ISSN 2311-9322 (Print), ISSN 2311-9330 (Online)

Biology in Agriculture

Биология в сельском хозяйстве

№2, 2019

Научно-практический и теоретический журнал



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина»

Фундаментальные и прикладные исследования по селекции, генетике, биотехнологии, физиологии, этологии, микробиологии и многим другим отраслям современной науки

scientia, virtus, libertas

≡ Russian Federation ≡

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина»

Главный редактор:
А.И. Шендаков,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
член Союза писателей России

Редакционная коллегия:
С.А. Родимцев (председатель), д. т.н., профессор (г. Орёл)
В.С. Буяров, д. с.-х. н., профессор (г. Орёл)
И.А. Егоров, д. б.н., проф., академик РАН (г. Москва)
А.С. Делян, д. с.-х. н., профессор (г. Москва)
Л.В. Калашникова, д. филолог. наук, профессор (г. Орёл)
С.И. Кононенко, д. с.-х. н., профессор (г. Краснодар)
А.А. Коровушкин, д. биол. н., профессор (г. Рязань)
С.Д. Князев, д. с.-х. н., профессор (г. Орёл)
В.И. Крюков, д. биол. н., профессор (г. Орёл)
Р.Н. Ляшук, д. с.-х. н., профессор (г. Орёл)
В.В. Обливанцов, д. с.-х. н., профессор (г. Севастополь)
С.Н. Харитонов, д. с.-х. н., профессор (г. Москва)
M.A. Shariati, Islamic Azad University (г. Тегеран)

Содержание

стр.

Математические методы в биологии

Мурленков Н.В., Шуметов В.Г. Математические методы моделирования в эксперименте по выявлению оптимальных дозировок пробиотика в рационах цыплят-бройлеров (***Murlenkov N.V., Shumetov V.G.*** *Methods of mathematical modeling in experiment on the identification of optimal dosage probiotics in the diets of chicken-broilers*…… 2

Актуальные вопросы разведения, селекции и генетики сельскохозяйственных животных

Шендаков А.И. Эффективность разведения датских пород свиней в России (***Shendakov A.I.*** *Efficiency of breeding of Danish pigs in Russia*)……..… 16

Проблемы экологической генетики

Крюков В.И. Анализ загрязнения мутагенами почв северного района города Орла с использованием *Arabidopsis thaliana* (***Kriukov V.I.,*** Testing the soil mutagenic pollution of Orel's Northern district using of *Arabidopsis thaliana*)…… 21

Актуальные вопросы растениеводства

Дидович С.В., Ивашов А.В., Коваленко М.С., Раздолькина О. В. Потенциал растительно-микробного взаимодействия «Цианобактерии – *Triticum aestivum l.*» (***Didovich S.V., Ivashov A.V., Kovalenko M.S., Razdolkina O.V.*** *The potential of plant-microbial interaction «Cyanobacteria – Triticum aestivum L.»*)…… 28

Современные аспекты производства и переработки продукции животноводства

Коновалов К.В., **Мамаев А.В.**, **Родина Н.Д.**, **Сергеева Е.Ю**. Оценка белково-витаминной ценности мяса птицы разных видов и частей тушек при производстве консервов с регулируемой биологической ценностью (***Konovalov K.V.***, ***Mamaev A.V.***, ***Rodina N.D.***, ***Sergeeva E.Yu.***, *Evaluation of the protein-vitamin value of poultry meat of different types and parts of carcasses in the production of canned food with adjustable biological value*)…….. 31

Павловская Нинэль Ефимовна (к 80-летию со дня рождения)…… 34

Адрес издателя и редакции: 302019, Россия, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69
Свидетельство о регистрации СМИ выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), ПИ №ФС 77-70557 от 03.08.2017 г. (предыдущее свидетельство ПИ №ФС 77-54372 от 29.05.2013 г.)

Отпечатано в издательстве ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. **Адрес издательства** (типографии): 302028, г. Орёл, бульвар Победы, 19, лицензия ЛР№021325 от 23.02.1999 г.
Язык: русский, английский
Телефон: гл. редактор – 8-953-816-78-84, **факс:** +7 (4862) 76-41-01
E-mail: bio413@ya.ru (для материалов), aish78@yandex.ru (для переписки)
Сдано в набор: 04.06.2019 г. **Подписано в печать:** 17.06.2019 г.
Дата выхода: 25.06.2019 **г.**
Периодичность выхода, объём: 4 раза в год, до 100 страниц, А4.
Тираж: 300 экземпляров. Цена свободная.
Формат: 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Фото на обложке: опытные поля в Орловской области (автор Д.Б. Бородин)
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.
Перепечатка материалов с письменного разрешения главного редактора.

© ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2019

УДК 57.087.1

Н.В. Мурленков, аспирант
В.Г. Шуметов, доктор экономических наук, профессор
N.V. Murlenkov, Post-graduate student
V.G. Shumetov, Doctor of Economics Sciences, professor
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Россия
Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin", Orel, Russia e-mail: chr98@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ДОЗИРОВОК ПРОБИОТИКА В РАЦИОНАХ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

(Methods of mathematical modeling in experiment on the identification of optimal dosage probiotics in the diets of chicken-broilers)

В представленной статье выполнено статистическое исследование влияния спорогенного пробиотика «Olin» на убойные и мясные качества тушек цыплят-бройлеров. В качестве инструментария исследования использован пакет статистических программ *SPSS Base*, позволяющий выполнить все необходимые процедуры *data mining* – интеллектуального анализа эмпирических данных. Приведена методика и результаты решения каждой из трех подзадач статистических исследований: корреляционный и факторный анализ множества исходных показателей убойных и мясных качеств тушек цыплят-бройлеров с целью выявления ведущих информативных показателей; множественное сравнение средних значений информативных показателей вариантов опытов по влиянию экспериментальных дозировок пробиотика «Olin» в рацион кормления цыплят-бройлеров на информативные показатели; оптимизация дозировки по критериям качества полуфабриката.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, потребительские качества полуфабриката, спорогенный пробиотик, методы *data mining*, статистический анализ.

The article was carried out a statistical study of the effect of probiotic "Olin" at slaughter and meat quality of broiler chickens. As a research tool, the SPSS Base statistical software package was used, allowing to perform all the necessary procedures for *data mining* the intellectual analysis of empirical data. The methodology and results of solving each of the three subtasks of statistical studies are presented: correlation and factor analysis of a variety of initial indicators of slaughter and meat qualities of carcasses of broiler chickens in order to identify leading informative indicators; multiple comparison of average values of informative indicators of variants of experiments on the effect of experimental dosages of "Olin" probiotic in the diet of broiler chickens on informative indicators; optimization of dosage according to the quality criteria of the semi-finished product.

Keywords: broilers, consumer qualities of a semi-finished product, sporogenous probiotic, data mining methods, statistical analysis.

В последнее время в качестве инструментального средства для реализации методов многомерной статистики все чаще используется распространенная программа обработки статистической информации – *SPSS* (аббревиатура от *Statistical Package for the Social Science*). Несмотря на наличие других пакетов программ анализа данных [12], этот продукт является доступным и широко распространенным, что обусловливает его применение при решении многих прикладных задач. Пакет отличается гибкостью и мощностью применения для всех видов статистических расчетов [4]. Актуальным является применение программы *SPSS* также и в биологических науках. Современные статистические методы совершили революцию в проведении эксперимента в большинстве областей сельскохозяйственных исследований [15]. В то же время, наиболее часто упоминается (и используется) в отечественных статьях программа *MS Excel* – это электронная таблица с достаточно мощными математическими возможностями, где некоторые статистические функции являются просто дополнительными встроенными формулами. В частности, расчеты, выполненные в *MS Excel*, не признаются рядом авторитетных биомедицинских журналов [12].

Представляемая вниманию читателя статья посвящена комплексным статистическим исследованиям эмпирических данных по влиянию спорогенного пробиотика «Olin» как фактора, эффективно влияющего на убойные и мясные качества тушек цыплят-бройлеров. Приведена методика и результаты решения с помощью графических и аналитических процедур ранней версии пакета анализа данных *SPSS Base* 8.0 для *Windows* ряда связанных между собой задач статистических исследований, начиная от корреляционного и факторного анализа множества исходных показателей убойных и мясных качеств тушек цыплят-бройлеров с целью выявления ведущих информативных показателей и заканчивая оптимизацией дозировки по критериям качества полуфабриката.

В работе [9] рассматривалась роль спорогенного пробиотика «Olin», как фактора, эффективно влияющего на мясные и убойные качества тушек цыплят-бройлеров. Было показано, что его применение в рационах цыплят-бройлеров может служить эффективным способом повышения продуктивности, при дозировке данного пробиотика 1 кг на 1 т комбикорма в течение первых 15 дней выращивания. При этом методической основой выявления эффекта влияния дозировки пробиотика «Olin» в комбикормах являлся

традиционно используемый для сравнения средних по вариантам эксперимента *t*-критерий (критерий Стьюдента), а инструментарием статистической обработки эмпирических данных служила электронная таблица *Excel*.

Материалы и методы исследований

План описанного в работе [9] эксперимента по исследованию влияния дозировки пробиотика «Olin» в комбикормах на мясные и убойные качества тушек цыплят-бройлеров предусматривал четыре варианта опытов, результаты которых измерялись с шестикратной повторностью, рекомендуемой в сельскохозяйственной практике [3, 6]. Варианты эксперимента предусматривали три дозировки пробиотика «Olin»: 0,015; 0,022 и 0,029 г/гол.; контрольный опыт предполагал основной рацион кормления цыплят-бройлеров без добавки пробиотика. В качестве выходных показателей регистрировались: предубойная масса; масса потрошеной тушки; масса съедобных частей; масса несъедобных частей; масса мышц; масса филе, масса костей. Помимо перечисленных исходных показателей, рассчитывались также аналитические показатели: убойный выход, %, а также отношение съедобных частей к несъедобным.

Такому плану эксперимента отвечают следующие аналитические задачи:

задача 1: по результатам корреляционного и факторного анализа комплекса выходных показателей эксперимента установить латентные факторы и выявить ведущие (информативные) показатели;

задача 2: рассчитать средние значения ведущих выходных показателей и оценить статистическую значимость влияния экспериментальных дозировок пробиотика «Olin», по сравнению с контролем, на информативные показатели;

задача 3: определить спецификацию эконометрических моделей, описывающих зависимость ведущих выходных показателей убойных и мясных качеств тушек цыплят-бройлеров от дозировки пробиотика «Olin» в комбикормах, оценить их параметры и выполнить оптимизацию дозировки по критериям качества полуфабриката.

В принципе, все три задачи могут быть решены и с помощью электронной таблицы *Excel*, но, как показано нами в публикациях [4, 8, 10, 11], использование в этих целях базового модуля *SPSS Base* предоставляет значительно более широкие аналитические и графические возможности [2].

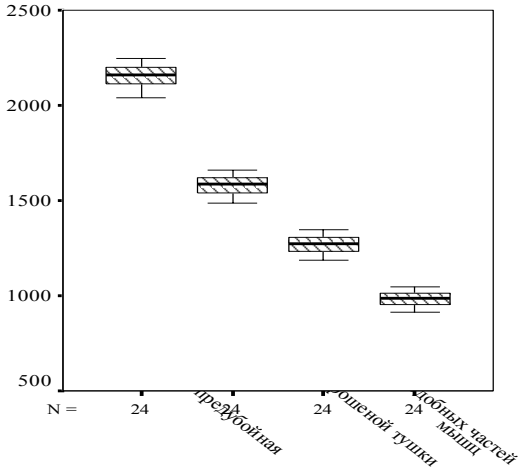
Ниже последовательно раскрывается содержание исследований, направленных на решение сформулированных задач.

Результаты исследований

Начальным этапом любых статистических исследований является проверка эмпирических данных на соблюдение условий применения параметрических методов анализа – корреляционного, регрессионного, факторного и других [7, 12, 17]. К этим условиям, прежде всего, относятся однородность и нормальность распределения показателей, включаемых в анализ. Проверка массива эмпирических данных по влиянию спорогенного пробиотика «Olin» на мясные и убойные качества тушек цыплят-бройлеров на нормальность распределения показателей нами проводилась графическими и аналитическими средствами пакета статистических программ *SPSS Base* [19].

Наиболее наглядным графическим средством проверки исходных показателей на нормальность распределения являются ящичковые (коробчатые) диаграммы, часто называемые также диаграммами Тьюки [1]. Эти диаграммы, иллюстрирующие распределение всех семи исходных показателей по опытам и повторностям, представлены на рисунке 1 *а* и *б*, причем для удобства просмотра они разбиты на две подгруппы – с большими и меньшими значениями показателей.

а



б

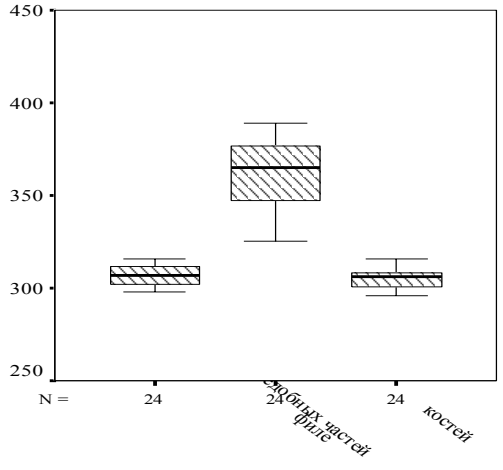


Рис. 1 – Распределение масс частей полуфабриката цыплят-бройлеров

Из представленных на этом рисунке диаграмм можно с большой уверенностью сделать вывод о выполнении основного условия корреляционного анализа – однородности исследуемой выборки и нормальности распределений показателей: «выбросы» (экстремальные значения) отсутствуют, медианы всех семи показателей расположены практически посередине «ящичков», отражающих центральную тенденцию распределения масс частей полуфабриката, и симметрично относительно всех 24-х измерений. Проверка по критерию Колмогорова-Смирнова [1] подтвердила гипотезу нормальности распределений всех введенных в анализ показателей: двусторонняя статистическая значимость параметра отклонения распределений от нормальности составила от 0,994 для массы мышц до 0,721 для предубойной массы, что значительно превосходит критический уровень 0,05.

На следующем этапе статистических исследований проводили множественный корреляционный анализ с помощью процедуры «*Correlate*» пакета статистических программ *SPSS Base* – таблица 1.

Таблица 1 – Корреляционная матрица исходных показателей мясных и убойных качеств тушек цыплят-бройлеров

Масса	Статистика	Масса						
		предубойная	потрошеной тушки	съедобных частей	несъедобных частей	мышц	филе	костей
предубойная	*R*	1	**0,809**	**0,843**	-0,128	**0,804**	**0,804**	0,192
	p	,	**0,000**	**0,000**	0,550	**0,000**	**0,000**	0,369
потрошеной тушки	*R*	0,809	1	**0,771**	-0,021	**0,801**	**0,810**	0,036
	p	0,000	,	**0,000**	0,923	**0,000**	**0,000**	0,869
съедобных частей	*R*	**0,843**	**0,771**	1	0,188	**0,881**	**0,878**	-0,036
	p	**0,000**	**0,000**	,	0,380	**0,000**	**0,000**	0,869
несъедобных частей	*R*	-0,128	-0,021	0,188	1	-0,010	0,036	-0,096
	p	0,550	0,923	0,380	,	0,964	0,867	0,657
мышц	*R*	**0,804**	**0,801**	**0,881**	-0,010	1	**0,893**	-0,078
	p	**0,000**	**0,000**	**0,000**	0,964	,	**0,000**	0,718
филе	*R*	**0,804**	**0,810**	**0,878**	0,036	**0,893**	1	-0,032
	p	**0,000**	**0,000**	**0,000**	0,867	**0,000**	,	0,882
костей	*R*	0,192	0,036	-0,036	-0,096	-0,078	-0,032	1
	p	0,369	0,869	0,869	0,657	0,718	0,882	,

Из таблицы 1 видно, что большая часть выборочных коэффициентов парной корреляции статистически значима на высоком уровне – не хуже 0,0005 (выделены полужирным шрифтом), что, с учетом принципа Бонферрони (ужесточении уровня значимости пропорционально числу рассматриваемых показателей), свидетельствует о наличии сильных связей между большинством показателей мясных и убойных качеств тушек цыплят-бройлеров. Так, с предубойной массой сильно коррелируют такие показатели, как масса потрошеной тущки, масса съедобных частей, масса мышц и масса филе. В противоположность этому, масса несъедобных частей, с одной стороны, и масса костей, с другой, не коррелируют с каким бы то ни было другим исходным показателем. Это позволяет рассчитывать на результативность логически связанной с корреляционным анализом статистической процедуры – факторного анализа.

Следующий этап статистического исследования – факторный анализ, предназначенный для выявления структуры совокупности исходных показателей, а также выделения латентных факторов и их связи с исходными показателями – проводили по методу главных компонент процедуры «*Data Reduction*» пакета *SPSS Base*. Данный метод предполагает выполнение определенных математических операций над корреляционной матрицей, в результате которых из совокупности исходных показателей последовательно выделяются так называемые главные компоненты – латентные факторы, общее число которых равно числу анализируемых показателей, но при этом имеется возможность ограничиться меньшим количеством наиболее значимых главных компонент, именуемых главными факторами [16, 18]. Проблема здесь заключается, во-первых, в том, чтобы минимизировать их число, не превысив уровень геометрических искажений, возникающих из-за снижения размерности факторного пространства, и, во-вторых, обеспечить удачную интерпретируемость главных факторов, что достигается путем их вращения по тому или иному алгоритму.

Определение факторной структуры – это не только математическая операция, но и, в определенной мере, искусство аналитика, поэтому остановимся на этом этапе более детально.

Для сокращения последующего изложения введем следующие обозначения:

X_1 – предубойная масса, г; X_2 – масса потрошенной тушки, г; X_3 – масса съедобных частей, г; X_4 – масса несъедобных частей, г; X_5 – масса мышц, г; X_6 – масса филе, г; X_7 – масса костей, г.

Первый наглядный результат факторного анализа по методу главных компонент, представленный на рисунке 2 *а*, – график упорядоченных собственных значений корреляционной матрицы (*Scree diagram*)», иначе называемый также график «каменистой осыпи».

а *б*

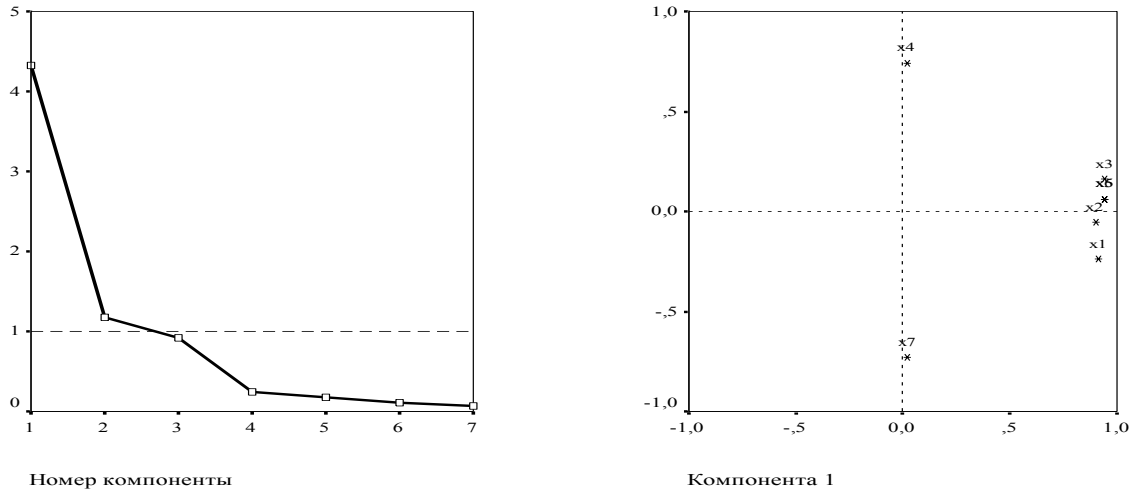


Рис. 2 – Результаты факторного анализа: *а* – график «каменистой осыпи»; *б* – двухфакторная структура множества показателей мясных и убойных качеств тушек цыплят-бройлеров

По правилу Кайзера, согласно которому главными факторами считаются главные компоненты с собственным значением больше единицы, можно было бы ограничиться двухфакторной моделью структуры множества исходных показателей. Эта модель обладает высокой наглядностью – она представлена на рисунке 2 *б* в виде плоскости с координатами двух первых главных компонент, на которой «звездочками» обозначены исходные показатели, большинство которых находятся на положительном полюсе первой главной компоненты, и лишь два – масса несъедобных частей (X_4) и масса костей (X_7) – расположены, соответственно, на положительном и отрицательном полюсе второй главной компоненты. Однако при этом геометрические искажения превышают 20%, при рекомендуемом уровне искажений не более 15% [14]. Поэтому в качестве рабочей модели структуры множества исходных показателей принимаем трехфакторную модель, объясняющую около 92% общей дисперсии – таблица 2. Из этой таблицы видно, что, хотя трехфакторная структура множества исходных показателей более точна, уровень геометрических искажений составляет всего 8%, распределение нагрузок на главные факторы нельзя считать оптимальным: третий главный фактор сильно не коррелирует ни с одним показателем (сильные корреляции выделены полужирным шрифтом). Вращение главных факторов по критерию «варимакс» снимает эту проблему.

Таблица 2 – Матрица нагрузок показателей мясных и убойных качеств тушек цыплят-бройлеров на главные факторы

Показатель	Коэффициент корреляции с главной компонентой					
	до вращения			после вращения по критерию «варимакс»		
	1	2	3	1	2	3
Предубойная масса (X_1)	**0,916**	-0,240	0,035	**0,915**	-0,135	0,208
Масса потрошеной тушки (X_2)	**0,900**	-0,055	-0,021	**0,900**	-0,043	0,038
Масса съедобных частей (X_3)	**0,943**	0,163	0,096	**0,941**	0,196	-0,031
Масса несъедобных частей (X_4)	0,019	**0,743**	0,665	0,007	**0,996**	-0,047
Масса мышц (X_5)	**0,943**	0,062	-0,106	**0,945**	-0,018	-0,104
Масса филе (X_6)	**0,945**	0,062	-0,031	**0,945**	0,034	-0,050
Масса костей (X_7)	0,021	**-0,730**	0,677	0,005	-0,046	**0,995**
Объясняемая дисперсия, %	61,7	16,9	13,1	61,7	15,1	15,0

Из матрицы нагрузок исходных показателей мясных и убойных качеств тушек цыплят-бройлеров на главные факторы, полученной в результаты оптимизации факторной структуры по критерию «варимакс», видно, что первый главный фактор сильнее всего связан с показателями «масса мышц» и «масса филе» (коэффициенты корреляции 0,945), несколько меньше его связь с показателями «масса съедобных частей», «предубойная масса» и «масса потрошеной тушки» (коэффициенты корреляции 0,941; 0,915 и 0,900 соответственно). Он наиболее информативен – объясняет 61,7% суммарной дисперсии. Два другие латентные факторы менее информативны, объясняют по 15% общей дисперсии, при этом второй главный фактор сильно связан с показателем «масса несъедобных частей» (коэффициент корреляции 0,996), третий – с показателем «масса костей» (коэффициент корреляции 0,995).

Таким образом, по результатам выполненного факторного анализа можно уверенно выделить сле-

дующие ведущие информативные показатели: масса мышц; масса филе; масса несъедобных частей; масса костей. Эти четыре показателя сильно связаны с главными факторами и могут являться их заменой в дальнейшем анализе. Дополнительную информацию дают диаграммы рассеяния, иллюстрирующие корреляционные связи выделенных нами по результатам факторного анализа ведущих информативных показателей с главными факторами – рисунок 3.

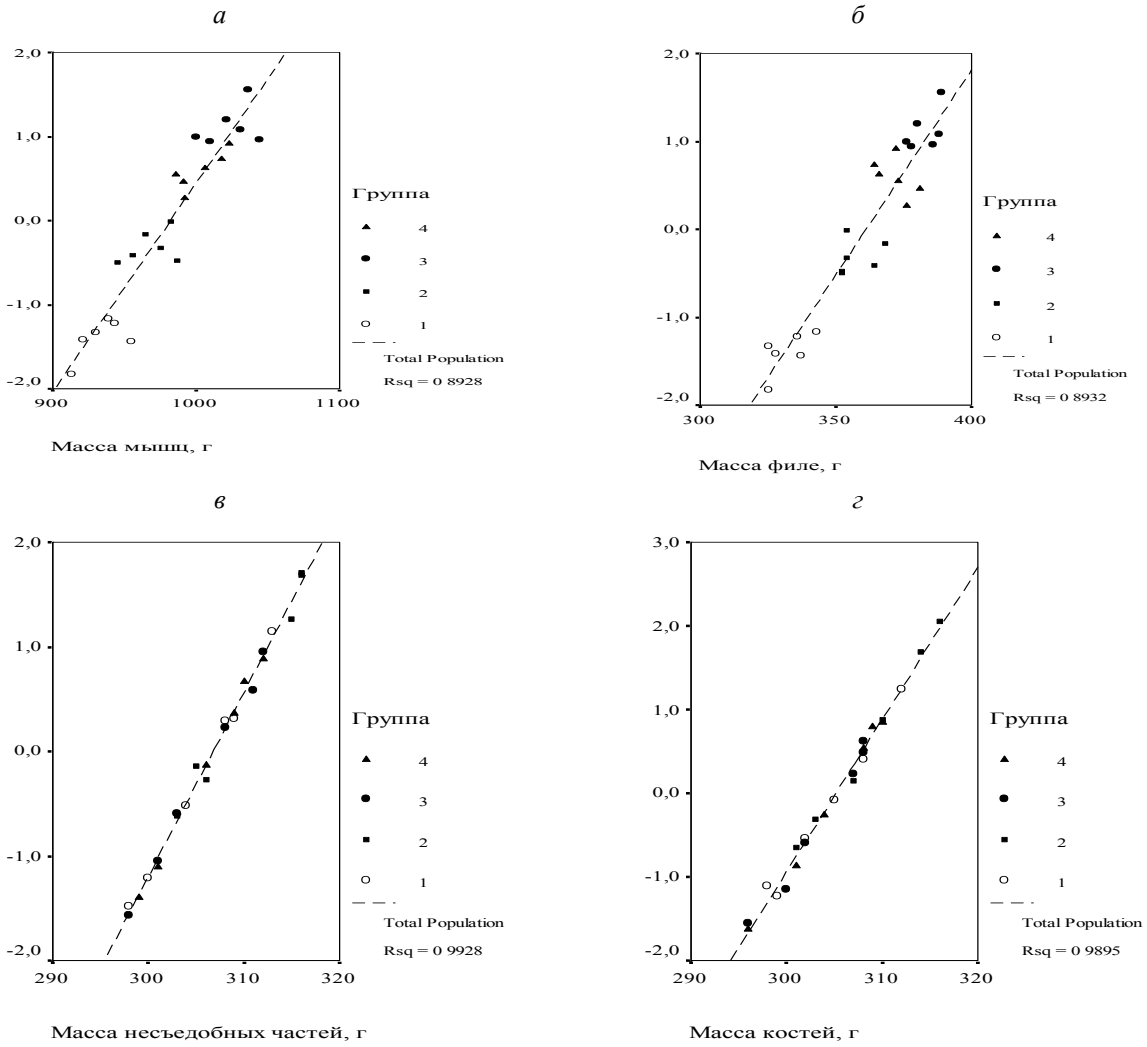


Рис. 3 – Корреляция информативных показателей мясных и убойных качеств тушек цыплят-бройлеров с главными факторами

Поясним эти диаграммы. Одним из результатов факторного анализа являются метки главных факторов, соответствующие значениям коррелирующих с ними исходных показателей. Так, на диаграмме рисунка 3 *а* значениям массы мышц опытных тушек цыплят-бройлеров соответствуют метки первого главного фактора, а так как коэффициент корреляции между массой мышц и первым главным факторов высокий – 0,945, «облако» точек на диаграмме рассеяния образует вытянутое вдоль линии регрессии «веретено». Примечательно, что точки, отвечающие различным опытам, разделены: левее и ниже расположены точки группы 1 (контроль), правее и выше – точки группы 3 (цыплята-бройлеры, в рацион кормления которых был добавлен пробиотик в количестве 0,022 г/гол.).

Качественно такая же картина наблюдается и на диаграмме рисунка 3 *б*. Это весьма наглядно подтверждает тот факт, что добавка в рацион кормления пробиотика влечет за собой улучшение мясных качеств цыплят-бройлеров. В противоположность этому, расположение точек на двух других диаграммах рассеяния эту закономерности не обнаруживают, и на этом основании можно полагать, что ни масса несъедобных частей, ни масса костей не связаны с добавкой пробиотика. Отсюда следует, что в дальнейшем анализе влияния дозировок пробиотика «Olin» на качества тушек цыплят-бройлеров достаточно ограничиться двумя ведущими информативными показателями – массой мышц и массой филе.

Из представленных выше результатов исследований следует, что из исходного множества семи показателей мясных и убойных качеств тушек цыплят-бройлеров в дальнейшем анализе достаточно ограничиться двумя ведущими информативными показателями – массой мышц и массой филе. Именно эти показатели являются индикаторами влияния дозировок пробиотика «Olin» на качества тушек цыплят-бройлеров.

В соответствие с этим выводом, задачей раздела является оценка статистической значимости влияния экспериментальных дозировок пробиотика «Olin», по сравнению с контролем, на эти информативные показатели. Решение данной задачи предполагает реализацию следующих этапов статистических исследований: дисперсионный анализ, цель которого – выявить статистическую значимость различия средних значений индикаторов мясных качеств тушек цыплят-бройлеров по всей совокупности вариантов опытов; применение процедур множественного сравнения средних, а также традиционным методом, основанном на критерии Стьюдента; разбиение вариантов опытов на однородные (статистически неразличимые) группы; сравнение конкурирующих методик анализа результатов эксперимента.

Наше обращение к методам множественного сравнения средних не является случайным. Несмотря на очевидность некорректности использования в этих целях методов парного сравнения, основанных на критерии Стьюдента (*t*-критерия), а также на наличие современных информационных технологий, позволяющих проводить множественное сравнение средних практически в «автоматическом режиме», до настоящего времени эти методы еще мало применяются на практике. Опыт, однако, показывает, что замена множественного сравнения результатов эмпирических данных парными сравнениями может привести к неверным выводам: сравнивая в один прием лишь две средние, мы лишаем себя информации об остальных средних, то, что невозможно на двух случайных выборках, может стать вполне возможным на большем их числе (чем больше проводится испытаний, тем более редкие события могут произойти). Кроме того, незначимые различия, накапливаясь от пары к паре, могут стать вполне значимыми, хотя мы этого не замечаем.

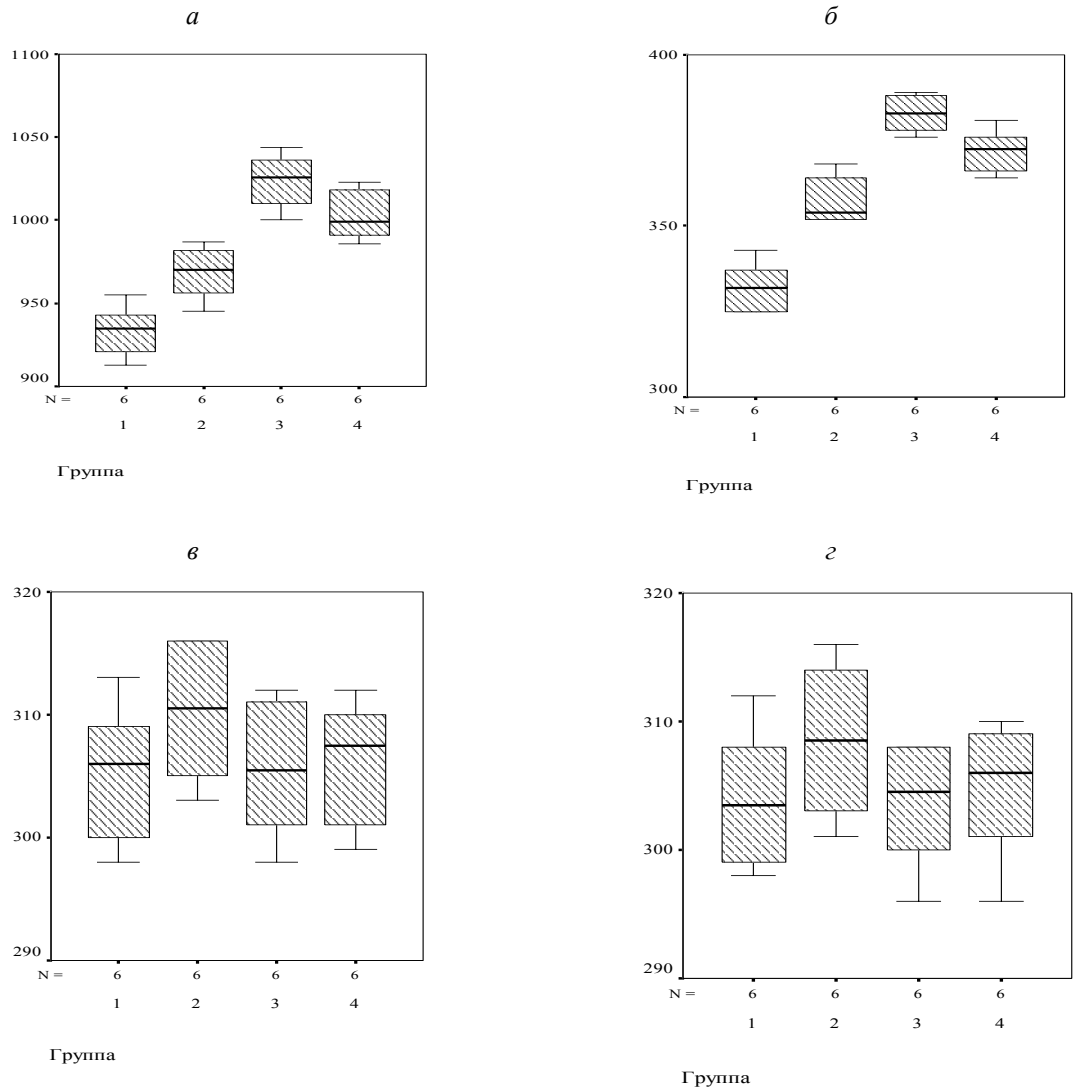


Рис. 4 – Распределение ведущих информативных показателей мясных качеств тушек цыплят-бройлеров: *а* – масса мышц; *б* – масса филе; *в* – масса несъедобных частей; *г* – масса костей

Сказанное вовсе не означает, что традиционно используемое в практике оценки результатов сельскохозяйственных экспериментов понятие наименьшей существенной разности (НСР) [2, 5, 13] полностью теряет свою значимость. Мы не вполне разделяем точку зрения А.И. Орлова о том, что «высокие статистические технологии» лишают права на использование так называемых «низких» статистических технологий [12]. Во-первых, сравнение средних по критерию наименьшей существенной разности нельзя отне-

сти к «низким» статистическим технологиям, это, по терминологии А.И. Орлова – *классическая статистическая технология*. Во-вторых, логика подсказывает по крайней мере две возможности корректного использования критерия Стьюдента: следует сравнить две ближайшие средние, и если по критерию Стьюдента их разность статистически значима, то значимы будут и разности остальных средних; можно завысить требования к критическому уровню значимости – вместо традиционно принимаемого *p*-уровня 0,05 принять критический уровень значимости равным 0,05/*m*, где *m* – число сравниваемых средних (принцип Бонферрони).

Перейдем теперь непосредственно к сравнению средних по вариантам экспериментов, направленных на выявление роли спорогенного пробиотика «Olin» на мясные и убойные качества тушек.

В соответствие с результатами первой части статистических исследований, достаточно сравнить средние двух ведущих информативных показателей качества тушек – массы мышц и массы филе. Остальные показатели либо коррелируют с этими двумя индикаторами качества полуфабриката, либо не критичны к добавке пробиотика в рацион кормления цыплят-бройлеров. Вариантов опытов четыре: контроль – без добавки пробиотика (группа 1) и три дозировки пробиотика «Olin»: 0,015; 0,022 и 0,029 г/гол. (группы 2, 3, 4 соответственно). Таким образом, сравниваемых средних – четыре.

Начальный этап статистических исследований по сравнению средних заключается в визуальном анализе ящичковых диаграмм, иллюстрирующих различие медиан показателей и интервалов их варьирования по повторностям каждого опыта – рисунок 4 (помимо двух индикаторов качества полуфабриката, «чувствительных» к добавке пробиотика, рассматривали ещё два показателя – массу несъедобных частей и массу костей).

Визуальный просмотр ящичковых диаграмм показывает, что если для первых двух показателей – массы мышц и массы филе – средние экспериментальных групп, скорее всего, значимо отличаются от средних контрольной группы, то для второй пары показателей – массы несъедобных частей и массы костей – такого отличия не наблюдается: хотя медианы и заметно различаются, распределения этих показателей по повторностям сильно перекрываются. Это предположение подтверждают результаты, полученные с помощью однофакторного дисперсионного анализа процедуры «*Compare Means* (Сравнение средних)»: значения критерия Фишера *F*=37,5 и 66,4 для первых двух показателей – массы мышц и массы филе – статистически значимы на уровне не хуже 0,0005 и статистически незначимы для третьего и четвертого показателя (*p*-уровень для них 0,429 и 0,395 соответственно) – таблица 3.

Таблица 3 – Дисперсионный анализ ведущих информативных показателей мясных качеств тушек цыплят-бройлеров

Показатель, г	Источник изменчивости	Сумма квадратов	Ст. св.	Средний квадрат	Критерий Фишера	Знч.
Масса мышц	Между группами	28213,458	3	9404,486	37,472	0,000
	В группах	5019,500	20	250,975		
	Сумма	33232,958	23			
Масса филе	Между группами	8597,125	3	2865,708	66,374	0,000
	В группах	863,500	20	43,175		
	Сумма	9460,625	23			
Масса несъедобных частей	Между группами	93,458	3	31,153	0,964	0,429
	В группах	646,500	20	32,325		
	Сумма	739,958	23			
Масса костей	Между группами	93,000	3	31,000	1,043	0,395
	В группах	594,333	20	29,717		
	Сумма	687,333	23			

Выполним теперь сравнение средних двух ведущих информативных показателей качества тушек – массы мышц и массы филе – традиционным методом по критерию Стьюдента, для двух экспериментальных групп 3 и 4 (в пакете анализа данных *SPSS Base* для этого предусмотрена процедура «*Compare Means* (Сравнение средних)»). Полученные результаты приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – *T*-тест для независимых измерений показателя «Масса мышц» в опытах 3 и 4

	Критерий равенства дисперсий Ливиня		*t*-критерий равенства средних						
	F	Знч.	*t*	Ст. св.	Знч. (2-сторон)	Средняя разность	Стд. ошибка разности	95% доверительный интервал разности	
								нижняя граница	верхняя граница
Предполагается равенство дисперсий	0,007	0,935	2,273	10	0,046	21,00	9,239	0,415	41,585
Равенство дисперсий не предполагается			2,273	9,948	0,046	21,00	9,239	0,400	41,600

Таблица 5 – *T*-тест для независимых измерений показателя «Масса филе» в опытах 3 и 4

	Критерий равенства дисперсий Ливиня		*t*-критерий равенства средних						
	F	Знч.	*t*	Ст. св.	Знч. (2-сторон)	Средняя разность	Стд. ошибка разности	95% доверительный интервал разности	
								нижняя граница	верхняя граница
Предполагается равенство дисперсий	0,010	0,921	3,168	10	0,010	10,83	3,420	3,214	18,453
Равенство дисперсий не предполагается			3,168	9,837	0,010	10,83	3,420	3,197	18,470

Из таблиц 4 и 5 следует, что согласно *t*-тесту 95-типроцентные доверительные интервалы разностей обоих показателей не включает в себя нуль, а следовательно, гипотеза о равенстве средних отвергается (заметим, что согласно критерию Ливиня, дисперсии значимо не различаются, вследствие чего 95-ти процентные доверительные интервалы разностей по строкам таблиц практически совпадают).

Критерию наименьшей существенной разности в пакете *SPSS Base* отвечает множественное сравнение средних по критерию *LSD – Least Significant Difference* в процедуре «*General Linear Model* (Общая линейная модель)» [1, 14]. Результаты множественного сравнения по традиционному подходу приведены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Парные сравнения средних показателя «Масса мышц» по критерию *LSD*

(I) Группа	(J) Группа	Средняя разность (I-J)	Стд. ошибка	Знч. (2-сторон)	95% доверительный интервал	
					нижняя граница	верхняя граница
1	2	-34,83	9,146	0,001	-53,91	-15,75
	3	-90,17	9,146	0,000	-109,25	-71,09
	4	-69,17	9,146	0,000	-88,25	-50,09
2	1	34,83	9,146	0,001	15,75	53,91
	3	-55,33	9,146	0,000	-74,41	-36,25
	4	-34,33	9,146	0,001	-53,41	-15,25
3	1	90,17	9,146	0,000	71,09	109,25
	2	55,33	9,146	0,000	36,25	74,41
	4	21,00	9,146	0,033	1,92	40,08
4	1	69,17	9,146	0,000	50,09	88,25
	2	34,33	9,146	0,001	15,25	53,41
	3	-21,00	9,146	0,033	-40,08	-1,92

Таблица 7 – Парные сравнения средних показателя «Масса филе» по критерию *LSD*

(I) Группа	(J) Группа	Средняя разность (I-J)	Стд. ошибка	Знч. (2-сторон)	95% доверительный интервал	
					нижняя граница	верхняя граница
1	2	-25,00	3,794	0,000	-32,91	-17,09
	3	-50,50	3,794	0,000	-58,41	-42,59
	4	-39,67	3,794	0,000	-47,58	-31,75
2	1	25,00	3,794	0,000	17,09	32,91
	3	-25,50	3,794	0,000	-33,41	-17,59
	4	-14,67	3,794	0,001	-22,58	-6,75
3	1	50,50	3,794	0,000	42,59	58,41
	2	25,50	3,794	0,000	17,59	33,41
	4	10,83	3,794	0,010	2,92	18,75
4	1	39,67	3,794	0,000	31,75	47,58
	2	14,67	3,794	0,001	6,75	22,58
	3	-10,83	3,794	0,010	-18,75	-2,92

Как следует из таблиц 6 и 7, все 95-типроцентные доверительные интервалы разностей обоих показателей не включает в себя нуль, следовательно, гипотеза о равенстве средних отвергается.

Иные результаты сравнения средних дает применение критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони – таблица 8 (в целях сокращения объема раздела приведены данные для одного показателя – массы мышц).

Таблица 8 – Парные сравнения средних показателя «Масса мышц» по критерию Бонферрони

(I) Группа	(J) Группа	Средняя разность (I-J)	Стд. ошибка	Знч. (2-сторон)	95% доверительный интервал	
					нижняя граница	верхняя граница
1	2	-34,83	9,146	0,007	-61,61	-8,06
	3	-90,17	9,146	0,000	-116,94	-63,39
	4	-69,17	9,146	0,000	-95,94	-42,39
2	1	34,83	9,146	0,007	8,06	61,61
	3	-55,33	9,146	0,000	-82,11	-28,56
	4	-34,33	9,146	0,008	-61,11	-7,56
3	1	90,17	9,146	0,000	63,39	116,94
	2	55,33	9,146	0,000	28,56	82,11
	4	21,00	9,146	0,196	-5,77	47,77
4	1	69,17	9,146	0,000	42,39	95,94
	2	34,33	9,146	0,008	7,56	61,11
	3	-21,00	9,146	0,196	-47,77	5,77

Сравнение таблиц 6 и 8 показывает, что уровни значимости в таблице 6 уже иные, отличаются и результаты сравнения средних: так, средняя масса мышц экспериментальной группы 3 больше среднего показателя группы 4 на 21 г, но по критерию *LSD* эта разность статистически незначима на уровне 0,033, тогда как по критерию Бонферрони значимость этой же разности составляет 0,196, что значительно превышает нормативный уровень 0,05. Иначе говоря, при более строгом подходе к сравнению средних эффект прибавки массы мышц полуфабриката цыплят-бройлеров при добавке в рацион питания пробиотика в количестве 0,022 и 0,029 г/гол. статистически неразличим.

Часто используется ещё более консервативный метод множественного сравнения Шеффе, который защищает от больших значений уровня ошибок в эксперименте. Применим его для сравнения средних масс мышц и массы филе полуфабриката – таблицы 9 и 10.

Таблица 9 – Апостериорные парные сравнения средних масс мышц по критерию Шеффе

(I) Группа	(J) Группа	Средняя разность (I-J)	Стд. ошибка	Знч. (2-сторон)	95% доверительный интервал	
					нижняя граница	верхняя граница
1	2	-34,83	9,146	0,011	-62,72	-6,95
	3	-90,17	9,146	0,000	-118,05	-62,28
	4	-69,17	9,146	0,000	-97,05	-41,28
2	1	34,83	9,146	0,011	6,95	62,72
	3	-55,33	9,146	0,000	-83,22	-27,45
	4	-34,33	9,146	0,012	-62,22	-6,45
3	1	90,17	9,146	0,000	62,28	118,05
	2	55,33	9,146	0,000	27,45	83,22
	4	21,00	9,146	0,188	-6,89	48,89
4	1	69,17	9,146	0,000	41,28	97,05
	2	34,33	9,146	0,012	6,45	62,22
	3	-21,00	9,146	0,188	-48,89	6,89

Таблица 10 – Апостериорные парные сравнения средних масс филе по критерию Шеффе

(I) Группа	(J) Группа	Средняя разность (I-J)	Стд. ошибка	Знч. (2-сторон)	95% доверительный интервал	
					нижняя граница	верхняя граница
1	2	-25,00	3,794	0,000	-36,57	-13,43
	3	-50,50	3,794	0,000	-62,07	-38,93
	4	-39,67	3,794	0,000	-51,23	-28,10
2	1	25,00	3,794	0,000	13,43	36,57
	3	-25,50	3,794	0,000	-37,07	-13,93
	4	-14,67	3,794	0,010	-26,23	-3,10
3	1	50,50	3,794	0,000	38,93	62,07
	2	25,50	3,794	0,000	13,93	37,07
	4	10,83	3,794	0,072	-0,73	22,40
4	1	39,67	3,794	0,000	28,10	51,23
	2	14,67	3,794	0,010	3,10	26,23
	3	-10,83	3,794	0,072	-22,40	0,73

Видно, что в качественном отношении результаты сравнения средних по критерию Шеффе идентичны сравнению по критерию Бонферрони, отличие наблюдается лишь в уровнях значимости и доверительных интервалах.

При сравнении средних по тесту Шеффе имеется также возможность выделить однородные подгруппы сравниваемых вариантов эксперимента. Ниже представлены таблицы однородных групп для двух показателей – массы мышц и массы филе.

Таблица 11 – Однородные подгруппы опытов по критерию Шеффе по показателю «масса мышц» (уровень значимости критерия различия между подгруппами *p*=0,05)

Группа	Повторность	Масса мышц, г		
		1	2	3
1 – контроль	6	933,50		
2	6		968,33	
4	6			1002,67
3	6			1023,67
Уровень значимости критерия различия в подгруппе		1,000	1,000	0,188

Таблица 12 – Однородные подгруппы опытов по критерию Шеффе по показателю «масса филе» (уровень значимости критерия различия между подгруппами *p*=0,05)

Группа	Повторность	Масса мышц, г		
		1	2	3
1 – контроль	6	332,33		
2	6		357,33	
4	6			372,00
3	6			382,83
Уровень значимости критерия различия в подгруппе		1,000	1,000	0,072

Поясним таблицы 11 и 12. По обоим показателям, согласно тесту Шеффе, опыты образуют три однородные подгруппы. В подгруппу 1 входит контрольная группа 1, в подгруппу 2 – экспериментальная группа 2 с дозировкой пробиотика «Olin» 0,015 г/гол., в подгруппу 3 – экспериментальные группы 3 и 4 с дозировкой пробиотика «Olin» 0,022 и 0,029 г/гол. И по массе мышц, и по массе филе средние по экспериментальным группам 3 и 4 статистически неразличимы, т.е. увеличение дозировки пробиотика с 0,022 г/гол. до 0,029 г/гол. эффекта не дает.

Заметим, что результаты, приведенные в таблицах 6-12, можно также получить с помощью однофакторного дисперсионного анализа процедуры «*Compare Means* (Сравнение средних)» пакета *SPSS Base*. В данном исследовании мы воспользовались другой процедурой – «*General Linear Model* (Общая линейная модель)», полезным результатом которой, в дополнение к этим таблицам, является возможность получить МНК-оценки параметров модели. Пример таблицы МНК-оценок параметров такой модели для одного из информативных показателей – массы мышц – приведен ниже.

Таблица 13 – Оценки параметров линейной модели для информативного показателя «Массы мышц» (за нулевой уровень принята группа 4)

Параметр	*B*	Стд. ошибка	*t*	Значимость	99% доверительный интервал	
					нижняя граница	нижняя граница
Постоянная	1002,667	6,468	155,030	0,000	989,176	1016,158
[ГРУППА=1]	-69,167	9,146	-7,562	0,000	-88,246	-50,087
[ГРУППА=2]	-34,333	9,146	-3,754	0,001	-53,413	-15,254
[ГРУППА=3]	21,000	9,146	2,296	0,033	1,921	40,079
[ГРУППА=4]	0	,	,	,	,	,

Поясним таблицу 13. В математической форме однофакторная линейная модель дисперсионного анализа записывается следующим образом:

$$Y_i = \mu_0 + \alpha_i + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где Y_i – наблюдаемое значение выходной переменной Y на i-м уровне фактора; μ_0 – оценка свободного коэффициента модели; α_i – оценки главных эффектов на i-м уровне; ε_i – случайная ошибка. МНК-оценки параметров модели (2) и приведены в таблице 13.

В этой таблице постоянная μ_0=1002,667 г, а за нулевой принят эффект группы 4, т.е. средняя масса мышц цыплят-бройлеров группы 4 принята равной μ_0=1002,667 г. Эффекты (добавки массы мышц) других групп отсчитываются уже от этого уровня; так,

средняя масса мышц цыплят-бройлеров группы 1 (эталона) характеризуется добавкой α_1=-69,167 г, с доверительным 95%-ым интервалом (-88,246 … -50,087) г, что соответствует средним значениям массы мышц (914,421 … 952,580) г. Соответственно, группа 3 характеризуется максимальным эффектом α_3=21,000 г, с доверительным 95%-ым интервалом (1,921 … 40,079) г, что соответствует средним значениям показателя (1004,588 … 1042,746) г.

Эта однофакторная модель характеризуется достаточно высоким значением коэффициента детерминации: она объясняет 84,9% общей дисперсии. Судя по графикам остатков, представленным на рисунке 5, модель адекватна: метки, отвечающие эмпирическим данным, расположены достаточно близко к линии регрессии (рисунок 5 *а*), а остатки на рисунке 5 *б* образуют равномерную полосу вдоль предсказанных значений показателя, что свидетельствует об отсутствии эффекта гетероскедастичности.

а *б*

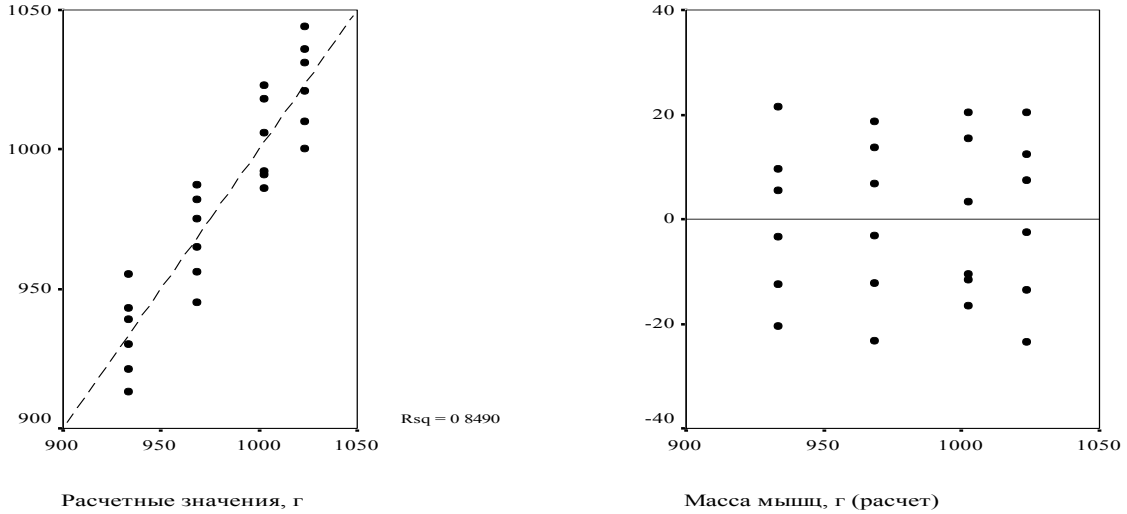


Рис. 5 – Характеристики качества линейной модели дисперсионного анализа массы мышц полуфабриката цыплят-бройлеров: *а* – связь эмпирических значений показателя с расчетными; *б* – график остатков

Однофакторная модель для второго информативного показателя – массы филе – также имеет высокие характеристики качества: коэффициент детерминации R^2=0,909, т.е. она объясняет 90,9% общей дисперсии (таблица МНК-оценок параметров этой модели не приводится ради сокращения объема раздела).

Представленные выше модели дисперсионного анализа отражают связь выходных переменных не с количественной независимой переменной (предиктором), а с уровнями номинальной переменной (в данном случае, с номером опытной группы), и не являются регрессионными моделями в классическом понимании этого термина. Они позволяют выполнить сравнение вариантов эксперимента, но не позволяют решить оптимизационные задачи. В этой связи, задачей данного раздела является разработка регрессионных моделей, отражающих зависимость ведущих информативных показателей мясных качеств полуфабриката от содержания пробиотика, с последующей их оптимизацией.

Отправные данные для решения сформулированной задачи, полученные нами ранее с помощью процедуры «*General Linear Model* (Общая линейная модель)» пакета программ статистического анализа данных общественных наук *SPSS Base*, в наглядной графической форме отражают диаграммы, представленные на рисунке 6.

а *б*

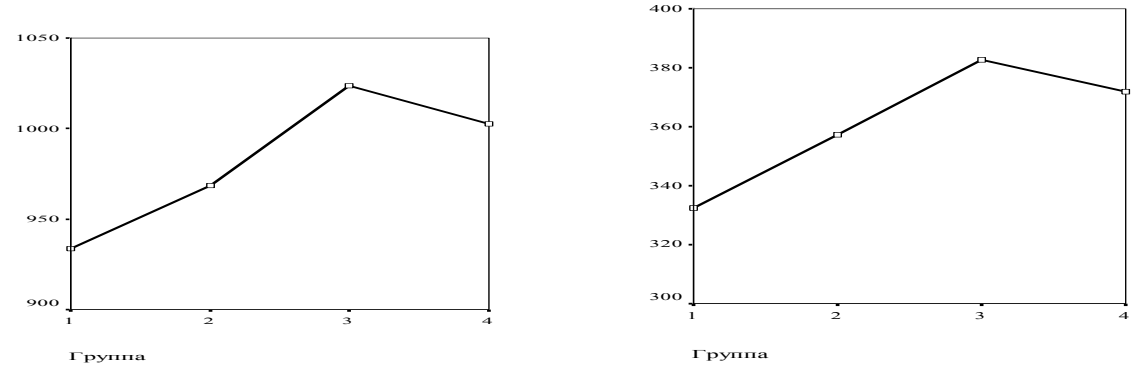


Рис. 6 – Распределение расчетных значений ведущих показателей мясных качеств тушек цыплят-бройлеров по опытным группам: *а* – масса мышц; *б* – масса филе

Поясним рисунок 6. Числа 1 … 4 на горизонтальной оси – это номера групп в эксперименте по влиянию экспериментальных дозировок пробиотика «Olin» на информативные показатели – массу мышц и массу филе, при этом 1 – номер контрольного опыта, который предполагал основной рацион кормления цыплят-бройлеров без добавки пробиотика, 2, 3, 4 – номера опытов с дозировки пробиотика «Olin» 0; 0,015; 0,022 и 0,029 г/гол. На первый взгляд, можно было бы сопоставить номерам групп количественную переменную – дозировку пробиотика в интервале от 0 до 0,029 г/гол., а затем строить модель регрессии. Но такой прием не вполне корректен, следует рассматривать не четыре, а лишь три уровня дозировки пробиотика «Olin»: 0,015; 0,022 и 0,029 г/гол. Тогда мы получаем несколько иной вид зависимости информативных показателей мясных качеств тушек цыплят-бройлеров от дозировки пробиотика – рисунок 7.

а *б*

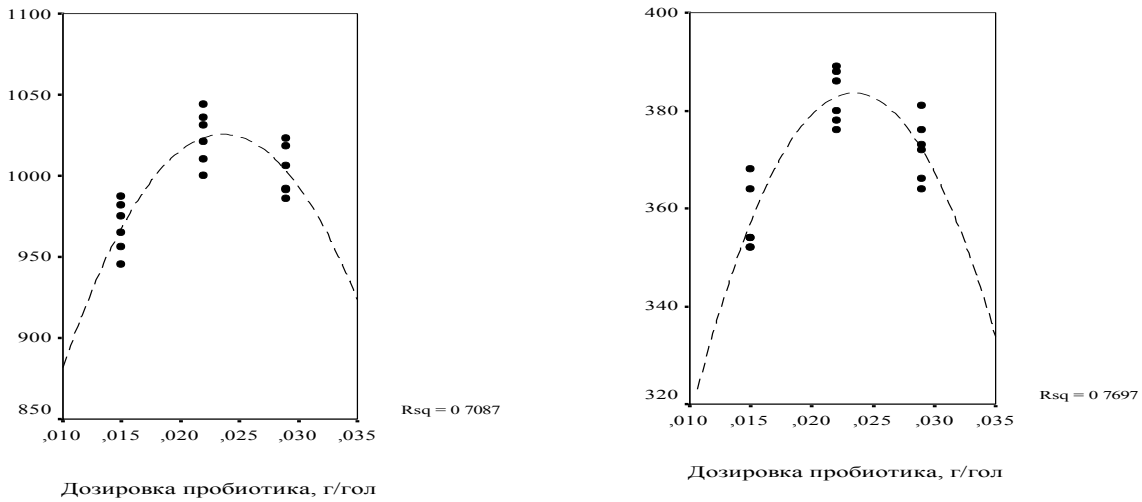


Рис. 7 – Зависимость ведущих информативных показателей мясных качеств тушек цыплят-бройлеров от дозировки пробиотика: *а* – масса мышц; *б* – масса филе

Графики рисунка 7 построены с помощью графической процедуры «*Scatterplot*» программы *SPSS Base*, по исходным данным эксперимента, выполненного с шестикратной повторностью. Из рисунка следует, что, несмотря на довольно высокую вариабельность исходных данных по повторностям, коэффициент полиномиальной детерминации достаточно высок: 0,709 для квадратичной модели массы мышц и 0,770 – для квадратичной модели массы филе (для построения кубической регрессии трех градаций независимой переменной недостаточно).

Судя по характеру кривых регрессии квадратичной корреляции, максимумы обоих информативных показателей достигаются при дозировке пробиотика примерно 0,024 г/гол., и для уточнения этого значения нами с помощью процедуры множественной линейной регрессии определены параметры квадратичных моделей

$$Y = b_0 + b_1X + b_1X^2, \quad (2)$$

где X – дозировка пробиотика, b_0, b_1 и b_2 – оцениваемые коэффициенты моделей.

Для оценки параметров квадратичных моделей предварительно в редакторе данных формировали переменную X^2, затем был реализован метод «*Enter*», т.е. независимые переменные X и X^2 вводили в анализ принудительно. Полученные результаты аппроксимации эмпирических данных квадратичными моделями представлены в таблице 14.

Таблица 14 – МНК-оценки параметров квадратичных моделей

Зависимая переменная	Предиктор	Нестандартизированные коэффициенты		Стандартизир. коэффициенты (бета-коэффициенты)	*t*	Знч.
		B	Ст. ошибка			
Масса мышц	Постоянная	592,721	75,276		7,874	0,000
	X	36724,490	7221,423	7,748	5,085	0,000
	X^2	-778911,565	163435,286	-7,261	-4,766	0,000
Масса филе	Постоянная	180,344	29,430		6,128	0,000
	X	17360,544	2823,290	8,331	6,149	0,000
	X^2	-370748,299	63896,710	-7,861	-5,802	0,000

Как следует из таблицы 14, коэффициенты квадратичных моделей, отражающих зависимость массы мышц и массы филе тушек цыплят-бройлеров от дозировки пробиотика «Olin» в комбикормах, значимы на уровне не хуже 0,0005. В целом модели характеризуются достаточно высоким качеством: коэффициент детерминации 0,709 и 0,770 для массы мышц и филе соответственно, значения критерия Фишера – 18,2 и 25,1 соответственно статистически значимы на уровне не не хуже 0,0005.

Это позволяет использовать квадратичные модели, явный вид которых

для массы мышц:

$$Y_1 = 592,7 + 3\,6724,5X - 778912X^2; \quad (3)$$

для массы филе:

$$Y_2 = 180,3 + 17360,5X - 370748X^2, \quad (4)$$

Дифференцируя модели (3) и (4) по X, после приравнивания полученных выражений нулю получаем:

$$X_{1опт} = 36724,5 / (2*778912) = 0,0236 \text{ г/гол.}; \quad (4)$$

$$X_{2опт} = 17360,5 / (2*370748) = 0,0234 \text{ г/гол.} \quad (5)$$

Полученные оценки практически совпадают. Это позволяет выполнить их усреднение и заключить, что дозировка пробиотика «Olin» в комбикормах, обеспечивающая максимум ведущих показателей мясных качеств тушек цыплят-бройлеров, составляет 0,0235 г/гол.

Выводы. Представленные выше результаты обработки эмпирических данных по влиянию спорогенного пробиотика «Olin» на убойные и мясные качества тушек цыплят-бройлеров убедительно демонстрируют дополнительные возможности, получаемые при комплексном использовании статистических методов, алгоритмы которых поддерживаются современными программами анализа данных. Уже применение достаточно ранней версии пакета программ статистического анализа данных общественных наук *SPSS Base* позволило получить новые знания, среди которых: выявление ведущих информативных показателей качества полуфабриката; сокращение размерности изучаемого множества показателей; оценка значимости влияния экспериментальных дозировок пробиотика «Olin», по сравнению с контролем, на информативные показатели; уточнение оптимальной дозировки пробиотика «Olin» в комбикормах по критериям качества полуфабриката.

Полученные положительные результаты выполненных исследований позволяют рекомендовать комплексное использование исследователями в различных областях сельскохозяйственного производства таких статистических методов для анализа эмпирических данных, как корреляционно-регрессионный и факторный анализ, дисперсионный анализ и его сравнительно новый метод – общую линейную модель.

Успех применения представленных статистических методов во многом определяется уровнем подготовки специалистов сельского хозяйства в высших учебных заведениях, и в этой связи следует рекомендовать всемерное использование в учебном процессе, наряду с традиционными информационными технологиями из пакета офисных программ *MS Office*, современных программ анализа данных, таких, как *SPSS*, *STATGRAPHICS PLUS*, *STATISTICA*.

Литература

1. **Бююль А., Цёфель П.** SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2002. 608 с.
2. **Гланц С.** Медико-биологическая статистика / пер. с англ. М.: Практика, 1998. 459 с.
3. **Доспехов Б.А.** Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. **Зелов К.А., Мурленков Н.В., Шуметов В.Г.** Множественное сравнение средних в эксперименте по влиянию экспериментальных дозировок пробиотика «Olin» в рацион кормления цыплят-бройлеров // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 1. С. 31.
5. **Костин А.А., Заяц О.А.** Компьютерные технологии статистического анализа данных // Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.scienceforum.ru/2015/pdf/17269.pdf.
6. **Лакин Г.Ф.** Биометрия. Учебное пособие для биол. спец. вузов, 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
7. **Многомерный статистический анализ** в экономических задачах: компьютерное моделирование в SPSS: учебное пособие / под ред. И.В. Орловой. М.: Вузовский учебник, 2009. 310 с.
8. **Морозова Е.С., Мурленков Н.В., Шуметов В.Г.** Оптимизация дозировки пробиотика «Olin» в рационе кормления цыплят-бройлеров по критериям качества полуфабриката // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 1. – С. 30.
9. **Мурленков Н.В., Зелов К.А., Абрамкова Н.В.** Влияние различных доз пробиотика «Олин» на убойные и мясные качества цыплят-бройлеров // Фундаментальные основы современных аграрных технологий и техники: сб. науч. ст. Юрга: ЮТИ ТПУ, 2015. С. 155-157.
10. **Мурленков Н.В., Морозова Е.С., Шуметов В.Г.** Статистический анализ влияния пробиотика «Olin» на потребительские качества цыплят-бройлеров: постановка задачи // Международный студенческий научный вестник. 2017. №1. С. 27.
11. **Мурленков Н.В., Шуметов В.Г.** Анализ взаимосвязей показателей убойных и мясных качеств тушек цыплят-бройлеров в эксперименте по влиянию дозировок пробиотика «Olin» в рационе кормления // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 1. С. 29.
12. **Орлов А.И.** Высокие статистические технологии // Заводская лаборатория. 2003. Т.69. №11. С.55-60.
13. **Пакеты компьютерных программ**. Электронный ресурс. Режим доступа: http://studopedia.org/7-133325.html.
14. **Сборник задач** по математике для втузов. Ч.3. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для втузов / Под ред. А.В. Ефимова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1990. 428 с.
15. **Современные статистические методы** в сельскохозяйственных исследованиях. Электронный ресурс. Режим доступа: http://5fan.ru/wievjob.php?id=39078
16. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / **Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер,**

У.Р. Клекка и др.; под ред. И.С. Енюкова.– М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
17. **Шуметов В.Г., Крюкова О.А.** Методология и практика анализа данных в управлении. Методы одномерного и двумерного анализа. Орел: Изд-во ОФ РАНХиГС, 2012. 176 с.
18. **Шуметов В.Г., Шуметова Л.В.** Факторный анализ: подход с применением ЭВМ: Учебное пособие. Орел: ОрелГТУ, 1999. 88 с.
19. **SPSS** Base 8.0 для Windows. Руководство по применению. Перевод–Copyright 1998 СПСС Русь. 397 с.

Поступила в редакцию: 08.05.2019 г.

Мурленков Никита Вячеславович, аспирант кафедры частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», e-mail: chr98@yandex.ru
Murlenkov Nikita Vyacheslavovich, post-graduate student of the Department of zooingering and animals breeding , Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin". e-mail: chr98@yandex.ru
Шуметов Вадим Георгиевич, доктор экономических наук, профессор кафедры информационных технологий и математики, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», e-mail: shumetov@list.ru
Shumetov Vadim Georgievich, Doctor of Economics Sciences, professor of the Department of information technology and mathematics, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin". e-mail: shumetov@list.ru

УДК 636.47; 636.424.1; 636.082.12

А. И. Шендаков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет
имени Н.В. Парахина», Россия, Орел
A. I. Shendakov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Orel State Agrarian University, Orel City, Russia, e-mail: bio413@ya.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗВЕДЕНИЯ ДАТСКИХ ПОРОД СВИНЕЙ В РОССИИ

(Efficiency of breeding of Danish pigs in Russia) Danish

Свиноводство – современная, перспективная отрасль, способная обеспечивать продовольственную безопасность России. Однако многие отечественные породы не имеют хороших продуктивных качеств. Это связано с тем, что многие породы свиней в России выведены в сжатые сроки в период с 1935 по 1957 год. Для решения проблемы повышения мясных качеств в последние годы стали широко использоваться завезённые породы свиней. В статье приведены результаты оценки пород ландрас и йоркшир датской селекции, завезённых в Калужскую область. Анализ количественных и качественных показателей по породе ландрас показал, что в породе наметилось увеличение поголовья, количества ремонтных свинок, среднесуточный прирост увеличился до 965 грамм; в йоркширской породе также наметилось увеличение количества ремонтных свинок, массы гнезда в 30 дней, среднесуточный прирост составил 888-900 грамм. Несмотря на примерно одинаковую экономическую эффективность разведения, корреляции селекционных признаков у этих пород отличались, что говорит о разной генетической основе пород, а также эффективности селекции в ближайшей перспективе и необходимости разных индексов отбора в этих породах. У свиней породы ландрас высокую наследуемость имели затраты корма на 1 кг прироста (r=+0,388, h^2=0,776), а у свиней породы йоркшир высокой наследуемостью отличалась толщина шпика над 6-7 грудным позвонками (мм) - h^2=0,656. Свиньи породы йоркшир имели высокое многоплодие (в среднем 17,6 голов при опоросе). Рентабельность производства при этом в среднем составила в разные годы от 25 до 37% (31% в 2018 году). В целом, разведение датских пород ландрас и йоркшир следует считать перспективным на свиноводческих комплексах России.

Ключевые слова: порода ландрас, порода йоркшир, селекция, разведения, корреляции, свиньи, коэффициенты наследуемости, рентабельность

Pig breeding is a modern promising industry capable of ensuring food security of Russia. However, many domestic breeds do not have good productive qualities. This is due to the fact that many pig breeds were bred in a short period of time from 1935 to 1957 in Russia. To solve the problem of improving meat quality, introduced pig breeds have become widely used recently. The article presents the results of the evaluation of Danish Landrace and Yorkshire breeds that have been introduced to the Kaluga Region. The analysis of quantitative and qualitative indicators of the Landrace breed showed that there was an increase in the number of livestock in the breed, the number of repair pigs, the average daily gain increased to 965 grams; in Yorkshire breed, there was also an increase in the number of repair pigs, nest weight in 30 days, the average daily gain was 888-900 grams. Despite approximately the same economic efficiency of breeding, the correlations of breeding traits in these breeds differed, which indicates a different genetic basis of the breeds, as well as the effectiveness of selection in the near future and the need for different selection indices in these breeds. In pigs of the landras breed, high heritability had feed expenses per 1 kg gain (r = + 0.388, h^2 = 0.776), and in Yorkshire pigs, high heritability differed in lard thickness over 6-7 thoracic vertebrae (mm) - h^2 = 0.656. Yorkshire pigs had a high prolificacy (an average of 17.6 piglets per farrow). Profitability of production at the same time on average was in different years from 25 to 37% (31% in 2018). In general, the breeding of Danish breeds Landrace and Yorkshire should be considered promising in the pig breeding complexes of Russia.

Key words: Landrace breed, Yorkshire breed, selection, breeding, correlations, pigs, heritability coefficients, profitability

Об эффективности племенной работы в свиноводстве в разные годы говорили многие научные коллективы [1, 7, 9 и др.], но и в наши дни эта проблема существует практически в равно степени, как и в былые годы [2, 5, 11 и др.]; обсуждаются стратегии развития племенного свиноводства, возможности создания отечественных специализированных генотипов в свиноводстве [3], биологических факторов свиноводства [12], создаются и разводятся породы [10]. Однако, по данным академика И.М. Дунина с соавт. (2018) [4], на начало 2018 года племенная база свиноводства в России была представлена всего восьмью породами свиней, которых разводили и совершенствовали в 61 племенном заводе и 63 племенных репродукторах общей численностью основных и проверяемых свиноматок 99,2 тыс. голов. При этом 52,9% племенной базы приходилось на крупную белую породу. В племенных стадах средний возраст достижения хрячками живой массы 100 кг колебался от 133 до 227 дней, свинками – от 142 до 233 дней. Толщину шпика 15 мм

и менее имели хрячки в 72 племенных стадах, а свинки 20 мм и менее – в 118 племенных стадах. В 2017 году реализация племенного молодняка составила 66,8 тыс. голов. Авторы высказывают мнение, что на этапе становления конкурентоспособного отечественного свиноводства особое внимание следует уделять стратегии развития селекционно-генетических центров, которые станут источником для реализации программ гибридизации и разведения свиней на качественно новой генетической основе.

Вместе с тем, возникает вопрос о том, по каким признакам вести селекцию в отечественном свиноводстве. Так, Мельниковой Е.Е. с соавт. (2019) [6] определены уровни фенотипической и генетической взаимосвязи для анализируемых признаков (толщина шпика, измеренная в трех точках (мм), глубина мышцы (мм), возраст достижения живой массы 100 кг (дн.), количество живых рожденных поросят (гол.), вес гнезда при рождении (кг), средний вес рожденного поросенка (кг), количество всех рожденных поросят (гол.), вес гнезда при отъеме (кг), количество отнятых поросят (гол.), средний вес отнятого поросенка (кг), коэффициенты их наследуемости. Сделаны выводы о целесообразности учета каждого из анализируемых признаков при разработке уравнения селекционного индекса племенной ценности животных. По мнению отдельных учёных [8], эффективное разведение свиней возможно только на основе геномной селекции. При этом в большинстве племенных и товарных массивов не проводится не только оценка общей генетической детерминации, эффекта селекции и пр., но и экономическая эффективность программ селекции. В связи с этим наши исследования являются актуальными.

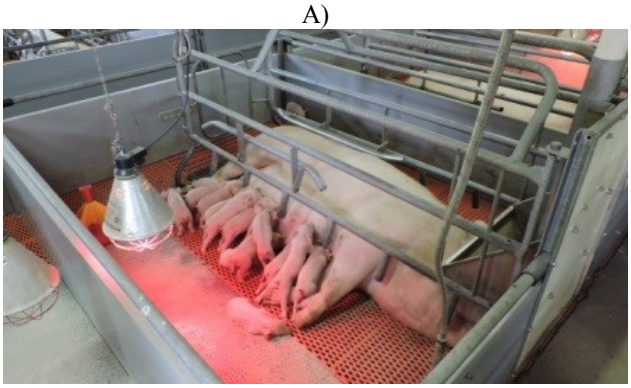
Целью исследований являлась оценка эффективности племенной работы со свиньями пород ландрас и йоркшир датского происхождения, завезёнными в Калужскую область в 2013 году. В соответствии с целью были поставлены следующие основные задачи: изучить количественные и качественные показатели продуктивности свиней пород ландрас и йоркшир на начало года; оценить динамику изменения основных количественных и качественных показателей в зависимости от породы; проанализировать корреляции основных селекционных признаков в зависимости от породы; обобщить результаты разведения, сделать выводы и дать предложения производству.

Материалы и методы исследований

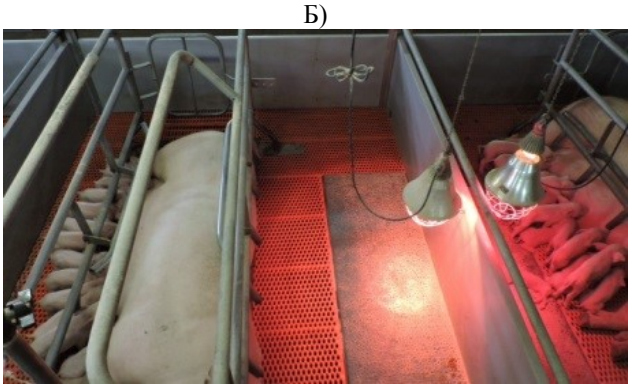
Исследования были проведены в стаде ООО «Экоферма Климовская» Калужской области в период с 2016 по 2018 годы. Для предприятия нами были разработаны перспективные планы племенной работы сроком с 2014 по 2018 и с 2019 до 2023 годы (Ляшук Р.Н., Шендаков А.И., 2013; Шендаков А.И., Ляшук Р.Н., Михайлова О.А., 2018). В работе были проведены разносторонние исследования селекционного процесса, в исследованиях применялись общепринятые зоотехнические методы. Корреляционный анализ был проведён в компьютерной программе «Microsoft Excel». Животные хозяйства представлены на рис. 1.



А)



Б)



В)

Рис. 1 (А-В) - Содержание подсосных свиноматок с поросятами в ООО «Экоферма Климовская» Калужской области (фото предприятия)

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ количественных и качественных показателей по породе ландрас (табл. 1) показывает, что при её разведении наметилось увеличение поголовья, количества ремонтных свинок, среднесуточный прирост увеличился до 965 грамм.

По йоркширской породе также наметилось увеличение количества ремонтных свинок, массы гнезда в 30 дней, среднесуточный прирост составил 888-900 грамм, однако свиньи породы йоркшир датской селекции отличались увеличением многоплодия до 17,6 голов. Обе породы показали примерно одинаковое количество опросов в год на одну свиноматку, возрастание с 2016 года составило от 2,11 до 2,29 и от 2,14 до 2,22, однако в 2018 году свиноматки породы йоркшир превышали свиноматок породы ландрас на 2,4 головы (в группе основных свиноматок) и на 0,8 голов (в группе проверяемых свиноматок).

Таблица 1. - Количественные и качественные показатели продуктивности свиней пород ландрас и йоркшир на начало года

Показатели	По-рода	Период разведения		
		2016	2017	2018
Численность свиней всего, гол.	L	7545	9325	9928
	Y	7545	9325	9928
Свиноматок основных всего, гол.	L	242	244	217
	Y	240	229	214
Продуктивность основных свиноматок:				
многоплодие, гол.	L	13,6	14,7	14,5
	Y	15,1	17,6	16,9
количество в гнезде поросят в возрасте 30 дней, гол.	L	13,4	11,5	13,9
	Y	12,65	16,6	15,0
масса гнезда в 30 дней, кг	L	87,76	73,8	95,8
	Y	82,8	99.4	99,3
Получено опоросов за год, всего	L	758	716	711
	Y	675	745	708
в том числе на основную свиноматку	L	2,11	2,18	2,29
	Y	2,14	2,19	2,22
Получено приплода, всего гол.	L	10227	10278	10134
	Y	9826	12174	11307
в том числе: от основных маток	L	7852	5323	7185
	Y	7196	8571	7887
Получено поросят за один опорос, гол.	L	13,5	14,4	14,2
	Y	14,5	15,8	16,0
в том числе: от основной свиноматки	L	13,6	14,7	14,5
	Y	15,1	17,6	16,9
от проверяемой свиноматки	L	13,2	13,8	13,6
	Y	13,1	14,0	14,2
Выход поросят, полученных от основной свиноматки в год, гол.	L	28,7	32,0	33,2
	Y	27,1	38,5	33,3
Возраст достижения молодняком живой массы 100 кг, дней	L	167	166	153
	Y	167	164	153
Среднесуточный прирост живой массы свиней на выращивании, г	L	803	965	887
	Y	803	965	887
Искусственно осеменено свиноматок, гол.	L	923	869	930
	Y	900	888	870
Реализация племенных животных всего, гол.	L	217	91	489
	Y	1123	495	27
Затраты кормов на 1 кг прироста молодняка, к. ед.	L	3,5	3,3	2,7
	Y	3,5	3,3	2,74
Себестоимость 1 ц привеса свиней, руб.	L	11393	11155	9000
	Y	11393	11155	9000
Расход кормов на 1 ц привеса	L	3,3	3,0	2,92
	Y	3,1	3,0	2,92
Прибыль (+), убыток (-), млн. руб.	-	+64,0	+49,0	+49,8
Рентабельность свиноводства, %	-	37	32	31

Примечание: L – порода ландрас, Y – порода йоркшир.

Разводимые породы практически не отличались по среднесуточным приростам, возрасту достижения молодняком живой массы 100 кг, затратам корма на 1 кг прироста молодняка, расходам кормов на 1 ц. привеса. Анализ количественных и качественных показателей позволяет отметить ощутимые результаты проводимой племенной и общей зоотехнической работы. Рентабельность производства при этом в среднем составила в разные годы от 25 до 37% (31% в 2018 году). Организация была благополучна по ветеринарно-санитарному состоянию.

Анализ корреляций в группе лучших свиноматок (табл. 2) показал, что в группе породы ландрас положительно коррелировали толщина шпика над 6-7 грудным позвонками (мм) и толщина шпика в точке Р2 (мм) – +0,218; количество поросят при отъеме (гол.) и масса гнезда в 30 дней (кг) – +0,610. Высокую наследуемость имели затраты корма на 1 кг прироста (r=+0,388, h^2=0,776). Толщина шпика над 6-7 грудным позвонком между матерями и потомками коррелировала на уровне -0,228. Остальные корреляции были малозначимыми и недостоверными.

Таблица 2 – Корреляции селекционных признаков у лучших свиноматок породы ландрас и породы йоркшир в 2018 году

Взаимосвязанные признаки	Ландрас (n=76)		Йоркшир (n=78)	
	r	+/- к матерям	r	+/- к матерям
возраст достижения живой массы 100 кг (дней) – затраты корма на 1 кг прироста (кг)	-0,007	-	+0,042	-
затраты корма на 1 кг прироста (кг) - толщина шпика над 6-7 грудным позвонками (мм)	-0,080	-	-0,079	-
толщина шпика над 6-7 грудным позвонками (мм) –толщина шпика в точке Р2 (мм)	+0,218	-	**+0,994**	-
толщина шпика в точке Р2 (мм) – глубина мышцы в точке Р2 (мм)	-0,101	-	+0,278	-
глубина мышцы в точке Р2 (мм) - длина туловища (см)	-0,090	-	+0,078	-
длина туловища (см) – оценка экстерьера (баллы)	+0,070	-	+0,060	-
затраты корма на 1 кг прироста (кг) – глубина мышцы в точке Р2 (мм)	+0,025	-	+0,066	-
затраты корма на 1 кг прироста (кг) – длина туловища (см)	+0,004	-	+0,094	-
затраты корма на 1 кг прироста (кг) – многоплодие (гол.)	-0,048	-	+0,010	-
многоплодие (гол.) - количество поросят при отъеме (гол.)	+0,028	-	+0,146	-
многоплодие (гол.) - масса гнезда в 30 дней (кг)	-0,038	-	+0,084	-
количество поросят при отъеме (гол.) – масса гнезда в 30 дней (кг)	**+0,610**	-	+0,166	-
возраст достижения живой массы 100 кг (дней) – возраст достижения живой массы 100 кг у потомков (дней)	-0,115	+5,9	-0,164	-1,3
затраты корма на 1 кг прироста (кг) – затраты корма на 1 кг прироста у потомства (кг) –	**+0,388**	+0,25	-0,048	-0,026
толщина шпика над 6-7 грудным позвонками (мм) –толщина шпика над 6-7 грудным позвонками у потомства (мм)	-0,228	-0,29	**+0,328**	-1,6
толщина шпика в точке Р2 (мм) – толщина шпика в точке Р2 у потомства (мм) –	-0,046	+0,69	**+0,247**	-1,4
глубина мышцы в точке Р2 (мм) - глубина мышцы в точке Р2 у потомства (мм)	-0,126	+0,08	+0,138	-0,2

В группе лучших свиноматок породы йоркшир корреляции были несколько иными. В частности, толщина шпика над 6-7 грудным позвонком (мм) и толщина шпика в точке Р2 (мм) у них коррелировали на уровне 0,994 ($p<0,001$). Толщина шпика в точке Р2 (мм) и глубина мышцы в точке Р2 (мм) имели связь +0,278. Связь количества поросят при отъеме и массы гнезда в 30 дней у йоркширских свиноматок имели меньшую выраженность, чем у ландрасов: r=+0,166.

У свиноматок породы йоркшир не было наследуемости затрат корма на кг прироста, в отличие от ландрасов. При этом у лучших свиноматок крупной белой породы была обнаружена генетическая детерминация толщины шпика над 6-7 грудным позвонком (r^2=11%), по толщине шпика в точке Р2 генетическая детерминация генотипами свиноматок составила 6,1%, по глубине мышцы в точке Р2 также была обнаружена взаимосвязь между признаком свиноматок и их потомков.

При этом ряд оцененных признаков, приведённых в таблице 2, у породы йоркшир уменьшился. Это относилось к затратам корма на 1 кг прироста (кг), толщину шпика (мм), глубину мышцы в точке Р2. Вполне очевидно, что порода датских йоркширов имела большую склонность к увеличению толщины шпика.

Выводы и предложения производству. Таким образом, стадо свиней пород ландрас и йоркшир ООО «Экоферма Климовская» показало положительные результаты при разведении, низкие затраты корма на один кг прироста и привеса, высокие среднесуточные приросты и высокую скороспелость.

Несмотря на примерно одинаковую экономическую эффективность разведения этих пород, следует отметить, что корреляции селекционных признаков у этих пород отличались, что говорит о несколько разных генетических возможностях пород, эффективности селекции в ближайшей перспективе и необходимости разных индексов отбора в этих породах. В оцененной группе лучших свиноматок породы ландрас не было получено наследуемости возраста достижения живой массы 100 кг (дней), толщины шпика над 6-7 грудным позвонками (мм), толщины шика в точке Р2 (мм) и глубина мышцы в точке Р2 (мм), не-

смотря на превосходство потомков над матерями по большинству этих признаков. Это может подтверждать существенное влияние отцов на данные признаки при подборе. По толщине шпика в породе йоркшир, напротив, существенное влияние оказывали матери. В целом, разведение датских пород ландрас и йоркшир следует считать перспективным на свиноводческих комплексах России.

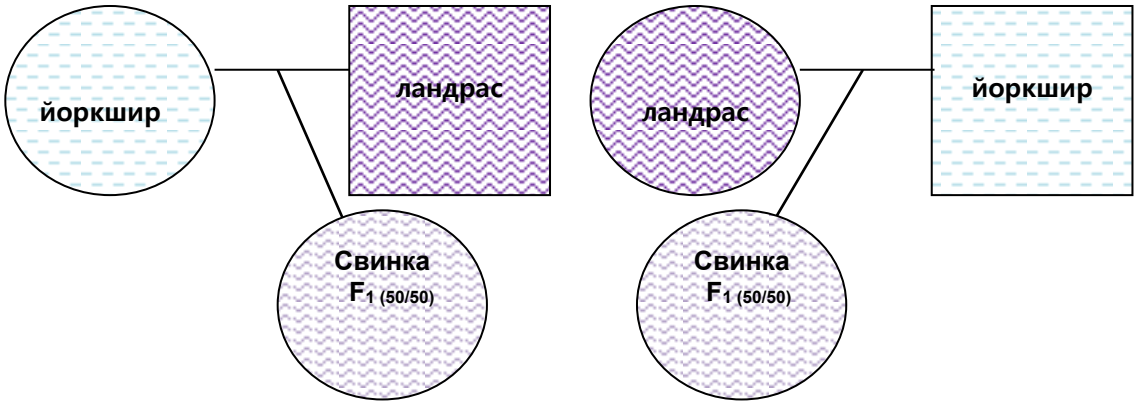


Рис. 2 – Схема получения гибридной свинки F_1

По нашему мнению, при одновременном разведении в племенных организациях этих пород в дальнейшем на предприятиях при получении гибридной свинки F_1 для реализации следует использовать схему, представленную на рисунке 2. Согласно схеме, около 50-60% гибридного поколения **F_1** для реализации следует получать при осеменении свиноматок породы йоркшир хряками породы ландрас, около 40-50% - при осеменении свиноматок породы ландрас хряками породы йоркшир. Такой подход будет способствовать проявлению эффекта гетерозиса по наиболее важным продуктивным признакам у потомства, в том числе многоплодию, скороспелости, выходу мяса, выходу поросят от одной свиноматки в год и пр.

Литература

1. **Бажов Г. М.** Племенное свиноводство. – С.-Петербург: Издательство «Лань», 2006. – 384 с.
2. **Белоусов Н.** Стратегия развития племенного животноводства // Свиноводство. – 2018. - №3. – С.8-10.
3. **Гришкова А.П., Чалова Н.А., Аришин А.А., Волков В.А., Третьякова Н.Л.** Возможности создания отечественных специализированных генотипов в свиноводстве // Свиноводство. – 2018. - №8. – С.9-11.
4. **Дунин И.М., Павлова С.В., Козлова Н.А., Щавликова Т.Н.** Состояние племенной и товарной базы свиноводства в российской федерации итоги 2017 года свиноводстве // Свиноводство. – 2018. - №5. – С.4-7.
5. **Красновская Е.** Отрасль свиноводства: инновации или инертность? // Свиноводство. – 2019. - №1. – С.6-10.
6. **Мельникова Е.Е., Сермягин А.А., Харитонов С.Н., Контэ А.Ф., Требунских Е.А., Зиновьева Н.А.** Выбор селекционных критериев для определения комплексной племенной ценности свиней крупной белой породы в условиях закрытой популяции// Свиноводство. – 2019. - №1. – С.13-17.
7. **Михайлова О.А.** Современные аспекты европейского свиноводства: тенденции, проблемы и перспективы // Биология в сельском хозяйстве. – 2017. - №4(17). – С.13-24.
8. **Суслина Е.Н., Новиков А.А., Дунин М.И., Медведев Ю.Б., Башмакова Н.В.** Геномная селекция в свиноводстве зарубежных стран и перспективы ее использования в Российской Федерации // Свиноводство. - 2018. - № 3. - С. 4-7.
9. **Хохрин С.Н.** О племенной работе в свиноводстве // Свиноводство. – 1958. - №3. – С.33-34.
10. **Шарнин В.Н., Рудь А.И., Кичигин А.И., Глазкова Н.А., Зиновьева Н.А., Стрекозов Н.И.** Алтайская мясная порода свиней // Свиноводство. – 2018. - №2. – С.4-10.
11. **Шендаков А., Ляшук Р.** Племенная ценность датских свиней // Животноводство России. - 2015. - № S2. - С. 14-15.
12. **Эрнст Л.К.** Биологические проблемы животноводства в XXI веке / Л.К. Эрнст, Н.А. Зиновьева. - М.: РАСХН, 2008, 501 с.

Поступила в редакцию: 20.02.2019 г.

Шендаков Андрей Игоревич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», aish78@yandex.ru, тел. 8-953-816-78-84,
Shendakov Andrey Igorevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor FSBEE HE "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin", aish78@yandex.ru, tel. 8-953-816-78-84.

УДК 504.054 : 57.02 : 574.3 : 581.5 : 470.319

Крюков В.И., доктор биологических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет
им. Н.В. Парахина», Россия, г. Орёл
тел. 8 (4862) 47 51 71, e-mail: iniic@mail.ru
Kriukov V.I., doctor of biological sciences, professor
Orel state agrarian university, Russia, Orel

АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МУТАГЕНАМИ ПОЧВ СЕВЕРНОГО РАЙОНА ГОРОДА ОРЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ *ARABIDOPSIS THALIANA*

(Testing the soil mutagenic pollution of Orel's Northern district using of *Arabidopsis thaliana*)

В статье приведены результаты анализа интегрального уровня токсичности и мутагенности почв из 10 различных мест Северного района г. Орла. Анализ мутагенности проведён с использованием эмбрион-теста на *Arabidopsis thaliana*. Тестерные растения выращивали в лабораторных условиях на почве собранных образцов. Морфологический анализ мутаций проводили в фазу плодоношения. Учитывали частоты стерильных яйцеклеток, доминантных летальных (sicca, brevis, vana, diffusa, murca, parva, fusca) и рецессивных хлорофильных (albina, chlorina, xantha) мутаций. Почва двух образцов индуцировала частоты эмбриональных леталей статистически достоверно отличающиеся от контроля. Три образца почвы индуцировали статистически достоверно более высокие частоты стерильных яйцеклеток. Шесть почвенных образцов вызывали статистически достоверное увеличение суммарных частот всех проанализированных аномалий. Эти результаты указывают, что в Северном районе города Орла существуют участки с высоким содержанием мутагенных и фитотоксичных загрязнений.

Ключевые слова: экологический мониторинг, генетический мониторинг, мутагенез, эмбриональные летальные мутации, Арабидопсис

The article presents the results of the analysis of the integral level of toxicity and mutagenicity of soils from 10 different places in the Northern region of Orel. Analysis of mutagenicity was performed using an embryo-test for *Arabidopsis thaliana*. Tester plants were grown in laboratory conditions on the soil of the collected samples. Morphological analysis of mutations was performed in the phase of fruiting. The frequencies of sterile eggs, dominant lethal (sicca, brevis, vana, diffusa, murca, parva, fusca) and recessive chlorophyll (albina, chlorina, xantha) mutations were taken into account. The soil of the two samples induced frequencies of embryonic lethal, which was statistically significantly different from the control. Three soil samples induced statistically significantly higher frequencies of sterile eggs. Six soil samples caused a statistically significant increase in the total frequencies of all analyzed anomalies. These results indicate that there are areas with a high content of mutagenic and phytotoxic pollutants in the Northern region of Orel.

Key words: ecological monitoring, genetic monitoring, mutagenesis, embryonic lethal mutations, Arabidopsis

Введение. Важнейшей проблемой современной прикладной экологии является поиск путей борьбы с загрязнением окружающей среды, уровень которого становится всё более угрожающим и воздействие которого отрицательно влияет на состояние не только локальных экосистем, но и на биосферу в целом. Загрязнение окружающей среды городов оказывает существенное влияние на здоровье населения, особенно детей и молодёжи [1].

Многие химические вещества, составляющие сложных комплекс загрязнителей окружающей среды, обладают мутагенными свойствами, и их накопление в окружающей среде может усиливать риск возникновения мутаций в популяциях растений, животных и человека. Наибольшему загрязнению подвергается окружающая среда населённых пунктов, особенно, мегаполисов и крупных промышленных центров. Обусловлено это загрязнение большим количеством промышленных выбросов и отходов, высокой концентрацией выхлопных газов транспорта, большими объёмами бытовых отходов и коммунальных стоков. Загрязнению подвергается атмосфера и водоёмы. Однако большая часть антропогенных загрязнений аккумулируется в почве. При сопутствующем воздействии других негативных факторов (водной или воздушной эрозии, потере гумуса, уплотнении структуры) почва теряет свои плодородные свойства. В городах эти процессы могут вести к формирования урбанозёмов, менее пригодных для жизнедеятельности растений. В зоне промышленных аэрозольных выбросов в селитебных зонах могут формироваться участки, в которых уровень загрязнения вредными веществами может многократно превышать гигиенические нормы. Почвы районов индивидуальной застройки промышленных городов могут быть загрязнены тяжёлыми металлами, содержание которых превышает ПДК в десятки раз [2, с.148] Совершенствование системы биомониторинга городских почв является одной из главных задач прикладной урбоэкологии поскольку его результаты могут быть использованы в практической деятельности городских природоохранных служб и учреждениями здравоохранения.

Сельскохозяйственные угодья также испытывают сильное химическое загрязнение вредными веществами поступающих вместе с минеральными удоб-

рениями и используемыми пестицидами, а также из-за глобальных выпадений аэрозолей, переносимых из промышленных зон. По этой причине разработка методологии биоиндикации почв сельхозугодий мутагенными веществами также актуальна. Негативные изменения экосистем агросферы, обусловленные как традиционным землепользованием, так и всё усиливающейся урбанизацией территорий ставит перед экологами задачу всестороннего анализа и профилактики негативных антропогенных воздействий на агроценозы.

В ЦЧЗ РФ, где хозяйственная деятельность очень интенсивна, практически не осталось значительных по площади участков черноземов, сохранивших своё естественное плодородие. Чернозёмы занимают лишь 7% общей площади, но на них находится более 40% всей площади пахотных угодий и производится около 80% всей земледельческой продукции. [3, с. 3.]. Поэтому антропогенное нарушение плодородия чернозёмов будет иметь, помимо экологических, очень серьёзные экономические потери. Во избежание таких потерь организация экологического и в его рамках – генетического мониторинга в чернозёмной зоне сельскохозяйственного производства является одной из существенных задач.

Большая часть веществ, загрязняющих экосистемы, из-за отсутствия оборудования, методик и стандартов не может быть определена инструментальными методами. Биота же является наиболее чувствительной компонентой, быстро реагирующей на любые изменения в экосистемах. Поэтому анализ состояния биотической компоненты позволяет получить характеристику суммарной токсичности и мутагенности природных сред независимо от состава загрязняющих веществ. С этой целью для контроля экологической ситуации широко используют методы анализа изменений, происходящих у биоиндикаторов – определённых видов микроорганизмов, растений или животных. Изменение генетических, биохимических, физиологических, или морфологических признаков у биоиндикаторов позволяют диагностировать экологические нарушения в экосистемах на ранних стадиях их антропогенного нарушения.

Для профилактики загрязнения окружающей среды необходима информация о наиболее критических территориях, уровень загрязнения которых может представлять опасность для нормального существования популяций растений, животных и человека. Одним из путей получения такой информации является создание комплексной системы экологического мониторинга, включающего в себя геофизический, геохимический и биотический мониторинг. Составной частью биомониторинга является мониторинг генетический. Один и путей осуществления генетического мониторинга антропогенного загрязнения среды является анализ изменений генетических структур у тестерных видов организмов свободноживущих в природных популяциях. Другой подход связан с анализом образцов различных объектов среды (воздуха, воды, почв) в лабораторных условиях с использованием тестерных видов организмов. Для этих целей используют тест-организмы различных уровней организации.

Целью наших исследования являлось определение мутагенности для растений суммарного загрязнения почв в городе Орле. В настоящем сообщении описаны результаты анализа почвенных образцов из различных мест Северного района г. Орла.

Материалы и методы исследований

Материалом для исследования служили 10 образцов почвы, собранных в различных местах Северного района г. Орла. Координаты, определённые по Google Maps, городские адреса и краткая характеристика мест отбора проб приведены в таблице 1 и на схеме (см. рисунок).

Таблица 1 – Координаты и краткая характеристика мест отбора почвенных проб

№	Координаты	Городской адрес и примечания
Контроль	52.974713 36.022826	Территория дачного массива, на западной окраине г. Орла (на рис. не показано), бровка оврага, целинный участок, почва из слоя от 10 до 20 см
1	53.009743, 36.150956	Микрорайон СПЗ, ул. Московская, зелёная зона перед фасадом дома 155А.
2	53.007104, 36.109097	Ул. Кузнецова, газон перед фасадом дома № 2
3	53.001245, 36.100574	Лесополоса у автодорожного моста над железнодорожными путями на ул. Раздольная
4	53.001589, 36.127648	Прокуровский лесопарк, ул. Д. Блынского, перед домом № 10, рядом со средней шк. № 45
5	53.002421, 36.156260	Ул. Дениса Давыдова (на Yandex-карте –пересечение ул. Осенняя и Приветливая), 20 м. от берега пруда
6	52.996310, 36.160160	Ул. Вяльцевой, 15 м от северного берега пруда
7	52.986672, 36.117138	Московское шоссе, зелёная зона перед фасадом дома № 17
8	52.990370, 36.117504	Ул. Михалицина, газон перед фасадами домов № 13 и 15
9	52.981819, 36.124519	Газон у перекрёстка ул. Шульгина и Переходного переулка, около средней школы № 30 .
10	52.981915, 36.145932	Пустырь у перекрёстка ул. Берёзовой. с ул. Пясецкого

Образцы отбирали из верхнего слоя почвы до глубины 10 см. Контролем служил образец почвы, собранный на западной окраине города, на удалённом от автомагистралей и промышленных предприятий целинном участке, без видимых следов нарушения почвенного профиля. Почва для контроля была собрана не с поверхностного десятисантиметрового слоя, а с глубины 10-20 см. Техника отбора и подготовки почвенных образцов к анализу, методы выращивания тестерных растений арабидопсиса описаны ранее [4].

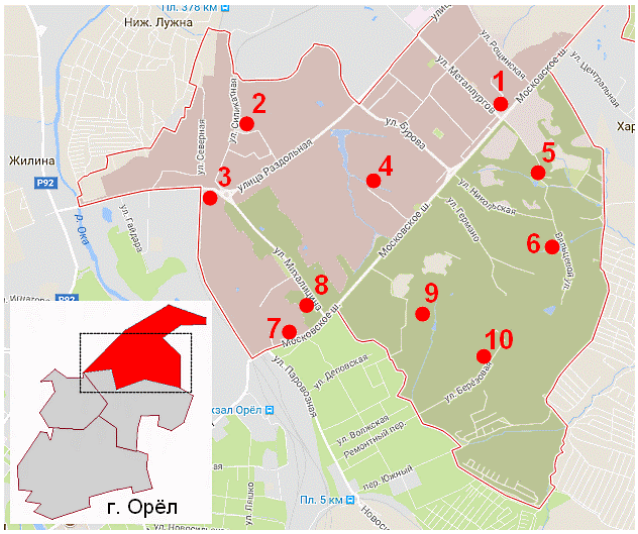


Рис. 1 - Схема Северного района г. Орла с указанием мест отбора почвенных проб

Мутагенность почв определяли по частоте возникновения доминантных летальных (sicca, brevis. vana. diffusa, murca, parva. fusca) и рецессивных хлорофильных (albina. clilorina. xantha) мутаций у эмбрионов M_1 [5]. Установленные частоты аномалий у растений, выращенных на анализируемых образцах почвы, сравнивали с частотами мутаций у растений, выращенных на контрольном образце относительно чистой почвы, характеристика которой дана в предыдущем сообщении [4, с. 3]. Статистический анализ достоверности различий частот аномалий у растений, выращенных на почве различных образцов, определяли после (φ-преобразования частот аномалий для сравнения малых ($p<0.2$) и больших ($p>0.8$) долей [6, с. 166-169]. Все расчёты были выполнены с использованием программы MS Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Почвы г. Орла в настоящее время являются антропогенно трансформированными урбаноземами. Некоторые участки в городе фрагментарно сохранили зональные характеристики исторически сформировавшимися серыми лесными почвами и чернозёмами различных подтипов. Однако в большинстве случаев в результате строительных работ почва имеет нарушенный почвенный профиль с верхним слоем в разной степени загрязнённым строительным мусором. Почва большинства газонов вокруг недавно построенных зданий представлена 10-20-сантиметровым слоем привезённого чернозёма под которым находится мощный слой строительного мусора, образованного при строительстве. Такие участки при отборе проб избегали.

Всесторонняя оценка экологического состояния почв представляет собой достаточно сложную задачу потому, что в отличие от однокомпонентных сред (аква- и гидросферы) педосфера является сложно организованной многокомпонентной системой, представленной тремя фазами – твёрдой, жидкой и газообразной, служащими средой для существования большой массы почвенных организмов. Каждая из этих фаз может иметь свои индивидуальные концентрации вредных веществ и поэтому воздействие этих загрязнителей на разные виды организмов с различной экологией может быть различно.

Существует широкий спектр инструментальных и биоиндикационных методов определения токсичности почв. Спектр методов оценки мутагенных загрязнений почвы менее широк. Большинство методов тестирования мутагенности почв основаны на элюатном биотестировании, т.е. анализе почвенных водных вытяжек. Однако не все мутагенные вещества могут быть элюированы из почвы. Поэтому для корректной оценки мутагенного загрязнения почв рекомендовано выполнять анализ аппликативным способом, т.е. оценивать биологическую активность и твёрдой фазы почвы, используя для этого штаммы микроорганизмов [7, с. 193]. Вместе с тем высшие растения могут формировать иной отклик на присутствие мутагенов в почве благодаря более совершенным механизмам поддержания гомеостаза. По этой причине использование высших растений в генетическом мониторинге оправдано и, вероятно, получит дальнейшее развитие.

Одним из модельных растений для проведения различных генетических исследований является резуховидка Таля (*Arabidopsis thaliana*) – небольшое растение из семейства Крестоцветных (Капустовых). Ряд особенностей (небольшие размеры, короткое время развития, самоопыление и высокая продуктивность растений) сделал этот вид растений очень удобным для проведения генетических исследований. Нами этот модельный вид был использован для изучения мутагенности почв. Был применён метод учёта доминантных эмбриональных леталей и рецессивных хлорофильных мутаций [5], позволяющий определять частоты возникновения мутаций сразу в нескольких локусах.

Результаты анализа стерильных яйцеклеток и мутантных эмбрионов, образовавшихся в стручках арабидопсиса, выращенного на почве анализируемых образцов, показаны в табл. 2 и 3.

Мутационные события в каждом отдельном из анализируемых локусов довольно редки. Поэтому ни в одном из классов эмбриональных леталей и рецессивных летальных хлорофильных мутаций частоты аномалий во всех 10 исследованных выборках не имели статистически достоверных различий с частотами соответствующих классов аномалий контрольной выборки. Однако суммарные частоты в локусах этих двух групп аномалий могут представлять интерес для характеристики влияния химического загрязнения почвы города.

Таблица 2 – Количество стерильных яйцеклеток, нормальных и мутантных эмбрионов в стручках растений *Arabidopsis thaliana*, выращенных на почве из различных мест Северного района города Орла.

№№ проб	Всего исследовано	Количество яйцеклеток и эмбрионов различных типов												Суммарное количество		
		нормальные	стерильные	sicca	brevis	vana	diffusa	murca	parva	fusca	albina	chlorina	xantha	ДЛМ[1]	ЛХМ[2]	всех аномалий
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*
Конт.	4803	3954	612	60	54	24	22	16	17	17	17	4	6	210	27	849
1	4129	3204	614	66	49	39	33	18	29	33	27	8	9	267	44	925
2	4354	3369	712	63	56	31	24	21	19	15	21	5	18	229	44	985
3	4202	3207	642	59	63	42	31	26	37	35	17	19	24	293	60	995
4	3628	2830	515	73	43	29	24	17	26	22	18	16	15	234	49	798
5	4812	3908	631	49	46	42	37	24	21	21	15	6	12	240	33	904
6	4925	3971	627	66	75	27	28	20	23	26	23	18	21	265	62	954
7	3945	3121	543	43	66	38	26	21	20	18	16	19	14	232	49	824
8	3951	3111	568	61	55	27	18	23	22	34	8	14	10	240	32	840
9	3692	2996	447	45	51	22	21	24	18	26	19	12	11	207	42	696
10	4063	3284	520	72	41	38	27	10	23	11	15	9	13	222	37	779
Сумма[3]	41701	33001	5819	597	545	335	269	204	238	241	179	126	147	2429	452	8700

[1] – ДЛМ – доминантные летальные мутации.
[2] – ЛХМ – рецессивные хлорофильные летальные мутации
[3] – Суммы указаны только для 10 анализируемых образцов, без контрольных величин

Таблица 3 – Частоты (в %) аномальных яйцеклеток и эмбрионов у *Arabidopsis thaliana*, выращенного на почве из различных мест Северного района города Орла

№№ проб	Всего исследовано	Частоты яйцеклеток и эмбрионов различных типов (±стандартн. ошибка), %												Суммарные частоты (%)		
		нормальные	стерильные	sicca	brevis	vana	diffusa	murca	parva	fusca	albina	chlorina	xantha	ДЛМ	ЛХМ	всех аномалий
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*
Конт.	4803	82,32 ±0,55	12,74 ±0,48	1,25 ±0,16	1,12 ±0,15	0,50 ±0,10	0,46 ±0,10	0,33 ±0,08	0,35 ±0,09	0,35 ±0,09	0,35 ±0,09	0,08 ±0,04	0,12 ±0,05	4,37 ±0,30	0,56 ±0,11	17,68 ±0,31
1	4129	77,60 ±0,65	**14,87*** ±0,55	1,60 ±0,20	1,19 ±0,17	0,94 ±0,15	0,80 ±0,14	0,44 ±0,10	0,70 ±0,13	0,80 ±0,14	0,65 ±0,13	0,19 ±0,07	0,22 ±0,07	**6,47*** ±0,38	1,07 ±0,16	**22,40**** ±0,41
2	4354	77,38 ±0,63	**16,35**** ±0,56	1,45 ±0,18	1,29 ±0,17	0,71 ±0,13	0,55 ±0,11	0,48 ±0,10	0,44 ±0,10	0,34 ±0,09	0,48 ±0,10	0,11 ±0,05	0,41 ±0,10	5,26 ±0,34	1,01 ±0,15	**22,62**** ±0,37
3	4202	76,32 ±0,68	**15,28*** ±0,59	1,40 ±0,18	1,50 ±0,19	1,00 ±0,15	0,74 ±0,13	0,62 ±0,12	0,88 ±0,14	0,83 ±0,14	0,40 ±0,10	0,45 ±0,10	0,57 ±0,12	**6,97*** ±0,39	1,43 ±0,18	**23,68**** ±0,43
4	3628	78,00 ±0,69	14,20 ±0,58	2,01 ±0,23	1,19 ±0,18	0,80 ±0,15	0,66 ±0,13	0,47 ±0,11	0,72 ±0,14	0,61 ±0,13	0,50 ±0,12	0,44 ±0,11	0,41 ±0,11	6,45 ±0,41	1,35 ±0,19	**22,00**** ±0,45
5	4812	81,21 ±0,56	13,11 ±0,49	1,02 ±0,14	0,96 ±0,14	0,87 ±0,13	0,77 ±0,13	0,50 ±0,10	0,44 ±0,10	0,44 ±0,10	0,31 ±0,08	0,12 ±0,05	0,25 ±0,07	4,99 ±0,31	0,69 0,12	18,79 ±0,33
6	4925	80,63 ±0,56	12,73 ±0,47	1,34 ±0,16	1,52 ±0,17	0,55 ±0,11	0,57 ±0,11	0,41 ±0,09	0,47 ±0,10	0,53 ±0,10	0,47 ±0,10	0,37 ±0,09	0,43 ±0,09	5,38 ±0,32	1,26 ±0,16	19,37 ±0,35
7	3945	79,11 ±0,65	13,76 ±0,55	1,09 ±0,17	1,67 ±0,20	0,96 ±0,16	0,66 ±0,13	0,53 ±0,12	0,51 ±0,11	0,46 ±0,11	0,41 ±0,10	0,48 ±0,11	0,35 ±0,09	5,88 ±0,37	1,24 ±0,08	**20,89**** ±0,41
8	3951	78,00 ±0,65	14,38 ±0,56	1,54 ±0,20	1,39 ±0,19	0,68 ±0,13	0,46 ±0,11	0,58 ±0,12	0,56 ±0,12	0,86 ±0,15	0,20 ±0,07	0,35 ±0,09	0,25 ±0,08	6,07 ±0,38	0,81 ±0,14	**21,26**** ±0,40
9	3692	81,15 ±0,67	12,11 ±0,58	1,22 ±0,18	1,38 ±0,19	0,60 ±0,13	0,57 ±0,12	0,65 ±0,13	0,49 ±0,11	0,70 ±0,14	0,51 ±0,12	0,33 ±0,09	0,30 ±0,09	5,61 ±0,38	1,14 ±0,17	18,85 ±0,41
10	4063	80,83 ±0,63	12,80 ±0,54	1,77 ±0,21	1,01 ±0,16	0,94 ±0,05	0,66 ±0,13	0,25 ±0,08	0,57 ±0,12	0,27 ±0,08	0,37 ±0,10	0,22 ±0,07	0,32 ±0,09	5,46 ±0,36	0,91 ±0,15	19,17 ±0,38
Средняя частота по району	41701	79,14 ±0,20	13,95 ±0,17	1,43 ±0,06	1,31 ±0,06	0,80 ±0,04	0,65 ±0,04	0,49 ±0,03	0,57 ±0,04	0,58 ±0,04	0,43 ±0,03	0,30 ±0,03	0,35 ±0,03	5,82 ±0,11	1,08 ±0,05	**20,86**** ±0,20

Примечание: ДЛМ – доминантные летальные мутации. ЛХМ – рецессивные хлорофильные летальные мутации
* – Отличия от контрольных частот статистически достоверны при P≤05
** – Отличия от контрольных частот статистически достоверны при P≤01

Суммарные частоты эмбриональных леталей (sicca, brevis, vana, diffusa, murca, parva, fusca) в исследованных выборках варьировали от 4,99% до 6,97% (графа 15 в табл. 2 и 3) при контрольной частоте 4,37%. Статистически достоверные отличия от частоты эмбриональных леталей в контрольной выборке были обнаружены у растений, выращенных на почве образцов № 1 и № 3. Обе почвенные пробы были собраны на газонах, расположенных в непосредственной близости от автомобильных дорог с интенсивным движением транспорта, чем, вероятно, и объясняется высокий уровень мутагенности почвы. В остальных 8 выборах суммарные частоты эмбриональных леталей не имели статистически достоверных отличий от контрольной величины. Средняя величина суммарных частот всех семи классов эмбриональных леталей по всем десяти выборкам Северного района г. Орла была равна 5,82% и не имела

статистически достоверных различий с контрольной величиной.

Суммарные частоты рецессивных летальных хлорофильных мутаций трёх анализируемых классов (albino, chlorina, xantha) варьировали от 0,69% до 1,43% при 0,56% мутаций в контрольной выборке (графа 16 в табл. 2 и 3). Во всех проанализированных 10 выборках суммарные частоты не имели статистически достоверных отличий от контрольных величин. Средняя величина суммарных частот рецессивных ЛХМ по всем десяти выборкам городского района была равна 1,08% и также не имела статистически достоверных различий от контрольной величины.

Частоты стерильных яйцеклеток в выборках варьировали от 12,11 до 16,35% при 12,74% этих аномалий в контроле (графа 4 в табл. 2 и 3). В выборках № 1, 2 и 3 частоты стерильных семяпочек (14,87, 16,35 и 15,28%, соответственно) были статистически достоверно выше, чем в контрольной выборке. Почва семи остальных образцов почвы не вызывала статистически достоверного изменения доли стерильных яйцеклеток в стручках арабидопсиса. Средняя для всех десяти выборок частота стерильных семяпочек в стручках арабидопсиса, составила 13,95% и статистически достоверно не отличалась от контрольной величины.

Таким образом, из 10 проанализированных проб почвы семь проб (№№ 4-10) не вызывали у тестерных растений статистически достоверного увеличения, по сравнению с контролем, частот стерильных семяпочек, доминантных эмбриолеталей и рецессивных летальных хлорофильных мутаций. На основании этих данных можно предположить, что в почве этих образцов токсичные и мутагенные вещества либо отсутствовали, либо их содержание было меньше критических концентраций, способных индуцировать статистически достоверное увеличение частоты аномалий.

Почва двух образцов (№№ 1 и 3) индуцировала в растениях статистически достоверное увеличение частот стерильных семяпочек и частот эмбриональных леталей. Следовательно, содержание токсичных и мутагенных веществ в почве тех участков, где были собраны эти пробы, были столь высоким, что было способно увеличивать долю стерильных семяпочек и мутантных эмбрионов у растений.

Наконец, один почвенный образец (№ 2) не увеличивал частоты доминантных леталей в развивающихся эмбрионах, но индуцировал статистически достоверно более высокую, чем в контроле, частоту стерильных семяпочек. Этот факт позволяет сделать вывод, что почва участка, где был собран этот образец, загрязнена веществами, оказывающими токсичное действие на растения, но не являющимися мутагенными.

Тот факт, что среди проанализированных 10 почвенных образцов семь не вызвали статистически достоверного увеличения частот стерильных семяпочек и эмбриональных леталей можно рассматривать как доказательство относительно благополучного состояния урбаноземов в Северном районе г. Орла. Однако даже незначительный рост частот каждой из аномалий вносит определённый вклад в снижение жизнеспособности популяции в целом. Поэтому интегральную величину ущерба, наносимого растениям химическим загрязнением урбанозёмов можно оценить по суммарным частотам всех аномалий (ДЛМ + ЛХМ + стерильные), обнаруживаемых при анализе выборок. В контроле суммарная частота всех аномалий составила 17,68% (графа 17 в табл. 2 и 3). В проанализированных выборках она была выше и варьировала от 18,79 до 23,68%. Шесть почвенных образцов (1- 4 и 7-8) вызывали статистически достоверное увеличение суммарных частот всех аномалий у растений. Средняя частота всех аномалий для 10 выборок составила 20,86% и статистически достоверно отличалась от контрольной величины.

Обнаруженный факт следует рассматривать как доказательство существования в Северном районе г. Орла таких уровней загрязнения почв, которые могут представлять опасность для жизнеспособности популяций растений. Если такие загрязнённые участки будут находиться в районах частной застройки, домохозяйства которых окружены земельными участками, используемыми для выращивания пищевых растений, то подобная ситуация уже может быть опасной для здоровья людей. Городские почвы могут накапливать большое количество токсичных и мутагенных веществ. Например, почвы техногенных зон в г. Ставрополе содержат до 2 ПДК цинка, до 3 ПДК меди, до 4 ПДК кадмия и хрома, до 7 ПДК свинца, [8]. Пищевые растения, выращиваемые на приусадебных участках в частном секторе, могут такие вещества накапливать. Так, показано, что клубника способна накапливать в плодах тяжёлые металлы, причём у некоторых её сортов процесс накопления происходит очень интенсивно [9]. Загрязнению городских почв тяжёлыми металлами уделяется много внимания, опубликовано большое количество работ по этой теме. Ряд авторов приходят к заключению о том, что ТМ являются одним из главных загрязнителей почвы в городах [10, с.27]. Однако, вероятнее всего, в почве находится много других загрязнителей, особенно органической природы, многие из которых могут быть мутагенными и, кроме того, проявлять синергидные эффекты [11]. Ряд опубликованных работ подтверждают это. Например, с использованием анафазного метода учёта аберраций хромосом в корешках лука-батуна (*Allium fistulosum* L.) была установлена мутагенность почвы в городе Якутске. Частота этих аномалий коррелировала с интенсивностью транспортной нагрузки в районах сбора почвенных проб [12].

Ограниченные возможности адаптации человека к резко возрастающим концентрациям мутагенных веществ в окружающей среде, а также невысокий потенциал размножения человека по сравнению с другими организмами, обусловливают, по мнению медиков, острейшую необходимость исследований мутационной изменчивости в популяциях людей с целью оптимизации взаимоотношений человека и окружающей его внешней среды. Для этих целей авторы предлагают вести анализ по неблагоприятным исходам беременности (спонтанные выкидыши, мертворождённые и умершие в первую неделю, врождённые пороки развития, «сторожевые» фенотипи-

пы, ранняя детская смертность) [13]. Однако цель мониторинга состоит не в констатации негативных изменений среды по числу погибших эмбрионов и мёртвых новорожденных детей, а обнаружение угрожающих здоровью человека ситуаций до того, как они отразятся на исходах беременностей и здоровье людей. Поэтому в целях профилактики антропогенных загрязнений основной упор должен быть сделан на то направление генетического мониторинга, которое даст возможность избежать увеличения частот спонтанных абортов и мертворождений у человека. К этим направлениям относится генетический мониторинг животных, растений и микроорганизмов.

Заключение

Методологические подходы к созданию системы экологического мониторинга состояния окружающей среды в городах рассмотрены в большом количестве публикаций. Каждая из них предлагает свой круг индикаторных видов, методов и показателей для исследований. Однако, несмотря на большое количество опубликованных работ в этой области исследований, единая система биоиндикации и оценки токсического и мутагенного загрязнения городских почв остаётся не разработанной [14]. В этом направлении необходимы дальнейшие исследования. Существует необходимость стандартизации видового состава и анализируемых параметров индикаторных организмов, поскольку информация полученная из множества контролируемых географических точек при анализе стандартных видов, стандартизированными методами и по стандартным параметрам для анализа экологической ситуации в стране будет представлять много большую ценность по сравнению с данными, полученными по нескольким десяткам разных видов растений и животных, а также множеству параметров, трудно поддающихся сравнению.

Зарубежные экологи считают, что тестерными видами в биомониторинге должны быть представители трёх основных звеньев трофической цепи экосистем: продуцентов, консументов, редуцентов. Это предложение поддерживают отечественные специалисты и считают необходимым внедрение этого подхода в практику биотестирования на территории России. Минимальный биоиндикационный набор должен включать, как минимум три необходимых биотеста [7, с. 196]. Данные интегральной мутагенности почв могут быть использованы для совершенствования системы их экологической характеристики, которая, в свою очередь, может быть применена для усовершенствования подхода к экономической оценке почв.

Полученные нами результаты свидетельствуют, что некоторые участки почвы в Северном районе города Орла, как и в ранее исследованном Советском районе, имеют существенное загрязнение токсичными и мутагенными веществами. Дальнейший систематический мониторинг почв города мог бы способствовать уточнению экологической обстановки в городе, установлению возможно существующих зон повышенного загрязнения и следовательно более высокого риска для здоровья населения. Результаты детального картирования токсичного и мутагенного загрязнения почв могли бы представлять интерес не только для экологов и медиков, но и для коммерческих организаций, например, инвесторов в строительство жилья, фирм, торгующих вторичным жильём, а также, страховых компаний.

Выводы

1. Из 10 почвенных проб, собранных в различных местах Северного района г. Орла и проанализированных с использованием эмбрион-теста у Arabidopsis thaliana 7 проб не вызывали в тестерных растениях статистически достоверного изменения, по сравнению с контролем, частот стерильных семяпочек, доминантных эмбриолеталей и рецессивных летальных хлорофильных мутаций. На основании этих данных можно предположить, что в почве этих образцов токсичные и мутагенные вещества либо отсутствовали, либо их содержание было меньше критических концентраций, способных индуцировать статистически достоверное увеличение частоты аномалий.

2. Почва двух образцов индуцировала в растениях статистически достоверное увеличение частот стерильных семяпочек и частот эмбриональных леталей. Следовательно, содержание токсичных и мутагенных веществ в почве тех участков, где были собраны эти пробы, было столь высоким, что способствовало увеличению доли стерильных семяпочек и мутантных эмбрионов у растений.

3. Один почвенный образец не увеличивал частоты доминантных леталей в развивающихся эмбрионах, но индуцировал статистически достоверно более высокую, чем в контроле, частоту стерильных семяпочек. Этот факт позволяет сделать вывод, что почва участка, где был собран этот образец, загрязнена веществами, оказывающими токсичное действие на растения, но не являющимися мутагенными.

4. Необходимы дальнейшие систематические исследования загрязнения почв г. Орла токсичными и мутагенными веществами, т.к. эта информация может быть практически использована природоохранными службами, учреждениями здравоохранения, а также коммерческими организациями, занимающимися вопросами строительства, продажи и страхования жилья.

5. Необходимо дальнейшее совершенствование и унификация системы биоиндикации антропогенных воздействий на почвы

Литература

1. **Никифорова, В.А. и др.** 2013. Проблемы здоровья современной студенческой молодёжи в условиях экологического неблагополучия / В.А. Никифорова, Т.Г. Перцева, Е.А. Прохоренко, А.А.Никифорова // «Системы. Методы. Технологии». –2013 –№ 4 (20) –С. 192-196.
2. **Васильев, А.А. 2011.** Тяжёлые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загряз-

нения [Текст]: монография. / А.А. Васильев, А.Н. Чащин, М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 197с.

3. **Романенко Г.А. и др.** 2008. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / Романенко Г.А., Иванов А.Л., Ушачев И.Г., Лачуга Ю.Ф. и др. Под ред. А.В. Гордеева и Г.А. Романенко. – М.: Росинформагротех, 2008. – 67 с.
4. **Крюков В.И.** Анализ загрязнения мутагенами почв Советского района города Орла с использованием *Arabidopsis thaliana* // Биология в сельском хозяйстве. 2018 № 4 (21) –С. 2-10. http://www.orelsau.ru/upload/iblock/506/5068818d2a7323ac7d6a735703d05acb.pdf
5. **Усманов П.Д., Мюллер А.** Применение эмбриотеста для анализа эмбриональных деталей, индуцированных облучением пыльцевых зёрен Arabidopsis thaliana (L.) Heynh. // Генетика. 1970. - Т. 6, №7. – С. 50-60. https://www.twirpx. com/file/2114332/
6. **Урбах В.Ю.** Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. – М.: Медицина, 1975. - 295 с.
7. **Терехова, В.А.** 2011. Биотестирование почв: подходы и проблемы. // Почвоведение. 2011, № 2, –С. 190-198.
8. **Багдасарян, А.С.** 2005. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов / Багдасарян, Александр Сергеевич. Дисс. ...канд. биол. наук. Специальность: 03.00.16 – Экология. – Ставрополь. 2005. –159 с.
9. **Ветрова, О.А.** 2015. Особенности поступления тяжёлых металлов в растения земляники садовой в условиях техногенного загрязнения : дисс...канд. с.-х. наук : специальность: 06.01.08 – плодоводство, виноградарство / Ветрова Оксана Альфредовна –Мичуринск, 2015. –128 с.
10. **Попова Л.Ф.** 2015 Комплексная эколого-химическая оценка и нормирование качества почвенно-растительного покрова городских экосистем (на примере Архангельска) / Попова Людмила Федоровна. Дисс… докт. биол. наук. Специальность 03.02.08 – Экология – Архангельск. 2015.–396 с.
11. **Белкина С.В.** Прогнозирование синергизма мутагенных, канцерогенных и летальных эффектов при взаимодействии различных факторов окружающей среды / Автореф. дисс канд биол наук. Специальность 03.00.01 – радиобиология и 03.00.16 – экология. – Обнинск. 2007. –20 с.
12. **Пудова, Т.М., Шадрина Е.Г.** 2017. Биотестирование загрязнения почвенного покрова урбанизированных территорий по показателям всхожести и мутагенной активности лука-батуна *Allium fistulosum* L. (на примере г. Якутска) // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 2.; URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=26346 (дата обращения: 15.05.2018). https://science-education.ru/ article/view?id=26346
13. **Чимаров В.М. и др.** 2002. Эколого-генетический мониторинг популяций людей города и села / В.М Чимаров, Д.Н. Нигматунлина, Н.Я. Прокопьев, Л.С. Тупицина // Валеология. 2002. № 3. –С. 109-117.
14. **Меркулова, М.Ю.** 2016. Оценка эколого-биологического состояния почв функциональных зон г. Саратова с учётом особенностей овражно-балочной сети / Меркулова Мария Юрьевна Дисс. ...канд.биол. наук Специальность 03.02.08 – экология – Ростов-на-Дону. –2016. –148с

Поступила в редакцию: 10.05.2019 г.

Крюков Владимир Иванович, доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник ИНИИ ЦКП ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», email: ecogenet@mail.ru, тел. 8 (4862) 47-51-71, e-mail: iniic@mail.ru

УДК 579.22+579.81:633.11

Дидович С.В.[1], кандидат сельскохозяйственных наук
E-mail: sv-alex.68@mail.ru
Ивашов А.В.[2], доктор биологических наук, профессор
E-mail: aivashov@mail.ru
Коваленко М.С. [2], студент 2-го курса магистратуры
E-mail: mariya_kovalenko_1992@mail.ru
Раздолькина О.В. [2], студент 4-го курса
E-mail: razdolkinaolga@gmail.com
ФГБУН «НИИСХ Крыма» [1]
Таврическая академия ФГФОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»[2],
Россия, г. Симферополь
Didovich S.V., Candidate of Agricultural Sciences
FSBSI «Research Institute of Agriculture of Crimea»,
Ivashov A.V., Doctor of Biological Sciences, Professor
Kovalenko M.S., second-year master student
Razdolkina O.V., fourth-year student
Taurida Academy of V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Russia, Simferopol

ПОТЕНЦИАЛ РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ «ЦИАНОБАКТЕРИИ – *TRITICUM AESTIVUM L.*»

(The potential of plant-microbial interaction «Cyanobacteria – *Triticum aestivum* L.»)

Установлены функциональные связи в системе «физиолого-биохимический потенциал штаммов цианобактерий – продуктивность *Triticum aestivum* L.», интенсивность которых зависела от цианобактериального штамма и его препаративной формы. Выявлены перспективные для биотехнологии микробных препаратов стимулирующего действия штаммы цианобактерий. Показано, что бактеризация гомогенизированной препаративной формой на основе штамма *Nostoc sphaeroides* 4 достоверно повышала всхожесть семян на 11,0%, бактеризация штаммом *Nostoc linckia* 144 увеличивала всхожесть семян *Triticum aestivum* L. на 22,2% по сравнению с контролем.

Ключевые слова: цианобактерии, растительно-микробное взаимодействие, *Triticum aestivum* L., потенциал.

Functional relationships in the system «physiological and biochemical potential of cyanobacteria strains – *Triticum aestivum* L. productivity» were established. Their intensity depended on the cyanobacterial strain and its preparative form. Promising strains of cyanobacteria were identified for biotechnology of microbial stimulant preparations. It was shown that bacterization of homogenate on base of the *Nostoc sphaeroides* 4 strain by increased seed germination by 11,0%, bacterization by *Nostoc linckia* 144 strain increased seed germination *Triticum aestivum* L. by 22,2% in comparison with the control.

Keywords: cyanobacteria, plant-microbial interaction, *Triticum aestivum* L., potential.

Цианобактерии представляют собой сложно организованную группу фототрофных бактерий, обладающих уникальной морфологией и физиологией, широкой экологической валентностью и пластичностью [1]. В настоящее время их активно используют для решения различных биотехнологических задач. Благодаря способности преобразовывать питательные вещества (минеральные удобрения) в легкоусвояемую для растений форму на основе почвенных цианобактерий разрабатываются биоудобрения для питания растений. Показано, что азотфиксирующие цианобактерии обладают фитостимулирующей активностью по отношению к рису [9, P. 379-388; 10, P. 37-44], пшенице [5, P. 145-166], томату [3, P. 191] и бобовым культурам [6, C. 58-66]. Многолетними экспериментами было установлено, что применение цианобактерий способствовало максимальной реализации потенциала растительно-микробного взаимодействия в агроценозах, повышая биологическую активность в почве, урожайность зернобобовых культур, улучшая качество зерна [2, C.102-106]. Кроме того, цианобактерии могут быть использованы для обработки почвы и семян против фитопатогенных грибов, вызывающих корневые заболевания растений [8, P. 379-388].

Цель исследования была направлена на изучение потенциала взаимодействия «цианобактерии – *Triticum aestivum* L.», поиск функциональных связей в системе «физиолого-биохимический потенциал штаммов цианобактерий и продуктивность бактеризованных растений *Triticum aestivum* L.».

Материалы и методы исследований

В исследовании использовали штаммы почвенных цианобактерий из Крымской коллекции микроорганизмов НИИСХ Крыма (http://www.ckp-rf.ru/usu/507484/) и Альгологической коллекции ИФХиБПП РАН (http://acssi.org): *Nostoc sphaeroides* 4, *Nostoc linckia* 144 и *Nostoc calcicola* 82. Культивирование

цианобактериальных штаммов для получения из них накопительных культур проводили в течение месяца на среде Громова в климатокамере при температурах +23-25°С с плотностью фотосинтетического фотонного потока PPFD (ФАР) – 115 мкмоль/м^2/сек и энергетической освещённостью (ФАР) – 24,5 Вт/м^2 с четырьмя зонами спектра: синим (400-500 нм), зелёным (500-600 нм), красным (600-700 нм), инфракрасным (700-780 нм), фотопериод составлял 12 ч. Перед бактеризацией растений определяли физиолого-биохимические параметры штаммов: биомассу клеток по абсолютно сухой массе (а.с.м.) мг/мл среды гравиметрическим методом на аналитических весах PA Pioneer; pH измеряли на pH-метре Mettler Toledo Seven 2 Go; ферментативную активность оксидоредуктаз (каталаз, пероксидаз, полифенолоксидаз) и содержание антиоксидантов (аскорбиновой кислоты и глутатиона) в биомассе штаммов выявляли согласно общепринятым биохимическим методам исследования растений и почв [4, 320 с.; 7, 464 с.].

Растения *Triticum aestivum* L. выращивали в сосудах с перфорированным дном, объемом 200 мл на черноземе южном в условиях климатокамеры в течение трех недель, фотопериод составлял 12 ч. Предпосевную бактеризацию семян проводили суспензией цианобактерий или их препаративной гомогенизированной формой. Инокуляционная нагрузка составляла 0,1x10^{-3} абсолютно сухой массы клеток мг/мл/семя. Контролем служила дистиллированная вода. Гомогенизированную цианобактериальную препаративную форму получали путем перемешивания дисперсных систем с жидкой средой быстро вращающимся ротором гомогенизатора. Контрольный и опытные варианты проводили в четырехкратной повторности. Статистическую обработку данных, в том числе вычисление значений коэффициентов корреляции Пирсона, проводили с использованием компьютерной программы Statistica–10.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ полученных данных показал высокую функциональную зависимость всхожести семян и биомассы растений с физиолого-биохимическими параметрами цианобактериальных штаммов и их гомогенизированных препаративных форм.

При бактеризации растений штаммами цианобактерий установлены сильные положительные связи между всхожестью семян и биомассой клеток штаммов (r=0,91, p<0,05), содержанием в них глутатиона (r=0,83, p<0,05). В то же время, накопление биомассы растений достоверно отрицательно коррелировало с содержанием аскорбиновой кислоты и ферментативной активностью пероксидаз в культуральной среде (r=–0,95 и –0,89, p<0,05).

При бактеризации растений гомогенатами на основе штаммов цианобактерий выявлены статистически значимые (p<0,05) значения коэффициентов корреляции между всхожестью семян и содержанием в них аскорбиновой кислоты (r=0,98, p<0,05), также как и с биомассой клеток штаммов (r=0,99, p<0,05), pH культуральной среды (r=0,99, p<0,05). Установлена достоверная положительная связь между накоплением биомассы растений и содержанием в них глутатиона (r=0,98, p<0,05), в то время как накопление биомассы обратно коррелировало с ферментативной активностью пероксидаз цианобактериальных культур (r=–0,97, p<0,05).

Таким образом, установленные достоверные связи между целым рядом показателей исследуемого растения и показателями культуральных сред с цианобактериями позволяют утверждать, что использованные штаммы имеют мощный физиолого-биохимический потенциал, который весьма перспективен в плане повышения урожайности *Triticum aestivum* L.

Результаты эксперимента указывают на перспективность использования цианобактерий для разработки микробных препаратов стимулирующего действия. Бактеризация растений штаммом *Nostoc linckia* 144 и гомогенатом штамма *Nostoc sphaeroides* 4 достоверно повысила всхожесть семян пшеницы соответственно на 22,2 и 11,0% (p<0,05), однако высота и фитомасса растений оставалась на уровне контроля (в пределах ошибки опыта) (таблица). Необходимо отметить, что существенного влияния на фитомассу и высоту трехнедельных бактеризованных растений *Triticum aestivum* L. не выявлено.

Таблица – Показатели эффективности бактеризации растений *Triticum aestivum* L.штаммами цианобактерий и их гомогенатами

Вариант опыта	Всхожесть, % X ± SE	Высота растений, см X ± SE	Биомасса растений, г X ± SE
Контроль (вода)	60,00±0,10	23,90±2,98	0,44±0,03
Nostoc sphaeroides 4	60,00±0,10	23,90±5,27	0,43±0,06
Nostoc calcicola 82	40,00±0,05	24,10±2,26	0,46±0,05
Nostoc linckia 144	73,30±0,10	24,60±4,45	0,42±0,04
Nostoc sphaeroides 4 (g)	66,60±0,10	23,48±1,77	0,41±0,04
Nostoc calcicola 82 (g)	60,00±0,10	21,31±3,65	0,41±0,04
Nostoc linckia 144 (g)	60,00±0,10	22,80±2,98	0,48±0,03

Примечание: (g) – гомогенизированная препаративная форма.

Установлено, что обработка штаммом *Nostoc calcicola* 82 существенно снизила всхожесть семян – на 50% ($p < 0,05$). Это указывает на перспективность данного штамма для биотехнологии препаратов ингибирующего / гербицидного действия. Необходимо продолжение исследования в направлении изучения влияния бактеризации штаммом *Nostoc calcicola* 82 на ингибирование сорных растений.

Выводы

В результате проведенного исследования установлены достоверные корреляционные связи между рядом физиолого-биохимических параметров (биомассы клеток и pH культуральной среды; пероксидазной активности; содержания антиоксидантов: глутатиона и аскорбиновой кислоты) трех штаммов цианобактерий и всхожестью семян, а также продуктивностью бактеризованных ими растений *Triticum aestivum* L.

Показано, что бактеризация штаммом *Nostoc linckia* 144 и гомогенатом штамма *Nostoc sphaeroides* 4 достоверно повышала всхожесть семян на 22,2 и 11,0%.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-016-00184 «А» и Госзадания №0834-2015-0001.

Литература

1. ***Дидович С.В., Москаленко С.В., Темралеева А.Д., Хапчаева С.А*** **Биотехнологический потенциал почвенных цианобактерий (обзор) // Вопросы современной альгологии, 2017. № 2 (14)**. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=32274686 (дата обращения: 06 марта 2019).
2. ***Дидович С.В.*** Аналитическое моделирование продуктивности агроценозов бобовых культур // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.В. Докучаева. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. С.102-106.
3. ***Al-Khiat S.H***. Effect of cyanobacteria as a soil conditioner and biofertilizer on growth and Some biochemical characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings // Tesis de M. Sc., Dept. Botany and Microbiology, King Saud Univ., Arabia Saudita. 2006. P. 191.
4. ***Грицаєнко З. М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П.*** Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин и грунтів. К.: Нічлава, 2003. 320 с.
5. ***Prasanna R., Sood A., Ratha S.K., Singh P.K.*** Cyanobacteria as a “green” option for sustainable agriculture // Naveen K. Sharma, Ashwani K. Rai and Lucas J. Sta (eds.). Cyanobacteria: an economic perspective. l., 2014. Ch. 9. P. 145-166.
6. ***Дідович С.В., Мальцева І.А.*** Ефективність застосування альгоризобіального консорціуму при вирощуванні бобових рослин // Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета им. Боглана Хмельницкого, 2012. Т. 2. № 2. С. 58-66.
7. ***Експериментальна*** ґрунтова мікробіологія / під ред. В.В. Волкогона. К.: Аграрна наука, 2010. 464 с.
8. ***El-Mougy N. S., Abdel-Kader M.M.*** Effect of Commercial Cyanobacteria Products on the Growth and Antagonistic Ability of Some Bioagents under Laboratory Conditions // Journal of Pathogens, 2013. V. 2013. P. 1-11.
9. ***Kaushik B.D.*** Developments in Cyanobacterial Biofertilizer // Proc. Indian. Natn. Sci. Acad., 2014. V. 80, no 2. P. 379-388.
10. **Singh H., Khattar J.S., Ahluwalia A.S.** Cyanobacteria and agricultural crops // Vegetos-An International Journal of Plant Research, 2014. V. 27. iss. 1. P. 37-44.

Поступила в редакцию: 14.03.2019 г.

Дидович Светлана Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заместитель директора по научно-инновационной работе ФГБУН «НИИСХ Крыма», Россия, г. Симферополь, ул. Киевская 150, e-mail: sv-alex.68@mail.ru

Ивашов Анатолий Васильевич, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и зоологии Таврической академии ФГФОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Россия, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4, e-mail: aivashov@mail.ru

Коваленко Мария Сергеевна, студент 2-го курса магистратуры Таврической академии ФГФОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Россия, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4, e-mail: mariya_kovalenko_1992@mail.ru

Раздолькина Ольга Владимировна, студент 4-го курса Таврической академии ФГФОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Россия, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4, e-mail: razdolkinaolga@gmail.com

УДК/UDC 637.54`65.047:664.91/.94

Коновалов К.В., аспирант,
e-mail manager.kop.ogay@mail.ru,
Мамаев А.В., доктор биологических наук, профессор,
e-mail shatone@mail.ru,
Родина Н.Д., кандидат биологических наук, доцент,
Сергеева Е.Ю., кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО "Орловский государственный аграрный университет им. Н.В.Парахина", г.Орел, Россия.

Konovalov K.V., Post-graduate student
Mamaev A.V., Doctor of Biological Sciences, Professor
Rodina N.D., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
Sergeeva E.Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin", Orel, Russia

ОЦЕНКА БЕЛКОВО-ВИТАМИННОЙ ЦЕННОСТИ МЯСА ПТИЦЫ РАЗНЫХ ВИДОВ И ЧАСТЕЙ ТУШЕК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОНСЕРВОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТЬЮ

(Evaluation of the protein-vitamin value of poultry meat of different types and parts of carcasses in the production of canned food with adjustable biological value)

В современном мире здоровое питание населения – это не только задача государственной важности, но и приоритетное направление в жизни каждого человека. Продвижение в данном направлении – это решение двух основополагающих задач: первое – качественные и безопасные составляющие пищи, второе – экономическая основа. Особое место в рассмотрении вопросов по данным направлениям занимает мясо птицы, с изучением качественных показателей сырья и продуктов из него.

Ключевые слова: мясо птицы, пищевая ценность, белки, незаменимые аминокислоты, мясные консервы.

In the modern world, healthy nutrition of the human's population is not only a task of national importance, but also a priority in the life of every person. Advancement in this direction is the solution of two fundamental tasks: the first is qualitative and safe components of food and the second is economic basis. A special place in the consideration of issues in these areas takes poultry meat with the study of the quality indicators of raw materials and products from it.

Key words: poultry meat, nutritional value, proteins, essential amino acids, canned meat.

Химический состав, пищевая ценность, морфология и технологические свойства сырья – это база для мясоперерабатывающей промышленности в ее развитии.

Мясо птицы содержит все необходимые вещества для полноценного питания человека. По мнению В. М. Позняковского, понятие «пищевая ценность» отражает всю полноту полезных свойств продукта, в том числе биологическую и энергетическую ценность и др. [1, стр. 30-33]

По химическому составу мясо птицы – вода до 75%, белки – до 22%, жиры – до 5%, минеральные вещества – до 1,9%, безазотистые экстрактивные вещества – до 1,2%.

Белки – основные составляющие мышечной ткани. Они делятся на группы. Белки группы саркоплазмы – 40% всех белков мышечной ткани, это миоген (myogenum), миоглобин, миоальбумин. Миофибриллярные белки, наиболее значимы не только по биологическим особенностям, но и по содержанию в мышечных тканях на них приходится 60% от общей суммы белков. Группа ядерных белков образована ядерными белками, ядерными ферментами, составляющими небольшой процент от суммы других белков мышечной ткани. [1, стр. 30-33]

В мясе птицы содержатся все незаменимые аминокислоты в оптимальном соотношении: триптофан (наиболее дефицитная аминокислота в рационе человека), треонин, валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин и др. Кроме того, в нем содержится комплекс заменимых аминокислот: аланин, гистидин, аспарагиновая кислота и ряд других аминокислот [2, стр. 71-73]

Целью данной работы является научное обоснование и разработка технологии комплексного использования мяса птицы в различном сочетании для производства мясных консервов с оптимальным соотношением белков. Цель определила задачи.

Объектами исследования служили: мясо курицы сырое (грудка, бедро, голень), мясо цыпленка бройлера сырое (грудка, бедро, голень), мясо индейки сырое (грудка, бедро, голень). Экспериментальная часть работы была выполнена на базе производственной лаборатории АО «Орелпродукт» и инновационного центра и лаборатории кафедры «Продукты питания животного происхождения» Орловского ГАУ.

Органолептическое исследование мяса птицы проводилось по ГОСТ 51944-2002 «Мясо птицы. Методы определения органолептических показателей, температуры и массы». Органолептические исследования консервов из мяса птицы проводились по ГОСТ 8756.1-79 «Методы определения органолептических показателей, массы нетто или объема и массовой доли составных частей». Также исследования проводились

по ГОСТ 25011-81 «Мясо и мясные продукты. Методика определения белка», ГОСТ 9793-74 «Мясо и мясные продукты. Методы определения влаги», ГОСТ 23042-86 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира»

При определении содержания белка в мясе птицы выявлено следующее: соотношение белок : жир – содержание жира значительно ниже количества белка в мясе цыплят бройлеров 2-й категории, кур 2-й категории и индейки 2-й категории (см. табл. 1)

Однако, общее содержание белка в разных частях тушек птицы неодинаково (см. табл. 2)

Таблица 1 - Химический состав и энергетическая ценность мяса птицы, %

Показатели	Мясо цыплят бройлеров		Мясо кур		Мясо индейки	
	1-я категория	2-я категория	1-я категория	2-я категория	1-я категория	2-я категория
Вода,г	63,8	67,7	61,9	69,1	57,3	64,5
Белок,г	18,7	19,8	18,2	21,2	19,5	21,6
Жир, г,	16,1	11,2	18,4	8,2	22,0	12,0
Углеводы, г	0,5	0,5	0,7	0,6	0,3	0,8
Зола, г	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1
Энергетическая ценность, Ккал	183	127	247	161	276	197

Таблица 2 - Содержание общего белка в разных частях тушек птицы

Исследуемые образцы	Исследуемые части	Среднее значение, %
Мясо цыпленка-бройлера	Грудка	21,79
	Бедро	20,55
	Голень	20,04
Мясо курицы	Грудка	21,97
	Бедро	20,92
	Голень	20,30
Мясо индейки	Грудка	23,23
	Бедро	20,78
	Голень	20,04

Наибольшее количество белка содержалось в грудной части мышц мяса птицы вне зависимости от видовой принадлежности сырья (21,79-23,23%), а наименьшее – в голени мяса птицы (20,04-20,30%). При этом наиболее высокие значения общего количества белка были получены при исследовании грудной мышцы индейки – 23,23%.

В мясе содержится значительное количество витаминов. Следует отметить, что не во всех образцах мяса птицы были обнаружены такие витамины как витамин Е, витамин С и другие (см. табл. 3).

Таблица 3 - Уровень витаминов мяса птицы

Витамины в 100 г продукта	Цыплята бройлеры		Куры		Индейка	
	1-я категория	2-я категория	1-я категория	2-я категория	1-я категория	2-я категория
Витамин А, мг	0,04	0,03	0,07	0,07	0,01	0,01
Витамин Е, мг	0,30	-	0,20	-	0,34	-
Витамин С, мг	2,00	2,00	1,80	1,80	-	-
Витамин В6, мг	0,51	0,60	0,52	0,61	0,33	0,33
Витамин В12, мкг	0,42	0,50	0,55	-	-	-
Биотин, мкг	8,40	10,60	10,00	-	-	-
Ниацин, мг	6,10	6,40	7,70	7,80	7,80	8,00
Пантотеновая кислота, мг	0,79	0,88	0,76	-	0,65	-
Рибофлавин, мг	0,15	0,16	0,15	0,14	0,22	0,19
Тиамин, мг	0,09	0,11	0,07	0,07	0,05	0,07
Фолацин, мг	3,30	3,60	4,30	5,80	9,60	9,40
Холин, мг	118	111	76	74	139	136

Установлено, что наибольшее количество общего белка содержалось в грудной мышце мяса индейки, а также в мясе цыпленка бройлера – грудной мышце. Меняя соотношение разных частей тушек птицы в исходных рецептурах, основываясь на приведенных выше данных, можно регулировать биологическую ценность мясных консервов, обеспечивая разную направленность производства для разных групп населения, одновременно регулируя себестоимость готового продукта.

Литература

1. **Позняковский В.М.** Экспертиза мяса птицы, яиц, и продуктов их переработки / Позняковский В.М., Рязанова О.А., Мотовилов К.Я. – Новосибирск: Сибирский университет 2007 г.
2. **Бессарабов Б.Ф.** Птицеводство и технология производства яиц, мяса птицы. / Бессарабов Б.Ф., Бондарев Э.И., Столяр Т.А. – СПб.: Лань 2005г.
3. **Антипова И.В.** Методы исследования мяса и мясных продуктов. / Антипов И.В., Глотова И.А., Рогов И.А. – М: Колос 2001 г.
4. **Липатов Н.Н.** Некоторые аспекты моделирования аминокислотной сбалансированности пищевых продуктов. / Пищевая и перерабатывающая промышленность. №4. – 1986.
5. **Мамаев А.В.** К вопросу о совершенствовании переработки мяса. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Компас аграрных реформ Орловщины. 1999. № 11-12; 47-52
6. **Сергеев Д.В., Родина Н.Д., Мамаев А.В., Сергеева Е.Ю., Цикин С.С.** Оценка показателей качества готового продукта. Материалы VIII Международной научно-практической Интернет-конференции. «Фундаментальные и прикладные исследования - сельскохозяйственному производству». 2016; 164-168.

Поступила в редакцию: 14.03.2019 г.

Коновалов Константин Валерьевич, аспирант кафедры продуктов питания животноводства,
Мамаев Андрей Валентинович, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой продуктов питания животноводства,
Родина Надежда Дмитриевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры продуктов питания животноводства,
Сергеева Екатерина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры продуктов питания животноводства,
ФГБОУ ВО "Орловский государственный аграрный университет им. Н.В.Парахина", г. Орел, Россия, тел. +7(4862) 76-48-80, e-mail manager.kop.ogay@mail.ru

Павловская Нинэль Ефимовна

(к 80-летию со дня рождения)



Павловская Нинэль Ефимовна свою научную деятельность начала после окончания Ташкентского государственного университета им. В. И. Ленина в 1961 г. в должности лаборанта лаборатории природных соединений ТашГУ. В 1966 году поступила в аспирантуру. После защиты кандидатской диссертации по специальности 03.00.04 – Биохимия в 1969 г. работала в Институте экспериментальной биологии растений Академии наук Узбекской ССР младшим научным сотрудником. В феврале 1980 года работала старшим научным сотрудником лаборатории гетерозиса хлопка в Институте экспериментальной биологии растений АН УзССР. После защиты докторской диссертации в 1987 году возглавила лабораторию фотосинтеза того же института. Во время работы в городе Ташкенте Павловская Нинэль Ефимовна являлась ученым секретарем докторского совета при Институте экспериментальной биологии АН УзССР. Нинэль Ефимовна подготовила четырех кандидатов биологических наук. Является автором районированного сорта хлопчатника Фархад, участником создания сортов хлопчатника Самарканд, Юлдуз и др. За многолетний плодотворный труд награждена медалью «Ветеран труда», неоднократно награждалась грамотами.

В 1994 году Павловская Н. Е. возглавила лабораторию биохимии во Всесоюзном научно-исследовательском институте зернобобовых и крупяных культур. В 2003 г. лаборатория была аккредитована в центральном органе по сертификации семенного и посадочного материала при Министерстве сельского хозяйства РФ (Аттестат аккредитации испытательной лаборатории №002493 от 21.04.2003). С 1994 года работала в Орловском государственном аграрном университете в должности профессора кафедры физиологии, биотехнологии растений и кормопроизводства. В 2001 году в Орловском государственном аграрном университете при непосредственном участии Павловской Н. Е. выигран грант Минобрнауки России в рамках программы «Интеграция» на сумму 800 000 рублей. Павловской Н. Е. впервые в г. Орле создан Центр коллективного пользования «Орловский региональный биотехнологический центр сельскохозяйственных растений». Центр оснащен современным оборудованием, в том числе системой ПЦР-анализа ДНК, электрофоретическими системами изучения белков, компьютерными программами и др.

Павловская Н. Е. является председателем Орловского отделения Общества биотехнологов РФ, руководителем Орловского регионального центра сельскохозяйственной биотехнологии и заведующей лабораторией биотехнологии. В 2008 году, при её непосредственном участии, в ФГБОУ ВПО «Орел ГАУ» открыта новая специальность 240901- Биотехнология. На новейшем оборудовании (биореакторы, ферментеры, система лиофилизации) проводятся исследования в рамках развивающегося инновационного направления «Биоиндустрия». Павловская Н. Е. вместе с руководством области разрабатывает Концепцию развития биоиндустрии в Орловской области.

Научные интересы доктора биологических наук, профессора Павловской Нинэль Ефимовны обширны. Нинэль Ефимовна работает над проблемой переработки отходов сельскохозяйственного производства с целью получения ряда полезных продуктов: витаминов, антибиотиков, белково-углеводных комплексов, энзимрезистентного крахмала, пищевых красителей, БАДов, БАВов, пектина, биоэтанола и др.

Павловской Н. Е. совместно с учениками создана целая серия новых фитоиммуномодуляторов, повышающих болезнеустойчивость растений и способствующих увеличению урожая сельскохозяйственных культур

до 20%. На пять средств для предпосевной обработки семян получены патенты. Важным разделом научных направлений школы Павловской Н. Е. являются исследования программированной смерти клетки – апоптоза, связанные с вопросами продления жизни (геронтологии) и создания средств омоложения растительных и животных организмов на основе антиоксидантной системы клетки, вопросов нанотехнологии и биоинформатики. Нинэль Ефимовной опубликовано более 500 научных работ, из которых 9 монографий, 17 учебников и учебных пособий, 12 патентов, 3 находятся в разработке. Ежегодно Павловская Н. Е. участвует в конгрессах и конференциях по биотехнологии, в том числе и в международных. Под руководством Павловской Н. Е. защищены 31 кандидатская диссертация, две докторские диссертации, обучаются 10 аспирантов. Создана научная школа биохимиков и биотехнологов. За многолетний плодотворный труд и подготовку высококвалифицированных кадров для АПК России Павловская Н. Е. награждена почетным званием «Заслуженного работника высшей школы Российской Федерации», Почетной грамотой Министерства сельского хозяйства РФ, Почетной грамотой Орловского областного совета народных депутатов, Почетной грамотой мэра г. Орла, Почетной грамотой РАСХН, благодарностью губернатора Орловской области Клычкова А. Е., Почетной грамотой ФГБОУ ВПО «Орел ГАУ», дипломами, серебряной и 2 бронзовыми медалями за участие в выставках «Золотая осень» в 2017-2018 гг., дипломами и серебряными медалями Международного конкурса «Архимед». По результатам конкурса номинирована на звание «Маститый ученый».

Подготовка научных кадров.
Под руководством профессора Н.Е. Павловской подготовлены следующие высококвалифицированные научные кадры:

1. *Ветчинкина Людмила Николаевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Гетерозис у межвидовых и межсортовых гибридов хлопчатника и его прогнозирование по оксидоредуктазам», Ташкент, 1988.
2. *Джангуразов Надир Фуадович.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Фосфорный обмен и активность оксидоредуктаз хлопчатника в связи с гетерозисом», Ташкент, 1990 .
3. *Тухтаева Гульчехра Маликовна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Сравнительная характеристика фотосинтетического аппарата различных по устойчивости сортов хлопчатника», Ташкент, 1973.
4. *Зайнутдинова Кондуз Каримовна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук «Множественные формы оксидоредуктаз в процессе развития семян хлопчатника», Ташкент, 1992.
5. *Шалимова Оксана Анатольевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Конституционные и индуцированные факторы устойчивости растений гороха Pisum sativum к грибам Fusarium oxysporum, Ascochyta pisi, Ascochyta pinides», Воронеж, 1998.
6. *Федотова Ольга Викторовна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Динамика накопления токсических веществ и продукционный процесс в онтогенезе зернобобовых культур», Воронеж, 2001.
7. *Горькова Ирина Вячеславовна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: «Динамика накопления флавоноидов в онтогенезе гречихи и биохимические изменения семян в процессе хранения», Орел, 2002 .
8. *Яроватая Марина Анатольевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Белково-углеводный обмен в онтогенезе различных по скороспелости сортов гороха», Воронеж, 2004.
9. *Конов Сергей Александрович.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Особенности белкового комплекса зерна проса и идентификация морфотипов по маркерным генам», Москва, 2005.
10. *Гагарина Ирина Николаевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: «Белковый комплекс семян фасоли и испытание биологической активности его компонентов», Орел, 2006.
11. *Зубарева Кристина Юрьевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Структурно-биохимические особенности Pisum sativum L. к Bruchus pisorum L. », Воронеж, 2006.
12. *Корниенко Наталья Николаевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Идентификация сортообразцов гороха морфотипа хамелеон и определение степени внутрисортового полиморфизма по запасным белкам семян», Воронеж, 2006.
13. *Прудникова Елена Геннадьевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: «Белково-углеводный комплекс хемомутантов и формирование качества зерна пшеницы», Орел, 2006.
14. *Ботуз Наталья Ивановна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: «Физико-химическая характеристика и биологическая активность биогумуса, полученного на основе дождевого червя «Старатель»», Орел, 2007 .
15. *Гринблат Антон Иосифович.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: «Разработка биоинформационной модели апоптоза и некроза у растений», Орел, 2007.
16. *Лазарева Татьяна Николаевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: « Полиморфизм белков семян у видов и сортов гречихи Fagopyrum Mill.», СПб, 2007.

17. *Сучкова Татьяна Николаевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Физиолого-биохимические особенности накопления углеводов и белков в семенах высокоамилозных сортов и линий гороха (Pisum sativum L.)», Воронеж, 2009.
17. *Друшляк Наталья Геннадьевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Изменение физиолого-биохимических характеристик семян гороха (Pisum sativum L.) при хранении и обработке их фитогормонами», Воронеж, 2009 .
19. *Бородин Дмитрий Борисович.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: «Влияние фитоиммуномодуляторов на устойчивость к биотическим факторам и продуктивность гороха и пшеницы», Орел, 2009.
20. *Воронкова Марина Владимировна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: «Исследование состава запасных и вторичных метаболитов картофеля в связи с устойчивостью к колорадскому жуку (Leptinotarsa decemlineata say)», Орел, 2009 .
21. *Пискурева Валентина Александровна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: «Динамика накопления пектиновых веществ в корнеплодах свёклы (Beta vulgaris L.) в онтогенезе», Орел, 2012.
22. *Сулимов Владимир Владимирович.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: «Продукционный процесс перспективных сортов сои и люпина и его оптимизация с использованием регуляторов роста и развития», Орел, 2009.
23. *Юшкова Елена Ильинична.* Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук: «Биологическая активность гуминового комплекса различного происхождения и его влияние на рост и развитие растений», Воронеж, 2010.
24. *Козявина Ксения Николаевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Изменение активности антиоксидантной ферментной системы и фрагментации ДНК Pisum sativum L. при апоптозе и некрозе под действием двухвалентных ионов магния и экстракта триходермы», Воронеж, 2010.
25. *Пикунова Анна Викторовна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: «Оценка генетического разнообразия исходного и селекционного материала ягодных культур с помощью молекулярных маркеров», СПб, 2011.
26. *Гагарина Анна Юрьевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Особенности функционирования антиоксидантной системы растений при индуцированном апоптозе», Воронеж, 2012.
27. *Костромичева Екатерина Вячеславовна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Выделение гордецина из зерна ячменя и исследование его биологического действия и взаимосвязи с морфофизиологическими признаками», Воронеж, 2013.
28. *Солохина Ирина Юрьевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Выделение авенацина из овса посевного (Avena sativa L.) и изучение его физиолого-биохимических аспектов действия», Воронеж, 2013.
29. *Полехина Наталья Николаевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Динамика накопления флаваноидов в онтогенезе районированных в Орловской области сортах гречихи посевной (Fagopyrum M.), Воронеж, 2013.
30. *Кулешова Екатерина Сергеевна.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: «Выделение антибиотических веществ из разных сортов ячменя и исследование их биологической активности», Воронеж, 2014 .
31. *Гнеушева Ирина Алексеевна*. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: «Биотехнологическая переработка отходов производства гречихи и получение ценных продуктов», Воронеж, 2014.
32. *Дедков Виталий Николаевич.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: «Разработка биотехнологического кормового белка из растительного сырья», Воронеж, 2014.
33. *Горькова Ирина Вячеславовна.* Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: «Биотехнологии получения и применения биологически активных веществ гречихи при производстве функциональных продуктов питания с пробиотическими культурами», СПб, 2017.

Руководство Орловского ГАУ и редакция журнала «Биология в сельском хозяйстве» поздравляет ***Нинэль Ефимовну Павловскую*** с 80-летним юбилеем и желает долгих лет плодотворной работы в деле воспитания научных и научно-педагогических кадров.

scientia, virtus, libertas