

## 高寒牧场最优生产结构的研究\*

### IV. 藏羊种群生产结构的最优动态调整途径\*\*

周立 王启基 赵新全 赵京

(中国科学院西北高原生物研究所)

#### 摘 要

采用最优化技术中动态追踪途径,以净货币收益为目标函数,以季节性草、畜生态平衡为约束条件,建立9年17阶段大型经济生态线性规划模型,动态地追踪每个家畜的生命运动轨迹,确定高寒牧场最优长期发展规划;并利用最优解年度值的收敛性,从中获得由任意给定的初始生产结构向最优生产结构过渡的最佳调整过渡途径。还探讨了建立多阶段动态追踪线性规划模型的理论、方法和求解的计算技术。

**关键词:** 最优生产结构; 经济生态模型; 多阶段动态追踪线性规划模型; 最佳调整过渡途径; 高寒牧场。

采用最优化技术中静态平衡途径,可以获得藏系绵羊种群的稳定平衡最优生产结构(本项研究I, II)。然而,静态途径并不能指出从现有的生产结构过渡到优化结构过程中的最佳调整策略。

长期以来,受落后的传统经营思想的影响,高寒牧区藏羊种群生产结构不够合理,因而经济效益低下、生态环境破坏严重,亟待调整。在商品经济尚不发达的高寒牧区,现有畜群主要依靠自身的繁殖能力和出栏、替补调整,逐步向优化结构过渡。在这种情况下,寻找一条最佳的逐年调整过渡途径,使之在过渡期间经济收益最大,进而达到稳定平衡的最优生产结构,持续种群的整体最大收益,对提高畜牧业生产力、改善畜牧业生态环境无疑有巨大的实践意义。由于各家庭牧场的现有生产结构互有差异,提供一套确定最优生产结构、最佳过渡方案以及最佳长远发展规划的理论、方法和先进、灵活的计算机软件包工具,对于普遍地指导畜牧业生产实践尤为重要。

本文采用最优化技术中动态追踪途径,以净货币收益为目标函数,以草、畜生态平衡为约束条件,建立9年17阶段大型经济生态线性规划模型,确定高寒牧场的最优长远

\* 国家自然科学基金和中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站基金资助项目。

\*\* 承蒙夏武平教授指导,特此致谢。

规划,并从中获得由任意给定的初始生产结构向最优生产结构过渡的最佳过渡调整策略,为指导藏羊种群生产结构的调整提供理论、方法和计算机软件;并通过实例予以示范和深入探讨。

## 多阶段动态追踪线性规划模型

最佳过渡问题是一类特殊的优化问题,其特点之一是初始状态(初始结构)给定,最终状态(优化结构)已知。最佳过渡实际上是一个逐步调整的动态过程,可以将其分成若干个互相联系的调整决策阶段。然而,在本问题中过渡到最终状态的时间长度未知,即调整决策的阶段数未知,这又是一个特点。显然,不易采用通常的以阶段数已知为前提、分阶段决策的动态规划模型来确定该过程。若随意指定阶段数,问题可能无解。鉴于上述特点,我们采用多阶段动态追踪线性规划模型来描述和求解最佳过渡问题。

### (一) 规划时间尺度和阶段数的选取

建立动态多阶段规划模型,必须预先选取一定数量的阶段,通过经济的或者生态的约束条件和目标函数把各阶段有机地连系在一起。模型追踪每个个体途经各个阶段的运动轨迹,不像静态平衡模型那样预先假定状态将达到某种持续稳定平衡,因此,它是一个动态追踪模型。模型中包含的阶段数多少,取决于模型的目的。如果制定长时间尺度的生产发展规划,模型必然包含较多的阶段,其优点是最优解不但为管理者提供一个效益最高的长期、完整的决策策略,而且最优解中较后阶段的活动水平收敛于一组平衡值的可能性增大了(Hazell and Nortor, 1986; Boussard, 1971)。这组平衡值在我们的问题中就是长期稳定的最优生产结构,不难推断,它应该与通过静态途径获得的最优生产结构相一致。遗憾的是,有时多阶段规划模型的解并不收敛(Throsby, 1967)。长时间尺度规划模型的最大缺点是随着阶段数的增加,模型的维数剧增,以至于通常的微型计算机(如IBM PC系列)内存无法容纳,因而降低了它的实际可利用性。如果模型包含的阶段较少,其最优解只能展示短期的系列优化动态调整,不能揭示最优解的收敛状况,对于牧场的发展也只有短期指导意义。

本文恰是利用最优解的收敛性来解决最佳过渡问题,因此,选取的规划时间尺度或阶段数应该足够大。最优解是在选定的时间尺度范围内,各种逐年生产结构序列中效益最高者,若其在较后的年度收敛于已知的最优年度稳定结构,显然,最优解的逐年结构调整方案亦是各种过渡方案中最优者。

在稳定的年度最优生产结构下,藏羊种群的周转期为3年,母羊的周转期为7年,母羊的最佳出栏年龄是6岁(6岁10个月)和5岁(5岁10个月)(本项研究II)。就个体而言,母羊以6岁出栏净收益最佳(本项研究III)。换言之,任意给定初始年龄结构的藏羊种群,按着优化调整的原则,最多经过7年的调整就可以将种群周转一次,并于翌年可能建立一个优化种群年龄结构。因此,为了保证过渡过程的完成,最短的规划时间长度也不能少于8年。此处为了观察后期阶段最优解的收敛性和稳定性,规划时间长度取为9年。

根据高寒牧区的地理、气候条件以及牧草和藏羊的生长节律,畜牧业生产实践中历

来施行冬春（冷季：11月1日至翌年5月31日）、夏秋（暖季：6月1日至10月31日）两季草场轮牧制度；通常在每年的10—11月藏羊体重达到一年的高峰，所以，在自然放牧条件下家畜出栏历来固定在10—11月。为了反映每季草场生态资源约束的差异，进而解决季节性草畜平衡问题，应将每个放牧年度离散为3个相互联系的时间阶段：冬春、夏秋时间段和出栏时间段。但是，考虑到出栏阶段在时空上处于两季草场的轮换过程之中，而且时间长度伸缩性较大，故将其浓缩为时间轴上的一个点，置于夏秋草场向冬春草场轮换的轮换点上。这样的简化既可以减少一个出栏时间段，也不会给模型对实践的描述带来明显的误差。于是，每个放牧年度被离散为冬春、夏秋两个相继的放牧时间段，约定各时间段的结束时刻作为其草、畜统计时刻。第9个规划年度是规划区间的最后一年，不需要考虑该年度末的出栏措施对下一年度的影响，并且在本年度内没有其他人调整措施，因而两季草场的藏羊种群结构相似，故在模型中只包含该年度的冬春放牧时间段，以减少结构变量的数量。这样，本模型的规划时间尺度为9年17个阶段。

## (二) 模型结构

无论从种群还是从个体的生产效益来看，藏羊种群结构之中不应存在7岁以上的母羊和1岁以上的羯羊（本项研究I，II，III）。但考虑到现有的种群中通常包含直至5岁的羯羊和直至6岁的母羊，为了使模型能够初始化到该状态，我们把母羊划分为7个年龄组（0—6岁），羯羊6个年龄组（0—5岁）。以每年的出栏时刻作为年龄统计界限，羔羊出生时间，通常在元月，那么各年龄阶段的界限：0岁（羔羊）是 $\leq 10$ 月龄、1岁是 $10 < \text{月龄} \leq 1$ 岁10月龄、...、6岁是5岁10月龄以上。以 $F_{ij}^{(t)}$ （ $i=0, 1, \dots, 6$ ）和 $M_{ij}^{(t)}$ （ $i=0, 1, \dots, 5$ ）分别表示种群中第 $i$ 龄母羊和羯羊于第 $t$ 年在第 $j$ （ $j=W, S; W$ 表示冬春草场， $S$ 表示夏秋草场）季草场上的数量（只）。为简化模型，将种公羊计入相应的母羊年龄组，每个母羊年龄组均包含其自身数3.5%的种公羊在内。

假定第1年的初始结构是于冬春草场阶段给出，那么随着时间的推移，各性别各年龄组藏羊由冬春草场向夏秋草场转移放牧，再由夏秋草场经过出栏向下一年度的冬春草场转移放牧，并且增长1岁，如此周而复始，直至第9年的冬春草场阶段。这些阶段间种群转移数量关系的全体，刻划出各性别各年龄组藏羊的生命运动轨迹，构成3种群结构动态约束条件。牧场的总面积 $A$ 被指定（例如500ha），为了探讨过渡时期两季草场的最佳面积分配，最经济地维持两季草场的草、畜平衡，我们将各年度（第9年除外）的两季草场面积（ $A^{(W)}$ 、 $A^{(S)}$ 分别表示冬春、夏秋草场面积）（ha）也列为结构度量。第9年度只考虑冬春草场阶段，不能列出全年各季草场面积约束，故 $A^{(W)}$ 以参数形式给出。每季草场承载家畜的能力，取决于可采食牧草量的多少。若以 $AT^{(W)}$ 和 $AT^{(S)}$ 分别表示冬春、夏秋草场每公顷面积提供的可采食牧草量（kg/ha），那么两季草场的牧草总供给分别为 $A^{(W)} \cdot AT^{(W)}$ 和 $A^{(S)} \cdot AT^{(S)}$ 。这样，每个年度（第1和第9年除外）均包含3个资源约束条件，以确保季节性草畜最佳平衡。显然， $AT^{(W)}$ 和 $AT^{(S)}$ 的估计应从生态学角度确保适度利用、草场不退化，不以降低生态环境质量来换取载畜量的提高。因此，两季草场牧草供给约束亦可视为生态资源约束。第1年冬春草场阶段的种群结构和草场面积系初始值，只有在夏秋草场阶段有总面积约束和牧草供给约束，以便通过松弛变量观察牧草的供需平衡情况。第9年只考虑冬春草场一个阶段，故只有一个牧草供

给约束。各性别各年龄组藏羊个体于冬春、夏秋草场存栏和年末出栏的净货币收益参数分别用 $NBF_i^{(j)}$ 、 $NBM_i^{(j)}$  ( $j=W, S$ )、 $NCF_i$ 、 $NCM_i$  (元/只) 表示, 一律以不变价格定值, 故与年度 $t$ 无关。不考虑额外投资, 因而不需要估计贴现率。逐年的个体净收益参数可以直接作为目标函数的系数, 此时与最优解对应的最大目标函数值乃是规划时间尺度内的最大总净货币收益。为了直观地了解每个年度的净收益状况, 我们于每年设置一个净收益变量 $IN_i$  ( $i=1, 2, \dots, 9$ ) (元), 以其收集各年度的净收益, 并传递给目标函数。于是, 规划模型的目标函数变为 $\sum_{i=1}^9 IN_i$ , 相应地在每个年度增加一个经济

(货币)平衡约束。第9年冬春草场时间段是规划区间的边界, 甚至作为收入主要部分的出栏收益也位于规划尺度之外, 如果藏羊个体净收益参数不计入可能的潜在收益, 只以冬春草场上的存栏净收益 $NBF_i^{(W)}$ 和 $NBM_i^{(W)}$  (负值) 作为个体收益参数, 显然既不合理, 也必定因第9年无利可图而于第8年底全部出栏, 最优解给出错误的导向。因此, 我们以延伸到规划区间以外的个体长远潜在净收益 $NLF_i$ 和 $NLM_i$  (元/只), 代替第9年冬春草场阶段的个体净收益参数 $NBF_i^{(W)}$ 和 $NBM_i^{(W)}$ 。

模型中各生态参数均取自多年平均值, 故可认为它们是与年度无关的常数。

综上所述, 9年17阶段线性规划模型的目标函数是各年度净收益之和, 约束条件有4类: 种群结构动态约束、生态资源约束、经济平衡约束和非负约束, 其数学形式如下:

$$M_{\max} Z = \sum_{i=1}^9 IN_i$$

满足

$$F_{i,1}^{(W)} = F_i^{(0)} \\ (i=0, 1, \dots, 6)$$

$$M_{i,1}^{(W)} = M_i^{(0)} \\ (i=0, 1, \dots, 5)$$

$$A_1^{(W)} = A^{(0)}$$

$$F_{i,1}^{(S)} = SF_i^{(S)} \cdot F_{i,1}^{(W)} \\ (i=0, 1, \dots, 6)$$

$$M_{i,1}^{(S)} = SM_i^{(S)} \cdot M_{i,1}^{(W)} \\ (i=0, 1, \dots, 5)$$

$$A_1^{(W)} + A_1^{(S)} \leq A$$

$$\sum_{i=0}^6 IRF_i^{(S)} \cdot F_{i,1}^{(S)} + \sum_{i=0}^5 IRM_i^{(S)} \cdot M_{i,1}^{(S)} \leq AT^{(S)} \cdot A_1^{(S)}$$

$$\sum_{i=0}^6 (NBF_i^{(W)} \cdot F_{i,1}^{(W)} + NBF_i^{(S)} \cdot F_{i,1}^{(S)}) + \sum_{i=0}^5 (NBM_i^{(W)} \cdot M_{i,1}^{(W)} + NBM_i^{(S)} \cdot M_{i,1}^{(S)}) + \sum_{i=0}^6 NCF_i \cdot KF_{i,1} + \sum_{i=0}^5 NCM_i \cdot KM_{i,1} = IN_1$$

$$F_{0,1}^{(W)} = \sum_{i=2}^6 MF_i \cdot (F_{i,1}^{(S)} - KF_{i,1}) + 0.035F_{0,1}^{(W)} \quad (1)$$

$$M_{0,i}^{(w)} = \sum_{i=2}^6 MM_i \cdot (F_{i,i-1}^{(s)} - KF_{i,i-1}) - 0.035F_{0,i}^{(w)}$$

$$F_{i+1,i}^{(w)} = SF_i^{(w)} \cdot (F_{i,i-1}^{(s)} - KF_{i,i-1})$$

(i = 0, 1, \dots, 4)

$$M_{i+1,i}^{(w)} = SM_i^{(w)} \cdot (M_{i,i-1}^{(s)} - KM_{i,i-1})$$

(i = 0, 1, 2, 3)

$$F_{6,i}^{(w)} = SF_6^{(w)} \cdot (F_{5,i-1}^{(s)} - KF_{5,i-1}) + SF_6^{(w)} \cdot (F_{6,i-1}^{(s)} - KF_{6,i-1})$$

$$M_{5,i}^{(w)} = SM_4^{(w)} \cdot (M_{4,i-1}^{(s)} - KM_{4,i-1}) + SM_5^{(w)} \cdot (M_{5,i-1}^{(s)} - KM_{5,i-1})$$

$$KF_{6,i-1} \leq F_{6,i-1}^{(s)}$$

$$KM_{5,i-1} \leq M_{5,i-1}^{(s)}$$

$$F_{i,i}^{(s)} = SF_i^{(s)} \cdot F_{i,i}^{(w)}$$

(i = 0, 1, \dots, 6)

$$M_{i,i}^{(s)} = SM_i^{(s)} M_{i,i}^{(w)}$$

(i = 0, 1, \dots, 5)

$$A_i^{(w)} + A_i^{(s)} \leq A$$

$$\sum_{i=0}^6 IRF_i^{(w)} \cdot F_{i,i}^{(w)} + \sum_{i=0}^5 IRM_i^{(w)} \cdot M_{i,i}^{(w)} \leq AT^{(w)} \cdot A_{t,i}^{(w)}$$

$$\sum_{i=0}^6 IRF_i^{(s)} \cdot F_{i,i}^{(s)} + \sum_{i=0}^5 IRM_i^{(s)} \cdot M_{i,i}^{(s)} \leq AT^{(s)} \cdot A_{t,i}^{(s)}$$

$$\sum_{i=0}^6 (NBF_i^{(w)} \cdot F_{i,i}^{(w)} + NBF_i^{(s)} \cdot F_{i,i}^{(s)} + NCF_i \cdot KF_{i,i}) +$$

$$\sum_{i=0}^5 (NBM_i^{(w)} \cdot M_{i,i}^{(w)} + NBM_i^{(s)} \cdot M_{i,i}^{(s)} + NCM_i \cdot KM_{i,i}) = IN_t$$

(t = 2, 3, \dots, 8)

$$F_{0,9}^{(w)} = \sum_{i=2}^6 MF_i \cdot (F_{i,8}^{(s)} - KF_{i,8}) + 0.035F_{0,9}^{(w)}$$

$$M_{0,9}^{(w)} = \sum_{i=2}^6 MM_i \cdot (F_{i,8}^{(s)} - KF_{i,8}) - 0.035F_{0,9}^{(w)}$$

$$F_{i+1,9}^{(w)} = SF_i^{(w)} \cdot (F_{i,8}^{(s)} - KF_{i,8})$$

(i = 0, 1, \dots, 4)

$$M_{i+1,9}^{(w)} = SM_i^{(w)} \cdot (M_{i,8}^{(s)} - KM_{i,8})$$

(i = 0, 1, 2, 3)

$$F_{6,9}^{(w)} = SF_6^{(w)} \cdot (F_{5,8}^{(s)} - KF_{5,8}) + SF_6^{(w)} \cdot (F_{6,8}^{(s)} - KF_{6,8})$$

$$M_{5,9}^{(w)} = SM_4^{(w)} \cdot (M_{4,8}^{(s)} - KM_{4,8}) + SM_5^{(w)} \cdot (M_{5,8}^{(s)} - KM_{5,8})$$

$$KF_{6,8} \leq F_{6,8}^{(s)}$$

$$KM_{5,8} \leq M_{5,8}^{(s)}$$

$$\sum_{i=0}^6 IRF_i^{(w)} \cdot F_{i,9}^{(w)} + \sum_{i=0}^5 IRM_i^{(w)} \cdot M_{i,9}^{(w)} \leq AT^{(w)} \cdot A_{9,i}^{(w)}$$

$$\sum_{i=0}^6 NLF_i \cdot F_i^{(w)} + \sum_{i=0}^5 NLM_i \cdot M_i^{(w)} = IN_0$$

且

$$F_i^{(j)}, KF_{i,t}, M_i^{(j)}, KM_{i,t}, A_i^{(j)} \geq 0$$

$$(i=0, 1, \dots, 6; l=0, 1, \dots, 5; j=W, S; t=1, 2, \dots, 9)$$

式中,  $F_i^{(0)}$ 、 $M_i^{(0)}$  和  $A_i^{(0)}$  表示第 1 年于冬春草场的给定初始值;  $SF_i^{(j)}$  和  $SM_i^{(j)}$  分别表示第  $i$  龄母羊和羯羊于第  $j$  季草场 ( $j=W, S$ ) 上的存活率;  $MF_i$  和  $MM_i$  分别表示第  $i$  龄母羊于冬春草场繁殖母羔和公羔的繁殖率, 只有 2 岁以上母羊于夏秋草场配种, 有可能于翌年冬春草场产羔;  $KF_{i,t}$  和  $KM_{i,t}$  分别表示第  $i$  年龄组母羊和羯羊于第  $t$  年的出栏数量 (只), 它们显然不能超过  $F_i^{(j)}$  和  $M_i^{(j)}$ , 实际上只须针对母羊和羯羊最后一个年龄组列出该约束条件, 对于其他年龄组这个约束条件是多余的, 故省略之;  $IRF_i^{(j)}$  ( $i=0, 1, \dots, 6$ ) 和  $IRM_i^{(j)}$  ( $i=0, 1, \dots, 5$ ) 分别表示第  $i$  龄母羊和羯羊于第  $j$  季草场 ( $j=W, S$ ) 上修正个体季总采食量 (公斤/只)。

除  $NLF_i$  和  $NLM_i$  外, 根据观测、试验数据估算上述参数的方法, 请参看周立等 (本项研究 I, II)。

母羊的繁殖功能是藏羊种群生产力的源泉之一, 母羊的繁殖收益以隐蔽或明显的形式贡献于种群或个体的总收益 (本项研究 I, II, III)。对于动态模型 (1), 我们以年度静态优化结构中每只各年龄母羊出栏所引起的种群总收益损失 (本项研究 II), 来度量其潜在净繁殖收益。这样, 个体长远潜在净收益  $NLF_i$ , 就等于第  $i$  龄母羊个体一个年度于两季草场的存栏净收益、出栏收益和潜在净繁殖收益之和; 而  $NLM_i$  只是前 3 项之和, 羯羊没有繁殖收益。

## 微型计算机上的求解方法

模型 (1) 除第 9 年度外每年有 42 个结构变量, 第 9 年只包含冬春草场阶段, 有 14 个结构变量, 总计 350 个结构变量。除第 9 年度外每年有 32 个约束方程, 其中平衡型 (“=”型) 约束 27 个 (第 1 年为 28 个), 限制型 (“≤”型) 约束 5 个 (第 1 年为 4 个), 第 9 年有 15 个约束方程 (平衡型 14 个, 限制型 1 个), 总计共有 271 个约束方程 (平衡型 231 个, 限制型 40 个)。若计入松弛变量和人工变量, 模型 (1) 共有 621 个变量。于是, 扩展的约束条件矩阵 (包括目标函数行和右端列) 就有 272 行、622 列, 含元素 169 184 个。单单为了存贮这个实数矩阵就需要 676.7K 以上的内存空间, 再加上操作系统常驻程序和修正单纯法代码占用的存贮空间, 通常的 IBM PC 系列微型机的随机内存 (最大 640K) 远不能满足。因此, 这样一个大型线性规划模型不能直接在一般微机上求解。解决的办法有 2 个: 或者在内存量大的中小型计算机上求解, 或者将模型分解为若干个较小的子模型, 设计一种算法逻辑在现有微型机 (IBM PC/XT) 上分步求解这些子模型, 从而获得大型线性规划模型 (1) 的解。本文采用后一途径求解模型 (1)。

模型 (1) 有如下特点: ① 每个年度冬春草场阶段的种群结构只与前一年度夏秋草场阶段的种群结构和出栏方案直接有关。② 各年度夏秋草场阶段的种群结构只与本年度冬春草场阶段直接有关。③ 两季草场的面积分配与上一年度的面积分配无关, 只与本年度

两季草场的种群结构相匹配。④模型(1)要求各年度各阶段的变量同时求解,其解是逐年生产结构的序列。鉴于上述特点,我们以第5年冬春草场阶段为界将模型(1)分解为两个低维子模型。第1个子模型包含第1年冬春草场阶段(初始化阶段)到第5年冬春草场阶段,第2个子模型包含第5年冬春草场阶段(初始化阶段)到第9年冬春草场阶段,其数学形式类似于模型(1),为了节省篇幅此处不再写出。以第1个子模型最优解于第5年冬春草场阶段的值作为第2个子模型第5年冬春草场阶段的初值,使第2个子模型准确地被初始化到第1个子模型结束时刻的状态,从而保证两个子模型的正确衔接和动态追踪的连续性。两个子模型除初始值不同外结构完全相同,各有182个结构变量和143个约束条件(“ $\leq$ ”0个,“ $=$ ”123个),系数矩阵也相似,从而减轻了输入大量数据的繁重劳动。维数的剧减使得求解每个子模型所要求的内存空间不超过490K,IBM PC/XT微机内存可以满足。

根据我们的问题中每个阶段只直接依赖于前一阶段的特点,采用上述算法将整个时间尺度上的变量同时优化问题(1)分解为逐段优化问题。这个算法成败与否,取决于初始值相同的模型(1)和第1个子模型的最优解在第5年冬春草场阶段的状态是否相同。若相同,则可断定以该状态为初始状态的第2个子模型的最优解,恰与模型(1)最优解在相应区间上的片段相重合(如若不然,与两者都是最优解的假设相矛盾);同样的道理,第1个子模型的最优解也与模型(1)最优解于相应区间上的片段相重合,即两个子模型最优解的组合恰好就是模型(1)的最优解。而两者在第5年冬春草场阶段是否一致,关键在于第1个子模型中该阶段个体净收益参数的选取。显然,此时已不能沿用冬春草场存栏个体净收益参数 $NBF^{(t)}$ 和 $NBM^{(t)}$ (负值)。由于经过4年的调整,第5年冬春阶段的生产结构已接近于最佳稳定结构,其个体潜在净收益也近似地等于最佳稳定结构中个体对种群总收益的贡献,故以个体长远潜在净收益参数 $NLF$ 和 $NLM$ 作为第5年冬春阶段的个体净收益参数。

即使将模型(1)分解为两个子模型,各子模型仍然比较大,故这里顺便指明计算机的软、硬件运行环境,以供参考。采用自行编制的修正单纯法FORTRAN程序(其简介见本项研究I)在IBM PC/XT机上求解各子模型。程序中含有180K以上的巨型数组,要占用多个数据段,超出了数据段内最大寻址能力(64K),必须以全地址(32位)寻址。因此,要采用允许巨型数组的IBM FORTRAN 4.0编译程序、版本为3.55的连接程序和相应的例行子程序库来编译、连接程序。在硬件方面,由于运行程序达480K字节左右,所以要求内存至少为512K,必须有硬盘。

## 模型参数

以中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站邻近地区的畜牧业生产现状为例,依据在该地区多年的观测、试验和调查数据确定各参数,利用模型(1)制定长达9年以藏羊生产为对象的最优畜牧业生产发展规划,并从中获得由现在的藏羊种群生产结构向最优生产结构过渡的最佳动态调整途径。

各参数值分别列于表1—5,它们取自周立等(本项研究I, II)。其中,货币收益参数是按1987年不变价格,以收购价为准估算的。

表 1 各年龄组藏羊存活率

Table 1 Survival rates of Tibetan sheep.

年龄组 Age class $i$	0	1	2	3	4	5	6
$SF_i^{(w)}$	0.829	0.955	0.959	0.959	0.959	0.959	0.959
$SM_i^{(w)}$	0.829	0.955	0.959	0.959	0.959	0.959	—
$SF_i^{(s)}$	0.989	0.995	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
$SM_i^{(s)}$	0.989	0.995	0.999	0.999	0.999	0.999	—

表 2 各年龄组母羊繁殖率

Table 2 Breeding rates of female Tibetan sheep.

年龄组 Age class $i$	0	1	2	3	4	5	6
$MF_i$	—	—	0.417	0.417	0.417	0.417	0.417
$MM_i$	—	—	0.417	0.417	0.417	0.417	0.417

表 3 各年龄组藏羊季采食量

(单位: kg/只)

Table 3 Seasonal quantities of forage grasses eaten by Tibetan sheep.

(Unit: kg/sheep)

年龄组 Age class $i$	0	1	2	3	4	5	6
$IRF_i^{(w)}$	78.506	293.806	406.164	683.615	720.527	759.557	818.959
$IRM_i^{(w)}$	78.506	293.806	406.164	683.615	720.527	759.557	—
$IRF_i^{(s)}$	187.268	253.348	347.441	577.277	607.857	640.190	689.402
$IRM_i^{(s)}$	187.268	253.348	347.441	577.277	607.857	640.190	—

表 4 单位面积可采食牧草量\*

Table 4 Herbage in unit area allowed to utilize by Tibetan sheep.

	$NP(j)^a$	$FL(j)^b$	$u(j)^c$	$MU(j)^d$	$AT(j)^e$
冬春草场 winter-spring grazing land ( $j=w$ )	3 578.80	50	85	80	1 216.79
夏秋草场 summer-autumn grazing land ( $j=s$ )	2 667.20	0	50	100	1 333.60

a) 地上净初级生产力 (kg/ha), Aboveground net primary productivity (kg/ha).

b) 牧草凋落率 (%), The fall ratio of forage grasses (%).

c) 利用牧草比例 (%), The ratio of available forage grasses (%).

d) 可利用牧草的最大利用比例(%), The maximum utilized ratio of available forage by Tibetan sheep(%).

e) 单位面积草地藏羊可采食牧草量 (kg/ha), Herbage in unit area allowed to utilize by Tibetan sheep (kg/ha).

$$AT(j) = NP(j) \cdot (1 - FL(j) \cdot U(j) \cdot MU(j))$$

( $j=W, S$ )

\* 取自周立等 (本项研究 I), From Zhou Li 等 (the studies I).



表5 各年龄组藏羊个体净货币收益\*

Table 5 Net individual profit for each age-class in the population of Tibetan sheep. (单位: 元/只) (Unit: Yuan/sheep)

年龄组 Age class $i$	0	1	2	3	4	5	6
$NBM_i^{(w)}$	-5.51	-8.54	-10.15	-10.69	-10.69	-10.71	—
$NBF_i^{(w)}$	-5.51	-8.54	-10.15	-10.69	-10.69	-10.71	-10.83
$NBM_i^{(s)}$	-4.22	-1.15	2.56	3.09	3.39	3.73	—
$NBF_i^{(s)}$	-4.22	1.15	2.56	3.09	3.39	3.73	4.60
$NCM_i$	29.28	34.64	45.90	60.95	75.83	82.01	—
$NCF_i$	29.28	34.64	45.90	60.95	75.83	82.01	85.62
$NLM_i$	19.55	24.95	38.31	53.35	68.53	75.03	—
母羊潜在净繁殖收益 Potential net profit of reproduction for a female sheep							
	6.09	22.18	27.03	14.66	2.80	0.0	0.0
$NLF_i$	25.64	47.13	65.34	68.01	71.33	75.03	79.39

\* 取自周立等 (本项研究II), From Zhou Li et al. (the studies II).

表6 藏羊种群初始生产结构

Table 6 The initial structure of production for the population of Tibetan sheep.

$M_0^{(0)}$	$M_1^{(0)}$	$M_2^{(0)}$	$M_3^{(0)}$	$M_4^{(0)}$	$M_5^{(0)}$	$F_0^{(0)}$	$F_1^{(0)}$	$F_2^{(0)}$	$F_3^{(0)}$	$F_4^{(0)}$	$F_5^{(0)}$	$F_6^{(0)}$
145	78	76	7	17	10							
152	121	137	111	95	73							0
$A^{(0)}$	$A$											
226.49	500.00											

$M_i^{(0)}$ 和 $F_i^{(0)}$ 单位: 只, Unit of  $M_i^{(0)}$  and  $F_i^{(0)}$ : sheep;  $A^{(0)}$ 和 $A$ 单位: 公顷, Unit of  $A^{(0)}$  and  $A$ : ha.

根据1987—1988年对一般家庭承包牧场的调查,按1头牦牛折合5只羊计算,代表现状的藏羊种群生产结构列于表6。我们用它来初始化模型(1),以表明初始的生产结构,使得由此出发的优化结果能够指导该地区的实际过渡调整。

## 结果和讨论

接着前述算法和参数在IBM PC/XT微机上运行4个多小时,可获得模型(1)的最优解。初始生产结构如表6、总面积为500 ha草地的家庭承包牧场,未来9年的最优生产规划如表7a、表7b和表7c。由于采用修正单纯法获得的是实型解,对应羊只数的数字

应进行四舍五入处理, 从而得到可以实际应用的最佳近似解。羊只数的舍入误差必将引起种群净收益值的误差, 从而导致最佳近似解与最优解之间年度净收益值的误差。为了准确起见, 我们在表7a、7b和7C中没有直接引用最优解的年度净收益(IN<sub>i</sub>)计算结果,

表7a 藏羊种群最优生产规划

Table 7a The optimal plan of production for the population of Tibetan sheep.

年 year	年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	合计(只) Total (sheep)	面积(ha) Area (ha)	净收益(元) Net profit (Yuan)
1	冬 春 草 场 Winter-spring grazing land									226.49	
	♀	152	121	137	111	95	73	0	689		
	♂	145	78	76	7	7	10	—	323		
	夏 秋 草 场 Summer-autumn grazing land									273.51	
	♀	150	120	137	111	95	73	0	686		
	♂	143	78	76	7	7	10	—	321		
	出 栏 Slaughter										
	♀	0	0	0	0	18	73	0	91		
	♂	143	78	76	7	7	10	—	321		
	年 度 净 收 益 Yearly net profit										
2	冬 春 草 场 Winter-spring grazing land									268.52	
	♀	140	125	115	131	106	74	0	691		
	♂	130	0	0	0	0	0	—	130		
	夏 秋 草 场 Summer-autumn grazing land									231.48	
	♀	139	124	115	131	106	73	0	688		
	♂	129	0	0	0	0	0	—	129		
	出 栏 Slaughter										
	♀	0	0	0	0	27	73	0	100		
	♂	129	0	0	0	0	0	—	129		
	年 度 净 收 益 Yearly net profit										
3	冬 春 草 场 Winter-spring grazing land									268.50	
	♀	140	115	118	110	126	76	0	685		
	♂	131	0	0	0	0	0	—	131		
	夏 秋 草 场 Summer-autumn grazing land									231.50	

年 Year	年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	合计(只) Total (sheep)	面积(ha) Area (ha)	净收益(元) Net profit (Yuan)
	♀	139	114	118	110	126	76	0	683		
	♂	129	0	0	0	0	0	—	129		
出栏 Slaughter											
	♀	0	0	0	0	25	76	0	101		
	♂	129	0	0	0	0	0	—	129		
年度净收益 Yearly net profit										4 985.42	

表 7b 藏羊种群最优生产规划

Table 7b The optimal plan of production for the population of Tibetan sheep.

年 Year	年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	合计(只) Total (sheep)	面积(ha) Area (ha)	净收益(元) Net profit (Yuan)
4	冬春草场 Winter-spring grazing land									268.37	
	♀	142	115	109	113	106	96	0	681		
♂	132	0	0	0	0	0	—	132			
	夏秋草场 Summer-autumn grazing land									231.63	
	♀	141	115	109	113	105	96	0	679		
♂	131	0	0	0	0	0	—	131			
出栏 Slaughter											
	♀	0	0	0	0	0	96	0	96		
	♂	131	0	0	0	0	0	—	131		
年度净收益 Yearly net profit										4 805.67	
5	冬春草场 Winter-spring grazing land									268.47	
	♀	142	117	109	105	109	101	0	683		
♂	132	0	0	0	0	0	—	132			
	夏秋草场 Summer-autumn grazing land									231.53	
	♀	140	116	109	105	109	101	0	680		
♂	130	0	0	0	0	0	—	130			
出栏 Slaughter											
	♀	0	0	0	0	0	97	0	97		
	♂	130	0	0	0	0	0	—	130		

续表 7 b

年 Year	年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	合计(只) Total (sheep)	面积(ha) Area (ha)	净收益(元) Net profit (Yuan)	
6	年度净收益 Yearly net profit										4 863.57	
	冬春草场 Winter-spring grazing land									268.47		
	♀	141	116	111	105	100	104	4	681			
	♂	131	0	0	0	0	0	—	131			
	夏秋草场 Summer-autumn grazing land									231.53		
	♀	140	116	111	105	100	104	0	680			
	♂	130	0	0	0	0	0	—	130			
	出栏 Slaughter											
	♀	0	0	0	0	0	93	4	97			
	♂	130	0	0	0	0	0	—	130			
年度净收益 Yearly net profit											4 879.41	

表 7c 藏羊种群最优生产规划

Table 7c The optimal plan of production for the population of Tibetan sheep.

年 Year	年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	合计(只) Total (sheep)	面积(ha) Area (ha)	净收益(元) Net profit (Yuan)	
7	冬春草场 Winter-spring grazing land									268.47		
	♀	141	116	110	106	100	96	11	680			
	♂	131	0	0	0	0	0	—	131			
	夏秋草场 Summer-autumn grazing land									231.53		
	♀	140	115	110	106	100	96	11	678			
	♂	130	0	0	0	0	0	—	130			
	出栏 Slaughter											
	♀	0	0	0	0	0	86	11	97			
	♂	130	0	0	0	0	0	—	130			
	年度净收益 Yearly net profit											4 935.54
8	冬春草场 Winter-spring grazing land									268.46		
	♀	141	116	110	106	102	96	10	681			
	♂	131	0	0	0	0	0	—	131			

续表 7、

年 Year	年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	合计(只) Total (sheep)	面积(ha) Area (ha)	净收益(元) Net profit (Yuan)
8	夏秋草场 Summer-autumn grazing land									231.54	
	♀	140	115	110	106	102	96	10	679		
	♂	130	0	0	0	0	0	—	130		
	出栏 Slaughter										
	♀	0	0	0	0	0	86	10	96		
♂	130	0	0	0	0	0	—	130			
年度净收益 Yearly net profit											4803.97
9	冬春草场 Winter-spring grazing land									268.47	
	♀	141	116	110	105	101	96	9	679		
	♂	131	0	0	0	0	0	—	131		
	最优稳定平衡结构* The optimal stable equilibrium structure										
	冬春草场 Winter-spring grazing land									268.47	
♀	141	116	110	105	101	97	10	680			
♂	131	0	0	0	0	0	—	131			
夏秋草场 Summer-autumn grazing land									231.53		
♀	140	115	110	105	101	97	10	678			
♂	130	0	0	0	0	0	—	130			
出栏 Slaughter											
♀	0	0	0	0	0	86	10	96			
♂	130	0	0	0	0	0	—	130			
年度净收益 Yearly net profit											4840.22

\* 取自周立等(本项研究II), From Zhou Li et al. (the studies II).

而是按取整后的羊只数重新计算年度净收益。

### (一) 最优解的收敛性和最佳过渡调整途径

从表7a、7b和7c可以看出,第1—6年的生产结构逐渐趋向最优稳定平衡结构,但差异仍较大。而从第7年开始,就各性别各年龄组的藏羊数量而言,两者差异不超过1,就各季草场的面积而言,两者差异不超过0.01ha。若以未取整的实型解比较两者,羊只数的差异还达不到1。为了考察最优解各年度值的收敛性,我们将模型(1)的规划时间

尺度再拓展4年,即达到13年。其最优解表明,从第10年开始,各年度生产结构中各性别各年龄组的羊只数与最优稳定平衡结构中相应值之差才小于0.5。这一方面说明在一定精度范围内最优解的年度值收敛,另一方面也表明收敛速度较慢。基于这种情况,再考虑到生产实践中可能出现的误差范围,我们取1作为精度控制界限,那么可以认为最优解第7年度值和以后逐年度值均已达到了一组平衡值(极限值),即最优稳定平衡结构。于是,从第1年到第6年的逐年生产结构动态调整方案,就构成了从初始结构过渡到最优稳定平衡结构的最佳过渡调整途径。

在稳定的藏羊种群中母羊出栏效益最佳的年龄是6岁和5岁(本项研究II,III)。随着过渡调整进程藏羊种群结构逐渐靠近优化稳定结构,而第1年度的母羔(0岁)到第6年才达到5岁,方可最优原则下出栏调整,这就意味着在一般情况下,需要6年的时间才能将初始种群各性别各年龄组全部调整一次。换言之,在通常情况下最佳过渡调整过程至少需要6年的时间。

## (二) 过渡过程的经济效益

在为期6年的过渡调整阶段中,出栏的羊只较多,因成年羊只的减少总成本消耗又呈降低趋势(因舍入误差,并非直线降低),故年均净货币收益较高(5772.51元/年)。从第7年开始近似达到最优稳定结构后,年净货币收益将保持在4840.22元/年左右(因舍入误差引起波动)。无论是过渡过程还是稳定以后,年净货币收益均明显地高于按照传统方式经营初始种群(表6)的实际纯盈利(3508.73元/年,本项研究II)。由此可见,按照最佳动态调整途径从不合理的种群结构向优化结构过渡,并不一定在经济收入上蒙受损失。在一般情况下,过渡阶段的年经济收益还会有较大幅度的提高。

## (三) 优化调整的生态环境和资源效益

在总面积为500ha的草场上,初始结构的年载畜量为1010只羊,而且年龄结构比例失调,采食量高的成年羊过多,尤其是成年羯羊。高寒草甸天然草场的植被组成主要是多年生植物,它们以营养生殖为主。牧草地上部分过多地被采食必然减少光合产物,继而降低了根系生长强度、生殖强度,以及营养贮存的恢复,势必影响以后诸年的群落结构。长期过牧将导致家畜喜食品种减少,营养水平和生产力降低,加之分解基质的减少和土壤理化条件的变化也会降低土壤的肥力、草场逐渐退化。因此,协调土壤、牧草和家畜三者之间的关系,适度地利用牧草使三者维持长期相对稳定平衡,是发展持续畜牧业长期规划的基本前提。根据研究结果初步估计,高寒草甸夏秋草场能够维持自我更新的适度利用率在40—50%之间。若按50%计算,如果以稳定种群的年龄结构为准,500ha草场的年载畜量为810只,显然初始结构已严重超载。值得注意的是,适度利用范围内的牧草除供给家畜外还供给其他食植动物(如啮齿动物),如果以这个牧草量作为藏羊资源供给约束,必须将包括家畜自身浪费和其他食植动物采食的牧草量(称为浪费部分)计入利用部分,否则将导致过大的载畜量。我们按藏羊摄入量75%的比例估计浪费部分,并与摄入量一起计入个体采食量,故个体采食量较摄入量扩大1.75倍(本项研究I)。

只羊模型(1)提供的最佳过渡途径,是在适度利用的资源约束下逐步调整生产结构,并且在被利用牧草中计入了浪费损失部分,因而保证了草畜平衡,避免了超载放牧,能够

促进经济、资源和生态环境的共荣和畜牧业的持续稳定发展。

#### (四) 季节草畜平衡

由于两季草场的植被类型、净初级生产力、可利用牧草量的差异和家畜于两季草场的采食量不同,导致单位面积的两季草场其载畜量不同。因而,对于季节性轮牧的高寒牧场,季节性草畜矛盾一直十分突出,也是家畜大量死亡的重要原因之一。在由冷季草场向暖季草场的轮换过程中,习惯上并没有像出栏这样的调整措施,于是,主观地指定两季草场的面积分配将会引起季节性草畜矛盾。例如,在初始生产结构中划定的冷季草场面积为 226.49ha,按其种群大小计算冷季草场的牧草供给严重不足,而暖季草场却剩余 2.6 吨的可采食牧草。因此,合理地分配与种群相匹配的两季草场面积,保证两季草场草畜供需最佳平衡,是解决上述矛盾的最好途径。最优生产发展规划(表7a、7b、7c)显示,无论在过渡阶段还是达到稳定以后,高寒牧场两季草场的最佳面积分别为 268.5ha(冬春)和 231.5 公顷(夏秋),面积比为 1.16:1.00,接近于青海省牧区自然冷、暖季草场面积比(1.1:1.0)。根据线性规划原理,当草场总面积扩大或缩小时该比值不变,这也表明优化畜牧业生产发展规划是实际可行的。

#### 参 考 文 献

- Boussard, J-M., 1971, Time horizon, objective function, and uncertainty in a multiperiod model of farm growth, *American Journal of Agricultural Economics*, 53: 467-477.
- Hazell, P. B. R. and R. D. Norton, 1986, *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*, New York, Macmillan.
- Throsby, C. D., 1967, Stationary-state solutions in multiperiod linear programming problem. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 11: 192-198.

## STUDIES ON THE OPTIMAL STRUCTURE OF PRODUCTION FOR ALPINE PASTURELANDS

### IV. THE OPTIMAL DYNAMIC ADJUSTMENT PATH FROM AN INITIAL STRUCTURE OF PRODUCTION FOR THE POPULATION OF TIBETAN SHEEP

Zhou Li, Wang Qiji, Zhao Xinquan and Zhao Jing

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences)

Using the stationary equilibrium approach to modelling grazing processes in a year, a model might provide information on the optimal structure of production that should be attained in an equilibrium state. But the approach would offer no guidelines on how the optimal structure should be achieved if pastureland initially has a different structure. Therefore, we would use dynamic trace approach to modelling grazing processes in longer time horizon for obtaining the optimal adjust-

ment path from an initial structure of production to the optimal structure.

In Qinghai-Tibetan plateau, rotation grazing has been historically performed according to geographic and climatic conditions, dividing a pastureland into the summer-autumn (warm season) and the winter-spring (cold season) grazing grasslands in a year. Hence, a year should be divided into two grazing periods in a programming model for ensuring the balances between herbage and sheep in two grazing grasslands. The length of planning horizon takes 9 years, including 17 periods, a 17-period linear programming model of dynamic trace is constructed and expressed as expression (1). Maximizing objective function is the net income of livestock products in Chinese Yuan. Constraints of resource include total area of grazing grassland and appropriate utilized herbage; constraints of sheep population explicitly track the individual history of each sex-age sheep over time in the model.

The solution of the model provides an optimal growth strategy for alpine pasture land which gives both the longer-term equilibrium structure of production and the optimal adjustment path that should be pursued in achieving this goal (see Table 7a, 7b, 7c) because the activity levels in the later years of the optimal solution converge to a set of equilibrium values.

The 17-period linear programming model (1) is an economic-ecological model of large size including 621 activities and 271 constraint equations, the required space of memory exceeds the memory of ordinary microcomputer as IBM PC series. A breakdown arithmetic to solve the model has been performed in IBM PC/XT microcomputer, using the revised simplex method of computation and the compiler of software FORTRAN 4.0.

**Key words:** Optimum structure of production; Economic-ecological model; Multi-period linear programming model of dynamic trace; Optimum adjusting transition approach; Alpine pasturelands.