

УДК630:232.41

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ
ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ
ГРИБНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Кулик Александр Антонович, Министр лесного хозяйства Республики Беларусь,
Копытков Владимир Васильевич, д.с.х.н., профессор,
ГНУ «Институт леса НАН Беларуси»,
Пироговская Галина Владимировна, д.с.-х.н., профессор,
РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»,
Авдашкова Людмила Павловна, к.ф.-м.н., доцент,
Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации**

**Kulik Alexander, Minister of Forestry of the Republic of Belarus, mlh@mlh.gov.by
Kopytkov Vladimir, Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, kopvo@mail.ru
Pirogovskaya Galina Vladimirovna, Doctor of Science, Professor, brissa_pir@mail.ru
Institute of Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus,
Avdashkova Lyudmila, Ph.D., Associate Professor, avdashkova@mail.ru
Belarusian University of Trade and Economics of Consumer Cooperation**

Математическое моделирование различных ингредиентов и их концентраций позволило разработать технологию получения новых удобрений на основе отходов грибного производства.

Ключевые слова: математическое моделирование, органоминеральные удобрения, степень готовности, агрохимический показатель.

Mathematical modeling of various ingredients and their concentrations allowed us to develop a technology for obtaining fertilizers based on mushroom production waste with optimal agrochemical indicators.

Keywords: mathematical modeling, organomineral fertilizers, degree of readiness, agrochemical indicator.

Проблема утилизации отходов лесного и сельскохозяйственного производства является одной из самых острых экологических проблем современности. Масштабы накопления таких отходов постоянно растут и отрицательно влияют на загрязнение окружающей среды. Многие виды этих отходов обладают ценными свойствами, делающими их пригодными для хозяйственного использования. Это открывает новые перспективы для переработки отходов и превращения их из источника экологических проблем в ценный вторичный ресурс.

По информации Министерства лесного хозяйства, в 2020 году объёмы древесных опилок составили 400 тысяч м³, что в четыре раза больше, чем в 2010 году. Этот показатель свидетельствует о значительном росте объемов отходов, требующих эффективной утилизации. Аналогичная ситуация наблюдается и в других секторах сельского хозяйства. Так, по данным СООО «Бонше» в Брестском районе ежегодно образуется 16,8 тысяч тонн отходов грибного производства (ОЖП). В условиях Корневской экспериментальной лесной базы НАН Беларуси при выращивании вешенки обыкновенной и шиитики ежегодно образуется более 60 тонн отходов грибного производства.

Исследование по технологии получения и применения органических удобрений проведены в соответствии с «Наставлением по выращиванию посадочного материала деревьев и кустарников в лесных питомниках Белоруссии» [1, с. 20]. Степень готовности органоминеральных удобрений

(ОМУ) и агрохимические показатели определяли в лаборатории «Новых форм удобрений и мелиорантов» ГНУ «Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». Степень готовности ОМУ определяли соотношением C/N, которое равно 25:1 [2, с. 118].

Исследования проведены с применением современных методов планирования эксперимента, которые обеспечивают более эффективное и целенаправленное изучение физико-химических свойств отходов грибного производства, а также разработку оптимальных технологий их переработки с минимальными затратами и максимальным лесоводственно-экономическим эффектом [3, с. 35]. Для оптимизации составов различных ингредиентов и их концентраций в удобрении использовали симплекс-решетчатые планы, предложенные Шеффе [4, с. 120], который ввел каноническую форму полинома степени n для решения задачи построения математической модели «состав-свойство». После определения оценок коэффициентов уравнения регрессии проводили статистический анализ полученных результатов: проверяли адекватность уравнения и строили доверительные интервалы значений отклика. «Симплекс-решетчатые» планы Шеффе не имеют степеней свободы, поэтому для проверки адекватности проводили опыты в дополнительных «контрольных точках». Полученные аппроксимирующие модели различных порядков использовали для предсказания откликов в любой точке симплекса. Точность предсказания отклика какой-либо фиксированной моделью различна в разных точках симплекса зависит от экспериментальной ситуации (дисперсии опыта, количества параллельных наблюдений в узлах симплексной решетки). Зная дисперсию предсказанного значения отклика и число параллельных опытов r , легко найти ошибку предсказанных значений отклика в любой точке диаграммы «состав-свойство». Так как оптимальные значения концентраций ингредиентов органоминеральных удобрений для одних свойств максимальны, а для других минимальны, то на основании применения коэффициентов значимости определяли концентрации, которые способствуют оптимальному проявлению сразу нескольких ингредиентов.

В таблице 1 представлена динамика изменения степени готовности органоминеральных удобрений с использованием отходов грибного производства и микробиологического препарата «Экобактер». Микробиологический препарат (МБП) «Экобактер» производится в г. Гомеле на основе бактерий *Lactobacillus spp*, *Enterococcus durans*, *Rhodopseudomonas palustris*, представляет собой культуральную жидкость, содержащую бактериальные клетки и продукты метаболизма вышеуказанных бактерий [5, с. 2].

Таблица 1. – Динамика степени готовности органоминеральных удобрений в зависимости от использования отходов грибного производства

Состав и соотношение ингредиентов	Повторность варианта опыта	Показатель соотношения C/N, месяц				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
1. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОЖП и ОГП 1,0:1,0:0,5:1,0:1,0.	1	66,8	38,4	25,6	22,8	18,9
	2	61,3	36,5	24,1	20,3	15,7
	3	65,1	36,4	25,3	21,1	18,2
	ср. знач.	64,2±6,99	37,1±2,79	25,0±1,97	21,4±3,17	17,6±4,18
2. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОЖП, ОГП 1,0:1,0:0,5:0,5:0,5.	1	68,4	39,7	29,3	24,9	19,0
	2	63,5	35,6	25,1	23,7	17,7
	3	61,1	39,6	28,4	24,0	19,4
	ср. знач.	66,0±9,24	38,3±5,8	27,6±5,49	24,2±1,55	18,7±2,2
3. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОГП 1,0:1,0:0,5:1,0+10%-ный раствор МБП.	1	66,4	35,9	25,7	20,9	20,3
	2	63,2	32,1	22,3	22,4	18,7
	3	65,4	32,8	25,8	23,0	19,2
	ср. знач.	65,0±4,07	33,6±5,02	24,6±4,95	22,1±2,69	19,4±2,03
4. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОГП 1,0:1,0:0,5:1,0.	1	64,3	30,4	27,3	24,1	19,6
	2	60,2	29,2	29,9	25,3	20,2
	3	64,8	37,6	30,1	25,6	21,4
	ср. знач.	63,1±6,27	32,4±11,29	29,1±3,88	25,0±1,97	20,4±2,28

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
5. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОЖП, ОГП (1,0;1,0;0,5;1,0;1,0).	1	71,4	31,5	26,0	20,9	18,9
	2	68,5	27,4	24,7	19,0	17,0
	3	70,4	29,3	24,3	21,6	19,9
	ср. знач.	70,1±3,66	29,4±5,10	25,0±2,21	20,5±3,34	18,6±3,70
6. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОЖП, ОГП (1,0;1,0;0,5;1,0;1,0)+10%-ный раствор МБП.	1	73,6	24,3	19,4	17,1	19,4
	2	70,4	26,1	22,5	19,4	18,3
	3	72,0	24,6	21,1	19,3	13,6
	ср. знач.	72,0±3,97	25,0±2,39	21,0±3,86	18,6±3,23	17,1±7,29

Как видно из таблицы 1 использование различных ингредиентов в составе органоминеральных удобрений способствует получению готового субстрата для выращивания посадочного материала в течение 2-4 месяцев.

При использовании микробиологического препарата «Экобактер» на варианте опыта №6 при соотношении ингредиентов торф, древесные опилки, хвойная кора, отходы жизнедеятельности птиц (ОЖП), отходы грибного производства (ОГП) + МБП (1,0;1,0;0,5;1,0;1,0) готовность органоминеральных удобрений зафиксирован на 2-ом месяце исследований. На вариантах опыта №1, №3 и №5 готовность ОМУ получена на 3-ьем месяце.

На всех остальных вариантах опыта степень готовности органоминеральных удобрений достигается на 3-ьем и 4-ом месяцах исследований. Использование матрицы планирования экспериментов позволило определить оптимальные концентрации всех ингредиентов и целевой добавки в виде микробиологического препарата «Экобактер».

В таблице 2 приведены оптимальные агрохимические показатели готовых органоминеральных удобрений на основе отходов грибного производства. Проведенные нами предварительные исследования позволили установить оптимальные агрохимические показатели: органическое вещество 60-65%; рН 5,0-5,5; общий азот 2,0-2,4%; фосфор 0,8-1,1%; калий 1,1-1,5%.

Таблица 2. – Агрохимические показатели органоминеральных удобрений с использованием отходов грибного производства

Состав органоминерального субстрата	Органическое вещество, %	рН	Содержание общих форм основных химических элементов, %		
			азота	фосфора	калия
Кобринский опытный лесхоз					
1. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОЖП, ОГП (1,0:1,0:0,5:1,0:1,0).	58,3	5,7	2,0	0,7	0,8
2. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОЖП и ОГП (1,0:1,0:0,5:0,5:0,5).	62,5	5,4	2,3	0,9	1,3
3. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОГП (1,0:1,0:0,5:1,0)+МБП.	61,7	5,4	2,2	1,1	1,4
4. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОГП (1,0:1,0:0,5:1,0).	57,4	5,5	1,7	0,7	0,9
Корневская ЭЛБ					
5. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОЖП, ОГП (1,0:1,0:0,5:1,0:1,0).	58,3	5,6	1,9	0,9	0,9
6. Торф, древесные опилки, хвойная кора, ОЖП, ОГП (1,0:1,0:0,5:1,0:1,0)+ МБП.	63,2	5,4	2,4	0,9	1,2

Как видно из данной таблицы наибольшее содержание органического вещества (63,2%) находится при использовании торфа, древесных опилок, хвойной коры, ОЖП, отходов грибного производства при соотношении 1,0;1,0;0,5;1,0;1,0 + МБП.

На опытном объекте в условиях Кореневской ЭЛБ с использованием отходов грибного производства при выращивании вешенки обыкновенной содержание органического вещества не достигает оптимальных показателей (58,3%). Содержание общего азота и общего калия также не соответствуют оптимальным показателям.

Водородный показатель зависит от ингредиентов ОМУ и варьирует в интервале от 5,4 до 5,7.

На двух вариантах №1 и №4 в Кобринском опытном лесхозе с использованием отходов грибного производства при выращивании вешенки обыкновенной содержание органического вещества не достигает оптимальных показателей (60,0-65,0%). На данных опытных объектах содержание общего азота и общего калия также не соответствуют оптимальным показателям.

На вариантах опыта №2 и №3 в Кобринском опытном лесхозе содержание органического вещества составляет 61,7-62,5%, а водородный показатель равен 5,4. Анализ содержания общих форм азота, фосфора и калия показывает, что данные элементы питания соответствуют оптимальным показателям.

Таким образом, проведенные исследования по получению органоминеральных удобрений буртовым способом с использованием отходов грибного производства и микробиологического препарата «Экобактер» позволяют на основе математического моделирования разработать оптимальные агрохимические показатели новых видов удобрений для выращивания стандартного лесного посадочного материала.

Список использованных источников

1. Наставление по выращиванию посадочного материала деревьев и кустарников в лесных питомниках Белоруссии // Гос. ком. СССР по лесн. хоз-ву, МЛХ БССР; сост. А.И. Савченко [и др.]. – Минск: Ураджай, 1986. – 111 с.
2. Копытков, В.В. Научно-технологические аспекты разработки и исследования композиционных материалов для лесовыращивания: монография / В.В. Копытков. – Мозырь: МГПУ им. И.П. Шамякина, 2022. – 190 с.
3. Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
4. Гартман, Т. Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. — 416 с.
5. Технические условия ТУ ВУ 810001157.013. – 2022. Препарат микробиологический «Экобактер». – 10 с.