后草地优良牧草生物量  $M_{t+n} (= B_{t+n} S_{t+n})$  为

$$M_{t+n} = M_t + \sum_{i=0}^{n-1} \Delta M_{t+i} \quad (11)$$

因为  $B_t = B_{t+1} = \dots = B_{t+n}$ , 则

$$B_{t+n} S_{t+n} = B_t S_t + \sum_{i=0}^{n-1} \Delta B_{t+i} \Delta S_{t+i} \quad (12)$$

$$S_{t+n} = S_t + \sum_{i=0}^{n-1} \Delta S_{t+i} \quad (13)$$

假如  $\Delta S_{t+i} (i=0, 1, 2, \dots, n-1)$  保持不变, 即

$$\Delta S_{t+i} = c \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

则(13)式可改写为:

$$S_{t+n} = S_t + nc \quad (14)$$

在高寒草甸植物群落中, 家畜喜食的植物种主要是禾草和莎草类。由它们组成的优良牧草类群, 在未退化的原生植被中, 其生物量占牧草总生物量 80% 以上。如果划定轻度退化草地的优良牧草比例为 55% ~ 79%, 中度退化为 30% ~ 54%, 重度退化为 30% 以下。若测定优良牧草比例年际变化量( $\Delta S_t = c$ ), 则根据(14)式可以预测由一种类型退化草地, 过渡到另一种类型退化草地所需要的时间。假如未退化草地的优良牧草比例以其下限 80% 计, 轻度退化和中度退化草地的优良牧草比例以其范围的中值计(分别为 67% 和 54%), 重度退化草地以其上限 29% 计, 由(14)式得到:

$$n = (S_{t+n} - S_t) / \Delta S_t = (S_{t+n} - S_t) / c \quad (15)$$

以优良牧草比例变化率来预测草地退化速度, 当优良牧草比例变化率( $\Delta S_t$ )分别取 1%、2%、3%、4% 和 5%

时, 依(15)式计算的各种退化草地转化过渡时间分别列于表 2~ 表 6。其中, 对角线以上的数字表示: 以  $|\Delta S_t|$  速度退化至更严重退化草地所需时间(年), 而对角线以下数字则表示以  $|\Delta S_t|$  速度正向演替至较轻退化类型草地所需时间(年)。由于两者退化速度绝对值相等, 符号相反, 因而, 在数字上是对称的。

从表 2~ 表 6 可以看出, 当优良牧草比例变化率

为 1% ~ 2% 时, 未退化草地逆向演替为重度退化草地至少要 25.5 年; 当优良牧草比例变化率为 2% ~ 4% 时, 前述逆向演替时间至少要 12.8 年; 若优良牧草比例变化率为 5% 以上, 则只需 10 年左右就演替为重度退化草地。据此, 将 1% ~ 2% 的优良牧草比例变化率速度称为慢速退化, 3% ~ 4% 称为中速退化, 4% 以上称为快速退化。

表 2  $|\Delta S_t| = 1\%$  时各类草地之间的过渡时间(年)

Table 2 The transitional time among different degraded grassland under  $|\Delta S_t| = 1\%$

草地退化程度 Condition of degraded grassland	未退化 (NDG)	轻度退化 (LDG)	中度退化 (MDG)	重度退化 (HDG)
未退化(NDG)	0	13	38	51
轻度退化(LDG)	13	0	25	38
中度退化(MDG)	38	25	0	13
重度退化(HDG)	51	38	13	0

表 3  $|\Delta S_t| = 2\%$  时各类草地之间的过渡时间(年)

Table 3 The transitional time among different degraded grassland under  $|\Delta S_t| = 2\%$

草地退化程度 Condition of degraded grassland	未退化 (NDG)	轻度退化 (LDG)	中度退化 (MDG)	重度退化 (HDG)
未退化(NDG)	0	6.5	19	25.5
轻度退化(LDG)	6.5	0	12.5	19
中度退化(MDG)	19	12.5	0	6.5
重度退化(HDG)	25.5	19	6.5	0

表 4  $|\Delta S_t| = 3\%$  时各类草地之间的过渡时间(年)

Table 4 The transitional time among different degraded grassland under  $|\Delta S_t| = 3\%$

草地退化程度 Condition of degraded grassland	未退化 (NDG)	轻度退化 (LDG)	中度退化 (MDG)	重度退化 (HDG)
未退化(NDG)	0	4.3	12.7	17
轻度退化(LDG)	4.3	0	8.3	12.7
中度退化(MDG)	12.7	8.3	0	4.3
重度退化(HDG)	17	12.7	4.3	0

表 5  $|\Delta S_t| = 4\%$  时各类草地之间的过渡时间(年)

Table 5 The transitional time among different degraded grassland under  $|\Delta S_t| = 4\%$

草地退化程度 Condition of degraded grassland	未退化 (NDG)	轻度退化 (LDG)	中度退化 (MDG)	重度退化 (HDG)
未退化(NDG)	0	3.3	9.5	12.8
轻度退化(LDG)	3.3	0	6.3	9.5
中度退化(MDG)	9.5	6.3	0	3.3
重度退化(HDG)	12.8	9.5	3.3	0

表 6  $|\Delta S_t| = 5\%$  时各类草地之间的过渡时间(年)

Table 6 The transitional time among different degraded grassland under  $|\Delta S_t| = 5\%$

草地退化程度 Condition of degraded grassland	未退化 (NDG)	轻度退化 (LDG)	中度退化 (MDG)	重度退化 (HDG)
未退化(NDG)	0	2.6	7.6	10.2
轻度退化(LDG)	2.6	0	5	7.6
中度退化(MDG)	7.6	5	0	2.6
重度退化(HDG)	10.2	7.6	2.6	0

综上所述, 优良牧草比例年际变化值  $\Delta S_t$ , 其正负值可以指示草地退化还是正向演替, 其数值表示相应

的速度, 并可通过(14)式预测不同类型草地之间转化过渡时间, 因此,  $\Delta S_t$  是监测草地退化合适的直接指

标,而(13)或(14)式即为草地退化预警模型。当逐年的 $\Delta S_t$ 不相等时,采用(13)式预测 $S_{t+n}$ 及退化程度。

上面的论述均假定牧草生物量值 $B_t$ 基本不变,若随着优良牧草比例年际变化,牧草生物量也发生变化时,则此时的草地退化监测指标是优良牧草生物量 $\Delta M_t$ ,可以通过(12)预测 $n$ 年后的优良牧草生物量,进而计算 $S_{t+n} = M_{t+n}/B_{t+n}$ 获得优良牧草比例,从而得到 $n$ 年后 $S_{t+n}$ 落入哪一类退化草地范围。

若假定 $\Delta M_{t+i} (i = 1, 2, \dots, n)$ 是常数,则(12)式可简化为:

$$M_{t+n} = M_t + n\Delta M_t \quad (16)$$

由 $\Delta M_t$ 的定义

$$M_{t+n} = nM_{t+1} - (n-1)M_t \quad (16)$$

再由 $M_{t+i} = B_{t+i}S_{t+i} (i = 1, 2, \dots, n-1)$

$$B_{t+n}S_{t+n} = nB_{t+1}S_{t+1} - (n-1)B_tS_t \quad (17)$$

由(17)式两段同时除以 $B_{t+n}$ ,得到:

$$S_{t+n} = nB_{t+1}S_{t+1}/B_{t+n} - (n-1)B_tS_t/B_{t+n} \quad (18)$$

(18)式则是(12)式的简化形式,可以更快地预测 $n$ 年后优良牧草比例 $S_{t+n}$ ,以及该草地的退化程度。(18)式或(12)是其退化预警模型。

## 4 讨论

高寒草甸植物群落大面积退化的成因及机理目前尚无定论,但不可否认的是过度放牧是草地退化的重要原因之一<sup>[19~25]</sup>。研究表明<sup>[26,27]</sup>,草地退化往往导致草地第一生产力下降以及植物群落组成和结构的变化。主要表现在地上生物量降低、植物个体植株小型化和植被盖度下降;在植物群落组成中,放牧动物的频繁采食致使优良牧草比例下降。因而,本文以生物量和优良牧草比例作为衡量草地退化的标准,基本上能够反映草地退化的程度。

草地退化受多种因素的影响,在这些因素中,有人为因素,也有自然因素。由于自然因素的不确定性,本预测模型仅考虑了放牧这一主要因素,而对于温度变化、降水的时空分布等气象因子未加以定量分析,这并非说明气象因子对草地退化没有影响。需要说明的是,有利于牧草生长的气象因子,可以减缓草地退化的速度,使不同退化程度草地之间的年限延长,但并不能阻止草地的退化;反之,不利于牧草生长的气象因子,将加速草地的退化,因而,其退化年限将会缩短而少于本文的预测年限。

草原啮齿动物数量的变化及其群落之间的演替与植物群落的变化密切相关<sup>[16,18]</sup>,处于不同退化阶段的草地,由于植物群落结构和组成有所差别,因而栖息的动物种类或数量也存在着差异。在高寒草甸,主要的啮齿动物为高原鼠兔,随着草地退化程度的加剧,其种群数量呈上升趋势,在不同退化程度之间种群数量尚无发现确定的界限,因而,只能作为草地退化的辅助指标。从以往的研究结果来看<sup>[16,28,29]</sup>,根田鼠(*Microtus oeconomus*)和甘肃鼠兔(*Ochotona cansus*)多栖息于以禾草为优势种的草地或金露梅(*Potentilla fruticosa*)灌丛,此时草地应处于未退化阶段,而高原鼠兔和高原鼢鼠多栖息于植被低矮、杂草丛生的草地,则表明该草地已经退化或退化严重。另外,由于河流、道路的生态隔离效应,有些地区尚未发现有高原鼠兔和高原鼢鼠活动,但这并不能说明该地区草地是否退化。

据资料统计,青海省草地每年以2.42%的平均退化速度递增<sup>[13,30]</sup>,显然,处于不同退化阶段草地的退化速度存在着差异,尽管目前缺乏有关的数据,但可以预测随着退化程度的加剧,退化速度会越来越快,即可能呈加速的趋势。因此,本模型以1%~5%的退化速度预测不同退化程度草地之间及到达重度退化所需的时间,基本符合现在草地退化的实际情况。

## 5 结论

5.1 以次级生产力为标准,优良牧草比例作为影响次级生产力的主要因子,建立草地退化预测模型: $n = (S_{t+n} - S_t) / \Delta S_t = (S_{t+n} - S_t) / C_0$

5.2 假设草地优良牧草分别以1%~5%的速度减少,则未退化草地退化至轻度退化草地、中度退化草地和重度退化草地的时间与优良牧草比例减少的速度呈正相关。

5.3 据预测结果,将优良牧草比例年下降1%~2%的草地退化速度,称为慢速退化;优良牧草比例下降3%~4%时,称为中速退化;4%以上的则称为快速退化。

5.4 如果考虑到不利的气候条件及草原小型哺乳动物对草地的破坏作用,则不同程度退化草地之间的过渡时间将少于本模型预测的时间。

## 参考文献

- [1] 李博 中国北方草地退化及其防治对策[J]. 中国农业科学, 1999, 30(6): 1~9
- [2] 马玉寿,李青云“黑土型”退化草地毒杂草防除试验研究[J]. 草业学报, 1999, 16(3): 46~50

- [3] 王启基,周兴民,周立,等 调控策略对高寒退化草地中的氮、磷、钾含量、积累及转移效应的分析[A] 见:高寒草甸生态系统(第四集)[C].北京:科学出版社,1995,281~ 292
- [4] 韩发,贲桂英,师生波,等 放牧强度对高寒草甸植物生长和生产力的作用[A] 见:高寒草甸生态系统(第三集)[C].北京:科学出版社,1991. 81~ 88
- [5] 王启基,周兴民,张堰青,等 放牧对金露梅(*Potentilla fruticosa*)生长发育和生物量的影响[A] 见:高寒草甸生态系统(第三集)[C].北京:科学出版社,1991. 89~ 98
- [6] 刘伟,王启基,王溪,等 高寒草甸“黑土型”退化草地的成因及生态过程[J].草地学报,1999,7(4):300~ 307
- [7] 张国胜,李林,汪青春,等 青南高原气候变化及其对高寒草甸牧草生长影响的研究[J].草业学报,1999,8(3):1~ 10
- [8] 周立,王启基,赵京,等 高寒草甸牧场最优放牧强度的研究 II 轮牧草场放牧强度的最佳配置[A] 见:高寒草甸生态系统(第四集)[C].北京:科学出版社,1995. 377~ 390
- [9] 方一平,刘淑珍,周麟,等 草地退化系统预测与畜种结构调整分析—以西藏聂荣县为例[J].山地学报,1999,17(4):375~ 379
- [10] 李永宏 内蒙古草原草场放牧退化模式研究及退化监测专家系统雏议[J].植物生态学报,1994,18(1):68~ 79
- [11] 张大勇,王刚,杜国祯 甘南山地草原人工草场的演替[J].植物生态学与地植物学学报,1990,14(2):103~ 109
- [12] 沼田真 姜恕译.草地调查手册[M].北京:科学出版社,1986.175~ 206
- [13] 石树堂,王立亚 青海草地退化状况及治理对策[J].青海草业,1994,3(2):5~ 11
- [14] 安渊,徐柱,阎志坚,等 不同退化梯度草地植物和土壤的差异[J].中国草地,1999,4:31~ 36
- [15] 杨利民,韩海,李建东 松嫩平原主要草地群落放牧退化演替阶段的划分[J].草地学报,1996,4(4):281~ 287
- [16] 张堰铭,樊乃昌,王权业,等 害鼠治理条件下鼠类群落变动的生态过程[J].兽类学报,1998,18(2):137~ 143
- [17] 刘伟,周立,王溪 不同放牧强度对植物及啮齿动物作用的研究[J].生态学报,1999,19(3):378~ 382
- [18] 施银柱 草场植被影响高原鼠兔密度的探讨[J].兽类学报,1983,3(2):181~ 188
- [19] 王德利,吕新龙,罗卫东 不同放牧密度对草原植被特征的影响分析[J].草业学报,1996,5(3):28~ 33
- [20] 万里强,李向林,苏加楷,等 不同放牧强度对三峡地区灌丛草地灌木重要值变化的影响[J].中国草地,2001,23(1):11~ 16
- [21] 呼天明 论西北天然草地保护对策与技术[J].干旱地区农业研究,2001,(19)2:122~ 126
- [22] Ellison L. The influence of grazing on plant succession [J]. Botany Review, 1960, 26: 1~ 78
- [23] Wilms W D. et al Effects of stocking rate on a rough fescue grassland vegetation [J]. Journal of Range Management, 1985, 38(3): 220~ 225
- [24] Rosiere R E. An evaluation of grazing intensity influence on California annual range [J]. Journal of Range Management, 1987, 40(20): 160~ 165
- [25] 杨利民,王仁忠,李建东 松嫩平原主要草原群落放牧干扰梯度对植物多样性的影响[J].草地学报,1999,7(1):8~ 15
- [26] 戎郁萍,韩建国,王培,等 放牧强度对牧草再生性能的影响[J].草地学报,2001,9(2):92~ 98
- [27] 王伟,梁存柱,刘钟龄,等 草原群落退化与恢复演替中的植物个体行为分析[J].植物生态学报,2000,24(3):268~ 274
- [28] 边疆晖,樊乃昌,景增春,等 高寒草甸地区小哺乳动物群落与植物群落演替关系的研究[J].兽类学报,1994,14(3):209~ 216
- [29] 樊乃昌,张道川 高原鼠兔与达乌尔鼠兔的摄食行为及对栖息地适应性的研究[J].兽类学报,1995,16(1):48~ 53
- [30] 范青慈 青海省退化草地现状及防治对策[J].青海草业,2000,9(1):22~ 24

(上接第 59 页)

### 3 结论与讨论

3.1 试验结果表明,老芒麦每形成 1 kg 干物质,当年需要  $0.56 \text{ m}^3$  水分,第二年需水  $0.498 \text{ m}^3$ ;每形成 1 kg 草籽耗水  $2.776 \text{ m}^3$ ,再生草需水系数  $1.422 \text{ m}^3/\text{kg}$ 。

3.2 老芒麦生长第一年日耗水量最多在抽穗阶段,抽穗阶段时间短,需水强度大,需水强度达  $94.35 \text{ m}^3/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$ ;第二年日耗水最多在拔节到抽穗期,需水强度最高为  $122.1 \text{ m}^3/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$ ,在拔节抽穗阶段及时灌水,不但能增加产草量,而且可促使种子及早成熟。

3.3 在干旱草原地区灌溉可大幅度提高老芒麦的产

草量,最高增产 5.9 倍。试验结果表明,全生育期灌水 4~ 5 次,每次灌水  $600 \sim 750 \text{ m}^3/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$  为宜,每公顷灌溉定额以  $2550 \sim 3000 \text{ m}^3$  为好。

### 参考文献

- [1] 海棠,云锦凤,贾鲜艳,等 干旱地区优良牧草引种种植试验的研究[J].内蒙古农业大学学报,2001,(2):41~ 43
- [2] 李培英,阿不来提,石定燧 灌水次数对新疆狗牙根种子生产性能的影响[J].草原与草坪,2002,(3):38~ 39
- [3] 李玉霖,张铜会,崔建垣 科尔沁沙地农田玉米耗水规律研究[J].中国沙漠,2002,22(4):354~ 358
- [4] 闫志坚,杨志伟,安渊 试验区几种旱生植物的水分生理特性[A].李博,桂荣,王国贤 鄂尔多斯高原沙质灌木草地绒山羊试验研究成果汇编[C].呼和浩特:内蒙古教育出版社,1995.128~ 133