

Оригинальная статья / Original article
УДК 577.112, 581.14
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-122-129

Влияние коротких пептидов на рост и урожайность сои

Татьяна А. Асеева¹, Владимир Х. Хавинсон^{2,3}, Екатерина С. Миронова²,
Галина А. Рыжак², Наталья А. Селезнева¹, Тамара Н. Федорова¹

¹ФГБУН ХВИЦ ДВО РАН «Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Хабаровск, Россия

²АННО ВО НИЦ «Санкт-Петербургский институт биорегуляции и геронтологии», Санкт-Петербург, Россия

³ФГБУН Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия

Контактное лицо

Татьяна А. Асеева, член-корреспондент РАН,
доктор сельскохозяйственных наук, ВРИО
директора, ФГБУН ХВИЦ ДВО РАН
«Дальневосточный научно-исследовательский
институт сельского хозяйства»; 680521 Россия,
г. Хабаровск, с. Восточное, ул. Клубная, 13.
Тел. +79241065299
Email aseeva59@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

Формат цитирования

Асеева Т.А., Хавинсон В.Х., Миронова Е.С.,
Рыжак Г.А., Селезнева Н.А., Федорова Т.Н.
Влияние коротких пептидов на рост и
урожайность сои // Юг России: экология,
развитие. 2022. Т.17, N 2. С. 122-129. DOI:
10.18470/1992-1098-2022-2-122-129

Получена 28 ноября 2020 г.
Прошла рецензирование 25 октября 2021 г.
Принята 28 февраля 2022 г.

Резюме

Цель. Изучение влияния коротких ди- и тетрапептидов (AB-0, AE-0) на рост, развитие и урожайность сои сорта Батя.

Материалы и методы. Биологически активные дипептид AB-0 и тетрапептид AE-0. Полевые исследования проводились на лугово-бухрой оподзоленно-глеевой тяжелосуглинистой почве. За месяц до посадки семена сои были обработаны дипептидом/тетрапептидом разной концентрации 0,01 г/л или 0,001 г/л. Проведено кустарно-ручное и производственные исследование.

Результаты. Применение дипептида AB-0 в кустарно-ручном исследовании оказало положительное влияние на ростовые процессы сои сорта Батя по сравнению с контролем. Применение тетрапептида AE-0 в кустарно-ручном исследовании увеличило массу растений на 7,3-67,0 г, высоту растений на 3,0-9,0 см по сравнению с контролем. Применение дипептида AB-0 и тетрапептида AE-0 повысило урожайность сои максимально на 81,2-83,7% по сравнению с контролем. Применение пептидов AB-0 и AE-0 в производственном опыте способствовало повышению урожая на 30,5% и 18,4% соответственно по сравнению с контролем.

Заключение. Изученные короткие пептиды AB-0 и AE-0 оказали влияние на рост, развитие и урожайность сои сорта Батя. Их можно отнести к регуляторам роста растений.

Ключевые слова

Короткие пептиды, рост, урожайность, соя, регулятор роста.

The effect of short peptides on the growth and yield of soybeans

Tatyana A. Aseeva¹, Vladimir Kh. Khavinson^{2,3}, Ekaterina S. Mironova²,
Galina A. Ryzhak², Natalya A. Selezneva¹ and Tamara N. Fedorova¹

¹Far Eastern Agricultural Research Institute, Khabarovsk Federal Research Centre, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Russia

²St Petersburg Institute of Bioregulation and Gerontology, St. Petersburg, Russia

³Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Principal contact

Tatyana A. Aseeva, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Acting Director, Far Eastern Agricultural Research Institute, Khabarovsk Federal Research Centre, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences; 13 Klubnaya St, Vostochnoe, Khabarovskiy region, Russia 680521.

Tel. +79241065299

Email aseeva59@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

How to cite this article

Aseeva T.A., Khavinson V.Kh., Mironova E.S., Ryzhak G.A., Selezneva N.A., Fedorova T.N. The effect of short peptides on the growth and yield of soybeans. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 2, pp. 122-129. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-122-129

Received 28 November 2020

Revised 25 October 2021

Accepted 28 February 2022

Abstract

Aim. Study of the effect of short di- and tetrapeptides (AB-0, AE-0) on the growth, development and productivity of Batya soybean varieties.

Material and Methods. Biologically active dipeptide AB-0 and tetrapeptide AE-0 were used. Field studies were carried out on meadow-brown podzolized gley heavy loamy soil. One month before planting, soybean seeds were treated with dipeptide/tetrapeptide of concentrations of 0.01 g/l or 0.001 g/l. Hand-tended and industrial-level research was carried out.

Results. The use of dipeptide AB-0 in a hand-tended study had a positive effect on the growth processes of soybeans of the Batya variety compared to the control. The use of tetrapeptide AE-0 in a hand-tended study increased the weight of plants by 7.3-67.0 g and plant height by 3.0-9.0 cm compared to the control. The use of dipeptide AB-0 and tetrapeptide AE-0 increased the yield of soybeans by a maximum of 81.2-83.7% compared to the control. The use of peptides AB-0 and AE-0 in an industrial-level experiment increased the yield by 30.5% and 18.4%, respectively, compared with the control.

Conclusion. The short peptides AB-0 and AE-0 studied had an impact on the growth, development and productivity of Batya soybean varieties. They can be classified as plant growth regulators.

Key Words

Short peptides, growth, yield, soy, growth regulator.

ВВЕДЕНИЕ

С целью создания благоприятных условий для роста и развития растений с учетом их биологических особенностей и применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям необходимо произвести подбор наилучшего сочетания удобрений и биологически активных препаратов [1-3]. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур достигается при помощи предпосевной обработки семян регуляторами роста с совместным применением микроудобрений по вегетирующим растениям [4; 5].

В последнее время повышенное внимание уделяется растворенному органическому азоту, свободным аминокислотам и пептидам, и оценки их вклада в поглощение питательных веществ растениями различных экосистем [6]. Исследования [7; 8] показали, что, несмотря на низкие концентрации аминокислот и пептидов в почвенном растворе, они способствуют накоплению азота, образуют комплексы с катионами металлов и влияют на их биодоступность растениям [9]. Азот является основным элементом необходимым для роста корневой системы растений. Изменения в корневой системе особенно заметны, когда наблюдается несбалансированность питательных веществ в почве. В почвах с высоким содержанием нитратных или аммонийных форм азота, боковые корни активно развиваются, но при дефиците азота происходит снижение роста боковых корней. Чтобы изменить свойства корней в ответ на изменение доступности азота, растения используют различные типы сигнальных молекул, включая гормоны и малые РНК [10]. У бобовых CLE пептиды вмешиваются в эндосимбиотические отношения между клубеньковыми бактериями и растением-хозяином, они регулируют образование клубеньков [11]. Рост и развитие растений контролируются известными фитогормонами, такими как ауксины, цитокинины, гиббереллины, абсцизовая кислота, этилен и другие. Оказалось, что физиологическое действие этих регуляторов роста растений может потенцироваться пептидами [12; 13]. Биологически активные дипептид АВ-0 и тетрапептид АЕ-0 оказывали существенное влияние на рост, развитие и дифференцировку каллусной культуры растений табака *Nicotiana tabacum*. Ди- и тетрапептид способствовали увеличению роста каллусной массы, стимулировал формирование и рост листьев у регенерантов. Кроме того, пептиды АВ-0 и АЕ-0 модулировали экспрессию генов семейства CLE, кодирующих эндогенные регуляторные пептиды, ответственные за пролиферацию и функциональную активность растительных клеток; генов семейства KNOX (гены факторов транскрипции) и GRF (гены – регуляторы факторов роста, кодирующие соответствующие ДНК-связывающие белки, такие как топоизомеразы, нуклеазы и другие) [14; 15].

С помощью тушения флуоресценции выявлено, что тетрапептид АЕ-0 связывается с FITC-мечеными гистонами пшеницы H1, H2b, H3 и H4. Предполагается, что сайт-специфические взаимодействия коротких пептидов с гистонами в хроматине могут служить контрольным эпигенетическим механизмом регуляции активности генов и синтеза белков, ответственных за рост, пролиферацию и дифференцировку клеток растений [16; 17].

Регуляторная эпигенетическая активность коротких пептидов проявляется при низких

концентрациях [18]. Активность пептидов в растительной клетке аналогично действию гормонов и носит сигнальный характер. Таким образом, применение коротких пептидов в качестве дополнительных веществ для реализации генетически опосредованного потенциала роста сельскохозяйственной культуры имеет важное научно-практическое значение.

Исходя из вышеизложенного, целью исследования явилось изучение влияния коротких ди- и тетрапептидов (АВ-0, АЕ-0) на рост, развитие, урожайность и качество урожая сои сорта Батя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проводились на лугово-бурой оподзоленно-глеевой тяжелосуглинистой почве по «Методике полевого опыта» [19]. Было проведено кустарно-ручное и производственные исследования. Статистическую обработку полученных данных проводили дисперсионным, регрессионным, корреляционным методами статистического анализа.

1. Схема кустарно-ручного эксперимента:

1. Контрольная группа – без обработки пептидами.

2. Обработка семян протравителем перед посадкой – фон.

3. Фон + обработка семян за 1 месяц – 4 подгруппы: дипептид АВ-0 или тетрапептид АЕ-0 в концентрации 0,01 г/л или 0,001 г/л.

4. Фон + обработка семян за 1 месяц + обработка посевов в фазу 1-й тройчатый лист – 4 подгруппы: дипептид АВ-0 или тетрапептид АЕ-0 в концентрации 0,01 г/л или 0,001 г/л.

5. Фон + обработка семян за 1 месяц + обработка посевов в фазу 1-й тройчатый лист + обработка посевов в фазу бутонизация – 4 подгруппы: дипептид АВ-0 или тетрапептид АЕ-0 в концентрации 0,01 г/л или 0,001 г/л.

Пептиды растворяли в 1 л воды и инкубировали с семенами в течение 2-3 минут при температуре воздуха 22-23°C.

Площадь делянки 1 м², в 4-х повторностях.

Норма высева 450 тыс./га, на 1 м² – 50 всхожих семян. Высев сои производится вручную.

За месяц до посадки – семена сои были обработаны дипептидом/тетрапептидом разной концентрации 0,01 г/л или 0,001 г/л. В день посадки семена были обработаны протравителем. Первые всходы появились 27.05.19. Массовые всходы – 05.06.19. Первая обработка сои препаратом 21.06.19 в фазу 1-го тройчатого листа. Вторая обработка сои в фазу бутонизации 07.07.19. Полное созревание 28.09.19 и уборка 7.10.19.

Подготовка почвы включала вспашку зяби, весеннее предпосевное дискование, боронование и внесение фоном удобрения азофоска 200 кг/га. Посев проведен 13.05.19 вручную с шириной междурядий 70 см. Уход за посевами включал две механические обработки междурядий культиватором и внесение гербицидов (Фабиан, ВДГ – 100 г/га; Квиксепт, МКЭ – 0,8 л/га).

2. Схема производственного эксперимента:

1. Контроль – без обработки пептидами.

2. Обработка дипептидом АВ-0 в концентрации 0,01 г/л.

3. Обработка тетрапептидом АЕ-0 в концентрации 0,01 г/л.

Семена перед посадкой обработали ди- и тетрапептидом в концентрации 0,01 г/л и протравителем. Семена разложили по маркированным мешкам. Посев производили на площади 10 га для каждого варианта.

Посев был произведен 19.06.19. Уход за посевами включал две механические обработки междурядий культиватором и внесение гербицидов (Фабиан, ВДГ – 100 г/га + Миура, КЭ – 0,6 л/га; Гейзер, ККР – 3 л/га + Купаж, ВДГ – 6 г/га). Уборка урожая производственных опытов произведена 08.10.19.

В опыте проводились фенологические наблюдения, наблюдения за изменением пищевого режима и агрохимических свойств почвы.

С этой целью отбирались почвенные образцы перед высевом сои и в основную фазу роста и развития растений пахотного горизонта во всех вариантах двух несмежных повторностей с дальнейшим определением в них pH сол., pH вод., гидролитической кислотности (Нг), P_2O_5 , K_2O , $N-NO_3$, и $N-NH_4$ общепринятыми методами.

Учет урожая провели вручную, статистическую обработку урожайных данных провели по Б.А. Доспехову [19].

В течение вегетационного периода было зарегистрировано неравномерное распределение осадков и неустойчивый температурный режим, тем не менее, условия для роста и развития растений были удовлетворительные. Часто выпадающие осадки сдерживали проведение обработок посевов гербицидами, подкормок минеральными удобрениями и листовыми препаратами. Условия для уборки были сложными из-за сильного переувлажнения почвы.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Кустарно-ручной эксперимент

В сложных гидротермических условиях прорастание сои было медленным и количество растений на делянках было неодинаковым (рис. 1, 2).



Рисунок 1. Всходы 05.06.2019

Figure 1. Seedlings 05.06.2019



Рисунок 2. Первый тройчатый лист 24.06.2019

Figure 2. First triple leaves 06.24.2019

Применение дипептида АВ-0 оказало положительное влияние на ростовые процессы сои, что в общей совокупности обеспечило максимальное увеличение высоты посевов в фазу цветения на 2-4 см, а в фазу плодообразования – на 1-12 см по сравнению с контролем (рис. 3).

Применение тетрапептида АЕ-0 обеспечило максимальное увеличение высоты посевов в фазу цветения на 1-4 см, а в фазу плодообразования – на 2-10 см по сравнению с контролем.



Рисунок 3. Фаза бутонизации 09.07.2019

Figure 3. Budding phase 09.07.2019

Применение дипептида АВ-0 увеличило массу растений на 9,6-35,9 г, высоту растений на 2,0-7,0 см по сравнению с контролем. Применение тетрапептида АЕ-0 увеличило массу растений на 7,3-67,0 г, высоту растений – на 3,0-9,0 см по сравнению с контролем.

Применение дипептида АВ-0 повысило урожайность сои на 59,2-81,2% по сравнению с контролем (табл. 1).

Применение тетрапептида АЕ-0 повысило урожайность сои на 62,9-83,7% по сравнению с контролем (табл. 2).

Таблица 1. Влияние дипептида АВ-0 на урожайность сои

Table 1. Influence of AB-0 dipeptide on soybean yield

Группа / Group	Масса 1000 семян, г Weight of 1000 seeds, g	Урожайность, ц/га Productivity, centner per hectare	Прибавка урожая Increase in yield	
			ц/га c/ha	%
Контроль / Control	180	20,2	-	-
Фон / Seed pool	190	28,7	8,5	42,1
Фон + обработка семян за 1 месяц (0,01 г/л) Seed pool + seed treatment for 1 month (0.01 g/l)	200	32,2	12,0	59,2*
Фон + обработка семян за 1 месяц (0,001 г/л) Seed pool + seed treatment for 1 month (0.001 g/l)	180	30,3	10,1	50,0
Фон + обработка семян за 1 месяц + обработка в фазу 1-й тройчатый лист (0,01 г/л) Seed pool+seed treatment for 1 month + treatment in the phase of 1st triple leaf (0.01 g/l)	190	33,4	13,2	65,3
Фон + обработка семян за 1 месяц + обработка в фазу 1-й тройчатый лист (0,001 г/л) Seed pool + seed treatment for 1 month + treatment in the phase of 1st triple leaf (0.001 g/l)	200	32,8	12,6	62,4*
Фон + обработка семян за 1 месяц + обработка в фазу 1-й тройчатый лист + обработка в фазу бутонизация (0,01 г/л) Seed pool + seed treatment for 1 month + treatment in the phase of 1st triple leaf + treatment in the budding phase (0.01 g/l)	190	36,6	16,4	81,2*
Фон + обработка семян за 1 месяц + обработка в фазу 1-й тройчатый лист + обработка в фазу бутонизация (0,001 г/л) Seed pool + seed treatment for 1 month + treatment in the phase of 1st triple leaf + treatment in the budding phase (0.001 g/l)	180	34,7	14,5	71,8
НСР _{0,5} / LSD			11,9	

Примечание: * $p < 0,05$ по сравнению с показателем в контроле

Note: * $p < 0.05$ in comparison with the indicator in the control

Таблица 2. Влияние тетрапептида АЕ-0 на урожайность сои

Table 2. Influence of AE-0 tetrapeptide on soybean yield

Группа / Group	Масса 1000 семян, г Weight of 1000 seeds, g	Урожайность, ц/га Productivity, center per hectare	Прибавка урожая Increase in yield	
			ц/га c/ha	%
Контроль / Control	180	20,2	-	-
Фон / Seed pool	190	28,7	8,5	42,1
Фон + обработка семян за 1 месяц (0,01 г/л) Seed pool + seed treatment for 1 month (0.01 g/l)	200	32,9	12,7	62,9*
Фон + обработка семян за 1 месяц (0,001 г/л) Seed pool + seed treatment for 1 month (0.001 g/l)	200	31,5	11,3	55,9
Фон + обработка семян за 1 месяц + обработка в фазу 1-й тройчатый лист (0,01 г/л) Seed pool + seed treatment for 1 month + treatment in the phase of 1st triple leaf (0.01 g/l)	190	33,6	13,4	66,3
Фон + обработка семян за 1 месяц + обработка в фазу 1-й тройчатый лист (0,001 г/л) Seed pool + seed treatment for 1 month + treatment in the phase of 1st triple leaf (0.001 g/l)	200	33,1	12,9	63,9*

Фон + обработка семян за 1 месяц + обработка в фазу 1-й тройчатый лист + обработка в фазу бутонизация (0,01 г/л)	200	37,1	16,9	83,7*
Seed pool + seed treatment for 1 month + treatment in the phase of 1st triple leaf + treatment in the budding phase (0.01 g/l)				
Фон + обработка семян за 1 месяц + обработка в фазу 1-й тройчатый лист + обработка в фазу бутонизация (0,001 г/л)	190	35,7	15,5	76,7*
Seed pool + seed treatment for 1 month + treatment in the phase of 1st triple leaf + treatment in the budding phase (0.001 g/l)				
НСР_{0,5} / LSD			8,7	

Примечание: * $p < 0,05$ по сравнению с показателем в контроле
 Note: * $p < 0.05$ in comparison with the indicator in the control

2. Производственный эксперимент

Применение пептидов АВ-0 и АЕ-0 в производственном опыте способствовало повышению количества бобов на 68,8% и 87,5% соответственно по сравнению с контролем (табл. 3).

Применение пептидов АВ-0 и АЕ-0 в производственном опыте способствовало повышению урожая на 30,5% и 18,4% соответственно по сравнению с контролем (табл. 4).

Таблица 3. Влияние пептидов на развитие растений сои

Table 3. Influence of peptides on development of soybean plants

Группа / Group	Масса 10 стеблей, г Weight of 10 stems, g	Высота растения, см Plant height, cm	Количество междоузлий, шт Number of internodes, pcs	Количество бобов, шт Number of beans, pcs
Контроль / Control	182,4	70	9	16
Обработка дипептидом АВ-0 Treatment with AB-0 dipeptide	146,7	62	8	27
Обработка тетрапептидом АЕ-0 Treatment with tetrapeptide AE-0	194,5	66	9	30

Таблица 4. Влияние пептидов на урожайность сои

Table 4. Influence of peptides on soybean yield

Группа / Group	Масса 1000 семян, г Weight of 1000 seeds, g	Урожайность, ц/га Productivity, center per hectare	Прибавка урожая Increase in yield	
			ц/га c/ha	%
Контроль / Control	191,2	16,1	-	-
Обработка дипептидом АВ-0 Treatment with AB-0 dipeptide	196,7	21,0	4,9	30,5
Обработка тетрапептидом АЕ-0 Treatment with tetrapeptide AE-0	192,8	19,0	3,0	18,4
НСР_{0,5} / LSD		4,4		

Таким образом, дипептид АВ-0 и тетрапептид АЕ-0 в концентрациях 0,01г/л и 0,001г/л обладают способностью стимулировать рост и развитие растений сои, а также повышать ее урожайность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обработка семян короткими пептидами АВ-0 и АЕ-0 по рекомендуемым схемам оказало положительное влияние на развитие и урожайность сои сорта Батя, несмотря на неравномерное распределение осадков и неустойчивый температурный режим. Так, в кустарно-ручном опыте применение дипептида АВ-0 повысило урожайность сои на 59,2-81,2%, а применение тетрапептида АЕ-0 – на 62,9-83,7% по сравнению с контролем. Применение коротких пептидов АВ-0 и АЕ-0 в производственном опыте способствовало повышению

количества бобов на 68,8% и 87,5%, а также повышению урожая на 30,5% и 18,4% соответственно по сравнению с контролем.

Изученные короткие пептиды АВ-0 и АЕ-0 можно отнести к регуляторам роста растений нового поколения. Пептиды возможно применить в экспериментальной ботанике, молекулярной биологии растений, биотехнологии и в практическом растениеводстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Персикова Т.Ф. Продуктивность бобовых культур при локальном внесении удобрений. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2002. 204 с.

2. Асеева Т.А. Оценка агроклиматических ресурсов Среднего Приамурья и их влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур // Вестник КрасГАУ. 2008. N 3. С. 109-113.
3. Синеговский М.О. Перспективы производства сои в дальневосточном федеральном округе // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. N 1. С. 13-16. DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/13-16
4. Система ведения агропромышленного производства Приморского края. Новосибирск, РАСХН, ДВ НМЦ, Примор. НИИСХ, 2001. 363 с.
5. Драчев М.К., Воронцов В.А., Бабич Н.Н., Джабраилов А.А. Соя на Северо-Востоке центрального Черноземья // Зерновое хозяйство России. 2013. N 5. С. 21-24.
6. Cao X.C., Chen X.Y., Li X.Y., Yuan L., Wu L.H., Zhu Y.H. Rice uptake of soil adsorbed amino acids under sterilized environment // Soil Biol Biochem. 2013. V. 62. P. 13-21. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.02.018
7. Sauheitt L., Glaser B., Weigelt A. Uptake of intact amino acids by plants depends on soil amino acid concentrations // Environ Exp Bot. 2009. V. 66. Iss. 2. P. 145-152. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2009.03.009
8. Liu H.J., Zhong X., Huang Y., Qiao C.C., Shao C., Li R., Shen Q.R. Production of free amino acid and short peptide fertilizer from rapeseed meal fermentation using *Bacillus flexus* NJNPD41 for promoting plant growth // Pedosphere. 2018. V. 28. Iss. 2. P. 261-268. DOI: 10.1016/S1002-0160(18)60012-8
9. Dalir N., Khoshgoftarmansh A.H. Symplastic and apoplastic uptake and root to shoot translocation of nickel in wheat as affected by exogenous amino acids // J Plant Physiol. 2014. V. 171. Iss. 7. P. 531-536. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.12.011
10. Araya T., Miyamoto M., Wibowo J., Suzuki A., Kojima S., Tsuchiya Y.N., Sawa S., Fukuda H., Von Wiren N., Takahashi H. CLE-CLAVATA1 peptide-receptor signaling module regulates the expansion of plant root systems in a nitrogen-dependent manner // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2014. V. 111. N 5. P. 2029-2034. DOI: 10.1073/pnas.1319953111
11. Djordjevic M.A., Mohd-Radzman N.A., Imin N. Small-peptide signals that control root nodule number, development, and symbiosis // Journal of Experimental Botany. 2015. V. 66. Iss. 17. P. 5171-5181. DOI: 10.1093/jxb/erv357
12. Wang G., Zhang G., Wu M. CLE peptide signaling and crosstalk with phytohormones and environmental stimuli // Front Plant Sci. 2016. V. 6. P. 1211. DOI: 10.3389/fpls.2015.01211
13. Ванюшин Б.Ф., Ашапкин В.В., Александровская Н.И. Регуляторные пептиды у растений // Биохимия. 2017. Т. 82. N 2. С. 189-195.
14. Федореева Л.И., Диловарова Т.А., Ашапкин В.В., Мартиросян Ю.Ц., Хавинсон В.Х., Харченко П.Н., Ванюшин Б.Ф. Короткие экзогенные пептиды регулируют экспрессию генов семейств CLE, KNOX1 и GRF у *Nicotiana tabacum* // Биохимия. 2017. Т. 82. Вып. 4. С. 700-709.
15. Хавинсон В.Х. Пептиды, геном, старение. М.: РАН. 2020. 58 с.
16. Федореева Л.И., Смирнова Т.А., Коломийцева Г.Я., Хавинсон В.Х., Ванюшин Б.Ф. Взаимодействие коротких пептидов с FITC-мечеными гистонами пшеницы и их комплексами с дезоксирибополионуклеотидами // Биохимия. 2013. Т. 78. Вып. 2. С. 230-242.
17. Хавинсон В.Х., Линькова Н.С., Тарновская С.И. Короткие пептиды регулируют экспрессию генов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2016. Т. 162. N 8. С. 259-264.
18. Vanyushin B.F., Khavinson V.Kh. Short Biologically Active Peptides as Epigenetic Modulators of Gene Activity // Epigenetics – A Different Way of Looking at Genetics. W. Doerfler, P. Böhm (eds.). Springer International Publishing Switzerland. 2016. P. 69-90.
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 351 с.

REFERENCES

1. Persikova T.F. *Produktivnost' bobovykh kul'tur pri lokal'nom vnesenii udobrenii* [Productivity of leguminous crops with local fertilization]. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy Publ., 2002, 204 p. (In Belarus)
2. Aseeva T.A. Assessment of agroclimatic resources of the Middle Amur region and their impact on the productivity of agricultural crops. Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. 2008, no. 3, pp. 109-113. (In Russian)
3. Sinegovskiy M.O. Perspectives of soybean production in the far east federal district. Vestnik of the Russian agricultural science, 2020, no. 1, pp. 13-16. (In Russian)
4. Sistema vedeniya agropromyshlennogo proizvodstva Primorskogo kraya [The system of conducting agro-industrial production in Primorsky Krai]. Novosibirsk, RAAS Publ., 2001, 363 p. (In Russian)
5. Drachev M.K., Vorontsov V.A., Babich N.N., Dzhabrailov A.A. Soybeans in the North-East of the Central Black Earth Region. Zernovoe khozaystvo Rossii [Grain Economy of Russian]. 2013, no. 5, pp. 21-24. (In Russian)
6. Cao X.C., Chen X.Y., Li X.Y., Yuan L., Wu L.H., Zhu Y.H. Rice uptake of soil adsorbed amino acids under sterilized environment. Soil Biol Biochem, 2013, vol. 62, pp. 13-21. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.02.018
7. Sauheitt L., Glaser B., Weigelt A. Uptake of intact amino acids by plants depends on soil amino acid concentrations. Environ Exp Bot., 2009, vol. 66, iss. 2, pp. 145-152. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2009.03.009
8. Liu H.J., Zhong X., Huang Y., Qiao C.C., Shao C., Li R., Shen Q.R. Production of free amino acid and short peptide fertilizer from rapeseed meal fermentation using *Bacillus flexus* NJNPD41 for promoting plant growth. Pedosphere, 2018, vol. 28, iss. 2, pp. 261-268. DOI: 10.1016/S1002-0160(18)60012-8
9. Dalir N., Khoshgoftarmansh A.H. Symplastic and apoplastic uptake and root to shoot translocation of nickel in wheat as affected by exogenous amino acids. J Plant Physiol., 2014, vol. 171, iss. 7, pp. 531-536. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.12.011
10. Araya T., Miyamoto M., Wibowo J., Suzuki A., Kojima S., Tsuchiya Y.N., Sawa S., Fukuda H., Von Wiren N., Takahashi H. CLE-CLAVATA1 peptide-receptor signaling module regulates the expansion of plant root systems in a nitrogen-dependent manner. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2014, vol. 111, no. 5, pp. 2029-2034. DOI: 10.1073/pnas.1319953111
11. Djordjevic M.A., Mohd-Radzman N.A., Imin N. Small-peptide signals that control root nodule number, development, and symbiosis. Journal of Experimental Botany, 2015, vol. 66, iss. 17, pp. 5171-5181. DOI: 10.1093/jxb/erv357
12. Wang G., Zhang G., Wu M. CLE peptide signaling and crosstalk with phytohormones and environmental stimuli. Front Plant Sci., 2016, vol. 6, pp. 1211. DOI: 10.3389/fpls.2015.01211
13. Vanyushin B.F., Ashapkin V.V., Aleksandrushkina N.I. Regulatory peptides in plants. Biokhimiya [Biochemistry]. 2017, vol. 82, no. 2, pp. 189-195. (In Russian)
14. Fedoreyeva L.I., Dilovarova T.A., Ashapkin V.V., Martirosyan Yu.Ts., Khavinson V.Kh., Kharchenko P.N., Vanyushin B.F. Short exogenous peptides regulate the expression of genes of the CLE, KNOX1 and GRF families in *Nicotiana tabacum*. Biokhimiya [Biochemistry]. 2017, vol. 82, no. 4, pp. 700-709. (In Russian)
15. Khavinson V.Kh. Peptidy, genom, starenie [Peptides, genome, aging]. Moscow, RAS Publ., 2020, 58 p. (In Russian)

16. Fedoreyeva L.I., Smirnova T.A., Kolomijtseva G.Ya., Khavinson V.Kh., Vanyushin B.F. Interaction of short peptides with FITC-labeled wheat histones and their complexes with deoxyribonucleotides. *Biokhimiya* [Biochemistry]. 2013, vol. 78, no. 2, pp. 230-242. (In Russian)
17. Khavinson V.Kh., Lin'kova N.S., Tarnovskaya S.I. Short peptides regulate gene expression. *Byulleten' ehksperimental'noi biologii i meditsiny* [Byulleten' eksperimental'noj biologii i meditsiny]. 2016, no. 8, pp. 259-264. (In Russian)
18. Vanyushin B.F., Khavinson V.Kh. Short Biologically Active Peptides as Epigenetic Modulators of Gene Activity. *Epigenetics – A Different Way of Looking at Genetics*. W. Doerfler, P. Böhm (eds.). Springer International Publishing Switzerland, 2016, pp. 69-90.
19. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Field experiment technique]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 351 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Татьяна А. Асеева участвовала в написании рукописи, корректировала рукопись до подачи в редакцию. Владимир Х. Хавинсон участвовал в написании рукописи, провел консультативную работу. Екатерина С. Миронова, Галина А. Рыжак провели статистическую обработку данных. Наталья А. Селезнева, Тамара Н. Федорова проводили полевые исследования, сбор образцов, анализ данных. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tatyana A. Aseeva participated in the preparation of the manuscript and corrected the manuscript prior to submission to the Editor. Vladimir Kh. Khavinson participated in the preparation of the manuscript and undertook advisory work. Ekaterina S. Mironova, Galina A. Ryzhak, undertook statistical data processing. Natalya A. Selezneva, Tamara N. Fedorova undertook field research, sample collection and data analysis. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Татьяна А. Асеева / Tatyana A. Aseeva <https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>
 Владимир Х. Хавинсон / Vladimir Kh. Khavinson <https://orcid.org/0000-0001-7547-7725>
 Екатерина С. Миронова / Ekaterina S. Mironova <https://orcid.org/0000-0001-8134-5104>
 Галина А. Рыжак / Galina A. Ryzhak <https://orcid.org/0000-0003-2536-1438>
 Наталья А. Селезнева / Natalya A. Selezneva <https://orcid.org/0000-0002-6331-4045>
 Тамара Н. Федорова / Tamara N. Fedorova <https://orcid.org/0000-0001-7265-4714>