

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

$Z_{\text{周}}$	母羊生产周期
$T_{\text{空}}$	空怀期时间
$T_{\text{交}}$	交配期时间
$T_{\text{哺}}$	哺乳期时间
$T_{\text{孕}}$	孕期时间
$T_{\text{育}}$	育肥期时间
$M_{\text{需}}$	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
$Y_{\text{羊max}}$	不考虑其他因素时母羊的最大值
$Y_{\text{羊min}}$	不考虑其他因素时母羊的最小值
$T_{\text{产}}$	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 $Z_{\text{周}}$ ：空怀期加交配期加孕期加哺乳期，可得：

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

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 $Z_{\text{生长}}$ ：哺乳期加育肥期，可得：

$$Z_{\text{生长}} = T_{\text{哺}} + T_{\text{育}} \quad (3)$$

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：

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

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：

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

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

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率最大化的条件下, 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, 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

$$S_{\max} = \frac{n \times Z}{h} \quad (14)$$
$$Z = X_1 + X_2 + \cdots + X_q$$

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 为一轮中总共的出羊栏的数量， 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：

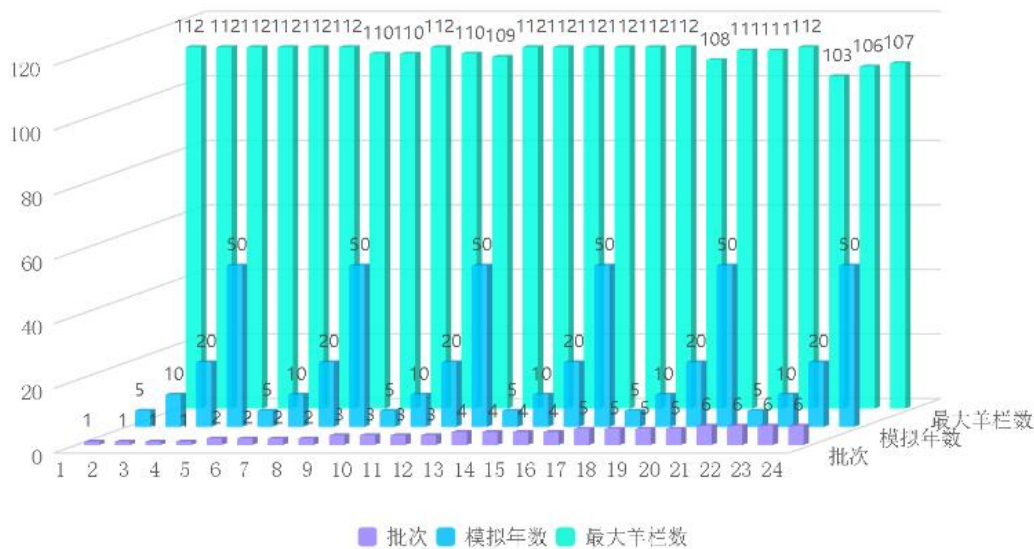


图 1 每批次在不同年份下所需最大羊栏数量图

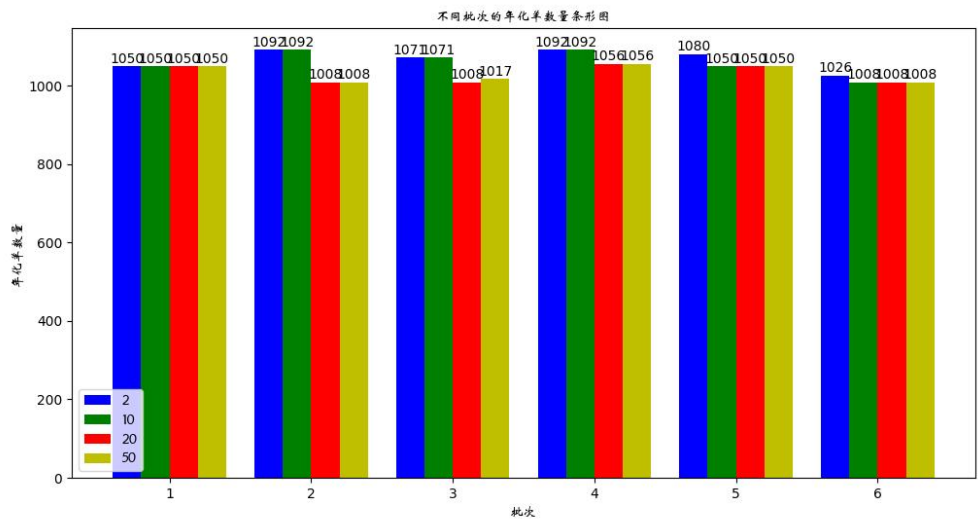


图 2 每批次在不同年份下年出栏羊只数量对比图

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

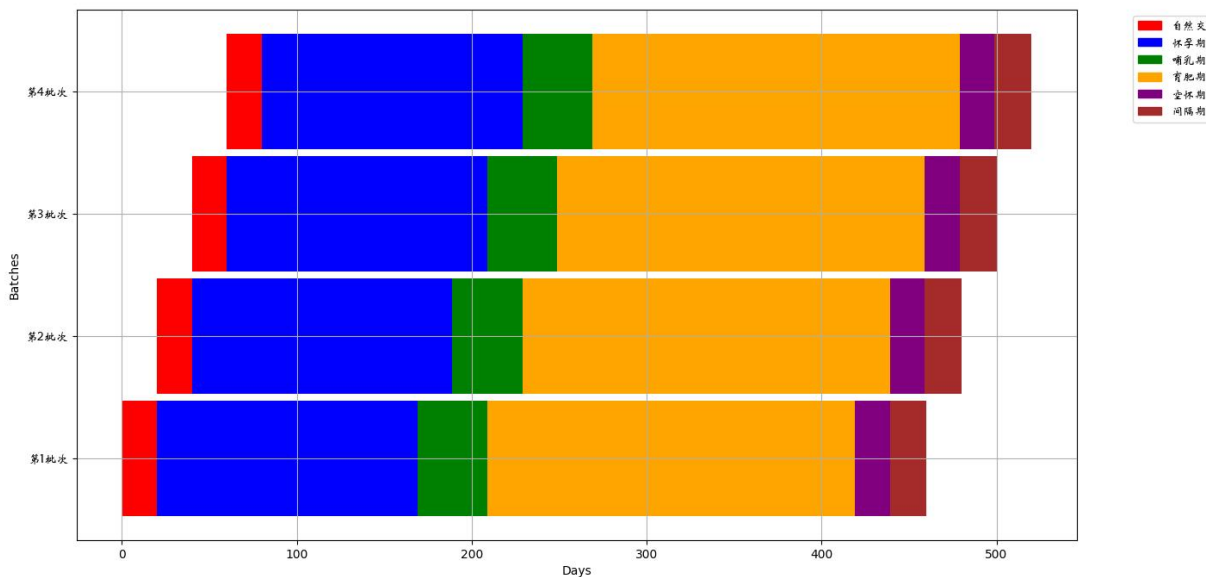


图3 生产规划示意图

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，分娩羔羊数量目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：

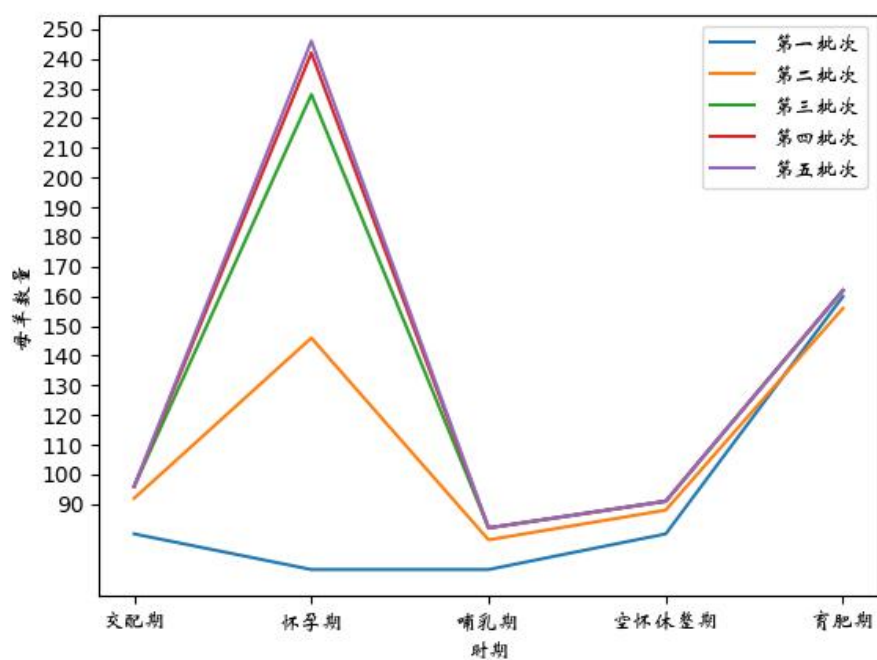


图 4 各时期母羊数量图

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：

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

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

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：

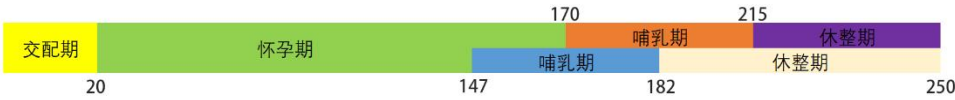


图 5 羔羊生产流程图

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(['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；