

· 技术方法 ·

武威市凉州区农业种植结构调整的双目标优化*

张丛¹, 何晋武², 张倩³

(1. 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020; 2. 甘肃省农业资源与区划办公室, 兰州 730000;
3. 甘肃省农业职业技术学院, 兰州 730020)

摘要 该文分别从经济效益最大化和生态效益最大化的目标出发, 以土地资源、农作物用水量、区域各类农作物需求量和农业生产直接投入为约束条件, 基于线性规划方法建立武威市凉州区农业种植业结构优化的经济效益模型和生态效益模型, 并对两个模型的优化结果进行对比分析, 认为以草地生态农业为生产模式的生态效益模型是凉州区实现农业可持续发展较为理想的模型。

关键词 武威市凉州区 农业种植结构 双目标 优化

地处腾格里沙漠边缘的甘肃省武威市凉州区, 虽然是甘肃省重要的粮、油、蔬菜生产基地, 但是生态环境脆弱, 由祁连山雪水汇流而成的内陆河石羊河是该区农田灌溉的唯一水源。始于20世纪80年代初的“两西地区建设”过程中, 在粮油产量不断增长的同时, 大量的土地开垦超过了水资源供给所允许的程度, 同时由于沿用传统的耕作方式, 片面地强调高产增收, 忽视了对耕地资源和水资源的保护, 从而导致一系列的生态问题: 天然植被不断退化、死亡, 石羊河下游来水明显减少, 地下水位大幅度下降, 荒漠化、盐渍化危害日益加剧, 沙尘暴频繁发生^[1]。因而如何在现有的生产条件下, 更好地解决土地增产、农民增收和生态安全之间的矛盾, 就显得尤为重要。该文应用线性规划方法对凉州区农业种植结构进行优化研究, 分别从经济效益最大化和生态效益最大化两个目标出发, 建立优化模型, 并对两组优化结果进行对比分析。

一、凉州区种植业结构现状

凉州区位于河西走廊东部, 其地势西南高东北低, 西南部为祁连山地, 中部为走廊平原, 东北部为腾格里沙漠, 属冷温带干旱区。年平均降雨量210mm, 年平均气温8℃, 温差大, 全年无霜期为150天, 是典型的大陆性气候。海拔1450~2100m, 地势平坦, 土地肥沃, 日照充足, 有效灌溉面积占耕地面积的94%以上, 农业生产条件优越, 粮、油、蔬菜产量分别占全省产量的6.67%、5.66%和12.75%^[2]。

根据《甘肃农村年鉴》的统计数据, 凉州区总人口98万, 其中乡村人口79.53万, 占总人口的81.15%; 乡村从业人员41.14万人, 占乡村人口的51.73%。耕地面积9.725万hm², 94%以上为水浇地, 其中粮食作物播种面积7.411万hm², 占耕地面积的76.2%; 油料作物播种面积1.057万hm², 占耕地面积的10.9%; 蔬菜播种面积1.765万hm², 占耕地面积的18.1%。主要的农产品有: 小麦、玉米、马铃薯、油料和蔬菜, 其播种面积比为: 小麦: 玉米: 马铃薯: 油料: 蔬菜=4.45: 4.24: 1: 1.47: 2.45, 总产值比马铃薯为小麦: 玉米: 马铃薯: 油料: 蔬菜=3.42: 1.91: 1.50: 1: 3.69。

作为西北的重点经济开发区, 凉州区年均产粮6.3亿kg, 人均年粮食占有量为643.83kg^[2], 远超过了400kg/(年·人)的粮食生产安全线, 但这主要依靠农业的高投入, 并且是以地表水与地下水资源的过量开采为代价的, 在经济保持高速增长的同时, 用水总量大幅增加, 水资源供需矛盾日益突出, 这对于“没有灌溉就没有农业”的凉州区来说是一种致命的威胁, 而在这样的地区实现水资源合理利用的一条重

收稿日期: 2008-04-30 何晋武为区划办公室主任 张丛为博士研究生 张倩为副教授

*基金项目: 人事部留学人员科技活动项目择优资助经费项目(440-164401); 四川省土地资源信息实验室项目基金(2006ZD003)

要途径就是控制耕地的扩张,“藏粮于草”^[1],因此,在保证粮食自给的前提下,在凉州区选择退耕还种优质饲草,发展草食畜牧业,不仅是该区生态建设和农牧业可持续发展必然选择,同时也是其农业发展的客观需要^[3]。然而,由于长期以来的“以粮为纲”的指导思想和商品粮基地建设的利益驱动,凉州区现有的饲草种植面积仅为2 947 hm²,不足小麦种植面积的1/10^[2]。

二、凉州区种植业结构调整双目标优化模型的实现^[4-7]

(一) 决策变量的确定

1. 以凉州区主要农作物播种面积为决策变量,单位为 hm²。

x_1 —小麦, x_2 —玉米, x_3 —马铃薯, x_4 —油料, x_5 —蔬菜。

2. 从生态与经济结合,促进社会可持续发展的角度考虑,凉州区在未来的农业生产中应该逐步建立粮食生产与饲草家畜生产相协调的草地生态农业系统^[8],因而把饲草的播种面积也作为决策变量(x_6),单位为 hm²。

(二) 种植业结构多目标优化模型的建立

从凉州区农业生产条件和生态现状的实际情况出发,分别建立经济效益最大化的优化模型和生态效益最大化的优化模型。

1. 经济效益最大化模型

(1) 目标函数:根据经济效益最大化原则,以农作物收益达到最大为目标。从相关的统计资料^[2]中查出前5类农作物的总产量、总产值和单产,则

$$\text{农作物的收益 (元/hm}^2\text{)} = \frac{\text{总产值 (元)}}{\text{总产量 (kg)}} \times (\text{kg/hm}^2)$$

于是得到小麦、玉米、马铃薯、油料和蔬菜收益分别为:6 399.81元/hm²、6 630.60元/hm²、5 934.47元/hm²、5 289.65元/hm²、9 458.55元/hm²。再根据草地农业生产和当地的具体情况估算饲草收益为4 477.61元/hm²(0.67hm²草地饲养1头牛,每头牛年约获利3 000元)^[9]。

因而,凉州区种植业结构优化的经济效益目标函数为:

$$\max Z_j = 6\,399.81x_1 + 6\,630.60x_2 + 5\,934.47x_3 + 5\,289.65x_4 + 9\,458.55x_5 + 4\,477.61x_6$$

(2) 约束条件:从保障生态安全的角度考虑,不宜再开垦土地以增加耕地面积,所以耕地面积约束为:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \leq 9.7253 \text{ (万 hm}^2\text{)}$$

凉州区各类农作物的单位面积用水量分别为:小麦5 220 m³/hm²,玉米6 960 m³/hm²,马铃薯1 740 m³/hm²,油料2 480 m³/hm²,蔬菜1.0440万 m³/hm²,饲草0 m³/hm²;而总灌溉用水量大约为7.9876亿 m³,所以用水量约束为:

$$5\,220x_1 + 6\,960x_2 + 1\,740x_3 + 2\,480x_4 + 10\,440x_5 + 0x_6 \leq 7.9876 \text{ (亿 m}^3\text{)}$$

粮食作物播种面积约束为: $x_1 + x_2 + x_3 \leq 7.4507$ (万 hm²)

区域各种作物年总需求约束为: $5925.75x_1 \geq 1.693989$ (亿 kg); $7710.00x_2 \geq 0.3535892$ (亿 kg); $5\,690.68x_3 \geq 0.107114$ (亿 kg); $2\,249.10x_4 \geq 2.4214167$ (亿 kg); $11\,677.22x_5 \geq 0.39935000$ (亿 kg); $6\,000x_6 \geq 0.47167280$ (亿 kg)。

各类农作物生产的年直接投入约束为:

$$7\,650x_1 + 9\,300x_2 + 5\,400x_3 + 5\,925x_4 + 18\,000x_5 + 2\,250x_6 \leq 2.20799139 \text{ (亿元)}$$

2. 生态效益最大化模型

(1) 目标函数:凉州区作为甘肃省商品粮基地建设的主要地区,的确曾为缓解甘肃粮食供应不足做出过重大贡献,但是由于土地大量开垦,地表和地下水过量使用等不合理开发,导致生态系统结构和功能失调,生态问题不断积累,从而引发了一系列重大的生态后果:草原不断退化,河流湖泊水位下降甚至干涸,荒漠植被大片死亡,荒漠化、盐渍化迅速扩大,沙尘暴连年发生,使其环境面临前所未有的压力。如

果说沙漠的形成最初是由气候所决定的,则其发展进程的快慢主要取决于人类活动,而恰恰人类的农业生产活动对其影响最大。因此,只有遵循自然规律,协调人与自然的关系,将生态环境建设放在优先而十分重要的地位,才能保证凉州区农业的可持续发展。

对于凉州区这样一个绿洲农业区而言,水资源的合理利用是农业可持续发展的关键。这里降水量少,因而94%以上的耕地依靠石羊河的水进行灌溉,但是由于水资源利用率不足20%,有些地区的实际灌溉面积只能达到设计能力的60%~70%。而且大都采用漫灌、串灌,实际灌水量超过定额50%~60%^[10]。毋庸置疑,发展节水农业,用先进的喷灌和滴灌技术取代传统的“大水漫灌”,是研究区水资源合理利用的最佳途径,但是由于受经济和技术条件的制约,在短时间内该地区的灌溉方式不会有大的变化,因而考虑以现有的灌溉用水量来进行规划。

所以,凉州区种植业结构优化的生态效益目标函数为

$$\min Z_s = 5\ 220x_1 + 6\ 960x_2 + 1\ 740x_3 + 2\ 480x_4 + 1\ 0440x_5 + 0x_6$$

$$(2) \text{ 约束条件: 耕地面积约束为: } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \leq 9.7253 \text{ (万 hm}^2\text{)}$$

$$\text{经济效益约束为: } 6\ 399.81x_1 + 6\ 630.60x_2 + 5\ 934.47x_3 + 5\ 289.65x_4 + 9\ 458.55x_5 + 4\ 477.61x_6 \geq 6.516243 \text{ (亿元)}$$

从生态安全考虑,凉州区的粮食生产只要能够超过粮食生产安全线(400kg/(年·人))的20%即可,因而粮食作物播种面积约束为: $x_1 + x_2 + x_3 \leq 7.2009$ (万 hm^2)

由于粮食作物播种面积减少了 $74\ 507 - 72\ 009 = 2\ 498$ (hm^2),为逐步实现“藏粮于草”,把这部分原来用于粮食生产的耕地用于种植饲草,因此饲草的播种面积约束为: $x_6 \geq 5\ 445$ (hm^2) 区域各种作物年总需求约束为: $5\ 925.75x_1 \geq 1.693989$ (亿 kg); $7\ 710.00x_2 \geq 0.3535892$ (亿 kg); $5\ 690.68x_3 \geq 0.10\ 7114$ (亿 kg); $2\ 249.10x_4 \geq 0.24214167$ (亿 kg); $11\ 677.22x_5 \geq 0.39935000$ (亿 kg); $6\ 000x_6 \geq 0.47167280$ (亿 kg);

各类农作物生产的年直接投入约束为:

$$7\ 650x_1 + 9\ 300x_2 + 5\ 400x_3 + 5\ 925x_4 + 18\ 000x_5 + 2\ 250x_6 \leq 2.20799139 \text{ (亿元)}$$

三、优化模型的计算结果及讨论

(一) 模型优化结果

经多次运算和调整有关参数和系数,并利用 MATLAB 的优化工具箱对上述两个线性规划模型分别求解^[11],获得如下结果(表1)。

表1 优化模型计算结果

模型种类	各类农作物种植面积(万 hm^2)						用水量 (万 m^3)	经济效益 (万元)
	小麦 x_1	玉米 x_2	马铃薯 x_3	油料 x_4	蔬菜 x_5	饲草 x_6		
经济效益模型	2.8350	1.1848	1.1797	1.0766	2.6625	0.7861	55 564	67 398
生态效益模型	2.8578	0.9809	1.7901	1.2170	0.6558	2.2228	34 728	58 673
现有种植模式	3.2013	3.0500	0.7193	1.0561	1.4034	0.2947	56 462	65 162

(二) 结果分析与讨论

经济效益模型是以生产小麦、玉米和洋芋为主的粮食生产模型,与现有模式基本相似。只是为增加经济收入,蔬菜的种植面积有较大幅度的增加(89.72%);同时从节约用水,保障生态安全的角度考虑,减少了耗水量较大且经济效益一般的玉米的种植面积(61.15%)。由此说明,当要求农业生产以产粮为主时,凉州区农作物的现行种植结构是比较合理的,但如果再加以优化,还可增加经济效益3.43%,同时可以在一定程度上减少水资源的消耗。

生态效益模型是粮食生产与饲草家畜生产相协调的草地生态农业模型,它较现行结构有较大变动。其玉米种植面积由现在的3.0500万 hm^2 减少为0.9809万 hm^2 ,而饲草的种植面积由现在的0.2947万 hm^2 增加为2.2228万 hm^2 。如果只是孤立地考虑经济收益,这一模型会比现有种植模式减少效益9.96%。但

如果是从生态安全角度来看,该模型比现有种植模式节水 38.49%。以现有种植模式,每万元经济效益用水量为 0.8665 万 m³,则所节约的 21 734 万 m³ 水可获得 2.5082 亿元收益;当然这只是数字的概算,在生产实际中,即使只能实现一半的收益,生态效益模型也会比现有模式增加收益 9.29%。同时由于生态效益模型减少了玉米的种植面积,增加了饲草的种植面积,从而降低了生产成本,减少了农业投入,在很大程度上减轻了农民的农田劳动负担,使他们能够把更多的人力、物力和财力投入到畜牧业和副业生产中去。而且,用饲草生产来控制天然草地的利用率,对于草地植被的保护和恢复有深刻的生态学意义。

上述分析表明,生态效益模型不但能满足区域内部对各种作物的需求,缓和劳动力和水资源紧缺的状况,而且经济收益也是最好的。用长远利益看,对于凉州区这样一个地处沙漠边缘的生态脆弱地区,草地生态农业的实施有利于恢复草地植被、提高农田土壤肥力、增加农民收入、保障整个地区的生态安全、实现可持续发展,因而是较为理想的模型。

参考文献

- 1 任继周. 河西走廊山地—绿洲—荒漠复合系统及其耦合. 北京: 科学出版社, 2007
- 2 甘肃农村年鉴编委会. 甘肃农村年鉴(2004、2005、2006). 北京: 中国统计出版社, 2004、2005、2006
- 3 吴孟珠, 方辉. 农牧交错区苜蓿草业产业化开发研究. 中国农业资源与区划, 2006, 27(4): 31~35
- 4 赵静, 但琦. 数学建模与数学实验. 北京: 高等教育出版社, 2003
- 5 朱春江, 唐德善. 基于线性规划模型的农业种植业结构优化研究. 安徽农业科学, 2006, (12): 2623~2624
- 6 吴富宁, 朱虹. 区域种植业结构调整和布局优化模型的设计与实现. 中国农业信息导报, 2004, (6): 63~67
- 7 杨渝红, 刘秀华, 李霞. 重庆市农业结构调整与土地资源优化配置研究. 中国农业资源与区划, 2006, 27(4): 49~54
- 8 任继周. 草地农业生态学. 北京: 中国农业出版社, 1995
- 9 汪玺, 孟充汉, 张自和, 等. 草业生产技术手册. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1992
- 10 杨林娟, 韩建民. 确定甘肃农业优势产业 促进农业资源配置优化. 中国农业资源与区划, 2006, 27(2): 13~17
- 11 刘卫国, 陈昭平, 张颖. MATLAB 程序设计与应用. 北京: 高等教育出版社, 2002

DOUBLE TARGETS OPTIMIZATION FOR ADJUSTING STRUCTURE OF CROP INDUSTRY IN LIANGZHOU DISTRICT OF WUWEI CITY

Zhang Cong¹, He Jinwu², Zhang Qian³

1. Pasture Science and Technology College of Lanzhou University, Lanzhou 730020;
2. Agriculture Resources and Regional Planning Office of Gansu Province, Lanzhou 730000;
3. Agriculture Profession and Technology College, Lanzhou 730020

Abstract Stating off from double targets of the greatest economic efficiency and the greatest ecological benefit respectively, this paper takes land resources, water consumption by crops, demands for various crops within region and direct investment for agriculture production as restrict conditions; sets up models of economic efficiency and ecological benefit with optimizing plant industry structure in Liangzhou District of Wuwei City, based on linear programming method. It carries out contrast analysis on the optimized results of these two models, and deems that the model with ecological benefit and taking pasture ecology as production model is an ideal model for realizing sustainable agriculture development in Liangzhou District.

Keywords Liangzhou District of Wuwei City; plant industry structure; double targets; optimization