

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛЕКИСЛОТНЫХ ЭКСТРАКТОВ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ
НА ИНДЕКС АЗОТНОГО БАЛАНСА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУРEVALUATION OF THE EFFECT OF CARBON DIOXIDE EXTRACTS OF SIBERIAN FIR
ON THE NITROGEN BALANCE INDEX OF GRAIN CROPS

Ключевые слова: пигментный комплекс, биостимуляторы роста, хлорофилл, экстракт пихты сибирской, индекс азотного баланса, фотосинтез, метаболизм растений.

Использование биостимуляторов – один из известных способов повышения устойчивости растений к неблагоприятным факторам. Функции, характеризующие эту категорию веществ: стимуляция роста, регуляция метаболизма в растительных клетках, адаптация к неблагоприятным условиям окружающей среды и повышение иммунитета растений к различным заболеваниям. Используемый нами препарат изготовлен на основе клеточного сока пихты, полученного путем углекислотной экстракции пихты сибирской. Хвойные деревья сами по себе являются большим резервуаром для различных соединений, в том числе для тритерпенов. Также большую группу биологически активных веществ в хвойных составляют фитонциды – вещества, содержащиеся в самом растении и подавляющие рост различных патогенных микроорганизмов. В составе данного биостимулятора присутствуют фенольные соединения и комплекс различных макро- и микроэлементов, которые нужны для оптимизации обменных процессов в растительной клетке, способствуют запуску собственных защитных процессов растения на внешние воздействия. В нашей исследовательской работе мы изучили действие двух препаратов на основе пихты: Агро-САС и Клеточный сок пихты в концентрациях 0,1 и 0,5%. Установили среднее количество хлорофилла а + b в контроле и опыте на пшенице и овсе, а также содержание флавоноидов и индекс азотного баланса. Установлены особенности изменения содержания пигментов под воздействием препаратов, отражающие возможности адаптации растений. Обнаружена корреляция между массой 1000 семян и азотным балансом. Объектами исследования

служили представители зерновых культур *Triticum aestivum* L. (мягкая пшеница) сорта Ирень и *Avena sativa* L. (овес посевной) сорта Метис.

Keywords: pigment complex, growth biostimulants, chlorophyll, Siberian fir extract, nitrogen balance index, photosynthesis, metabolism of plants

The use of biostimulants is one of the known ways to increase plant resistance to adverse factors. Functions that characterize this category of substances: growth stimulation, regulation of metabolism in plant cells, adaptation to adverse environmental conditions and an increase in plant immunity to various diseases. The preparation used by us is made on the basis of fir cell sap obtained by carbon dioxide extraction of Siberian fir. Conifers, by themselves, are a large reservoir for various compounds, including triterpenes. Besides, an important group of biologically active substances in conifers is that one of phytoncides - substances that suppress the growth of various pathogenic microorganisms. The composition of this biostimulant contains phenolic compounds and a complex of various macro- and microelements, which are needed to optimize metabolic processes in a plant cell, promotes the launch of the plant's own defense reactions to external influences. In our research work, we studied the action of two substances on this basis: Agro-SAS and Fir cell sap. The average amount of chlorophyll a+b was revealed in the control and experiment on wheat and oats, as well as the content of flavonoids and the nitrogen balance index. The features of changes in the content of pigments, which reflected the possibilities of plant adaptation, were established. A correlation was also found between the weight of 1000 seeds and nitrogen balance. The objects of research were representatives of grain crops *Triticum aestivum* L. (soft wheat) varieties Iren and *Avena sativa* L. (seed oats) varieties Metis.

Ковалева Алина Леонидовна, аспирант, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Российская Федерация, e-mail: iophosse@gmail.com.

Kovaleva Alina Leonidovna, post-graduate student, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation, e-mail: iophosse@gmail.com.

Зиннер Надежда Сергеевна, к.б.н., доцент, н.с., Сибирский ботанический сад, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Российская Федерация, e-mail: zinner@inbox.ru.

Некратова Анна Николаевна, к.б.н., н.с., Сибирский ботанический сад, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Российская Федерация, e-mail: aqulegia@gmail.com.

Шукина Анастасия Васильевна, магистрант, Сибирский ботанический сад, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Российская Федерация, e-mail: anastassyachshukina@mail.ru.

Zinner Nadezhda Sergeevna, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Staff Scientist, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation, e-mail: zinner@inbox.ru.

Nekratova Anna Nikolaevna, Cand. Bio. Sci., Staff Scientist, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation, e-mail: aqulegia@gmail.com.

Shchukina Anastasia Vasilyevna, master's degree student, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation, e-mail: anastassyachshukina@mail.ru.

Введение

Биорегуляторы роста – группа соединений разной природы, которая в малых концентрациях способна влиять на обмен веществ высших растений. Регуляторы на основе клеточного сока пихты, выделенного экстракцией углекислым газом из хвойной лапки пихты сибирской, содержат различные фенольные соединения, участвующие в дыхании растений, и комплекс элементов, необходимых для питания растений, а также для оптимизации обменных процессов в растительной клетке. Вещества, которые мы используем для этого, являются активаторами роста с общим стимулирующим действием, контролируют многие процессы в жизни растений, активируя естественные защитные реакции. Экстракция препаратов проводилась сжиженным углекислым газом. Такой вид экстракции проводится при низких температурах, это позволяет сохранить и извлечь без изменений и разрушений неустойчивые к действию высоких температур биологически активные вещества растения (тритерпеноиды, терпенофенолы, витамины, флавоноиды и т.д.). Нами изучались два препарата на этой основе в концентрациях, рекомендованных для стимуляторов роста (0,1 и 0,5%). Препарат клеточного сока пихты – собственно сам клеточный сок, выделенный путем углекислотной экстракции из лапки пихты сибирской. Агро-САС – фракция, содержащая в себе хвойные тритерпено-

вые смоляные и жирные кислоты, а также фенольные соединения.

Определяемый индекс азотного баланса – показатель, который характеризует соотношение хлорофилла a+b к флавоноидам. Азотный статус растений определяется полифенолами, а в частности флавоноидами: когда растения не нуждаются в азоте, они используют основной обмен веществ, который обеспечивает синтез азотсодержащих молекул. При недостатке азота растения направляют свой метаболизм на увеличение синтеза флавоноидов [1-4]. Показатель массы 1000 штук семян характеризует способность растений обеспечивать привлечение метаболитов в формирующееся семя, что также связано с индексом азотного баланса растений.

Целью исследований являлось изучение влияния биостимуляторов на основе экстрактов пихты сибирской на индекс азотного баланса зерновых культур.

Для этого были поставлены следующие **задачи**: 1) провести сравнительную оценку и установить различия в состоянии показателя азотного баланса после воздействия препаратов на основе клеточного сока пихты, используя портативный флавоноид- и хлорофиллометр DUALEX 4 (Франция); 2) определить массу 1000 семян в контрольном и опытном вариантах; 3) провести корреляционный анализ для вышеназванных показателей.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись представители зерновых сельскохозяйственных культур *Triticum aestivum* L. (пшеница мягкая) сорта Ирень и *Avena sativa* L. (овес посевной) сорта Метис, семена которых перед посевом были обработаны препаратами клеточного сока пихты путем замачивания: Агро-САС и Клеточный сок пихты в концентрациях 0,1 и 0,5%, контроль обрабатывался водой. Высев в открытый грунт проводили на светло-серых лесных автоморфных почвах. Всего было высеяно 5 учетных площадок на каждую культуру, на каждом из которых расположили по 4 повторности 100 шт. семян. Высев в открытый грунт выполнялся систематическим методом, сплошным рядовым способом, с шириной междурядий в 50 см, глубина заделки составляла от 1 до 1,5 см, площадь делянки – 1 м², срок сева – весенний (19 мая). Все высевы в грунт проводились в соответствии с общепринятой методикой по Б.А. Доспехову [5]. При измерении параметров физиологии зерновых культур применялся метод фотометрической диагностики. Определяли содержание хлорофиллов а + б, флавоноидов и индекс азотного баланса (NBI). Для этого нами использовался флавоноид- и хлорофиллометр Dualex 4. Измерение оптического поглощения УФ-излучения эпидермиса основано на флуоресценции, излучаемой хлорофиллом, расположенным в мезофилле, зажим для листьев Dualex 4 количественно измеряет оптическое поглощение эпидермиса листьев в УФ-диапазоне. Показателем NBI является количественное соотношение хлорофилла и флавоноидов [6]. Измерения проводились в фазу цветения (вторая декада июля) на 20 модельных растениях каждого варианта. Семенную продуктивность определяли на 20-25 модельных растениях каждого варианта в соответствии с ГОСТ 19449-93 [7, 8]. Статистическая обработка данных проводилась методом дисперсионного, корреляционно-регрессионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием программы IBM SPSS Statistics.

Результаты и обсуждение

Данные многих исследований показали, что изменение количественного содержания пигментов под воздействием различных внешних экологических факторов в период, когда растение активно развивается, а также функциональная активность фотосинтетического аппарата определяют, насколько вид адаптировался в данных условиях обитания [1-4, 9, 10]. Нами были выполнены измерения пигментов пшеницы (*Triticum aestivum* L.) (табл. 1).

Как уже указывалось ранее, если растительный организм находится в оптимальной форме, то он использует основной обмен веществ и синтезирует белки, которые определяют индекс азотного баланса, и напротив, в случае дефицита азота растение направляет метаболизм на синтез флавоноидов [1]. Проведенные исследования позволили заключить, что препараты клеточного сока пихты благотворно влияют на физиологические процессы пшеницы. Положительные результаты показал Клеточный сок в концентрации 0,1% (хлорофилл – 43,8 мкг/см² в сравнении с контролем 39,8 мкг/см²), при этом количество флавоноидов оказалось в этом варианте в меньшем количестве из всех показателей. Показатель индекса азотного баланса (NBI) характеризует соотношение хлорофилла (а+б) к флавоноидам, и, следовательно, вариант с клеточным соком показал лучший результат (27,2 мкг/см², по сравнению с контрольным 24,1 мкг/см²). В целом, оба препарата оказали положительное влияние на пигментный комплекс. В варианте с контролем содержание хлорофиллов оказалось самым низким (39,4 мкг/см² – хлорофилл, в сравнении с максимальным показателем 43,8, флавоноидов – 1,65, NBI – 24,1, что является самым низким показателем по сравнению с остальными (опытными) вариантами). Составление пигментного комплекса влияет на устойчивость растительных организмов к неблагоприятным факторам среды. Таким образом, следует предположить, что растения, обработанные препаратами, имеют большую устойчивость к неблагоприятным факторам.

Содержание хлорофиллов (a+b) и флавоноидов *Triticum aestivum* L.

	Индекс азотного баланса, мкг/см ²	Хлорофилл	Флавоноиды
Контроль	24,1	39,4	1,65
Клеточный сок 0,1%-ный	27,2	43,8	1,62
Клеточный сок 0,5%-ный	25,7	43,6	1,71
Агро-САС 0,1%-ный	27,0	43,3	1,61
Агро-САС 0,5%-ный	25,3	42,1	1,67

У овса также зафиксирована тенденция к положительному увеличению изучаемых показателей. Препараты, в целом, благотворно влияют на пигментный комплекс овса (табл. 2), в частности, Клеточный сок пихты в концентрации 0,5% увеличивает содержание хлорофилла до 44,3 мкг/см² (контроль 32,6 мкг/см²). Второй по результату – Агро-САС 0,1% (хлорофилл – 42,1 мкг/см²), соответственно, и индекс азотного баланса в этих вариантах показывает высокие результаты (Клеточный сок 0,5% – 32,6 мкг/см², Агро-САС 0,1% – 30,6 мкг/см², по сравнению с контролем 21,4 мкг/см²). Для овса отмечено, что исследуемые препараты во всех концентрациях не способствуют увеличению показателей эпидермальных флавоноидов, по сравнению с контролем – 1,53 мкг/см².

На массу 1000 семян показано неоднозначное действие препаратов разных концентраций. У пшеницы на этот показатель оказал влияние Клеточный сок пихты в концентрации 0,1% – масса больше контрольной на 10,6%. На массу овса повлияли препарат Клеточный сок пихты в концентрации 0,5% и Агро-САС в концентрации 0,1%: оба повысили массу 1000 семян

на 9,5% (рис. 1). Показатель массы 1000 семян является важным показателем в оценке качества зерна, а именно в его выполненности, крупности. Из полученных данных следует предположить, что исследуемые нами препараты, в целом, положительно повлияли на этот показатель, однако следует подбирать концентрацию препарата в зависимости от видовой принадлежности растения.

Была установлена корреляционная зависимость между показателем массы 1000 семян и индексом азотного баланса у двух изучаемых растений (табл. 3).

Корреляционная зависимость массы 1000 семян от индекса азотного баланса (NBI) составила $r=0,892$ для овса и $r=0,837$ для пшеницы (сильнозначимые положительные корреляции), что говорит о положительном влиянии препаратов на этот показатель. Таким образом, положительное влияние исследуемых препаратов подтвердили характеристики азотного баланса растений и зависимость от них массы 1000 семян у двух исследуемых видов растений (рис. 2).

Таблица 2

Содержание хлорофиллов (a + b) и флавоноидов *Avena sativa* L.

	Индекс азотного баланса, мкг/см ²	Хлорофилл	Флавоноиды
Контроль	21,4	32,6	1,53
Клеточный сок 0,1%-ный	26,4	36,5	1,42
Клеточный сок 0,5%-ный	32,6	44,3	1,38
Агро-САС 0,1%-ный	30,6	42,1	1,38
Агро-САС 0,5%-ный	24,6	35,7	1,46

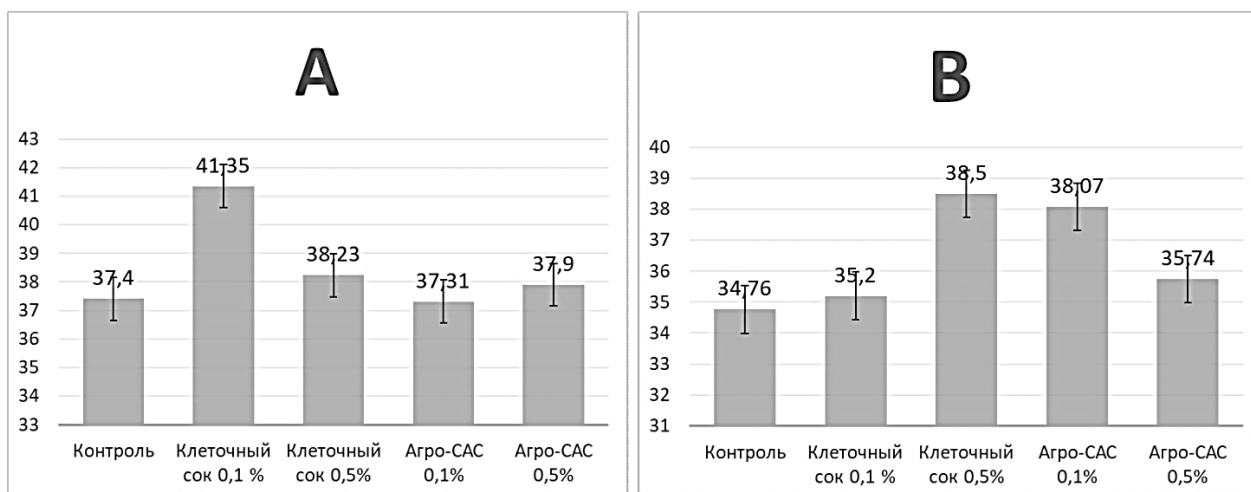


Рис. 1. Масса 1000 семян, шт.: А – пшеница; В – овес

Таблица 3

Корреляционная зависимость продуктивности от показателей азотного баланса овса и пшеницы, коэффициент детерминации, %

Показатели	Коэффициент корреляции r	Коэффициент детерминации r ²
Показатель NBI – масса 1000 шт. семян овса	0,892±0,06	0,796
Показатель NBI – масса 1000 шт. семян пшеницы	0,837*±0,027	0,701

Примечание. *Статистически значимы при p≤0,05.

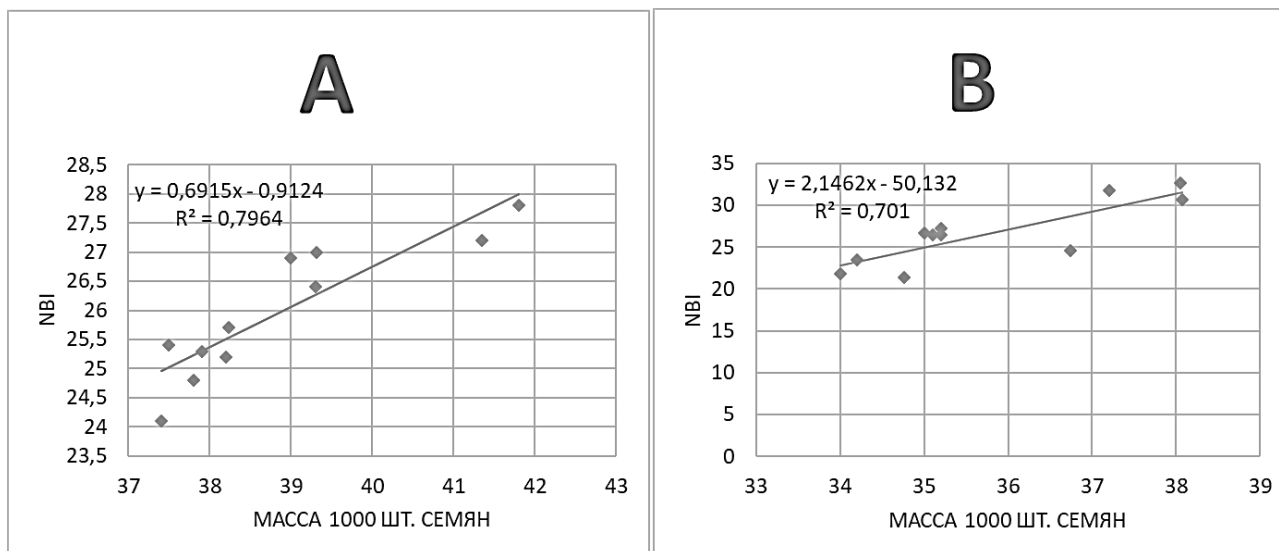


Рис. 2. Корреляционная зависимость массы 1000 семян пшеницы от индекса азотного баланса: А – пшеница; В – овес

Заключение

Установлено, что препараты клеточного сока пихты благотворно влияют на физиологические процессы изучаемых зерновых культур, в частности, на состояние пигментного комплекса, следовательно, оказывают влияние на

устойчивость растительных организмов к стрессу. Также определена сильнозначимая корреляция между индексом азотного баланса и массой 1000 семян, что говорит о большом вкладе препаратов в реализацию репродуктивной функции. Проведенные исследования об-

наружили необходимость дальнейшего более подробного изучения влияния углекислотных экстрактов пихты для их позиционирования в качестве биостимуляторов.

Библиографический список

1. Cartelat A., Cerovic ZG, Goulas Y., Meyer S., Lelarge C., Prioul J.-L., Barbottin A., Jeuffroy M.-H., Gate P., Agati G., Moya I. 559 Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Field Crops Res.* 2005.V. 91. 35-49.

2. Esteban R., Barrutia O., Artetxe U., Fernandez-Marín B., Hernandez A., and Garcia-Plazaola J.I. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: A meta-analytical approach. *New Phytologist* 206, 2015; 268–280.

3. Gitelson A., Merzlyak M.N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology* 143, 1994; 286–292.

4. Goulas Y., Cerovic Z. G., Cartelat A., Moya I. Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence // *Appl. Opt.* 2004.43 (23). P. 88-96.

5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва: Колос, 1979. – 416 с. – Текст: непосредственный.

6. Dualex® scientific // force-a.com [Electronic resource]. URL: <http://www.force-a.com/capteurs-optiques-optical-sensors/dualex-scientific-chlorophyll-meter/> (accessed 05.15.2020).

7. Вайнагий, И. В. О методике изучения семенной продуктивности растений / И. В. Вайнагий. – Текст: непосредственный // *Ботанический журнал.* – 1974. – Т. 59, № 6. – С. 826-831.

8. ГОСТ 12046-85. Семена сельскохозяйственных культур.

9. Горюнова, Ю. Д. Влияние экологических факторов на содержание в растениях некото-

рых антиоксидантов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Горюнова Ю. Д. – Калининград, 2009. – 25 с. – Текст: непосредственный.

10. Полевой, В. В. Практикум по росту и устойчивости растений / В. В. Полевой. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет, 2001. – 212 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Cartelat A., Cerovic ZG, Goulas Y., Meyer S., Lelarge C., Prioul J.-L., Barbottin A., Jeuffroy M.-H., Gate P., Agati G., Moya I. 559 Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Field Crops Res.* 2005.V. 91. 35-49.

2. Esteban R., Barrutia O., Artetxe U., Fernandez-Marín B., Hernandez A., and Garcia-Plazaola J.I. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: A meta-analytical approach. *New Phytologist* 206, 2015; 268–280.

3. Gitelson A., Merzlyak M.N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology* 143, 1994; 286–292.

4. Goulas Y., Cerovic Z. G., Cartelat A., Moya I. Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence // *Appl. Opt.* 2004.43 (23). P. 88-96.

5. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta: (S osnovami statisticheskoy obrabotki issledovaniy) / B. A. Dospekhov. – M.: Kolos, 1979. – 416 s. – Tekst: neposredstvennyj.

6. Dualex® scientific // force-a.com [Electronic resource]. URL: <http://www.force-a.com/capteurs-optiques-optical-sensors/dualex-scientific-chlorophyll-meter/> (accessed 05.15.2020).

7. Vajnajij I. V. O metodike izucheniya semenoj produktivnosti rastenij / I. V. Vajnajij. – Tekst: neposredstvennyj // *Botanicheskij zhurnal.* – 1974. – Т. 59, № 6. – S. 826-831.

8. GOST 12046-85 Semena sel'skohozyajstvennyh kul'tur.

9. Goryunov, Yu. D. Vliyanie ekologicheskikh faktorov na sodержanie v rasteniyah nekotoryh antioksidantov: avtoreferat dissertacii / Yu. D. Goryunov. – Kaliningrad, 2009. – 24 s. – Tekst: neposredstvennyj.

10. Polevoj, V. V. Praktikum po rostu i ustojchivosti rastenij / V. V. Polevoj. – SPb.: Sankt-Peterburgskij universitet, 2001. – 212 s. – Tekst: neposredstvennyj.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 0721-2020-0019).



УДК 631.461(571.150)

Н.А. Бондаренко, О.И. Антонова
N.A. Bondarenko, O.I. Antonova

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ ПРИ ВНЕСЕНИИ СОЛОМЫ И ПРЕПАРАТОВ, УСКОРЯЮЩИХ ЕЁ РАЗЛОЖЕНИЕ

BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOILS DURING THE APPLICATION OF STRAW AND PREPARATIONS, INCREASING ITS DECOMPOSITION

Ключевые слова: биологическая активность, солома, биодеструкторы, микроорганизмы, разложение соломы, разложение льняного полотна.

Использование соломы в качестве удобрения позволяет одновременно решить проблемы окружающей среды и воспроизводства плодородия почв в агроценозах, что весьма актуально в условиях деградации свойств почвы и отрицательного баланса гумуса в земледелии. Однако при её использовании в чистом виде процесс разложения длится больше года, и удобрительные свойства проявляются на 2-й год. В модельном опыте с внесением разных доз одной соломы и обработанной биопрепаратом «Биокомпозит коррект» в дозах 1 и 2 л/га изучена степень разложения льняного полотна через 1 мес. после внесения и к концу вегетации, а на второй год – численность различных групп почвенных микроорганизмов. В результате проведенных исследований установлено, что применение биопрепарата «Биокомпозит коррект» в дозах 1-2 л/га ускоряет процесс разложения соломы в первый год через месяц после внесения на 10-30% и к концу вегетации – на 38,04-78,2% в зависимости от дозы соломы. Больше разложение характерно для дозы 2 л/га. Использование препарата «Биокомпозит коррект» в дозе 2 л/га на фонах соломы 2, 3, 4 т/га во второй год действия повышает численность микроорганизмов на среде МПА с 4,14 до 14,6 млн КОЕ и на среде КАА – с 14,26 до 18,8 млн КОЕ. При этом

как с увеличением дозы соломы, так и применением Биокомпозит коррект она повышалась в 1,2 раза. Численность грибов на второй год действия соломы снижалась с увеличением дозы с 11,3 до 6,84 тыс. КОЕ, а при обработке Биокомпозит коррект снижалась по дозе 3 т/га и увеличивалась до 18,47 тыс. КОЕ.

Keywords: biological activity, straw, biodecomposers, microorganisms, straw decomposition, flax decomposition.

The use of straw as fertilizer makes it possible to solve the problems of the environment and the reproduction of soil fertility in agroecosystem simultaneously. It is very important in conditions of soil properties degradation and in conditions of humus negative balance in agriculture. When it is used in its pure form, the decomposition process lasts more than a year, and the fertilizing properties appear in 2 years. In the model experiment with the application of different doses of straw only, treated with the Biocomposite Correct biopreparation at doses of 1 and 2 l/ha, the decomposition degree of flaxseed was studied 1 month after application and by the end of the growing season, and in the second year - the number of different groups of soil microorganisms. As a result of the studies, it was found that the use of the Biocomposite Correct biopreparation in doses of 1-2 l/ha increases the process of straw decomposition in the first year one month after applica-