

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Научная статья

УДК 633.855

doi: 10.55471/19973225_2022_7_1_12

**МОРФО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАПСА
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦЕОЛИТОВ В УСЛОВИЯХ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ**

Татьяна Владимировна Зубкова¹, Дмитрий Валериевич Виноградов²✉

¹Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина, Елец, Липецкая область, Россия

²Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, Рязань, Россия

¹zubkovatanua@yandex.ru

²vdv-rz@rambler.ru✉

Цель исследований – повышение продуктивности рапса и качества его семян при использовании в качестве удобрений цеолитсодержащих пород в почвенно-климатических условиях Липецкой области. Полевые исследования проводились в 2019-2021 гг. в условиях Липецкой области на опытном поле Елецкого государственного университета имени И. А. Бунина. Предшественником в опыте была озимая пшеница. Посев рапса осуществляли в III декаде апреля с нормой высева 2,0 млн шт./га. Изучались следующие варианты опыта: 1) Контроль; 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$; 3) Цеолит 5 т/га; 4) $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Цеолит 5 т/га. Для определения метаболического профиля спиртовых экстрактов листьев рапса использовали метод газовой хромато-масс-спектрометрии. Анализ состояния устьиц и пыльцы рапса осуществляли с помощью сканирующей электронной микроскопии. Установлено, что цеолит оказывал влияние на размер устьиц и пыльцевых зёрен рапса. Размер устьиц по исследуемым вариантам можно представить в виде следующего убывающего ряда: Контроль > $N_{60}P_{60}K_{60}$ > Цеолит 5 т/га > $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Цеолит 5 т/га. Максимальные изменения 26,81-42,12 мкм полярной оси пыльцы отмечались на варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Цеолит 5 т/га. Установлено, что основными первичными метаболитами в листьях рапса является углевод лактоза и сахарные спирты рибитол и арабитол. Преимущественную долю составляет лактоза, в зависимости от вариантов опыта площадь пика которой варьирует от 11,06 до 37,6 %. Максимальная урожайность – 29,1 ц/га – отмечена на варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Цеолит 5 т/га, что превышало контроль на 69 %.

Ключевые слова: яровой рапс, метаболиты, цеолит, урожайность, пыльца, качество.

Для цитирования: Зубкова Т. В., Виноградов Д. В. Морфо-биохимические особенности и продуктивность рапса при использовании цеолитов в условиях Липецкой области // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. №1. С. 12–19. doi: 10.55471/19973225_2022_7_1_12

AGRICULTURE

Original article

**MORPHO-BIOCHEMICAL FEATURES AND RAPESEED PRODUCTIVITY WHEN USING
ZEOLITES GROWING IN THE CONDITIONS OF THE LIPETSK REGION**

Tatiana V. Zubkova¹, Dmitry V. Vinogradov²✉

¹Yelets State University named after I. A. Bunin, Yelets, Lipetsk Region, Russia

²Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, Ryazan, Russia

¹zubkovatanua@yandex.ru

²vdv-rz@rambler.ru✉

The purpose of the research is the rapeseed quality and productivity increase when using zeolite-containing material as fertilizers for its growing within the climatic conditions of the Lipetsk region. Field studies were conducted

in 2019-2021 in the conditions of the Lipetsk region on the experimental field of the Yelets State University named after I. A. Bunin. The winter wheat was the predecessor involved into the experiment. Rapeseed was sown during the third decade of April, the seeding rate amounted to 2.0 million units/ha. The following experience results were studied: 1) Control; 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$; 3) Zeolite 5 t/ha; 4) $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Zeolite 5 t/ha. To determine the metabolomics of alcohol extracts of rapeseed leaves, the gas chromatography-mass spectrometry method was used. The state of rapeseed stomata and pollen was tested via using scanning electron microscopy. It was found that zeolite influenced the size of stomata and pollen grains of rapeseed. The stomata size according to the studied variants can be represented as the following decreasing series: Control > $N_{60}P_{60}K_{60}$ > Zeolite 5 t/ha > $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Zeolite 5 t/ha. The maximum changes of 26.81-42.12 microns of the polar axis of pollen were observed on the variant $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Zeolite 5 t/ha. It has been established that the main primary metabolites in rapeseed leaves are the carbohydrate lactose and the sugar alcohols ribitol and arabitol. The lactose makes the predominant share, depending on the variants of the experiment, the peak area of which varies from 11.06 to 37.6%. The maximum yield marked – 29.1 c/ha – was noted on the variant $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Zeolite 5 t/ha, which exceeded the control by 69%.

Keywords: spring rape, metabolites, yield, pollen, quality.

For citation: Zubkova, T. V. & Vinogradov, D. V. (2022). Morpho-biochemical features and rapeseed productivity when using zeolites growing in the conditions of the Lipetsk region. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 1, 12–19 (in Russ.). doi: 10.55471/19973225_2022_7_1_12

Рапс – это масличная культура, которая широко распространена в мире. Это однолетнее растение имеет мощную корневую систему, прямостоячий хорошо облиственный стебель. Существуют две формы рапса: озимая и яровая. Урожайность семян и выход масла ярового рапса примерно на 30% ниже, чем у озимого [2, 3, 14]. При соответствующих погодных условиях и оптимальной технологии выращивания яровой рапс может давать зерна почти столько же, сколько озимый [8, 15, 16].

В России возделывают в основном яровые формы рапса. В 2019 г. общие посевные площади под рапсом составляли 1546 тыс. га, из них на долю озимого рапса приходилось 12,4 %, на долю ярового – 87,6 %. Доля посевных площадей увеличилась благодаря введению рапса в севооборот в основных регионах возделывания, а именно в Северо-западном, Центральном Нечерноземном, Черноземном, Сибирском и др.

Важным элементом в технологии возделывания рапса является минеральное питание растений [5, 6, 12]. Цеолиты – это природные кристаллические алюмосиликаты. Они являются наиболее распространенными минералами [1, 4, 9, 13]. Поры и пустоты являются ключевыми характеристиками цеолитовых материалов. Поры и связанные между собой пустоты заняты катионами и молекулами воды. Они могут использоваться как в качестве носителей питательных веществ, так и в качестве среды для свободных питательных веществ. Цеолиты являются важными материалами с очень широким применением в сельском хозяйстве и экологической инженерии. Установлено, что внесение цеолита в почву повышает урожайность сельскохозяйственных культур и повышает эффективность использования питательных веществ [13]. Учёными В. С. Крутилиной и др. [7] установлено, что применение цеолита повышает фотосинтетическую активность, а, следовательно, и биологическую урожайность сельскохозяйственных культур. На качество пыльцевых зёрен оказывают влияние многие факторы, в том числе и питание растений [11]. Метаболиты растений помимо участия в различных биохимических реакциях, играют важную роль в их защите [13].

Использование цеолитов в качестве удобрений является весьма актуальным вопросом в производстве масличных культур, а такие показатели, как метаболиты растений, размеры пыльцевых зёрен и устьиц растений в совокупности могут оказывать влияние на продуктивность сельскохозяйственных растений.

Цель исследований – повышение продуктивности рапса и качества его семян при использовании в качестве удобрений цеолитсодержащих пород в почвенно-климатических условиях Липецкой области.

Задачи исследований – дать оценку морфо-биохимическим показателям ярового рапса

(размеру устьиц и пыльцы, содержания первичных метаболитов), урожайности рапса и качества семян в зависимости от используемых в опыте удобрений.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили на опытных полях Елецкого государственного университета имени И. А. Бунина в 2019-2021 гг. Объект исследования – яровой рапс сорта Риф. В качестве природных минералов использовали природный цеолит Тербунского месторождения. Химический состав природного цеолита (масс %): Na (0,1), Mg (0,9), Al (9,4), Si (21,3), P (0,4), S (0,3), K (1,6), Ca (0,8), Fe (2,3), Co (9,5), Ni (3,4), Cu (0,3), Zn (1,1), Mo (1,2).

Схема опыта: 1) Контроль; 2) $N_{60}P_{60}K_{60}$; 3) Цеолит 5 т/га; 4) $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Цеолит 5 т/га. В проведённых исследованиях использовали азофоску, дозы рассчитаны на урожайность семян 2,0 т/га с корректировкой расчета баланса элементов питания на опытных почвах в условиях региона.

Погодные условия в годы исследований складывались благоприятно при ГТК в 2019 г. – 0,98, в 2020 г. – 1,28, в 2021 г. – 1,03 (рис. 1).

Предшественником в опыте была озимая пшеница. Посев рапса осуществляли в III декаде апреля с нормой высева 2,0 млн шт./га. Уход за посевами складывался из обработки посевов против сорняков препаратом Галион 0,3 л/га (действующее вещество – клопиралид 300 г/л + пиклорам 75 г/л). Против крестоцветной блохи и рапсового цветоеда растения рапса обрабатывали препаратом Карате Зеон 0,15 л/га (действующее вещество лямбда-цигалотрин 50 г/л). Удобрения и природный цеолит вносили весной перед культивацией. Общая площадь опытных делянок составляла 50 м², учётных – 40 м². Повторность опыта четырёхкратная. Уборку ярового рапса проводили в третьей декаде августа.

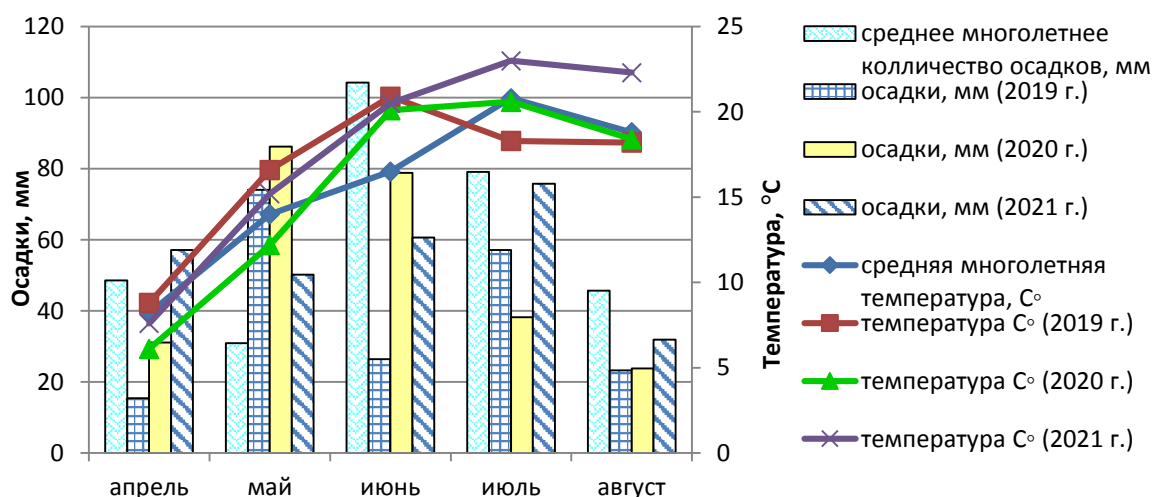


Рис. 1. Погодные условия за 2019-2021 гг.

В опытах использовали технологию возделывания ярового рапса, общепринятую для региона. Для определения метаболомного профиля спиртовых экстрактов листьев рапса использовали метод газовой хромато-масс-спектрометрии. Идентификация веществ и количественное определение их концентраций осуществлялось путем сравнения со значениями и масс-спектрами NIST-5 (Библиотека Национального института стандартов и технологий США). Анализ состояния устьиц и пыльцы рапса осуществляли с помощью сканирующей электронной микроскопии аналитическим электронным микроскопом «EVO 50 XVP» (Carl Zeiss). Содержание жира в маслосеменах рапса определяли методом Сокслетта.

Результаты исследований. Результаты сканирующей электронной микроскопии позволили установить некоторые различия по вариантам исследования в отношении устьиц листовых пластинок и пыльцевых зёрен рапса. В вариантах с внесением цеолита устьица были гораздо крупнее, чем на контроле, с хорошо просматриваемой устьичной щелью (рис. 2). Длина устьиц находилась в пределах 13,91-18,21 мкм. Следует отметить, что длина устьиц была максимальной на вариантах с применением цеолита в комплексе с минеральными удобрениями (18,21 мкм). Размер устьиц по исследуемым вариантам можно представить в виде следующего убывающего ряда:

Контроль > $N_{60}P_{60}K_{60}$ > Цеолит 5 т/га > $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Цеолит 5 т/га. Главное свойство цеолитов – поглощать, а потом постепенно отдавать воду при заданных параметрах температуры и влажности. Можно предположить, что в условиях опыта с применением цеолита растения были обеспечены водой, что и повлияло на размеры устьиц.

Сканирование пыльцы позволило установить, что пыльцевые зёрна рапса имели продолговато-эллипсоидную форму (рис. 3). В вариантах опыта с минеральным удобрением ($N_{60}: P_{60}: K_{60}$) размер полярной оси был ниже, чем на контроле. В вариантах минерального удобрения ($N_{60}: P_{60}: K_{60}$) совместно с цеолитом (5 т/га) и с цеолитом в чистом виде (5 т/га) – выше, чем на контроле. Пределы изменения полярной оси пыльцы в зависимости от типа эксперимента варьировались следующим образом: 21,56-41,52 мкм – Контроль; 24,59-41,63 мкм – $N_{60}P_{60}K_{60}$; 25,31-41,91 мкм – Цеолит 5 т/га; 26,81-42,12 мкм – $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Цеолит 5 т/га.

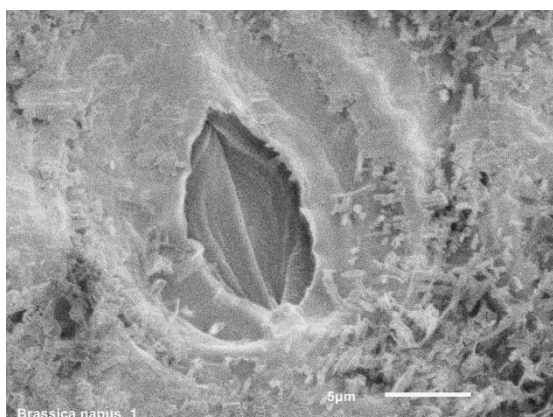


Рис. 2. Устьице абаксиальной стороны листа
(Цеолит 5 т/га)
(Фотография С. М. Мотылёвой. 2021)

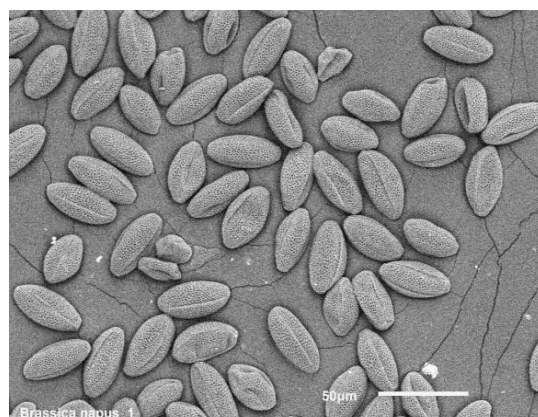


Рис. 3. Пыльцевые зёрна ярового рапса
(Цеолит 5 т/га)
(Фотография С. М. Мотылёвой. 2021)

Внесение удобрений положительно сказалось на увеличении размеров пыльцевых зёрен и благоприятно отразилось на урожайности рапса. Следовательно, такая подкормка растений в виде цеолитсодержащей породы способствует увеличению жизнеспособности пыльцы и, как следствие, увеличивает количество семян в стручке. Варианты опыта практически не оказали влияния на качественный состав метаболитов (табл. 1), однако выявлены количественные различия накопления отдельных соединений в зависимости от варианта опыта.

Таблица 1

Сравнительное содержание основных веществ в листьях рапса в зависимости от вариантов опыта

Варианты опыта	Вещество, %				Σ
	Arabitol	Sorbitol	Palmitic acid	Lactose	
Контроль	20,1	18,2	1,7	32,9	72,9
$N_{60}P_{60}K_{60}$	25,5	23,6	0,5	32,9	81,7
Цеолит 5 т/га	15,7	16,3	0,8	37,6	70,4
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + Цеолит 5 т/га	42,4	37,5	0,5	11,06	92,2

Основными первичными метаболитами в листьях рапса является углевод лактоза и сахарные спирты рибитол и арабитол. Преимущественную долю составляет лактоза, в зависимости от вариантов опыта площадь пика которой варьирует от 11,06 до 37,6 %. Арабитол и сорбитол синтезируются примерно в равных количествах и также значительно варьируют в зависимости от вариантов опыта от 15,7 до 42,4 и от 16,3 до 37,5 %, соответственно (рис. 4). Площадь пика вторичных метаболитов не превышает 2-5 %.

Таким образом, установлен характерный профиль веществ-метаболитов, экстрагируемых из листьев рапса чистым метанолом. Основными метаболитами является 31 соединение – углеводы и их производные, органические кислоты, обладающие антиоксидантным действием, и жирные кислоты. Отмечено влияние вариантов опыта на синтез метаболитов углеводного обмена в листьях рапса. Наибольшее количество углеводов (по сумме) синтезируется в вариантах с применением минерального удобрения ($N_{60}P_{60}K_{60}$) в комплексе с цеолитом (5 т/га).

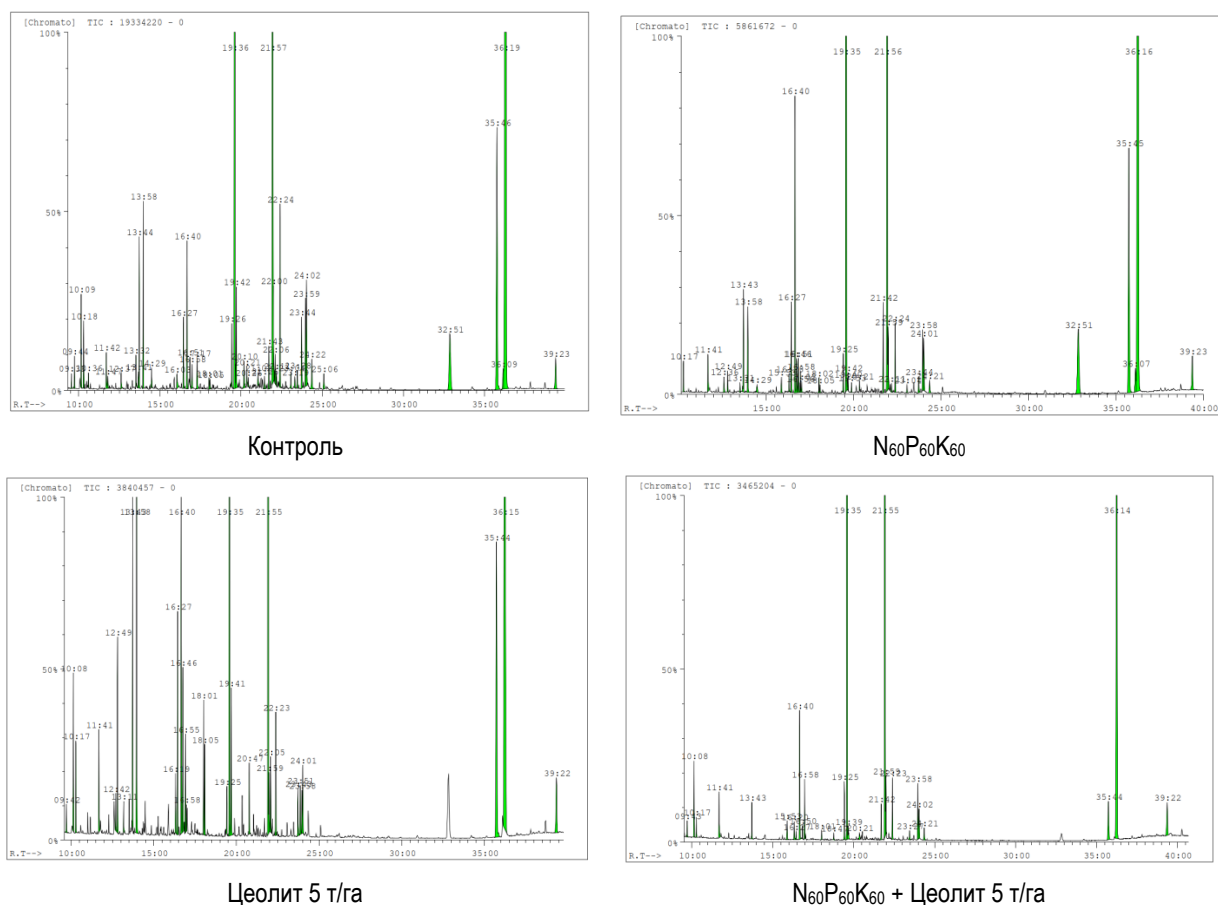


Рис. 4. Сравнительные хроматографические профили экстрактов листьев рапса

Минимум концентрации метаболитов – 70,4 % – отмечался на варианте с цеолитом в чистом виде и на контрольном варианте – 72,9 %. Высоким метаболомным профилем – 81,7 % – характеризовались растения рапса на варианте с применением минерального удобрения. Содержание пальмитиной кислоты в растениях находилось в пределах 0,5-1,7 % в зависимости от вариантов опыта, её максимум отмечался в растениях рапса на контроле (1,7 %).

Максимальная урожайность – 29,1 ц/га – отмечена на варианте N₆₀P₆₀K₆₀ + Цеолит 5 т/га, что превышало контроль на 69 %. Урожайность на варианте N₆₀P₆₀K₆₀ составила 27,1 ц/га, что превышало урожайность на варианте с внесением цеолита в чистом виде на 7,0 ц/га (рис. 5).

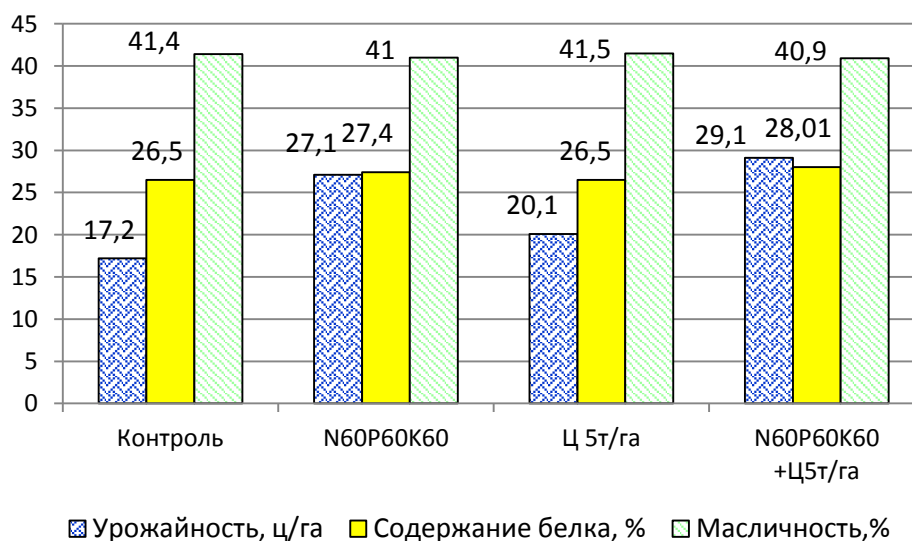


Рис. 5. Урожайность и качественный анализ маслосемян рапса (Ц – цеолит)

Содержание масла в семенах рапса в вариантах с $N_{60}P_{60}K_{60}$ снижалось по отношению к контролю. Максимальное количество жира отмечалось в семенах, где применяли цеолит в чистом виде, – 41,5 %. Следует отметить, что использование минеральных удобрений совместно с цеолитом способствовало увеличению содержания белка в семенах (28,1%). Увеличение доли белка в семенах рапса связано с увеличением азота в удобрениях.

Закключение. Возделывание ярового рапса в условиях лесостепи Центрально-Чернозёмного региона с применением в качестве удобрений природного минерала является весьма эффективным. Установлено, что внесение цеолита способствовало увеличению таких показателей, как размеры устьиц и полярной оси пыльца, метаболитов растений. Подкормка растений в виде цеолитсодержащей породы способствовала увеличению жизнеспособности пыльца, активизации метаболомных и фотосинтетических процессов и, как следствие, отразилось на урожайности. Максимальная урожайность – 29,1 ц/га – отмечена на варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Цеолит 5 т/га, что превышало контроль на 69 %. Урожайность на варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ составила 27,1 ц/га, что превышало на 7,0 ц/га урожайность на варианте с внесением цеолита в чистом виде. Использование минеральных удобрений совместно с цеолитом способствовало увеличению содержания белка в семенах (28,1%).

На основании полученных результатов в 2019-2021 гг. с целью получения высоких урожаев в почвенно-климатических условиях Липецкой области можно рекомендовать в технологии возделывания ярового рапса цеолит Тербунского месторождения в дозе 5 т/га совместно с минеральным удобрением $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Список источников

1. Дубровина О. А., Зубкова Т. В., Виноградов Д. В. Накопление микроэлементов растениями ярового рапса при использовании куриного помета и цеолита // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2020. №4. С.17–24.
2. Зубкова Т. В., Виноградов Д. В. Свойства органоминерального удобрения на основе куриного помета и применение его в технологии ярового рапса на семена // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 46–54.
3. Зубкова Т. В., Виноградов Д. В., Дубровина О. А., Захаров В. Л. Влияние органоминеральных удобрений на накопление Cu и Zn в растениях ярового рапса // Вестник КрасГАУ. 2021. № 9 (174). С. 10–15.
4. Зубкова Т. В., Виноградов Д. В., Мотылёва С. М., Дубровина О. А. Морфологические и химические свойства новых удобрений и применение их при возделывании рапса // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2021. № 2 (63). С. 13–21.
5. Зубкова Т. В., Виноградов Д. В. Влияние применения цеолита на урожайность рапса и качество масла, полученного из его семян // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (199). С. 23–29.
6. Зубкова Т. В., Виноградов Д. В., Гогмачадзе Г. Д. Эффективность некорневой обработки микроудобрениями при выращивании ярового рапса [Электронный ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. –2021. –№1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/1/st_121.pdf. Индекс DOI: <https://doi.org/10.51419/20211121>.
7. Зубкова Т.В., Дубровина О.А., Виноградов Д.В., Мотылёва С.М., Захаров В.Л. Перспективы использования органоминеральных удобрений на посевах рапса // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (63). С. 35–40.
8. Лупова Е. И., Наумцева К. В., Виноградов Д. В. Влияние различных уровней минерального питания на урожайность масличных культур // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 23–29. doi: 10.12737/39904.
9. Лутова Л. А., Шумилина Г. М. Метаболиты растений и их роль в устойчивости к фитопатогенам // Экологическая генетика. 2003. Т. 1, №0. С. 47–55.
10. Троц Н. М., Горшкова О. В. Рекультивация нефтезагрязненных кормовых угодий Степного Заволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. №3. С. 15–21. doi: 10.12737/44988.
11. Цаценко Л. В., Синельникова А. С. Пыльцевой анализ в селекции растений // Научный журнал КубГАУ. 2012. №77. С. 1–11.

12. Цыбульский А. В., Киселева Л. В., Васин В. Г. Продуктивность и аминокислотный состав кормовых смесей подсолнечника и суданки силосного назначения на разных уровнях минерального питания // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. Вып. 1. С. 3–6.
13. Ramesh K., Reddy D. D. Zeolites and their potential application in agriculture // *Achievements in agronomy*. 2011. Vol. 113. P. 219–241.
14. Vinogradov D. V., Zubkova T. V. Accumulation of heavy metals by soil and agricultural plants in the zone of technogenic impact // *Indian Journal of Agricultural Research*. September 2021. DOI: 10.18805/IJArE.A-651
15. Vinogradov D. V., Zubkova T. V. Ways to increase the productivity of crop rotation in the forest-steppe conditions of the European part of Russia // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022. 979. 012060.
16. Zubkova T. V., Vinogradov D. V., Zakharov V. L. Microelement composition of spring rape plants depending on the specified experimental conditions // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022. 979. 012094.

References

1. Dubrovina, O. A., Zubkova, T. V. & Vinogradov, D. V. (2020). Accumulation of trape constituent by spring rape using chicken manure and zeolite. *Vestnik Riazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva (Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostycheva)*, 4, 17–24 (in Russ.).
2. Zubkova, T. V. & Vinogradov, D. V. (2021). Properties of organic-mineral fertilizer based on chicken manure and its application in the technology of spring rape seeds. *Vestnik Uliyanovskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademii (Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy)*, 1 (53), 46–54 (in Russ.).
3. Zubkova, T. V., Vinogradov, D. V., Dubrovina, O. A. & Zakharov, V. L. (2021). Influence of organic fertilizers on the accumulation of CU and Zn by spring rape plants. *Vestnik Krasnoarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of KrasSAU)*, 9 (174), 10–15 (in Russ.).
4. Zubkova, T. V., Vinogradov, D. V., Motyleva, S. M. & Dubrovina, O. A. (2021). Morphological and chemical properties of new fertilizers and their application in the cultivation of rapeseed. *Vestnik Buriatskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademii im. V. R. Filippova (Bulletin Buryat State Academy of Agriculture named after V. R. Philippov)*, 2 (63), 13–21 (in Russ.).
5. Zubkova, T. V. & Vinogradov, D. V. (2021). Influence of the use of zeolite on the yield of rapeseed and the quality of oil derived from its seeds. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of Altai State Agrarian University)*, 5 (199), 23–29 (in Russ.).
6. Zubkova, T. V., Vinogradov, D. V. & Gogmachadze, G. D. (2021). The effectiveness of foliar feeding with micro fertilizers in the cultivation of spring rape. *AgroEcoInfo: Electronic scientific and production journal*, 1. Retrieved from http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/1/st_121.pdf. doi: <https://doi.org/10.51419/20211121>.
7. Zubkova, T. V., Dubrovina, O. A., Vinogradov, D. V., Motyleva, S. M. & Zakharov, V. L. (2020) Prospects for the use of organic mineral fertilizers on rapeseed crops. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University)*, 4 (63), 35–40 (in Russ.).
8. Lupova, E. I., Naumtseva, K. V. & Vinogradov, D. V. (2020). Influence of mineral nutrition at different levels on the yield of oilseed. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 4, 23–29. (in Russ.). doi: 10.12737/39904.
9. Lutova, L. A. & Shumilina, G. M. (2003). Metabolites of plants and their role in resistance to pathogens. *Ekologicheskaya genetika (Ecological genetics)*, 1, 0, 47–55 (in Russ.).
10. Trots, N. M. & Gorshkova, O. V. (2021). Recultivation of oil-polluted forage lands of steppe Zavolzhye. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 3, 15–21 (in Russ.). doi: 10.12737/44988.
11. Tsatsenko, L. V. & Sinelnikov, A. S. (2012). Pollen statistics in plant breeding. *Nauchnyi zhurnal KubGAU (Scientific Journal of KubSAU)*, 77, 1–11 (in Russ.).
12. Tsybulsky, A. V., Kiseleva, L. V., & Vasin, V. G. (2017). Productivity and amino acid composition of feed mixtures of sunflower and Sudan silage for different levels of mineral nutrition. *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*, 1, 3–6 (in Russ.).
13. Ramesh, K. & Reddy, D. D. (2011). Zeolites and their potential application in agriculture. *Achievements in agronomy*, 113, 219–241.
14. Vinogradov, D. V. & Zubkova, T. V. (2022). Accumulation of heavy metals by soil and agricultural plants in the zone of technogenic impact. *Indian Journal of Agricultural Research*. September 2021. DOI:10.18805/IJArE.A-651
15. Vinogradov, D. V. & Zubkova, T. V. (2022). Ways to increase the productivity of crop rotation in the forest-steppe conditions of the European part of Russia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 979, 012060.
16. Zubkova, T. V., Vinogradov, D. V. & Zakharov, V. L. (2022). Microelement composition of spring rape plants depending on the specified experimental conditions. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 979, 012094.

Информация об авторах

Т. В. Зубкова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

Д. В. Виноградов – доктор биологических наук, профессор.

Information about the authors

T. V. Zubkova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

D. V. Vinogradov – Doctor of Biological Sciences, Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.01.2022; одобрена после рецензирования 28.02.2022; принята к публикации 11.03.2022.

The article was submitted 20.01.2022; approved after reviewing 28.02.2022; accepted for publication 11.03.2022.