

牧区水资源可持续利用研究

耿雷华¹, 刘恒¹, 魏永富², 李和平², 钟华平¹, 颜志俊¹

(1. 南京水利科学研究院水文水资源研究所, 江苏 南京 210029;

2. 中国水利水电科学研究院牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要:在分析以水为基础的草地畜牧业经济生态系统的基础上, 应用系统工程理论, 提出了牧区水资源可持续利用优化决策模型. 以内蒙古有代表意义的荒漠草原区——鄂托克前旗为例, 完成了人工种植冷季补饲型和暖季放牧冷季舍饲型两个方案的区域性优化决策, 并提出了发展家庭畜牧业的优化模式.

关键词:牧区水资源; 可持续利用; 系统工程; 优化决策模型; 鄂托克前旗

中图分类号:TV213

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2003)04-0025-04

牧区围封转移战略的实施, 以有一定数量的灌溉高产饲草料基地建设为支撑. 新时期牧区水利建设, 就是要从可持续发展的目标出发, 与其它水利工程一样首先要考虑生态, 考虑未来^[1]. 纵观世界灌溉草地的发展, 不但可以提高草原的生产能力, 促进畜牧业的稳定发展, 而且经济效益也极为显著. 但是牧区水资源相对贫乏, 其水资源的可持续利用问题就成为建设节水生态型草地畜牧业生产模式的首要问题.

草原系统的破坏主要是超载过牧和不合理开发利用水资源造成的. 研究牧区水资源可持续利用, 就是建立维护草地生态系统物质能量生产平衡, 保护草地资源可再生性的水资源可持续发展体系, 就是通过水资源、草地资源的可持续利用, 促进草地畜牧业的可持续发展.

1 牧区水资源可持续利用优化决策模型

牧区水资源可持续利用研究, 是抓住“水-草-畜”平衡的主要矛盾, 结合我国草地畜牧业生产发展水平和牧区水利建设的经验, 运用系统工程理论和方法寻求水利设施和综合开发的最优规划方案, 实现牧区畜牧业的生态、经济、社会和环境效益的最优化.

1.1 决策原则

决策原则必须遵循自然界生态平衡法则; 因地制宜, 分类建设, 综合利用, 全面发展; 合理利用水资源, 节水节能.

1.2 牧区水资源可持续利用优化决策内容

本文采用了优化决策模型, 并应用目标规划法求解. 其功能包括: 优选夏秋牧场和冬春牧场的数量及草地载畜量; 制定合理的牲畜冬春补饲或舍饲标准, 优选种植业结构和规模; 优选满足种植业供水和人畜饮水的水利设施配置; 合理确定所需劳动用工数量; 经济分析和方案评价.

1.3 数学模型

根据牧区水资源可持续利用优化规划的目标, 划分为3个目标优先级层次, 引入正偏差变量 D^+ 及负偏差变量 D^- , 采用目标规划法建立该问题的数学模型. 各个目标函数的实际值与各个目标希望达到的目标值或理想值二者偏差越小越好, 即目标函数是由决策变量和约束条件的正负偏差变量组成的线性表达式, 优化决策过程是求目标函数的最小值过程^[2].

1.3.1 表达式

通用表达式为

$$\min F = \sum_{k=1}^m P_k \sum_{i=1}^{N_k} (D_{ki}^+ + D_{ki}^-) \quad (1)$$

式中: F 为目标函数; m 为目标层次数; P_k 为优先级因子, 且 $P_1 \gg P_2 \gg \cdots \gg P_m$; k 为优先级序号 ($k = 1, \cdots, m$); N_k 为 k 类约束条件的方程数, 如 $N_1 = S_1$, $N_2 = S_2, \cdots, N_m = S_m$; i 为 P_k 优先级内约束条件序号; S_k 为 P_k 优先级内约束条件数.

基金项目: “九五”国家重点科技攻关项目(96-912-01-04S); 水利部科技创新资助项目(SCX2000-11)

作者简介: 耿雷华(1963—), 男, 江苏江阴人, 高级工程师, 主要从事水资源可持续发展方面的研究.

1.3.2 约束条件

a. 生态效益约束. 以草定畜, 采取划分季节营地措施, 合理利用天然草场, 计算确定放牧牲畜数量.

$$X_a + X_b \leq AREA \quad (2)$$

$$CX \cdot X_a - BX \cdot SH \geq 0 \quad (3)$$

$$CD \cdot X_b - BD \cdot SH \geq 0 \quad (4)$$

式中: CX, CD 分别为天然草场夏秋季、冬春季单位面积产干草量; BX, BD 分别为羊单位牲畜夏秋季、冬春季采食定额; X_a, X_b 分别为夏秋牧场和冬春牧场的面积; $AREA$ 天然草场最大可利用面积; SH 为饲养牲畜羊单位数.

b. 种植业基地结构和规模约束. 保证牲畜冬春补饲草料或舍饲草料自产自足及牧民生活所需, 确定种植业结构及规模.

青贮玉米约束:

$$CQ \cdot X_c - \sum_{j=L_1}^{L_n} H_j \cdot X_j \geq 0 \quad (5)$$

精料约束:

$$CY \cdot X_d - \sum_{j=L_1}^{L_n} L_j \cdot X_j \geq 0 \quad (6)$$

干草苜蓿(和作物秸秆)约束:

$$\sum_{i=pl}^P R_i \cdot X_i - \sum_{j=L_1}^{L_n} B_j \cdot X_j \geq 0 \quad (7)$$

牧民生活需求约束:

$$X_i \geq A_i \quad \forall i \quad (8)$$

防护林约束:

$$F \cdot \sum_{i=pl}^P X_i - X_e \leq 0 \quad (9)$$

式(5)中, CQ 为青贮玉米单位面积产量; H_j 为 j 种牲畜冬春补饲青贮玉米定额, $j = L_1 \sim L_n$; X_c 为青贮玉米面积; X_j 为 j 种牲畜发展数量.

式(6)中, CY 为饲料玉米单位面积产量; L_j 为 j 种牲畜冬春补饲饲料玉米定额, $j = L_1 \sim L_n$; X_d 为饲料玉米面积.

式(7)中, R_i 为 i 种作物单位面积产干草量; B_j 为 j 种牲畜冬春补饲干草定额, $j = L_1 \sim L_n$; i 为种植作物和牧草种类号, $i = pl \sim P$; X_i 为 i 种作物种植面积.

式(8)中, A_i 为 i 种作物最小种植面积.

式(9)中, F 为防护系数(防护林面积占种植业面积的比例), 取 0.05; X_e 为防护林面积.

c. 水资源约束. 保证供水系统和用水系统的水量平衡关系, 采取节水节能措施, 尽可能减少水资源和能源浪费, 计算系统年用水量 and 各时段用水量.

各时段水量供需平衡方程:

$$\sum_{i=pl}^P M_{ii} X_i - \sum_{w=nl}^N T \cdot \mu_w \cdot Q_w \cdot X_w \leq 0 \quad \forall i \quad (10)$$

$$X_w \geq S_w \quad (11)$$

灌溉用水量计算方程:

$$\sum_{i=pl}^P M_i \cdot X_i - X_i = 0 \quad \forall i \quad (12)$$

$$\sum_{i=pl}^P M_i \cdot X_i + \sum_{j=L_1}^{L_n} N_j \cdot X_j + P \cdot N \leq W \quad (13)$$

式(10)和式(11)中, M_{ii} 为 i 时段 i 种作物灌水量($i = 13, 14, \dots, 24$); μ_w 为 w 种井泵渠型式灌溉水利用率; Q_w 为 w 种井泵渠型式灌溉提水量; X_w 为 w 种井泵渠型式灌溉系统数量; T 为时段天数($T = 15d$); S_w 为 w 种井泵渠型式灌溉系统数量的下限; w 为井泵(管)渠型灌溉系统标号, $w = nl, \dots, N$.

式(12)和式(13)中, M_i 为 i 种作物灌溉定额; N_j 为 j 种牲畜年用水定额; P 为人口数量; N 为每人年用水定额; W 为最大可供水资源量.

d. 劳力资源约束. 充分利用劳力资源, 尽量使每个劳动力都参加生产建设(人畜饮水问题已解决).

$$\frac{1}{B_i} \sum_{i=pl}^P X_i + \frac{1}{r_j} \sum_{j=L_1}^{L_n} X_j \geq Z \quad (14)$$

式中: B_i 为单位劳动力经营 i 种作物面积; r_j 为单位劳动力经营 j 种牲畜的数量; Z 为系统可供最多劳动力数量.

1.3.3 效益计算

$$\sum_{i=pl}^P C_i \cdot X_i - X_f = 0 \quad (15)$$

$$\sum_{i=pl}^P B_i \cdot X_i - X_g = 0 \quad (16)$$

$$\sum_{i=L_1}^{L_n} S_j \cdot X_j + \sum_{i=pl}^P (C_i - B_i) \cdot X_i - \sum_{w=nl}^N C_w \cdot X_w - X_h = 0 \quad (17)$$

式中: X_f, X_g 分别为种植业基地毛效益和费用; X_h 为系统年净效益; C_w 为 w 种井泵渠灌溉系统年费用; C_i, B_i 分别为 i 种作物单位面积的毛效益和费用系数; S_j 为单位 j 种牲畜年净效益.

1.3.4 变量非负约束

$$X_i, X_j, X_k, X_n \geq 0, D^+ \geq 0, D^- \geq 0$$

其中: D^+, D^- 分别为所有目标量的正、负偏差向量.

综上所述, 由式(1)~(17)构成了完整的牧区水资源可持续利用目标规划模型.

2 模型求解

针对牧区水资源可持续利用优化决策这一多目

标问题,采用目标规划法,首先应确定各个目标的优先次序,即对于目标层次比较清楚的问题,可根据决策问题性质结合决策者偏好,通过定性分析加以确定;对于各个目标优先次序并不明显的问题,可应用层次分析法确定^[3].

目标规划模型属于线性规划问题,因此,采用多阶段(改进单纯形)算法求解,多阶段算法要求计算机处理 $M \times (M + N)$ 阶矩阵(M 是方程数, N 是变量数).目标规划源程序用 VB 语言编制.

3 模型的应用

鄂托克前旗属于鄂尔多斯高原区,土地总面积 1.23 km²,草地面积 89.80 万 hm²,可利用草地面积 77.61 万 hm²,占草地总面积 86.43%.农田面积 1.2 万 hm²,沙漠面积 26.2 万 hm².多年平均水资源量为 3.65 亿 m³,其中地表水资源量 3.51 亿 m³,地下水资源量 0.54 亿 m³,可利用量 1.38 亿 m³,占水资源量的 37.7%.结合鄂托克前旗牧区的生产特点,应用牧区水资源可持续利用目标规划数学模型,进行人工种植冷季补饲型和暖季放牧冷季舍饲型 2 个方案的优化计算工作.

3.1 目标函数

鄂托克前旗牧区水资源可持续利用目标规划模型分 2 个优先级.鄂托克前旗经济净效益最大为第一优先级;考虑到该地区劳力紧张的因素,把劳力尽可能少作为目标规划的第二优先级.草地(土地)资源的合理优化利用、水资源的优化利用和井灌系统的合理配置用约束条件来制约,各优先级内约束条件的正、负偏差变量之和最小为对应优先级所追求的目标,综合各优先级正、负偏差变量之和最小为目标规划的目标函数.

3.2 模型参数确定

3.2.1 草场资源

根据内蒙古草原勘测设计院完成的《内蒙古草场资源统计资料》,确定鄂托克前旗草场资源.

3.2.2 补饲时间与补饲标准

补饲标准是模型中的重要参数,它对模型求解结果影响较大.提高补饲标准就相应地提高了规划系统的建设水平,如种植面积的扩大、灌溉设施投入的增加等,不同地区的补饲标准差异较大,可采用典

型调查法分析确定.根据草原畜牧部门有关冷、暖季划分标准,暖季始期及终期分别为 5 月 6 日和 11 月 30 日,冬春补饲期 150 d,暖季 215 d,具体补饲标准的当地调查结果见表 1.

表 1 羊单位采食、补饲及舍饲定额					kg
类型	天然草场		苜蓿干草	青贮玉米	精料
	暖季	冷季			
补 饲	387	120	32.5	100	7.5
冬春舍饲	387	0	150.0	150	7.5

注:①天然草场日采食标准:(1 只羊单位)1.8 kg 干草(冬春季日采食 0.8 kg);②羊单位折算标准:成年绵羊为 1 只羊单位;山羊为 0.9 只羊单位;驴为 3 只羊单位;牛、骡为 5 只羊单位;马为 6 只羊单位;幼畜以 3:1 折为成年畜.

3.2.3 种植作物用水量及经济效益

关于各种作物灌溉定额及各时段灌水量由作物灌溉制度确定,各种作物的效益系数由当地调查资料,结合“农业技术经济手册”分析确定.

3.2.4 年毛效益计算

a. 羊.鄂托克前旗主要以饲养鄂尔多斯细毛羊为主,年出栏率约 20%,其经济效益包括产毛效益和出栏效率两部分.以 100 只羊单位的羊群计算:年产毛效益为 100 只 × 12 元/kg × 3 kg/只 = 3 600 元,出栏效益为 20% × 100 只 × 200 元/只 = 4 000 元,平均每个羊单位的年效益为 76 元.

b. 猪.饲养 1 年的生长猪按毛重 100 kg 计算,出肉率按毛重 80% 计算,产肉 80 kg,年毛效益为 80 kg × 8.5 元/kg = 680 元.

c. 鸡.牧民养鸡主要目的是吃鸡蛋,每只鸡按年产蛋 50 颗计算,每只鸡饲养 3 a,宰肉合人民币 15 元,年毛效益为 50 颗 × 0.2 元/颗 + 5 元 = 15 元.

3.2.5 单位劳力管理定额确定

据鄂托克前旗实际情况调查,确定每个劳动力可经营牧草面积为 2.67 hm²,或种植农作物面积为 1.33 hm²,或饲养羊单位数为 200 只.

3.3 计算结果

鄂托克前旗牧区水资源可持续利用优化决策计算结果见表 2.经对正负偏差变量分析和模型稳定性检验及敏感性分析,计算结果稳定可靠.

3.4 牧区可持续载畜量变化趋势

可持续载畜量是一个随着资源条件和其它因素及时间的推移而变化的概念.鄂托克前旗牧区草地

表 2 鄂托克前旗牧区水资源可持续利用优化决策成果

项 目	牧场面积 /万 hm ²		青贮玉米面积 /hm ²	饲料玉米面积 /hm ²	苜蓿面积 /hm ²	糜子面积 /hm ²	土豆面积 /hm ²	蔬菜面积 /hm ²	小麦面积 /hm ²	麻黄面积 /hm ²	农田防护林地总面积 /hm ²	饲草料总灌溉面积 /hm ²	劳动力需要量 /个	灌溉系统数量 /个	牲畜饲养量 /万只	猪饲养量 /万头	鸡饲养量 /万只	年总净效益 /亿元
	夏秋	冬春																
人工种植冷季补饲型	51.96	24.42	572.4	1145.2	666.7	1624.0	266.7	133.3	533.3	6666.7	583.7	1.23	8898	7518	60.07	1.4	12.0	2.28
暖季放牧冷季舍饲型	75.33	0	858.9	2498.0	9210.7	1666.7	400.0	200.0	666.7	6666.7	1106.9	2.32	14641	14016	87.04	5.0	1.2	3.114

畜牧业生产 4 个阶段的可持续载畜量见表 3,其中天然放牧阶段的可持续载畜量为 41.9 万只羊单位,年经济效益为 0.314 亿元.随着人口的增长及社会经济发展的需求,天然草场的实际载畜量远大于可持续发展的载畜量.因此,过度采食放牧导致了天然草场的退化沙化,以致恶性循环,严重制约了当地草地畜牧业生产的正常发展.

表 3 鄂托克前旗牧区可持续载畜量和相关因素优化决策成果

发展阶段	可持续 载畜量 /万只羊单位	灌溉 面积 /万 hm^2	水资源 利用率 /%	年经济 净效益 /亿元
天然放牧阶段	41.90			0.314
人工种植冷季补饲型阶段	60.07	1.23	32.66	2.280
暖季放牧冷季舍饲型阶段	87.04	2.32	51.67	3.114
水资源利用达到极限阶段	87.04	4.23	100	5.187

鄂托克前旗牧区现有实际载畜量为 107 万只羊单位,而鄂托克前旗牧区草地畜牧业生产处于人工种植冷季补饲型发展阶段,可持续载畜量应在 60 万只羊单位,超载 47 万只羊单位.

3.5 家庭畜牧业发展模式优选

鄂托克前旗牧区家庭畜牧业的发展规模大多为 67 ~ 200 hm^2 ,因此,分别进行了 33 ~ 333 hm^2 每隔 33.3 hm^2 的 10 种规模的计算,从中优选各种规模的家庭畜牧业生产的发展模式.

根据家庭畜牧业两类发展模式的优选结果,总结出两类发展模式的产业结构及技术经济指标,其基本结论为:

a. 暖季放牧冷季舍饲型较人工种植冷季补饲型家庭畜牧业发展模式的建设水准较高,系统总收入分别为 4115 ~ 25865 元和 2188 ~ 17586 元,1 只羊单位需天然草场面积分别为 0.8 hm^2 ,1.19 hm^2 ,暖季

放牧冷季舍饲型模式的单位面积草地产值较高.

b. 暖季放牧冷季舍饲型和人工种植冷季补饲型家庭畜牧业发展模式的放牧牲畜羊单位需人工种植饲草料地面积分别为 34 ~ 42 hm^2 和 140 ~ 144 hm^2 .

c. 天然草场面积由 33.33 hm^2 增加到 333.33 hm^2 ,增加了 10 倍,而系统总收入增加了 5 ~ 6 倍,这主要是由于满足牧民所需的粮食等作物种植面积并没有随天然草场的面积增加而成比例增加所致.

4 结 语

我国的西部地区牧区面积占有相当大的比重,牧区“水-草-畜”的矛盾随着当地经济发展而日益突出.合理开发利用当地水资源,保证水资源的可持续利用,解决“水-草-畜”平衡问题,促进地区经济和生态环境的协调发展,是十分紧迫的任务.本文提出的牧区水资源可持续利用多目标优化决策模型,密切结合我国牧区生产建设发展水平,具有可靠的生产实践基础.在以水利为基础的草地畜牧业生产优化决策中,从中优选了人工种植冷季补饲型和暖季放牧冷季舍饲型两种发展模式,对我国牧区区域性综合开发及水资源可持续利用具有指导意义和应用价值.

参考文献:

- [1] 汪恕诚.恢复和改善草原生态是牧区水利建设的首要任务[N].中国水利报,2002-8-6(2).
- [2] 华士乾.水资源系统分析指南[M].北京:水利电力出版社,1988.484 ~ 493.
- [3] 冯尚友.多目标决策理论方法与应用[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.122 ~ 148.

(收稿日期:2002-09-10 编辑:傅伟群)

·简讯·

第 4 届国际坝工会议将于 2004 年在南京召开

第 4 届国际坝工会议将于 2004 年 10 月 18 ~ 20 日在南京举行.会议由河海大学主办,新加坡 CI-Premier 公司具体协办.会议涉及的领域有:坝工设计进展;大坝现代设计、分析的理论和方法;运行的可靠性和安全度评估;大坝和坝基岩体的稳定性;大坝的规划、分析、设计、施工和管理;大坝基础和渗流;大坝安全监控的理论、方法和专家系统;大坝的动力特性和抗震设计;老坝隐患的检测、加固修复和健康诊断;建坝的生态环境影响.会议研究对象除大坝外,还包括水利水电枢纽中的厂房、输水系统、通航建筑物、地下洞室、高边坡等.详细情况请浏览网站:<http://www.dam04.com>.

Hydropower'2004 国际研讨会将在宜昌举行

水力发电国际研讨会(Hydropower'2004)将于 2004 年 5 月 23 ~ 25 日在湖北宜昌举行.会议由中国长江三峡工程开发总公司、清江水电开发有限责任公司、中国水力发电工程学会和中国水利学会共同主办,由国家自然科学基金委员会、中国大坝委员会与中国水利水电科学研究院协办.会议由中国水利水电科学研究院、中国长江三峡工程开发总公司国际合作部共同承办.会议议题有:高面板坝设计、施工及监测;混凝土大坝的设计、施工及运行管理;大体积混凝土配合比优化设计与外加剂的合理使用;水电站大型水轮机组的稳定性与运行经验;水电站的增容与改造.征文联系:100044 北京车公庄西路 20 号 中国大坝委员会 (本刊编辑部供稿)