

УДК 57.084.1

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА В ИЗУЧЕНИИ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ЛИЧИНОК *GALLERIA MELLONELLA*

А. С. Осокина, кандидат биологических наук
Л. М. Колбина, доктор сельскохозяйственных наук, доцент
А. В. Гушин, научный сотрудник

Удмуртский научно-исследовательский институт
сельского хозяйства, Ижевск, Россия

E-mail: ryzhova041@rambler.ru

Ключевые слова: состав корма, заселенность, скорость биологического развития, привлекательность корма, математическое планирование эксперимента, статистический анализ, питательная среда

Реферат. *Выполнена серия опытов по изучению влияния компонентов питательной среды на предпочтения в выборе корма личинками *Galleria mellonella* с применением методов математического планирования эксперимента. Реализован линейный план 2^{9-5} для вычисления коэффициентов уравнения регрессии, определены коэффициенты уравнения регрессии с учетом компенсации пространственного рассеивающего фактора. Для снижения дисперсии опыта и повышения статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии все опыты производились одновременно в одном объеме. Выявлена закономерность распределения усредненной заселенности личинками корма в объеме. В центре средняя концентрация личинок оказалась значимо меньше, чем на краях объема. Выявлено, что на положение личинок в пространстве влияет их концентрация, которая многократно больше, чем влияние $\pm 10\%$ варьирования компонентов в составе корма. Для количественной оценки пространственного распределения личинок по их концентрациям предложены четыре гипотезы выбора аппроксимирующей функции: гипотеза среднего уровня; медианная гипотеза; гипотеза фактора, усиливающего концентрацию личинок на краях, и гипотеза уменьшения концентрации личинок в центре. Исходя из них, определены опорные уровни, на основе которых пересчитывались экспериментальные данные для уменьшения дисперсии опыта. Произведена кусочно-линейная аппроксимация экспериментальных результатов объемного распределения личинок и рассчитаны компенсационные коэффициенты. В качестве критерия отбора гипотез использовался минимум суммы квадрата отклонений. В соответствии с ним оптимальной оказалась гипотеза наличия фактора, который увеличивает концентрацию личинок по краям вдоль продольной оси объема, где выращивались личинки. В соответствии с произведенными по этой гипотезе вычислениями концентрация личинок на краях объема была больше в 2,15 раза по сравнению с центром, а дисперсия опыта в результате пересчета результатов снизилась в 3,7 раза, что говорит о значимости влияния пространственного распределения концентрации личинок на результаты.*

MATHEMATICAL PLANNING OF THE EXPERIMENT IN STUDYING THE ENVIRONMENT FOR *GALLERIA MELLONELLA* LARVAE

Osokina A.S., Candidate of Biology
Kolbina L.M., Dr. of Agricultural Sc., Associate Professor
Gushchin A.V., Research Fellow
Udmurtian Research Institute of Agriculture
Izhevsk, Russia

Key words: feed composition, habitance, population density, speed of biological development, attractiveness of the feed, mathematical planning of the experiment, statistical analysis, growing medium

Abstract. The paper describe the experiments in studying the impact of growing medium components on feed preferences of *Galleria mellonella* larvae. The researchers used the methods of mathematical planning of the experiment. The research group carried out the linear plan 29-5 for calculating the coefficients of regression equation taking into account compensation of spatial scattering factor. The experiments were carried out in the same manner in order to reduce dispersion and increase statistical significance of regression equation coefficients. The authors found out the regularity of average density of feed larvae. The average concentration of larvae was rather less in the centre than in the edges of content. Larvae concentration influences their position in the content as their number is much higher than their impact of variation ($\pm 10\%$) in the feed composition. The paper suggests 4 hypotheses of choosing the approximating function: hypothesis of average level; median hypothesis; factor hypothesis, that enhances larvae concentration on the edges; and hypothesis of reducing concentration of larvae in the centre of the content. On the basis of the hypotheses the authors define reference level and calculate experimental data for reducing the experiment dispersion. The researchers provided piecewise line approximation of experimental results and calculated compensation coefficients. Minimum sum of squared deviations was used as a criterion of choosing hypotheses. The appropriate hypothesis assumed the factor which enhances larvae concentration on the edges along the axial axis of the content where the larvae were grown. The concentration of larvae on the edges was 2.15 times higher in comparison with that in the centre; experiment dispersion was 3.7 reduced as a result of recalculation. This speaks about the significance of impact produced by spatial distribution of larvae concentration.

На сегодняшний день математическое планирование эксперимента широко используется в разных отраслях – пищевой [1], приборостроительной [2], в отрасли биотехнологии [3–5] и фармакологии [6].

Личинки большой восковой моли (ЛБВМ) *Galleria mellonella* широко используются как корм для рыб и птиц, в качестве хозяина для разведения энтомофагов, сырье для лечебных препаратов и т.д. Для промышленного разведения ЛБВМ по экономическим соображениям целесообразно разведение их на искусственных питательных средах. Существует множество диет для кормления личинок *Galleria mellonella* [7–10], но сравнительная привлекательность этих диет не исследовалась. Кроме того, как выяснилось [11], на рост личинок ЛБВМ влияют не только факторы питания, но и геометрические факторы среды, в которой они обитают. Если дать возможность личинкам перемещаться в пространстве, то они выберут место для своего развития, наиболее благоприятствующее их потребностям, например, выберут корм, который им наиболее подходит, а также место, благоприятное для них исходя из других существенных факторов обитания.

Для повышения эффективности исследований влияния компонентов питательных сред на их привлекательность для личинок использовался метод математического планирования эксперимента [12–14], успешно используемый и в энтомологии [12]. Благодаря такому подходу на основании ограниченного количества опытов возмож-

но получить экспериментальную зависимость выходного параметра от входных факторов.

Цель исследований – выявить влияние условий выращивания и состава питательной среды на ее привлекательность для личинок *Galleria mellonella*.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследования – личинки большой восковой моли (*Galleria mellonella* L.). Работа проводилась в лабораторных условиях ФГБНУ Удмуртский НИИСХ. Личинки *Galleria mellonella* содержались в запатентованном нами устройстве «Молярий» [15] при постоянной температуре $30 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности 65–70% в полной темноте в ёмкости объемом 7 л. Исследования проводились согласно «Методическим рекомендациям по лабораторному содержанию и разведению большой восковой огневки *Galleria mellonella* L.» [8].

Для проведения эксперимента использовался план 2^{9-5} , т.е. дробный факторный эксперимент, в котором производилось варьирование девяти факторов – компонентов корма. За основу брали матрицу полного факторного эксперимента 2^4 , а коэффициенты при взаимодействии трех и более факторов принимались малозначимыми и заменялись дополнительными факторами (X_5 , X_6 , X_7 , X_8 , X_9). Подробно методика проведения эксперимента описана ранее [11], так как исследуемый параметр – заселенность личинками

ЛБВМ экспериментальных пластин с кормом – был одним из измеряемых параметров наряду с массой личинок, результаты экспериментальных исследований которых приведены в [11]. Соответственно входные факторы имеют обозначения X_1 – пшеничная мука, X_2 – отруби, X_3 – пашенные вытопки, X_4 – глицерин, X_5 – сухие дрожжи, X_6 – сухое молоко, X_7 – кукурузная мука, X_8 – растительное масло, X_9 – мед. При этом входные факторы варьировали на величину $\pm 10\%$ относительно средней точки.

Так как измерение заселенности пластин наряду с приростом массы личинок было частью опыта, описанного в [11], и отличалось только тем, что параллельно измерялся другой параметр – заселенность пластин с кормом, то, естественно, все условия проведения эксперимента являются теми же, что и в [11].

Полученные данные подвергались статистической обработке с целью проверки достоверности результатов.

Оценка воспроизводимости опыта и пригодности их для дальнейшего анализа производилась по критерию Кохрена:

$$G_{кр} \geq \frac{(S_o \max)^2}{\sum_{i=1}^{16} (S_{o_i})^2}, \quad (1)$$

где $G_{кр}$ – табличное критическое значение критерия Кохрена. Для нашего случая с вероятностью риска ошибки 0,05 критическое значение коэффициента Кохрена составляет 0,33;

$S_o \max$ – значение максимального квадрата отклонения для каждой серии повторных опытов, выбранного из 16 опытов реализации матрицы;

S_{o_i} – среднеквадратические отклонения повторных опытов.

Проверка коэффициентов на значимость и отсеивание производилась по критерию Стьюдента:

$$b_i \geq t_{кр} S b_i; \quad b_{i,j} \geq t_{кр} S b_{i,j}, \quad (2)$$

где $t_{кр}$ – критическое табличное значение критерия Стьюдента для значения риска 0,05 и числа степеней свободы f :

$$f = N(n-1). \quad (3)$$

Для данного случая $f = 32$, поскольку $N = 16$, а $n = 3$ (количество повторностей). Табличное значение критерия Стьюдента составит 2,0.

Дисперсия коэффициента регрессии вычисляется по формуле

$$(S b_{i,m})^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^n (Y_{i,m} - Y_{э,ср_i})^2 / Nn(n-1). \quad (4)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Усредненные значения количества личинок по образцам как результат реализации матрицы планирования экспериментов $Y_{э,j,i}$ показаны в табл. 1.

Номер опыта в табл. 1 соответствует номеру серии опытов, а номер повторности – номеру по-

Таблица 1

Результаты реализации матрицы планирования эксперимента по заселенности пластин с питательной средой при выращивании личинок *Galleria mellonella*
The results of the implementation of the matrix of experiment planning by population plates with a nutrient medium for cultivation of larvae of *Galleria mellonella*

Показатель	Номер повторности	Номер опыта							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Заселенность личинками $Y_{э,j,i}$	1	25	24	15	7	13	5	63	21
	2	5	5	9	8	4	15	4	4
	3	2	41	0	12	22	5	7	42
Номер пластины	1	11	10	9	12	12	12	11	12
	2	7	5	7	8	6	7	8	8
	3	4	1	3	4	3	2	1	4
Окончание табл. 1									
1	2	11	12	13	14	15	16	17	18
Заселенность личинками $Y_{э,j,i}$	1	21	1	35	11	7	20	19	4
	2	4	5	4	5	21	17	22	3
	3	18	0	35	21	10	34	20	20
Номер пластины	1	9	10	9	10	11	11	10	9
	2	6	5	8	7	6	5	5	6
	3	3	3	1	2	4	2	1	2

вторения опыта в серии. В табл. 1 также показаны номера решеток, где располагались опытные образцы, по которым можно судить об их пространственном расположении.

Значение критерия Кохрена, вычисленное по формуле (1), заселенности образцов личинками получилось $0,38 \geq G_{кр}$ т.е. по статистическому критерию Кохрена результаты не являются воспроизводимыми. В таком случае вычислять коэффициенты в уравнении регрессии не имеет смысла, поскольку модель статистически недостоверна. Для того, чтобы полученные результаты стали удовлетворять критерию Кохрена, необходимо уменьшить дисперсию опыта.

Все опыты производились одновременно, в одном термостатированном объеме, поэтому факторы времени и неоднородности температуры внутри экспериментального объема можно исключить. Таким образом, необходимо проверить неоднородность результатов эксперимента в рабочем объеме, в котором содержались личинки *Galleria mellonella*. Для этой проверки построен график распределения заселенности ЛБВМ по номерам решеток $Y_{п.ср_g}$ (рис. 1).

На рис. 1 видно, что в центральной части касеты заселенность образцов пластин личинками почти в 3 раза меньше, чем по краям, т.е. имеет место рассеивающий фактор, приводящий к повышенной дисперсии опыта.

Для того чтобы произвести компенсацию влияния рассеивающего пространственного фактора и уменьшить дисперсию опыта, необходимо найти корректирующие коэффициенты, которые корректируют неоднородные свойства экспериментального объема, где выращивались личинки.

Элементы данного пространства связаны с номерами решеток. Для нахождения этих корректирующих коэффициентов для решетчатых пластин с кормом они разбиваются на три равные зоны, и в пределах каждой из этих зон производится усреднение. После этого производится определение опорного уровня, относительно которого вычисляются корректирующие коэффициенты.

Опорный уровень выбирается, как и в [5], исходя из одной из четырех гипотез. В общем случае гипотезы, выбираемые для аппроксимации, не обязательно должны совпадать для случая роста личинок в [5] и привлекательности их расположения или корма.

1. Гипотеза среднего уровня, когда производят усреднение по всем решеткам и относительно этого уровня находят компенсирующие коэффициенты.

2. Гипотеза медианного уровня, который соответствует середине между средней величиной заселенности образцов личинками крайних зон и средней величиной заселенности образцов личинками центральной зоны.

3. Гипотеза существования фактора, усиливающего биологический эффект на краях, т.е. компенсационные коэффициенты должны уменьшать усредненные значения заселенности личинками в крайних зонах до характерного значения заселенности личинками для серединной зоны.

4. Гипотеза существования фактора, ослабляющего биологический эффект в центре, т.е. компенсационные коэффициенты должны увеличивать средние значения заселенности в центре до уровня, характерного для крайних зон.

Поиск компенсирующих коэффициентов аналогичен поиску аппроксимирующей функции,

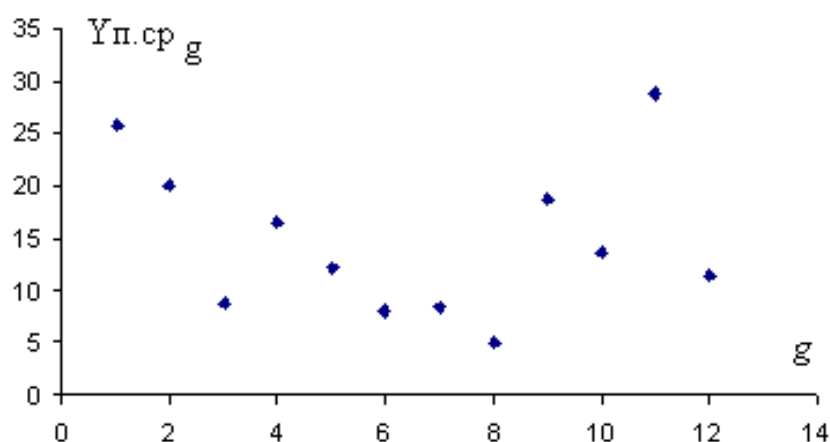


Рис. 1. График распределения усредненного заселения образцов личинок *Galleria mellonella* $Y_{п.ср_g}$ по решеткам в зависимости от номера решетки g
Distribution figure of the average settling samples *Galleria mellonella* $Y_{п.ср_g}$ gratings depending on the number grid g

наиболее точно описывающей множество экспериментальных точек (рис. 2). В данном случае простейшей аппроксимирующей функцией будет ступенчатая функция. Высота крайних ступенек соответствует среднему значению заселенности личинками пластин с питательной средой на краях, а высота центральной ступеньки соответствует среднему значению заселенности пластин с пита-

тельной средой личинками в центре. Каждая из трех выделенных зон содержит по четыре решетки.

На рис. 2 показана аппроксимирующая функция и положение опорных уровней. В соответствии с этим аппроксимирующие функции имеют следующий вид:

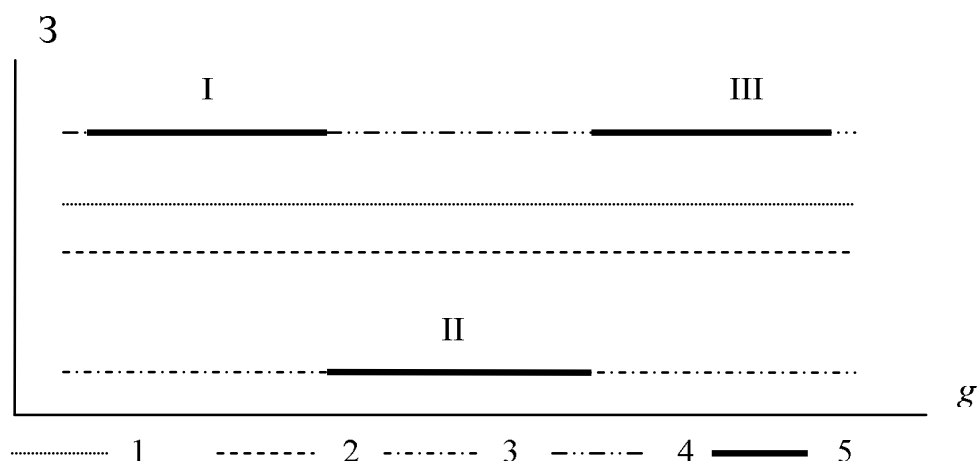


Рис. 2. Иллюстрация гипотез аппроксимации полученных результатов:

1 – опорная линия для гипотезы о среднем уровне; 2 – опорная линия для медианной гипотезы; 3 – опорная линия для гипотезы действия усиливающего фактора; 4 – опорная линия для гипотезы ослабляющего фактора; 5 – аппроксимирующая функция для зон I, II и III; g – номер решетки; 3 – усредненные показатели заселенности пластин с питательной средой

Illustration of hypotheses of results approximation:

1 – baseline for hypothesis of average level; 2 – baseline for median hypothesis; 3 – baseline for hypothesis about enhancing factor; 4 – baseline for hypothesis of weakening factor; 5 – approximating function for I, II and III zones; g – the number of grid; 3 – average parameters of plate density with growing medium

$$Y_{a_g^q} = \begin{cases} Y_{o_g^q} K_1^q & \text{для } 4 \geq g \geq 1 \\ Y_{o_g^q} K_2^q & \text{для } 8 \geq g \geq 5 \\ Y_{o_g^q} K_3^q & \text{для } 12 \geq g \geq 9 \end{cases} \quad (5)$$

где $Y_{a_g^q}$ – аппроксимирующая функция для описания распределения заселенности личинок; q – номер гипотезы, совпадающий с порядком перечисленных выше гипотез;

$Y_{o_g^q}$ – опорный уровень для исследуемого фактора q -й гипотезы;

K_1^q, K_2^q, K_3^q – поправочные коэффициенты, рассчитанные по усредненным результатам экспериментов для соответствующих q .

$Y_{o_g^q}$ вычислялись по следующим формулам:

$$Y_{o_1^1} = \sum_{i=1}^{16} \sum_{m=1}^3 Y_{i,m} / Nn = \sum_{g=1}^{12} Y_{п.ср_g} / 12; \quad (6)$$

$$Y_{o_2^1} = ((\sum_{g=1}^4 Y_{п.ср_g} + \sum_{g=9}^{12} Y_{п.ср_g}) / 8 + \sum_{g=5}^8 Y_{п.ср_g} / 4) / 2; \quad (7)$$

$$Y_{o_3^1} = (\sum_{g=1}^4 Y_{п.ср_g} + \sum_{g=9}^{12} Y_{п.ср_g}) / 8; \quad (8)$$

$$Y_{o_4^1} = \sum_{g=5}^8 Y_{п.ср_g} / 4. \quad (9)$$

Формулы расчета корректирующих коэффициентов даны в табл. 2.

Чтобы определить наиболее справедливую гипотезу аппроксимации, использовался метод наименьших квадратов. Там, где сумма квадратов отклонений экспериментальных данных с учетом корректирующих коэффициентов от опорных уровней для каждой из гипотез будет наименьшей, аппроксимация и соответственно гипотеза считается ближе к реальному положению вещей.

Таблица 2

Формулы расчета корректирующих коэффициентов K_1^q, K_2^q, K_3^q
Formula for calculating adjustment coefficients K_1^q, K_2^q, K_3^q

q	$4 \geq g \geq 1$	$8 \geq g \geq 5$	$9 \geq g \geq 12$
1	$K_1^1 = Y_{o^1}/Y_{o^3}$	$K_2^1 = Y_{o^1}/Y_{o^4}$	$K_3^1 = Y_{o^1}/Y_{o^3}$
2	$K_1^2 = Y_{o^2}/Y_{o^3}$	$K_2^2 = Y_{o^2}/Y_{o^4}$	$K_3^2 = Y_{o^2}/Y_{o^3}$
3	$K_1^3 = Y_{o^3}/Y_{o^3} = 1$	$K_2^3 = Y_{o^3}/Y_{o^4}$	$K_3^3 = Y_{o^3}/Y_{o^3} = 1$
4	$K_1^4 = Y_{o^4}/Y_{o^3}$	$K_2^4 = Y_{o^4}/Y_{o^4} = 1$	$K_3^4 = Y_{o^4}/Y_{o^3}$

Для алгоритмизации расчетов выведем выражение, учитывающее поправочные коэффициенты. Для этого произведем формирование поправочной таблицы ($K_{i,j}^q$) из той части табл. 1, которая описывает $Y_{\Theta_{j,i}}$ путем замены местами строк и столбцов, а также заменой номеров образцов в соответствующей части табл. 1 на значение поправочного коэффициента с учетом зоны рис. 3 и номера гипотезы табл. 2.

Мы получим таблицу поправочных зональных коэффициентов, которую можно представить в виде набора из четырех матриц ($K_{i,j}^q$) для каждой из четырех гипотез q , номера опыта i , и номера повторности j . Часть табл. 1 – усредненные значения заселенности пластин с питательной средой личинками $Y_{\Theta_{j,i}}$ тоже можно рассматривать в виде матрицы и, применив к ним методы линейной алгебры, получить результирующую матрицу взаимодействия таблиц ($K_{i,j}^q$) и ($Y_{\Theta_{j,i}}$). Вычисление опорных уровней усредненных значений заселенности личинками пластин с кормом для каждой из гипотез можно рассматривать как определение следа произведения двух матриц: матрицы поправочных коэффициентов ($K_{i,j}^q$) и матрицы заселенности пластин личинками ($Y_{\Theta_{j,i}}$). В справедливости проделанных манипуляций можно убедиться простой подстановкой элементов этих матриц в полученное произведение матриц. Это будет соответствовать сумме результатов, полученных

в повторных опытах с учетом их расположения в соответствующей зоне. А их сумма, так называемый след матрицы, необходима для расчета средней величины используемой в дальнейших расчетах величины суммы квадрата отклонений, необходимой для выбора гипотезы.

Таким образом, итоговая формула расчета средних значений Y_{a^q} для q -й гипотезы, с учетом компенсационных коэффициентов, имеет вид:

$$Y_{a^q} = (Tr(K_{i,j}^q)(Y_{\Theta_{j,i}})) / Nn. \quad (10)$$

На основании этого выражения можно вывести формулу для оптимизируемого фактора, при помощи которого происходит отсев гипотез:

$$(S_{K_{i,j}^q})^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (Y_{a^q} - Y_{\Theta_{j,i}} K_{j,i}^q)^2. \quad (11)$$

Чем меньше сумма квадрата отклонений ($S_{K_{i,j}^q}$), тем ближе выбранная гипотеза соответствует множеству экспериментальных точек.

По результатам предварительных расчетов для образцов $Y_{\Theta_{3,3}}, Y_{\Theta_{3,6}}, Y_{\Theta_{3,10}}$ они были признаны экспериментальным промахом и аннулированы из-за аномально большого вклада в дисперсии как для модели, описываемой уравнением регрессии, так и для модели, описывающей распределение свойств личинок по пластинам с образцами. Результаты расчетов для усредненных значений массы личинок приведены в табл. 3.

Таблица 3

Компенсация пространственного рассеивающего фактора показателя заселенности личинками для модели, описываемой уравнением регрессии
Compensation spatial scattering factor increased the population of larvae for the model described by the regression equation

q	Гипотеза (q)	K_1^q	K_2^q	K_3^q	Сумма квадратов отклонений	Дисперсия	b_0	Максимальное отклонение. $\times 10^{-3}$	G	$G_{кр}$
	Исходное	1	1	1	5703	14,60	14,83	2208	0,38	0,33
1	Среднего уровня	0,82	1,77	0,83	4526	6,87	14,84	1363	0,30	0,33
2	Медианного уровня	0,73	1,57	0,74	3581	6,11	13,20	1081	0,30	0,33
3	Усиления краев	0,47	1	0,47	1462	3,90	8,42	449	0,31	0,33
4	Подавления центра	1	2,15	1	6664	8,33	19,44	2032	0,30	0,33

Из табл. 3 видно наименьшее значение суммы квадратов отклонений для гипотезы «усиление краев» и наименьшее «подавление центра» соответственно при этой гипотезе и минимальная дисперсия при модели уравнения регрессии. Все гипотезы удовлетворяют критерию Кохрена. Дисперсия значительно уменьшается.

Но все коэффициенты при факторах, включая и парные, все равно не становятся значимыми. Значимым, как и прежде, остается только коэффициент b_0 .

После компенсации рассеивающего фактора производился расчет коэффициентов уравнения регрессии для представления результатов эксперимента в виде уравнения регрессии

$$Y_p = b_0 + \sum_{i=1}^9 b_i X_i + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^9 b_{ij} X_i X_j, \quad (12)$$

где Y_p – отклик, вычисляемый по уравнению регрессии;

b_0 – нулевой коэффициент уравнения регрессии;

b_i – коэффициент уравнения регрессии, характеризующий вклад i -го фактора в выходной параметр;

b_{ij} – коэффициент, характеризующий вклад парного взаимодействия i -го и j -го факторов.

$$b_i = \frac{\sum_{m=1}^{16} Y_{э.сп_m} X_{im}}{16}; \quad (13)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{m=1}^{16} Y_{э.сп_m} X_{jm} X_{im}}{16}; \quad (14)$$

$$b_0 = \frac{\sum_{m=1}^{16} Y_{э.сп_m}}{16}; \quad (15)$$

$$Y_{э.сп_i} = \frac{\sum_{j=1}^3 Y_{э_{i,j}}}{3}, \quad (16)$$

где m – номер опыта; 16 – количество опытов в матрице планирования;

$Y_{э.сп_i}$ – усредненный экспериментальный параметр – заселенность личинками пластин с кормом.

Вычисленные по формулам (13) – (16) коэффициенты уравнения регрессии приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения парных коэффициентов уравнения регрессии при входных факторах для массы

Galleria mellonella $b_{ij} \cdot 10^{-3}$

The value of the pair wise coefficients of the regression equation when the input factors for the mass of larvae

Galleria mellonella $b_{ij} \cdot 10^{-3}$

Одиночные коэффициенты	Входные факторы		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			54,8	1,7	2,6	-6,8	0,76	3,7	3,4	-1,1	-3,3	-3,9
Парные коэффициенты	1	Пшеничная мука			-1,4	1,2	-8,6	-5,7	-3,9	1,4	3,6	3,4
	2	Отруби				-5,7	1,4	1,2	3,6	-8,6	-3,9	-3,3
	3	Вытопки					3,6	-1,4	-8,6	-3,9	-8,6	-1,1
	4	Глицерин						-3,9	-5,7	-1,4	1,2	3,7
	5	Сухие дрожжи							-8,6	3,6	1,4	0,8
	6	Сухое молоко								1,2	-1,4	1,7
	7	Кукурузная мука									-5,7	-6,8
	8	Растительное масло										2,6
	9	Мед										

Величины дисперсий и критических значений коэффициентов, рассчитанные по формулам (7) – (9), составят 0,015 и 0,030 соответственно.

Из табл. 3 и 4 следует, что значимыми являются только коэффициенты уравнения регрессии b_0 . Все остальные коэффициенты уравнений, как одиночные, так и парные, являются незначимыми, так как они не удовлетворяют статистическому критерию Стьюдента.

Проделанные расчеты показывают, что фактор рассеяния имеет значительное влияние на результаты измерений и связан с геометрией пространства, где происходит рост личинок. Природа обнаруженной закономерности пространственного распределения массы ЛБВМ не ясна и требует дополнительных исследований. Возможно, это связано с биологией развития ЛБВМ, с использованием периодической сталь-

ной структуры несущих решеток для корма, вероятны и другие причины.

ВЫВОДЫ

1. На рост ЛБВМ оказывает влияние геометрия пространства, в котором они выращиваются (размер, форма и материал молярия, наличие внутри него как металлических, так и неметаллических конструкций, и т.д.), т.е. конструкция

молярия и его окружение. Это, как показывает проведенный эксперимент, оказывает большое влияние, чем $\pm 10\%$ изменения компонентов состава корма.

2. Механизмы, объясняющие влияние конструкции молярия на рост личинок, неизвестны.

3. Действие физических закономерностей, связывающих конструкцию молярия с ростом ЛБВМ для данных экспериментальных условий, оказалось более значимым, чем состав корма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уразбаев Ж. З. Использование метода математического планирования эксперимента при разработке комбинированных мясных продуктов // Вестн. НГАУ. – 2010. – Т. 2, № 14. – С. 90–94.
2. Андросенко О. С., Маяченко Е. П. Математические методы планирования эксперимента в исследовании процесса термообработки металла // Приложение математики в экономических и технических исследованиях. – 2014. – № 4. – С. 219–225.
3. Максименко Л. А. Оптимизация экспериментальных исследований на основе методики математического планирования // Интерэкспо гео-Сибирь. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 42–45.
4. Математический метод планирования эксперимента рН пищевых отходов на возможность их биоконверсии с помощью вермикультуры / А. А. Ганджалова, А. Голубь, В. Е. Костин, Н. А. Соколова // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 4. – С. 45–46.
5. Методы оптимизации экспериментов при оптимизации питательной среды для стрептомицета / И. В. Жерносекова, И. В. Черногор, А. А. Тымчук, А. И. Винников // Вісн. Дніпропетров. ун-ту. – Біологія. Екологія. – 2010. – Вип. 18, Т. 1. – С. 20–28.
6. Рыкунова И. П., Вергейчик Е. Н. Оптимизация состава раствора кальция глюконата методом математического планирования эксперимента // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. – Сер. Химия. Биология. Фармация. – 2006. – № 2. – С. 83–85.
7. Способ разведения *Galleria mellonella* L.: пат. № RU 2210210 Рос. Федерация: МПК⁸ A01K67/033 / В. Я. Исмаилов, Ж. А. Ширинян, О. И. Квасенков; заявитель и патентообладатель Всерос. НИИ биол. защиты растений. – № 2001131301/13; заявл. 21.11.2001; опубл. 20.08.2003. – 4 с.
8. Коновалова Т. В. Современные средства и методы обеспечения ветеринарного благополучия по инфекционной и протозойной патологии животных, рыб и пчел: метод. рекомендации по лабораторному содержанию и разведению большой восковой огневки *Galleria mellonella* L. – М., 2011. – С. 156–178.
9. Искусственный корм для большой вошинной пчелиной огневки: пат. СССР № 3662964/30–15 МПК: A01K67 / Е. М. Шагов, Г. И. Уланова, Е. М. Асланян; заявитель и патентообладатель Всесоюз. НИИ прикладной микробиологии. – № 3662964/30–15; заявл.: 11.11.83 опубл.: 23.05.1986. – Бюл. № 19. – 3 с.
10. Marston N. Comparison of nine diets for rearing *Galleria mellonella* / N. Marston, B. Campbell // Annals of the Entomological society of America. – 1973. – Vol. 66, № 1. – P. 132–136.
11. Осокина А. С. Влияние кормления и условий содержания на рост личинок большой восковой моли (*Galleria mellonella* L.) / А. С. Осокина, Л. М. Колбина, А. В. Гушин // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 7. – С. 88–92.
12. Тамарина Н. А. Техническая энтомология – новая отрасль прикладной энтомологии / Н. А. Тамарина // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Энтомология. – 1987. – Т. 7. – С. 248.
13. Старе В. А., Менчер Э. М. Метод оптимизации рецептов полусинтетических питательных сред для разведения насекомых-фитофагов *Amathes C-nigrum* (Lepidoptera, Nictuidae) // Зоол. журн. – 1980. – Т. 59, вып. 5. – С. 771–776.
14. Урба В. Ю. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. – М.: Медицина, 1975. – 295 с.

15. *Молярый*: пат. № 164529 Рос. Федерация: МПК A01M 1/00 (2006.01) / А.В. Гушин, Л.М. Колбина, А.С. Осокина; заявитель и патентообладатель Федерал. гос. бюджет. науч. учр. «Удмурт. НИИ сель. хоз-ва». – № 2015146055/13; заявл. 26.10.2015; опубл. 10.09.2016. Бюл. № 25. – 2 с.

REFERENCES

1. Urazbaev Zh.Z., *Vestn. NGAU*, 2010, No 14 (2), pp. 90–94. (In Russ.)
2. Androsenko O.S., Mayachenko E.P., *Prilozhenie matematiki v ekonomicheskikh i tekhnicheskikh issledovaniyakh*, 2014, No 4, pp. 219–225. (In Russ.)
3. Maksimenko L.A., *Interesno geo-Sibir*, 2010, No. 1 (3), pp. 42–45. (In Russ.)
4. Gandzhalova A.A., Golub A., Kostin V.E., Sokolova N.A., *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2012, No 4, pp.45–46. (In Russ.)
5. Zhernosekova I.V., Chernogor I.V., Tymchuk A.A., Vinnikov A.I., *Visn. Dnipropetrov. un. Biologiya. Ekologiya*, 2010, ser. 18, Vol. 1, pp. 20–28. (In Russ.)
6. Rykunova I.P., Vergeichik E.N., *Vestn. Voronezh. gos. un., ser. Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2006, No 2, pp.83–85. (In Russ.)
7. Ismailov V.Ya., Shirinyan Zh.A., Kvasenkov O.I., *Sposob razvedeniya Galleria mellonella L.*, pat. № RU 2210210 Ros. Federatsiya: MPK8 A01K67/033 vyrashchivanie ili razvedenie bespozvonochnykh, novye vidy bespozvonochnykh, заявитель» i patentoobladatel» Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii. institut biologicheskoi zashchity rastenii, No. 2001131301/13, заявл. 21.11.2001, 20.08.2003, 4 p.
8. Konovalova T.V. *Sovremennye sredstva i metody obespecheniya veterinarnogo blagopoluchiya po infektsionnoi i protozoinoi patologii zhivotnykh, ryb i pchel* (Modern means and methods for ensuring veterinary well-being for infectious and protozoan pathologies of animals, fish and bees), *metod. rekomendatsii po laboratornomu soderzhaniyu i razvedeniyu bol'shoi voskovoi ognivki Galleria mellonella L.*, Moscow, 2011, pp. 156–178. (In Russ.)
9. Shagov E.M., Ulanova G.I., Aslanyan E.M., *Iskusstvennyi korm dlya bol'shoi voshchinnoi pchelinoi ognivki*: pat. SSSR No. 3662964/30–15 MPK: A01K67, заявитель» i patentoobladatel», Vsesoyuznyi nauchno-issledovatel'skii institut prikladnoi mikrobiologii, № 3662964/30–15, заявл. 11.11.83, 23.05.1986, Byul. No. 19, 3 p. (In Russ.)
10. Marston N., Campbell B., *Annals of the Entomological society of America*, 1973, No. 1 (66), pp. 132–136.
11. Osokina A.S., Kolbina L.M., Gushchin A.V. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, No. 7 (30), pp 88–92. (In Russ.)
12. Tamarina N.A. *Itogi nauki i tekhniki. VINITI. Entomologiya*, 1987, Vol. 7, pp. 248. (In Russ.)
13. Starets V.A., Mencher E.M., *Zool. zhurn.*, 1980, Vol. 59, ser. 5., pp. 771–776. (In Russ.)
14. Urbakh V. Yu. *Statisticheskii analiz v biologicheskikh i meditsinskikh issledovaniyakh* (Statistical analysis in biological and medical research), Moscow, Meditsina, 1975, 295 p. (In Russ.)
15. Gushchin A.V., Kolbina L.M., Osokina A.S., *Molyarii*: пат. № 164529 Рос. Федерация: МПК A01M 1/00 (2006.01), заявитель» i patentoobladatel» Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie Udmurtskii nauchno-issledovatel'skii institut sel'skogo khozyaistva, No. 2015146055/13, заявл. 26.10.2015, 10.09.2016, Byul. No. 25, 2 p. (In Russ.)