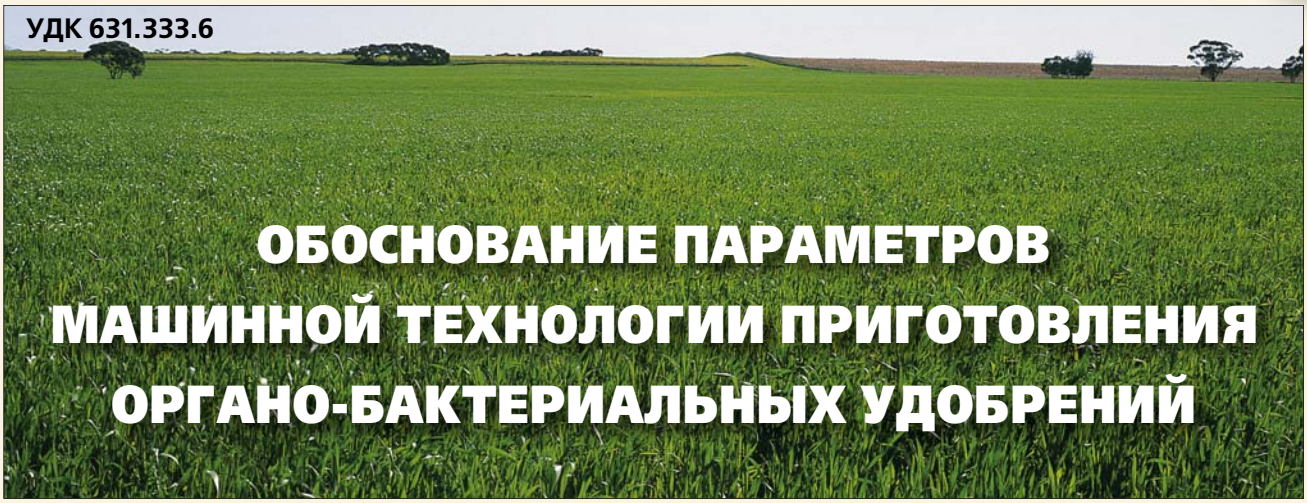
УДК 631.333.6



ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАШИННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОРГАНО-БАКТЕРИАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

ЛИЧМАН Г.И., *докт. техн. наук,*

МАРЧЕНКО Н.М., *докт. техн. наук,*

ЕЛИЗАРОВ В.П., *докт. техн. наук, профессор,*

МАРЧЕНКО А.Н., *ст. науч. сотр.*

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, e-mail: litchmang@rambler.ru

Рассмотрели вопросы, связанные с решением проблемы обеспечения растений азотом посредством применения азотофиксирующих биопрепаратов. Изложили требования к качеству приготовления органо-бактериальных удобрений на основе компостов и азотофиксирующих биопрепаратов группы Экстрасола. Провели теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию возможности применения биопрепаратов совместно с торфо-навозными компостами. Разработали проект технологического процесса и экспериментальную установку для приготовления органо-бактериальной смеси с заданным уровнем качества распределения биопрепарата в компосте. В процессе эксперимента изменяли продолжительность перемешивания от 1 до 12 мин. Установили значения частоты вращения ротора-смесителя: 40, 60, 80 и 100 об/мин. Равномерность распределения биопрепарата в смеси оценивали коэффициентом вариации контрольного элемента, в качестве которого использовали семена сахарной свеклы. Выявили, что качество распределения биопрепарата в массе компоста зависит от частоты вращения ротора-смесителя и времени перемешивания. При фиксированном времени перемешивания с увеличением частоты вращения качество распределения в массе контрольного элемента, оцениваемого коэффициентом вариации, сначала уменьшается, а затем при достижении частоты 65-70 об/мин начинает увеличиваться. На качество распределения положительно влияет также продолжительность перемешивания. При фиксированной частоте вращения ротора-смесителя по истечении 3-4 мин равномерность перемешивания стабилизируется. Определили, что при загрузке в установку до 50 кг смеси (49 кг компоста + 1 кг биопрепарата) коэффициент вариации контрольного элемента, характеризующий качество распределения биопрепарата, составил 10-13 процентов при частоте вращения 65 об/мин и времени перемешивания 3 мин.

Ключевые слова: *компост, органо-бактериальные удобрения, установка для инокуляции.*

Ежегодный вынос питательных веществ из почв пашни в Российской Федерации в 5 раз превышает их возврат с вносимыми удобрениями. В связи с этим в почве сложился отрицательный баланс питательных веществ: большая часть урожая формируется за счет мобилизации почвенного плодородия без компенсации выносимых с урожаем элементов питания [1-4].

Реальный выход из сложившейся ситуации заключается в разработке агротехнологий, позволяющих повысить накопление «биологического» азота посредством возделывания бобовых культур и применения азотофиксирующих биопрепаратов [5].

Сложность разработки вопросов механизации процессов использования бактериальных удобрений предопределяется, с одной стороны, их низкой устойчивостью, а с другой – жесткими требованиями к процессам дозирования и распределения исходных компонентов, обладающих неоднородными физико-механическими и реологическими свойствами.

Разрабатываемый технологический процесс и

технические средства должны обеспечивать равномерное распределение бактериальных смесей массой $m_0 \approx 200\text{-}3000$ г в материале-наполнителе (компосте) массой $M_к$=15-30 т. Сформулировать требования к качеству смешивания биопрепарата с компостом можно лишь в том случае, если известны функции отзывчивости той или иной сельскохозяйственной культуры на возрастающие нормы азотфиксирующих биопрепаратов и качество распределения их по полю. Норма биопрепарата определяется с таким расчетом, чтобы микробная нагрузка или титр на единицу площади поля или в одном посадочном месте (в случае локального внесения удобрений при посадке картофеля) не была ниже допустимого уровня [5].

Наряду с нормой биопрепарата при оценке качества выполнения технологического процесса необходимо учитывать и равномерность распределения биопрепарата по всему обрабатываемому полю [6-8].

На основании анализа литературных источников и результатов полевых опытов, проводимых ВИМ [7], в качестве рабочей гипотезы было принято, что урожайность сельхозкультуры, например картофеля, зависит как от дозы вносимого компоста D, так и нормы H или титра T азотфиксирующих микроорганизмов и качества их внесения [9, 10].

Материалы и методы. *Аналитические исследования.* При выполнении аналитических исследований функция отзывчивости сельскохозяйственной культуры на различные дозы компоста и нормы внесения азотфиксирующих биопрепаратов была представлена в следующем виде:

$$Y = (D, H, a_0, a_1, b_1, b_2), \quad (1)$$

где D – средняя доза внесения компоста, кг/га;

H – норма внесения биопрепарата, кг/га;

a_0, a_1, b_1, b_2 – коэффициенты полинома, получаемые экспериментально.

В случае квадратичной зависимости урожайности сельхозкультуры от D и H среднюю урожайность находим по формуле:

$$\overline{Y} = a_0 + a_1 D + a_2 D^2 \left(\frac{Q_{нD}^2}{10^4} + 1 \right) + b_1 H + b_2 H^2 \left(\frac{Q_{нH}^2}{10^4} + 1 \right) + c(DH + k_{DH}), \quad (2)$$

где $Q_{нD}$, $Q_{нH}$ – коэффициенты вариации распределения в почве компоста и биопрепарата соответственно; k_{DH} – корреляционный момент.

Из (2) следует, что механизированный технологический процесс приготовления и внесения органо-минеральных компостов совместно с азотофиксирующими микроорганизмами необходимо характеризовать средней дозой D, нормой H и комплексными показателями неравномерности компоста $Q_{нD}$ и биопрепарата $Q_{нH}$.

Учитывая, что до сих пор не установлены функции отзывчивости сельскохозяйственных культур на тот или иной вид биопрепарата при совместном использовании их с компостом, вносимым с заданной дозой, мы воспользовались на первом этапе исследований имеющимися данными о допустимых значениях титра под одно посадочное место картофеля. Например, титр азотобактера должен быть не менее $T_{доп}=10^{7\text{-}9}$. Из-за неравномерного распределения биопрепарата в компосте, а также компоста по ширине и длине прохода агрегата в каждое посадочное место попадает разное количество компоста, а следовательно, и биопрепарата. Титр его равен:

$$T_{пм} = 10^n m_{бпм}, \quad (3)$$

где $m_{бпм}$ – масса биопрепарата в одном посадочном месте.

При внесении азотфиксирующих биопрепаратов совместно с компостами локально в борозды титр биопрепарата вычисляем по формуле:

$$T_{пм} = k10^n m_0 = 10^n m_{бпм}, \quad (4)$$

где k – коэффициент, характеризующий количество удобрений, попадающих в зону формирования клубней.

Следовательно, обеспечить заданный титр биопрепарата в одном посадочном месте можно лишь в том случае, если в ходе технологического процесса будет достигнуто необходимое качество распределения гектарной нормы биопрепарата m_0 в массе компоста, вносимого на 1 га, и внесение заданной массы компоста под одно посадочное место.

Непосредственное смешение двух компонентов биопрепарата и компоста, находящихся по массе в соотношении 1:15000 и выше, не представляется возможным. Это объясняется не только тем, что сыпучие материалы наиболее неудобны для смешения, но и тем, что описание процесса смесеобразования весьма специфичны и сложны.

Учитывая это, задачу можно упростить посредством многоступенчатого смешивания. Например, на первой ступени биопрепарат смешивают с балластом $M_б$, а полученную смесь – с остальной массой компоста. В качестве балласта может быть использован вносимый компост, песок или другой сыпучий материал.

Для того чтобы установить, каким же должен быть коэффициент вариации контрольного элемента в смеси, необходимо установить функциональную связь между коэффициентом вариации, характеризующим качество выполнения операций, влияющих на конечный результат, и коэффициентом вариации титра (контрольного компонента) в посадочном месте. Для оценки качества выполнения процесса смешивания биопрепарата с компостом введем следующие коэффициенты вариации: коэффициент вариации биопрепарата в балласте – $Q_{m/Мб}$, балласта в компосте – $Q_{Мб/Мк}$, компоста в посадочном месте – $Q_{мк/пм}$.

Коэффициент вариации титра биопрепарата в посадочном месте можно представить в следующем виде:

$$Q^2_{Т/пм} = (Q^2_{Т/Мб}\cdot Q^2_{Мб/Мк}+Q^2_{Т/Мб}+Q^2_{Мб/Мк})\cdot Q^2_{Мк/пм}+$$

$$+Q^2_{Т/Мб}\cdot Q^2_{Мб/Мк}+Q^2_{Т/Мб}+Q^2_{Мб/Мк}+Q^2_{Мк/пм}\,. \qquad (5)$$

Учитывая, что титр пропорционален массе биопрепарата, с определенной степенью достоверности можно считать, что $Q_{m/Мб} \approx Q_{Т/Мб}$.

Тогда, если узел тонкого смешивания позволяет добиваться равномерного распределения биопрепарата или контрольного элемента в балласте, то есть если $Q_{Т/Мб} \approx Q_{кэ} = 0$, выражение для определения коэффициента вариации (5) упрощается и принимает вид:

$$Q^2_{Т/пм} = Q^2_{Т/Мб}\cdot Q^2_{Мб/Мк} + Q^2_{Т/Мб} + Q^2_{Мк/пм}. \qquad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что для достижения необходимого качества распределения титра в посадочном месте необходимо, чтобы коэффициенты вариации, характеризующие качество распределения балласта в массе компоста $Q_{Мб/Мк}$ и компоста в посадочном месте $Q_{мк/пм}$ соответствовали условию:

$$Q^2_{Мб/Мк}\, Q^2_{Мк/пм} + Q^2_{Мб/Мк} + Q^2_{Мб/Мк}\cdot Q^2_{Т/пм\,доп}\,, \qquad (7)$$

где $Q^2_{Т/пм\,доп}$ – допустимый коэффициент вариации, при котором обеспечивается с заданной вероятностью требуемый титр биопрепарата в посадочном месте.

В каждом конкретном случае коэффициент вариации зависит от требуемого титра $T_{доп}$, то есть $Q_{Т/пм} = Q_{Т/пм}(T_{доп})$. Используемые в настоящее время машины (типа РОУ-6 с приспособлением) обеспечивают внесение компоста с коэффициентом вариации $A = Q_{мк/пм}$, поэтому для выполнения условия (6) коэффициент вариации массы балласта в компосте должен удовлетворять условию:

$$Q_{Мб/Мк} \le \sqrt{\frac{Q^2_{Т/пм\,доп} - A^2}{A^2 + 1}}. \qquad (8)$$

Выражение (8) имеет смысл при $A \le Q_{Т/пм\,доп}$. В противном случае необходимо повышать качество внесения компоста, то есть снижать неравномерность распределения по бороздам и по длине прохода агрегата.

Влиять на величину $Q_{Мб/Мк}$ можно, изменяя величину подачи балласта и компоста в смесительную установку, частоту вращения шнека смесителя и место подачи балласта.

Экспериментальные исследования. Учитывая, что в практике сельскохозяйственного производства нашей страны, а также за рубежом органические удобрения на основе азотфиксирующих биопрепаратов до последнего времени не находили широкого применения, специальную технику для их приготовления и внесения не разрабатывали. В связи с этим на первом этапе решения проблемы создана установка для инокуляции компоста биопрепаратами *(рис. 1)*.

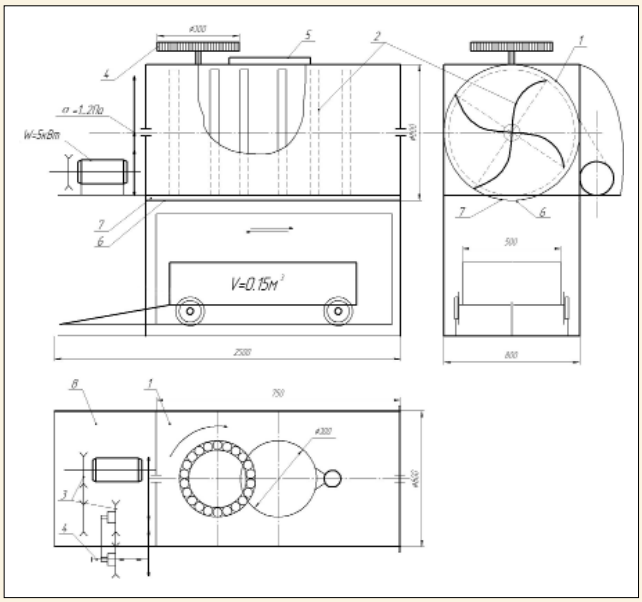


Рис. 1. Конструктивная схема установки для инокуляции компоста биопрепаратами: 1 – барабан смесительный; 2 – ротор-смеситель; 3 – механизм привода; 4 – дозатор; 5 – люк загрузочный; 6 – заслонка шиберная; 7 – окно загрузочное; 8 – рама установки

С целью обоснования режимов работы установки для инокуляции органических удобрений биопрепаратами производство органо-бактериальной смеси осуществляли в лабораторных условиях. Компост массой 49 кг, очищенный от посторонних включений, через загрузочный люк засыпали в установку. Затем с помощью дозатора подавали биопрепарат (1 кг), тщательно смешанный с контрольным

компонентом.

В процессе эксперимента изменяли частоту вращения ротора-смесителя (40, 60, 80 и 100 мин$^{-1}$) и время перемешивания (от 1 до 12 мин). Частоту вращения ротора-смесителя замеряли тахометром. Клиноременная передача позволяла устанавливать частоту вращения с точностью ±3-5 мин$^{-1}$. Время перемешивания измеряли с помощью секундомера. Смешивание в каждом режиме осуществляли в трехкратной повторности. После окончания перемешивания открывали шиберную заслонку и выгружали смесь в тележку. Смесь равномерно распределяли по тележке и отбирали 20-50 проб массой 100 г. Затем из каждой пробы выбирали контрольный элемент и рассчитывали коэффициент вариации его в массе смеси. В качестве контрольного элемента были взяты окрашенные в желтый цвет семена сахарной свеклы размером 4-5 мм. Количество семян брали из расчета попадания в пробу готовой смеси 10-20 шт. Учитывая, что плотность контрольного элемента близка к плотности биопрепарата, мы априори считали, что их распределение будет аналогичным. Поэтому о качестве распределения биопрепарата в компосте с определенной степенью точности можно судить по коэффициенту вариации контрольного элемента.

Качество смешивания компонентов оценивали среднеквадратическим отклонением содержания контрольного компонента в пробах, взятых из смеси. Величину среднеквадратического отклонения σ по данным опытов подсчитывали по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \overline{m})^2}{n-1}}, \quad (9)$$

где x_i – значение случайной величины X в i-м опыте, в нашем случае – содержание контрольного компонента в i-й пробе; m – среднее арифметическое наблюдаемых значений величины X в нашем случае – среднее арифметическое содержание контрольных элементов во всех пробах; n – общее число отобранных проб.

Для повышения достоверности опытов при исследовании качества перемешивания необходимо, чтобы масса контрольного элемента в единице массы пробы готовой смеси или количество частиц в случае штучного компонента были не меньше определенной величины $m_{к.к.} \geq m_{кэ.з}$ или $n_{см.пр.} \geq n_{см.пр.з}$.

Пусть $n_к$ – количество контрольного элемента в единице массы балласта. Тогда во всем балласте будет:

$$N_б = n_к M_{б\,шт}, \quad (10)$$

а в единице массы смеси

$$N_{см} = \frac{n_к M}{M_к + M_б}, \quad (11)$$

где $N_б$ – количество контрольного элемента во всей биомассе;

$M_б$ – масса балласта;

M – общая масса (балласт+ контрольный элемент);

$M_{шт}$ – масса единицы контрольного компонента.

Если мы отбираем пробу, равную n, то количество контрольного компонента при идеальном перемешивании будет равно:

$$N_{пр} = \frac{n_к M}{M_к + M_б} m_{шт}. \quad (12)$$

Принимая во внимание (12), получим ограничение на количество (шт.) контрольного компонента в единице массы балласта:

$$n \geq n_{см.пр.з} (M_к + M_б) / M_б. \quad (13)$$

Например, если мы хотим, чтобы в единице массы $n_{см.пр.з}$ =10 шт., а $M_к$ =1000 кг и $M_б$ =100 кг, то $n \geq 110$ шт.

Результаты и обсуждение. В ходе обработки экспериментальных данных установлено, что качество распределения биопрепарата в массе компоста зависит от частоты вращения ротора-смесителя и времени перемешивания. При фиксированном времени перемешивания с увеличением частоты вращения качество распределения контрольного элемента, оцениваемого коэффициентом вариации, сначала уменьшается, а затем при достижении частоты 65-70 мин$^{-1}$ начинает увеличиваться *(рис. 2)*.

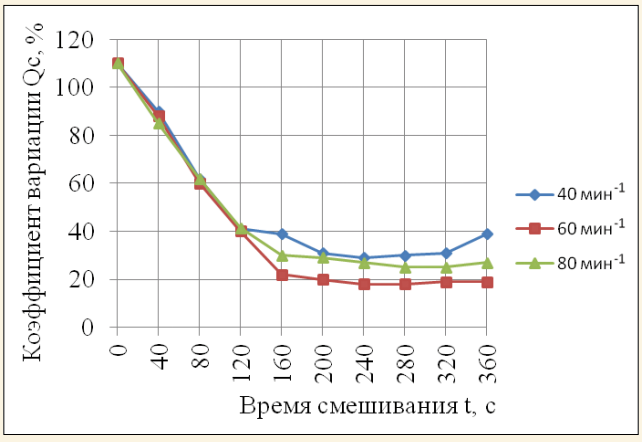


Рис. 2. Изменение коэффициента вариации биопрепарата в зависимости от продолжительности процесса смешивания и частоты вращения ротора

Это можно объяснить тем, что, несмотря на то, что плотность контрольного элемента близка к плотности компоста, с ростом частоты вращения начинают сильнее проявляться центробежные силы и происходит сегрегация контрольного элемента. Время также влияет на качество перемешива-

ния. При фиксированной частоте вращения ротора-смесителя с увеличением продолжительности времени перемешивания равномерность распределения улучшается. Затем по истечении 3-4 мин она начинает стабилизироваться с незначительным отклонением ±2-3% от некоторого среднего значения, которое зависит от частоты вращения.

Проверка опытного образца выявила, что при загрузке в установку до 50 кг смеси (49 кг компоста +1 кг биопрепарата) коэффициент вариации распределения контрольного элемента составил 10-13% при частоте вращения 65 мин$^{-1}$ и времени перемешивания 3 мин.

Продолжительность процесса смешивания t_c компоста с биопрепаратом для получения смеси с заданным коэффициентом вариации Q_c можно определить по кинетике смешивания для конкретных условий, ориентируясь на достижение нижнего порога изменчивости Q_c. Применительно к коэффициенту вариации уравнение кинетики смешивания можно представить в следующем виде:

$$Q_C(t) = Q_{Ca} + (Q_{CO} - Q_{Ca})\, e^{-t/\tau}, \qquad (14)$$

где $Q_C(t)$ – текущее значение коэффициента вариации концентрации контрольного компонента в пробах;

Q_{CO}, Q_{Ca} – начальное и конечное значения концентрации;

τ – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность времени и характеризующий интенсивность процесса смешивания, состояние и способность компонентов к смешиванию.

Для рассматриваемого случая уравнение кинетики смешивания имеет вид:

$$Q_C(t) = 13 + 97e^{-t/95,1}.$$

Выводы. Исследования на лабораторно-полевой установке показали, что качество распределения биопрепарата в компосте, оцениваемое коэффициентом вариации контрольного элемента в смеси, зависит от продолжительности перемешивания и частоты вращения ротора-смесителя.

Варьируя перечисленные факторы, можно изменять уровень распределения контрольного компонента в смеси на выходе из установки. Определено, что при загрузке в установку до 50 кг смеси (49 кг компоста +1 кг биопрепарата) коэффициент вариации контрольного элемента, характеризующий качество распределения биопрепарата, составил 10-13% при частоте вращения 65 мин$^{-1}$ и времени перемешивания 3 мин.

Литература

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Инновационные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сб. докл. XII Междунар. науч.-техн. конф. Ч. I. – М.: ВИМ, 2012. – С. 31-44.

2. Кондратов А.Ф., Лобачевский Я.П., Логин А.Д. Современные технологии и средства механизации обработки почвы, посева, посадки, внесения удобрений и защиты растений. – Новосибирск: НГАУ, 2002. – 248 с.

3. Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Личман Г.И., Марченко Н.М. Методика отбора почвенных проб по элементным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. – М.: ВНИИА, 2007. – 36 с.

4. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 6. – С. 6-10.

5. Доросинский Л.М. Бактериальные удобрения – дополнительное средство повышения урожая. – М.: Россельхозиздат, 1965. – 170 с.

6. Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М., Шевцов В.Г. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 1. – С. 11-14.

7. Измайлов А.Ю., Личман Г.И., Марченко Н.М. Точное земледелие – проблемы и пути решения // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 5. – С. 9-14.

8. Личман Г.И. Основные принципы и перспективы применения точного земледелия. – М.: ВИМ, 2004. – 79 с.

9. Личман Г.И., Марченко Н.М. Механика и технологические процессы применения органических удобрений. – М.: ВИМ, 2001. – 336 с.

10. Измайлов А.Ю., Марченко Н.М., Личман Г.И. Перспективы механизации применения органических удобрений // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 3. – С. 9-11.

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF MACHINE TECHNOLOGY OF ORGANO-BAKTERIAL FERTILIZERS PREPARATION

G.I. Lichman, N.M. Marchenko, V.P. Elizarov, A.N. Marchenko

All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: litchmang@rambler.ru

Questions connected with a solution of a problem of providing plants with nitrogen by means of nitrogen-fixing biological preparations application were considered. Requirements to quality of organo-bacterial fertilizers preparation on the basis of composts and the nitrogen-fixing biological preparations of Extrasol group were stated. Theoretical and experimental researches for justification of possibility of biological products application together with peat-manure composts were conducted. A project of technological process and experimental facilities for organo-bacterial mix preparation with a set quality level of biological product distribution in compost were developed. In the course of experiment the time length of mixing was modified from 1 to 12 min. There were set the values of rotation frequency of a rotor mixer: 40, 60, 80 and 100 rpm. Uniformity of biological product distribution in the mix was estimated by coefficient of a variation of a control element for which sugar beet seeds were used. It was revealed that quality of biopreparation distribution in the compost mass depends on the rotor mixer rotation frequency and time length of mixing. At the constant mixing time with increase in frequency of rotation quality of distribution in the mass of the control element estimated by variation coefficient at first decreases, and then at achievement of the frequency of 65-70 rpm it starts to increase. Quality of distribution is influenced positively also by time length of mixing. With the constant frequency of rotor mixer rotation uniformity of mixing was stabilized after 3-4 min. When facilities loading to 50 kg of mix (49 kg of compost +1 kg of a biological product) the coefficient of a control element variation characterizing distribution quality made 10-13 percent with a frequency of rotation of 65 rpm and time of mixing of 3 min.

Keywords: *Compost; Organo-bacterial fertilizers; Inoculating machine.*

References

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Innovatsionnye mekhanizirovannye tekhnologii i avtomatizirovannye tekhnicheskie sistemy dlya sel'skogo khozyaystva [Innovative mechanized technologies and the automated technical systems for agriculture]. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sb. dokl. XII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch.I. Moscow: VIM, 2012. pp. 31-44 (Russian).

2. Kondratov A.F., Lobachevskiy Ya.P., Login A.D. Sovremennye tekhnologii i sredstva mekhanizatsii obrabotki pochvy, poseva, posadki, vneseniya udobreniy i zashchity rasteniy. [Modern technologies and means of mechanization for soil cultivation, sowing, planting, fertilization and crop protection] Novosibirsk: NGAU, 2002. 248 pp. (Russian)

3. Sychev V.G., Afanas'ev R.A., Lichman G.I., Marchenko N.M. Metodika otbora pochvennykh prob po elementnym uchastkam polya v tselyakh differentsirovannogo primeneniya udobreniy [Technique of soil tests selection in element sites of a field for the differentiated fertilizers application]. Moscow: VNIIA, 2007. 36 pp. (Russian).

4. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machinery and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period till 2020]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2013. No. 6. pp. 6-10 (Russian).

5. Dorosinskiy L.M. Bakterial'nye udobreniya – dopolnitel'noe sredstvo povysheniya urozhaya [Bacterial fertilizers are an additional agent for yield increase]. Moscow: Rossel'khozizdat, 1965. 170 pp. (Russian).

6. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. Iskhodnye trebovaniya na tekhnologicheskie operatsii v rastenievodstve [Initial requirements of technological operations in plant growing]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2011. No. 1. pp. 11-14 (Russian).

7. Izmaylov A.Yu., Lichman G.I., Marchenko N.M. Tochnoe zemledelie – problemy i puti resheniya [Precision agriculture: problems and solutions]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2010. No. 5. pp. 9-14 (Russian).

8. Lichman G.I. Osnovnye printsipy i perspektivy primeneniya tochnogo zemledeliya [Basic principles and prospects of use of precision agriculture]. Moscow: VIM, 2004. 79 pp. (Russian).

9. Lichman G.I., Marchenko N.M. Mekhanika i tekhnologicheskie protsessy primeneniya organicheskikh udobreniy [Mechanics and technological processes of organic fertilizers application]. Moscow: VIM, 2001. 336 pp. (Russian).

10. Izmaylov A.Yu., Marchenko N.M., Lichman G.I. Perspektivy mekhanizatsii primeneniya organicheskikh udobreniy [Prospects of mechanization of organic fertilizers application]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2010. No. 3. pp. 9-11 (Russian).