

农林复合系统结构优化的研究*

辛学兵 陈建业 孟平

摘要 对河北饶阳试区的土地利用方案和 10 种类型的果—农间作体系的合理配置进行了研究, 通过计算机数据处理, 从中筛选出优化的结构模式和土地利用方案。结果表明: ①农林复合生态系统中土地优化利用方案的规划应该考虑市场的价值变动, 还应该考虑到在林木的生长前期投入与经济效益的问题。②发展的农、林产品有梨树、油菜和棉花。③雪花梨和鸭梨为主的模式, 其最佳栽植模式是株行距为 $3\text{ m} \times 5\text{ m}$, 两行或三行为一带, 带距为 30 m 。④果—农模式体系中农作物品种的配置以小麦—蔬菜组合为最好, 产投比为 $2.7:1$; 其次为油菜—蔬菜组合; 粮食类较好组合有小麦—薯类、小麦—玉米、小麦—谷子、小麦—黄豆、油菜—玉米等。

关键词 农林复合系统 土地优化利用 优化模式

农林复合系统是一个包含农、林、牧、副等多种产业的人工生态系统, 目前我国平原地区已得到了大规模的发展。实践证明, 农林复合系统对改善农业生态环境和农业种植结构、促进农村经济的发展以及增加农民的收入, 起到了十分显著的作用。但是, 现阶段农林复合系统的发展中也存在着一些问题, 其中最突出且又具有共性的问题就是土地的非优化利用, 即种植安排的随意性。生产经营活动由市场的波动和传统的种植制度来决定, 而不是依靠科学的方法来进行生产经营活动的安排。如何通过科学的规划达到优化利用土地, 安排农、林、牧的种植结构, 引导农民进行合理的生产经营活动, 是农林复合系统今后能稳定发展的关键。多年以来, 一些科技人员在研究、探讨和总结这种模式的结构配置、综合效益以及经营管理方面已经做了大量的工作^[1~3], 但对不同栽培密度、间作带距、农作物种植种类和不同季节农作物的配置研究不多, 而这一部分恰是调整土地利用、优化模式结构的一个重要步骤。

1 试验地概况

试验地设在华北平原北部的河北省饶阳县, 地理位置在 $38^{\circ}04' \sim 38^{\circ}21' \text{ N}$, $115^{\circ}33' \sim 115^{\circ}53' \text{ E}$ 。试验示范区选择在具有代表性的官亭乡。该地区属温带大陆性气候, 降水量集中在 6~8 月, 年降水量为 534 mm , 而年蒸发量为 $1\,907.7\text{ mm}$, 相当于降水量的 3.7 倍, 其中春季蒸发量为降水量的 12.7 倍。地下浅层水大部分为咸水, 含盐量为 $0.080\% \sim 1.389\%$, 矿化度在 $2 \sim 3\text{ g/L}$, 不利于灌溉。土壤以沙壤质脱盐潮土和沙壤质轻度盐化潮土为主, 土壤有机质含量为 $0.48\% \sim 0.71\%$, 水解 N 含量为 $19.9 \sim 28.1\text{ mg/kg}$, 速效 P 为 $0.5 \sim 2.0\text{ mg/kg}$ 。

试验区在 1990 年以前, 主要以综合防护林体系为主的农田生态系统。林网面积 $13 \sim 20\text{ hm}^2$, 防护林主林带长 $520 \sim 590\text{ m}$, 4 行为一带, 株行距为 $4\text{ m} \times 3\text{ m}$, 树种以毛白杨 (*Populus*

1997—01—16 收稿。

辛学兵助理研究员, 陈建业, 孟平(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

* 本文系“八五”国家科技攻关“农林复合系统结构与功能研究”专题的部分内容。

tomentosa Carr.) 为主, 林龄 6 a, 平均树高 9.6 m, 胸径 15.64 cm; 副林带长 200 ~ 350 m, 2 ~ 4 行为一带, 株行距为 4 m × 3 m, 树种以旱柳(*Salix matsudana* Koidz.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.) 为主, 林龄 6 a, 平均树高分别是 8.4 m 和 6.6 m, 胸径分别是 13.23 cm 和 8.41 cm。从 1991 年开始, 在林网内进行了以果—农模式为主的农林复合系统研究, 主要的果树品种为苹果、桃树、雪花梨和鸭梨, 目前试验面积为 850 hm², 其中耕地 636 hm², 渠路面积为 1.1 hm², 人口 4 802 人。特别是近几年梨树种植发展过快, 占用大量的农田, 虽然经济效益上去了, 但因基本农田的占用, 却减少了农作物的种植面积, 特别是棉花的种植面积, 直接影响了国家的收购任务。此外试验区还保留部分畜牧业, 其经济利益不是很高, 从长远来看, 畜牧业生产也影响试验区经济效益的增长。

2 研究方法(灰色关联分析)^[4]

在某属性下, 设有定量因素 X_i 所构成的指标数据列:

$$\{X_i\} = \{X_{i(1)}, X_{i(2)}, \dots, X_{i(n)}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

首先确定此属性的最优参考数据列:

$$\{X_0\} = \{X_{0(1)}, X_{0(2)}, \dots, X_{0(n)}\} = \{X_{i(1)}, X_{j(2)}, \dots, X_{k(n)}\}, \quad i, j, \dots, k \in [1, m],$$

其中 $\{X_0\}$ 中的因素是被比数据列中的最佳值。

然后依据下列公式求出 $\{X_i\}$ 对 $\{X_0\}$ 在第 k 个因素上的关联系数。

$$J_{i(k)} = \frac{\min_i \min_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}| + 0.5 \max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}{|X_{0(k)} - X_{i(k)}| + 0.5 \max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}$$

在此属性下各定量 X_i 对于最优参考数据列的关联度, 由下列公式求出:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n J_{i(k)} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

根据关联度大小排序, 得到此属性下定量因素 X_i 的优劣次序。

3 结果与分析

3.1 农林复合系统中土地优化利用方案的选择

3.1.1 生产经营方式的选择和约束方程的建立 根据饶阳试区农林复合系统发展的历史资料分析^[5], 与土地利用有关的生产经营种植面积有以下 18 种: X_1 ——防护林, X_2 ——用材林片林, X_3 ——畜牧业, X_4 ——苹果, X_5 ——梨树, X_6 ——桃树, X_7 ——葡萄, X_8 ——小麦, X_9 ——油菜, X_{10} ——西瓜, X_{11} ——玉米, X_{12} ——谷子, X_{13} ——高粱, X_{14} ——豆类, X_{15} ——薯类, X_{16} ——花生, X_{17} ——棉花, X_{18} ——蔬菜。

根据该试验示范区的自然条件、人口分布和经营条件的总体经营规划的要求, 列出以下约束方程:

- (1) 防护林种植面积不大于 51 hm² ($X_1 \leq 51$);
- (2) 小片用材林种植面积小于 44 hm² ($X_2 \leq 44$);
- (3) 畜牧业占有面积不大于 28.2 hm² ($X_3 \leq 28.2$);
- (4) 苹果种植面积不小于 10 hm² ($X_4 \geq 10$);
- (5) 梨树种植面积不小于 30 hm² ($X_5 \geq 30$);

- (6) 桃树种植面积不小于 $10 \text{ hm}^2 (X_6 \geq 10)$;
- (7) 葡萄种植面积不小于 $5 \text{ hm}^2 (X_7 \geq 5)$;
- (8) 林业、畜牧业面积约束。 $X_1 + \dots + X_7 \leq 212.9$;
- (9) 小麦种植面积不小于 $556 \text{ hm}^2 (X_8 \geq 556)$;
- (10) 油菜种植面积不小于 $9 \text{ hm}^2 (X_9 \geq 9)$;
- (11) 西瓜种植面积不大于 $15 \text{ hm}^2 (X_{10} \leq 15)$;
- (12) 夏熟作物面积约束。 $X_8 + X_9 + X_{10} \leq 636$;
- (13) 玉米种植面积不小于 $256 \text{ hm}^2 (X_{11} \geq 256)$;
- (14) 谷子种植面积不小于 $17 \text{ hm}^2 (X_{12} \geq 17)$;
- (15) 高粱种植面积不大于 $10 \text{ hm}^2 (X_{13} \leq 10)$;
- (16) 豆类种植面积不大于 $21 \text{ hm}^2 (X_{14} \leq 21)$;
- (17) 薯类种植面积不大于 $30 \text{ hm}^2 (X_{15} \leq 30)$;
- (18) 花生种植面积不大于 $88 \text{ hm}^2 (X_{16} \leq 88)$;
- (19) 棉花种植面积不小于 $200 \text{ hm}^2 (X_{17} \geq 200)$;
- (20) 蔬菜种植面积不大于 $10 \text{ hm}^2 (X_{18} \leq 10)$;
- (21) 秋熟作物面积约束。 $X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} \leq 636$ 。

3.1.2 规划变量所需价值系数的调整 一般规划的方法是以规划变量的最新年份的价值系数来实现规划模型目标优化的,它没有考虑到市场供求状况所引起的价值变动,特别是对一些季节性强的农、林产品,没有考虑到风险性^[3,6]。另外象用材林、防护林、果树等林木还存在着幼林时期无经济收益的问题,这就使得一般规划方案不能在时间序列上考虑周全。为了更好地做出农林复合系统土地优化利用方案,根据近几年来农、林产品的销售价格(见表1),对规划变量所需的价值系数进行了调整。方法如下:

表1 1990~1994年不同农、林产品的销售价格 (单位:元/t)

产品名称	1990年	1991年	1992年	1993年	1994年
防护林(元/m ³)	350	360	380	430	500
用材林(元/m ³)	350	360	380	430	500
苹果	1 000	1 200	1 200	1 000	1 000
梨树	700	800	1 000	1 000	900
桃树	300	500	500	500	500
葡萄	1 000	1 400	1 200	600	1 200
小麦	540	558	710	695	1 163
油菜	1 370	1 370	1 370	1 400	2 600
西瓜	220	130	130	160	200
玉米	367	409	447	664	983
谷子	382	520	600	712	1 000
高粱	412	460	490	610	800
豆类	1 063	1 141	1 514	1 640	1 900
薯类	337	600	800	640	800
花生	1 383	1 541	1 600	2 123	3 000
棉花	6 900	6 216	6 000	8 000	10 800
蔬菜	200	200	160	160	800

(1) 农产品价值系数的调整。首先利用下式计算单位面积产品的纯收益(NR_i):

$$NR_i = P_i Y_i - C_i \quad (1)$$

其中: i 为农产品序号, 共 i 种; P_i 为第 i 种农产品单价; Y_i 为第 i 种农产品的单位面积产量; C_i 为第 i 种农产品的单位面积生产成本。

规划中单位面积产品的纯收益利用以往资料的均值($\overline{NR_i}$)来推算。

$$\overline{NR_i} = \frac{1}{n} \sum_{T=1}^T NR_{iT} \quad (2)$$

其中: NR_{iT} 为第 i 种农产品第 T 年的单位面积纯收益, n 为样本数。

(2) 林副产品价值系数的调整。防护林及用材林从 1984 年栽培时算起, 果树从 1987 年栽培时算起。首先利用(1)式计算单位面积林副产品的纯收益。然后利用(2)式计算规划中所需的单位面积产品的纯收益。

(3) 优化目标函数的建立。经过计算, 优化目标函数设置如下: $\max Z = 16\ 800X_{1+} + 25\ 600X_{2+} + 6\ 800X_{3+} + 8\ 512X_{4+} + 15\ 600X_{5+} + 2\ 200X_{6+} + 12\ 680X_{7+} + 3\ 281X_{8+} + 4\ 220X_{9+} + 5\ 200X_{10+} + 2\ 897X_{11+} + 2\ 435X_{12+} + 2\ 157X_{13+} + 3\ 700X_{14+} + 1\ 530X_{15+} + 4\ 700X_{16+} + 3\ 825X_{17+} + 13\ 250X_{18}$ 。

3.1.3 土地优化利用方案的确立 根据上述约束方程和目标函数, 我们采用一般单目标线性规划的方法对饶阳试验示范区的农林复合系统的土地优化利用方案进行了计算。首先计算出线性规划所需的增广矩阵。

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	51	
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	44
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	28.2
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	10
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	30
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	10
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	5
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	212.9
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	556
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	636
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	256
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	17
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	21
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	88
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	200
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	636

把上述调整后的数据输入计算机得出如下结论: 按照此土地优化利用方案规划后, 农林复合生态系统平均每年所能获得的最大纯经济收益为 8 122 248 元。农林复合生态系统的土地面积(hm^2) 优化利用方案如下: 防护林 51, 西瓜 15, 小片用材林 44, 玉米 256, 畜牧业 0, 谷子 17, 苹果 10, 高粱 0, 梨树 92.9, 豆类 0, 桃树 10, 薯类 0, 葡萄 5, 花生 88, 小麦 556, 棉花 265, 油菜 65, 蔬菜 10。

从上述土地利用方案来看, 增加了梨树、油菜和棉花的种植面积, 这主要是从经济效益的角度来考虑的。在当地, 雪花梨和鸭梨一直是主要的经济树种, 果实品质高、销售价格也高, 因此扩大梨树的栽培面积是增加农民经济收入的重要措施之一。通过梨农间作, 在不影响农作物生长的前提下, 增加梨树的种植面积, 既可以提高经济效益, 又可以获得足够的粮食; 夏熟作物中增加了油菜的种植面积; 秋熟作物中增加了棉花的种植面积。油菜和棉花两种农作物是国家

重点扶持发展的农产品,特别是近几年来,这两种农产品的价格得到了大幅度的上扬,农民大面积进行发展是实惠的。反过来,高粱、薯类等农产品市场需求一般,价格不是很高,在此规划中不再占有种植面积,但是种植这两种农作物所需的资金、劳力也是最少的,因此在劳力、资金短缺的情况下,适当地进行一定规模的种植还是可以的。此规划中最显著的就是去掉了畜牧业的发展,究其原因主要是在平原农区单纯发展牧场占地太多,不能达到合理利用土地的目的。但是在平原农区农林复合系统中,畜牧业应占有一定的地位,农民也有饲养牲畜的习惯,要兼顾此目的,合理地发展畜牧业,较好的途径只能是通过发展林下牧场来实现,即在疏林内间作优良牧草,或在林木幼龄期间间作牧草,这样既可以缓和林木短缺的问题,又可以兼顾畜牧业的发展。在此规划中,从农林复合系统建立开始,平均每年所获得的纯收益是 8 122 248 元,在系统的建立初期效益最差,在防护林和用材林进入速生期,以及果树开始结果并形成一定的经济产量后,经济效益迅速增大,按照前面所做的规划分析,此时年纯收益可达 20 283 305 元。

上述规划的方法是以规划变量的价值变量系数来实现规划模型目标优化的,它考虑到了市场供求状况所引起的价值变动,特别是对一些季节性强的农、林产品,考虑到了它们的风险性。另外对于用材林、防护林、果树等林木幼林时期无经济收益的问题,也进行了约束,这就使得规划方案在时间序列上有比较周全的考虑。

3.2 农林复合模式的优化选择

3.2.1 参试模式 供试的果—农模式主要有梨—粮、桃—粮、苹果—粮等不同密度配置模式共 10 种。

饶阳试区果树品种主要有梨(雪花梨和鸭梨)、桃树和苹果树,在果—农间作系统中果树栽培的模式($m \times m$)如下:模式 1(P1)——雪花梨 3×4 ; 模式 2(P2)——鸭梨 3×5 ; 模式 3(P3)——雪花梨(3×5) $\times 20$; 模式 4(P4)——鸭梨(3×5) $\times 30$; 模式 5(P5)——桃 4×4 ; 模式 6(P6)——桃 4×5 ; 模式 7(P7)——桃(3×5) $\times 20$; 模式 8(P8)——桃(3×5) $\times 30$; 模式 9(P9)——苹果 4×4 ; 模式 10(P10)——苹果 4×5 。

3.2.2 评价指标的选择

- (1) 果品产值——产量 \times 产品市场销售价格(元/ hm^2);
- (2) 成本——包括种苗、肥料、人工、农药、电力、机具折旧等费用(元/ hm^2);
- (3) 间作收入——在果树带间种植农作物所获得的总收入(元/ hm^2);
- (4) 间作期——在果树带间可进行农作物种植的年限(a);
- (5) 土地当量比—— $LER = P_1 M_1^{-1} + P_2 M_2^{-2}$,式中 P_1 、 P_2 分别为两种群复合生态系统中种群 1 和种群 2 的生产力, M_1 、 M_2 分别为单作系统中种群 1 和种群 2 的生产力。

3.2.3 优化模式的确立 在以上分析的基础上,表 2 列出了各模式下的指标数据。

表 2 不同果树配置的指标测定值

模 式	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
果品产值(万元/ hm^2)	4.26	3.56	1.64	0.96	4.33	3.10	0.83	1.87	1.87	1.55
成本(元/ hm^2)	13 505	7 875	3 225	2 550	10 245	6 750	3 300	2 805	9 315	5 790
间作收入(元/ hm^2)	2 034	2 897	10 435	10 824	2 091	2 945	10 527	10 962	1 934	2 805
间作期(a)	3	4	15	15	3	4	15	15	3	4
土地当量比 LER	1.05	1.10	1.35	1.40	1.05	1.10	1.40	1.45	1.03	1.08

把表 3 中的数据输入计算机中^[7], 首先得到最优参考数据列为(4.33, 2 550, 10 962, 15, 1.45), 然后应用灰色关联分析的公式计算各模式相应的关联度并确定优先级, 结果见表 3。

表 3 灰色关联分析结果

最优参考数据列	关 联 度		模式的优劣排序
(4.33, 2 550, 10 962, 15, 1.45)	$r_1 = 0.600\ 2$	$r_6 = 0.621\ 5$	P4> P8> P3> P7> P6> P10> P2> P5> P9> P1
	$r_2 = 0.617\ 0$	$r_7 = 0.824\ 3$	
	$r_3 = 0.830\ 5$	$r_8 = 0.922\ 5$	
	$r_4 = 0.979\ 2$	$r_9 = 0.601\ 2$	
	$r_5 = 0.604\ 9$	$r_{10} = 0.619\ 0$	

从表 3 可以看出, 按照五项评判指标进行关联度计算结果, 梨树的最适株行距为 3 m × 5 m, 两行或三行为一带, 带距 30 m; 桃树的最适株行距也是 3 m × 5 m, 两行为一带, 带间距为 30 m; 苹果的最适株行距 4 m × 5 m, 其中梨树发展前途最好。这和饶阳的实际情况是一致的, 在当地, 雪花梨和鸭梨是有名的品种, 也是主产地之一, 群众对种植梨树有相当丰富的经验, 管理水平也高, 因此, 梨树一直是当地的主要经济树种, 栽培面积很大, 经济收益也较高; 相反, 桃和苹果的面积发展不大, 在当地的销路不好, 经济效益不是很大, 管理水平也相对低一些。三种果树中, 梨树和桃树的栽培密度都不大, 这主要是从农林业持续发展的角度考虑的, 在较大带距的果树中间种植农作物, 使得果树和农作物可以长期共存, 并获得一定的经济效益。如果单纯从经济效益来决定果农间作的栽培模式, 高密度的果园(3 m × 5 m 或 4 m × 4 m)是经济效益最好的, 但是由于这种模式是以果为主的农林间作形式, 其中农作物的间种期很短, 一般只是在果树幼龄期进行, 一旦果园郁闭, 就不能再进行间作, 因此这种果园形式的农林间作是短期的。目前我国人均土地面积日益减少, 农业用地十分紧张, 因此存在着果、农争地的矛盾, 如果大面积发展果园势必影响到群众的吃饭问题, 而随着人民生活水平的提高, 水果的需求又在逐年增加, 因此在平原地区特别是在沙壤质土壤上, 发展大带距的果树栽培, 既可以增加农民的经济收入, 又可以解决果、农争地的矛盾。

3.3 果—农间作系统中农作物种类的选择以及不同季节农作物的配置

在饶阳试区果—农间作系统中, 种植的夏熟作物主要有小麦和油菜; 秋熟作物主要有玉米、谷子、薯类、黄豆、棉花、花生、蔬菜等。不同季节农作物的配置主要是指夏熟作物和秋熟作物的配置, 主要是小麦和油菜与各种秋熟作物的不同组合, 分别记为: 小麦—玉米(P1)、小麦—谷子(P2)、小麦—薯类(P3)、小麦—黄豆(P4)、小麦—棉花(P5)、小麦—花生(P6)、小麦—蔬菜(P7)、油菜—玉米(P8)、油菜—谷子(P9)、油菜—薯类(P10)、油菜—黄豆(P11)、油菜—棉花(P12)、油菜—花生(P13)、油菜—蔬菜(P14)。选择的评价指标主要是:

产量——农作物被收获部分的重量, 即经济产量(kg/hm²);

产值——产量 × 产品市场销售价格(元/hm²);

成本——包括种苗、肥料、人工、农药、电力、机具折旧等费用(元/hm²);

纯收益——产值扣除成本及征收管理费和税金后的净现值(元/hm²);

生长适宜性——作物生长的适宜程度以及对自然灾害的抗性强弱(0 为最差, 10 为最好);

市场需求——根据各种农产品市场销售价格的波动程度而确定的市场需求的稳定程度, 反映产品的适销性(0 为最差, 10 为最好)。

表 4 不同农作物的评价指标测定值

评价指标	小麦	油菜	玉米	谷子	薯类	黄豆	棉花	花生	蔬菜
产量(kg/hm ²)	5 475	2 552	5 970	3 615	3 450	3 225	1 230	3 600	48 750
产值(元/hm ²)	6 351	6 552	5 850	3 615	2 760	6 128	13 284	10 800	39 000
成本(元/hm ²)	2 460	2 640	2 025	1 740	675	2 531	7 976	5 796	16 515
纯收益(元/hm ²)	3 516	3 578	3 402	1 778	1 929	3 207	5 036	4 688	20 835
适宜度	9	8	9	7	9	8	6	7	6
市场需求	10	7	9	6	4	7	10	7	6

根据表 4 给出的原始数据,假设各指标具有相同的权重值,将数据整理后输入计算机中,首先得到最优参考数据列为(54 225, 45 552, 3 135, 24 412, 18, 20),然后应用灰色关联分析的公式计算不同农作物配置相应的关联度并确定优先级,结果见表 5。

表 5 权重相同时的灰色关联分析结果

最优参考数据列	关 联 度		配置的优劣排序
(54 225, 45 552, 3 135, 24 412, 18, 20)	$r_1 = 0.815 8$	$r_8 = 0.722 6$	P7> P14> P3> P1> P2> P4> P8> P10> P9>
	$r_2 = 0.805 9$	$r_9 = 0.691 2$	P6> P11> P13> P5> P12
	$r_3 = 0.826 1$	$r_{10} = 0.701 5$	
	$r_4 = 0.728 1$	$r_{11} = 0.638 0$	
	$r_5 = 0.602 3$	$r_{12} = 0.532 9$	
	$r_6 = 0.673 6$	$r_{13} = 0.606 3$	
	$r_7 = 0.931 4$	$r_{14} = 0.904 3$	

表 5 表明,无论采用何种夏熟作物,秋熟作物均以蔬菜为最佳,其次是玉米和薯类。而夏熟作物的选择中以小麦为最佳,油菜次之,这是因为小麦的产投比略高于油菜的产投比,两者分别是 2.6 1 和 2.5 1。在作物组合优劣排序中,秋熟作物中的薯类、玉米、谷子、黄豆排在靠前的位置,说明它们都是可以供选择的秋熟作物种类,这是因为这些作物均具有较高的收益和低的投入,如薯类和黄豆所需的管理费用,特别是对施肥和灌水要求不高,因此在资金、劳力和肥料缺乏时,这两种作物是较好的选择,在经济上也是可行的。相反,棉花和花生在序列中排在最后的位置,究其原因,一是由于这两种作物投入大,效益低,特别是棉花,虽然国家已经对其收购价格做了调整,但仍然存在价格偏低的现象;二是这两种作物在生长期内所需的温度和光照均高于其它作物,在果树下间作,产量较低。因此,在秋熟作物的选择中,花生和棉花被排除在外。在果—农间作体系的所有夏、秋熟作物的组合中,小麦—蔬菜组合为最好,它的产值、纯收益都是最高的,产投比为 2.7 1,其适宜度和市场需求一般,但经综合评判后,仍为最优方案。其次为油菜—蔬菜组合,另外可供选择的较好组合有小麦—薯类、小麦—玉米、小麦—谷子、小麦—黄豆、油菜—玉米等。

4 结 论

(1) 农林复合系统中土地优化利用方案的规划应该考虑市场的价值变动,还应该考虑到在林木的生长前期只有投入而无经济效益的问题。因此在线性规划中所需的价值系数不能单纯利用最近的市场价格,而应该根据过去市场的价格资料和林木幼龄期的长短以及果树结果并

形成产量的时间来进行平衡计算,得出综合的价值系数,这样规划所得出的结论才具有一定的可行性。

(2)在饶阳农林复合系统中,重点发展的农、林产品有梨树、油菜和棉花,方案中应该舍去的农作物有薯类、豆类和高粱。在此农林复合系统中单纯发展牧场是不合理的,不能达到优化利用土地的目的,切实可行的途径是发展疏林牧场,或者在幼林下间种牧草。

(3)在饶阳试区的农林复合系统中,果—农间作体系的果树以发展当地的优势品种雪花梨和鸭梨为重点;从农林业持续发展的角度出发,其最佳栽植模式是株行距为 $3\text{ m} \times 5\text{ m}$,两行或三行为一带,带距为 30 m 。

(4)果—农间作体系中农作物品种的配置以小麦—蔬菜组合最好,它的产值、纯收益都是最高的,产投比为 $2.7:1$ 。其次为油菜—蔬菜组合,但这两种配置均要求有较大的资金投入。在资金、劳力和肥料缺乏时,就要考虑投入较少,管理水平相对低的作物品种,适合此条件的有小麦—薯类、小麦—玉米、小麦—谷子、小麦—黄豆、油菜—玉米等。

(5)棉花一直是国家优惠种植的农作物之一,但从上述分析可以看出,秋熟作物选择棉花并不是满意的方案,主要原因是棉花产量较低,投入较大,而经济效益不是很好。在本地区发展棉花,还需要从提高产量入手,并适当增加棉花的收购价格。

参 考 文 献

- 1 薛建辉.灰色局势决策在林下间作物组合优化中的应用.生态学杂志,1991,10(2):32~35.
- 2 骆林川,罗大敏.用AHP方法筛选最优林—胶—椒模式.生态学杂志,1991,10(2):36~40.
- 3 温亚力,孙文祥,吴燕.辛集市经济林规划方案风险度的选择.北京林业大学学报,1992,14(4):90~96.
- 4 邓聚龙.灰色控制系统.武汉:华中工学院出版社,1987.405~425.
- 5 宋兆民.黄淮海平原综合防护林体系配套技术研究.北京:气象出版社,1991.
- 6 裴鑫德.线性规划、目标规划及其农业应用.北京:科学技术文献出版社,1990.
- 7 郎奎健,唐守正.IBNPC系列程序集.北京:中国林业出版社,1989.

Study on the Optimum Structure of Agroforestry

Xin Xuebing Chen Jiangye Meng Ping

Abstract The results show that: (1) Price fluctuation of agriculture and forest products should be considered in planing the optimum use of land. (2) The appropriate species in agroforestry system are pear, rape and cotton. (3) The appropriate structure are two pear hybrids (*Pyrusbretschneideri* Rehd) intercropping model with a spacing of $3\text{ m} \times 5\text{ m}$. Forest belts are composed of two or three rows of trees and the distance between belts is 30 m . (4) The optimum compound of crop species in fruits—crops model is wheat—vegetable. The rate of output value to invested capital is $2.7:1$. Other compounds of crop species are wheat—yam, wheat—corn, wheat—millet, wheat—beanand, rape—corn etc.

Key words agroforestry optimum use of lands appropriate structures