

基于动态规划模型下圈养湖羊的最优空间利用率

摘要

科技进步极大地推动了养殖场的规模化发展，其中空间利用效率对养殖场的运营和盈利能力起着决定性作用。利用动态规划构建的模型，我们成功找到提高养殖场空间使用效率的最佳方案。

针对问题一：通过建立数学模型，我们确定了年化出栏羊只数量的范围。模型考虑了种公羊与基础母羊的比例、羊栏使用限制和羊的生产周期。优化批次生产后，我们发现在 112 个羊栏中，370 只基础母羊和 8 只种公羊能实现最大出栏量。年化出栏数量介于 1072 至 1377 只之间。若要达到 1500 只的年化出栏目标，需要 470 只基础母羊，但会面临 9 至 34 个羊栏的缺口。

针对问题二：为了最大化年化出栏羊只数量并确保空间利用率最大，养殖场应采用分批交配策略。当分批数为 4 时，年化出栏量可以达到最大。具体的生产计划是：将母羊分为 4 批，每 20 天一批与公羊交配，错开所有母羊同时进入哺乳期的时间，避免羊栏短缺的问题，保证年化出栏数最大化。

针对问题三：通过数学建模和软件模拟，我们优化了母羊的批次管理和繁殖周期来减少日均损失。将母羊分为 5 批，每 250 天为一个周期，并控制特殊节点处羊栏生长周期在 7 天内。调整后，每批 70 只母羊时，共有 350 只母羊，羊栏总数为 104，每日均大约损失 13.5 元；每批 76 只母羊时，共有 380 只母羊，羊栏总数为 111，每日均大约损失 39.2 元。这种管理方式有助于提高养殖效率并确保母羊和羔羊的健康。

关键词：python，Ligon，动态规划，圈养湖羊

一、问题重述

作为国家级绵羊保护种的湖羊，它已早熟，生长快，发情期长的特点适合圈养。对此，相应的养殖场会建设有许多的标准羊栏。

问题一：母羊各时期的天数为：交配期：20 天、孕期：149 天、哺乳期：40 天、空怀期：20 天。其他：母羊生产羔羊数量：2 只、羔羊育肥期：210 天、种公羊不考虑淘汰更新以及其他因素的影响。

(1) 首先，一个拥有 112 个标准羊栏的养殖场需要确定合适的种公羊和基础母羊的比例，以确保羊群的持续繁衍。同时，需要预测每年可能出栏的羊只数量。

(2) 为了满足每年至少出栏 1500 只羊的目标，养殖场需要评估现有羊栏数量是否足够，或者需要增加多少羊栏来达到这一目标。

问题二 考虑到养殖场希望最大化每年的羊只出栏量，需要制定一个详尽的生产计划。这个计划应包括种公羊和基础母羊的配种安排、合理利用羊栏的方案，以及具体的年度出栏目标。

问题三 面对实际运营中的不确定性，养殖场需要综合考虑多种因素，以确保生产计划的可行性并最大化出栏羊只数量。同时，需要采取措施减少因羊栏使用不当导致的损失。羊栏空置时每天的损失为 1 元，而如果需要额外租用羊栏，每栏每天的租用费用为 3 元。

在制定生产计划时，需要考虑以下关键因素：

- a. 母羊的受孕成功率为 85%，且在交配后 30 天内才能确认是否成功受孕；

- b. 受孕和孕期的不确定性；
- c. 每胎平均产羔 2.2 只，羔羊的死亡率约为 3%；
- d. 哺乳期和育肥期的调整，哺乳期可在 35-45 天内控制，每减少或增加 1 天哺乳期，羔羊的育肥期相应增加或减少 2 天。母羊的空怀休整期至少为 18 天。

基于这些条件，养殖场需要制定一个既能最大化年出栏羊只数量，又能最小化因羊栏使用不当导致的损失的生产计划。

二、模型假设

- 1、母羊以及种公羊数量固定，不受其他因素影响
- 2、出栏的羔羊不纯在回收为母羊或种公羊的情况
- 3、每一只羔羊在哺乳期，育肥期生长情况相同，没有快慢差异
- 4、每一只母羊胎生两只羔羊，其羔羊出栏数与生产数相同，不受其他因素影响

三、符号说明

表 1 论文符号说明表

符号	说明
Z	年化出栏羊只数量
X_i	羔羊数量

$Z_{周}$	母羊生产周期
$T_{空}$	空怀期时间
$T_{交}$	交配期时间
$T_{哺}$	哺乳期时间
$T_{孕}$	孕期时间
$T_{育}$	育肥期时间
$M_{需}$	母羊的需求量
Y_{\max}	有条件下母羊的最大值
Y_{\min}	有条件下母羊的最小值
x	每批次基础母羊的数量
$Y_{羊\max}$	不考虑其他因素时母羊的最大值
$Y_{羊\min}$	不考虑其他因素时母羊的最小值
T_{γ^*}	母羊的生产周期

四、模型建立与求解

4.1、对问题一的模型建立与求解

4.1.1、对问题一进行分析

由题可知，种羊不存在淘汰与更新，并且母羊经过 20 天自然交配期都能成功受孕。问题要求在 112 个标准羊栏下，确定种公羊与母羊的数量，以实现连续生产，并且估算年化出栏羊的数量。还要求提高空间利用率，优化资源配给，尽量减少羊栏闲置，而对于湖羊的繁殖阶段及其养殖场标准羊栏规格，和所需要的时间如下表所示：

表 2 湖羊繁殖各个阶段关系表

阶段	羊栏容纳值	时间（天）
空怀期	14 只	20
交配期	14 只（母） 1 只（公）	20
孕期	8 只	149
哺乳期	6 只	40
育肥期	14 只	210
种公羊非交配期	4 只	不定

注：不同时期的湖羊不可在同一个羊栏饲养

由上表可知，母羊的一个生产繁殖周期为 229 天，而羔羊出栏的全流程为 419 天。由此可知，在第一年时间里，仅可完成一次母羊的繁殖周期，却无法实现羔羊出栏。只有从第二年开始，才会有羔羊出栏。

4.1.2、对问题一模型的建立与求解

目标函数：求年化出栏羊只数量范围

$$Z = \sum_{i=1}^q X_i \quad (1)$$

Z 为年化出栏羊只数量， X_i 为羔羊数量。即年化出栏羊只数量为所有批次羔羊数量之和。

由题目信息，结合所建立模型，得出以下限制条件：

- (1) 种公羊数量：基础母羊数量 $\geq 1:50$
- (2) 不同生产周期过程中，最大羊栏的使用数量不超过 112 栏
- (3) 令每批次母羊空怀期结束后等待 21 天，21 天后再进入交配期。

根据表 2 信息可知，令母羊的生产周期为 $Z_{周}$ ：空怀期加交配期加孕期加哺乳期，可得：

$$Z_{周} = T_{空} + T_{交} + T_{孕} + T_{哺} \quad (2)$$

对公式求解，可知母羊生产周期为 229 天。

再由表 2，令羔羊生长周期为 $Z_{生长}$ ：哺乳期加育肥期，可得：

$$Z_{生长} = T_{哺} + T_{育} \quad (3)$$

对公式求解，可得羔羊生长周期为 250 天

若假设分为 n 批次，为提高羊栏的空间使用率，尽可能的实现连续生产，在生产周期中，只要每批次母羊空怀期结束后在间隔 21 天才进入自然交配期，可使得母羊生产周期与羔羊发育周期相同，如此，当第一批羔羊出栏的同时，对应第 $n+1$ 批次羔羊出生。

在第一年假设 $n \leq 7$ ，可得：

$$\frac{x(n-2)}{8} + x + \frac{x(n-1)}{14} \leq 112 \quad (4)$$

第二年，若 $n \leq 4$ ，可得：

$$\frac{x}{56} + \frac{x(n-1)}{8} + \frac{x}{2} + \frac{x(n-1)}{7} \leq 112 \quad (5)$$

若 $5 \leq n \leq 6$ ，可得：

$$\frac{x(n-4)}{14} + \frac{3x}{8} + \frac{x}{2} + \frac{4x}{7} \leq 112 \quad (6)$$

利用 python 对公式进行求解，当 $n=5$ 时， $x \leq 73.6$ 可以取得最大值，向上取整位可得 $x = 74$ ，即基础母羊为 74 只，而当母羊为 74 只时，可设种公羊数量为 6 只，由建立表格：

表 3 各时期羊栏数据表

	交配期	孕期	哺乳期	空怀期	育肥期	种公羊
数量	74	74	74	74	148	6
羊栏规格	14	8	6	14	14	5
羊栏数量	6	10	13	6	11	2
羊栏时间	20	149	40	20	210	209
羊栏天数	120	1409	520	120	1410	418

由上表可得羊栏的总天数为 $T_{\text{总羊栏天}} = 4078$, 总共使用的羊栏数量为

$X_{\text{羊栏}} = 48$, 羔羊数量为 $X_{\text{羔羊}} = 148$, 则可得, 每一栏的年化出栏数 $K_{\text{年/栏}}$ 为:

$$K_{\text{年/栏}} = \frac{365}{T_{\text{总羊栏天}} / X_{\text{羊栏}}} \times \frac{X_{\text{羔羊}}}{X_{\text{羊栏}}} \quad (7)$$

解得 $K_{\text{年/栏}} \approx 13$, 由此可得年化出栏羊数量 $Z \approx 1456$

而当不考虑其他因素时, 可知母羊的数量介于:

$$Y_{\text{羊min}} = x \times \frac{112}{X_{\text{羊栏}}} \times \frac{365}{T_{\text{产}}} \quad (8)$$

$$Y_{\text{羊max}} = x \times \frac{112 \times 365}{T_{\text{总羊栏天}}} \quad (9)$$

解得: $Y_{\text{羊min}} = 276$ 而 $Y_{\text{羊max}} = 741$

而当考虑到羊栏天数时, 设母羊总数上限为 Y_{max} , 可得公式:

$$\begin{aligned} & \frac{Y_{\max}}{14} \cdot 20 + \frac{Y_{\max}}{8} \cdot 149 + \frac{Y_{\max}}{6} \cdot 40 + \frac{Y_{\max}}{14} \cdot 20 \\ & + \frac{2Y_{\max}}{14} \cdot 210 + \frac{Y_{\max}}{50} \cdot \frac{1}{4} \cdot 229 = 59.3Y_{\max} \end{aligned} \quad (10)$$

结合公式：

$$112 \times 229 = 59.3Y_{\max} \quad (11)$$

解得当考虑到羊栏数量的因素是，母羊的最大数量为

$$Y_{\max} = 432$$

继续在考虑羊栏总数限制不分批情况下，设母羊的总数下限为： Y_{\min} ，可得：

$$Y_{\min} = 74 \times \frac{112}{X_{\text{羊栏哺}} + X_{\text{羊栏育}}} \quad (12)$$

由于当羊栏总数不分批时，当所有母羊第二次进入哺乳期时，所有羔羊都在育肥期内，此时羊群所使用的羊栏数量最多，由此解得 $Y_{\min} = 345$

于此可知年化出栏数的范围是 $[Y_{\min} \times 2 \times \frac{365}{229}, Y_{\max} \times 2 \times \frac{365}{229}]$

解得：[1072,1377]

对于题目所求年化出栏数达1500，则设所需母羊数量为 $M_{\text{需}}$ ，可得：

$$M_{\text{需}} = \frac{1500 \times 229}{365 \times 2} \approx 470 \quad (13)$$

再复用公式（10）（11）（12）可得所需羊栏范围[121, 146]，则可得羊栏缺口为[9, 34]

4.1.3 问题一模型求解的结果

对于确定公羊和母羊的合理数量：在上述模型建立与求解的过程中，在考虑到尽可能实现连续生产与实现空间资源利用最大化条件下，得出当批次 $n=5$ 时，在 112 个羊栏的条件下，可容纳母羊数量最多，即实现出栏羊只数量最大。因此，该养殖场在 112 个标准羊栏的条件下，种公羊与基础母羊的合理数量为，基础母羊 370 只，种公羊数量为 8 只。

估算年化出栏羊只数量范围：在上文中，考虑到羊栏数量因素的条件下，得出母羊的最大数量为 432 只，考虑到当羊栏总数不分批事，得出母羊数量最少值为 345 只。由此可的出年化出栏羊只数量范围是[1072,1377]。

在年化出栏羊只数量不少于 1500 时羊栏数量的缺口：当取恰好年化出栏羊只数量为 1500 只时，可得所需母羊数量为 470 只，于此利用公式（10）（11）（12）逆向运算，可得所需羊栏范围是[121, 146]，即可得分别在不同条件下，羊栏数量缺口的范围是[9, 34]。

4.1.4、对问题一的模型检验

经验证，模型预测与人工核算结果相符，模型确保每天的母羊与公羊总数维持不变，各养殖阶段的羊群数据转移也准确无误。因此，模型的准确性和有效性得到了证实，可以认为达到了预期的理想效果。

4.2、对问题二的模型建立与求解

4.2.1、对问题二的分析

如表二在分析了不同生长阶段的羊只对栏舍数量的需求后，我们可以发现，在所有阶段中，哺乳期的羊群对栏舍的需求是最大的。因此，在有限的栏舍资源下，为了实现年度出栏数量的最大化，我们应当考虑对母羊进行分组管理，以避免它们同时进入哺乳期，这样能够允许我们饲养更多的母羊，从而提升每年的出栏率。

接下来，我们需要探讨不同分组数量对年度出栏羊数的具体影响。为了找到最佳的分组策略，我们可以采用动态规划的算法来计算最优的分组数量。

4.2.2、对问题二模型的建立

目标函数：求解年化出栏羊数量最大值

$$S_{\max} = \frac{n \times Z}{h} \quad (14)$$

$$Z = X_1 + X_2 + \dots + X_q$$

公式 (14) 中， q 为母羊生产周期中一轮的批次， n 为 h 年中的轮数， Z 为一轮中总共的出栏羊的数量， h 为年数。

对公式进行计算，为求解 S_{\max} ，我们对批次 q 进行设定，设定区间为 [1, 7]，而对于年份 h ，我们以 5 年为区间，设定范围为 [5, 20]

同时，根据题目所作出的条件约束：最大羊栏数不超过 112。对于此，我们以设定的具体数据 q 与 x 建立关系，用以求得 x 的最大值代入到公式（14）中，以此求得在同一年份下，不同批次 q 的年化出栏羊只数量最大值。同时横向对比，在相同批次 q 的情况下，不同年份 h ，是否对年化出栏羊只数量 S_{\max} 产生影响。

另外，在 h 年的轮数中，可以得到：

$$h = \frac{229(n-1) + 20(q-1) + 449}{365} \quad (15)$$

以此公式（15）可以得出轮数 n 与年份 h 的关系。由此利用公式（14）（15），在设定批次 q 与年数 h 之后，就可以确定轮数 n 与某一批次的母羊最大值 X_i 。并且，改变设定的批次 q ，就可以得到在 q 批次下的最大年化出栏羊只数量 S_{\max} 。

4.2.3、对问题二模型的求解以及对结果的分析

在问题一的基础上，我们将养殖场的发展规划分为三个阶段：0-5 年为短期发展，5-15 年为中期发展，15 年以上为长期发展。为了确保在充分利用羊栏空间的同时，实现年化出栏羊只数量最大化，我们需要对羊栏的使用策略和公母羊的配种时间进行有效规划。

我们利用对问题二建立的模型进行求解，得出了在不同批次，不同年份下，其所需要使用的最大羊栏数量，以及每一批次在不同年份下，其年出栏羊只数量，如图 1、图 2 所示：

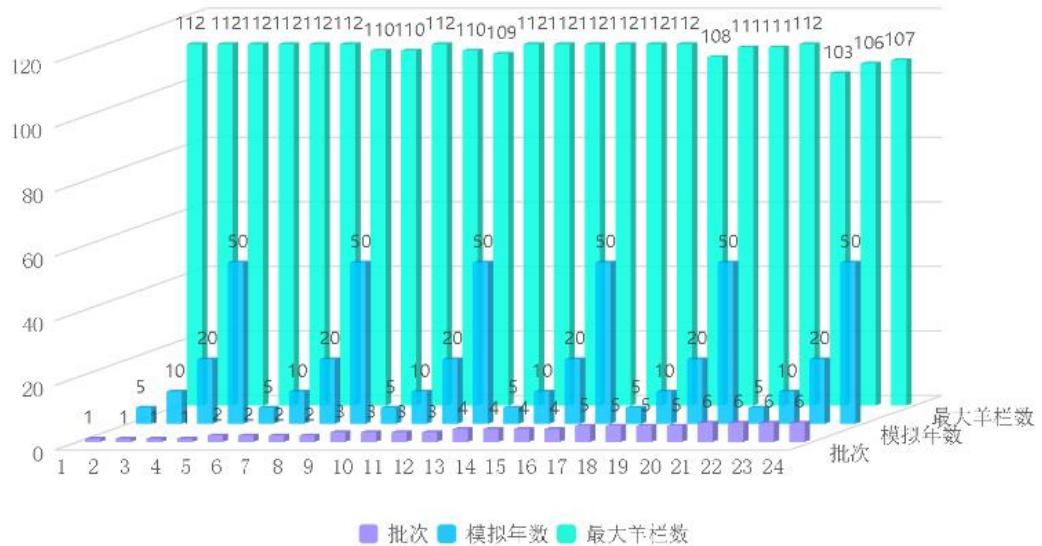


图 1 每批次在不同年份下所需最大羊栏数量图

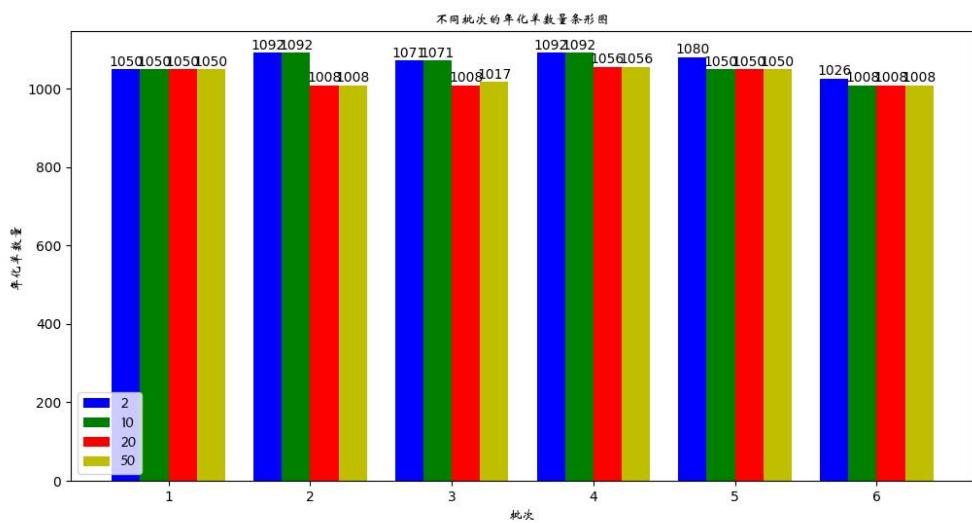


图 2 每批次在不同年份下年出栏羊只数量对比图

根据问题一的分析结果，我们可以得出结论：在确保空间利用率最大化的条件下，当分批数为 4 时，年化出栏量能够达到最大。

具体生产计划为：将母羊分为 4 批进行管理。首先，让第一批母羊与公羊交配（此时，公羊进入各能交配的母羊所在羊栏，而原羊栏则空出来供后续使用），而其他批次的母羊仍处于空怀休整期。20 天后，当第一批母羊进入怀孕期的同时，第二批母羊开始与公羊交配，依此类推。每批母羊进入下一阶段的时间间隔均为 20 天。这样的安排避免了所有母羊同时处于哺乳期，从而减少对羊栏的需求，防止了羊栏短缺的问题，并确保了年化出栏量的最大化。如图 3 所示

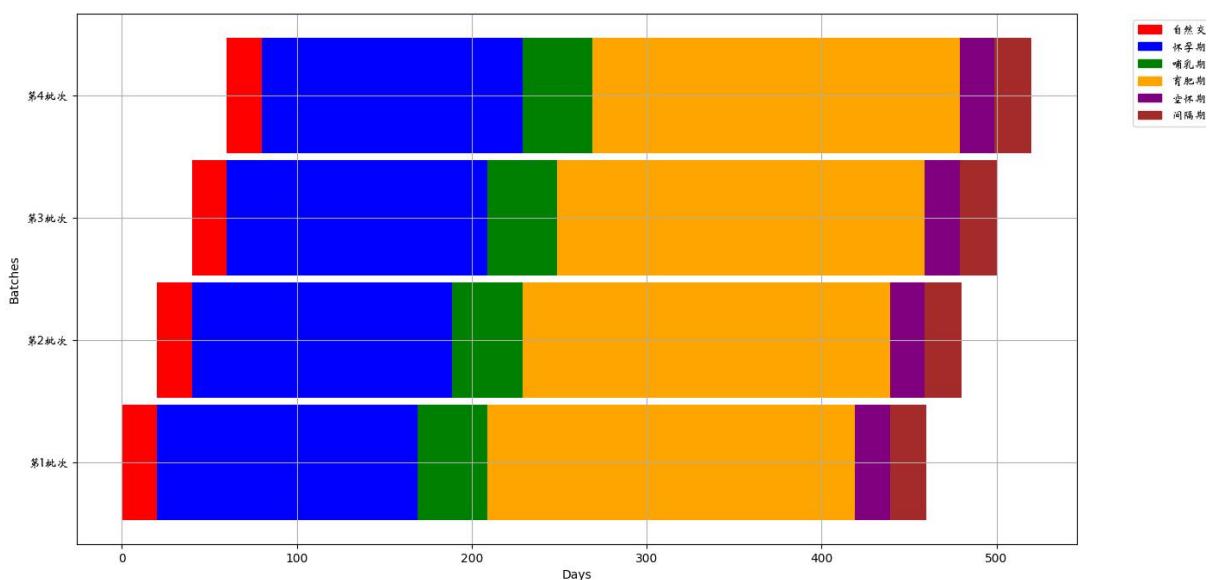


图 3 生产规划示意图

4.2.5、问题二的模型检验

经过人工核对，发现计算结果与模型预测的结果完全吻合。此外，该模型也成功地证明了在连续的生产周期内，母羊和公羊的总数保持不变，

且各养殖阶段之间的羊群数据转移是相对准确的。因此，可以认为该模型具有很高的准确性，是一个有效且可靠的规划工具。

4.3.、对问题三的模型建立与求解

4.3.1、对问题三的分析

在制定羊只养殖计划时，需要考虑多个不确定因素以确保计划的可行性，并最大化年出栏羊只数量，同时尽量减少预期损失。这些损失主要与羊栏的使用情况相关。具体来说：

- 1. 羊栏空置损失：**当羊栏未被使用时，每天每栏会产生 1 元的损失。
- 2. 额外羊栏租用费：**如果需要额外的羊栏，每栏每天的租用费用为 3 元。

在制定计划时，还需考虑以下关键因素：

母羊受孕率：每只母羊有 85% 的几率成功受孕，但需要在交配后 30 天才能确定是否受孕。

受孕和孕期的不确定性：受孕时间和孕期可能会有所波动。

分娩与羔羊死亡率：每胎平均产羔 2.2 只，羔羊的死亡率约为 3%。

哺乳期与育肥期：哺乳期可以在 35 到 45 天之间调整，哺乳期每减少一天，育肥期相应增加两天；反之亦然。母羊的空怀休整期至少需要 18 天。

基于这些因素，可以设计一个包含“检查期”的养殖阶段。在交配期结束后，母羊进入 30 天的检查期，以确定是否受孕。85% 的母羊会成功受孕并进入孕期，而 15% 未受孕的母羊则进入空怀休整期。此外，哺乳期和育肥期的调整也会影响整体的养殖周期。

通过综合这些信息，可以制定一个优化的生产计划，旨在提高年出栏羊只数量，同时尽量减少由于羊栏使用不当带来的损失。

4.3.2、对问题三模型的建立与求解

对于问题三，因为该问题涉及到多个不确定因素，如配种成功率，分娩羔羊数量和死亡率等随机变量。

定义随机变量：根据问题描述的内容，我们需要进行一下变量的定义

变量	定义
母羊受孕率	85%
孕期	147-150 天
每胎羔羊数	平均 2.2 只
羔羊死亡率	3%
哺乳期	35-45 天，40 天为基准
空怀休整期	不少于 18 天

对此，简单情况。设置空怀休整期间隔 $g=21$, $n=5$, 50 天/批母羊数 $X_{母}=80$, 公羊 8 只，并且假设怀孕天数、成活率等，服从均匀分布，由此制作各个批次在各时期的数量表：

表 4 各个批次在各时期的数量表

	交配期	孕期	哺乳期	休整期	育肥期
1	80	68	68	80	160

2	92	146	78	88	156
3	96	228	82	91	156
4	96	242	82	91	162
5	96	246	82	91	162
稳定值	96-98	245-247	82	91-92	162
所需羊栏数	7	31	82	7	700=770
所缺羊栏数	0-2	1-3	14	6-7	-56, 8
羊栏总数	111-116				

再利用此表格数据，作出折线图：

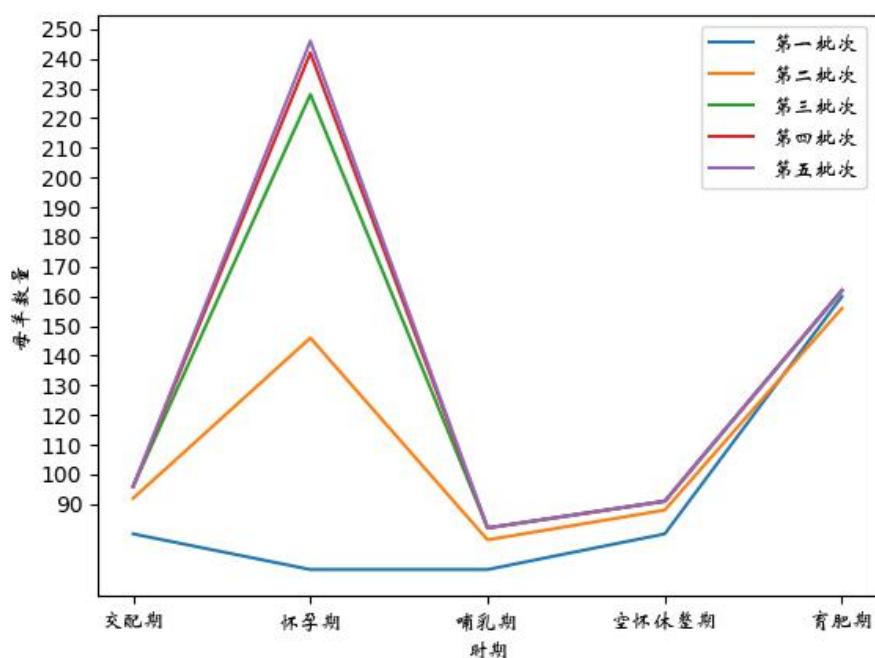


图 4 各时期母羊数量图

根据表5、图4，可发现在4个批次后母羊的数量趋于稳定。

于是，可以得出日均损失最小值 U_{\min} 为：

$$U_{\min} = \frac{3(Y_{\text{羊栏总数}} - 112) + \sum(T - \{T_{\text{各时期天}}\}) \times Y_{\text{羊栏数}}}{T} \quad (16)$$

而交配期母羊的数量为：

$$x + 0.15x + 0.15^2x \quad (17)$$

x 为单批次母羊的数量

怀孕期母羊数量为：

$$0.85 \times (x_i + x_{i-1} + x_{i-2}) \quad (18)$$

x_i 为第*i*批次的母羊数量

哺乳期母羊数量为：

$$(x + 0.15x + 0.15^2x) \times 0.85 \quad (19)$$

空怀休整期的母羊数量为：

$$0.85x + 0.15x \frac{40}{40+20} = 0.95x \quad (20)$$

又在特殊节点考虑到生长情况相差不可超过7天，因此羊栏需要单独处理，这可得：

$$n_i = \left[\frac{7}{T_{\text{各阶段时长}}} \right] \quad (21)$$

$$Z_{\text{每阶段羊栏数}} = \left[\frac{X_{\text{对应母羊数}}}{K_{\text{羊栏规格数}}} \right] \quad (22)$$

由此，利用公式（16） - （22），调整母羊范围以及羊栏数的范围可以利用 Lingo 软件处理公式得到结论：

将母羊分为 5 批，以 250 天作为一个周期，将特殊节点处羊栏生长周期控制在 7 天以内，此时可以得到：

每批 70 只母羊时，共有 350 只母羊，此时羊栏总数为 104，每日均大约损失 13.5 元

每批 76 只母羊时，共有 380 只母羊，此时羊栏总数为 111，每日均大约损失 39.2 元

4.3.3、对问题三模型结果的分析

在一个 250 天的繁殖周期中，动物的交配期为周期的前 20 天。孕期可能从 147 天开始，持续至 150 天。哺乳期最早在 147 天后开始，最短持续 35 天，最长可达 45 天。这意味着从 147 天到 170 天，母羊可能进入哺乳期，存在 23 天的时间波动。为了有效管理，可以将这 23 天分为 3 个 7 天周期，确保每个周期内的母羊数量不超过 24 只，以便合理分配至不同的羊栏中。如果数量超过 24 只，可能需要在第 6 天开始新一轮的计算和分配。

具体策略为：从第 147 天开始，我们将母羊的临产期分为 7 天一个周期进行管理。如果在这 7 天内临产的母羊数量少于或等于 24 只，我们会将它们安置在同一个羊栏中。如果临产的母羊数量超过 24 只，我们会将前 24 只母羊放在一个羊栏，然后根据最后一只临产母羊的日期来安排下一个 7 天周期的母羊。预计整个过程会持续 3 到 4 个周期。

哺乳期从第 147 天开始，持续 42 天。哺乳期结束后，母羊将进入休整期，为下一次交配做准备。这种管理方式确保了断奶期不超过 7 天的羔羊

能够同栏，同时处于休整期的母羊也能被集中管理。这样的安排有助于提高养殖效率并确保母羊和羔羊的健康。具体分析流程如图 5 所示：

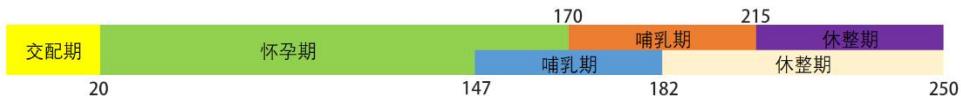


图 5 羔羊生产流程图

4.3.4、对问题三的模型检验

通过人工复核，我们确认了模型计算结果的准确性。模型不仅保持了母羊和公羊的总数稳定，还准确地反映了不同养殖阶段羊群的数据流动。这些验证结果表明，模型的准确性达到了预期目标，证明了其有效性和可靠性。

五、模型评价与改进

该模型具备相对显著的实用性，它使得生产计划的制定和执行变得更加有序和高效。其设计允许用户轻松地安排和优化养殖周期，从而在实际操作中表现出良好的效果。然而，该模型也存在一些局限性。主要问题在于其稳定性有待提高。模型的准确性在很大程度上依赖于参数的精确设置。如果输入条件发生微小变化，可能会导致最终结果出现显著偏差。因此，在使用该模型时，需要特别注意参数的选择和调整，以确保其预测的可靠性。

六、附录

附录一：条形绘图程序（python 3.12.1）

```
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

from matplotlib import font_manager


# 设置中文字体

my_font =

font_manager.FontProperties(fname='C:\Windows\Fonts\STXINWEI.TTF')


# 数据

batches = [1,2,3,4,5,6]

num_categories = 4

data = np.array([
    [350*3, 350*3, 350*3, 350*3],
    [364*3, 364*3, 336*3, 336*3],
    [357*3, 357*3, 336*3, 339*3],
    [364*3, 364*3, 352*3, 352*3],
    [360*3, 350*3, 350*3, 350*3],
    [342*3, 336*3, 336*3, 336*3]
])



# 定义条形图颜色

colors = ['b', 'g', 'r', 'y']

# 定义图例标签

legend_labels = [2, 10, 20, 50]
```

```
# 设置图形大小

fig, ax = plt.subplots(figsize=(12, 6)) # 这里可以调整图形的宽度和高度


# 定义每个批次的条形宽度

bar_width = 0.2

# 定义 x 轴位置

x = np.arange(len(batches))

# 为每个类别绘制条形图

for i in range(num_categories):

    bars = ax.bar(x + i * bar_width, data[:, i], bar_width,
                  label=f'{legend_labels[i]}', color=colors[i])

    # 在每个条形上添加数值标签

    for bar in bars:

        yval = bar.get_height()

        ax.text(bar.get_x() + bar.get_width()/2, yval + 1, f'{yval:.0f}', ha='center',
                va='bottom')


# 设置 x 轴刻度

ax.set_xticks(x + bar_width * (num_categories / 2 - 0.5))

ax.set_xticklabels(batches)

# 添加图例
```

```
ax.legend(prop=my_font)

# 添加标签和标题

ax.set_xlabel('批次',font = my_font)
ax.set_ylabel('年化羊数量',font = my_font)
ax.set_title('不同批次的年化羊数量条形图',font = my_font)
```

```
fig.savefig('./条形图.png')
```

```
# 显示图形
```

```
plt.show()
```

附录二：生产过程可视化（python 3.12.1）

```
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as mpatches
from matplotlib import font_manager
```

```
# 设置中文字体
```

```
my_font =
font_manager.FontProperties(fname='C:\Windows\Fonts\STXINWEI.TTF')
```

```
# 定义每个阶段的时长
```

```
mating_period = 20 # 自然交配期
gestation_period = 149 # 妊娠期
```

```
nursing_period = 40 # 哺乳期  
fattening_period = 210 # 育肥期  
rest_period = 20 # 空怀休整期  
interval_period = 21 # 间隔期
```

```
# 每批母羊的数量  
batch_size = 91
```

```
# 初始化开始时间  
start_time = 0
```

```
# 定义每个阶段的颜色  
colors = {  
    '自然交配期': 'red',  
    '怀孕期': 'blue',  
    '哺乳期': 'green',  
    '育肥期': 'orange',  
    '空怀期': 'purple',  
    '间隔期': 'brown'  
}
```

```
# 定义每个阶段的标签  
labels = {  
    '自然交配期': 'Mating Period',
```

```
'怀孕期': 'Gestation Period',  
'哺乳期': 'Nursing Period',  
'育肥期': 'Fattening Period',  
'空怀期': 'Rest Period',  
'间隔期': 'Interval Period'  
}
```

```
# 绘制每一批母羊的各个阶段
```

```
fig, ax = plt.subplots(figsize=(15, 8))
```

```
for i in range(4):
```

```
# 计算每个阶段的开始和结束时间
```

```
stages = [
```

```
('自然交配期', start_time, start_time + mating_period),
```

```
('怀孕期', start_time + mating_period, start_time + mating_period +  
gestation_period),
```

```
('哺乳期', start_time + mating_period + gestation_period, start_time +  
mating_period + gestation_period + nursing_period),
```

```
('育肥期', start_time + mating_period + gestation_period +  
nursing_period, start_time + mating_period + gestation_period +  
nursing_period + fattening_period),
```

```
('空怀期', start_time + mating_period + gestation_period +  
nursing_period + fattening_period, start_time + mating_period +  
gestation_period + nursing_period + fattening_period + rest_period),
```

```
('间隔期', start_time + mating_period + gestation_period +
nursing_period + fattening_period + rest_period, start_time + mating_period
+ gestation_period + nursing_period + fattening_period + rest_period +
interval_period)
```

```
]
```

```
# 绘制每个阶段的条形图
for stage, start, end in stages:
    ax.broken_barh([(start, end - start)], (i * (batch_size + 5), batch_size),
facecolors=colors[stage])
```

```
# 更新下一批次的开始时间，仅考虑交配期的 20 天
start_time += mating_period
```

```
# 添加标签和图例
ax.set_xlabel('Days')
ax.set_ylabel('Batches')
ax.set_yticks([batch_size / 2 + i * (batch_size + 5) for i in range(4)])
ax.set_yticklabels([f'第{i+1}批次' for i in range(4)], font = my_font)
```

```
# 创建图例
handles = [mpatches.Patch(color=color, label=label) for label, color in
colors.items()]
ax.legend(handles=handles, bbox_to_anchor=(1.05, 1), loc='upper left', prop =
```

```
my_font)

plt.grid()

plt.savefig('./生产过程.png')
```

```
# 显示图表
```

```
plt.tight_layout()

plt.show()
```

附录三：模拟生产流程图（python 3.12.1）

```
import numpy as np
```

```
from matplotlib import pyplot as plt

from matplotlib import font_manager
```

```
# 设置中文字体
```

```
my_font =
font_manager.FontProperties(fname='C:\Windows\Fonts\STXINWEI.TTF')
```

```
# 数据
```

```
x = [1,2,3,4,5]
```

```
y = np.array([[80,68,68,80,160],
[92,146,78,88,156],
[96,228,82,91,162],
```

```
[96,242,82,91,162],  
[96,246,82,91,162]])  
  
# 设置坐标轴  
plt.xticks(x,['交配期','怀孕期','哺乳期','空怀休整期','育肥期'],fontproperties =  
my_font)  
plt.yticks(range(90,251,10))  
  
# 绘图  
plt.plot(x,y[0],label = '第一批次')  
plt.plot(x,y[1],label = '第二批次')  
plt.plot(x,y[2],label = '第三批次')  
plt.plot(x,y[3],label = '第四批次')  
plt.plot(x,y[4],label = '第五批次')  
  
# 设置图例  
plt.legend(prop = my_font)  
plt.xlabel('时期',font= my_font)  
plt.ylabel('母羊数量',font= my_font)  
  
# 展示  
plt.savefig('./模拟生产流程图.png')  
plt.show()
```

附录四：利用 Lingo 程序求解代码：

```
min=(1-20/250)*np1+(1-148.5/250)*np2+(1-40/250)*np3+(1-
41.5/250)*np4+(1-210/250)*y+(nn-112)*3;

np1 = @floor((x+x*0.15+x*0.15**2)/ 14) + 1;

np2 =(@floor(x+x*0.15+x*0.15**2)* 0.85* 3/7/7/8)+1)* 3 +
(@floor(x+x*0.15+x*0.15**2)* 0.85*4/7/8)+1)*3;

np3=

(@floor((x+x*0.15+x*0.15**2)*0.85/6/6)+1)+@floor((x+x*0.15+x*0.15**2)*0.85
*5/6/6)+1;

np4= (@floor((x+x*0.15+x*0.15**2)*1/6/14/6)+1)
+(@floor((x+x*0.15+x*0.15**2)*5/6/14)+1);

y= @floor(((x+x*0.15+x*0.15**2)* 0.85*2.2*0.97/7/14)+1)* 5 +
@floor(((x+x*0.15+x*0.15**2)* 0.85*2.2*0.97*6/7/14)+1)* 5;

nn = (np1+np2+np3+np4)+y + 2;

$nn>=100;nn<=150$;

$5* x<=432; 5* x>=336$;

@gin(x):

# 目标函数是日平均损失数，50 天一批共 5 批，每批 x 只母羊，250 天一个
周期

# 对特殊节点的羊栏，母羊及羔羊生长周期在 7 天以内
```

np1-np4 是不同阶段的平均羊栏数 y 为育肥期美羊平均占用的羊栏数 nn 是一个周期内所需的羊栏总数

发现结果：1) 考虑随机因素，所需的羊栏数明显增多 2) 调整母羊数量范围让所需的羊栏数接近 112；