УДК 632.981.12 DOI: 10.25680/S19948603.2025.147.12

ВЛИЯНИЕ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ И НАНОГЕРБИЦИДОВ НА СОРНУЮ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ В ПОСЕВАХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Мохаммед Х. Аль-Мамури (Ирак), Мейсам Заргар (Иран), д.с.-х.н., Е.Н. Пакина, д.с.-х.н., Э.М. Гайсина, Ахмед Абдалбар Аидайбе (Ирак),
Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт,
Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы
117198, Россия, г. Москва, ул.Миклухо-Маклая, д.8, к.2, E-mail: gaysina-em@rudn.ru

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00113, https://rscf.ru/project/24-26-00113/.

Цель исследования - оценить эффективность применения комплекса химических гербицидов и гербицидов, созданных нанотехнологическими методами, для контроля за сорной растительностью в посевах озимой пшеницы. Полевые опыты были проведены в 2023–2024 г. по схеме рандомизированного полного блочного дизайна (RCBD) в трех повторностях. Результаты показали, что наибольшая эффективность достигалась при использовании комбинации: конкур (метрибузин) + трибенурон-метил + топик (клодинафоп-пропаргил / клоквинтосет-мексил), обеспечивавшей минимальную сухую массу сорняков (4,81 г/м²). В целом смешивание гербицидов повышало уровень их биологической активности и способствовало преодолению устойчивости сорных растений.

Ключевые слова: пшеница мягкая, сорная растительность, наногербициды, химическая защита растений.

Для цитирования: *Мохаммед Х. Аль-Мамури, Мейсам Заргар, Пакина Е.Н., Гайсина Э.М., Ахмед Абдалбар Аидайбе* Влияние совместного применения химических препаратов и наногербицидов на сорную растительность в посевах озимой пшеницы// Плодородие. – 2025. – №6. – С. 62-66. DOI: 10.25680/S19948603.2025.147.12.

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) является одной из важнейших зерновых культур, как в мире, так и в России, поскольку составляет основу рациона более чем 5,1 млрд. человек. Эта культура занимает лидирующие позиции как по площади посевов, так и по объему валового производства. Несмотря на то, что к концу XX в. урожайность в расчете на единицу площади увеличилась более чем в 2 раза, данные показатели всё еще не достаточны для возрастающих потребностей населения, опережающих темпы роста сельскохозяйственного производства. Дополнительным фактором снижения урожайности выступает поражение посевов болезнями и вредителями, а также сорной растительностью, что приводит к потерям урожая до 45 % [1].

По данным исследований [2], применение гербицида клодинафоп-пропаргил привело к достоверному увеличению числа колосьев, массы 1000 зерен, количества зерен в колосе и общего урожая зерна, а также к снижению сухой массы и числа сорняков, в частности овсюга (*Avena fatua*), мятлика (*Phalaris minor*) и др. В то же время ряд исследований [3] показывают, что использование гербицида Челленджер способствовало уменьшению количества и массы двудольных сорняков, что положительно отразилось на урожайности и её структуре. Данное исследование направлено на изучение эффективности применения смеси гербицидов для контроля сорной растительности в посевах мягкой пшеницы.

В последние годы на рынке появились наногербициды и наноудобрения, содержащие, помимо прочего, наночастицы цинка, кремния, железа, диоксида титана, наностержни золота и другие наноструктуры. При этом особо актуальными становятся вопросы контроля качества и оптимизации регламента применения данных препаратов. В литературе имеются многочисленные исследования по изучению абсорбции, биологического воздействия и токсичности наночастиц оксидов металлов (Al_2O_3, TiO_2, CeO_2, FeO, ZnO) в агроэкосистемах [4, 5]. Отдельное внимание уделяется проблеме дефицита цинка, который, помимо прочего, является одним из ключевых факторов снижения урожайности на щелочных почвах [6].

Некоторые виды сорной растительности выработали перекрестную и множественную устойчивость к различным классам гербицидов, включая ингибиторы микротрубочек, фотосистемы II, а также ингибиторы ALS- и ACCase-ферментов [7–9]. В Австралии в системе возделывания пшеницы отмечено появление сорняков с устойчивостью к гербицидам сразу с семью различными действующими веществами [10].

Цель нашего исследования – оценить эффективность применения комплекса гербицидов, в том числе полученных нанотехнологическими методами, в посевах пшеницы.

Методика. Полевые опыты проведены в 2023 – 2024 г. в южной части России (Сулейман-Стальский район), характеризующейся умеренно засушливым климатом. Изучали влияние различных норм высева и внесения гербицидов на ростовые показатели, характеристику сорной растительности и урожайность пшеницы озимой сорта Краснодарская 99.

Схема опыта заложена по принципу рандомизированного полного блочного дизайна (RCBD) с тремя повторностями. Почва опытного участка – супесчаная, pH 6,5, содержание органического вещества 1,7 %. Подготовка почвы включала вспашку, прикатывание и дискование для создания оптимального посевного ложа.

Смеси трех гербицидов использовали в рекомендованных нормах расхода. Площадь делянки 4 × 2 м, каждая опытная единица включала 10 рядков с междурядьями 20 см. Посев сорта Краснодарская 99 осуществляли

в начале сентября прямым способом с нормой высева семян 200 кг/га на глубину 3 см. Уборку проводили 15 мая 2023 г. и 17 мая 2024 г. Среднемесячное количество осадков и температура воздуха приведены в таблице 1.

Опрыскивание гербицидами выполнялось ранцевым опрыскивателем при давлении 4–5 бар; смешивание препаратов проводили непосредственно в баке опрыскивателя.

1. Среднемесячное количество осадков и средние значения максимальной и минимальной температуры воздуха

Месяц	Температура, °С		Осадки, мм	
	2022–2023 г.	2023–2024 г.	2022–2023 г.	2023–2024 г.
	Max	Min	Max	Min
Сентябрь	23	16	24	21
Октябрь	16	10	12	13
Ноябрь	12	6	15	18
Декабрь	7	2	17	20
Январь	5	–2	24	29
Февраль	6	1	12	21
Март	11	4	16	15
Апрель	16	7	11	16
Май	21	14	31	29
Июнь	25	20	12	15

Биосинтез наночастиц цинка. Для синтеза наночастиц цинка 0,658 г ацетата цинка $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ растворяли в 1000 мл деионизированной дистиллированной воды (3 мМ) и перемешивали с использованием магнитной мешалки при температуре 80 °С в течение 20 мин. К полученному раствору при постоянном перемешивании добавляли 10 мл приготовленного химического гербицида капельным методом. При взаимодействии гербицида с ионами цинка наблюдалось мгновенное изменение окраски раствора [11]. Образовавшийся осадок отделяли и дважды промывали деионизированной водой с применением центрифугирования при 4000 об/мин в течение 15 мин. После полной конверсии соединения в наночастицы ZnO–NPs полученный продукт высушивали при температуре 60°С.

Синтез наночастиц в полимерной матрице. Для приготовления полимерных нанокапсул 45 г гранул полиэтиленгликоля расплавляли в химическом стакане при температуре 65°С. После полного плавления и растворения полимера образуется вязкая, почти прозрачная жидкость. Температуру снизили до 50–55°С, после чего к расплавленному полимеру без разбавления добавили 5 мл 50%-ного раствора гербицида. Смесь перемешивали магнитной мешалкой не менее 1 ч, обеспечивая равномерное распределение действующего вещества гербицида в полимерной матрице и полное его инкапсулирование. Полученную смесь переносили в стеклянные чашки Петри и высушивали при 20°С в течение 24 ч. Высушенный материал извлекали, измельчали до получения тонкодисперсного порошка, содержащего гербицид-инкорпорированные капсулы. Порошок собирали в стеклянную ёмкость с добавлением небольших пакетов силикагеля для поддержания сухости до момента использования [12].

Статистическая обработка данных. Статистический анализ полевых данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Excel и OriginPro 2024b.

Результаты и их обсуждение. Нормы применения препаратов приведены ниже.

Препарат	Норма внесения
Конкур, 600 г/л	500 мл/га
Трибенурон-метил	20 г/га
Топик, КЭ	750 мл/га
Конкур 100% + топик, 100%	500 мл/га + 500 мл/га
Конкур, 100% + трибенурон-метил, 100%	500 мл/га + 20 г/га
Трибенурон-метил, 100% + топик, 100%	20 г/га + 750 мл/га
Конкур, 100% + трибенурон-метил, 100% + топик, 100%	500 мл/га + 20 г/га + 500 мл/га

Примечание. Использовались аналогичные нормы препаратов, полученных с применением нанотехнологий.

2. Влияние гербицидов на изучаемые показатели

Гербициды	Число сорняков на 1 м²	Сухая масса сорняков, г/м²	Ингибирование, %	Эффективность контроля, %
Контроль	168,67	219,00	0,00	0,00
Чистый участок	0,00	0,00	100,00	100,00
H1 (Конкур)	8,00	17,10	92,39	95,06
H2 (трибенурон-метил)	4,33	10,81	95,67	97,39
H3 (Топик)	11,00	35,48	85,01	93,32
H1 + H2	13,33	26,24	88,69	92,55
H1 + H3	5,00	34,39	85,49	96,98
H2 + H3	3,67	28,01	81,43	97,78
H1 + H2 + H3	5,33	4,81	91,30	96,81
НСР ($p \leq 0.05$)	3,667	1,368	1,361	4,872

В эксперименте представлены варианты обработок: тип гербицидов, концентрация на гектар и соотношение смесей препаратов.

Процент ингибирования – снижение количества сорных растений. % ингибирования = 100 – A/B · 100. Эти данные позволяют рассчитать скорость снижения численности сорняков после опрыскивания гербицидом на 15-, 30-, 45-й день после обработки.

Полученные результаты свидетельствуют о превосходстве вариантов с применением гербицидов по всем показателям по сравнению с контрольным вариантом, где были зафиксированы наименьшие средние значения (табл. 2). Так, обработка комбинацией (H1 + H2 + H3) обеспечила наименьшую среднюю сухую массу сорняков, тогда как наибольшая масса была отмечена при обработке (H3). Наименьший уровень контроля зарегистрирован в варианте (H1 + H2), тогда как наибольший эффект отмечен в комбинации (H2 + H3). Максимальный процент ингибирования зафиксирован в варианте (H2), а минимальный уровень ингибирования наблюдался при обработке (H2 + H3). Эти данные подтверждают синергетический эффект совместного применения гербицидов, при котором происходит воздействие сразу на несколько мишеней в растениях-сорняках, что способствует преодолению устойчивости отдельных видов (рис. 1). Полученные результаты согласуются с литературными данными [13–18], где показано, что гербициды, независимо от их совместного или раздельного применения, оказывают существенное влияние на ингибирование роста и контроль сорной растительности.

Результаты, представленные в таблице 3, свидетельствуют о превосходстве наноструктурированных гербицидов по всем показателям по сравнению с контрольным вариантом и ненаноструктурированными препаратами, которые характеризовались наименьшими средними значениями. Так, обработка комбинацией (H1 + H2 + H3) в наноформе обеспечила минимальное значение сухой массы сорняков, тогда как наибольшая масса (22,49 г/м²)

отмечена при применении комбинации (Н1 + Н3). Наименьший уровень контроля зафиксирован в варианте (Н1 + Н2), в то время как максимальный эффект наблюдался при обработке (Н2 + Н3). Наибольший процент ингибирования выявлен в варианте (Н1 + Н2 + Н3), тогда как наименьший показатель ингибирования зарегистрирован при обработке (Н2 + Н3) (рис. 2). Эти данные подтверждают наличие синергетического эффекта при совместном применении наногербицидов, что позволяет воздействовать сразу на несколько групп сорных растений и, соответственно, преодолевать их устойчивость. Полученные результаты согласуются с литературными данными [19].

3. Влияние наноформ гербицидов и их комбинаций на изучаемые признаки

Гербициды (нано)	Число сорняков на 1м²	Сухая масса сорняков, г/м²	Ингибирование, %	Эффективность контроля, %
Контроль	159,02	199,43	0,00	0,00
Н1 (Конкур)	5,00	12,12	94,11	97,45
Н2 (трибенурон-метил)	2,71	8,29	95,67	98,00
Н3 (Топик)	6,50	22,34	91,44	96,96
Н1 + Н2	4,09	8,64	93,19	95,81
Н1 + Н3	3,02	22,49	89,41	98,87
Н2 + Н3	2,00	14,33	86,23	99,00
Н1 + Н2 + Н3	3,24	2,44	96,55	98,09
НСР (p ≤ 0,05)	2,228	2,412	2,111	3,134

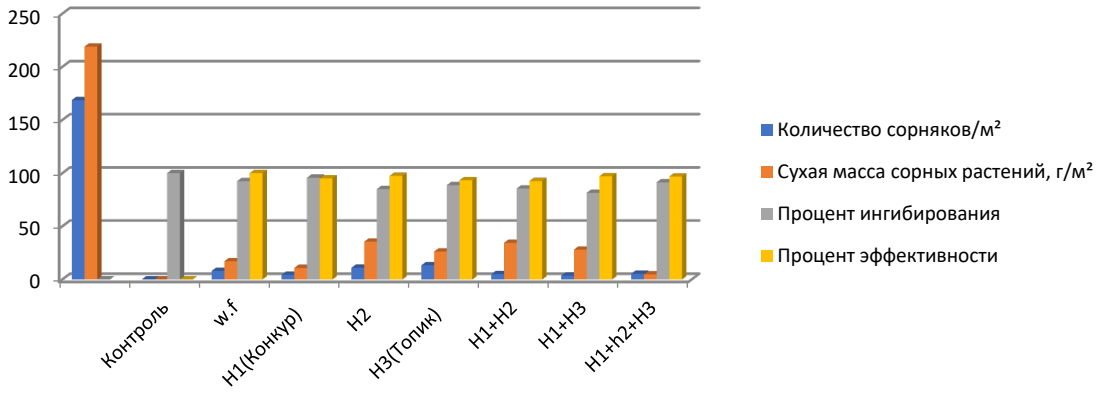


Рис. 1. Оценка эффективности применяемых гербицидов

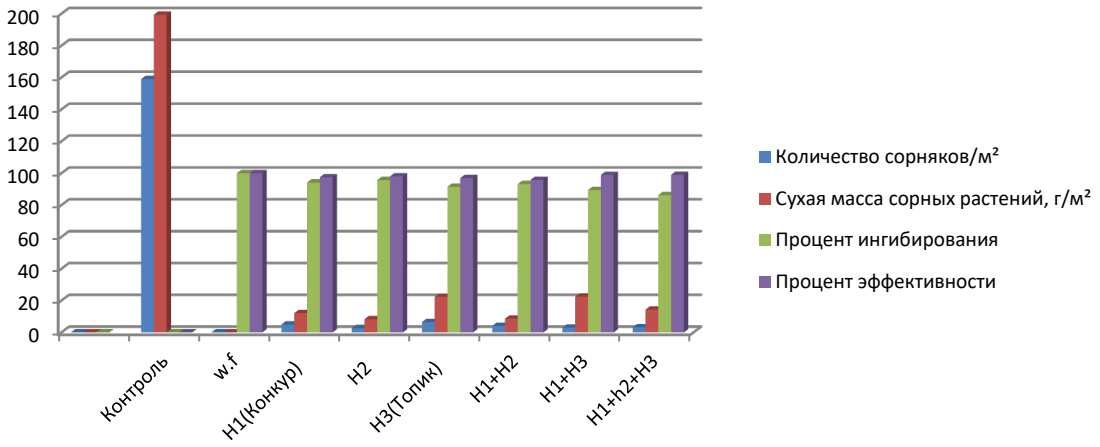


Рис. 2. Сравнение наноформ гербицидов и их комбинаций

4. Влияние смесей гербицидов на рост, урожайность и сухую массу сорняков

Гербициды	Сухая масса сорняков, г/м²	Масса 1000 зёрен, г	Число зёрен в колосе	Число колосьев на 1 м²	Число побегов (кустов) на 1 м²	Высота растений, см	Урожайность, кг/га
Н1 (Конкур)	311,3	25,8	44,1	330,5	358,6	91,3	695,1
Н2	66,1	47,2	58,0	429,0	296,2	106,8	981,2
Н3 (Топик)	75,2	46,1	55,2	399,6	298,5	90,5	960,0
Н1 + Н2	132,5	51,7	53,7	412,5	310,1	97,0	976,0
Н1 + Н3	42,8	55,1	59,5	451,0	345,0	99,8	1064,0
Н2 + Н3	64,2	32,3	43,6	386,3	358,2	92,3	983,4
Н1 + Н2 + Н3	55,6	43,7	38,1	372,1	266,9	95,6	940,9
НСР (p ≤ 0,05)	2,24	2,45	1,27	2,55	1,38	2,9	3,7

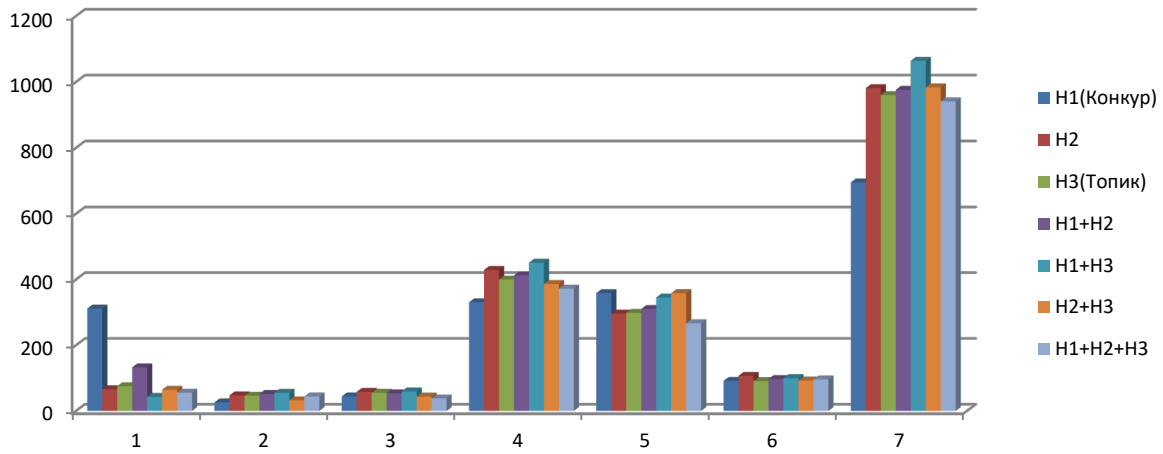


Рис. 3. Сравнение смесей гербицидов на показатели роста, урожайности и сухой массы сорняков.

В таблице 4 показано снижение количества и сухой массы сорных растений, по сравнению с контролем, достигнутое при использовании наноформулы пестицида по сравнению с традиционной формулой пестицида (см. табл. 3).

Результаты, приведенные в таблице 4, показывают превосходство вариантов применения смесей гербицидов по всем изучаемым признакам по сравнению с контрольным вариантом, где зафиксированы наименьшие средние значения (рис.3). Наиболее высокие показатели отмечены в варианте обработки (H1 + H3), который обеспечил максимальные средние значения по следующим признакам: высота растений, число побегов, число колосьев, число зёрен в колосе, масса 1000 зёрен, суммарная урожайность зерна, а также минимальное значение сухой массы сорняков. Вариант обработки (H1 + H2) в целом превысил показатели отдельных гербицидов, применённых раздельно. Полученные данные подтверждают наличие синергетического эффекта при совместном использовании гербицидов, что обеспечивает воздействие на несколько физиологических мишеней сорных растений одновременно и способствует преодолению устойчивости некоторых видов. Эти результаты согласуются с данными, опубликованными ранее [1, 9, 18, 20–22], согласно которым применение гербицидов, как в смесях, так и изолированно, способствует увеличению урожайности и её компонентов, а также снижает распространённость и биомассу сорной растительности в посевах пшеницы.

Выводы. Смеси гербицидов в целом более эффективно снижали сухую массу сорняков. Использование норм ниже рекомендуемых дало обнадёживающие результаты, так как позволяет уменьшить негативное воздействие гербицидов на окружающую среду. Применение гербицидов на основе наночастиц играет ключевую роль в уменьшении сухой массы сорняков и повышении уровня их ингибирования.

Литература

1. *Chandrasekaran B., k. Annadurai and E. Somasundaram. 2010. A Textbook of Agronomy. New Age International (P) Ltd. ISBN (13):978-81-224-2859-9. PP. 835.*
2. *Shehzad A.S., M. Iqbal, M. Arif, N. Ahmed, and A. Areeb. 2012. Weed control and wheat (Triticum Aestivum L.) yield under application of different post-emergence herbicides. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science. 2(4): 133-141.*
3. *Muhammad Amjad Nadim, Inayat Ullah Awan, Mohammad Safdar Baloch, Nazim Hussain Labar. 2011. Effect of micronutrients on growth and yield of wheat. Pakistan Journal of Agricultural Research 48(3):191-196*
4. *Dimkpa CO., 2014. Can nanotechnology deliver the promised benefits without negatively impacting soil microbial life? J Basic Microb 54:889–904.*
5. *Yijia Zhang, Hongfei Lin, Zhihao Yang and Jian Wang. 2016. Construction of dynamic probabilistic protein interaction networks for protein complex identification. BMC Bioinformatics 17(1):186.*
6. *M Sadeghzadeh, ,2013. S Sheibani, M Ghandi, FJ Daha, M Amanlou, M Arjmand, European journal of medicinal chemistry 64, 488-497.*
7. *Owen M.J., M.J. Walsh, R.S. Llewellyn, S.B. Powles Widespread occurrence of multiple herbicide resistance in Western Australian annual ryegrass (Lolium rigidum) populations Austr. J. Agric. Res., 58 (2007), pp. 711-718.*
8. *Boutsalis P., G.S. Gill, C. Preston. 2012. Incidence of herbicide resistance in rigid ryegrass (Lolium rigidum) across southeastern Australia Weed Technol., 26, pp. 391-398.*
9. *Broster J.C., E.A. Koetz, H. Wu .2013. Herbicide resistance levels in annual ryegrass (Lolium rigidum Gaud.) and wild oat (Avena spp.) in southwestern New South Wales, Plant Prot Q., 28, p. 126.*
10. *Norsworthy J.K., S.M. Ward, D.R. Shaw, R.S. Llewellyn, R.L. Nichols, T.M. Webster, K.W. Bradley, G. Frisvold, S.B. Powles, N.R. Burgos, W.W. Witt. 2012. Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations Weed Sci., 60, pp. 31-62.*
11. *Eskin, A.; Öztürk, Ş. and Körükçü, M. 2019. Determination of the acute toxic effects of zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) in total hemocytes counts of Galleria mellonella (Lepidoptera: Pyralidae) with two different methods. Ecotoxicology, 28(7), 801-808.*
12. *Alani, Shahab Ahmed Jassim. (2020). Designing an integrated management program to control the whitefly (Genndius) Bemisia tabaci on eggplant plants in greenhouses. PhD thesis. College of Agriculture. University of Baghdad. 100 pages.*
13. *Jasieniuk M., A.L. Brûlé-Babel, I.N. 1996. Morrison the evolution and genetics of herbicide resistance in weeds Weed Sci., 44, pp. 176-193.*
14. *Al-Sahuki, Medhat Majeed and Karima Muhammad Waheeb, 1990 Applications in experimental design and analysis. Ministry of Higher Education and Scientific Research. Dar Al-Hekma for Printing and Publishing. Mosul, Iraq. 488 p. 20.*
15. *Hamouz P., K. Hamouzová and K. Novotná. 2015. Effects of Spring herbicides Treatments on Winter Wheat Growth and Grin Yield. Scientia agriculturae bohemica, 46 (1): 1–6.*
16. *Hussain Z., K. Bahadar Marwati, F. Munsif, A. Samad And K. Ali., 2013. Evaulation Of Various Herbicides and Their Combinations for Weeds Control in Wheat Crop. Pak. J. Bot., 45(1): 55-59.*
17. *Afridi R. A. And M. A. Khan., 2014. Reduced Herbicides Doses in Combination with Allelopathic Plant Extracts Suppress Weeds in Wheat. Pak. J. Bot., 46(6): 2077-2082.*
18. *Alvi S.M, S. U. Chaudhry, and M. A. Ali., 2004. Evaluation of Some Herbicides for the Control of Weeds in Wheat Crop. Pak. j. life soc. sci. 2(1): 24-27.*
19. *Hossain M. I., M. E. Haque, K. D. Sayre, R.K. Gupta, S. N. Talukder, M.S. Islam, and M.A. Sobahan.2009. Herbicidal Effect on The Growth and Yield of Wheat. Int. J. Sustain. Crop Prod. 4(5):01-04.*
20. *Enas Hussein Ali, Khamaal Hussein., Abod Al-Khafaji., 2022. Review of studies that deal with the Physiological effects of pesticides on some animals in Iraq. Al-Kufa University Journal for Biology / VOL.14 / NO.2 / Year: 2022. Print ISSN: 2073-8854 Online ISSN: 2311-6544.*
21. *Hamouz P., K. Hamouzová and K. Novotná.2015. EFFECTS OF SPRING HERBICIDE TREATMENTS ON WINTER WHEAT GROWTH AND GRAIN YIELD. Scientia agriculturae bohemica, 46 (1): 1–6.*

22. *Aline Frumi Camargo Camargo., Fábio Stefanski, Thamarys Scapini, Helen Treichel., 2019. Resistant weeds were controlled by the combined use of herbicides and bioherbicides. Environmental Quality Management 29(1). DOI:*

23. *Mauricio Rodríguez Páez a, Y. Ochoa-Muñoz b, J.E. Rodriguez-Páez. 2019. Efficient removal of a glyphosate-based herbicide from water using ZnO nanoparticles (ZnO-NPs). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. Volume 22, November 2019, 101434.*

STUDY THE EFFECT OF MIXING CHEMICAL AND NANO-HERBICIDES ON CONTROLLING WEEDS IN WHEAT CROP

Mohammed H. Al-Mamouri, Meysam Zargar, Ph.D., E.N. Pakina,
Ph.D., E. M. Gaisina, Ahmed Abdalbar Aidaibe,
Agrobiotechnological Department, Agrarian and Technological Institute, RUDN university,
117198, Russia, Moscow, Miklukho-Maklaya, 8, к.2,
E-mail: gaysina-em@rudn.ru

The study aimed to evaluate the effectiveness of chemical herbicide mixtures and nano-treated herbicides in controlling weeds in winter wheat crops. A field experiment was conducted during the season of 2023–2024 using a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The results demonstrated that the highest efficiency was observed in the Конкур + Granstar + Топик combination, which resulted in the lowest dry weed biomass (4.81 g/m²). Overall, mixing herbicides increased their biological activity and contributed to overcoming weed resistance.
Keywords: Triticum aestivum L., Weeds, Nano-herbicides, Chemical control.