Результаты анализа количественных и качественных показателей мясной продуктивности свиней

Владимир Аникеевич Погодаев, Константин Александрович Катков, Вероника Андреевна Боташева
ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Ставропольский край, Михайловск, Россия, sniish@mail.ru

Аннотация. В работе предлагается использовать такой метод многомерного анализа данных, как метод главных компонент. Суть его заключается в снижении размерности матрицы исходных данных и переход к некоррелированным величинам. Построенный на основе метода главных компонент комплексный показатель продуктивности представляет собой единый числовой параметр, который объединяет в себе все исходные параметры мясной продуктивности. Анализ значения полученного комплексного показателя продуктивности для различных групп животных позволит определить степень влияния различных иммуномодулирующих препаратов на мясную продуктивность свиней. С этой целью используется процедура дисперсионного анализа. Определенную новизну в представленной работе представляет алгоритм формирования комплексного показателя продуктивности на основе метода главных компонент. При проведении исследования использовались такие средства компьютерной математики, как табличный процессор MS Excel, а также интегрированный математический пакет MATLAB.

Ключевые слова: свиньи; иммуномодулирующий препарат; мясные качества; комплексный показатель продуктивности; метод главных компонент; дисперсионный анализ.

Для цитирования: Погодаев В. А., Катков К. А., Боташева В. А. Результаты анализа количественных и качественных показателей мясной продуктивности свиней // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 94–99. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp94-99>.

VETERINARY MEDICINE AND ZOOTECHNICS

Original article

Analysis results of quantitative and qualitative indicators of pork productivity

Vladimir A. Pogodaev, Konstantin A. Katkov, Veronika A. Botasheva

North Caucasus Federal Agrarian Research Center, Stavropol Territory, Mikhailovsk, Russia, sniish@mail.ru

Abstract. The composite productivity indicator which was constructed on the basis of the principal component analysis is a single numerical parameter that combines all the input parameters of meat productivity. The value analysis of the obtained composite productivity indicator for various groups of animals will allow us to determine the degree of impact of different immunomodulatory drugs on the meat productivity of pigs. For this purpose we use the analysis of variance. The novelty of the presented work is the algorithm of forming a composite productivity indicator based on the principal component analysis. During the research, the authors used such computer-based mathematical tools as MS Excel spreadsheet, as well as the integrated mathematics package MATLAB.

Keywords: pigs; immunomodulatory drug; meat qualities; composite productivity indicator; principal component analysis; analysis of variance.

For citation: Pogodaev V. A., Katkov K. A., Botasheva V. A. Analysis results of quantitative and qualitative indicators of pork productivity. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;(12): 94–99. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp94-99>.

Введение. Интенсификация свиноводства должна предусматривать максимальное использование биологических особенностей свиней путем создания для них оптимальных условий кормления и содержания, совершенствования и разработки новых технологий; создания и новых пробиотических препаратов, иммуностимуляторов и иммуномодуляторов [4, 9]. На мясную продуктивность свиней оказывают влияние многочисленные факторы: генотип животного, пол, возраст, технология откорма, тип кормления, использование биологически активных веществ и др. [6, 10, 11].

Актуальным направлением является также изучение мясной продуктивности свиней в зависимости от применения различных биологических стимуляторов. Использование в современном животноводстве различного рода биологических стимуляторов способствует увеличению мясной продуктивности животных. Оценка влияния того или иного стимулятора на мясную продуктивность является актуальной задачей. В свою очередь мясная продуктивность свиней определяется достаточно большим количеством параметров. Другими словами, можно говорить, что при анализе мясной продуктивности каждая особь будет представлять из себя точку в многомерном пространстве, где количество измерений определяется числом параметров. При этом стоит учитывать, что между этими параметрами мясной продуктивности часто существует заметная корреляция. В этих условиях сложно построить какой-либо комплексный числовой показатель, который бы адекватно отображал значения всех исходных параметров.

Целью работы явилась оценка количественных и качественных показателей мясной продуктивности молодняка свиней при использовании иммуномодулирующего препарата (ПИМ).

Методика исследований. При проведении исследований решали следующие задачи: сформировать для каждого животного комплексный числовой показатель продуктивности (КПП), учитывающий все обозначенные исходные параметры; определить, как влияют разные дозы препарата ПИМ на среднее значение комплексного показателя продуктивности в каждой анализируемой группе.

Для опыта по принципу пар-аналогов было отобрано 60 гибридных поросят (КБ × СМ-1), которых разделили на три группы по 20 голов в каждой с учетом гнездовой принадлежности. Поросятам I (контрольной) группы проводили подкожные инъекции физиологического раствора в дозе 0,1 мл на 1 кг живой массы, II (опытной) группы – инъекции препарата иммуномодулирующего в дозе 0,1 мл на 1 кг живой массы, III (опытной) группы – инъекции препарата иммуномодулирующего в дозе 0,15 мл на 1 кг живой массы. Инъекции во всех группах проводили трехкратно с ин-

тервалом семь суток. После откорма в шестимесячном возрасте был проведен контрольный убой шести животных (трех свинок и трех боровков) из каждой подопытной группы.

Так как измеряемые параметры мясной продуктивности сильно коррелированы между собой, то имеет смысл перейти к независимым и переменным. Поэтому для решения первой задачи предлагается воспользоваться методом главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) [2, 5, 7]. Основная идея формирования комплексного показателя продуктивности заключается в следующем. С помощью метода PCA сокращается количество переменных в исходном наборе данных. В выделенном подпространстве главных компонент определяются три опорных точки.

Точка MAX – соответствует гипотетическому животному, у которого все используемые параметры имеют наилучшее значение.

Точка MIN – соответствует гипотетическому животному, у которого все используемые параметры имеют наихудшее значение.

Точка MED – соответствует гипотетическому животному, значения ХПП которого равны медианам используемых параметров.

При этом наилучшие, наихудшие и срединные значения берутся из используемой выборки исходных данных. Наилучшими значениями для параметров, отвечающих принципу «чем больше – тем лучше», являются максимальные значения в выборке. Соответственно, наихудшими для таких параметров являются минимальные значения. Наоборот, для параметров, отвечающих принципу «чем меньше – тем лучше», максимальные значения будут являться наихудшими, а минимальные – наилучшими.

Затем в пространстве главных компонент определяются координаты векторов, соответствующих всем оцениваемым животным, и рассчитывается близость этих векторов к опорным точкам. Животные, векторы которых окажутся вблизи точки MAX, составят группу «А». Значение параметров таких животных будет близко к наилучшим значениям по всей выборке из 18 животных. Животные, чьи векторы окажутся вблизи точки MED, составят группу «В». Животные, векторы которых будут ближе к точке MIN, составят третью группу «С». Параметры этих животных будут наиболее близки к наихудшим параметрам анализируемой выборки животных.

Так как исходные данные имеют различную размерность и порядок, то перед применением метода PCA матрицу исходных данных необходимо стандартизировать. Для этого используется выражение:

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_X}, \quad (1)$$

где Z_i – стандартизованное значение признака для i -го животного; X_i – исходное значение признака для i -го животного; $\bar{X}$ – среднее значение признака; σ_X – среднее квадратичное отклонение (СКО) признака.

Данная стандартизация необходима для того, чтобы избежать слишком большого разброса дисперсий в исходных данных. Такой разброс может привести к ошибочным результатам применения метода PCA. После стандартизации матрицы исходных данных можно приступить к расчету главных компонент. Суть этого метода и его алгоритм подробно описаны в [2, 5, 7]. В пакете MATLAB для реализации метода PCA можно воспользоваться встроенными функциями `princomp` и `pcacov` [1, 8].

В результате реализации метода PCA в интегрированном пакете MATLAB получаем матрицу нагрузок (A) размерностью $[n \times n]$, вектор собственных значений компонент (λ) размерностью n , а также матрицу счетов (PC) размерностью $[h \times n]$. Здесь h – количество оцениваемых животных в выборке, n – количество используемых параметров.

На следующем этапе проводится отбор главных компонент по необходимой доле объясненной дисперсии исходных признаков. Эта доля, как правило, не менее 80 %. Остальные компоненты отбрасываются. Если число отобранных главных компонент равно k , то матрица счетов, которая будет нами использоваться в дальнейшем, принимает размерность $[h \times k]$. Это означает, что каждому i -му животному в пространстве отобранных главных компонент будет соответствовать вектор, элементами которого будут координаты главных компонент из матрицы счетов PC:

$$[PC_1^i \quad PC_2^i \quad \dots \quad PC_k^i], \quad (i=1 \dots h). \quad (2)$$

Следующим этапом является определение опорных точек MAX, MED и MIN. Для этого выбираются наилучшие, срединные и наихудшие значения исходных параметров. Далее необходимо воспользоваться матрицей нагрузок (A). Каждый элемент этой матрицы (a_{mj}) представляет собой компонентную нагрузку исходного параметра m по компоненте j . Так как нами уже определено число k главных компонент, то будем использовать только k первых столбцов матрицы A ($j = 1 \dots k$). Главные компоненты для точек MAX, MED и MIN рассчитываются с учетом полученных ранее компонентных нагрузок для соответствующих признаков:

$$\begin{cases} PC_j^{\max} = \sum_{m=1}^n a_{mj} X_m^{\max} \\ PC_j^{\text{med}} = \sum_{m=1}^n a_{mj} X_m^{\text{med}}, \quad (j=1 \dots k), \\ PC_j^{\min} = \sum_{m=1}^n a_{mj} X_m^{\min} \end{cases} \quad (3)$$

где n – количество исходных параметров, используемых для формирования комплексного показателя продуктивности.

Таким образом, в подпространстве выбранных k главных компонент получаем h точек с координатами (2) и три опорных точки с координатами, определяемыми выражениями (3). Теперь необходимо в этом k -мерном пространстве главных компонент найти расстояния от каждой из h точек, характеризующих оцениваемое животное, до опорных

точек MAX, MED и MIN. Эти расстояния обозначим соответственно как $D_i^{\max}, D_i^{\text{med}}, D_i^{\min}$. В k -мерном пространстве главных компонент их значения определяются выражениями:

$$\begin{cases} D_i^{\max} = \sqrt{(PC_1^i - PC_1^{\max})^2 + (PC_2^i - PC_2^{\max})^2 + \dots + (PC_k^i - PC_k^{\max})^2} \\ D_i^{\text{med}} = \sqrt{(PC_1^i - PC_1^{\text{med}})^2 + (PC_2^i - PC_2^{\text{med}})^2 + \dots + (PC_k^i - PC_k^{\text{med}})^2}, (i=1\dots h) \\ D_i^{\min} = \sqrt{(PC_1^i - PC_1^{\min})^2 + (PC_2^i - PC_2^{\min})^2 + \dots + (PC_k^i - PC_k^{\min})^2} \end{cases} \quad (4)$$

Далее необходимо сравнить значения $D_i^{\max}, D_i^{\text{med}}, D_i^{\min}$ между собой. Минимальное значение этих величин показывает, к какой опорной точке ближе располагается точка, характеризующая оцениваемое животное. Если минимальной оказывается величина $D_i^{\max}$, то это означает, что i -е животное относится к группе «А», если минимально D_i^{med} , то животное принадлежит группе «В», если минимально $D_i^{\min}$ – к группе «С».

Комплексный показатель продуктивности животного KP предлагается рассчитывать как величину, обратную значению $D_i^{\max}$:

$$KP_i = 1/D_i^{\max}. \quad (5)$$

Чем выше значение KP , тем ближе в координатном пространстве главных компонент к точке MAX располагается точка, характеризующая оцениваемое животное, а, следовательно, тем ближе к максимальным значениям находятся исходные параметры данного животного.

Для решения второй задачи предлагается воспользоваться однофакторным дисперсионным анализом. Фактором является принадлежность животного к одной из трех групп. Соответственно, фактор имеет три градации. Нулевая гипотеза звучит так. Среднее значение комплексного показателя продуктивности не зависит от того, к какой группе принадлежит животное. Однофакторный анализ должен подтвердить или опровергнуть сформулированную нулевую гипотезу.

В качестве средств компьютерной математики, используемых при проведении расчетов, используется табличный процессор MS Excel и интегрированный математический пакет MATLAB, обладающий большим набором встроенных функций, помогающих реализовать метод PCA [3].

Результаты исследований. В качестве примера рассматривается набор исходных данных, состоящий из 36 параметров, характеризующих мясную продуктивность свиней. Средние значения этих параметров в группах I, II и III представлены в табл. 1.

Таблица 1

Набор исходных данных и их средние значения в группах

№ п/п	Параметр	Среднее значение параметра		
		I группа	II группа	III группа
1	Предубойная живая масса, кг	99,5±0,193	108,617±0,299	110,15±0,382
2	Масса головы, кг	4,367±0,205	4,9±0,08	5±0,075
3	Масса ног, кг	1,583±0,066	1,8±0,08	1,943±0,073
4	Масса внутреннего жира, кг	1,95±0,096	2,46±0,121	2,5±0,12
5	Масса туши, кг	65,833±0,640	74,383±0,455	76,31±0,319
6	Убойная масса, кг	73,733±0,987	83,5±0,740	85,693±0,649
7	Убойный выход, %	74,172±0,848	76,91±0,484	77,755±0,378
8	Длина полутуши	99,87±0,635	107±0,894	107,833±0,868
9	Длина бековой половинки	83,5±0,495	87,5±0,678	88,167±0,658
10	Площадь «мышечного глазка», см ²	38,667±0,673	41,833±0,956	43,333±0,611
11	Масса задней трети полутуши, кг	10,9±0,427	12,2±0,196	12,75±0,394
12	Толщина шпика над 6–7-м грудными позвонками, мм	23,333±0,542	25,5±0,616	26,667±0,673
13	Масса охлажденной полутуши, кг:	32,9±0,316	37,2±0,223	38,15±0,167
14	мяса, кг	20,333±0,322	22±0,393	22,533±0,220
15	мяса, %	61,793±0,551	59,123±0,732	59,058±0,408
16	сала, кг	8,117±0,201	10,65±0,327	10,883±0,175
17	сала, %	24,675±0,611	28,652±1,021	28,537±0,527
18	костей, кг	4,45±0,189	4,533±0,167	4,733±0,092
19	костей, %	13,532±0,594	12,225±0,366	12,405±0,195
20	Первоначальная влага, %	63,093±2,088	59,768±0,783	58,5±2,096
21	Гигроскопическая влага, %	29,923±3,451	33,165±2,248	34,427±2,278
22	Общая влага, %	74,438±0,254	73,347±0,314	72,978±0,459
23	Сухое вещество, %	25,568±0,251	26,638±0,323	27,022±0,459
24	Органическое вещество, %	24,47±0,240	25,523±0,308	25,903±0,466
25	Сырая зола, %	1,098±0,011	1,13±0,009	1,118±0,026
26	Сырой протеин, %	21,998±0,225	22,542±0,389	22,598±0,351
27	Сырой жир, %	2,472±0,026	2,982±0,180	3,302±0,564
28	pH через 24 ч после убоя, ед.	5,557±0,153	5,648±0,157	5,643333
29	Влагоудерживающая способность, %	54,567±0,485	58,9±0,627	59,5±0,666
30	Интенсивность окраски, ед. экстинкции ×1000	72,6±0,310	74,1±0,411	75±0,375
31	Потери сока при нагревании, %	35,6±0,640	32,783±0,544	31,9±0,501
32	Общая влага, %	8,137±0,095	7,592±0,202	7,402±0,316
33	Сухое вещество, %	91,863±0,095	92,408±0,202	92,598±0,316
34	Йодное число	55,8±0,985	58,033±0,457	58,667±0,421
35	Температура плавления, °C	37,5±0,162	35,667±0,323	35,2±0,221
36	Температура застывания, °C	7,717±0,264	6,7±0,16	6,5±0,245

Следует учесть, что из представленных параметров не все работают по принципу «чем больше – тем лучше». К таковым не относятся параметры с номерами 12, 16, 17, 20, 21, 22, 28, 31, 32, 35. Поэтому при формировании точки MAX для этих параметров будет выбираться минимальное значение, а при формировании точки MIN – максимальное.

Перед применением метода PCA необходимо проверить степень коррелированности исходных данных между собой. Для этого необходимо построить корреляционную матрицу. Так как используется достаточно большое число параметров (36), то числовое представление корреляционной матрицы будет весьма громоздким. Поэтому имеет смысл результаты расчета визуализировать в виде, представленном на рис. 1. Данные представлены цветовыми сочетаниями от темного (минимум) до светлого (максимум). Соответствующая шкала представлена на рис. 1 справа. Анализ данных показал, что исходные данные сильно коррелируют между собой. Поэтому для сокращения размерности задачи и расчета КПП оправдан переход к некоррелированным переменным. Это позволяет сделать метод PCA.

Применение метода PCA в рассматриваемой задаче позволило выделить 8 первых главных компонент. Правомочность выбора такого числа главных компонент иллюстрирует рис. 2.

На рис. 2а представлен график кумулятивной доли объясненной дисперсии исходных признаков, объясняемых компонентами PC. Из этого графика видно, что восемь первых главных компонент суммарно описывают 94,6 % дисперсии исходных параметров. На рис. 2б изображен график изменения собственных значений компонент λ . На рис. 2с – гистограмма объясненной дисперсии исходных параметров, описанной каждой компонентой. Другими словами, график на рис. 2с описывает информативность главных компонент. Эти графики показывают, что информативность компонент, начиная с девятой, ничтожно мала, и их можно не брать в дальнейшую обработку.

Таким образом, размерность задачи снижается и можно перейти к подпространству восьми главных компонент, которые ортогональны друг другу, т.е. являются независимыми.

В подпространстве выделенных восьми главных компонент определяются координаты опорных точек MAX, MED и MIN.

Для определения точки MAX выбираются максимальные значения исходных параметров, отвечающих принципу «чем больше – тем лучше». Напомним, что таковыми являются все параметры, кроме параметров с номерами 12, 16, 17, 20, 21, 22, 28, 31, 32, 35. Для этих параметров выбираются минимальные значения:

$$\begin{cases} X_j^{\max} = \max(X_i), & (j \neq 12, 16, 17, 20, 21, 22, 28, 31, 32, 35) \\ X_j^{\max} = \min(X_i), & (j = 12, 16, 17, 20, 21, 22, 28, 31, 32, 35) \end{cases} \quad (6)$$

Аналогично для определения точки MIN для указанных выше параметров выбираются максимальные значения:

$$\begin{cases} X_j^{\min} = \min(X_i), & (j \neq 12, 16, 17, 20, 21, 22, 28, 31, 32, 35) \\ X_j^{\min} = \max(X_i), & (j = 12, 16, 17, 20, 21, 22, 28, 31, 32, 35) \end{cases} \quad (7)$$

Для определения точки MED используются медианы параметров исходных параметров (X_j^{med}).

Correlation matrix

Рис. 1. Визуализация корреляционной матрицы исходных данных

Рис. 2. Графики, иллюстрирующие применение метода PCA: а – кумулятивная объясненная дисперсия исходных параметров по компонентам; б – собственные значения компонент λ ; с – объясненная дисперсия параметров по каждой компоненте

Рис. 3. Рассчитанные значения $D_i^{\max}, D_i^{\text{med}}, D_i^{\min}$ для анализируемой выборки животных

Таблица 2

Значения КПП для анализируемых животных

Группа	№ животного	Значение КПП
I	S1	0,0842
	S2	0,0645
	S3	0,0843
	S4	0,0743
	S5	0,0651
	S6	0,0930
II	S7	0,1265
	S8	0,1379
	S9	0,1064
	S10	0,1003
	S11	0,1516
	S12	0,1028
III	S13	0,2018
	S14	0,1239
	S15	0,1123
	S16	0,1315
	S17	0,1151
	S18	0,1288

Рис. 4. Значения КПП для анализируемой выборки животных

Рассчитанные в соответствии с выражениями (4) расстояния $D_i^{\max}, D_i^{\text{med}}, D_i^{\min}$ от векторов животных до опорных точек показаны на рис. 3. Данные графика на этом рисунке показывают, что из восемнадцати анализируемых животных одно наиболее близко подходит к точке MAX (ромб на рис. 3). Это животное можно отнести к группе «А». Три животных относятся к группе «С» (квадраты на рис. 3). Эти животные наиболее близки к опорной точке MIN. Остальные животные (кружки на рис. 3) составляют группу «В».

Значения комплексного показателя продуктивности, полученные с использованием выражения (5), показаны в табл. 2. Более наглядное представление о соотношении полученных значений КПП между собой дает рис. 4.

Из данных, показанных на рис. 4, следует, что наименьшие значения комплексного показателя продуктивности будут у животных, относящихся к I группе. Животные, составляющие II и III группы, отличаются более высокими значениями комплексного показателя продуктивности. Насколько существенно это различие поможет ответить однофакторный дисперсионный анализ. Градациями фактора является принадлежность каждого животного к одной из трех указанных выше групп. Результаты однофакторного дисперсионного анализа по данным, представленным в табл. 2, показаны в табл. 3.

Представленные в табл. 3 значения критерия Фишера $F > F_{кр}$, а также величина P-value позволяют отвергнуть выдвинутую нулевую гипотезу и принять альтернативную. Другими словами, можно утверждать, что среднее значение КПП, как минимум, в одной из выборок значимо отличается от остальных и зависит от градации фактора. Как соотносятся между собой значения КПП в выборках, дает понять диаграмма размаха, построенная по результатам дисперсионного анализа (рис. 5). Она показывает, что средние значения КПП в I группе существенно ниже, чем во II и III группах. При этом такое различие значимо. Что касается различий средних значений КПП во II и в III группах, то здесь говорить о существенной разнице нельзя. Возможно, это связано с малым объемом анализируемых выборок.

Данные, представленные в табл. 3, позволяют рассчитать силу влияния фактора на средние значения КПП в выборках. Для этого необходимо воспользоваться выражением:

$$\eta_x^2 = \frac{SS_A}{SS_T}, \quad (8)$$

где $SS_A = 0,01091$ – факториальная (межгрупповая) дисперсия; $SS_T = 0,01933$ – общая дисперсия.

Рис. 5. Диаграмма размаха по результатам дисперсионного анализа

Результаты однофакторного дисперсионного анализа

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-value	F _{кр}
Между группами	0,01091	2	0,00545	9,71424	0,001967	3,68232
Внутри групп	0,00842	15	0,00056			
Итого	0,01933	17				

Ошибка показателя силы влияния в однофакторном дисперсионном комплексе определяется выражением:

$$m_{\eta_x^2} = (1 - \eta_x^2) \frac{r - 1}{N - r}, \quad (9)$$

где r – количество градаций фактора; N – общее количество анализируемых животных.

Расчетное значение силы влияния фактора равно $\eta_x^2 = 0,564 \pm 0,058$, что является достаточно заметным. Значение F является показателем достоверности силы влияния фактора на среднее значение КПП в выборках.

Заключение. В представленной работе предложен механизм формирования комплексного показателя продуктивности на основе метода главных компонент. Преимуществом такого подхода является возможность использования в формируемом КПП большого числа исходных параметров.

Дисперсионный анализ показал, что имеет место существенная зависимость комплексного показателя продуктивности животных, построенного на основе 36 параметров мясной продуктивности, от принадлежности этих животных к анализируемым группам (I, II, III).

Результаты данного исследования будут полезны специалистам в области животноводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов А. Г. Анализ данных, обучение по прецедентам, логические игры, системы WEKA, RapidMiner и MatLab (Практикум на ЭВМ кафедры математических методов прогнозирования): учеб. пособие. М., 2010. 278 с.
2. Зиновьев А. Ю. Визуализация многомерных данных. Красноярск: Изд-во КГТУ, 2000. 180 с.
3. Информационные технологии: учеб. пособие / К. А. Катков [и др.]. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2014. 254 с.
4. Красновская Е. Новые вызовы: бремя перемен или исторический шанс? // Свиноводство. 2020. № 1. С. 10–13.
5. Нелинейный метод главных компонент. Режим доступа: <http://pca.narod.ru/> (дата обращения: 30.04.2021).
6. Погодаев В. А., Комлацкий Г. В. Влияние биостимуляторов (СИТР и СТ) на спермопродукцию хряков-производителей // Свиноводство. 2014. №. С. 17–19.
7. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян [и др.]. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
8. Сергеев А. Г., Латышев М. В., Мищенко З. В. Математическое моделирование задач метрологии. Стандартизации и сертификации в MATLAB. Электронное учебное пособие. Владимир: Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2003. 314 с.
9. Способ изготовления биогенного стимулятора из личинок трутневого расплода пчел: Пат. RU2395289C1 от 27.07.2010 / Погодаев В. А., Клименко А. И., Зубенко А. А., Фетисов Л. Н., Клименко В. А., Погодаев А. В.; заявка № 2008146271/15 от 24.11.2008.
10. Efficiency, physico-chemical, commodity technological properties and biological value of pork depending on fattening technologies / V. Pogodaev et al. Ecology, Environment and Conservation, 2019. Vol. 25. No. 2. P. 34–40.
11. Use of landrace breed to increase the meat productivity of the early pig meat breed (SM-1) / V. Pogodaev et al. Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, 2019. Vol. 25. No. 6(5). P.10664–10669.

REFERENCES

1. Dyakonov A. G. Data analysis, learning from examples, logical games, WEKA, RapidMiner and MatLab systems (Computer Practicum of the Department of Mathematical Forecasting Techniques): Textbook. M.: Publications Unit of the Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics of Lomonosov Moscow State University; 2010. 278 p. (In Russ.).
2. Zinoviev A. Yu. Visualization of multidimensional data. Krasnoyarsk: Publishing house of Kaliningrad State Technical University; 2000. 180 p.
3. Information technologies: textbook / K. A. Katkov et al. Stavropol: NCFU Publishing House; 2014. 254 p. (In Russ.).
4. Krasnovskaya E. New challenges: the burden of change or a historical chance? *Pig breeding*. 2020. № 1. P. 10–13. (In Russ.).
5. Nonlinear principal component analysis. URL: <http://pca.narod.ru/> (access date: 30.04.2021). (In Russ.).
6. Pogodaev V. A., Komlatsky G. V. Influence of biological stimulants (SITR and ST) on semen production of breeding boars. *Pig breeding*. 2014;(6):17–19. (In Russ.).
7. Applied statistics. Classification and dimensionality reduction / S. A. Ayvazyan et al. Finance and statistics; 1989. 607 p. (In Russ.).
8. Sergeev A. G., Latyshev M. V., Mishchenko Z. V. Mathematical modeling of metrology problems. Standardization and certification in MATLAB. Electronic textbook. Vladimir: Publishing house of Vladimir State University; 2003. 314 p. (In Russ.).
9. Method of producing a biogenic stimulator from larvae of male bee brood / Pogodaev V.A., Klimenko A.I., Zubenko A.A., Fetisov L.N., Klimenko V.A., Pogodaev A.V. Patent for invention RU2395289C1 dated 27/07/2010. Application No. 2008146271/15 dated 24/11/2008. (In Russ.).
10. Efficiency, physico-chemical, commodity technological properties and biological value of pork depending on fattening technologies / V. Pogodaev et al. *Ecology, Environment and Conservation*. 2019; 25(2):34–40.
11. Use of landrace breed to increase the meat productivity of the early pig meat breed (SM-1) / V. Pogodaev et al. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019;6(5):10664–10669.

Статья поступила в редакцию 14.07.2021; одобрена после рецензирования 17.07.2021; принята к публикации 22.07.2021.
The article was submitted 14.07.2021; approved after reviewing 17.07.2021; accepted for publication 22.07.2021.