

DOI: 10.22363/2312-797X-2017-12-4-312-322

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ГОРЬКОГО МИНДАЛЯ (*PRUNUS AMYGDALUS*) НА АЗОТНОЕ НАНО-УДОБРЕНИЕ НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ

А. Бадран¹, И.Ю. Савин^{1,2}¹Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198²Почвенный институт имени В.В. Докучаева
Пыжевский пер., 7-2, Москва, Россия, 119017

Использование большого количества химических удобрений оказывает негативное влияние как на здоровье человека и животных, так и окружающую среду. Дополнительной проблемой является трудность использования азотных удобрений (мочевина) на песчаных почвах из-за их больших потерь в результате выщелачивания (70%). С другой стороны, используя нано-частицы, можно достичь контролируемое или отсроченное высвобождение удобрения. Эта стратегия ведет к уменьшению выщелачивания удобрений. Наш эксперимент был проведен для изучения влияния нано-удобрения на морфологические свойства подвоя горького миндаля в период прорастания и первые этапы роста в сравнении с другими химическими удобрениями. Семена пропитывали дистиллированной водой в течение 48 часов. Затем они были высажены в перлит и обрабатывались различными концентрациями нано-удобрения, мочевины и сульфата аммония (0%, 25, 50 и 100%) для каждого. Затем семена стратифицировали при 6 °С в течение 8 недель. После холодной стратификации они выдерживались при температуре 22 °С в течение 3-х недель. Пророщенные семена высаживались в горшки со смесью торфа и перлита. Опыт был проведен в рандомизированном полном блочном дизайне и факториальном эксперименте в 3-кратной повторности с 25 семенами в каждой повторности. Результаты показали, что нано-удобрение значительно влияет на прорастание семян и первые стадии роста горького миндаля. Установлено, что предварительная обработка семян горького миндаля нано-удобрениями положительно увеличивает прорастание, длину и диаметр стебля, удлинение основного и вторичного корня, количество вторичных корней растений по сравнению с другими химическими удобрениями.

Ключевые слова: эффективность использования азотных удобрений, гидроксиапатитовые наночастицы, удобрения пролонгированного действия, горький миндаль

ВВЕДЕНИЕ

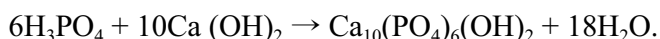
Азот является необходимым питательным веществом для роста растений, и это самый важный фактор, который обычно приводит к ограничению урожайности [1]. Мочевина — наиболее широко используемое азотное удобрение в сельском хозяйстве из-за высокого содержания азота 46% [2]. Однако мочевины трудно фиксировать частицами почвы до гидролиза, так как это нейтральная органическая молекула. Было установлено, что только 30—50% дозы азота, применяемого в качестве мочевины, обычно используется растениями [3]. Большая часть азота обычных удобрений с размерами частиц более 100 нм теряется в почве из-за выщелачивания, поэтому эффективность использования азота (ЭИА) растениями низкая [4].

Одним из подходов уменьшения выщелачивания и улучшения ЭИА является попытка использования удобрения в виде наночастиц, что позволяет во многих случаях уменьшить выщелачивание удобрений почве [5—7]. Одновременно это позволяет уменьшить само количество вносимых удобрений, что сберегает энергию на их производство и внесение и сохраняет окружающую среду [8—12].

В настоящее время имеется достаточно богатый опыт использования нано-удобрений для возделывания различных сельскохозяйственных культур [1, 8]. В большинстве случаев исследования проводятся с однолетними культурами. Изучения влияния нано-удобрений на рост и развитие горького миндаля проводилось очень мало. Поэтому основной целью данного исследования является определение оптимального количества нано-удобрений для прорастания и первых фаз развития горького миндаля в сравнении с другими химическими удобрениями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось в 2016—2017 гг. с целью изучения влияния нано-удобрения на прорастание семян и первые стадии роста горького миндаля по сравнению с другими химическими удобрениями. Нано-удобрение — гидроксипатит модифицированный нано-мочевинной (ГА), может быть синтезирован несколькими способами [13, 14]. В нашем случае ГА был синтезирован методом влажного химического осаждения в соответствии со следующим уравнением:



Взаимодействие между гидроксипатитом и нано-мочевинной проводилось в рамках ультразвукового смешивания (30 к гц в течение 1 часа). Элементный состав полученного нано-удобрения показан в табл. 1.

Таблица 1

Содержание азота, фосфора и кальция в ГА

Элемент	Содержание в нано-удобрения (%)
N	33,2
P	6,2
Ca	13

Сухие семена горького миндаля (*Prunus Amygdalus*) были отобраны в Рафахе (Северный Синай, Египт). Здоровые семена одного размера замачивались в дистиллированной воде в течение 48 часов. После этого они были посеяны в перлит и обработаны тремя видами удобрений: мочевины, сульфат аммония и нано-удобрение (ГА) при относительной концентрации азота 0% в качестве контроля, 25%, 50% и 100%. Концентрация 100% соответствует содержанию 100 мг N/кг почвы [15]. Кроме того, был добавлен P и Ca в форме фосфата кальция $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ в количестве, равном содержанию этих элементов в нано-удобрении. Также был добавлен калий в виде селфата калия в количестве, при котором растения не испытывали при росте его недостаток. Затем семена были стратифицированы при 6 °C в течение восьми недель (15 октября — 13 декабря 2016 г). После холодной стра-

тификации не проросшие семена подвергались воздействию 22 °С в течение трех недель (13 декабря — 5 января 2017 г.) для активизации их прорастания. Прорастание семян определялось появлением корешков не менее 2 мм длины. После прорастания растения высаживали в горшках с смесью торфа и перлита, которые впоследствии обрабатывались различными концентрациями удобрений один раз/месяц. Растения выращивали при температуре 25 ± 2 °С; фотопериод: 16 часов света, восемь часов темноты; интенсивность света (PAR) 500—700 μMolem-2 s-1.

В нашем эксперименте наблюдения велись за следующими параметрами.

1. Содержание влаги в семенах определяли до излучения и после полной всхожести (г/семя).

2. Процент прорастания определяли еженедельно до конца периода прорастания. Процент прорастания (GP) рассчитывали по следующей формуле:

$$GP = \sum G/N \cdot 100,$$

где GP — процент прорастания, G — количество проросших семян, а N — число всех семян [16].

3. Индекс прорастания был рассчитан по следующей формуле:

$$GI = \sum Gt / Dt,$$

где Gt — процент прорастания после t дней, а Dt — время прорастания в соответствии с предыдущими исследованиями [17].

4. Скорость прорастания (Gr) рассчитывали используя следующее уравнение:

$$Gr = \sum n / \sum (Dn) \cdot 100,$$

где n — количество семян, которые прорастают (в днях), а D — количество дней, отсчитываемых от начала теста [18].

5. Длина стебля (см) измерялась от поверхности почвы до конца точки роста.

6. Диаметр стебля (мм) каждого растения измеряли с помощью штангенциркуля.

7. Средняя длина основного корня растения (см).

8. Среднее число и длина вторичных корней растений (см).

9. Индекс силы проростков рассчитывали по следующей формуле [19]:

$$\text{Индекс силы} = \text{прорастание \%} \cdot \text{Среднее значение длины проростков (корень + стебель)}.$$

Опыт был проведен в рандомизированном полном блочном дизайне и факториальном эксперименте, где тип удобрения находился на основном участке, а различные концентрации удобрений были на участках с 3-кратной повторностью и 25 семенами в каждой повторности. Полученные данные были подвергнуты дисперсионному анализу (ANOVA) в программном пакете MSTAT, а результаты сравнивались с использованием минимально значимых различий (LSD) на уровне 5%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты эксперимента приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

**Влияние азотных удобрений на прорастание семян,
длину и диаметр стебля проростков горького миндаля**

Удобрение		Влажность семян	Прорастание %	Индекс прорастания	Скорость прорастания	Длина стебля	Диаметр стебля
Мочевина	Без	0,42 ^g	76,00 ^e	3,43 ^e	4,76 ^c	9,00 ^f	1,80 ^f
	25%	0,50 ^f	84,00 ^d	6,38 ^{de}	7,00 ^{bc}	19,33 ^e	2,40 ^{de}
	50%	0,58 ^e	86,67 ^{cd}	6,47 ^{de}	7,14 ^{bc}	20,33 ^e	2,73 ^{de}
	100%	0,59 ^{de}	90,67 ^{bc}	8,28 ^{cd}	7,56 ^{bc}	21,00 ^{de}	2,76 ^{de}
Среднее		0,52 ^c	84,33 ^b	6,14 ^b	6,54 ^b	17,42 ^b	2,42 ^b
Сульфат аммония	Без	0,43 ^g	76,67 ^e	3,62 ^e	5,55 ^c	9,66 ^f	1,90 ^f
	25%	0,57 ^e	86,67 ^{cd}	8,66 ^{cd}	9,10 ^b	22,67 ^{cde}	2,93 ^d
	50%	0,65 ^{cd}	90,67 ^{bc}	10,38 ^c	9,52 ^b	24,00 ^{cd}	3,00 ^{cd}
	100%	0,68 ^c	90,67 ^{bc}	10,95 ^{bc}	9,89 ^b	25,67 ^{bc}	3,10 ^{cd}
Среднее		0,58 ^b	86,17 ^b	8,40 ^b	8,53 ^{ab}	20,50 ^b	2,73 ^b
Нано-удобрения	Без	0,43 ^g	77,67 ^e	3,54 ^e	5,58 ^c	10,00 ^f	1,86 ^f
	25%	0,79 ^b	94,67 ^{ab}	13,52 ^{ab}	13,00 ^a	27,50 ^{ab}	3,40 ^c
	50%	0,99 ^a	97,33 ^a	13,90 ^{ab}	14,94 ^a	28,67 ^{ab}	4,10 ^b
	100%	1,04 ^a	98,67 ^a	14,10 ^a	15,21 ^a	31,33 ^a	4,76 ^a
Среднее		0,81 ^a	92,08 ^a	11,27 ^a	12,11 ^a	24,67 ^a	3,53 ^a

Таблица 3

**Влияние азотных удобрений на формирование корней
и индекс силы проростков горького миндаля**

Удобрение		Число вторичных корней растения	Длина вторичных корней растения	Длина основного корня растения	Индекс силы
Мочевина	Без	8,33 ^e	2,66 ^e	4,66 ^f	892 ^g
	25%	15,33 ^d	4,17 ^d	10,33 ^e	1 772 ^f
	50%	15,67 ^d	4,26 ^d	10,67 ^e	1 909 ^{ef}
	100%	17,33 ^{cd}	4,66 ^d	10,67 ^e	1 997 ^{ef}
Среднее		14,17 ^b	4,16 ^b	9,08 ^c	1 643 ^c
Сульфат аммония	Без	9,33 ^e	3,00 ^e	6,00 ^f	930 ^g
	25%	20,00 ^{bc}	4,66 ^d	11,67 ^{de}	2 044 ^e
	50%	21,00 ^b	5,00 ^d	13,00 ^d	2 383 ^s
	100%	21,67 ^b	5,66 ^c	15,67 ^c	2 745 ^c
Среднее		18,00 ^a	4,58 ^b	11,58 ^b	2 026 ^b
Нано-удобрения	Без	9,00 ^e	2,90 ^e	6,33 ^f	1 004 ^g
	25%	19,67 ^{bc}	6,33 ^b	16,33 ^{bc}	2 991 ^b
	50%	22,67 ^{ab}	6,67 ^{ab}	17,67 ^{ab}	3 308 ^a
	100%	25,33 ^a	7,00 ^a	18,00 ^a	3 513 ^a
Среднее		19,17 ^a	5,75 ^a	14,42 ^a	2 704 ^a

Из полученных данных следует, что содержание влаги в семенах значительно увеличилось за счет увеличения дозы внесения удобрений от нуля до полной дозы во всех видах удобрений (табл. 2). Наивысшее содержание влаги в семенах регистрировалось при внесении нано-удобрений, особенно с 50 и 100% концентрацией без каких-либо существенных различий между ними по сравнению с другими химическими удобрениями. Полученные результаты полностью согласуются с предыдущими исследованиями [20, 21] и позволяют предположить, что механизм влияния на семена миндаля имеет схожий характер. Согласно их данным различные наноматериалы могут поглощаться семенами томатов, что существенно влияет на их биологическую активность. Скорее всего это происходит путем увеличения количества воды, которая проникает внутрь семян в период прорастания. Наночастицы могут создавать новые поры для впитывания семенами воды через семенную оболочку. По мнению авторов, этот процесс может увеличить прорастание и скорость роста саженцев томатов.

Наблюдалось заметное увеличение процента прорастания семян при увеличении дозы до 100% для всех видах удобрений (табл. 2). В этом отношении самый высокий процент прорастания был достигнут, когда семена были обработаны нано-удобрениями по сравнению с традиционными удобрениями. Кроме того, 100% мочевины, 50 и 100% сульфата аммония дало одинаковое влияние на процент прорастания к 25% нано-удобрения. Это свидетельствует о более рациональном расходовании азота нано-удобрением по сравнению с традиционными, о чем писали и другие авторы [13].

Из табл. 2 видно, что увеличение дозы удобрений до 100% дозы значительно увеличивает средний показатель прорастания семян горького миндаля со всеми видами удобрений в рамках исследования. Но наивысший выраженный эффект приращения был получен все же при обработке нано-удобрениями. С другой стороны, самый низкий показатель прорастания был обнаружен при контрольных обработках и низких концентрациях мочевины и сульфата аммония соответственно. Известно, что успешность прорастания семян зависит от мобилизации хранимых в них веществ ферментами амилазой и протеазой до тех пор, пока растение не начнет фотосинтез. При этом в ряде исследований показано, что, например, наночастицы оксида титана даже при низкой концентрации усиливают прорастание семян и рост рассады с одновременным увеличением активности амилазы и протеазы [22]. Этот же механизм скорее всего действует и в нашем случае.

Использование азотных удобрений существенно влияло на скорость прорастания семян горького миндаля (табл. 2). Более высокий прирост был получен для всех доз нано-удобрения по сравнению с обработкой мочевиной и сульфатом аммония. Различия между применением мочевины и обработкой сульфатом аммония были незначительными. В работе [23] отмечается, что нано-TiO₂ способствует поглощению воды и улучшает прорастание семян. В [24] отмечено, что основной причиной увеличения скорости роста является нано-TiO₂, который помогает повышению стрессоустойчивости семян и увеличению проникновения через их оболочку воды и кислорода, что способствовало более быстрому прорастанию семян. Наши результаты подтверждают эти выводы и для горького миндаля.

В результате предыдущих исследований было установлено, что высота растений, обработанных ГА — нано-мочевинной, за 5 дней превысила высоту растений, обработанных простой мочевиной, на 1,8 см [20]. Обработка нано-кальциевыми и нано-калийными удобрениями привело к увеличению площади листьев и содержания хлорофилла в базилике [25]. Наночастицы TiO_2 улучшают рост растений за счет усиления метаболизма азота и фотосинтеза [26]. Кроме того, применение наноматериалов повышает экспрессию генов, связанных с делением клеток, удлинением клеток и стрессом [27]. Нано-удобрение в нашем эксперименте также обеспечило лучший рост проростков миндаля (большую длину и диаметр по сравнению с удобрениями из мочевины и сульфата аммония).

В работах [28, 29] было показано, что нано-удобрения могут способствовать усиленному росту корней редиса, рапса, арабидопсиса. Согласно полученным нами данным (табл. 3) количество вторичных корней у проростков горького миндаля также увеличивается при применении ГА нано-удобрений, особенно при концентрации в 50 и 100%.

Отмечается также и большая длина корней при использовании ГА, особенно при концентрациях 50 и 100% (табл. 3). Ранее подобные же результаты были получены для хлопка [30—32]. Процент роста колебался от 114,9—130% и 105,4—115,2% для побегов и корней, соответственно, по сравнению с контролем.

Что же касается показателя силы проростков, было установлено, что в среднем нано-удобрение значительно увеличило общий показатель силы горьких миндальных проростков. Меньшая сила проростков была установлена при использовании сульфата аммония и еще меньшая — при использовании мочевины. Примечательно, самый высокий показатель силы проростков соответствует концентрациям нано-удобрений 50 и 100% без существенных различий между ними. Эти выводы также хорошо согласуются с предыдущими исследованиями [33], согласно которым наноразмерный оксид цинка способствовал более быстрому прорастанию семян и силе сеянцев.

ВЫВОДЫ

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что использование нано-удобрений в виде гидроксиапатита, модифицированного нано-мочевинной, улучшает прорастание и морфологическое состояние горького миндаля на первых стадиях роста. В сравнении с обычными удобрениями использование азотных нано-удобрений приводит к лучшему прорастанию семян, к более быстрому развитию проростков, их лучшим морфометрическим характеристикам.

При использовании для замачивания семян горького миндаля при 50% концентрации азота в виде нано-удобрений наблюдается заметное увеличение их всхожести и улучшение состояния, что может быть использовано в практике выращивания рассады горького миндаля.

Для более точного обоснования необходимых доз нано-удобрения на ранних этапах развития горького миндаля необходимо проведение подобных экспериментов в условиях полевого эксперимента на реальных почвах.

© А. Бадран, И.Ю. Савин, 2017.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] *Ni B.L., Liu M.Z., Lue S.Y.* Multifunctional slow release urea fertilizer from ethyl cellulose and super absorbent coated formulations // *Chemical Engineering Journal*. 2009. Vol. 155. P. 892—898.
- [2] *Zheng T., Liang Y.H., Ye S.H., He Z.Y.* Superabsorbent hydrogels as carriers for the controlled-release of urea: experiments and a mathematical model describing the release rate // *Biosystems Engineering*. 2009. Vol. 102. P. 44—50.
- [3] *Al-Zahrani S.M.* Controlled-release of fertilizers: modelling and simulation // *International Journal of Engineering Science*. 1999. Vol. 37. P. 1299—1307.
- [4] *Monreal C.M., McGill W.B., Nyborg M.* Spatial heterogeneity of substrates: effects of hydrolysis, immobilization and nitrification of urea // *N. Journal of Soil Science*. 1986. Vol. 66(4). P. 499—511.
- [5] *Sastry R.K., Rashmi H.B., Rao N.H., Ilyas S.M.* Integrating nanotechnology into agri-food systems research in India: a conceptual framework // *Technology Forecast Science*. Vol. 77(7). P. 639—648.
- [6] *Liu F., Wen L.X., Li Z.Z. et al.* Porous hollow silica nanoparticles as controlled delivery system for water soluble pesticide // *Mat. Res. Bull.* 2006. Vol. 41. P. 2268—2275.
- [7] *DeRosa M.C., Monreal C., Schnitzer M., Walsh R., Sultan Y.* Nanotechnology in fertilizers // *Nat. Nanotechnol.* 2010. Vol. 5. P. 91—94.
- [8] *Anonymous.* Nanotechnology in agriculture // *Journal of Agriculture and Technology*. 2009. Vol. 114. P. 54—65.
- [9] *Subramanian K.S., Manikandan A., Thirunavukkarasu M., Sharmila Rahale C.* Nano-fertilizers for balanced crop nutrition // *Nanotechnologies in Food and Agriculture* / M. Rai, C. Ribeiro, L. Mattoso, N. Duran (eds.). Switzerland: Springer International Publishing, 2015. P. 69—80.
- [10] *Selivanov V.N., Zorin E.V.* Sustained Action of ultrafine metal powders on seeds of grain crops // *Perspekt. Materialy*. 2001. Vol. 4. P. 66—69.
- [11] *Reynolds G.H.* Forward to the future nanotechnology and regulatory policy // *Pac. Res. Inst.* 2002. Vol. 24. P. 1—23.
- [12] *Raikova O.P., Panichkin L.A., Raikova N.N.* Studies on the Effect of Ultrafine Metal Powders Produced by Different Methods on Plant Growth and Development // *Nanotechnologies and Information Technologies in the 21 st Century*. Moscow, Russia. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2006. P. 108—111.
- [13] *Subbaiyal R., Priyanka I M., Masilamani S.M.* Formulation of Green Nano-Fertilizer to Enhance the Plant Growth through Slow and Sustained Release of Nitrogen // *Journal of Pharmacy Research*. 2012. Vol. 5(11). P. 5178—5183.
- [14] *Kottegoda N., Munaweera I., Madusanka N., Karunaratne Y.A.* Green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood // *Currents science*. 2011. Vol. 101(1). P. 73—78.
- [15] *Neilsen D., Parchomchuk P., Hogue E.J.* Soil and peach seedling responses to soluble phosphorus applied in single or multiple doses. *Communications in Soil // Sci. And plant Ann.* Vol. 24. P. 881—898.
- [16] *Copeland L.O., Mc Donald M.B.* Principles of seed science and technology. 4th ed. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001. P. 488.
- [17] *Tao K.L., Zheng G.H.* Seed Vigor. Beijing, Science Press, 1990. P. 268.
- [18] *Copeland L.O., Mc Donald M.B.* Principals of seed science and Technology. 3rd ed. Chapman and Hall, NewYork, 1995. P. 236.
- [19] *Vashisth A., Nagarajan S.* Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field // *J PlantPhysiol*. 2010. Vol. 167(2). P. 149—156.

- [20] *Khodakovskaya M., Dervishi E., Mahmood M. et al.* Carbon Nanotubes are able to Penetrate Plant Seed Coat and Dramatically Affect Seed Germination and Plant Growth // *ACS Nano*. 2009. Vol. 3(10). P. 3221—3227.
- [21] *Martinez-Ballesta M.C., Carvajal M.* New challenges in plant aquaporin biotechnology // *Plant Sci*. 2014. Vol. 217. P. 71—77.
- [22] *Laware S.L., Raskar S.* Effect of titanium dioxide nanoparticles on hydrolytic and antioxidant enzymes during seed germination in onion // *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*. 2014. Vol. 3. P. 749—760.
- [23] *Zheng L., Hong F., Lu S., Liu C.* Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach // *Biol. TraceElem. Res*. 2005. Vol. 105. P. 83—91.
- [24] *Khot L.R., Sankaran S., Maja J.M. et al.* Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review // *Crop Prot*. 2012. Vol. 35. P. 64—70.
- [25] *Ghahremani A., Akbari K., Yousefpour M., Ardalani H.* Effects of Nano-Potassium and Nano Calcium Chelated Fertilizers on Qualitative and Quantitative Characteristics of *Ocimum basilicum* // *IJPRS*. 2014. Vol. 3. P. 235—241.
- [26] *Yang F., Hong F., You W. et al.* Influences of nanoanatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing spinach // *Biol. TraceElem. Res*. 2006. Vol. 110. P. 179—190.
- [27] *Almutairi Z.M.* Effect of nano-silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under salt stress // *PlantOmics J*. 2016. Vol. 9. P. 106—114.
- [28] *Lin D., Xing B.* Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth // *Environ. Pollut*. 2007. Vol. 150. P. 243—250.
- [29] *Syu Y.Y., Hung J.H., Chen J.C., Chuang H.W.* Impact of size and shape of silver nanoparticles on *Arabidopsis* plant growth and gene expression // *PlantPhysiol. Biochem*. 2014. Vol. 83. P. 57—64.
- [30] *Prasad T.N.V.K.V., Sudhakar P., Sreenivasulu Y. et al.* Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut // *J. PlantNutr*. 2012. Vol. 35. P. 905—927.
- [31] *Singh N.B., Amist N., Yadav K. et al.* Zinc oxide nanoparticles as fertilizer for the germination, growth and metabolism of vegetable crops // *J. Nano.eng. Nano.manuf*. 2013. Vol. 3. P. 353—364.
- [32] *Venkatachalam P., Priyanka N., Manikandan K. et al.* Enhanced plant growth promoting role of phycocompounds coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017. Vol. 110. P. 118—127.
- [33] *Soliman A.Sh., El-feky S.A., Darwish E.* Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar application of nanofertilizers // *J. Hortic. For*. 2015. Vol. 7. P. 36—47.

Сведения об авторах:

Бадран Антар Махмуд — аспирант агроинженерного департамента Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов; e-mail: dr_antar_mahmoud@yahoo.com

Савин Игорь Юрьевич — член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе Почвенного института им. В.В. Докучаева, профессор агроинженерного департамента Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов; e-mail: savin_iyu@esoil.ru

Для цитирования:

Бадран А., Савин И.Ю. Морфологический отклик горького миндаля (*Prunus Amygdalus*) на азотное нано-удобрение на ранних стадиях развития // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2017. Т. 12. № 4. С. 312—322. DOI: 10.22363/2312-797X-2017-12-4-312-322.

DOI: 10.22363/2312-797X-2017-12-4-312-322

MORPHOLOGICAL RESPONSE OF BITTER ALMONDS (*PRUNUS AMYGDALUS*) TO NITROGEN NANO-FERTILIZER IN EARLY STAGES OF GROWTH

A. Badran¹, I.Y. Savin^{1,2}

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
Miklukho-Maklaya st., 6, Moscow, Russia, 117198

²V.V. Dokuchaev Soil Science Institute
Pyzhyovskiy str., lane 7, building 2, Moscow, Russia, 119017

Abstract. The use of large quantities of chemical fertilizers caused in many harmful to humans, animals and the environment. Adding to that, the difficulty of using nitrogen fertilizers especially urea and loss a large amount of it in sandy soil (70%) by leaching. In the other side, using of nano-particles and nano-powders, can produce controlled or delayed releasing fertilizers. This strategy could be reduced leaching of fertilizers as the release occurs gradually and continuously. Hence, this experiment was conducted to study the effect of nano-fertilizer on morphological response of bitter almond rootstock at germination period and the first stages of growth compared to other chemicals fertilizers. The nuts were soaked in distilled water for 48 hours. Subsequently, the seeds were sown in perlite and treated with different concentrations of nano-fertilizer, urea and ammonium sulfate at 0%, 25%, 50% and 100% for each, then stratified at 6 °C for 8 weeks. After cold stratification, non-germinated seeds were exposed to 22 °C for three weeks to promote germination. Germinated seeds were sown in pots with a mixture of peat and perlite. The treatments were arranged in a randomized complete block design in factorial experiment with 3 replicates and 25 seeds for each replicate. The results revealed that, nano-fertilizer affected significantly on seed germination and first stages of bitter almond growth. Whereas, pre-treating seeds of bitter almond rootstock with 50% of nano-fertilizer positively increased germination measurements; germination percentage, germination rate and index due to enhancing the amount of water that penetrates inside the seeds during the germination period which in turn improved the biological activity of stored food thus induced embryo to germinated early. Added to that, nano-fertilizer markedly increased stem length and diameter with producing stronger seedlings which had the tallest and deepest underground parts as well as length of primary and secondary roots/plant and number of secondary roots/plant. It can be attributed to that; nano-fertilizers are available for absorption and can provide all nutrients that required for plant growth throughout its slow release of fertilizer therefore reduce nitrogen fertilizer lost by leaching and elevate nitrogen utilization efficiency by plant comparing to other nitrogen fertilizers that are lost about 70% of its nitrogen content by leaching.

Key words: nitrogen utilization efficiency, hydroxyapatite nanoparticles, slow release fertilizers, nano-fertilizer, seed germination, vigor index, bitter almond

REFERENCES

- [1] Ni BL, Liu MZ, Lue SY. Multifunctional slow release urea fertilizer from ethyl cellulose and super absorbent coated formulations. *Chemical Engineering Journal*. 2009; Vol. 155: 892—898.
- [2] Zheng T, Liang YH, Ye SH, He ZY. Superabsorbent hydrogels as carriers for the controlled-release of urea: experiments and a mathematical model describing the release rate. *Biosystems Engineering*. 2009; Vol. 102: 44—50.
- [3] Al-Zahrani SM. Controlled-release of fertilizers: modelling and simulation. *International Journal of Engineering Science*. 1999; Vol. 37: 1299—1307.
- [4] Monreal CM, McGill WB, Nyborg M. Spatial heterogeneity of substrates: effects of hydrolysis, immobilization and nitrification of urea. *N. Journal of Soil Science*. 1986; Vol. 66(4): 499—511.

- [5] Sastry RK, Rashmi HB, Rao NH, Ilyas SM. Integrating nanotechnology into agri-food systems research in India: a conceptual framework. *Technology Forecast Science*. Vol. 77(7): 639—648.
- [6] Liu F, Wen LX, Li ZZ. et al. Porous hollow silica nanoparticles as controlled delivery system for water soluble pesticide. *Mat. Res. Bull.* 2006; Vol. 41: 2268—2275.
- [7] DeRosa MC, Monreal C, Schnitzer M, Walsh R, Sultan Y. Nanotechnology in fertilizers. *Nat. Nanotechnol.* 2010; Vol. 5: 91—94.
- [8] Anonymous. Nanotechnology in agriculture. *Journal of Agriculture and Technology*. 2009; Vol. 114: 54—65.
- [9] Subramanian KS, Manikandan A, Thirunavukkarasu M, Sharmila Rahale C. Nano-fertilizers for balanced crop nutrition. In: Rai, M., Ribeiro, C., Mattoso, L., Duran, N. (Eds.), *Nanotechnologies in Food and Agriculture*. Switzerland, Springer International Publishing. 2015. p. 69—80.
- [10] Selivanov VN, Zorin EV. Sustained Action of ultrafine metal powders on seeds of grain crops. *Perspekt. Materialy*. 2001; Vol. 4, 66—69.
- [11] Reynolds GH. Forward to the future nanotechnology and regulatory policy. *Pac. Res. Inst.* 2002; Vol. 24, 1—23.
- [12] Raikova OP, Panichkin LA, Raikova NN. Studies on the Effect of Ultrafine Metal Powders Produced by Different Methods on Plant Growth and Development. *Nanotechnologies and Information Technologies in the 21 st Century. Moscow, Russia. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2006. p. 108—111.
- [13] Subbaiya1 R, Priyanka1 M, Masilamani SM. Formulation of Green Nano-Fertilizer to Enhance the Plant Growth through Slow and Sustained Release of Nitrogen. *Journal of Pharmacy Research*. 2012; Vol. 5(11): 5178—5183.
- [14] Kottegoda N, Munaweera I, Madusanka N, Karunaratne YA. green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Currents science*. 2011; Vol. 101(1):73—78.
- [15] Neilsen D, Parchomchuk p, Hogue EJ. Soil and peach seedling responses to soluble phosphorus applied in single or multiple doses. *Communications in Soil. Sci. And plant Ann.* Vol. 24: 881—898.
- [16] Copeland LO, Mc Donald MB. *Principles of seed science and technology*. 4th ed. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 488.
- [17] Tao KL, Zheng GH. Seed Vigor. Beijing, Science Press; 1990, p. 268.
- [18] Copeland LO, Mc Donald MB. *Principals of seed science and Technology*. 3nd ed. Chapman and Hall, NewYork; 1995. p. 236.
- [19] Vashisth A, Nagarajan S, Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *J PlantPhysiol.* 2010; Vol. 167(2): 149—156.
- [20] Khodakovskaya M, Dervishi E, Mahmood M, et al. Carbon Nanotubes are able to Penetrate Plant Seed Coat and Dramatically Affect Seed Germination and Plant Growth. *ACS Nano*. 2009; Vol. 3(10): 3221—3227.
- [21] Martínez-Ballesta MC, Carvajal, M. New challenges in plant aquaporin biotechnology. *Plant Sci.* 2014; Vol. 217: 71—77.
- [22] Laware SL, Raskar S. Effect of titanium dioxide nanoparticles on hydrolytic and antioxidant enzymes during seed germination in onion. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2014; Vol. 3: 749—760.
- [23] Zheng L, Hong F, Lu S, Liu C. Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. *Biol. TraceElem. Res.* 2005; Vol. 105: 83—91.
- [24] Khot LR, Sankaran S, Maja JM, et al. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. *Crop Prot.* 2012; Vol. 35: 64—70.
- [25] Ghahremani A, Akbari K, Yousefpour M, Ardalani H. Effects of Nano-Potassium and Nano Calcium Chelated Fertilizers on Qualitative and Quantitative Characteristics of *Ocimum basilicum*. *IJPRS*, 2014; Vol. 3:235—241.

- [26] Yang F, Hong F, You W, et al. Influences of nanoanatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing spinach. *Biol. TraceElem. Res.* 2006; Vol. 110: 179—190.
- [27] Almutairi ZM. Effect of nano-silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under salt stress. *PlantOmics J.* 2016; Vol. 9: 106—114.
- [28] Lin D, Xing B. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. *Environ. Pollut.* 2007; Vol. 150: 243—250.
- [29] Syu YY, Hung JH, Chen JC, Chuang HW. Impact of size and shape of silver nanoparticles on *Arabidopsis* plant growth and gene expression. *Plant Physiol. Biochem.* 2014; Vol. 83: 57—64.
- [30] Prasad TNVKV, Sudhakar P, Sreenivasulu Y, et al. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *J. Plant Nutr.* 2012; Vol. 35: 905—927.
- [31] Singh NB, Amist N, Yadav K, et al. Zinc oxide nanoparticles as fertilizer for the germination, growth and metabolism of vegetable crops. *J. Nano.eng. Nano. manuf.* 2013; Vol. 3, 353—364.
- [32] Venkatachalam P, Priyanka N, Manikandan K, et al. Enhanced plant growth promoting role of phycocomolecules coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry.* 2017; Vol. 110: 118—127.
- [33] Soliman ASH, El-feky SA, Darwish E. Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar application of nanofertilizers. *J. Hortic. For.* 2015; Vol. 7, 36—47.

For citation:

Badran A., Savin I.Y. Morphological response of bitter almonds (*Prunus Amygdalus*) to nitrogen nano-fertilizer in early stages of growth. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2017, 12 (4), 312—322. DOI: 10.22363/2312-797X-2017-12-4-312-322.