

## REVIEW

**for the dissertation work of Ainur Kanatovna Kabdrakhmanova on the topic  
"Development of biostimulants based on complexes of succinic acid  
derivatives with silver ions" submitted for the degree of Doctor of Philosophy  
(PhD) educational program "8D07108 - Basic processes of synthesis and  
production of new organic and polymeric materials"**

Addressing challenges within the agro-industrial complex has become a central task of modern chemistry, particularly with regard to improving both the quality and productivity of agricultural crops. Among the key factors influencing optimal yield formation is the pre-sowing treatment of seeds, which can be achieved through encapsulation with film-forming polymers in combination with various functional additives. This approach enables the integration of seed fungicides, growth regulators, and other bioactive compounds within a single delivery system, while minimizing environmental strain on soil biota and the crop-soil-atmosphere system. Traditionally, large volumes of fungicides are applied to combat seedborne pathogens, resulting in increased financial costs and ecological risks. Consequently, there is growing interest in the development of innovative pre-sowing treatments for soybean seeds that enhance seed quality, reduce the reliance on chemical protectants, and improve resistance to pathogenic microorganisms. In this regard, fungicidal biostimulants are emerging as a particularly promising solution.

In this context, the development of biostimulants aimed at increasing crop yields and controlling pathogenic threats is of particular interest, especially when aligned with the goals of sustainable development. Accordingly, the relevance and practical significance of Ainur Kanatovna Kabdrakhmanova's research are considered to be highly significant.

The purpose of the dissertation is synthesis of complexes of succinic (Succ) and dimethyl ester of succinic acid (DmSucc) with silver ions and a mixed-ligand complex based on ecobioligands - glycine and succinic acid with copper ions, study of their physicochemical properties and biological activity, as well as development of an effective composition for pre-sowing treatment and encapsulation of seeds of agricultural crops based on the synthesized complex  $[Ag_2(Succ)]$ , activated bentonite clay kalzhat and modified corn starch.

To accomplish this goal, the doctoral researcher formulated the following research tasks:

- Determination of the optimal conditions for synthesizing complexes of succinic acid and dimethyl succinate with silver and copper ions.;
- Investigation of the formation of a complex based on dimethyl succinate and silver ions, including the study of its physicochemical properties and bioactivity.;
- Synthesis of a complex based on succinic acid and  $Ag^+$  ions, along with an examination of its physicochemical properties and biological activity.;



- Synthesis of a complex based on the eco-friendly ligand—succinic acid and glycine—combined with  $\text{Cu}^{2+}$  ions for comparative analysis with  $\text{Ag}^+$  complexes, including the study of its physicochemical and bioactive properties.;
- Development of a technology for producing bioactive complexes based on succinic acid and dimethyl succinate with silver ions.;
- Development of a production method for a bioactive complex based on the eco-friendly ligand—succinic acid and glycine—combined with  $\text{Cu}^{2+}$  ions.;
- Development of an effective composition and technology for pre-sowing treatment and encapsulation of agricultural crops based on complexes of succinic acid and its derivatives with silver and copper ions, as well as activated bentonite clay and modified corn starch.

The primary findings of this dissertation involve the synthesis of biostimulatory compounds formed from complexes of succinic acid and dimethyl succinate (DmSucc) with silver and copper ions, as well as an exploration of their physicochemical properties and bioactivity. The doctoral research identified an optimal volumetric ratio for synthesizing the complexes with silver ions, which is 1:1 ml/ml. The study demonstrated that the  $[\text{Ag}_2(\text{Succ})]$  complex is formed through the coordination of silver ions with the carboxyl group, while the  $[\text{Ag}(\text{Dmsucc})]$  complex forms through coordination with both the carbonyl and carboxyl groups in dimethyl succinate. The effective concentration of the  $[\text{Ag}_2(\text{Succ})]$  complex for pre-sowing treatment of soybeans was found to be  $5 \cdot 10^{-3}$  mol/l, resulting in a 25.7% increase in yield and a significant reduction in pathogenic growth of *Fusarium* spp. and *Aspergillus* by 3.6 and 8.6 times, respectively. This complex also eradicated pathogenic *Penicillium* species and prevented plant dwarfism. Furthermore, the  $[\text{Ag}(\text{DmSucc})]$  complex, at the same concentration of  $5 \cdot 10^{-3}$  mol/l, enhanced soybean yield by 30%, and reduced *Fusarium* spp. and *Aspergillus* growth by 4 and 6 times, respectively, while completely preventing dwarfism. Additionally, the research involved the synthesis of a mixed-ligand complex  $[\text{Cu}(\text{Succ})(\text{Gly})]_n$ , using eco-friendly ligands such as succinic acid, glycine, and  $\text{Cu}^{2+}$ . This complex is formed through coordination with nitrogen and oxygen atoms from glycine and two oxygen atoms from succinic acid. The application of this complex increased seed germination to 100%, improved the number of healthy shoots by 14.7%, and reduced the prevalence of bacterial and fusarium diseases by 8.35%, compared to the control plants. A novel pre-sowing treatment and encapsulation technology, based on a succinic acid complex with silver ions, activated bentonite, and modified corn starch, was developed, for which a patent was granted.

Furthermore, the doctoral candidate successfully completed a two-month scientific internship at the International and Inter-University Centre for Nanoscience and Nanotechnology at Mahatma Gandhi University (Kottayam, Kerala, India) from April 10 to June 9, 2023. Throughout the internship, she demonstrated her ability to perform as an independent researcher, effectively addressing research challenges and carrying out her tasks in a structured and methodical manner.



- Synthesis of a complex based on the eco-friendly ligand—succinic acid and glycine—combined with  $\text{Cu}^{2+}$  ions for comparative analysis with  $\text{Ag}^+$  complexes, including the study of its physicochemical and bioactive properties.;
- Development of a technology for producing bioactive complexes based on succinic acid and dimethyl succinate with silver ions.;
- Development of a production method for a bioactive complex based on the eco-friendly ligand—succinic acid and glycine—combined with  $\text{Cu}^{2+}$  ions.;
- Development of an effective composition and technology for pre-sowing treatment and encapsulation of agricultural crops based on complexes of succinic acid and its derivatives with silver and copper ions, as well as activated bentonite clay and modified corn starch.

The primary findings of this dissertation involve the synthesis of biostimulatory compounds formed from complexes of succinic acid and dimethyl succinate (DmSucc) with silver and copper ions, as well as an exploration of their physicochemical properties and bioactivity. The doctoral research identified an optimal volumetric ratio for synthesizing the complexes with silver ions, which is 1:1 ml/ml. The study demonstrated that the  $[\text{Ag}_2(\text{Succ})]$  complex is formed through the coordination of silver ions with the carboxyl group, while the  $[\text{Ag}(\text{Dmsucc})]$  complex forms through coordination with both the carbonyl and carboxyl groups in dimethyl succinate. The effective concentration of the  $[\text{Ag}_2(\text{Succ})]$  complex for pre-sowing treatment of soybeans was found to be  $5 \cdot 10^{-3}$  mol/l, resulting in a 25.7% increase in yield and a significant reduction in pathogenic growth of *Fusarium* spp. and *Aspergillus* by 3.6 and 8.6 times, respectively. This complex also eradicated pathogenic *Penicillium* species and prevented plant dwarfism. Furthermore, the  $[\text{Ag}(\text{DmSucc})]$  complex, at the same concentration of  $5 \cdot 10^{-3}$  mol/l, enhanced soybean yield by 30%, and reduced *Fusarium* spp. and *Aspergillus* growth by 4 and 6 times, respectively, while completely preventing dwarfism. Additionally, the research involved the synthesis of a mixed-ligand complex  $[\text{Cu}(\text{Succ})(\text{Gly})]_n$ , using eco-friendly ligands such as succinic acid, glycine, and  $\text{Cu}^{2+}$ . This complex is formed through coordination with nitrogen and oxygen atoms from glycine and two oxygen atoms from succinic acid. The application of this complex increased seed germination to 100%, improved the number of healthy shoots by 14.7%, and reduced the prevalence of bacterial and fusarium diseases by 8.35%, compared to the control plants. A novel pre-sowing treatment and encapsulation technology, based on a succinic acid complex with silver ions, activated bentonite, and modified corn starch, was developed, for which a patent was granted.

Furthermore, the doctoral candidate successfully completed a two-month scientific internship at the International and Inter-University Centre for Nanoscience and Nanotechnology at Mahatma Gandhi University (Kottayam, Kerala, India) from April 10 to June 9, 2023. Throughout the internship, she demonstrated her ability to perform as an independent researcher, effectively addressing research challenges and carrying out her tasks in a structured and methodical manner.




Based on the results of her dissertation work, she co-authored 14 scientific papers. Including: 2 articles in scientific publications recommended by the Committee for Quality Assurance in Science and Higher Education of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan; 4 articles in peer-reviewed journals indexed in Scopus and Web of Science databases, including.

1. Journal «Materials Today: Proceedings» - CiteScore 3.2, Scopus General Materials Science, percentile - 58%, CiteScore 2023 – 4.9;

2. Journal «Journal of Composites Science» - CiteScore 5.0, percentile - 76%, Q1; Web of Science Materials science composites, percentile - 63%, Q2;

3. Journal «Engineered Science» - CiteScore 14.9, Scopus Chemistry – 93% percentile, Q1; 98% percentile – Q1, and also 1 article and 4 abstracts of reports were published in the materials of international conferences, a patent for inventions, a patent for a utility model and an act of implementation of the results of research, scientific and technical work or the results of scientific and scientific and technical activities were received.

Considering the aforementioned, I am confident that the relevance, novelty, practical significance, and outcomes of the dissertation by Ainur Kanatovna Kabdrakhmanova meet all the criteria established by the Committee for Quality Assurance in Science and Higher Education of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan. The doctoral candidate has undoubtedly earned the right to be awarded the degree of Doctor of Philosophy (PhD) educational program "8D07108 – Fundamental Processes and Production of New Organic and Polymer Materials."



**Professor Dr. Sabu Thomas**

**Director  
School of Nanoscience and Nanotechnology  
Mahatma Gandhi University  
Kottayam, Kerala, India**



## ОТЗЫВ

на диссертационную работу Кабдрахмановой Айнур Канатовны на тему  
«Разработка биостимуляторов на основе комплексов производных  
янтарной кислоты с ионами серебра» представленную на соискание  
степени доктора философии (PhD) по образовательной программе  
«8D07108 – Основные процессы синтеза и производства новых  
органических и полимерных материалов»

Сегодня одной из основных задач современной химии является решение актуальных проблем агропромышленного комплекса, основная проблема которых сосредоточена на повышении качества и урожайности сельскохозяйственных культур. К одной из главных условий формирования оптимальной структуры урожайности можно отнести предпосевную обработку семян, путем капсулирования различными пленкообразующими полимерами в сочетании с различными добавками. Этот способ позволяет в одной системе вместе с полимером использовать протравители семян, регуляторы роста и другие физиологически активные соединения, не оказывая повышенной нагрузки на почвенную биоту и экосистему – урожай-почва-атмосфера. Во избежание массового заражения семян сельскохозяйственных культур вредоносными заболеваниями используется большое количество фунгицидов, что требует дополнительных финансовых расходов и, с другой стороны, отрицательно воздействующий на экологическое состояние окружающей среды. В связи с этим, большое внимание исследователей привлекает разработка новых технологий предпосевной обработки семян сои, обеспечивающих повышение посевных качеств семян, снижение расхода применяемых протравителей, повышение устойчивости проростков к патогенным микроорганизмам. В этом отношении особую актуальность приобретают фунгицидно- активные биостимуляторы.

В этом контексте особый интерес представляет разработка биостимуляторов для решения проблем увеличения урожайности и обеспечения борьбы с патогенными составляющими, который соответствовал бы целям устойчивого развития. В этой связи актуальность и практическая значимость темы исследования Кабдрахмановой Айнур канатовны представляются весьма высокими.

Целью диссертационной работы является синтез комплексов янтарной (Succ) и диметилового эфира янтарной кислоты (DmSucc) с ионами серебра и смешаннолигандного комплекса на основе экобиолиганды - глицина и янтарной кислоты с ионами меди, исследование их физико-химических свойств и биологической активности, а также разработка эффективного состава для предпосевной обработки и капсулирования семян сельскохозяйственных культур на основе синтезированного комплекса, активированной бентонитовой глины калжат и модифицированного кукурузного крахмала.



Для достижения поставленной цели докторантом были поставлены следующие задачи:

- исследование образования комплекса янтарной кислоты с ионами серебра и изучение физико-химических свойств синтезированного комплекса;
- исследование образования комплекса диметилового эфира янтарной кислоты с ионами серебра, изучение физико-химических свойств полученного комплекса;
- синтез разнолигандного комплекса на основе экибиоланд – янтарной кислоты и глицина с ионами  $\text{Cu}^{2+}$  с целью сравнительного исследования с ионами  $\text{Ag}^+$ ;
- исследование биологической активности в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий комплексов янтарной кислоты и ее производного – диметилового эфира янтарной кислоты с ионами серебра и смешаннолигандного комплекса на основе янтарной кислоты и глицина с ионами меди;
- изучение биологической активности комплексов янтарной кислоты и ее производного – диметилового эфира янтарной кислоты с ионами серебра и смешаннолигандного комплекса на основе янтарной кислоты и глицина с ионами меди на рост и развитие сельскохозяйственных культур, в том числе семян сои;
- разработка эффективного состава и технологии предпосевной обработки и капсулирования сельскохозяйственных культур на основе комплекса янтарной кислоты с ионами серебра, а также активированной бентонитовой глины и модифицированного кукурузного крахмала.

Основные результаты диссертационной работы заключаются в синтезе биостимулирующих веществ, состоящих из комплексов на основе янтарной кислоты и диметилового эфира янтарной кислоты ( $\text{DmSucc}$ ) с ионами серебра и меди, изучения их физико-химических свойств и биоактивности. Докторантом установлено эффективное объемное соотношение, необходимое для получения комплексов на основе янтарной кислоты и диметилового эфира янтарной кислоты с ионами серебра, которая составляет 1:1 мл/мл соответственно. Выявлено, что образование комплекса  $[\text{Ag}_2(\text{Succ})]$  происходит за счет координации ионов серебра с карбоксильной группой и получение комплекса  $[\text{Ag}(\text{DmSucc})]$  осуществится за счет координации ионов серебра с карбонильной и карбоксильной группой в молекуле диметилсукцината. Установлено эффективная концентрация комплекса  $[\text{Ag}_2(\text{Succ})]$ , необходимая для предпосевной обработки сои, которая составляет  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Выявлено, что этот комплекс увеличивает урожайность сои на 25,7% и уменьшает развитие патогенных организмов *Fusarium spp.* и *Aspergillus* в 3,6 и 8,6 раз соответственно, полностью уничтожает патогенные организмы, рода *Penicillium* и карликовость растений. Установлено, что эффективной концентрацией комплекса



[Ag(DmSucc)], необходимая для предпосевной обработки сои, составляет  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л, которая увеличивает урожайность сои на 30% и снижая рост и развитие патогенных организмов *Fusarium spp.* и *Aspergillus* в 4 и 6 раз соответственно, полностью предотвращает карликовость. Докторантом синтезирован разнолигандный комплекс  $[\text{Cu}(\text{Succ})(\text{Gly})]_n$  на основе экобиополигандов, в частности янтарной кислоты, глицина и  $\text{Cu}^{2+}$ , который осуществляется координацией атома азота и кислорода карбоксильной группы в молекуле глицина, а также двух атомов кислорода карбоксильных групп в янтарной кислоте. Выявлено, что применение данного комплекса увеличивает всхожесть до 100%, количество здоровых побегов на 14,7%, уменьшает патогенные организмы бактериоза и фузариоза на 8,35% по сравнению с контрольными растениями. Ею разработана технология предпосевной обработки и капсулирования сельскохозяйственных культур на основе комплекса янтарной кислоты с ионами серебра, а также активированного бентонита Калжат и модифицированного кукурузного крахмала и получен патент на изобретение.

Кроме того, докторант прошла плодотворную двухмесячную научную стажировку в Международном и межуниверситетском центре нанонауки и нанотехнологий Махатмы Ганди Университета (Коттаям, Керала, Индия) с 10.04.-09.06.2023 - г. В ходе стажировки она зарекомендовала себя как полноценный исследователь, способная самостоятельно принимать решения при возникновении исследовательских задач, а также проводить работу планомерно и систематически.

По результатам выполнения диссертационной работы ею в соавторстве опубликовано 14 научных работ. В том числе: 2 статьи в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан; 4 статьи в рецензируемых журналах, индексируемых по базам данных Scopus и Web of Science в т.ч.

1. Journal «Materials Today: Proceedings» - CiteScore 3.2, Scopus General Materials Science, процентиль - 58%, CiteScore 2023 – 4,9;

2. Journal «Journal of Composites Science» - CiteScore 5,0, процентиль - 76%, Q1; Web of Science Materials science composites, процентиль - 63 %, Q2;

3. Journal «Engineered Science» - CiteScore 14.9, Scopus Chemistry – 93% процентиль, Q1; 98 % процентиль – Q1, а также опубликованы 1 статья и 4 тезисов докладов, в материалах международных конференций, получен патент на изобретения, патент на полезную модель и акт внедрения результатов научно-исследовательских, научно-технических работ или результатов научной и научно-технической деятельности. Это свидетельствует об актуальности темы докторанта и высокой точности, а также надёжности полученных результатов исследования.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что актуальность, новизна, практическая значимость и результаты диссертационной работы Кабдрахмановой Айнур Канатовны соответствуют всем требованиям, предъявляемым к диссертациям Комитетом по контролю в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Докторант полностью заслуживает присуждения учёной степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D07108 – Основные процессы синтеза и производства новых органических и полимерных материалов».

/Подписано/

**Профессор Сабу Томас**  
**Директор Школы нанонауки и нанотехнологий**  
**Университета Махатмы Ганди,**  
**Коттаям, Керала, Индия**



Текст-перевод документа с английского на русский язык выполнен мною, переводчиком, Журтыбаевой Гулназ Мухамедалиевной.

Имя переводчика

Подпись

*Журтыбаева Гулназ Мухамедалиевна*

Республика Казахстан город Алматы, двадцать третье июня две тысячи двадцать пятого года. Я, Абылкасымова Айман Турехановна, нотариус города Алматы, действующий на основании государственной лицензии № 0000189, выданной Министерством юстиции Республики Казахстан от 10.08.1998 года, свидетельствую подлинность подписи, переводчика Журтыбаевой Гулназ Мухамедалиевны. Личность ее установлена, дееспособность и полномочия проверены.

Зарегистрировано в реестре: 1385

Взыскано: согласно Закону РК «О нотариате»

Подпись нотариуса



ST7001553250623182407A78859B

Нотариаттық іс-әрекеттің бірегей нөмірі / Уникальный номер нотариального действия