

基于多目标遗传算法的节水型农牧业产业结构优化调整模型

佟长福¹, 李和平¹, 高瑞忠², 张海滨³, 贾金良⁴

(1. 水利部牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020;

2. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

3. 内蒙古鄂尔多斯市水务局, 内蒙古 鄂尔多斯 017000; 4. 内蒙古鄂尔多斯市水利工程局, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘 要: 针对鄂尔多斯市农牧业产业结构不合理, 从农牧业产业结构调整节水的基础理论研究出发, 运用多目标遗传算法建立了农牧业产业结构优化模型。结果表明: 小麦种植面积增加 1.1%, 玉米种植面积减少 40.5%, 豆类种植面积增加 16.5%, 薯类种植面积增加 18.3%, 油料作物种植面积减少 5.5%, 蔬菜种植面积增加 4.2%, 牧草种植面积增加 5.9%, 粮食作物: 经济作物: 饲草料的比例由 50.0:11.7:38.3 调整为 27.1:28.7:44.2, 农牧业种植业结构趋于合理化。

关键词: 多目标遗传算法; 农牧业; 产业结构; 优化模型

中图分类号: F304.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0199-07

Optimization adjustment model of water-saving industrial structure of farming and animal husbandry based on multi-objective genetic algorithm

TONG Chang-fu¹, LI He-ping¹, GAO Rui-zhong², ZHANG Hai-bin³, JIA Jin-liang⁴

(1. Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China;

2. Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 3. Water Conservancy Bureau of Ordos, Ordos, Inner Mongolia 017000, China;

4. Water Conservancy Construction Bureau of Ordos, Ordos, Inner Mongolia 017000, China)

Abstract: Based on industry structure unreasonable of agriculture and animal husbandry in Ordos city, from farming and animal husbandry industrial structure adjustment of water saving basic theory study of the multi-objective genetic algorithm, established farming and animal husbandry industry structure optimization model, provides an important theoretical and methodological basis for the adjustment of industrial structure of agriculture and animal husbandry in the water resource constraints. The results show that wheat planting area increased by 1.1%, maize planting area decrease volume by 40.5%, beans planting area increased by 16.5%, yam planting area increased by 18.3%, oil crop planting area decrease volume by 5.5%, vegetables planting area increased by 4.2%, pasture planting area increased by 5.9%. The grain and industrial and forage crops ratio was regulated from 50.0:11.7:38.3 to 27.1:28.7:44.2, agricultural and husbandry and planting industrial structure were inclined to rationalization.

Keywords: multi-objective genetic algorithm; farming and animal husbandry; industrial structure; optimization model

农牧业产业结构是既包括种植业、林业、畜牧业和渔业等, 又包括各业内部根据产品和产业特点不同而划分的若干个不同产业之间的组成, 它的合理与否对农牧业生产的发展起着重要作用。因此, 研

究农牧业产业结构, 不但要重视各业的合理化问题, 而且也要注意各业内部结构的合理化^[1]。农牧业产业结构优化是指按照农业系统内的能量流和物质流等内在机制和市场机制, 对系统内各种生产要素进

收稿日期: 2012-05-02

基金项目: 水利部公益性行业科研专项项目(200801034, 201001039)

作者简介: 佟长福(1979—), 男, 内蒙古呼伦贝尔人, 博士, 主要从事节水灌溉理论与技术的研究。

行合理配置,使资源利用效率得到提高,实现经济社会和生态的可持续发展^[2]。

农牧业产业结构型节水是以农牧业产业结构优化调整为主要手段,对现有农业水资源进行合理配置,将微观农业节水与宏观农业节水,农业节水理论与农牧业产业结构调整实践联系了起来,起到承上启下的作用^[3-4],来实现农业水资源的高效、可持续利用。针对区域农业用水特点和水资源状况,调整农牧业产业结构,合理布局,统筹安排,适水生产,科学地进行种植业、林业、畜牧业和水产养殖业之间的水量分配,实现农牧业用水与农业生产的最优耦合,可以有效地发挥区域优势,突破稀缺性资源的制约,将置换出一部分水资源,种植效益好的作物或发展其它行业,使水资源在农牧业产业结构内部的时空配置上更趋合理,更大限度地提高农业用水效率,从而缓解水资源和耕地资源日益减少给农业生产以及粮食安全造成的压力^[5]。因此,本文从节水的角度建立农牧业产业结构优化模型,为鄂尔多斯市农牧业产业结构的调整提供科学依据。

1 多目标遗传算法^[6-7]

算法用排序表现矩阵确定个体适应度,消除了不可公度目标间难以比较的问题。该算法通过一次计算就可以得到问题的非劣解集,简化了多目标问题的求解步骤。算法计算过程不需要引入权重系数,不需要人工干预,相对以往的多目标求解方法,能更方便地生成非劣解集。计算步骤如下:

1.1 个体编码

利用遗传算法求解问题时,首先对变量进行编码。多目标问题求解目的是获得满意非劣解集,非劣解集中不同方案解,体现在各变量取值的差异上。

设问题中有 X 个变量 $Y_1, Y_2, \dots, Y_X$ 。 Y_i 的变化区间为 $(Y_{i,\min}, Y_{i,\max})$, $Y_{i,\min}, Y_{i,\max}$ 分别为变量的最大值和最小值。若使十进制编码精度为 δ , 应把变量取值区间划分为 m 等份:

$$m = \frac{Y_{i,\max} - Y_{i,\min}}{\delta} \quad (1)$$

优化问题所有变量对应的基因依次连在一起构成问题解的编码形式 $(y(1), y(2), \dots, y(X))$, 称之为染色体或个体。个体每一基因用 $[0, 1]$ 区间上随机产生的实数 $y(j)$ 表示。从个体基因转换到变量的解码公式如下:

$$Y(t) = Y_{i,\min} + \text{INT}[y(t)m]\delta \quad (t = 1, 2, \dots, X) \quad (2)$$

经过编码,所有优化变量的取值区间都统一为

$[0, 1]$ 区间,各种遗传操作直接在各优化变量的基因形式上进行。

1.2 种群初始化

为了保证种群的可行性,需对初始群体的合理性进行检验,排除不合要求的个体。如果可行即作为初始个体保留,否则重新生成个体再检验,直到种群个体都为可行为止。

1.3 个体适应度的确定

多目标遗传算法个体适应度确定的原则是使综合表现优良的个体获得较大的适应度。将种群所有个体对各目标表现排序得到表现矩阵。针对每一个目标,所有个体都会依据对该目标的函数值优劣生成一个可行解的排序序列。对每个目标都排序后,可以得到个体对全部目标函数的总体表现。

根据个体的排序计算其适应度如下:

$$D_i(Y_j) = \begin{cases} (N - R_i(Y_j))^2 & R_i(Y_j) > 1 \\ kN^2 & R_i(Y_j) = 1 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$D(Y_j) = \sum_{i=1}^n D_i(Y_j) \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

式中, Y_j 为种群的第 j 个个体; R_i 为其在种群所有个体中对目标 i 的优劣排序后所得的序号; $D_i(Y_j)$ 表示 Y_j 对目标 i 所得的适应度; $D(Y_j)$ 为 Y_j 对全部目标所得的综合适应度; k 为 $(1, 2)$ 区间的常数,用于加大个体函数值表现最优时的适应度。

从上式可以看出,对于总体表现较优的个体能得到更大的适应度,获得更多的参与进化的机会。

1.4 选择操作

取比例选择方式,选择概率 $P_s(Y_j)$ 为:

$$P_s(Y_j) = E(Y_j) / \sum_{j=1}^N E(Y_j) \quad (5)$$

令 $p(j) = \sum_{k=1}^j P_s(X_k)$, 则序列 $\{p(j) \mid j = 1, 2, \dots, N\}$ 把 $[0, 1]$ 区间分成 N 个子区间,这些子区间与 N 个父代个体一一对应。生成一个随机数 u , 若 u 在 $[p(j-1), p(j)]$ 间,则第 j 个个体将被选中。

1.5 杂交操作

对于实数编码系统,一个基因表示一个优化变量。根据公式(4)随机选择一对父代个体 $y(t, j_1)$ 和 $y(t, j_2)$ 作为双亲,并进行如下线性组合,产生一个子代个体 $y_2(t, j)$, 式中 u_1, u_2, u_3 都是随机数:

$$\begin{cases} y_2(t, j) = u_1 y(t, j_1) + (1 - u_1) y(t, j_1), & u_3 < 0.5 \\ y_2(t, j) = u_2 y(t, j_1) + (1 - u_2) y(t, j_2), & u_3 \geq 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

1.6 变异操作

任意一个父代个体,若其适应度函数值越小,则其选择概率越小,则对该个体变异的概率也应越大。因此变异操作则采用 T 个随机数以 $P_m(j) = 1 - P_s(j)$ 的概率来代替个体 $y(t, j)$,从而得到子代个体 $y_3(t, j)$ 。式中, $u_i (i = 1, 2, \Delta T)$ 和 u_m 均为随机数,即:

$$\left. \begin{aligned} y_3(t, j) &= u(t), u_m < P_m(j) \\ y_3(t, j) &= y(t, j), u_m \geq P_m(j) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

1.7 多目标问题中劣解选择

多目标问题中在没有给出决策偏好信息前提下,难以直接衡量解的优劣。根据遗传算法中每一代都有大量的可行解产生这一特点,考虑通过可行解间相互比较淘汰劣解的办法来达到最后对非劣解集的逼近。考虑一个 n 维的多目标规划问题,且均为目标函数最大化,其劣解可以定义为:

$$f_i(y^*) \leq f_i(y_i) \quad i = 1, 2, \Delta, n \quad (8)$$

1.8 优解保存策略

先将第一代进化产生的最好的 N 个可行解作为现有非劣解集保存,以后对于每一代进化所产生的最好的 N 个可行解与非劣解集中的各解依据式(8)进行比较,保留优解替换劣解,经过数量足够大的种群进化,计算结束时所得到的就是算法中产生的最好的可行解,从而构成非劣解集。

2 农牧业产业结构优化模型的建立

农牧业产业结构优化模型以农业用水量和经济效益为目标,在满足粮食总产量、其它各类作物产量和其他社会需求的基础之上,进行农牧业产业结构的优化,最后应用遗传算法对模型进行求解,得到符合农牧业节水 and 经济发展要求的农牧业产业结构优化方案^[8-10]。

农牧业产业结构优化的目标,是在实现农业用水量最小的同时,保证经济效益的最大化,并保持系统协调持续发展。其一般模型形式为:

$$\begin{aligned} \text{opt}[f_1(x), f_2(x)] \\ g(x) \leq 0 \\ x \geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

式中, x 为决策变量; $f_1(x), f_2(x)$ 分别为用水量目标、经济效益目标; $g(x)$ 为约束条件集,表示资源、社会需求、生态平衡以及其它社会约束等。

根据可持续发展战略,结合鄂尔多斯市相关发展规划,给出了优化模型的用水量目标和经济效益目标的具体函数表达式以及约束条件。

2.1 目标函数

2.1.1 用水量目标 在满足粮食产量要求和农业经济发展要求的前提下,使调整后的农业种植结构下,农业总用水量最小。

$$\text{Min } Q_i = \sum_{j=1}^m q_j^{(i)} \times s_{1j}^{(i)} + \sum_{k=1}^n d_k^{(i)} \times s_{2k}^{(i)} \times 365/1000 + q_1 \times s_l^{(i)} + q_s \times s_s^{(i)} \quad (10)$$

式中, Q_i 为第 i 个规划水平年农业总用水量(万 m^3); $q_j^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年第 j 种作物的毛灌溉定额($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$); $s_{1j}^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年第 j 种作物的种植面积(万 hm^2); $d_k^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年第 k 种牲畜的需水定额($\text{L}/\text{头}(\text{只})/\text{天}$); $s_{2k}^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年第 k 种牲畜的饲养量(万头(只)); q_l 为林地的需水定额($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$); $s_l^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年林地面积(万 hm^2); q_s 为水产养殖需水定额($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$); $s_s^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年水产养殖面积(万 hm^2)。

2.1.2 经济效益目标 目标函数以各产业的经济效益之和表示。种植业的经济收益为线性函数,即单位面积产值和种植面积之积;畜牧业的收益由于受到生长周期和市场价格波动等各因素的影响,根据历史上畜禽饲养量与相应收益的数据进行曲线拟合,得出收益与饲养量之间的关系是对数函数与 Logistic 阻滞增长曲线形式^[11]。

$$\begin{aligned} \text{Max } Y_i = \sum_{j=1}^m p_j^{(i)} \times y_j^{(i)} \times s_{1j}^{(i)} + \sum_{k=1}^n \alpha_k \ln(1 + \theta_k \times \\ s_{2k}^{(i)}) \times \lambda_k + \frac{\alpha_k^*}{1 + \theta_k^* \times e^{-\gamma_k \times s_{2k}^{(i)}}} + t_1^{(i)} \times s_l^{(i)} + t_2^{(i)} \times \\ s_s^{(i)} \end{aligned} \quad (11)$$

式中, Y_i 为第 i 个规划水平年农牧业各产业效益之和(万元); $p_j^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年 j 种作物的单价(元 $\cdot \text{kg}^{-1}$); $y_j^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年 j 种作物单位面积产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); $t_1^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年 j 种林木单位面积的收益(万元 $\cdot \text{hm}^{-2}$); $t_2^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年水产养殖单位面积的收益(万元 $\cdot \text{hm}^{-2}$); $\alpha_k, \theta_k, \alpha_k^*, \theta_k^*, \gamma_k$ 为畜牧业中第 k 类畜禽饲养量和纯收益拟合的参数。

2.2 约束条件

2.2.1 耕地面积

$$\sum_{j=1}^m s_{1j}^{(i)} \leq \alpha^{(i)} \times A_g^{(i)} \quad (12)$$

式中, $\alpha^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年复种指数; $A_g^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年耕地面积(万 hm^2)。

2.2.2 林地面积

$$s_l^{(i)} \geq A_l \quad (13)$$

式中, $A_l^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年林地面积(万 hm^2)。

2.2.3 水产养殖面积

$$s_s^{(i)} \geq A_s \tag{14}$$

式中, $A_s^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年水产养殖面积(万 hm^2)。

2.2.4 粮食安全

$$\sum_{j=1}^m \gamma_j^{(i)} \times s_{lj}^{(i)} \geq P^{(i)} \tag{15}$$

式中, $P^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年粮食需求量(万 t)。

2.2.5 作物产量

$$\gamma_j^{(i)} \times s_{lj}^{(i)} \geq P_j^{(i)} \tag{16}$$

式中, $P^{(i)}$ 符号意义同上。

2.2.6 牲畜产量

$$C_{2k}^{(i)} \times s_{2k}^{(i)} \geq T_{2k}^{(i)} \tag{17}$$

式中, $C_{2k}^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年第 k 种牲畜单位产量

(t/头(只)); $T_{2k}^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年第 k 种牲畜需求量(万 t)。

2.2.7 生态条件

$$100s_l^{(i)}/A_l \geq \beta^{(i)} \tag{18}$$

式中, $\beta^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年森林覆盖率(%); $A_l^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年土地面积(万 hm^2)。

2.2.8 均衡条件

$$s_{lj}^{(i)} \geq A_{lj\min}^{(i)} \tag{19}$$

式中, $A_{lj\min}^{(i)}$ 为第 i 个规划水平年第 j 种作物要求最小种植面积(万 hm^2)。

2.2.9 非负条件

$$s_{lj}^{(i)}, s_{2k}^{(i)}, s_l^{(i)}, s_s^{(i)} \geq 0 \tag{20}$$

2.3 决策变量

模型中各决策变量见表 1。

表 1 农牧业各产业决策变量
Table 1 Decision variables of farming and animal husbandry

产业 Industry	决策变量 Decision variables	项目 Item	单位 Unit	数量 Quantity
种植业 Crop farming	粮食作物 Grain crops	s_{11} 小麦 Wheat	10^4 hm^2	1.32
		s_{12} 玉米 Maize	10^4 hm^2	16.90
		s_{13} 薯类 Potato	10^4 hm^2	0.73
	经济作物 Cash crops	s_{14} 油料作物 Oil crops	10^4 hm^2	2.96
		s_{15} 豆类 Beans	10^4 hm^2	0.69
		s_{16} 蔬菜 Vegetables	10^4 hm^2	0.76
		s_{17} 饲草料作物 Forage crops	10^4 hm^2	11.03
		s_{18} 紫花苜蓿 Alfalfa	10^4 hm^2	3.49
畜牧业 Animal husbandry		s_{21} 牛 Cow	10^4 头 10^4 cows	19.77
		s_{22} 羊 Sheep	10^4 只 10^4 sheep	742.04
		s_{23} 猪 Pig	10^4 头 10^4 pigs	42.05
		s_{24} 家禽 Poultry	10^4 只 10^4 poultry	9.84
林业 Forestry		s_l 林地面积 Forestland area	10^4 hm^2	9.11
渔业 Fishery		s_s 水产养殖面积 Aquiculture area	10^4 hm^2	0.0015

2.4 模型参数确定

模型参数主要根据鄂尔多斯统计年鉴^[12] 和鄂尔多斯市节水型社会建设规划^[13] 确定, 规划年为 $i = 2020$ 年。具体如下:

- (1) 复种指数: $\alpha^{(i)} = 1.16$;
- (2) 耕地面积: $A_g^{(2009)} = 40.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$; $A_g^{(2020)} = 42 \times 10^4 \text{ hm}^2$;
- (3) 林地面积: $A_l^{(i)} = 157 \times 10^4 \text{ hm}^2$;
- (4) 水产养殖面积: $s_l^{(i)} = 40 \text{ hm}^2$;
- (5) $\alpha_k = [548615, 96741, 3816902, 1547283]$;
 $\theta_k = [0.0016, 0.0008, 0.0003, 0.000016]$;

- $\alpha_k^* = [428516, 81270, 268347, 468054]$;
- $\theta_k^* = [60.7, 18.3, 79.4, 18.1]$;
- $\gamma_k = [0.0134, 0.006, 0.0046, 0.0005]$;
- $\lambda_k = [0.59, 0.74, 0.85, 0.88]$;
- (6) 森林覆盖率: $\beta^{(i)} = 18\%$;
- (7) 土地面积: $A_l^{(i)} = 86752 \text{ km}^2$;
- (8) 小麦最小种植面积: $s_{11}^{(i)} = 1.75 \times 10^4 \text{ hm}^2$;
- (9) 每(头) 畜禽产品的产量 $C_{2k}^{(i)}$: $C_{21}^{(i)} = 0.216 \text{ t} \cdot \text{头}^{-1}$; $C_{22}^{(i)} = 0.04 \text{ t} \cdot \text{只}^{-1}$; $C_{23}^{(i)} = 0.053 \text{ t} \cdot \text{头}^{-1}$; $C_{24}^{(i)} = 0.012 \text{ t} \cdot \text{只}^{-1}$;
- (10) 人口: 195×10^4 人;

(11) 作物产量
根据历年作物产量,估算各种作物的产量见表 2。

根据内蒙古地方行业用水定额标准^[14]和鄂尔多斯市节水型社会建设规划^[13],确定作物灌溉定额见表 3。

表 2 作物产量
Table 2 Crop yield

作物 Crop	小麦 Wheat	玉米 Maize	豆类 Beans	薯类 Potato	油料作物 Oil crops	蔬菜 Vegetables	青贮玉米 Silage maize	紫花苜蓿 Alfalfa
产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	5736	6720	6180	27500	2635	22745	49850	13100

表 3 作物灌溉需水量
Table 3 Irrigation water demand of crops

作物 Crop	小麦 Wheat	玉米 Maize	豆类 Beans	薯类 Potato	油料作物 Oil crops	蔬菜 Vegetables	青贮玉米 Silage maize	紫花苜蓿 Alfalfa
灌溉定额/(m ³ ·hm ⁻²) Irrigation norm	4650	4650	4200	2700	3000	3600	4800	4500

(13) 作物单价
通过市场调查,根据近年来的物价情况及统计

数字中的价格指数变动对各种物价的浮动估计,确定作物单价见表 4。

表 4 作物单价
Table 4 Price of crop products

作物 Crop	小麦 Wheat	玉米 Maize	豆类 Beans	薯类 Potato	油料作物 Oil crops	蔬菜 Vegetables	青贮玉米 Silage maize	紫花苜蓿 Alfalfa
单价/(元·kg ⁻¹) Price /(yuan·kg ⁻¹)	2.75	2.60	5.50	3.50	0.60	3.20	0.40	0.80

(14) 消费品人均年需求量
按照中国食品与营养发展总体目标,主要消费

产品人均年需求量^[11]见表 5。

表 5 2020 年主要消费品人均年需求量
Table 5 Per capita demand for agricultural products in 2020

产品 Products	小麦 Wheat	玉米 Maize	油料 Oil	蔬菜 Vegetables	牛 Beef	羊 Mutton	猪 Pork	家禽 Poultry	水产 Aquatic
需求 Demand/kg	47.63	44.79	13.00	147.00	9.34	9.33	9.33	5.10	16.00

2.5 模型求解

农牧业产业结构优化模型具有大系统、多目标和非线性等特点,传统的求解方法受到了模型复杂程度的限制。而遗传算法不要求问题具有线性、连续、凸性等条件,对解决上述问题具有明显的优势,因此本文采用多目标遗传算法对鄂尔多斯市节水型农牧业产业结构的优化模型进行求解。

3 模型结果与分析

3.1 模型结果

根据遗传算法的求解步骤,用 Matlab7.0 编制程序。经多次迭代后得到模型的一系列非劣解集。综合考虑得到的非劣解的序列,对各个变量和目标函数进行分析,并咨询了有关专家,选择第 1 个有效解

为整个产业结构优化的“最优解”。模型计算结果见表 6。

3.2 模型结果检验

对模型的计算结果进行了检验,检验结果见表 7。从表中可知,模型的计算结果均满足约束条件。

3.3 模型分析

从表 6 中可以看出,作物总种植面积增加了 10.66 万 hm²,小麦、玉米和薯类的种植面积下降了 4.83 万 hm²,经济作物种植面积增加了 8.64 万 hm²,饲草料作物种植面积增加了 6.85 万 hm²,粮经饲比例由 50.0:11.7:38.3 调整为 27.1:28.7:44.2,粮食作物种植面积下降了,经济作物和饲草料作物种植面积增加,其中饲草料作物种植面积增加了 15.4%,农牧业种植业结构趋于合理化。畜牧业牲畜数量由原

来的 814 万头(只)调整为 678 万头(只),林地面积 殖面积由原来的 15 hm² 调整为 70 hm²,经过农牧业
由原来的 9.11 万 hm² 调整为 131.73 万 hm²,水产养 产业结构优化调整,林渔业得到进一步发展。

表 6 区域节水型农牧业产业结构优化模型非劣解
Table 6 Non-inferior solutions of optimization model for regional water-saving
industrial structure of farming and animal husbandry

非劣解序号 Non-inferior solutions	优化变量 Optimization variables							
	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	S ₁₈
1	2.29	2.008	9.819	1.135	8.888	3.023	14.535	6.838
2	2.31	1.981	9.836	1.616	8.414	3.366	13.539	7.192
3	1.982	1.481	9.789	1.126	7.997	3.314	13.656	6.648
4	2.098	1.827	9.839	1.129	8.539	3.272	13.664	6.943
5	2.133	1.842	9.785	1.275	8.364	3.31	15.056	6.937
6	2.195	1.851	9.822	1.295	8.356	3.392	13.544	6.99
7	2.210	1.906	9.730	1.339	7.332	3.255	12.277	6.744
8	2.374	1.677	9.731	1.388	7.857	3.282	11.289	6.897
9	2.603	1.932	9.814	1.509	8.414	3.365	13.720	7.232
10	2.293	2.088	9.830	1.566	8.352	3.317	13.272	6.921
11	2.096	2.027	9.826	1.189	8.082	3.124	13.484	7.225
12	2.071	2.045	9.981	1.147	8.801	2.851	12.186	6.675
13	1.979	1.772	9.770	1.247	8.083	2.831	12.281	6.448
14	2.291	2.056	9.820	1.442	8.553	3.122	14.246	6.850
15	2.401	1.760	9.815	1.484	8.379	3.242	13.754	7.242
16	1.983	1.738	9.795	1.252	8.001	3.280	13.646	7.169
17	2.127	1.742	9.799	1.201	8.280	3.021	12.947	7.033
18	2.487	2.061	9.808	1.188	8.354	3.243	13.592	6.851
19	2.175	1.871	9.799	1.320	8.328	3.199	13.512	7.996
20	2.141	1.724	9.798	1.185	8.254	3.069	13.012	7.732

非劣解序号 Non-inferior solutions	优化变量 Optimization variables					
	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃	S ₂₄	S _i	S _j
1	9.667	500.514	50.403	117.819	131.729	0.007
2	13.021	361.241	62.972	110.846	130.169	0.006
3	9.181	238.999	49.137	95.721	130.141	0.005
4	10.113	176.114	48.355	113.679	130.196	0.005
5	9.756	367.356	51.087	109.172	130.653	0.007
6	10.091	251.832	55.19	104.949	130.161	0.005
7	10.058	144.421	52.877	107.462	130.142	0.005
8	11.594	169.197	47.864	109.98	130.137	0.005
9	13.083	333.727	55.837	136.87	130.184	0.006
10	11.473	155.976	51.547	134.58	130.161	0.005
11	11.183	158.934	62.477	110.985	130.142	0.005
12	9.26	263.407	41.589	105.707	130.225	0.006
13	10.137	160.896	41.029	112.735	130.142	0.005
14	9.865	419.97	50.605	133.166	130.376	0.006
15	11.233	324.79	53.42	121.149	130.187	0.006
16	9.713	320.154	49.756	115.287	130.164	0.005
17	12.424	307.715	42.735	106.126	130.157	0.006
18	12.191	439.215	50.487	128.422	130.362	0.006
19	10.104	383.683	51.182	118.646	130.192	0.005
20	12.484	159.08	48.271	129.402	130.160	0.005

表 7 模型计算结果检验

Table 7 Verification of model calculation results

序号 Serial number	项目 Item	计算值 Calculated value	约束条件 Constraints
1	耕地面积 Arable land area	48.54	小于 Less than 48.72
2	林地面积 Forestland area	131.73	大于 Greater than 130.13
3	水产养殖面积 Aquiculture area	0.01	大于 Greater than 0.00
4	粮食安全 Food Security	26.63	大于 Greater than 18.02
5	作物产量 - 青贮玉米 Crop yield: silage maize	724.57	大于 Greater than 512.63
6	作物产量 - 紫花苜蓿 Crop yield: alfalfa	89.58	大于 Greater than 81.37
	牲畜产量 - 牛 Animal products: beef	2.09	大于 Greater than 1.82
	牲畜产量 - 羊 Animal products: mutton	20.02	大于 Greater than 1.82
	牲畜产量 - 猪 Animal products: pork	2.67	大于 Greater than 1.82
	牲畜产量 - 禽 Animal products: poultry	1.41	大于 Greater than 0.99
7	生态条件 Ecological conditions	15.18%	大于 Greater than 15.00%
8	均衡条件 Equilibrium conditions	满足 Satisfaction	大于 Greater than 最小种植面积 The minimum acreage
9	非负条件 Non - negative conditions	满足 Satisfaction	大于 Greater than 0

优化调整前后作物种植比例变化情况见图 1 和图 2。从图中可知:小麦种植比例由原来的 3.6% 调整为 4.7%;玉米种植比例由原来的 44.6% 调整为 4.1%;薯类种植比例由原来的 1.9% 调整为 20.2%;油料作物种植比例由原来的 7.8% 调整为 2.3%;豆类种植比例由原来的 1.8% 调整为 18.3%;蔬菜种植比例由原来的 2.0% 调整为 6.2%;青贮玉米种植比例由原来的 29.1% 调整为 29.9%,紫花苜蓿种植比例由原来的 9.2% 调整为 14.3%。

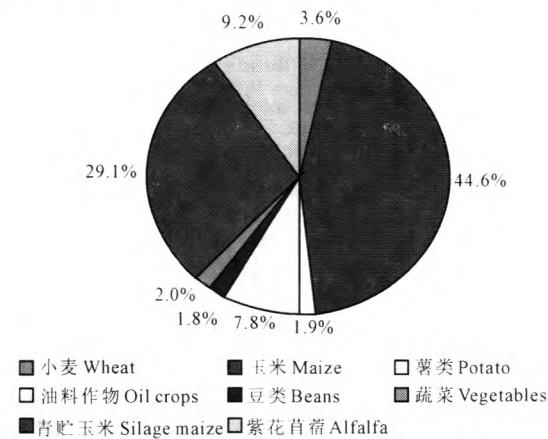


图 1 优化调整前作物种植比例

Fig.1 Proportion of crop cultivation before optimal adjustment

4 结 论

本文针对农业产业结构存在的不合理因素,所导致的农业经济效益不高、用水结构不合理和用水浪费问题,从节水的角度出发,以农业用水量最小和经济效益最大作为目标函数,在满足粮食总产量、其它各类作物产量和其他社会需求的基础之上,建立

节水型农业产业结构优化模型,得出作物总种植面积增加了 10.7 万 hm^2 ,粮经饲比例由 50.0:11.7:38.3 调整为 27.1:28.7:44.2,畜牧业牲畜数量减少 136.0 万头(只),林地面积增加 122.6 万 hm^2 ,水产养殖面积增加 55 hm^2 。经过农牧业产业结构优化调整,农牧业种植业结构趋于合理化,林渔业得到进一步发展,提高了农牧业的用水效率,为水资源的合理利用起到重要的作用。

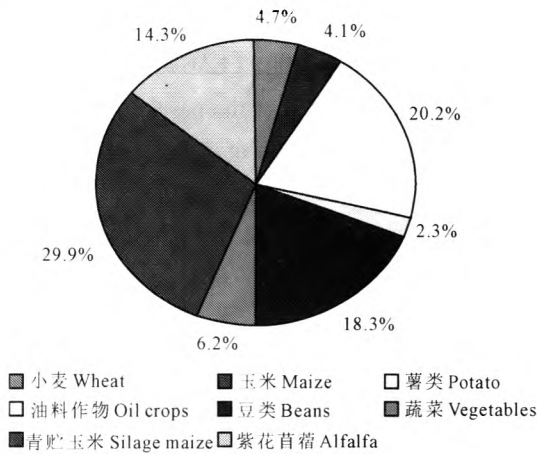


图 2 优化调整后作物种植比例

Fig.2 Proportion of crop cultivation after optimal adjustment

参 考 文 献:

[1] 乔艳芳.我国农业可持续发展的理论与实现措施[J].农机化研究,2005,(3):34-35.

[2] 高明杰.区域节水型种植结构优化研究[D].北京:中国农业科学院,2005.

[3] 贾绍凤,张士锋,夏 军,等.经济结构调整的节水效应[J].水利学报,2004,(3):111-116.

(下转第 235 页)

由表 3 可以看出,移栽株距大于设计株距,但是不同移栽频率情况下,移栽株距区别不大,说明移栽速度对移栽株距的影响不大,土地表层松土壤的厚度及机具内部各部件之间的摩擦力是影响移栽株距的主要原因。漏苗主要是因为间歇喂苗装置向栽植器喂苗失误造成;移栽频率较高时,覆土装置的覆土量增加,埋苗和倒伏现象明显,露苗现象减少;当移栽频率较低时,覆土装置的覆土量减少,出现露苗^[14]。因为移栽机构不与膜面接触,在生产试验的过程中,未发生伤苗和刮破地膜现象。综合考虑移栽频率和覆土情况对移栽质量的影响,及人工投苗长时间工作可承受的能力范围,移栽频率取 55~62 株/(min·行)时是机具正常作业的速度。

4 结 论

1) 针对新疆番茄、线辣椒铺膜移栽需要进行膜上覆土的要求,在吊篮式移栽机构工作原理的基础上,设计了膜上移栽机。膜上移栽机在作业时,间歇喂苗装置的移栽频率在低于 67 株/(min·行)的情况下,喂苗准确率较高,可靠性较好。

2) 田间生产试验表明,无刮破地膜和伤苗现象,移栽株距大于设计株距,影响移栽株距的主要原因是土地表层松土壤的厚度及机具内部各部件之间的摩擦力,移栽频率取 55~62 株/(min·行)时是较为合理的作业速度,移栽合格率达到 92% 以上。因此,膜上移栽机可以较好地适应新疆地区作物膜上

移栽需要膜上成穴和膜面覆土的农艺要求,也符合该机械的设计要求。

参 考 文 献:

- [1] 陈 兵. 中国新疆番茄产业发展现状分析[J]. 新疆财经大学学报, 2011, (3): 16-20.
- [2] 余国新, 张建红. 新疆番茄产业发展与农户种植模式分析[J]. 北方园艺, 2011, (14): 179-182.
- [3] 郝金魁, 张西群, 齐 新, 等. 我国栽植机械研制现状及发展建议[J]. 农机化研究, 2011, 33(7): 222-224.
- [4] 武 科, 陈永成, 毕新胜. 新疆育苗移栽机械化的发展趋势[J]. 农机化研究, 2010, (1): 230-232.
- [5] 李亚雄, 刘 洋, 李 斌, 等. 膜上移栽机: 中国, ZL 201120159178.2[P]. 2012-01-04.
- [6] 北京农业工程大学. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [7] 孙 恒, 陈作模. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [8] 李亚雄, 李 斌, 刘 洋, 等. 一种吊篮式移栽机投苗辅助机构: 中国, ZL 201120459968.2[P]. 2012-04-25.
- [9] 刘洋, 李亚雄, 赵华为, 等. 吊篮式移栽机喂苗机构的设计[J]. 农机化研究, 2010, 32(9): 73-75.
- [10] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [11] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(上)[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [12] 李 革, 艾力·哈斯木, 康秀生, 等. 地膜播种机螺旋覆土滚筒的参数优化[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 135-138.
- [13] 封 俊, 刘清英, 耿贵胜, 等. JB/T 10291-200. 旱地栽植机械[S]. 北京: 机械科学研究院, 2001.
- [14] 张国忠, 许绮川, 潘玉龙, 等. 影响机械移栽钵苗栽植率的因素分析[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(4): 463-466.
- [4] 郑连合, 肖雪梅, 马 迁, 等. 节水灌溉与农业种植结构调整[J]. 河北水利水电技术, 2003, (4): 27-28.
- [5] 官 飞. 华北地区结构型节水种植业模式及途径研究——以北京市顺义区为例[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [6] 李敏强, 寇纪松, 林 丹, 等. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [7] 雷英杰, 张善文, 李继武, 等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- [8] 陈树良, 杨金霞, 袁国敏. 区域产业结构优化模型的设计[J]. 辽宁工业大学学报(社科版), 2008, 10(4): 19-23.
- [9] 代 伟, 张 超, 张雪花. 多目标规划在产业结构优化中的应用——以秦皇岛市为例[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2007, 17(3): 16-19.
- [10] 陈守煜, 马建琴, 张振伟. 作物种植结构多目标模糊优化模型与方法[J]. 大连理工大学学报, 2003, 43(1): 12-15.
- [11] 丁 鑫. 基于遗传算法的区域节水型农业产业结构优化研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2008.
- [12] 韩昀祥. 鄂尔多斯统计年鉴 2009[M]. 鄂尔多斯: 鄂尔多斯市统计局, 2009.
- [13] 水利部牧区水利科学研究所. 鄂尔多斯市节水型社会建设规划[Z]. 鄂尔多斯: 鄂尔多斯市水利局, 2009.
- [14] 内蒙古自治区水利科学研究院. DB15/T385-2009. 内蒙古自治区行业用水定额标准[S]. 呼和浩特: 内蒙古自治区质量技术监督局, 2009.

(上接第 205 页)