

# 基于 VB 的旱作作物种植结构决策支持系统开发

李永涛<sup>1</sup>, 龚道枝<sup>2\*</sup>, 梅旭荣<sup>2</sup>, 张富仓<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业部旱作节水农业重点开放实验室, 北京 100081)

**摘 要:** 以 Jensen 水分生产函数为基础, 运用多目标规划的方法, 建立了旱作条件下小麦、玉米、大豆、马铃薯、高粱等作物种植结构优化系统, 并编制了可视化应用程序。输入多年降雨资料、日照时数、每日最高最低温度、每日风速等基本气象资料以及相关的土壤、作物参数, 就可优化出研究地区主要作物种植比例和结构, 操作简单, 具有实用性。以山西晋中地区为例进行应用, 系统根据多年的降雨资料预测出不同水文年型下每种作物的单产, 在此基础上对种植结构进行了优化, 并与实际结果比较证明其可靠性, 从而对作物种植结构进行优化和指导, 使粮食产量、经济效益、水分利用达到协调统一。

**关键词:** 旱作; 水分生产函数; 可视化语言 VB; 种植结构优化

**中图分类号:** F304.5; F316.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)03-0090-06

## 1 概 述

中国是一个水资源短缺的国家, 在北方地区尤为突出。据预测北方地区人均水量到 2010 年为 840 m<sup>3</sup>, 到 2030 年为 712 m<sup>3</sup>, 远低于国际公认的人均水量 1 700 m<sup>3</sup> 缺水警戒线<sup>[1]</sup>。而旱作地区水资源短缺更为严重, 制约了社会经济的发展, 使生态环境形势严峻, 因此提高水的利用效率刻不容缓。

提高整个社会经济产业用水效率的途径有两个, 一是依靠科技进步不断变革用水技术; 二是对经济结构进行优化重组, 即耗水多的产业被耗水少的产业所替代<sup>[2]</sup>。当然, 农业产业也不例外。节水高效农业的发展取决于节水科技进步和农业内部结构的调整, 尤其是种植结构优化布局。因此, 依据有限水资源, 进行农业种植结构的调整和优化布局就显得尤为重要, 因其技术成本低, 应用简单易行。

1971 年 Dudley<sup>[3]</sup> 提出了一个模拟动态规划模型, 后来又考虑了来水的随机性, 用模拟模型对种植面积进行了优化; 国外将种植制度的计算机模拟与优化结合起来进行探讨<sup>[4]</sup>; 1995 年 Alizadeh<sup>[5]</sup> 提出了一个在有限水量时作物最优种植模式的 NLP 规划模型。我国从 20 世纪 80 年代开始, 随着节水型农业内涵认识的不断加深, 类似的研究工作开始不断深入。国内也有单位开发了种植制度方面的专家

系统, 如中国农业大学的“农作制度专家优化系统 (ESFS)<sup>[6]</sup>”、何满喜等<sup>[7]</sup> 应用多元统计分析和灰色系统理论等方法对内蒙古自治区种植结构建立数学模型, 提出协调种植结构的建议。苏艳平<sup>[8]</sup> 利用多年的试验数据, 综合考虑区域经济、环境和社会等因素尤其是农业节水对水资源配置的影响, 探讨了河北省大名县马颊河区的种植结构; 陈守煜<sup>[9]</sup> 等在分析了我国农业水资源现状与农业可持续发展关系的前提下, 提出了与农业水资源优化配置密切相关的作物种植结构的多目标模糊优化模型; 宫飞<sup>[10]</sup> 以北京市顺义区为例, 提出并应用结构型节水种植制度优化调整策略; 本文以 VB 语言为基础, 通过多目标线性规划模型对北方旱作地区作物种植结构进行优化, 为种植结构发展方向提供了决策。

## 2 数学模型

(1) 参考作物蒸发蒸腾量 ( $ET_0$ ) 系指高度一致、生长旺盛、完全覆盖地面而不缺水的绿色草地 (8 ~ 15 cm) 的蒸发蒸腾量。有 Penman<sup>[11]</sup> 和 Penman-monteith 公式两种类似方法计算。其中 Penman-monteith 公式为:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

式中,  $ET_0$  为参考作物蒸发蒸腾量 (mm/d);  $R_n$  为作

收稿日期: 2010-01-10

基金项目: 中央基本科研业务费项目 (IEDA200903); 国家自然科学基金项目 (50709040); 国家科技支撑计划项目 (2006BAD29B02, 2007BAD88B03)

作者简介: 李永涛 (1983—), 山东东营人, 硕士研究生, 主要从事节水农业与技术研究。E-mail: liy2008fc@163.com。

\* 通讯作者: 龚道枝 (1976—), 湖南澧县人, 副研究员, 主要从事节水农业与水环境研究。

物表面的净辐射 [ $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ];  $G$  为土壤热通量 [ $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ];  $U_2$  为 2 m 高处的平均风速 ( $\text{m}/\text{s}$ );  $e_s$  为饱和水汽压 ( $\text{kPa}$ );  $e_a$  为实际水汽压 ( $\text{kPa}$ );  $\Delta$  为饱和水汽压与温度曲线的斜率 ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ );  $\gamma$  为干湿表常数 ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ )。这些量都可以通过纬度、高程、风速、最高温度、最低温度、湿度、日照时数基本量求得。

(2) 作物潜在产量 ( $Y_{mp}$ ) 光温生产潜力的计算采用联合国粮农组织 (FAO) 农业生态区域法<sup>[12]</sup>(AEZ), 估算式为:

① 当  $Y_m \geq 20[\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$  时

$$Y_{mp} = CL \cdot CN \cdot CH \cdot G \{ F(0.8 + 0.01 Y_m) Y_0 + (1 - F)(0.05 + 0.025 Y_m) Y_c \} \quad (\text{kg}/\text{hm}^2) \quad (2)$$

② 当  $Y_m < 20[\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$  时

$$Y_{mp} = CL \cdot CN \cdot CH \cdot G \{ F(0.5 + 0.025 Y_m) Y_0 + (1 - F)(0.05 Y_m) Y_c \} \quad (\text{kg}/\text{hm}^2) \quad (3)$$

式(2)、(3)中,  $CL$  为作物生长和叶面积校正系数;  $CN$  为干物质生产校正系数, 为了维持干物质生产, 植株需要能量供给内部生长过程(呼吸作用), 剩余能量才能用于新的生长, 这种新的生长对凉气候下(平均温度  $< 20^\circ\text{C}$ )的作物  $CN$  为 0.6, 对暖气候下(平均温度  $> 20^\circ\text{C}$ )的作物  $CN$  为 0.5;  $CH$  为收获指数校正数;  $G$  为全生育期 ( $\text{d}$ );  $F$  为白天中的阴天部分,  $F = (R_{**} - 0.5 R_s) / 0.8 R_{**}$ , 其中  $R_{**}$  为晴天短波入射最大有效辐射量 [ $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ],  $R_s$  为测量的实际短波入射辐射量 [ $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ];  $Y_m$  为在一定气候下某种作物的叶片最大干物质总生产率 [ $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ];  $Y_0$  为一定地方某种标准作物在全阴天中的干物质总产量 [ $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$ ];  $Y_c$  为一定地方某种标准作物在全晴天(无云)中的干物质总生产率 [ $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$ ]。这些量都可以通过平均温度、叶面积指数和一系列校正系数求得。

(3) 水文年型的划分<sup>[13,14]</sup> 根据多年降雨资料对作物生育期内的水文年型进行划分如下:

$$\text{平水型: } \bar{p} - (s/\sqrt{n})t_{0.5} \leq p \leq \bar{p} + (s/\sqrt{n})t_{0.05} \quad (4)$$

$$\text{丰水年: } \bar{p} + (s/\sqrt{n})t_{0.05} < p < \max \quad (5)$$

$$\text{缺水年: } \min < p < \bar{p} - (s/\sqrt{n})t_{0.5} \quad (6)$$

式(4)~(6)中:  $p$  为各种水文年型下的降雨量的取值范围;  $\bar{p}$  为所给资料各年作物生育期时间内的降雨量值的平均值 ( $\text{mm}$ );  $\max$ 、 $\min$  分别为所给资料各年作物生育期时间内的降雨量的最大值、最小值 ( $\text{mm}$ )。

(4) 水分生产函数(Jensen 模型) 由每种作物

各生育期的潜在产量、作物蒸发蒸腾量及作物实际耗水量, 根据水分生产函数可以求得每种作物的单位面积产量。水分生产函数如下:

$$Y_w = Y_{mp} \cdot \prod_{i=1}^n \left( \frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i} \quad (7)$$

式中:  $Y_w$  表示作物的水分生产潜力 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $Y_{mp}$  表示光温生产潜力 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $ET_{ai}$  表示第  $i$  生育阶段的实际耗水量 ( $\text{mm}$ );  $ET_{mi}$  表示第  $i$  阶段的作物需水量 ( $\text{mm}$ );  $\lambda_i$  表示作物第  $i$  阶段的水分敏感指数<sup>[15]</sup>;  $n$  表示作物生育阶段总数<sup>[15]</sup>。

(5) 种植结构多目标函数和约束条件<sup>[16]</sup> 按照目标构思, 选取粮食总产、经济效益、用水量总和等指标, 综合考虑, 统筹兼顾。运用多目标函数规划的方法(求多目标的最优隶属度和权重等)可求得作物最优种植结构。其目标函数和约束条件如下。

$$\text{目标函数} \begin{cases} f_1 = \max \left( \sum_{i=1}^m y_i \cdot s_i \cdot p_i \right) \\ f_2 = \max \left( \sum_{i=1}^m y_i \cdot s_i \right) \\ f_3 = \min \left( \sum_{i=0}^m ET_{ai} \cdot s_i \right) \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{约束条件} \begin{cases} \sum_{i=1}^m s_i = S \\ \sum_{i=1}^m y_i \cdot s_i \geq R \\ d_i \leq y_i \cdot s_i \leq h_i \end{cases} \quad (9)$$

式(8)~(9)中:  $f_1$  表示经济效益(元);  $f_2$  表示产量效益 ( $\text{kg}$ );  $f_3$  表示作物耗水量 ( $\text{m}^3$ );  $m$  表示作物种类;  $y_i$  表示第  $i$  种作物的单产 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $d_i$  表示第  $i$  种作物最低需求量 ( $\text{kg}$ );  $h_i$  表示第  $i$  种作物最高需求量;  $R$  表示农产品最少需求量;  $p_i$  表示第  $i$  种产品的价格 (元 /  $\text{kg}$ );  $s_i$  表示第  $i$  种作物最优种植面积 ( $\text{hm}^2$ );  $S$  表示种植总面积;  $ET_{ai}$  为第  $i$  种作物全生育期耗水量。

### 3 决策系统的基本框架及其可视化应用程序开发

基于 VB 6.0 具有面向对象的可视化设计工具、事件驱动的编程机制和结构化程序设计语言等特点, 编制可视化的作物种植结构优化决策支持系统。系统由多个模块和界面组成, 通过综合分析可得出某个地区的产量、耗水量、经济效益协调统一的种植模式(图 1)。

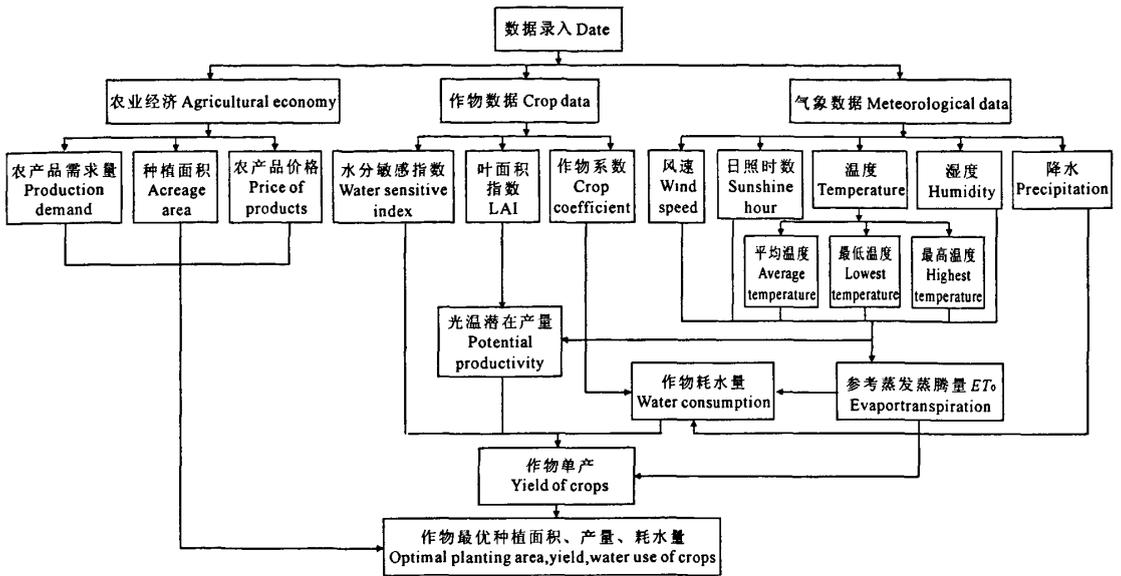


图 1 系统模型的基本框架

Fig.1 Sketch of system mode

3.1 系统的组成

本系统以 Microsoft Visual Basic 6.0 为主要编程语言,由气象资料模块、作物模块、农业概况模块、模型模块和人机接口四部分组成。

3.1.1 气象数据模块 气象数据模块存储不同年份全年逐日气象数据,主要包括地区名称、日期、纬度、高程、日照时数、最高温度、最低温度、平均温度、相对湿度、风速、降水量等。

3.1.2 作物模块 作物模块主要存储所研究地区的作物系数、水分敏感指数及叶面积指数等。

3.1.3 农业概况模块 农业概况模块主要包含了研究地区对农产品的最低需求量、最高需求量、种植总面积、农产品价格等参数。

3.1.4 模型模块 模型模块主要包括了作物蒸发蒸腾量模型、作物光温潜在产量模型、Jensen 水分生产力模型、多目标规划模型。

3.1.5 人机接口 系统的人机界面主要有主窗口、子窗口、对话框和窗体控件 4 部分组成。主窗口负责引导用户选择功能菜单;子窗口用于接受用户信息输入和显示模型运行结果;对话框主要给用户系统运行中的出错信息;窗体控件所提供的下拉菜单、工具条等可与用户进行交互,用户只要根据屏幕提示,通过简单的鼠标点击或快捷键敲击进行逐级菜单的选择,即可完成系数界面的参数输入、模型运行结果与决策信息的生成。

3.2 系统的主要功能与技术原理

结合可视化语言 VB<sup>[17,18]</sup> 实现了对文件的管理、作物蒸发蒸腾量计算(图 2)、光温潜在产量计算(图 3)、水分生产力计算(图 4)、种植制度设计(图 5)及系统帮助等功能。通过分析预测可使粮食产量、经济效益、水分利用效率得到有机地统一,从而形成一个稳定且应变的种植结构系统。



图 2 参考作物蒸发蒸腾量计算界面

Fig.2 Operating system interface of ET<sub>0</sub>



图 3 光温潜在产量计算界面

Fig.3 Operating system interface of potential production of light and temperature

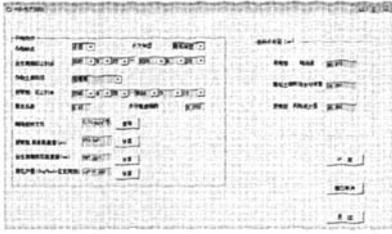


图 4 作物水分生产力界面

Fig.4 Interface of crop water productivity

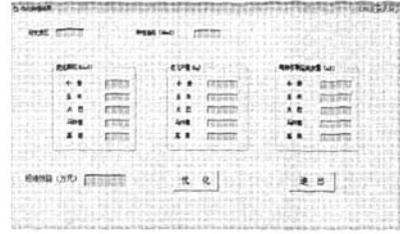


图 5 种植结构优化结果

Fig.5 Optimized results of planting structure

### 4 可视化决策支持系统的应用

系统以山西晋中地区为例进行应用。根据对未来的气象预计可以预测水文年型,那么将预测的水文年型代入确定每种作物生育期内的降雨量,如果气象预测的水文年型与实际相符,由此优化的结果

将是最合理的,如果不好预测,系统可以选取随机年型,这样得到的结果是更趋于稳定的。系统所需的基本资料如表 1,假设系统选取随机年型,根据 1971~2004 年 34 a 气象资料分别预测小麦、玉米、高粱、马铃薯、大豆单产及应变型种植结构,提供 5 种作物最优种植面积、产量、水分利用量。

表 1 山西晋中地区系统所需参数<sup>[15]</sup>  
Table 1 Required parameters of system at Jinzhong area, Shanxi

作物名称 Name of crops	生育阶段 Growing stages	起止日期 Date of beginning to end (m - d ~ m - d)	水分敏感指数 $\lambda_i$	作物系数 $K_c$	价格(元/kg) Price (Yuan/kg)
冬小麦 Winter wheat	①	09 - 22 ~ 03 - 10	0.1232	0.83	1.36
	②	03 - 11 ~ 04 - 20	0.1701	0.77	
	③	04 - 21 ~ 05 - 13	0.2300	1.15	
	④	05 - 13 ~ 06 - 01	0.3063	1.16	
	⑤	06 - 02 ~ 06 - 29	0.2107	0.72	
春玉米 Spring corn	①	05 - 01 ~ 06 - 20	0.0425	0.54	1.35
	②	06 - 21 ~ 07 - 10	0.1060	1.18	
	③	07 - 11 ~ 08 - 08	0.2105	1.65	
	④	08 - 09 ~ 09 - 20	0.0943	1.01	
高粱 Sorghum	①	05 - 01 ~ 06 - 25	0.0870	0.27	1.62
	②	06 - 26 ~ 07 - 25	0.1911	1.28	
	③	07 - 26 ~ 08 - 08	0.0921	1.13	
	④	08 - 09 ~ 09 - 20	0.0458	0.89	
马铃薯 Potato	①	04 - 20 ~ 06 - 01	0.0622	0.56	0.55
	②	06 - 02 ~ 07 - 08	0.2432	0.92	
	③	07 - 09 ~ 08 - 05	0.1726	1.25	
	④	08 - 06 ~ 09 - 04	0.2384	1.28	
	⑤	09 - 05 ~ 09 - 20	0.1836	0.84	
大豆 Soybean	①	05 - 01 ~ 05 - 25	0.0567	0.35	2.90
	②	05 - 26 ~ 07 - 25	0.3015	0.75	
	③	07 - 26 ~ 08 - 08	0.3765	1.10	
	④	08 - 09 ~ 09 - 20	0.2458	0.45	

注:对冬小麦,①~⑤分别代表:苗期,拔节期,抽穗期,灌浆期,成熟期。对春玉米,①~④分别代表:苗期,拔节期,抽穗期,成熟期;对高粱,①~④分别代表:苗期,拔节期,抽穗期,扬花灌浆期。对马铃薯,①~⑤分别代表:发芽期,幼苗期,块茎增长期,淀粉积累期,成熟收获期。对大豆,①~④分别代表:苗期,开花期,结荚期,鼓粒期。

Notes: Winter wheat, ①~⑤ represent seeding, reviving, elongation, tasselling, maturity. Corn, ①~④ represent seeding, reviving, tasselling issue, maturity. Sorghum, ①~④ represent seeding, reviving, elongation, flowering grain-filling stage. Potato, ①~⑤ represent germination, seedlings, tubers period, starch accumulation, harvest. Bean, ①~④ represent seeding, flowering, podding, drums particle.

假定晋中地区 2005 年的水文年型为随机年型, 结合输入的参数, 并运用模型, 可以求得晋中地区在 2005 年冬小麦、春玉米、高粱、大豆、马铃薯等 5 种主要作物最优种植面积、产量及作物总耗水量(表 2)。由表 2 可以看出, 2005 年晋中地区的作物优化种植结构与实际种植结构基本吻合, 但稍有偏差。经综合分析, 应当增加马铃薯和高粱的种植面积; 考虑产量和经济效益, 应当适当减少大豆种植面积, 增加

玉米的种植面积; 由于小麦是高耗水作物, 且产量和经济效益一般, 因此应使小麦的种植面积满足作物最低需求量的要求。通过调整种植结构, 可使产量提高 39.8%, 耗水量减少 0.75%, 经济效益提高 22.4%, 从而使产量、经济效益、作物耗水得到协调统一, 有利于提高农业综合效益, 并且该种植结构具有应变性和稳定性。

表 2 山西晋中地区作物种植结构优化结果

Table 2 Optimized planting structure in Jinzhong area of Shanxi

作物种类 Kind of crops	优化面积 Optimized area (10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> )	优化产量 Optimized yield (10 <sup>8</sup> kg)	作物总耗水量 Total water requirement of crop (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	产值 Production (10 <sup>8</sup> Yuan)	实际种植面积 Actual planting area(10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> )	实际产量 Actual yield (10 <sup>8</sup> kg)	实际耗水量 Actual water requirement of crop (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	产值 Production (10 <sup>8</sup> Yuan)
冬小麦 Winter wheat	2.87	1.00	11.49	1.36	3.82	1.25	15.29	1.70
春玉米 Spring corn	16.00	9.33	52.04	12.60	15.55	9.00	50.58	12.15
高粱 Sorghum	1.45	0.74	4.36	1.20	0.57	0.30	1.72	0.49
马铃薯 Potato	2.13	7.99	4.04	4.39	1.68	0.72	6.04	0.39
大豆 Soybean	1.33	0.27	7.65	0.78	2.16	0.36	6.58	1.04
合计 Sum	23.78	19.33	79.60	20.33	23.78	11.63	80.20	15.78

## 5 结 论

以 Jensen 水分生产函数为基础, 运用动态规划的方法, 建立了华北地区旱作条件下冬小麦、春玉米、高粱、大豆、马铃薯作物种植结构, 较好地解决了如何合理安排作物种植结构从而取得最大综合效益的问题, 并且编制了可视化的程序, 用户只需输入不同地区对应的参数, 就可优化出与该地区相适应的作物种植结构, 操作简单具有实用性。以山西晋中地区为例, 根据晋中 1971~2004 近 34 a 的降雨资料, 对晋中 2005 年冬小麦、春玉米、高粱、大豆、马铃薯种植结构进行了优化, 优化结果基本体现了“压夏扩秋”的种植思路, 与实际情况略有偏差, 但基本一致。

为完善这个系统, 用户可以用不同模型(如 Penman 公式、机制法求生产潜力等)来优化作物种植结构, 得出优化结构和本文优化结果进行比较, 从而确定旱作地区最优种植结构。

### 参 考 文 献:

[1] 刘昌明, 陈志恺. 中国可持续发展水资源战略研究报告集(第 2 卷): 中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.

[2] 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—118.

[3] Dudley N, Howel D, Musgraves W. Optimal intra seasonal irrigation water allocation[J]. Water Resources Research, 1971, 7(4): 770—

788.

[4] Tasi T T. Optioning multiple cropping system simulation studies[J]. Agricultural System, 1987, 25: 165—176.

[5] Alizadell. Interior point methods in semi-definite programming with applications to combinatorial optimization[J]. SIAM Journal of Optimization, 1995, 5(1): 13—51.

[6] 郭向东. 区域农业发展专家决策支持系统的设计[D]. 北京: 北京农业大学, 1993.

[7] 何满喜, 刘向东. 内蒙古自治区种植结构优化模型及现状分析[J]. 干旱地区农业研究, 2000, (9): 70—75.

[8] 苏艳平. 河北省大名县故河道沙土类型区水资源优化配置研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2002.

[9] Ma Jianqin, Chen Shouyu, Qiu Lin. A multi-objective fuzzy optimization model for cropping structure and water resources and its methods[J]. Agricultural Science and Technology Newsletter, 2001, (1): 5—10.

[10] 宫 飞. 华北地区结构型节水种植业模式及研究途径—以北京顺义区为例[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.

[11] 柳云龙, 吕 军, 郑丽波. 土壤水分平衡与作物生长模拟模型的开发与验证[J]. 农业工程学报, 2007, 12: 171—172.

[12] Higgins G M, Georg G. Regional assessment of land potential: A follow up to the FAO[J]. Nature and Resources, 1981, 17(4): 11—23.

[13] 张景林, 王留芳. 宁南半干旱地区农田水分平衡与应变型种植制度研究[D]. 杨凌: 西北农业大学, 1995.

[14] 王龙昌, 王立祥. 宁南旱区抗旱应变种植制度决策系统研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(5): 235—240.

[15] 王仰仁, 孙小平. 山西农业节水理论与作物高效用水模式[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.

[16] 阳明盛, 罗长童编著. 最优化原理方法及求解软件[M]. 北京:

科学出版社,2006.

[18] 梁芳,杨光,李青,等. Visual Basic 程序设计案例教程

[17] 彭波. Visual Basic 编程技术全接触[M]. 北京:清华大学出版社,2008.

[M]. 北京:清华大学出版社,2006.

## A visual decision support system for optimizing planting structure of dryland crops

LI Yong-tao<sup>1</sup>, GONG Dao-zhi<sup>2\*</sup>, MEI Xu-rong<sup>2</sup>, ZHANG Fu-cang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Key Laboratory of Dryland Agriculture, MOA, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Based on Jensen model of water production function, using the multi-objective program methods and Visual Basic 6.0, a visual decision support system was developed to optimize planting structure of dryland crops, such as wheat, corn, soybean, potato, sorghum and other crops. The users can input related data (multi-year rainfall, sunshine hours, daily maximum and minimum temperature, daily wind speed, etc.) and other basic parameters (soil, crops), and can optimize the structure of the main crops. Its operation is simple and practical. Its application was conducted in Jinzhong area in Shanxi, each crop's yield was predicted based on multi-year rainfall data under different types of year. Compared with the actual results, it proved to be reliable, so it can optimize and guide the crop planting structure and area, while uniting food production, economic benefits and water use.

**Keywords:** dryland agriculture; water production function; visual basic; optimizing planting structure

(上接第78页)

## Simulation research on the effects of different rotation sequences on crop yield at Changwu arid-plateau

WANG Xue-chun<sup>1</sup>, LI Jun<sup>1,2</sup>, REN Jing-jing<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Simulation results of EPIC model were analysed after the simulation of different rotation sequences. Considering grain yield, economic benefit, water stress days and productivity rate of N fertilizer generally, different rotation sequences were assessed, then the advantage and disadvantage were compared. The results showed that: (1) The average grain yield of 8 rotation sequences was 4.61, 4.40, 4.16, 4.48, 4.28, 4.29, 4.71 and 4.55 t/hm<sup>2</sup> respectively and a downward trend appeared during the simulation period. Considering economic benefit, spring maize-winter wheat was the best rotation sequence. (2) Water stress days, suffered by spring maize and winter wheat, of R2 (spring maize-winter wheat-winter wheat) was the least (29.51 days average) among 8 rotation sequences. Winter wheat was more susceptible to water stress than spring maize in the rotation system. The value of productivity efficiency of N fertilizer in R1 (spring maize-winter wheat) was the greatest among all rotation sequences. Taking grain yield, economic benefit, water stress days and productivity rate of N fertilizer into account, the appropriate rotation sequence was R1 (spring maize-winter wheat) on Changwu arid-plateau.

**Keywords:** rotation system; EPIC model; crop yield; Changwu arid-plateau