

生态学报

高寒牧场最优生产结构的研究*

II. 藏系绵羊种群最大净货币收益生产结构**

周立 王启基 赵新全

(中国科学院西北高原生物研究所)

摘要

本文采用最优化技术中静态平衡途径,以最大畜牧业生产净货币收益为目标,以两季轮牧草场的草、畜生态平衡为约束条件,建立年度两阶段线性规划模型。确定在年间稳定平衡状态下藏羊种群的最优生产结构。探讨了最优生产结构的生产性能、产值分布和经济效益,以及在高原牧区的实际可行性。为畜牧业生产结构优化提供了理论、方法和先进的计算机手段。

关键词: 藏羊种群; 最优生产结构; 最大净货币收益; 经济生态模型; 两阶段静态线性规划模型。

青藏高原幅员辽阔,草地资源十分丰富,是我国重要的畜牧业基地之一;仅青海省就有3千多万公顷可利用草地,占全省总面积的46.39%,占全国可利用草地面积的14.44%。但高原畜牧业经营管理技术原始落后,经济效益低下;与全国各省区相比,畜牧业经济效益居后。

近年来,畜牧业生产的发展与天然草场资源限制之间的矛盾越来越尖锐,从而导致超载放牧和草场退化。超载放牧和草地退化是发展中国家共同面临的问题。其重要原因之一是商品经济不发达,市场发育不完善,牧场经营者缺乏商品经济知识和经验(Dankwerts and Aucamp, 1986)。

本文针对青藏高原畜牧业生产的现状,协调畜牧业经济发展和草地资源保护之间的矛盾,兼顾社会、经济和生态效益,以传统的自然经济为基础,以适度利用的天然草场量为资源约束,以最大畜牧业生产净货币收益为目标,依据高寒牧场冬春(冷季)、夏秋(暖冬)两季草场轮牧制度,以年为单位建立两时间阶段线性规划模型。采用最优化技术中静态平衡途径,确定年间稳定平衡状态下最大净货币收益的藏系绵羊最优种群结构和出栏结构,以及两季草场最佳面积分配结构。试图在保护天然草场资源、发展持续畜牧业和不增加投入的前提下,通过调整畜群结构和草地利用结构来提高牧场的经济效益,为制定优化的高寒牧场生产计划提供理论指导和计算机软件。

* 国家自然科学基金和中国科学院西北高原生物研究所定位站基金资助项目。

** 承蒙夏武平教授指导,特此致谢。

数学规划已广泛地应用于农牧业经济 (Anderson等, 1977; Hazell and Norton, 1986)。在我国, 大部分规划限于能量角度探试 (董全等, 1984, 1987; 本项研究 I)。

线性规划模型

在本项研究 I 中就高寒牧场藏羊种群, 以最大畜产品能量输出为目标探讨了最优生产结构, 本文是其后续篇。本文所建立的线性规划模型, 除目标函数不同外, 约束条件与上文中线性规划模型完全相同, 故这里只对其做简结地描述。

以高寒牧场的主要植被类型——高寒草甸为例, 构造模型和取得参数。高寒草甸气候和初级生产特征参见周立 (1989)。

藏羊种群按性别各分为 9 个年龄组: <10 月龄、10 月龄 ≤ 且 <1 岁 10 月龄、…、6 岁 10 月龄 ≤ 且 <7 岁 10 月龄和 ≥7 岁 10 月龄年龄组, 分别称为 0 岁、1 岁、…、7 岁和 8 岁年龄组, 分别用 $F_i^{(s)}$ 、 $M_i^{(s)}$ 和 $F_i^{(w)}$ 、 $M_i^{(w)}$ ($i=0, 1, \dots, 8$) 表示夏秋草场 (上标为 S) 和冬春草场 (上标为 W), 母羊 (F) 和羯羊 (M) 0—8 岁年龄组 (下标 i) 第 t 年的个体数量 (只)。母羊 (KF) 和羯羊 (KM) 各年龄组 (下标 i) 第 t 年的出栏数量分别用 $KF_{i,t}$ 和 $KM_{i,t}$ ($i=0, 1, \dots, 8$) 表示。为了简化, 将实际种公羊数量 (占母羊的 3.5%) 也一并计入各母羊年龄组之中。

为了清晰起见, 引入放牧年度的概念。以冬春草场时间段的起点 (11 月 1 日) 作为放牧年度的起点, 经过冬春、夏秋草场放牧时间段, 恰好是 1 个自然年度, 称为 1 个放牧年, 用 t 标记。藏羊的年龄仍按自然年日历计算。

根据实际轮牧制度和繁殖、出栏时间, 我们建立两时间阶段藏羊年度生产线性规划模型。为了寻求年间静态稳定平衡状态下的优化生产结构, 即第 t 年与第 t+1 年的生产结构完全相同, 显然应假定线性规划模型中各变量和参数与年度 t 无关, 因此, 各变量和参数的下标 t 均可去掉。线性规划模型中包含 3 类约束条件: ①两季草场藏羊种群动态平衡约束; ②资源约束和③非负约束。目标函数是经营藏羊种群的年度货币净收益, 即年度畜产品货币 (粗) 收入减去年度饲养消耗成本。两时间阶段静态线性规划模型的数学结构为

$$\text{Max } Z = \sum_{i=0}^8 [(NBF_i^{(w)} \cdot F_i^{(w)} + NBM_i^{(w)} \cdot M_i^{(w)}) + (NBF_i^{(s)} \cdot F_i^{(s)} + NBM_i^{(s)} \cdot M_i^{(s)})] \\ + \sum_{i=0}^8 (NCF_i \cdot KF_i + NCM_i \cdot KM_i)$$

满足

$$\begin{aligned} F_i^{(s)} &= SF_i^{(s)} \cdot F_i^{(w)} \\ M_i^{(s)} &= SM_i^{(s)} \cdot M_i^{(w)} \\ (i &= 0, 1, \dots, 8) \\ F_0^{(w)} &= \sum_{i=2}^8 MF_i \cdot (F_i^{(s)} - KF_i) + 0.035F_0^{(w)} \\ M_0^{(w)} &= \sum_{i=2}^8 MM_i \cdot (M_i^{(s)} - KM_i) - 0.035F_0^{(w)} \\ F_{i+1}^{(w)} &= SF_i^{(w)} \cdot (F_i^{(s)} - KF_i) \\ M_{i+1}^{(w)} &= SM_i^{(w)} \cdot (M_i^{(s)} - KM_i) \end{aligned} \quad (1)$$

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

$$F_8^{(w)} = SF_7^{(w)} (F_7^{(s)} - KF_7) + SF_8^{(w)} \cdot (F_8^{(s)} - KF_8)$$

$$M_8^{(w)} = SM_7^{(w)} \cdot (M_7^{(s)} - KM_7) + SM_8^{(w)} \cdot (M_8^{(s)} - KM_8)$$

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

$$\sum_{i=0}^8 (IRF_i^{(w)} \cdot F_i^{(w)} + IRM_i^{(w)} \cdot M_i^{(w)}) \leq AT^{(w)} \cdot A^{(w)}$$

$$\sum_{i=0}^8 (IRF_i^{(s)} \cdot F_i^{(s)} + IRM_i^{(s)} \cdot M_i^{(s)}) \leq AT^{(s)} \cdot A^{(s)}$$

且

$$F_i^{(s)}, M_i^{(s)}, F_i^{(w)}, M_i^{(w)}, KF_i, KM_i, A^{(s)}, A^{(w)} \geq 0$$

$$(i = 0, 1, \dots, 8)$$

式中, $SF_i^{(j)}$ 和 $SM_i^{(j)}$ ($i = 0, 1, \dots, 8$) 分别表示第 i 年龄组母羊 (SF) 和羯羊 (SM) 于第 j ($j = W, S$) 草场上的存活率; MF_i 和 MM_i ($i = 0, 1, \dots, 8$) 分别表示第 i 年龄组母羊繁殖母羔 (F) 和公羔 (M) 的繁殖率; A 、 $A^{(w)}$ 和 $A^{(s)}$ 分别表示放牧草场总面积, 冬春草场和夏秋草场的面积 (ha); 引入 $A^{(w)}$ 和 $A^{(s)}$ 是因为两季草场植被类型不同, 地上净初级生产力、可利用牧草比例、适度利用率和放牧时间等均不相同, 故其承载藏羊能力不同, 目的是优化两季草场的面积分配; $IRF_i^{(j)}$ 和 $IRM_i^{(j)}$ ($i = 0, 1, \dots, 8$) 分别表示第 i 年龄组母羊 (F) 和羯羊 (M) 于 j ($j = W, S$) 季草场的个体季修正采食量 (kg/只), 其中包含死亡羊只采食的牧草量以及浪费的牧草量; $AT^{(w)}$ 和 $AT^{(s)}$ 分别表示冬春、夏秋草场每单位面积草场的可采食牧草量 (kg/ha), 其中考虑了地上净初级生产力、凋落率、可利用牧草比例和防止草场退化的牧草适度利用率。模型的详细解释和以上各参数的详细估算方法及公式, 请参看周立等 (1989), 此处不再赘述。

模型 (1) 共有结构变量 56 个, 常数参数 82 个; 除非负条件外, 共有约束条件 39 个, 其中 “=” 平衡型约束 36 个, 描述两季草场畜群动态平衡 (实际 Leslie 方程组), “ \leq ” 限制型约束 3 个, 表明资源对载畜量的限制。目标函数 Z 是年度畜群净货币收益。(人民币: 元), 前 2 个小括号分别表示冬春、夏秋草场上存栏羊只的净货币收益 (可能是负值), 第 3 个小括号表示出栏羊只的净货币收益。式中, $NBF_i^{(s)}$ 、 $NBM_i^{(s)}$ ($NBF_i^{(w)}$ 、 $NBM_i^{(w)}$) ($i = 0, 1, \dots, 8$) 分别为夏秋 (冬春) 草场第 i 年龄组每只母、羯羊的存栏净货币收益 (元/只); NCF_i 和 NCM_i ($i = 0, 1, \dots, 8$) 分别为出栏第 i 年龄组每只母、羯羊的净货币收益 (元/只)。

——冬春草场存栏羊只的货币 (粗) 收入, 是出售死亡羊只的毛皮带来的, 若将其平摊到每只存活的羊只, 则有

$$NBF_0^{(w)} = CGF_0^{(w)} \cdot \left(\frac{1}{SF} - 1 \right) - CSTF_0^{(w)}$$

$$NBM_0^{(w)} = CGM_0^{(w)} \cdot \left(\frac{1}{SM} - 1 \right) - CSTM_0^{(w)}$$

$$NBF_i^{(w)} = CGF_i^{(w)} \cdot \left(\frac{1}{SF_i^{(w)}} - 1 \right) - CSTF_i^{(w)}$$

$$NBM_i^{(w)} = CGM_i^{(w)} \cdot \left(\frac{1}{SM_i^{(w)}} - 1 \right) - CSTM_i^{(w)}$$

$$(i = 1, 2, \dots, 8)$$

式中, SF 、 SM 分别表示新产母、公羔羊于冬春草场的存活率; $CGF_i^{(w)}$ 和 $CGF_i^{(s)}$ ($i = 0, 1, \dots, 8$) 分别表示于各春草场第 i 年龄组每只死亡母、羯羊的毛皮收入 (元/只); $CSTF_i^{(w)}$ 和 $CSTM_i^{(w)}$ ($i = 0, 1, \dots, 8$), 分别表示各春草场第 i 年龄组每只母、羯羊存栏的成本支出 (元/只), 死亡羊只的成本消耗也应分摊于其中。夏秋草场除死亡羊只带头存栏羊只收益外, 每年6—7月剪毛一次 (羔羊例外), 额外增加存栏羊只的羊毛货币收入, 因此有

$$NBF_i^{(s)} = CGF_i^{(s)} \cdot \left(\frac{1}{SF_i^{(s)}} - 1 \right) + CWF_i - CSTF_i^{(s)}$$

$$NBM_i^{(s)} = CGM_i^{(s)} \cdot \left(\frac{1}{SM_i^{(s)}} - 1 \right) + CWM_i - CSTM_i^{(s)} \quad (3)$$

$i = 0, 1, \dots, 8$

这里, $CGF_i^{(s)}$ 、 $CGM_i^{(s)}$ ($i = 0, 1, \dots, 8$) 分别表示于夏秋草场第 i 年龄组每只死亡母、羯羊的毛皮货币收入 (元/只); CWF_i 、 CWM_i ($i = 0, 1, \dots, 8$) 分别表示第 i 年龄组每只母、羯羊的羊毛货币收入 (元/只); $CSTF_i^{(s)}$ 、 $CSTM_i^{(s)}$ ($i = 0, 1, \dots, 8$) 分别表示于夏秋草场第 i 年龄组每只母、羯羊存栏的成本消耗 (元/只)。由于饲养成本已计入冬春和夏秋草场的净货币收益之中, 故出栏羊只的收入就是出栏羊只的净收益。

参 数

线性规划模型 (1) 的全部参数, 来自 1985—1988 年在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站的观测、研究, 以及对邻近地区家庭承包牧场的调查结果。由于本模型支持的是高寒牧场宏观优化管理决策, 以季草场为时间和空间单位, 其分解度是低的; 以此为代价换来了模型的减化和时、空维数的降低, 故其参数值反映的是时、空宏观平均效应, 而不能反映季节内的动态。

除目标函数中各个系数外, 其余参数值均与最大能量输出模型 (本研究 I) 的参数值相同, 故这里只简略地列出约束条件中各参数值。本部分的重点是估算目标函数中各项净收益参数。

表 1—4 列出了约束条件中全部参数值。其中季采食量包含 75% 的浪费系数。

表 1 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	7	8
$SF_i^{(w)}$	0.829	0.955	0.959	0.959	0.959	0.959	0.959	0.958	0.948
$SM_i^{(w)}$	0.829	0.955	0.959	0.959	0.959	0.959	0.959	0.958	0.948
$SF_i^{(s)}$	0.989	0.995	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998
$SM_i^{(s)}$	0.989	0.995	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998

藏羊存栏的支出成本, 主要有牧工工资 (1440元/(人·年)), 牧工每人约放牧 243

表2 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	7	8
MF_i	—	—	0.417	0.417	0.417	0.417	0.417	0.402	0.379
MM_i	—	—	0.417	0.417	0.417	0.417	0.417	0.402	0.379

表3 各年龄组藏羊的季采食量

(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	7	8
$IRF_i^{(w)}$	78.506	293.806	406.164	683.615	720.527	759.557	818.959	787.610	759.913
$IRM_i^{(w)}$	78.506	293.806	406.164	683.615	720.527	759.557	818.959	787.610	759.913
$IRF_i^{(s)}$	187.268	253.348	347.441	577.277	607.857	640.190	689.402	663.096	640.293
$IRM_i^{(s)}$	187.268	253.348	347.441	577.277	607.857	640.190	689.402	663.096	640.293

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 ($j=w$)	3578.80	50	85	80	1216.79
夏秋草场 Summer-autumn grazing land ($j=s$)	2667.20	0	50	100	1333.60

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 et al. (the studies I)

只羊, 平均每只羊年支出约 5.93 元; 管理费 (3.24 元 / (只·年)); 冬春草场补饲按 90 天计, 每天每只羊补饲 0.25 kg 干草, 每公斤青干草按 0.20 元购买, 补饲费为 4.50 元 / (只·年); 冬春草场围栏折旧摊入成本, 冬春草场每公斤可采食干牧草的成本为 0.002 元; 在夏秋草场不补饲, 也没有围栏投资, 但有家畜防疫费和灭鼠费 (0.50 元 / (只·年)) 支出。我们将每只藏羊的年度牧工工资支出和管理费支出, 依其在各季草场的存栏时间, 按比例分摊到各季草场的存栏成本之中。

冬春草场上只有出售死亡羊只的毛皮收入, 其价格视羊只大小而定, 新产羔羊死亡者的皮张价格甚低, 忽略不计。在夏秋草场上, 除死亡者皮张收入之外, 尚有出售羊毛

收入(5.78元/kg)。出栏羊只的收入包括肉和皮张收入,肉收入按胴体重计算(2.28元/kg),皮张按质量和大小决定。上述各价格均以1987年收购价为准。

由于牧工以群为单位放牧羊只,所以平摊到各只羊的牧工工资只是一个大约数字,加之实际存栏羊只数往往超过承包基数,平摊到每只羊的管理费也少于额定管理费,因此,我们忽略了死亡羊只消耗成本平摊到存活羊只的那部分成本支出,仍按额定费用计算每只羊的成本支出。

若把相同年龄不同性别的每只藏羊的饲养成本、存栏收入和出栏收入视为相同,则两季草场各年龄组藏羊的存栏成本、粗货币收入和净货币收入,以及出栏净货币收入如表5所示,各年龄组藏羊的存栏、出栏净货币收益即为目标函数的系数。

表5 藏羊各年龄组个体净货币收益

Table 5 Net individual profit for each age-class in the population of Tibetan sheep (Coefficients of the objective function). (Unit: Yuan/sheep)

年龄组 Age class	0	1	2	3	4	5	6	7	8
夏秋草场 Summer-autumn grazing land									
牧工工资 Cost for herdsman	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47
管理费 Cost for management	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
防疫费 Cost for epidemic prevention	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
总支出 Total cost	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32
产毛(kg) Production of wool(kg)	0.0	0.54	1.19	1.28	1.33	1.39	1.54	1.65	1.76
羊毛收入 Income for wool	0.0	3.12	6.87	7.40	7.69	8.03	8.90	9.54	10.17
死亡羊只皮张收入 Income for sheepskins of dead sheep	0.10	0.05	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
粗总收入 Gross total income	0.10	3.17	6.88	7.41	7.71	8.05	8.92	9.56	10.19
净收益 Net profit (NBF(·), NBM(·))	-4.22	-1.15	2.56	3.09	3.39	3.73	4.60	5.24	5.87
冬春草场 Winter-spring grazing land									
牧工工资 Cost for herdsman	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46
管理费 Cost for management	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89
补饲费 Cost for supplemental food	0.0	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
消耗牧草费用 Cost for consumed herbage	0.16	0.59	0.81	1.37	1.44	1.52	1.64	1.58	1.52
总支出 Total cost	5.51	10.44	10.66	11.22	11.29	11.37	11.49	11.43	11.37

年龄组 Age class	0	1	2	3	4	5	6	7	8
死亡羊只皮张收入 Income for sheep skins of dead sheep	0.0	1.90	0.51	0.53	0.60	0.66	0.66	0.66	0.85
粗总收入 Gross total income	0.0	1.90	0.51	0.53	0.60	0.66	0.66	0.66	0.85
净收益 Net profit (NBF_i , NBM_i)	-5.51	-8.54	-10.15	-10.69	-10.69	-10.71	-10.83	-10.77	-10.52
出栏 Slaughter									
皮张收入 Income for sheep skins	9.22	9.22	10.77	12.32	13.93	15.53	15.53	15.53	15.53
肉收入 Income for meat	20.06	25.42	35.13	48.63	61.90	66.48	70.09	64.03	62.36
净收益 Net profit (NCF_i , NCM_i)	29.28	34.64	45.90	60.95	75.83	82.01	85.62	79.56	77.89

结 果

把线性规划模型 (1) 中所有的变量统一看作连续变量, 采用修正单纯法求解。自行编制附带灵敏度分析和稳定性分析的解线性最优化问题软件包 (计算方法及软件结构简介见本项研究 I), 于 IBM PC 系列微机上运行。下面列出的最优解计算结果, 羊只数量均已经过四舍五入处理, 故其只是一个最佳近似最优解。

(一) 夏秋草场藏羊种群最优存栏结构

于夏秋时间段 (6月1日—10月31日) 在夏秋草场上藏羊种群的最优存栏结构列于表 6。在下文中除非特殊说明, 母羊年龄组数量中均包含其自身数量 3.5% 的种公羊在内。

表 6 夏秋草场藏羊最优存栏结构

Table 6 The optimal population structure stocked for Tibetan sheep in the summer-autumn grazing land.

(单位: 只)
(Unit: sheep)

年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	合计 Total
♀ ($F_i^{(s)}$)	140	115	110	105	101	97	10	0	0	678
%*	17.33	14.23	13.61	13.00	12.50	12.00	1.24	0	0	83.91
♂ ($M_i^{(o)}$)	130	0	0	0	0	0	0	0	0	130
%*	16.09	0	0	0	0	0	0	0	0	16.09
合 计 Total	270	115	110	105	101	97	10	0	0	808
%*	33.42	14.23	13.61	13.00	12.50	12.00	1.24	0	0	100.00

* 占种群总数量的百分比, Percentage calculated in terms of total number of population.

在最优存栏结构中，母羊占83.91%，羯羊占16.09%；繁殖母羊占种群的52.35%，其中包括占种群1.83%的种公羊，实际繁殖母羊占种群的50.52%。其自身年龄分布为：2岁者占26.00%、3岁占24.82%、4岁占23.88%、5岁占22.93%和6岁占2.37%。存栏羯羊全部是羯羔羊（占种群的16.09%）。种群中约1/3是羔羊。

(二) 最佳出栏结构和种群周转期

最佳出栏结构（表7）中，羯羔羊占出栏总数的多半（57.52%），老年繁殖母羊占

表7 最佳出栏结构 (单位: 只)
Table 7 The optimal slaughter structure for Tibetan sheep. (Unit: seep)

年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	合计 Total
♀(KF_i)	0	0	0	0	0	86	10	0	0	96
%*	0	0	0	0	0	38.05	4.43	0	0	42.48
♂(KM_i)	130	0	0	0	0	0	0	0	0	130
%*	57.52	0	0	0	0	0	0	0	0	57.52
合计 Total	130	0	0	0	0	86	10	0	0	226
%*	57.52	0	0	0	0	38.05	4.43	0	0	100.00

* 占出栏总数的百分比, Percentage calculated in terms of total slaughter number.

表8 出栏数量与出栏前存栏数量的比较 (单位: 只)

Table 8 Comparison of slaughter numbers with stock numbers before slaughter. (Unit: sheep)

年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	合计 Total
出栏前存栏数量 Stock numbers before slaughter										
♀($F_i^{(s)}$)	140	115	110	105	101	97	10	0	0	678
♂($M_i^{(s)}$)	130	0	0	0	0	0	0	0	0	130
合计 Total	270	115	110	105	101	97	10	0	0	808
出栏数 Slaughter numbers										
♀(KF_i)	0	0	0	0	0	86	10	0	0	96
% ^{a)}	0	0	0	0	0	88.66	100.00	0	0	14.16
♂(KM_i)	130	0	0	0	0	0	0	0	0	130
% ^{a)}	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	100.00
合计 Total	130	0	0	0	0	86	10	0	0	226
% ^{b)}	48.15	0	0	0	0	88.66	100.00	0	0	27.97

a) 对应性别年龄组出栏数占出栏前存栏数的百分比, Percentage of slaughter numbers in terms of stouk numbers before slaughter in corresponding sex-age classes.

b) 对应年龄组总出栏数占出栏前总存栏数的百分比, Percentage of total slaughter numbers in terms of total stock numebers before slaughter in corresponding age_classes.

少半(42.48%)；其中5岁母羊占38.05%，6岁母羊占4.43%。为了便于显示各性别各年龄组的出栏率，综合表6和表7在表8中一并列出出栏前数量、出栏数和出栏率。相对于出栏前相应存栏数，种群的总出栏率为27.97%，母羊出栏率为14.16%，羯羊出栏率为100%（全部系羯羔羊）；出栏的母羊全部是老年繁殖母羊，繁殖母羊出栏率为22.70%（5岁母羊出栏率为88.66%，6岁母羊的出栏率为100%）。为了保持种公羊的固定比例，各年龄组母羊出栏时应按其自身3.5%的比例出栏种公羊。

根据出栏率和死亡率推算，藏羊种群的周转期为3年，母羊的周转期为7年，繁殖母羊的周转期为4年，羯羊的周转期为1年。

(三)冬春草场最优存栏结构

为了便于比较，将出栏后繁殖前的种群结构与冬春草场结束时刻的种群结构一并列于表9。繁殖前的种群全部由繁殖母羊和后备母羊组成。冬春草场结束时刻的种群与之相比，增加了近一半的新产羔羊。比较表6和表9可以发现，冬春草场结束时刻与夏秋草场结束时刻的最优存栏结构基本上是一样的，粗略地说，羔羊约占1/3，繁殖母羊占1/2强（呈

表9 冬春草场存栏藏羊最优种群结构

Table 9 The optimal population structure stocked for Tibetan sheep in the winter-spring grazing land. (Unit: sheep)

年龄组 Age class	0	1	2	3	4	5	6	7	8	合计 Total
出栏后 After slaughter										
♀ ($F_i^{(w)}$)	0	140	115	110	105	101	11	0	0	582
%	0	24.06	19.76	18.90	18.04	17.35	1.89	0	0	100.00
♂ ($M_i^{(w)}$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
冬春草场结束时刻 At end of the winter-spring grazing period										
♀ ($F_i^{(w)}$)	141	116	110	105	101	97	10	0	0	680
%*	17.39	14.30	13.56	12.95	12.45	11.96	1.23	0	0	83.85
♂ ($M_i^{(w)}$)	131	0	0	0	0	0	0	0	0	131
%*	16.15	0	0	0	0	0	0	0	0	16.15
合计 Total	272	116	110	105	101	97	10	0	0	811
%*	33.54	14.30	13.56	12.95	12.45	11.96	1.23	0	0	100.00

* 占种群总数量的百分比, Percentage in terms of total number of population.

金字塔型年龄分布),1岁后备母羊1/6弱;若从性别来看,母羊(包括种公羊)约占5/6,羯羊约占1/6。自然死亡、出栏与繁活羔羊的替补相平衡,是维持种群结构基本不变的原因。

(四) 两季草场最佳面积分配

在最优存栏结构下，两季草场的牲畜头数相近，分别为808只（夏秋）和811只（冬春）；但在两季草场上藏羊的平均体重、采食量及放牧时间长度均不相同，因而对牧草的总需求也不相同。在供给方面，两季草场单位面积可供采食的牧草量并不相同，只有在牧场总面积的约束下通过合理调整两季草场的面积分配，才能使各季牧场的牧草总供给与总需求达到平衡，解决季节性草畜矛盾。线性规划模型(1)的最优解，给出了在最优存栏和出栏结构下两季草场的最佳面积分配，两者分别为231.53ha（夏秋草场）和268.47ha（冬春草场），分别占草场总面积（500ha）的46.31%和53.69%，夏秋与冬春草场面积相对比为1:1.16。

(五) 牧草利用

按上述最佳面积分配，夏秋和冬春草场提供的实际可采食牧草总量分别为308.77吨和326.67吨。由于在估算单位面积草地可采食牧草量时，已考虑了不引起草场退化的适度利用率，例如夏秋草场的牧草利用率为50%（详见本项研究I），因为，即使上述两季草场可采食牧草总量全部被利用完，也不会导致草场的过度利用。反之，若某季草场的可采食牧草有剩余，则说明该季草场牧草利用不足，将降低畜群的经济效益。

在最优存栏结构和最佳草场面积分配下，两季草场的牧草浪费结构以及供、需平衡状况分别列于表10和表11。由于羊只数量的最优解经过取整处理，有舍入误差，使得两季草场可采食牧草的供给微有剩余或不足，但与供给总量相比可以忽略不计，故可以认为供、需恰好达到最佳平衡。

在各年龄组牧草消费结构中，3—5岁母羊各消耗占供给量20%左右的牧草，消耗量

表10 夏秋草场各年龄组藏羊的总采食量

Table 10 Total quantities of forage grasses eaten by Tibetan sheep (单位: 只, 吨) in the summer-autumn grazing land. (Unit: sheep, Ton)

年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	合计 Total
♀ ($F_i^{(s)}$)	140	115	110	105	101	97	10	0	0	678
采食量 Forage eaten	26.22	29.14	38.22	60.61	61.39	62.10	6.89	0	0	284.57
♂ ($M_i^{(s)}$)	130	0	0	0	0	0	0	0	0	130
采食量 Forage eaten	24.34	0	0	0	0	0	0	0	0	24.34
采食量合计 Total forage eaten	50.56	29.14	38.22	60.61	61.39	62.10	6.89	0	0	308.91
%	16.37	9.43	12.37	19.62	19.87	20.10	2.23	0	0	100.00
可采食牧草总量 Total forage allowed to utilize	---	---	---	---	---	---	---	---	---	308.77
剩余牧草 Surplus forage	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-0.14

表 11 冬春草场各年龄组藏羊的总采食量

Table 11 Total quantities of forage grasses eaten by Tibetan sheep in the winter-spring grazing land. (单位: 只, 吨) (Unit: sheep, ton)

年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	合计 Total
♀ (F _i ^(w))	141	116	110	105	101	97	10	0	0	680
采食量 Forage eaten	11.07	34.08	44.67	71.78	72.77	73.68	8.19	0	0	316.24
♂ (M _i ^(w))	130	0	0	0	0	0	0	0	0	131
采食量 Forage eaten	10.28	0	0	0	0	0	0	0	0	10.28
采食量合计 Total forage eaten	21.35	34.08	44.67	71.78	72.77	73.68	8.19	0	0	326.52
%	6.54	10.44	13.68	21.98	22.29	22.57	2.51	0	0	100.00
可采食牧草总量 Total forage allowed to utilize	—	—	—	—	—	—	—	—	—	326.67
剩余牧草 Surplus forage	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15

最大。尽管羔羊数量最多，但其消耗牧草只占较小的比例，羔羊消耗牧草较多的夏秋草地上其消耗量仍不是 $\frac{1}{6}$ 。

(六) 放牧强度

若按牲畜头数平均计算，夏秋和冬春草场的放牧强度分别为 3.45 只/ha 和 3.02 只/ha，全年为 1.62 只/ha。但在种群中羔羊占 1/3，其体重和个体采食量均较成年羊低得多(表3)。显然这种放牧强度计算方法缺乏可比性，相同放牧强度的实际放牧压力随种群结构而变。为此，分别以两季草场成年羊(2—6岁)的个体平均季采食量作为标准，按采食量将存栏的羔羊和 1 岁后备母羊只数折算成成年羊只数，即所谓标准羊只数，则于夏秋草场存栏的 270 只羔羊相当于 88.33 只标准羊，115 只后备母羊相当于 50.91 只标准羊，从而夏秋草场的载畜量(808 只)折合为 562.24 只标准羊，放牧强度为 2.43 只标准羊/ha；而于冬春草场的载畜量(811 只)折合为 504.48 只标准羊，放牧强度为 1.88 只标准羊/ha，全年放牧强度为 1.06 只标准羊/ha。

(七) 畜群净产值分布和边际净生产率

如前所述，目标函数的系数均表示个体净收益。由于最优解中的羊只数均进行了取整处理，其舍入误差给种群的货币收、支和净盈利核算带来了误差。为了准确起见，在后面的统计中我们以藏羊取整后的最优种群结构，依据成本消耗和收入参数直接进行货币收支核算。

草地总面积为 500ha 的家庭承包牧场，在最优生产结构下按收购价计算收入，藏羊种群的最大净产值为 4 840.22 元/年。由于上述舍入误差的影响，该值稍低于线性规划

(1)最大目标函数值(4 852.72元/年)。畜群净产值于各性别 各年龄组及各时间阶段的分布见表12。

在冬春草场上,除去死亡羊只的毛皮收入外,全部系维持种群的支出。由于收入与

表 12 最优种群结构下藏羊净产值分布

Table 12 The net production value distribution of livestock for the optimal population structure of Tibetan sheep. (单位: 元) (Unit: Chinese Yuan)

年龄组 Age class	0	1	2	3	4	5	6	7	8	合计 Total
夏 秋 草 场 summer-autumn grazing land										
♀	-595.58	-128.78	280.50	323.40	340.37	359.87	45.80	0	0	625.58
♂	-552.38	0	0	0	0	0	0	0	0	-552.38
合计 Total	-1 147.96	-128.78	280.50	323.40	340.37	359.87	45.8	0	0	73.20
冬 春 草 场 winter-spring grazing land										
♀	-776.91	-989.76	-1 118.75	-1 116.50	-1 084.57	-1 040.77	-99.37	0	0	-6 226.63
♂	-721.81	0	0	0	0	0	0	0	0	-721.81
合计 Total	-1 498.72	-989.76	-1 118.75	-1 116.50	-1 084.57	-1 040.77	-99.37	0	0	-6 948.44
出 栏 Slaughter										
♀	0	0	0	0	0	7 052.86	856.20	0	0	7 909.06
♂	3 806.40	0	0	0	0	0	0	0	0	3 806.40
合计 Total	3 806.40	0	0	0	0	7 052.86	856.20	0	0	11 715.46
年 累 计 Yearly accumulation										
♀	-1 372.49	-1 118.54	-838.25	-793.10	-744.20	6 371.96	802.63	0	0	2 308.01
♂	2 532.21	0	0	0	0	0	0	0	0	2 532.21
合计 Total	1 159.72	-1 118.54	-838.25	-793.10	-744.20	6 371.96	802.63	0	0	4 840.22

支出相比甚微小,种群存栏的净支出高达6 948.44元。其中2—5岁母羊和羔羊的净支出均在1 000元以上。在夏秋草场,维持种群的支出少于冬春草场,而羊毛收入数额又较大,因此种群有少许的净收入(73.20元)。畜群的收入主要来源于出栏羊只,在最优出栏结构下(出栏率28%),出栏总收入为11 715.46元,其中约2/3来自成年淘汰母羊,约1/3来自当年羯羔羊出栏。在一个年度中,母羊出栏收入与维持全部母羊存栏净支出相抵后,母羊净收入2 308.01元/年;存栏羯羔羊的净支出为1 274.19元/年,而出栏羯羔羊的收入为3 806.40元/年(平均每只按29.28元计),羯羔羊生产全年盈利2 532.21元,占年盈利的多一半。因此,以羯羔羊生产盈利为主,并兼顾淘汰母羊的经济效益,是优化生产结构的一个特点。

线性规划模型(1)资源约束条件的对偶值计算结果表明,夏秋和冬春草场可采食牧

草的边际净产值分别为 0.0073 元/kg 干草和 0.0080 元/kg 干草；可采食牧草的年平均边际净产值为 0.0076 元/kg 干草。放牧天然草地的边际净生产率为 9.68 元/(ha·年)。因此，若按等价交换原则给牧草和草地定价，牧草的最高价格是 0.76 分/kg (干重)，草地的最高租金是 9.68 元/(ha·年)。

(八) 最优生产结构的性能

以出栏藏羊的出栏时刻为准，统计在优化生产结构下一个放牧年度的畜产品(毛、肉、皮)生产数量、所含能量、货币收入、成本消耗和净盈利(表13)，以说明其生产性能。由于物价的波动，货币收、支及利润亦随之变化，降低了可比性；但畜产品生产数量及其所含能量仍可作为相比的基数，遗憾的是它们不能反映生产投入的大小，因而只能表示产值、不包含利润的信息。表13一并列出上述各项指标，全面地定量描述生产性能，并提高可比性。

1. 羊毛生产 年产羊毛 611.96kg，可收入 3 536.10 元；其 2—5 岁母羊产毛各占总产毛量的 20% 以上。平均产毛 1.22kg/(ha·年)，平均羊毛产值为 7.07/(ha·年)(0.47 元/亩·年)，平均每个个体产毛 0.76kg/(只·年)，平均输出羊毛能量为 19.06MJ/(ha·年)。

2. 羊肉生产 年产活重(出栏活重) 9 218.26kg，肉(胴体重) 3 959.16kg，可收入 9 025.98 元。平均产肉 7.92kg/(ha·年)，平均肉产值 18.05 元/(ha·年)，平均每个个体产肉 4.90kg/(只·年)，平均输出羊肉能量 111.62MJ/(ha·年)。

3. 羊皮生产 可出售的死亡羊只和出栏羊只的皮张共 272 张，可收入 3 187.24 元。平均产羊皮 0.54 张/(ha·年)，平均羊皮产值 6.37 元/(ha·年)，平均每个个体产羊皮 0.34 张/(只·年)，平均输出羊皮能量 6.42MJ/(ha·年)。

4. 总产值 藏羊种群的年度畜产品总(粗)产值为 15 749.32 元，其中 5 岁母羊的产值约占 1/2，羯羔羊约占 1/4；羊毛产值占 22.45%，羊肉产值占 57.31%，羊皮产值占 20.24%，毛:肉:皮产值比例为 1.11:2.83:1.00。平均(粗)产值为 31.50 元/(ha·年)，平均每只羊(粗)产值为 19.49 元/(只·年)。

5. 总输出能量 种群年度畜产品总输出能量为 68 548.05MJ，其中 5 岁母羊的输出能量占 54.83%，羯羔羊占 27.16%，以羊毛形式输出的能量占总输出能量的 13.90%，以羊肉形式输出的能量占 81.41%，以羊皮形式输出的能量占 4.69%。

6. 总成本消耗 维持藏羊种群存栏的年度总投入，包括牧工工资、税金等管理费、防疫费、补饲费和冬春草场围栏投资折旧等(不包括购置种群和租用草地的投资)，共 10 909.10 元。平均成本消耗为 21.82/(ha·年)、13.50 元/(只·年)。

7. 净盈利 年度经营净盈利(总产值-总成本)为 4 840.22 元。有出栏羊只的年龄组才真正盈利，为了维持种群结构，其余年龄组均亏损。从性别上看，羯羔羊盈利占总盈利的多一半。平均盈利 9.68 元/(ha·年)、5.99 元/(只·年)。

8. 投入产出比 家庭承包牧场优化生产结构的投入产出比(总成本、总产值)为 1.00:1.44，利润率(盈利/总投入)为 44.37%。

9. 能量转换效率 按被采食的牧草总量(表10、11)平均计算，单位(干重)被采食牧草(包括浪费的牧草)可产出 107.88kJ 畜产品/kg 干草，此即可采食牧草的以

表 13 优化生产结构的性能

Table 13 The production Performance of livestock for the optimal population structure of Tibetan sheep.

年龄组 Age class	0	1	2	3	4	5	6	7	8	合计 Total
1) 各类畜产品的年输出 Output of livestock products in a year										
a. Wool										
重量 Weight(kg)	0	62.10	130.90	134.40	134.33	134.83	15.40	0	0	611.96
%	0	10.15	21.39	21.96	21.95	22.03	2.52	0	0	100.00
收入(元) Gross income (Yuan)	0	358.80	755.70	777.00	776.69	778.91	89.00	0	0	3536.10
能量 Energy(MJ)	0	967.03	2038.40	2092.90	2091.81	2099.60	239.81	0	0	9529.56
b. Meat										
活重 Live weight (kg)	2990.00	0	0	0	0	5539.26	689.00	0	0	9218.26
肉重 Meat weight (kg)	1144.00	0	0	0	0	2507.76	307.40	0	0	3959.16
收入(元) Gross income (Yuan)	2607.80	0	0	0	0	5717.28	700.90	0	0	9025.98
能量 Energy(MJ)	18101.46	0	0	0	0	33534.68	4171.21	0	0	55807.35
c. Sheepskin										
收入(元) Gross income (Yuan)	1217.04	230.50	53.85	61.60	55.72	1397.70	170.83	0	0	3187.24
能量 Energy(MJ)	513.83	210.23	92.66	99.66	82.84	1948.08	263.79	0	0	3211.14
2) 年度畜产品输出合计 Total output of livestock products in a year										
收入(元) Gross income (Yuan)	3824.84	589.30	809.55	838.60	832.41	7893.89	960.73	0	0	15749.32
%	24.28	3.74	5.15	5.32	5.28	50.13	6.10	0	0	100.00
能量 Energy(MJ)	18615.34	1177.26	2131.06	2192.56	2174.65	37582.36	4674.81	0	0	68548.05
%	27.16	1.72	3.11	3.20	3.17	54.83	6.82	0	0	100.00
3) 年度成本 Costs in a year										
个体成本 (只/元) Costs of individual (Yuan/sheep)	9.83	14.76	14.98	15.54	15.61	15.69	15.81	15.75	15.69	---
总成本(元) Total cost (Yuan)	2665.12	1707.84	1647.80	1631.70	1576.61	1521.93	158.10	0	0	10909.10
4) 净收入 Net income										
净收入(元) Net income (Yuan)	1159.72	-1118.54	-838.25	-793.10	-744.20	6371.96	802.63	0	0	4840.22

能量度量的畜产品边际生产率。由于线性规划模型(1)表述的是依靠自身繁殖替补的藏羊种群的静态稳定状态,亦即年际间种群没有差异,因此,藏羊种群的自身生产输入与畜产品输出在一年中是平衡的,也就是说年度畜产品生产力和藏羊种群的生产力是相等的,同为68 548.05 MJ/年。从而,可采食牧草的次级生产率亦为107.88kJ/kg干草。可采食牧草的年平均热值为18.35MJ/kg干草(本项研究I),于是,藏羊的能量转换效率为0.588%;如果去掉被浪费的牧草,只考虑实际摄入牧草的能量转化效率,则为1.03%。

从上述结果看出,流入畜群的牧草能量急剧耗散,只有微小的部分(0.5—1.0%)转化为家畜沉积能。由于生产过程中直接或间接劳动的加入,以及市场供求关系的调节作用,流经畜群的价值流被放大1.44倍。

讨 论

随着经济体制的改革,家庭承包牧场已成为畜牧业的基本经营单位,调动了广大牧民的积极性。但经营管理技术变革不大,经济效益仍不高。与此同时,短期行为加剧,资源破坏加重。因此,更新传统观念,在生物经济平衡的基础上开发利用可再生资源,优化生产结构,发展持续畜牧业,依靠科学技术提高畜牧业经济效益是当务之急。

(一) 生态、资源与社会经济效益

自1985年开始实行的家庭承包制,促进了畜牧业生产的发展;但承包运行机制尚不完善,例如,只承包牲畜基数,缺乏对载畜量的有效控制,为追求近期经济利益,致使在划定的草场面积上载畜量远超过承包基数,本来已十分尖锐的草畜矛盾进一步激化。调查结果表明,海北定位站邻近地区家庭承包牧场的放牧强度,已高达0.213ha/羊单位(冬春草场);家畜摄入能量需要达到牧草地上净生产力的81%以上,显然已严重过牧。若不采取有效措施控制,任凭短期行为泛滥,草地加速退化,甚至难以逆转的大面积土壤退化将不可避免。植被的向后演替和土壤的退化过程是一个缓慢的渐近积累过程,因而常常不引起人们的警觉;反之,其恢复也是缓慢的,有时甚至是不可能的。显然,畜牧业生产环境的破坏,必定进一步制约其发展。

本文建议的优化生产结构,立足于生物学上保持天然草场的持续稳定生产力,适度(50%)利用处于生长发育阶段的夏秋草场,维持草地的营养平衡和自我更新;经济学上优化生产性能,以获得最佳的持续收益。以藏羊为准的畜均草地面积为0.94ha/只标准羊,高于青海省的平均值0.70ha/只羊。优化调整两季草场的面积分配,使两季草场均达到草畜平衡,妥善解决了季节性草畜矛盾。优化藏羊种群结构和出栏结构,提高种群的生产性能,其产毛量(1.20kg/ha)和产肉量(7.95kg/ha)均较全国平均水平0.45kg毛/ha和3.60kg肉/ha高出1倍以上。按青海省的平均产肉量计算,提高幅度可达3倍左右。

1987年曾对海北定位站附近的一个经营藏羊、牦牛畜群的中等家庭牧场进行调查,其承包基数为733个羊单位,实际载畜量为1012羊单位;冬春草场面积为226.5ha,夏秋草场面积未划定,实际放牧强度较基数放牧强度提高38%。出栏率仅13.44%,全部畜产品总产值为12775.87元,总投入为9267.14元,纯盈利3508.73元。其出栏率、产值和盈利均明显低于优化生产结构(表8、13),但其放牧强度却明显地高于优化生产结构,

(表6)。由此可以看出, 高寒牧场实施优化生产结构, 一方面减轻了草场的放牧压力, 增进了生态环境和资源效益, 另一方面可使目前的总产值和净收益分别提高4%和16%, 并且可以持续获益, 其社会经济效益是较大的。

(二) 最大畜产品能量输出和最大净货币收益生产结构的比较

持续最大畜产品能量输出生产结构(本项研究I)与本文的持续最大纯盈利生产结构基本一致, 主要指标的比较列于表14。其中各性别各年龄组百分比, 以夏秋草场为准, 冬春草场类似。表中未能列出的0—4岁各年龄组组成百分比基本相同, 两季草场面积分配比均为夏秋:冬春草场=1.00:1.16。

两者的差别主要是出栏结构和5—6岁羊的存栏结构。最大能量输出结构出栏部分4岁和全部6岁成年母羊, 而后者出栏部分5岁和全部6岁繁殖母羊, 即以年龄递减顺序出栏。虽然出栏总数未变, 但5—6岁繁殖母羊的存栏结构发生了变化。这是由于各种畜产品的所含能量与其价格不一致, 以及能量收益是粗收益, 而净货币收益则是去掉成本后的纯利润等原因引起的。例如, 5岁母羊的出栏能量收益较4岁母羊只高18.78MJ(4.78%)

(本项研究I), 而出栏净货币收益前者比后者高6.18元(8.15%)。种群纯盈利最大的出栏结构中, 以5岁母羊替代4岁母羊出栏, 种群总输出能量损失329.86MJ(表14), 但却增加了种群整体的纯利润。

表14 最大能量输出和最大净货币收益生产结构的比较

Table 14 Comparison between the optimal structure with objective functions of energy output and net profit in population of Tibetan sheep for livestock production.

	繁殖母羊 Breeding female sheep (%)	后备母羊 (1岁) Replacement female sheep (%)	母羔羊 Female lambs (%)	母羊合计 Sum of female sheep (%)	种公羊 Breeding male sheep (%)	羯羔羊 Male lambs (%)	出栏率 Percent- age of slaughter (%)	周转期 Turnover period (years)	能量 输出 Energy output (MJ)	放牧强度 (亩/只)** Grazing intensity (mu/ sheep)
最大能量 输出结构* Optimal structure of energy output	50.48	14.23	16.74	81.45	2.45	16.10	28.09	3	68 877.91	14.27
最大净货币 收益结构 Optimal structure of net profit	50.52	14.23	16.76	81.51	2.40	16.09	27.97	3	68 548.05	14.16

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

** [市]亩=666.6m²。

在生态-社会经济复合系统中, 生态系统可再生资源原的开发活动与社会经济紧密联系在一起。以经济学观点来看, 可再生资源被视为一种资本, 用长远的纯收益来度量其值, 因此, 以持续最大纯利润为目标的优化生产结构更符合个人和社会经济利益。但目前的低成本高价格的自由贸易, 刺激人们去过度地开发系统资源, 超前利用资源, 以牺牲资源的长远收益来换取近期的高利润, 破坏系统的平衡。如果畜牧业生产的集约化水平增高、生产力有较大幅度提高, 人口得到有效控制, 恢复畜产品供需关系的正常弹性, 市场经济的发展会自动地抑制过度放牧, 改善草地资源开发利用的时间分配, 促进生物经

济平衡。

(三) 最优结构的可行性和应用普遍性

诚如前述, 本文的优化生产结构与以最大畜产品能量输出为目标的生产结构基本相同, 因此, 两者的可行性是一致的。详细论证请参看本项研究 I, 此处不再赘述。

根据线性规划和数学经济学原理, 当各固定资源等比例变化时, 最大目标函数值也按同一比例变化, 但结构变量的相对结构不变; 即当牧场的草场尺度变化时, 优化生产结构的相对结构(百分比)不变。其详细论证也请参看本项研究 I, 不再重复。

(四) 灵敏度分析

这里只就解析分析比较容易的参数, 通过软件包(SLPPA)的参数分析功能模块自动进行灵敏度分析。分析的内容包括: 作为资源约束的可采食牧草量和草场面积发生变化时对种群净收益的影响, 以及非优化生产结构对种群净收益的影响。

输出结果表明, 当夏秋草场每增减1kg(干重)可采食牧草, 将相应地增减0.73分的种群净货币收益; 当冬春草场每增减1kg可采食干草, 种群净收益相应增减0.80分; 全年平均为0.76分/kg(干重)。冬春草场可采食牧草的灵敏度高于夏秋草场。当每增减1ha草地面积, 将相应地增减9.68元的种群净收益。

对于非优化生产结构, 表15列出了出栏5岁和6岁以外年龄的母羊, 以及羯羔羊秋季不全部出栏而在冬春草场上存栏1—4岁羯羊, 每个个体将给种群最大净收益带来的损失。从表15可以看出, 出栏3岁以下的母羊种群净收益损失比较大, 尤以2岁和1岁母羊为最。这是因为在种群生产过程中, 母羊的作用不仅仅是生产毛、皮、奶和作为畜产品出栏, 更重要的是它的繁殖功能支撑着种群的稳定周转和优化生产结构。2岁母羊恰值

表15 非优化生产结构目标函数的损失

(单位: 元/只)

Table 15 Losses of the objective function for nonoptimal structure. (Unit: Chinese Yuan/sheep)

年龄组 Age class i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
母羊出栏损失 Losses of slaughter for female sheep	6.09	22.18	27.03	14.66	2.80	—	—	8.69	8.67
冬春草场存栏羯羊损失 Losses of stock in the winter-autumn grazing land for male sheep	—	14.72	3.78	4.23	5.27	—	—	—	—

开始繁殖年龄, 距出栏年龄尚有3—4年的繁殖时间, 若其出栏必将立即影响到羔羊数量和2岁以后逐年替补母羊的数量, 影响涉及的面广且持续时间长, 故其出栏损失最大。3岁母羊出栏形成的影响类似于2岁母羊, 但持续时间稍短, 故其出栏损失较少。4岁母羊已靠近优化结构的出栏年龄, 其出栏损失最小。1岁后备母羊和母羔羊是潜在的繁殖母羊, 它们出栏只会影响以后逐年替补母羊的数量, 对羔羊数量产生影响尚有1—2年的时滞, 但

影响持续时间长,故其出栏损失稍低,其中1岁后备母羊的出栏损失仅次于2岁母羊出栏。7—8岁母羊的生产功能已下降,在有限资源约束下养到这个年龄再出栏确实减少了种群的经济收益,但其损失幅度远低于1—3岁母羊出栏,稍高于4岁母羊和母羔羊出栏。

线性规划模型(1)的目标函数中虽然没有明显地出现母羊的繁殖收益,但维持种群的年际平衡和优化生产结构依靠的是母羊的繁殖功能。从以上分析可以看出,种群的整体收益中隐含着母羊繁殖后代、维系优化结构所带来的收益。换句话说,在模型(1)中母羊的繁殖收益是以隐蔽的形式贡献于种群的总体收益。假若探讨繁殖母羊的个体总收益,这一点应予以明显地注意。

在冬春草场上存栏1岁羯羊给种群总收益带来的损失最大,存栏2—4岁羯羊的损失是随年龄递增的(表15)。这就意味着如果羯羔羊秋季不全部出栏,冬春草场每存栏1只1岁羯羊种群总收益将损失14.72元。其原因在于,一方面1岁羯羊的畜产品生产效益不够高,另一方面在有限资源的约束下,为了满足摄入能量需求,继续存栏羯羔羊必定减少其他年龄组的羊只数,因而给种群的总收益还会带来损失。就第一个原因来看,每只羯羔羊一个放牧年度的成本消耗为9.83元,出栏收益为29.28元;如果继续存栏1年方出栏,那么累计成本消耗为21.49元(已去掉羊毛收入),但1岁羯羊的出栏收益仅为34.64元,显而易见,成本消耗增加11.66元,而收益仅增加5.36元。所以出栏羯羔羊比出栏1岁羯羊更有利可图。

(五) 稳定性分析

稳定性分析探讨当参数发生变化时最优解结构的稳定性,即最优生产结构的稳定性。为了节省篇幅,没有必要就软件包SLPPA输出的大量稳定性分析结果全面进行叙述,此处利用稳定性分析结果只探讨2个问题:①羯羔羊的出栏收益究竟降至多低,出栏羯羔羊才变得不上算?②1岁羯羊的出栏收益究竟提高多少,继续有栏羯羔羊而出栏1岁羯羊才更有利可图?

出栏收益参数的稳定性范围分析结果表明,当羯羔羊的出栏收益降至18.12元/只以下(减少11.16元/只以上),即活体重大约降至10.21kg/只以下,而其他参数均不变时,出栏羯羔羊的方案才变得不合算;继续存栏羯羔羊可增加利润。当1岁羯羊的出栏收益增至49.43元/只以上(增加12.79元/只以上),即活体重大约达到46.12kg/只以上,而其他参数不变时,出栏1岁羯羊比出栏羯羔羊更有利。

但是,从系统生态学的观点来看,营养层次之间的能量转换效率高,是标志系统功能优劣的重要指标之一。在自然放牧条件下,显然羔羊的能量转化效率最高,利用牧草资源最经济;欲要提高效率,以出栏羯羔羊为宜。关于系统效率与经济利益之间的关系,请参看本项研究I。

参数分析的结果表明,模型(1)的最优解是唯一的。

参 考 文 献

- 周立, 1989, 高寒草甸生态系统非生命亚系统模拟模型及应用程序: 方案1.0 (英文摘要)。高寒草甸生态系统国际学术讨论会文集: 科学出版社。178—179。
董全、皮南林、许新宜、孙儒泳, 1934, 海北藏系绵羊种群结构及其出栏方案最优化的探讨。生态学报4(2): 1—12。

- 董全、皮南林、许新宜、孙儒泳, 1987, 海北藏系绵羊种群结构及其出栏方案分季最优化的探讨. 生态学报 7(2): 276—286.
- Anderson, J. R., J. L. Dillon, and J. B. Hardaker, 1977, *Agricultural decision analysis*. Ames, IA: Iowa State Univ. press.
- Danckwerts, J. E. and A. J. Aucamp, 1986, The role of economic incentive in underdeveloped pastoral agriculture. 494—495, in *Rangelands: a resource under siege*. (P. J. Joss, P. W. Lynch, and O. B. Williams eds.). London, Cambridge Univ.
- Hazell, P. B. R. and R. D. Norton, 1986, *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. New York, Macmillan.

STUDIES ON THE OPTIMAL STRUCTURE OF PRODUCTION FOR ALPINE PASTURELANDS

II. THE OPTIMAL STRUCTURE OF PRODUCTION TO MAXIMIZE THE NET INCOME OF LIVESTOCK PRODUCTS FOR THE POPULATION OF TIBETAN SHEEP

Zhou Li, Wang Qiji and Zhao Xinquan

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

Tibetan sheep is one of main managed breeds in the livestock husbandry of Qinghai-Tibetan plateau. The production system of animal husbandry is really an open ecosystem, the production structure restricts its production function. Therefore, it is necessary to control the production structure for increasing economic and ecological environmental benefit.

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 grassland in a year. Using the stationary equilibrium approach to modelling grazing processes in a year, a two period linear programming model is constructed for rotation grazing in a year. Constraints of resource include total area of grazing grassland and appropriate utilized herbage; constraints of sheep population describe equilibriums of sex-age classes in rotation state from one to another grazing grassland through culling and replacement policies. Maximizing objective function is the net income of livestock products in Chinese Yuan. Utilized degree of herbage is limited in the range of 50% in the summer-autumn grazing grassland according to input-output balance for nitrogen and phosphorus in soil, because herbage are growing and developing in the grazing period, such that the degeneration of grazing grasslands is prevented.

The solution of the two-period linear programming model focuses on the optimal level of production decisions that should be attained in an equilibrium state, including the optimal distribution of total area of grassland divided into two grazing lands, and the optimal size of sex-age classes in Tibetan sheep population in both cold and warm season grazing lands, and optimal policies of culling and replacement.

The two-period linear programming model is expressed as expression (1):

$$\text{Max } Z = \sum_{i=0}^8 [(NBF_i^{(w)} \cdot F_i^{(w)} + NBM_i^{(w)} \cdot M_i^{(w)}) + (NBF_i^{(s)} \cdot F_i^{(s)} + NBM_i^{(s)} \cdot M_i^{(s)})] + \sum_{i=0}^8 (NCF_i \cdot KF_i + NCM_i \cdot KM_i)$$

subject to

$$F_i^{(s)} = SF_i^{(s)} \cdot F_i^{(w)}$$

$$M_i^{(s)} = SM_i^{(s)} \cdot M_i^{(w)}$$

$$(i = 0, 1, \dots, 8)$$

$$F_0^{(w)} = \sum_{i=2}^8 MF_i \cdot (F_i^{(s)} - KF_i) + 0.035F_0^{(w)}$$

$$M_0^{(w)} = \sum_{i=2}^8 MM_i \cdot (M_i^{(s)} - KM_i) - 0.035F_0^{(w)}$$

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

$$M_{i+1}^{(w)} = SM_i^{(w)} \cdot (M_i^{(s)} - KM_i) \quad (1)$$

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

$$F_8^{(w)} = SF_7^{(w)} \cdot (F_7^{(s)} - KF_7) + SF_8^{(w)} \cdot (F_8^{(s)} - KF_8)$$

$$M_8^{(w)} = SM_7^{(w)} \cdot (M_7^{(s)} - KM_7) + SM_8^{(w)} \cdot (M_8^{(s)} - KM_8)$$

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

$$\sum_{i=0}^8 (IRF_i^{(w)} \cdot F_i^{(w)} + IRM_i^{(w)} \cdot M_i^{(w)}) \leq AT^{(w)} \cdot A^{(w)}$$

$$\sum_{i=0}^8 (IRF_i^{(s)} \cdot F_i^{(s)} + IRM_i^{(s)} \cdot M_i^{(s)}) \leq AT^{(s)} \cdot A^{(s)}$$

and

$$F_i^{(s)}, M_i^{(s)}, F_i^{(w)}, M_i^{(w)}, KF_i, KM_i \geq 0$$

$$(i = 0, 1, \dots, 8)$$

where $E_i^{(j)}$ and $M_i^{(j)}$ denote numbers of Tibetan sheep in i th age-class ($i = 0, 1, \dots, 8$) in the i th grazing grassland ($j = w$ indicates cold season; $j = s$ indicates warm season) for female sheep and wether, respectively; KF_i and KM_i denote numbers of slaughtering in the autumn in i th age-class ($i = 0, \dots, 8$) for female sheep and wether, respectively; $A^{(w)}$ and $A^{(s)}$ denote area of both the cold and warm season

grazing grasslands, respectively. The above symbols represent activities in processes of production and the others indicate constant parameters or resource (A —total area of grazing grassland). $NBF_i^{(j)}$ and $NBM_i^{(j)}$ (Yuan/sheep) ($i = 0, 1, \dots, 8; j = W, S$), that are possible of negatives, denote individual net incomes of stock in the cold and warm season grazing grasslands in i th age-class for female sheep and wether, respectively; NCF_i and NCM_i (Yuan/sheep) ($i = 0, 1, \dots, 8$) denote individual net incomes of slaughter in autumn in i th age-class for female sheep and wether, respectively.

Parameters (tab.1—5) in the model are determined in Haibei Research Station, of Alpine Meadow Ecosystem Academia Sinica.

The optimal solution of the linear programming model provides information on the optimal size of the population, as well as provides information on how to maintain the population of Tibetan sheep through appropriate culling and replacement in an equilibrium state, etc. The optimal production plan of livestock products in the pasturelands of Qinghai-Tibetan Plateau, composed with the above activities, is as follows

(1) The ratio between area of the warm and cold season grazing grasslands is 1:1.16.

(2) Culling and replacement policies are that total lamb-wethers, and part of female sheep 5 years old (89%), and total old female sheep (6 years old) are culled. The percentage of the cull to the stock before culling in the population is 27.97% thereby the turnover period of the population is 3 years.

(3) Structures of stock for the population in both the warm and cold season grazing grasslands are shown with table 6 and 9. They are nearly identical in which that sex-age classes make up about percentage of the population is: adult female 51%, and replacement female (1 year old) 14%, and female lambs 17%, thereby total female 81.51%, and breeding male 2.4%, and wether-lambs 16%. Under the structures, equilibriums are attained between sheep and herbage.

(4) Grazing intensities are 2.43 sheep/ha and 1.88 sheep/ha in the warm and cold season grazing lands respectively, in a year, 1.06 sheep/ha, that is less than present grazing intensity (1.4 sheep/ha).

(5) Yearly marginal net value products (shadow price) are 0.0076 Yuan/kg dry weight of herbage and 9.68 Yuan/ha of grassland. Cost: gross income is 1.00: 1.44. Ecological efficiency from herbage to Tibetan sheep is 0.59%.

Using the revised simplex method of computation, the linear programming model is solved. A software package (SLPPA) with parametric analysis, solving linear programming problem, is developed. The package is written with IBM FORTRAN language and operated in IBM PC series microcomputers.

The sensitivity and stability analysis of the optimal solution are done, and

the results of parametric analysis indicate that the optimal solution of the linear programming model (1) is unique.

Key words: Tibetan sheep population; Optimum structure of production; Maximum net profit; Economic-ecological model; Two-period linear programming model of static equilibrium.

The optimal solution of the linear programming model provides information on the optimal size of the population, as well as provides information on how to maintain the population of Tibetan sheep through appropriate culling and replacement in an equilibrium state, etc. The optimal production plan of livestock products in the pastures of Qinghai-Tibetan Plateau, composed with the above activities is as follows:

(1) The ratio between area of the warm and cold season grazing grasslands is 1:1.18.

(2) Culling and replacement policies are that total lamb-wethers, and part of female sheep 5 years old (89%), and total old female sheep (6 years old) are called. The percentage of the cull to the stock before culling in the population is 27.97%, thereby the turnover period of the population is 3 years.

(3) Structures of stock for the population in both the warm and cold season grazing grasslands are shown with table 8 and 9. They are nearly identical in which that sex-age classes make up about percentage of the population is: adult female 51%, and replacement female (1 year old) 14%, and female lambs 17%, thereby total female 81.51%, and breeding male 2.4%, and wether-lambs 16%. Under the structures, equilibrium are attained between sheep and herbage.

(4) Grazing intensities are 2.43 sheep/ha and 1.88 sheep/ha in the warm and cold season grazing lands respectively, in a year, 1.08 sheep/ha, that is less than present grazing intensity (1.4 sheep/ha).

(5) Yearly marginal net value products (shadow price) are 0.0076 Yuan/kg dry weight of herbage and 0.68 Yuan/ha of grassland. Cost/gross income is 1.00.

1.44 Ecological efficiency from herbage to Tibetan sheep is 0.69%.

Using the revised simplex method of computation, the linear programming model is solved. A software package (SLPBA) with parametric analysis, solving linear programming problem is developed. The package is written with IBM FORTRAN language and operated in IBM PC series microcomputers.

The sensitivity and stability analysis of the optimal solution are done, and