

УДК 636.4:612.017:519.22.004.3

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЖИВОЙ МАССЫ ПОРОСЯТ НА ДОРАЩИВАНИИ
ПО ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНЫХ
И НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ****С. В. СОЛЯНИК***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству»,
г. Жодино, Республика Беларусь, 222163, e-mail: val_sol_v@mail.ru**(Поступило в редакцию 29.01.2018)*

Разработаны модели взаимосвязи уровня морфологических и биохимических показателей крови, а также естественной резистентности свиней на доращивании с их живой массой. Установлено, что количество прямолинейных связей значительно уступает числу криволинейных и нелинейных.

Ключевые слова: *свиньи, живая масса, биохимические показатели крови, уровень естественной резистентности, прямолинейные, криволинейные и нелинейные математические модели*

We have developed models of correlation between the level of morphological and biochemical indices of blood, as well as the natural resistance of pigs on growing with their live weight. We have established that the number of rectilinear connections is significantly inferior to the number of curvilinear and nonlinear ones.

Key words: *pigs, live weight, biochemical blood indices, level of natural resistance, rectilinear, curvilinear and nonlinear mathematical models.*

Введение. В Республике Беларусь к 2040 г. планируется внедрение цифровых технологий во все сферы производства, так как ИТ или компьютеризация – это цифровизация экономики [1]. Первые шаги сделаны по внедрению в животноводство основ вычислительной зоотехнии и зооигиены [2, 3, 4].

Еще полвека назад установление корреляции между различными зоотехническими и биологическими показателями осуществлялось расчетным путем с использованием линейной зависимости. Лишь с появлением табличных процессоров, например, MS Excel, и статистических компьютерных программ стало возможным определять корреляцию не только по линейным моделям (прямолинейным, криволинейным (со степенями)), но и нелинейным (cos, exp, ln и др.). При этом если по прямолинейной зависимости определяли коэффициент корреляции, например, равным 0,1, то по криволинейной (полиномиальной) или нелинейной – 0,8 и выше. Следовательно, взаимосвязь большинства исследуемых показателей при низком коэффициенте указывала не на ее отсутствие, а на то, что исследователь не установил иную, отличную от прямолинейной, корреляцию [5].

Использование программных продуктов, например, CurveExpert, позволяет подобрать модель взаимосвязи двух параметров, имеющих как линейную, так и нелинейную зависимость. Получаемая при этом аппроксимационная функция позволяет с высокой степенью повторять исходные данные, ошибка может быть всего несколько процентов, что для биохимических показателей крови животных является более чем приемлемым вариантом [6].

Взаимосвязь биолого-зоотехнических параметров в большинстве своем имеет нелинейную модель, с более высоким уровнем корреляции, которую исследователь может и должен определить, используя современные программные продукты, в том числе электронные таблицы.

Цель работы – определение линейных и нелинейных моделей взаимосвязи гематологических показателей поросят на доращивании с их живой массой.

Материалы и методы исследований. Для установления математической взаимосвязи биохимических параметров крови и живой массы свиней случайным образом было помечено пять станков, в которых содержались основные свиноматки с многоплодием 11 поросят, которые опоросились в один день. Товарный свинокомплекс, на котором проходили исследования, функционировал по двухфазной технологии, т. е. когда поросята от рождения до передачи на откорм в течение 12 недель находятся в тех же станках, в которых и родились. Когда подконтрольным поросятам исполнилось 10 недель, у всех животных из двух станков, в которых к тому моменту сохранилось по 10 голов, были взяты пробы крови. При этом каждое животное, из подконтрольных 20 особей, было индивидуально взвешено на весах с точностью до десятых килограмма [7].

На основе полученные первичных данных, включающих гематологические показатели и живую массу поросят на доращивании, в электронных таблицах MS Excel была разработана

компьютерная программа (табл. 1), позволяющая проводить статистический анализ и рассчитать: максимальное значение (MAX); минимальное значение (MIN); количество значений (n); среднее арифметическое (M), ошибка средней (m); стандартное отклонение (σ); коэффициент вариации (C_v).

Таблица 1. Блок-программа расчета живой массы свиней на доразивании в возрасте 10 недель по уровню их морфологических, биохимических и иммунологических показателей крови

	А	В	С
1			Живая масса, кг
2	Эритроциты, $10^{12}/л$	5,15	$=367960,95-277067,87*B2+78088,496*B2^2-9762,0666*B2^3+456,71449*B2^4$
3	Гемоглобин, г/л	9,16	$=2,9445279*B3^8(8,430466/B3)$
4	Лейкоциты, $10^9/л$	9,79	$=21,247915+5,7150339*\text{COS}(3,8248405*B4+4,2487811)$
5	Холестерин, ммоль/л	2,46	$=23,847974+3,9733149*\text{COS}(44,644678*B5+3,1454205)$
6	Триглицериды, ммоль/л	0,96	$=55,714398-18,998017*B6-12,010178/B6^2$
7	Бета-липопротеиды, ммоль/л	0,42	$=1/(-4,9664042+5,0155399*B7^0,00084307646)$
8	Глюкоза, ммоль/л	7,08	$=13,197798*\text{EXP}(0,079123407*B8)$
9	Сиаловые кислоты, ед, опт, плотности	23,19	$=2,147499+0,65104268*B9+1604,6417/B9^2$
10	Общий белок, г/л	65,19	$=12,812826*B10/(-26,131114+B10)$
11	Альбумины, всего, г/л	27,89	$=23,907725+3,9060823*\text{COS}(4,089878*B11+0,54246738)$
12	Альфа-глобулины, г/л	9,35	$=22,833163+5,2015841*\text{COS}(1,2546159*B12-9,4118615)$
13	Бета-глобулины, г/л	9,96	$=23,542188+4,4784734*\text{COS}(1,1635715*B13-3,0132477)$
14	Гамма-глобулины, г/л	17,85	$=113,82072-10,04972*B14+0,2715567*B14^2$
15	Глобулины, всего, г/л	37,12	$=23,519585+4,2702363*\text{COS}(0,31827846*B15+3,3843849)$
16	Альбумины, всего, %	42,95	$=26,455938*\text{EXP}((-43,923826-B16)^2)/(2*2,8703089*B16^2)$
17	Альфа-глобулины, %	14,24	$=21,588079+5,7306743*\text{COS}(1,6779822*B17-16,69689)$
18	Бета-глобулины, %	15,33	$=-12101,045+2292,4001*B18-143,84718*B18^2+2,9945834*B18^3$
19	Гамма-глобулины, %	27,51	$=-33860,66+3728,5781*B19-136,65696*B19^2+1,6682097*B19^3$
20	Глобулины, всего, %	57,06	$=\text{EXP}(2260,9207-25222,14/B20-448,96656*\text{LN}(B20))$
21	Мочевина, ммоль/л	5,49	$=-245,96391+137,94631*B21-22,821949*B21^2+1,2127875*B21^3$
22	Мочевая кислота, ммоль/л	23,09	$=23,133711+4,2239168*\text{COS}(0,33501082*B22+1,2845931)$
23	Креатинин, мкмоль/л	108,27	$=464,53962-8,1080115*B23+0,037004111*B23^2$
24	Общий билирубин, мкмоль/л	9,71	$=21,859011+4,1073563*\text{COS}(1,2639906*B24+1,060627)$
25	Прямой билирубин, мкмоль/л	3,51	$=23,748252*B2^4(-0,0046090166*B25)$
26	Аланинаминотрансфераза, ИЕ/л	26,97	$=33,667989-0,40134007*B26$
27	Аспаратаминотрансфераза, ИЕ/л	30,55	$=24,400424*\text{EXP}((-36,440281-B27)^2)/(2*22,214184^2)$
28	Лактатдегидрогеназа, ИЕ/л	461,35	$=1/(-0,035467662+0,013435197*\text{LN}(B28))$
29	Щелочная фосфатаза, ИЕ/л	126,59	$=22,578007+2,6483345*\text{COS}(0,49780871*B29+6,3710181)$
30	Гамма-глутамилтрансфераза, ИЕ/л	35,14	$=20,075613+5,0213074*\text{COS}(0,11914277*B30-2,5994379)$
31	Креатинкиназа, ИЕ/л	660,41	$=22,962649*(1-\text{EXP}(-0,012956868*B31))$
32	Амилаза, ИЕ/л	85,60	$=10931,024-392,58443*B32+4,6933841*B32^2-0,018640692*B32^3$
33	Кальций, ммоль/л	3,05	$=-1750,1984+1712,9906*B33-546,1141*B33^2+57,420845*B33^3$
34	Фосфор, ммоль/л	3,92	$=1268,2417-224,79573*B34-5599,4279/B34^2$
35	Медь, мкмоль/л	3,45	$=22,088503+3,1961396*\text{COS}(14,874287*B35+5,1650228)$
36	Железо, ммоль/л	5,40	$=1/(0,36019583-0,12246066*B36+0,011725443*B36^2)$
37	Кобальт, мкмоль/л	0,28	$=26,459194-1,1729223/B37$
38	Марганец, мкмоль/л	2,77	$=23,465941+5,3227392*\text{COS}(6,4448232*B38-12,802007)$
39	Цинк, мкмоль/л	4,50	$=410,25877-286,88845*B39+68,731491*B39^2-5,3518661*B39^3$
40	Иммуноглобулин G, мг/дл	222,35	$=38,3956-0,27979735*B40+0,0015253836*B40^2-0,000002413958*B40^3$
41	Иммуноглобулин M, мг/дл	47,09	$=24,689522-0,029569371*B41$
42	Бактерицидная активность, %	22,29	$=44,315392-458,08649/B42$
43	Лизоцимная активность, %	21,42	$=\text{EXP}(108,93544-544,87317/B43-26,211491*\text{LN}(B43))$
44	Нормальных агглютининов, титр	5,66	$=24,86-0,344*B44$
45	Фагоцитарная активность	39,80	$=26,379365+7,7655922*\text{COS}(0,1450586*B45-3,7632156)$
46	Фагоцитарное число	3,04	$=0,14571704+42,598141*B46-18,390144*B46^2+2,2171284*B46^3$
47	Фагоцитарный индекс	7,31	$=41,744589-2,6274411*B47$
48	Фагоцитарная емкость	89,95	$=38,264889-0,20479702*B48$
49	MAX		$=\text{МАКС}(C2:C48)$
50	MIN		$=\text{МИН}(C2:C48)$
51	n		$=\text{СЧЁТ}(C2:C48)$
52	M		$=\text{СРЗНАЧ}(C2:C48)$

53	m	=B54/B51^0,5
54	σ	=СТАНДОТКЛОН(C2:C48)
55	Cv	=(B54/B52)*100

Результаты исследований и их обсуждение. Иммунологические, морфологические и биохимические показатели крови поросят на доращивании позволили разработать математические модели взаимосвязи этих параметров с живой массой поросят, при этом учитывалась стандартная ошибка (SE) и коэффициент корреляции (r) (табл. 2).

Таблица 2. Взаимосвязь уровня морфологических, биохимических, иммунологических показателей крови и живой массы свиней на доращивании в возрасте 10 недель

Показатель	Живая масса, кг	SE	r
Аланинаминотрансфераза, ИЕ/л	Linear Fit: $y=a+bx$	4,31	-0,45
Нормальных агглютининов, титр	Linear Fit: $y=a+bx$	4,76	-0,16
Фагоцитарный индекс	Linear Fit: $y=a+bx$	4,12	-0,70
Фагоцитарная емкость	Linear Fit: $y=a+bx$	3,90	-0,74
Иммуноглобулин М, мг/дл	Linear Fit: $y=a+bx$	4,80	-0,11
Кобальт, мкмоль/л	Hyperbolic Fit: $y=a+b/x$	4,40	0,41
Бактерицидная активность, %	Hyperbolic Fit: $y=a+b/x$	4,38	0,41
Гамма-глобулины, г/л	Quadratic Fit: $y=a+bx+cx^2$	4,37	-0,47
Креатинин, мкмоль/л	Quadratic Fit: $y=a+bx+cx^2$	3,74	-0,65
Триглицериды, ммоль/л	Heat Capacity Model: $y=a+bx+c/x^2$	3,99	0,59
Сиаловые кислоты, ед, опт, плотности	Heat Capacity Model: $y=a+bx+c/x^2$	4,73	0,31
Фосфор, ммоль/л	Heat Capacity Model: $y=a+bx+c/x^2$	3,29	-0,75
Железо, ммоль/л	Reciprocal Quadratic: $y=1/(a+bx+cx^2)$	4,31	-0,49
Эритроциты, $10^{12}/л$	3th Degree Polynomial Fit: $y=a+bx+cx^2+dx^3$	3,45	-0,76
Бета-глобулины, %	3rd degree Polynomial Fit: $y=a+bx+cx^2+dx^3$	2,94	-0,82
Гамма-глобулины, %	3rd degree Polynomial Fit: $y=a+bx+cx^2+dx^3$	4,52	0,47
Мочевина, ммоль/л	3rd degree Polynomial Fit: $y=a+bx+cx^2+dx^3$	4,67	-0,41
Амилаза, ИЕ/л	3rd degree Polynomial Fit: $y=a+bx+cx^2+dx^3$	4,35	0,52
Кальций, ммоль/л	3rd degree Polynomial Fit: $y=a+bx+cx^2+dx^3$	4,38	-0,52
Цинк, мкмоль/л	3rd degree Polynomial Fit: $y=a+bx+cx^2+dx^3$	4,48	0,48
Иммуноглобулин G, мг/дл	3rd degree Polynomial Fit: $y=a+bx+cx^2+dx^3$	3,23	-0,78
Фагоцитарное число	3rd degree Polynomial Fit: $y=a+bx+cx^2+dx^3$	3,41	-0,87
Общий белок, г/л	Saturation Growth-Rate Model: $y=ax/(b+x)$	4,24	-0,47
Прямой билирубин, мкмоль/л	Geometric Fit: $y=ax^(b/x)$	4,73	-0,19
Гемоглобин, г/л	Modified Geometric Fit: $y=ax^(b/x)$	4,37	-0,42
Бета-липопротеиды, ммоль/л	Harris Model: $y=1/(a+bx^c)$	4,75	-0,74
Лейкоциты, $10^9/л$	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	3,37	-0,75
Холестерин, ммоль/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	4,29	0,54
Альбумины, всего, г/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	4,43	-0,50
Альфа-глобулины, г/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	3,39	-0,75
Бета-глобулины, г/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	3,75	-0,68
Глобулины, всего, г/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	3,98	-0,62
Альфа-глобулины, %	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	4,52	0,47
Мочевая кислота, ммоль/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	3,90	-0,64
Общий билирубин, мкмоль/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	4,10	-0,59
Щелочная фосфатаза, ИЕ/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	4,60	0,44
Гамма-глутамилтрансфераза, ИЕ/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	4,23	-0,56
Медь, мкмоль/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	4,45	-0,49
Марганец, мкмоль/л	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	2,79	0,83
Фагоцитарная активность	Sinusoidal Fit: $y=a+b*cos(cx+d)$	4,29	-0,78
Альбумины, всего, %	Gaussian Model: $y=a*exp(-(b-x)^2)/(2*c^2)$	3,31	0,76
Аспаратаминотрансфераза, ИЕ/л	Gaussian Model: $y=a*exp(-(b-x)^2)/(2*c^2)$	4,16	-0,54
Глюкоза, ммоль/л	Exponential Fit: $y=a exp^(bx)$	4,15	0,51
Глобулины, всего, %	Vapor Pressure Model: $y=exp(a+b/x+c*ln(x))$	3,15	-0,77
Лизоцимная активность, %	Vapor Pressure Model: $y=exp(a+b/x+c*ln(x))$	4,54	0,40
Креатинкиназа, ИЕ/л	Exponential Association: $y=a(1-exp(-bx))$	4,78	-0,14
Лактатдегидрогеназа, ИЕ/л	Reciprocal Logarithm Fit: $y=1/(a+b*ln(x))$	3,07	-0,77

Установлено, что прямолинейные модели, описывающие взаимосвязь гематологических показателей и живую массу поросят на доращивании, составляют менее 15 %, криволинейные – 40 %, а нелинейные – 45%. Преобладание криволинейных и нелинейных моделей в описании гематологии поросят на доращивании указывает на то, что использование прямолинейных функций при моделировании иммунологических, морфологических и биохимических показателей крови в зоотехнических, биологических и ветеринарных исследованиях является, в большинстве случаев, не корректным.

Определена модель взаимозависимости стандартной ошибки (SE) и коэффициента корреляции (r) между собой: $r = 3,1075062 - 2,0003597 * SE + 0,60730964 * SE^2 - 0,065467706 * SE^3$ $SE = 4,7148136 + 0,82957696 * r - 3,1596948 * r^2$. Использование этих моделей дает возможность прогнозировать эффективность применения полученной линейной или нелинейной модели в качестве аппроксимационной функции [5] с наименьшим уровнем погрешности воспроизводимых данных.

Заключение. Разработаны модели взаимосвязи уровня морфологических и биохимических показателей крови, а также естественной резистентности свиней на дорашивании с их живой массой. Установлено, что количество прямолинейных связей в описании гематологии поросят на выращивании значительно уступает числу криволинейных и нелинейных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровые технологии будут внедрены во все сферы производства в Беларуси.–Режим доступа: // http://ont.by/news/our_news/cifrovie-tehnologii-bydyt-vnedreni-vo-vse-sferi-proizvodstva-v-belarysi.
2. Соляник, С. В. Вычислительная зоотехния и зоогигиена / С. В. Соляник // Роль наукових досліджень в забезпеченні процесів інноваційного розвитку аграрного виробництва України. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів 25-26 травня 2016 р. / НААН, ДУ ІЗК НААН, М-во аграр. політики та прод. України, Укр. ін-т експертизи сортів рослин. – Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. – С. 102–103.
3. Соляник, В. В. Нормативно-правовые основы вычислительной зоотехнии и зоогигиены / В. В. Соляник, С. В. Соляник // Научное обеспечение животноводства Сибири: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. интернет-конференции (12-13 мая 2016 г.) – Красноярск: ФГБНУ Красноярский НИИЖ, 2016. – С. 62–65.
4. Танана, Л. А. Практическое использование вычислительной зоотехнии (на примере расчета затрат на возведение свинокомплексов) / Л. А. Танана, С. В. Соляник // Сб. науч. докладов Междунар. науч.-практ. конференции «Козыбаевские чтения .– Бесколь: СевКазНИИЖиР, Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева, 2017. – С. 268–269.
5. Соляник, С. В. Линейные и нелинейные модели гематологических показателей крови у свиней на дорашивании и их взаимосвязь с живой массой / С. В. Соляник // Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономическое обеспечение сельскохозяйственного производства: материалы Междунар. науч.-практ. конференции. – с. Солёное Займище, ФГБНУ «Прикаспийский НИИ аридного земледелия», 2017. – С. 1477–1487.
6. Соляник, С. В. Возрастные и стохастические взаимосвязи между морфологическими, биохимическими и иммунологическими показателями крови свиней / С. В. Соляник, В. В. Соляник // Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономическое обеспечение сельскохозяйственного производства: материалы Междунар. науч.-практ. конференции. – с. Солёное Займище, ФГБНУ «Прикаспийский НИИ аридного земледелия», 2017. – С. 1497–1503.
7. Соляник, С.В. Компьютерное моделирование показателей естественной резистентности, гематологического профиля и продуктивности молодняка свиней товарных свинокомплексов / С. В. Соляник, А. А. Хоченков, Л. А. Танана, М. В. Пестис // Вес. Нац. Акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2017. – № 4. – С. 74–91.