

表 1: 问题规模与基础参数表

参数类别	参数符号	数值/范围	说明
地块规模	$ I $	54	总地块数 (34 露天 +20 大棚)
	$ I_A $	6	平旱地数量 (A1-A6)
	$ I_B $	14	梯田数量 (B1-B14)
	$ I_C $	6	山坡地数量 (C1-C6)
	$ I_D $	8	水浇地数量 (D1-D8)
	$ I_{E,F} $	20	大棚数量 (16 普通 +4 智慧)
作物规模	$ J $	41	总作物种类数
	$ J_{grain} $	15	粮食作物 (1-15 号)
	$ J_{rice} $	1	水稻 (16 号)
	$ J_{veg} $	21	蔬菜作物 (17-37 号)
	$ J_{mushroom} $	4	食用菌 (38-41 号)
	$ J_{bean} $	8	豆类作物 (1-5,17-19 号)
时间规模	$ T $	7	优化年数 (2024-2030)
	$ S $	2	种植季数 (春夏/秋冬)
	$\gamma_i$	1/2	地块年种植季上限
约束参数	轮作周期	3 年	豆类轮作要求
	最小面积	0.5 亩	单地块最小种植面积
	管理面积	5 亩	单作物单季最小总面积

表 2: 分层分治算法对比与选择依据

地块组	算法方法	复杂度分析	性能指标	选择依据
粮食地块组 A/B/C 类 (26 个地块)	动态规划 状态 $(t, j, cnt)$ 全局最优	时间 $O(T J K)$ 空间 $O(T J )$ 相对值 861	0.087 秒 315 状态 稳定性优秀	轮作约束复杂 时序决策耦合 保证最优解
水浇地组 D 类 (8 个地块)	整数规划 模式枚举 精确求解	时间 $O(2^n J  S )$ 空间 $O(n J  S )$ 相对值 656	0.164 秒 656 变量 稳定性良好	模式选择离散 线性约束多 Gurobi 高效
大棚组 E/F 类 (20 个大棚)	贪心算法 收益排序 局部最优	时间 $O(n \log  J )$ 空间 $O(n)$ 相对值 107	0.003 秒 108 操作 稳定性优秀	面积小 0.6 亩 高价值作物 快速决策
分层分治 整体策略 (54 个地块)	并行求解 结果整合 约束验证	总复杂度线性降低 累积存储 $\max\{861, 656, 107\}$	<b>总时间 0.254 秒</b> 约束检查 < 0.01 秒 <b>性能提升 79 倍</b>	问题分解降维 算法适配匹配 并行执行高效

表 3: 两种销售情景的目标函数与关键约束对比

组件	情景一：超产滞销	情景二：超产折价销售
目标函数	$\max Z_1 = \sum_{t,j} [P_j \cdot \min(q_{j,t}, D_{j,t}) - \sum_{i,s} x_{i,j,t,s} \cdot C_{i,j,s}]$	$\max Z_2 = \sum_{t,j} [P_j \cdot q_{j,t}^{sell} + 0.5P_j \cdot q_{j,t}^{excess} - \sum_{i,s} x_{i,j,t,s} \cdot C_{i,j,s}]$
	超产部分：完全浪费（收益 = 0）	超产部分：按 50% 价格出售
	非线性：min 函数	线性化：辅助变量 $q_{j,t}^{sell}, q_{j,t}^{excess}$
关键约束	1. 地块面积： $\sum_j x_{i,j,t,s} \leq A_i \quad \forall i, t, s$	
	2. 适应性： $x_{i,j,t,s} = 0$ 若 $\beta_{i,j,s} = 0$	
	3. 季数： $\sum_{j,s} x_{i,j,t,s} \leq \gamma_i \cdot A_i \quad \forall i, t$	
	4. 重茬： $y_{i,j,t} + y_{i,j,t-1} \leq 1$ （0-1 变量线性化）	
	5. 豆类轮作： $\sum_{t'=t}^{t+2} \sum_{j \in J_{bean}} \sum_s x_{i,j,t',s} \geq 0.5$	
	6. 管理便利：单作物 $\geq 5$ 亩，单地块 $\geq 0.5$ 亩	
决策变量	连续变量： $x_{i,j,t,s} \geq 0$	连续变量： $x_{i,j,t,s} \geq 0$
	0-1 变量： $y_{i,j,t} \in \{0, 1\}$	0-1 变量： $y_{i,j,t} \in \{0, 1\}$
	总变量数：~ 31,248	辅助变量： $q_{j,t}^{sell}, q_{j,t}^{excess}$ (+574 个)
线性化处理	min 函数：枚举离散情况	分解： $q_{j,t} = q_{j,t}^{sell} + q_{j,t}^{excess}$
	重茬约束：大 M 法	约束： $q_{j,t}^{sell} \leq D_{j,t}, q_{j,t}^{excess} \geq 0$
	$x_{i,j,t,s} \leq M \cdot y_{i,j,t}$	完全线性，标准 MILP 求解
预期结果	保守策略：控制种植面积	激进策略：适度超产获利
	销售限制严格遵守	预期收益提升 8-15%