

原著論文

養豚業における繁殖サイクルの最適化のための要因分析

○西村 維方, 遊橋 裕泰
静岡大学大学院総合科学技術研究科

Factor Analysis for Optimizing the Reproductive Cycle in Pig Farming

Yukikata NISHIMURA, Hiroyasu YUHASHI
Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University

Abstract: In recent years, the importance of smart agriculture has been increasing, and in pig farming as well, there is a growing need to utilize IT for labor-saving operations and to transition toward data-driven management. In pig farming, establishing an optimal reproductive cycle is a critical factor that directly affects management performance. Among the relevant indicators, the weaning-to-mating interval (WMI) refers to the non-productive period during which sows are neither lactating nor pregnant; a prolonged WMI leads to decreased overall productivity of the farm. The aim of this study was to identify the factors influencing WMI by analyzing reproductive data. The results revealed that parity, breed, and season had significant effects on the variation in WMI. These findings are expected to contribute to data-driven management in pig farming and support the optimization of reproductive management.

キーワード: 養豚業, 発情再帰日数, 機械学習, ランダムフォレスト, データ駆動

Keywords: Pig farming, WMI, Machine learning, Random Forest, Data-driven farming

1. 養豚業における発情再帰日数の現状と課題

日本の第一次産業は、担い手の減少と高齢化による人手不足、そして経験策に依存した経営が深刻な課題となっている。このような状況を改善するため、政府が提唱する「Society 5.0」では、ICT 機器の導入とビッグデータの活用による作業の省力化とデータ駆動型経営への転換が推進されている。

養豚業も例外ではなく、慢性的な人手不足と勘や経験策に依存した経営が課題となっている。一貫経営を行う養豚会社にとって、最適な繁殖サイクルの構築は経営成績に直結する重要な要素である。その中でも、発情再帰日数は、母豚が授乳も妊娠もしていない非生産期間を指し、この日数が長くなると農場全体の生産性が低下する要因となる。一般的に、平均発情再帰日数の目標値は 5.5 日とされているが[1]、すべての農場がこの基準を達成できているわけではなく、その実態や要因の解明が求められる。そこで、本研究では発情再帰日数

に影響を及ぼす要因を明らかにし、その短縮に向けた飼養環境の改善策について検討する。

2. データと分析手法

2.1 先行研究のレビュー

宮嶋らは、発情再帰日数に影響を及ぼす要因を明らかにするため、愛知県農業総合試験場において、1973 年から 1977 年にかけて飼育されたランドレース種(L)の母豚を対象に調査を行った[2]。宮嶋らの研究では、当時の養豚環境における発情再帰日数の統計的分析が行われており、産次や母豚の体重、飼養環境などの影響が示唆されている。しかし、当時と現在では、品種改良や飼養環境、栄養管理の方法が大きく変化しており、そのまま現代の養豚業に適用することは難しい。さらに、宮嶋らの研究はランドレース種(L)のみに焦点を当てており、異なる品種間での比較は行われていない。また、産次別の違いに関する分析は行われているものの、初産、2産、3産以上の3区分にとどまっており、より詳細な産次ごとの影響については十分に検討されていない。

2025 年 2 月 18 日受理。(2025 年 3 月 1 日スマートライフ学会 2025 年度大会にて発表)

著者照会先: 〒432-8011 静岡県浜松市中央区城北3丁目5-1
静岡大学大学院総合科学技術研究科 西村維方

これらを踏まえ、本研究では、異なる品種・産次の母豚を対象に、発情再帰日数に影響を及ぼす要因を統計的に分析する。さらに、それらの要因を特定し、養豚業の生産性向上に向けた実践的な指標を示すことを目的とする。

2.2 本研究の分析手法

2.2.1 リサーチクエスション

本研究では、発情再帰日数に影響を及ぼす要因を特定するため、以下の3つのリサーチクエスション(RQ)を設定した。

- 1.品種によって発情再帰日数に違いがみられるのか
- 2.産次によって発情再帰日数に違いがみられるのか
- 3.発情再帰日数に影響を与えている要因は何か

2.2.2 分析手法

RQ1 および RQ2 については、Kruskal-Wallis 検定を用いて、品種および産次による発情再帰日数の差を分析する。検定の結果、有意差が認められた場合は、Dunn 検定による多重比較を実施し、品種および産次間で統計的に有意な差がある群を詳細に検証する。なお、多重比較における p 値の補正には Bonferroni 補正を適用し、偶然による有意差の発生を抑制する。本研究では、有意水準を $\alpha = 0.05$ に設定し、補正後の p 値が 0.05 未満の場合に統計的に有意な差があると判断する。

RQ3 については、機械学習手法であるランダムフォレストを用いて、発情再帰日数の回帰モデルを構築する。本モデルでは、前産次の繁殖成績および環境データ(哺乳期間の最高気温と平均気温)を説明変数として組み込む。モデルの汎化性能を評価するため、データの 80%を訓練用、20%をテスト用に分割し、MSE(平均二乗誤差)、RMSE(平方根平均二乗誤差)、 R^2 (決定係数)を指標として精度を評価する。さらに、各説明変数の重要度を算出し、発情再帰日数に影響を与える主要な因子を特定する。

2.3 本研究で使用したデータ

本研究の分析には、静岡大学情報学部遊橋研究室と共同研究を行う株式会社春野コーポレーションから提供されたデータを使用した。データは、静岡県浜松市天竜区の養豚場で収集され、2016年4月から2024年3月までの8年間にわたる繁殖記録に基づいている。対象となる繁殖用雌種豚(母豚)は4059頭であり、合計16830腹の繁殖記録を用いた。

分析対象とした繁殖形質は、総産子数、生存産子数、総分娩体重、総離乳体重、発情再帰日数、哺乳期間の6形質である。対象とした品種は、ランドレース種(L)、大ヨークシャー種(W)、およびそれらの交雑種(LW および WL)の4種類である。ただし、LW 種及び WL 種の8産次以降のデータが少ないため、分析には7産までのデータを使用する。以下は、分

析に用いたデータの品種別の母豚頭数と分娩腹数の内訳、および9形質の単純平均値である(表1)。

表1 繁殖成績の記録数と単純平均値

項目	L種	W種	LW種	WL種	合計/平均
母豚頭数（頭）	1206	1625	509	719	4059
分娩頭数（腹）	5085	6796	2060	2889	16830
産次別分娩頭数（腹）					
1	1072	1143	493	676	3384
2	922	1096	388	551	2957
3	798	1028	329	457	2612
4	675	950	270	386	2281
5	579	902	221	304	2006
6	494	812	174	261	1741
7	367	609	146	207	1329
8	146	226	39	47	458
9	30	26			56
10	2	4			6
総産子数（頭）	12.67	12.06	12.57	12.94	12.56
生存産子数（頭）	11.10	10.69	11.20	11.46	11.11
死産子頭数（頭）	1.58	1.38	1.36	1.48	1.45
離乳頭数（頭）	10.32	10.07	10.73	10.72	10.46
総分娩体重（kg）	16.65	15.77	16.76	17.15	16.58
総離乳体重（kg）	82.49	78.73	92.68	92.49	86.60
発情再帰日数（日）	7.41	6.52	5.91	6.02	6.46
哺乳期間（日）	26.18	26.05	27.61	27.60	26.86
妊娠期間（日）	115.77	115.42	115.71	115.61	115.63

3. モデルの分析結果

3.1 品種と発情再帰日数の分析結果

発情再帰日数が品種によって異なるかを検討するため、ノンパラメトリック検定である Kruskal-Wallis 検定を実施し、その結果を示した(表2)。分析の結果、品種間に統計的に有意な差($p < 0.001$)が認められた。さらに、より品種間の詳細な違いを明らかにするため、Dunn 検定を用いた多重比較を行い、その結果を示した(表3)。

分析の結果、L 種は LW 種($p < 0.001$)、W 種($p < 0.001$)、WL 種($p < 0.001$)と比較して有意に発情再帰日数が長いことが明らかとなった。また、W 種も LW 種と比較して有意に発情再帰日数が長いことがわかった($p < 0.001$)。一方で、LW 種と WL 種の間には有意な差は認められなかった($p = 0.130$)。

以上の結果から、L 種の発情再帰日数が最も長いことが明らかとなった。また、W 種も LW 種と比較して発情再帰日数が長いことが確認された。一方で、LW 種と WL 種の間には有意な差がなく、交雑種間での発情再帰日数の差は小さい可能性

が示唆された。

表 2 品種間における発情再帰日数の Kruskal-Wallis 検定結果

χ^2 値	自由度(df)	p値
209.47	3	2.2e-16***

*:p < 0.05
**:p < 0.01
***:p < 0.001

表 3 Dunn 検定による品種間比較の結果

品種間比較	z値	補正後p値
L種 – LW種	11.94	4.34e-32***
L種- W種	8.21	8.52e-16***
L種 – WL種	11.55	3.71e-30***
LW種 – W種	-6.42	4.06e-10***
LW種 – WL種	-1.56	1.30e-01
W種 – WL種	5.32	2.05e-07***

3.2 産次が発情再帰日数に与える影響の分析

産次による発情再帰日数の違いを明らかにするため、Kruskal-Wallis 検定を実施し、その結果を示した(表 4)。その結果、すべての品種において産次間で統計的に有意な差があることが確認された。さらに、産次ごとの具体的な差を詳細に検討するため、Dunn 検定を用いた多重比較を行い、その結果を示した(表 5)。

表 4 産次及び品種別の発情再帰日数の Kruskal-Wallis 検定結果

品種	χ^2 値	自由度 (df)	p値
L種	272.52	6	6.28e-56***
LW種	93.23	6	6.44e-18***
W種	354.56	6	1.62e-73***
WL種	220.39	6	8.61e-45***

表 5 Dunn 検定による産次間比較の結果

産次/品種	L種	LW種	W種	WL種
1-2	9.27e-28***	2.29e-07***	1.05e-17***	1.20e-08***
1-3	2.90e-33***	1.10e-11***	1.56e-34***	2.25e-25***
1-4	6.75e-31***	3.27e-09***	1.14e-31***	7.09e-18***
1-5	2.44e-28***	6.75e-13***	1.64e-55***	1.12e-28***
1-6	7.02e-22***	1.70e-07***	3.31e-37***	5.18e-17***
1-7	3.13e-13***	6.43e-03*	1.14e-17***	5.41e-05*
2-3	1.00e+00	1.00e+00	2.37e-03*	4.90e-05*
2-4	1.00e+00	1.00e+00	7.97e-03*	1.00e+00
2-5	1.00e+00	6.65e-02	2.34e-12***	3.33e-08***
2-6	1.00e+00	1.00e+00	1.87e-06***	1.73e-03*
2-7	1.00e+00	1.00e+00	1.00e+00	1.00e+00
3-4	1.00e+00	1.00e+00	1.00e+00	1.00e+00
3-5	1.00e+00	1.00e+00	2.03e-03*	1.00e+00
3-6	1.00e+00	1.00e+00	3.21e-01	1.00e+00
3-7	1.00e+00	9.12e-01	7.21e-01	1.00e+00
4-5	9.64e-01	1.00e+00	8.25e-04***	1.35e-01
4-6	1.00e+00	1.00e+00	1.99e-01	1.00e+00
4-7	1.00e+00	1.00e+00	7.67e-01	1.00e+00
5-6	1.00e+00	1.00e+00	8.01e-01	9.57e-01
5-7	1.00e+00	1.00e+00	8.84e-01	1.00e+00
6-7	1.00e+00	1.00e+00	9.59e-01	1.00e+00

分析の結果、すべての品種において、初産と 2 産の間で発情再帰日数に有意な差が認められた。一方で、W 品種を除くすべての品種において、2 産次以降の発情再帰日数には統計的に有意な変化がほとんど認められなかった。

3.3 発情再帰日数に影響を与える要因についての分析

発情再帰日数に影響を及ぼす要因を明らかにするため、ランダムフォレスト分析を実施した。モデルの精度評価として、決定係数(R²)は 0.726、MSE(平均二乗誤差)は 32.88、RMSE(平方根平均二乗誤差)は 5.73 となった。この結果から、ランダムフォレストモデルは発情再帰日数の予測において一定の精度を持つことが確認された。

次に、ランダムフォレスト分析に基づく変数重要度(%IncMSE および IncNodePurity)を算出し、その結果を表

6 に示す。その結果、前産次の繁殖成績の中で発情再帰日数に大きな影響を与えた要因は、「前産次の総離乳体重」「前産次の総分娩体重」「前産次の哺乳期間」であることが明らかとなった。

また、環境要因である「前産次の哺乳期間の平均気温」および「前産次の哺乳期間の最高気温」も高い変数重要度を示した。これにより、哺乳期間の環境要因が発情再帰日数に及ぼす影響が無視できないことが示唆される。

表 6 発情再帰日数の予測における変数重要度

項目	%IncMSE	IncNodePurity
前産次の総産子数	23.39	102183.22
前産次の生存産子数	21.28	91421.51
前産次の離乳頭数	22.63	57437.97
前産次の哺乳期間	21.67	108541.91
前産次の総分娩体重	27.02	183024.71
前産次の総離乳体重	25.91	177719.83
品種	10.37	43776.89
産次	28.65	86211.93
前産次の哺乳期間の平均気温	27.90	200730.65
前産次の哺乳期間の最高気温	27.65	209408.76

4. 発情再帰日数に影響を与える要因

4.1 品種と発情再帰日数

本研究の分析により、L 種は他の品種と比較して発情再帰日数が有意に長いことが明らかとなった。L 種は、他の品種に比べて産子数が多いことが特徴である[3]。一般に、多産性の母豚は授乳期間中の栄養要求が高く、タンパク質やエネルギーの消費が増大することが明らかになっている[4]。その結果、出産によるダメージの回復に時間を要し、特に授乳期間の体重減少が大きい場合、離乳後のエネルギー回復が遅れ、発情再帰日数が延長する傾向があることが報告されている[5]。これらの研究結果を踏まえると、L 種の多産性が、他の品種に比べて発情再帰日数を長くする一因になっていると考えられる。

しかし、表 1 からわかるように、L 種の離乳頭数は 10.32 頭であり、LW 種および WL 種と比較すると少ないことが確認できる。また、離乳体重についても、LW 種および WL 種に比べて約 10kg 程度低いことが分かる。発情再帰日数は 4 品種の中で最も長いものの、繁殖成績が優れているとは言い難い。これ

らの要因については、さらなる詳細な分析が求められる。

また、表 1 より、交雑種である LW 種および WL 種は、純粋種である L 種および W 種と比較して繁殖成績が優れていることが分かった。さらに、表 3 から明らかのように、交雑種である LW 種および WL 種は、純粋種である L 種および W 種に比べて発情再帰日数が統計的に有意に短いことが確認できる。LW 種と WL 種が優れた繁殖成績を残す理由として、ヘテロシス効果(雑種強勢)が考えられる。ヘテロシス効果とは、異なる品種間の交配により、親品種よりも優れた形質が子孫に発現する現象を指す。実際に、静岡県畜産技術研究所の研究報告においても、交雑種が純粋種と比較して繁殖成績において優れた結果を示すことが報告されている[6]。本研究においても同様の傾向が見られた。

4.2 産次と発情再帰日数

表 4 に示すように、すべての品種において、産次によって発情再帰日数には有意な差があることが確認された。先行研究である宮嶋らの研究では、初産豚の発情再帰日数は平均 29.0 日、2 産豚は平均 15.2 日、3 産豚は平均 16.5 日と報告されている[2]。本研究で分析に用いたデータから算出された産次および品種別の発情再帰日数に示した(表 7)。

表 7 産次及び品種別の平均発情再帰日数

産次/品種	L種	W種	LW種	WL種
1	14.34	9.79	11.43	11.10
2	8.65	8.02	7.44	8.51
3	7.89	7.48	7.22	6.29
4	7.39	6.20	6.85	6.46
5	7.71	5.95	6.42	5.94
6	7.67	6.51	6.61	6.45
7	6.78	5.55	6.16	5.72

表 7 と先行研究を比較すると、発情再帰日数が大幅に短縮されていることがわかる。この結果は、過去数十年にわたる飼育環境の改善および品種改良が繁殖成績の向上に寄与していることを示唆している。特に、飼料の最適化、飼育管理技術の進歩が、発情再帰の早期回復に貢献している可能性が高い。近年の繁殖管理では、離乳後の適切な栄養補給やストレス管理が強化されており、これが発情再帰日数の短縮に影響を与えていると考えられる。

また、佐々木らの研究では、産次ごとの発情再帰日数について分析を行い、産次が進むにつれて発情再帰日数が短縮する傾向があることが示された[7]。具体的には、初産では 6.50 日と最も長く、2 産では 5.65 日、3 産では 5.16 日、4 産で

は 4.75 日と推移し、4 産目以降ではほぼ安定することが確認されている。この結果と本研究の分析結果と比較すると、類似した傾向があることがわかる。さらに、佐々木らの研究および本研究のいずれにおいても、初産豚の発情再帰日数が長くなる傾向が確認されている。この要因として、初産豚は成長過程にあり、体の成熟が完全ではないためホルモンバランスが安定していない可能性があること、また初産時は分娩ストレスの影響を受けやすく、回復に時間がかかることなどが考えられる。

そして、表 5 の結果から、初産の成績が繁殖サイクル全体の安定において重要であると言える。W 品種を除くすべての品種において、2 産以降の発情再帰日数には統計的に有意な変化がほとんど認められなかった。このことから、発情再帰日数を短縮し、最適な繁殖サイクルを構築するためには、初産時の発情再帰日数をいかに抑えるかが鍵となると考えられる。

これらの分析結果を踏まえると、2 産以降では発情再帰日数に有意な差がみられないことから、初産時の発情再帰日数を短縮することで、その後の産次においても安定した発情サイクルを維持しながら飼育を行える可能性が高い。したがって、今後は初産母豚の発情再帰日数を抑えるための飼育環境の最適化が重要となり、適切な栄養管理やストレス軽減を含めた繁殖管理のさらなる改善が求められる。

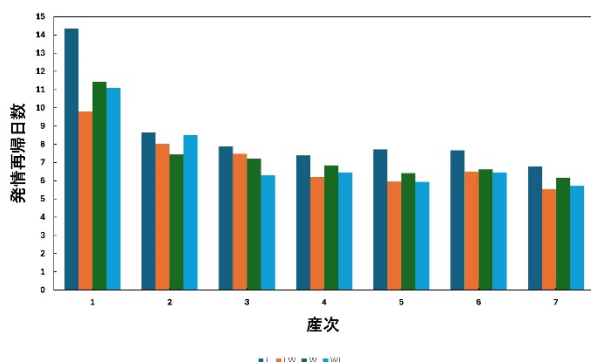


図 1 産次および品種別の平均発情再帰日数の比較

4.3 発情再帰日数に影響を与える要因について

ランダムフォレストで作成した発情再帰日数の回帰モデルの決定係数は 0.726 で一定の説明ができた。そして、説明変数の重要度の分析では、前産次の繁殖成績の中で大きな影響を与えた要因は、「前産次の総離乳体重」「前産次の総分娩体重」「前産次の哺乳期間」であった。これらの指標は、繁殖期における母豚の生理的負担や栄養状態を反映していると考えることができ、Clowes ら[5]の報告と一致した。

また、環境要因である「前産次の哺乳期間の平均気温」および「前産次の哺乳期間の最高気温」も高い変数重要度を示した。これらの要因が高い重要度を示した理由として、暑熱ストレスが考えられる。中央家畜保健衛生所が行った調査では、

暑熱ストレスが母豚の生産性や健康に多大な影響を与えることが明らかになっている[8]。繁殖成績への影響として、母豚の流死産や不受胎の増加が確認された。また、成長や栄養代謝への影響としては、飼料摂取量の減少が挙げられる。暑熱ストレス下では、豚は体温を調節するために摂食量を抑制する傾向があり、それに伴い血清中の総コレステロール値が低下することが確認された。特に、8 月および 9 月の期間において、6 カ月齢肥育豚の総コレステロール値が顕著に低下することが確認され、暑熱環境下では持続的な飼料摂取量の減少が生じる可能性が示唆された。

これらの結果を総合すると、暑熱ストレスは母豚の繁殖成績や飼料要求率、栄養状態を悪化させ、発情再帰日数を延ばす要因となる可能性がある。したがって、発情再帰日数を適切に管理し、繁殖効率を維持するためには、暑熱環境下での哺乳期間の飼養管理の改善が必要であると考えられる。

5. 本研究の課題と展望

本研究では、品種および産次が発情再帰日数に有意な影響を及ぼすことを明らかにした。品種による差が認められたことから、各品種に適した飼養管理方法の確立が求められる。また、産次については、W 種を除くすべての品種で 2 産以降の発情再帰日数に統計的に有意な変化がほとんど認められなかったことから、初産の発情再帰日数を短縮することが、最適な繁殖サイクルの構築には重要であると考えられる。さらに、ランダムフォレストを用いた発情再帰日数の予測モデルの決定係数 (R^2) は 0.726 であり、一定の精度で発情再帰日数を予測できることが確認された。

今後の課題として、発情再帰日数の変動が農場の収益に及ぼす影響を定量的に評価することが重要である。発情再帰日数の短縮が農場全体の収益性向上にどの程度寄与するかを定量的に評価することで、持続可能な経営戦略の策定に貢献できると考えられる。

また、本研究では哺乳期間が発情再帰日数に大きな影響を与えることが示唆された。哺乳期間の環境や母豚の栄養状態が発情再帰日数の遅れとどのように関連しているのか、より詳細な検討が必要である。さらに、環境要因として考慮した哺乳期間の気温に加え、湿度や換気状況などの要因を考慮することで、より包括的な管理戦略の構築が可能になると考えられる。

今後は、発情再帰日数を短縮するための管理手法を確立するとともに、繁殖効率の向上を通じた経営改善に貢献できる予測モデルのさらなる精度向上を目指す。特に、環境要因をより詳細に考慮したモデルの構築や、多様なデータを統合し

た機械学習手法の適用を進めることで、より実用的な管理指標の提供を目指す。

謝辞

本研究は、静岡大学情報学部遊橋研究室と株式会社春野コーポレーションの共同研究の一環でデータ提供を受けた。同社代表取締役・鳥居英剛氏および総務部情報システム係長・鈴木栄司氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] PIC, Gilt and Sow Management Guidelines PIC 2017, イワタニ・ケンボロー株式会社, (2019).
- [2] 宮嶋松一, 椎葉純一, 河野建夫, 稲垣二郎: "豚の発情再帰とその諸要因との関係", 日豚研誌, Vol. 16, No. 1, pp. 45-55 (1979).
- [3] 中塩屋正志, 塘之内正次郎, 岩切正芳, 三角久志, 中田雄二: "ランドレース種の系統造成(第3報)", 宮崎県畜産試験場試験研究報告, Vol. 23, pp. 64-74 (2010).
- [4] Clowes, E. J., Aherne, F. X., Foxcroft, G. R., & Baracos, V. E.: "Selective protein loss in lactating sows is associated with reduced litter growth and ovarian function", Journal of Animal Science, Vol. 81, No. 3, pp. 753-764 (2003).
- [5] Clowes, E. J., Aherne, F. X., Foxcroft, G. R., & Baracos, V. E.: "Skeletal muscle protein mobilization during the progression of lactation in sows", Physiology & Behavior, Vol. 83, No. 5, pp. 799-806 (2004).
- [6] 寺田圭, 伊神悠祐, 柴田昌利: "大ヨークシャー種、ランドレース種および F1 母豚の繁殖形質の遺伝的パラメータの推定", 静岡県畜産技術研究所研究報告, Vol. 13, pp. 8-9 (2020).
- [7] 佐々木真也, 砂原一彦: "「おかやま黒豚」種豚の繁殖成績", 岡山県農林水産総合センター畜産研究所研究報告, Vol. 7, pp. 7-10 (2017).
- [8] 大城守, 池宮城一文, 津波修, 比嘉喜政: "養豚管理における暑熱ストレスの影響と効果的対策の検討", 中央家畜保健衛生所, (2008).

著者紹介

西村維方(学生会員)



2024 年 静岡大学情報学部行動情報学科卒業、学士(情報学)。2025 年現在、静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻に在籍。養豚業におけるデータ駆動型経営の実現を目指し、データ分析の観点から研究に従事。

遊橋裕泰(正会員)



静岡大学創造科学技術大学院情報科学専攻。教授。東京工業大学修了、博士(学術)。所属学会:スマートライフ学会、経営情報学会、日本情報経営学会、日本マーケティング学会。