

О МЕХАНИЗМЕ БИОСТИМУЛИРОВАНИЯ И АКТИВАЦИИ РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР

А.Н. Иванкин¹, С.Б. Васильев¹, М.И. Бабурина², Н.Л. Вострикова²,
И.В. Козырев², Т.М. Миттельштейн², Т.В. Мишугина²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26

aivankin@inbox.ru

Изучен процесс стимулирования развития семян сельскохозяйственных культур, в качестве модельных объектов взяты быстро прорастающие семена фасоли и горчицы. Стимулирование осуществляли в присутствии комплексных органических биостимуляторов на основе ферментативного и кислотного гидролизатов животного сырья, а также известного зарубежного стимулятора «Аминозол» (Германия). Проведено сравнение стимуляторов. Ферментативный гидролизат представлял собой пептидно-аминокислотную смесь с содержанием свободных аминокислот, %: Иле 0,5; Лей 1,7; Лиз 1,4; Мет 0,5; Цис 0,4; Фен 0,7; Тир 1,2; Тре 0,4; Трп 1,2; Вал 1,5; Ала 0,8; Арг 2,6; Асп 1,3; Гис 1,3; Гли 0,4; Глу 7,4; Про 3,2; Сер 0,6. Количество свободных аминокислот в кислотном гидролизате достигало 90 %, в том числе, %: Иле 4,7; Лей 5,5; Лиз 4,8; Мет 1,6; Цис 0,01; Фен 2,6; Тир 4,9; Тре 0,8; Трп 0,1; Вал 5,2; Ала 7,2; Арг 1,5; Асп 21,3; Гис 12,3; Гли 9,8; Глу 2,5; Про 3,8; Сер 1,4. Стимуляторы включали, г/100 г: гидролизат — 5; янтарную кислоту — 0,3; мочевины — 3; KNO₃ — 3; K₂HPO₄ — 3; MgSO₄ — 4; NH₄NO₃ — 6; (NH₄)₂SO₄ — 1; Na₂B₄O₇ — 0,1; MnSO₄ — 0,002; ZnSO₄ — 0,5; CuSO₄ — 0,5. В «Аминозоле» количество свободных аминокислот, %: Иле 1,1; Лей 0,2; Лиз 0,3; Мет 0,2; Цис 0,5; Фен 0,7; Тир 0,3; Тре 0,02; Трп 0,1; Вал 1,2; Ала 1,4; Арг 1,3; Асп 0,9; Гис 0,15; Гли 0,6; Глу 0,7; Про 0,6; Сер 0,4. Исследован процесс набухания семян в среде стимуляторов. Существенных различий в скорости гидратации семян не установлено. Проведена оценка изменения уровней амилазной активности при обработке семян в течение первых 72 ч развития и отмечен рост амилазной активности более чем в 5 раз. Установлено выраженное влияние использованных стимуляторов на скорость проращивания семян растений и дальнейшее формирование зеленой биомассы.

Ключевые слова: стимуляторы роста растений, кислотный гидролизат КГ, ферментативный гидролизат КФ, стимулятор «Аминозол»

Ссылка для цитирования: Иванкин А.Н., Васильев С.Б., Бабурина М.И., Вострикова Н.Л., Козырев И.В., Миттельштейн Т.М., Мишугина Т.В. О механизме биостимулирования и активации развития растительных культур // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-5-13

Стимулирование развития и роста биологических объектов является сегодня магистральным направлением сельскохозяйственного производства. Современные технологии ускорения роста биомассы растительного, микробного или животного происхождения, как правило, построены на применении специальных стимулирующих регуляторов [1, 2].

Поскольку скорость роста зеленой биомассы в южных странах во много раз выше, чем в большинстве северных регионов России, задача ускорения развития и роста растений становится важнейшим технико-экономическим показателем сельскохозяйственной деятельности [3, 4]. Вопрос стимулирования роста растений достаточно сложен и включает в себя несколько аспектов.

Прежде всего, растениям необходимо комплексное и полноценное питание. Как правило, это достигается применением различных удобрений, в качестве которых традиционно используют смеси неорганических солей, содержащих жизненно важные для развития растений катионы и анионы [5–7]. Высокой питательной эффективностью обладают некоторые органические

соединения, например мочевины и производные гуанидина, а также различные органические удобрения, получаемые в результате естественного или принудительного компостирования природного сырья [8–10].

Помимо основных факторов развития (температуры, освещенности, спектрального состава естественного облучения, влажности и pH среды, газового состава окружающей атмосферы), на рост растений существенно влияет микробиологический статус развития поверхностных культур. Известно, что вездесущее распространение микрофлоры может как подавлять, так и стимулировать рост биологических объектов [8, 11]. Например, интенсивное развитие группы клубеньковых бактерий, являющихся нитрифицирующими микробными объектами, способствует прямому превращению азота воздуха в связанный азот, соединения которого растение может активно использовать в своих внутренних биохимических процессах [12]. Микрофлора может воздействовать на метаболизм кислорода и углекислого газа, а также на процесс активного или пассивного фотосинтеза. Влияние микрофлоры

ры может быть положительным и способствовать развитию полезной растительной культуры (в простейшем варианте это — усвоение активных питательных веществ, или компонентов-активаторов). В этом случае достаточно эффективно могут проявлять себя вещества, необходимые для роста микроорганизмов, в частности аминокислоты, некоторые низкие жирные кислоты, простейшие сахара — т. е. те вещества, из которых микробы, влияющие на рост растения, строят свою внутреннюю биомассу — белки, жиры, углеводы и полинуклеотиды [13, 14].

Химические и биохимические вещества, стимулирующие рост растений, в зависимости от механизма действия подразделяют на три группы. Первая группа — индуцирующие вещества, наличие которых в биологической системе может запускать биохимические процессы, обычно не протекающие или протекающие очень медленно в отсутствие индуктора. Вторая группа — стимуляторы, которые активируют и в значительной степени усиливают уже протекающие биопроцессы. В большинстве случаев четкого разделения этих функций нет и, как правило, оба механизма могут проявляться одновременно. Третья группа — вещества, которые могут служить питательными и конструкционными элементами при построении структурных органов биообъекта.

В связи с масштабным применением химии в современном интенсивном сельскохозяйственном производстве очень важны экологические аспекты данного производства. Большую роль здесь играют регуляторы роста растений. Это должны быть малотоксичные соединения без выраженной видовой чувствительности, без кумулятивных свойств (т. е. возможности накопления в биообъектах в течение длительного срока применения), но при этом обладающие широким спектром биологического действия. Современная наука создает регуляторы нового поколения, которые могут действовать на растения в очень малых дозах — всего несколько миллиграммов на 1 га площади. Низкая концентрация применяемых стимуляторов является важнейшим фактором защиты окружающей среды.

При большом разнообразии существующих природных и синтетических регуляторов роста механизм действия многих из них до конца не изучен. Необходимы дальнейшие исследования с целью поиска путей повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, что обуславливает актуальность настоящей работы.

В литературе имеется значительный массив данных по разработке и применению стимуляторов роста растений [15–17]. Создание эффективных биостимуляторов стало новым направлением в области разработки препаратов для регуляции роста и защиты растений. Высокая физиологи-

ческая активность, положительное влияние на выход получаемой продукции, доступность природного сырья, в качестве которого могут быть использованы различные источники животного, растительного и морского происхождения, технологичность производства, как правило, низкая токсичность и себестоимость биостимуляторов — все это позволяет считать их использование в растениеводстве перспективным [18].

Цель работы

Перечень применяемых стимулирующих веществ невелик. Цель данного исследования — выявить основные особенности влияния интенсификаторов, созданных на основе неорганических и органических компонентов, на растительные объекты с достаточно быстрым развитием, отследить переход из семян, находящихся в состоянии покоя, в растения с частично и полностью развитой органической структурой.

Объекты и методы исследования

В качестве модельных объектов исследования были взяты быстропрастающие семена фасоли *Phaseolus vulgaris* (L.) Savi., а также семена горчицы салатной листовой *Brassica juncea* L., которые перед использованием хранили в течение 1 мес при температуре +4 °С.

Семена фасоли замачивали в растворах стимулятора или воде на 6 ч, набухшие семена помещали в чашки Петри на смоченные бумажные вкладыши и выдерживали в камере с прозрачными стеклянными стенками в течение четырех суток, периодически увлажняя подложки. Пророщенные семена фасоли пересаживали в тепличный грунт и фиксировали развитие корневой системы на пятые сутки.

Семена горчицы для наблюдения скорости прорастания выдерживали в чашках Петри на смоченных, периодически увлажняемых подложках из бумажных вкладышей и выдерживали в камере трое суток.

Для изучения влияния регуляторов роста на начальные этапы прорастания семян использовали разработанные авторами статьи белковые кислотные гидролизаты (КГ) и ферментативные гидролизаты (КФ) из животного сырья. Гидролизаты КГ и КФ растворимы в воде, обладают высокой биологической эффективностью и широким спектром действия при низких концентрациях. Гидролизаты нетоксичны для теплокровных и не обладают ДНК-повреждающей и мутагенной активностью в широком диапазоне концентраций [12, 19–22]. Для сравнения использовали также известный органический регулятор роста — «Аминозол» (Германия). Применяли водные растворы стимуляторов (стимуляторы были разбавлены водой питьевой в соотношении 1:100).

Гидролизаты КФ и КГ представляют собой пептидно-аминокислотные смеси, полученные путем ферментативного или кислотного гидролиза животного сырья. КФ содержит следующие свободные аминокислоты, %: Иле 0,5; Лей 1,7; Лиз 1,4; Мет 0,5; Цис 0,4; Фен 0,7; Тир 1,2; Тре 0,4; Трп 1,2; Вал 1,5; Ала 0,8; Арг 2,6; Асп 1,3; Гис 1,3; Гли 0,4; Глу 7,4; Про 3,2; Сер 0,6; всего 28 аминокислот. В состав КФ также входит около 60 % пептидов с молекулярной массой 2...250 кДа.

В КГ содержание свободных аминокислот, %: Иле 4,7; Лей 5,5; Лиз 4,8; Мет 1,6; Цис 0,01; Фен 2,6; Тир 4,9; Тре 0,8; Трп 0,1; Вал 5,2; Ала 7,2; Арг 1,5; Асп 21,3; Гис 12,3; Гли 9,8; Глу 2,5; Про 3,8; Сер 1,4; всего 91 аминокислота. Для усиления стимулирующей способности в состав жидких стимуляторов вводили, г/100 г концентрата: КФ (или КГ) — 5; янтарную кислоту — 0,3; мочевины — 3; KNO_3 — 3; K_2HPO_4 — 3; $MgSO_4$ — 4; NH_4NO_3 — 6; $(NH_4)_2SO_4$ — 1; $Na_2B_4O_7$ — 0,1; $MnSO_4$ — 0,002; $ZnSO_4$ — 0,5; $CuSO_4$ — 0,5.

В составе «Аминозола» содержалось свободных аминокислот, %: Иле 1,1; Лей 0,2; Лиз 0,3; Мет 0,2; Цис 0,5; Фен 0,7; Тир 0,3; Тре 0,02; Трп 0,1; Вал 1,2; Ала 1,4; Арг 1,3; Асп 0,9; Гис 0,15; Гли 0,6; Глу 0,7; Про 0,6; Сер 0,4; всего 8,8.

Уровень влажности семян определяли гравиметрическим методом, ферментативную амилазную активность — стандартными методами [23].

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены кинетические кривые набухания семян в растворах гидролизатов КГ и КФ. Из графиков видно, что процесс набухания семян в разбавленных растворах стимулятора и воде (контроль) протекает по классическому пути, описываемому кривой, имеющей характерный S-образный вид.

Семена растений являются живой биологической системой, на которую могут воздействовать внешние факторы (в данном случае — поступление влаги с питательными и стимулирующими веществами), вызывая протекание основных физиологических процессов, связанных с ростом и развитием семени и его продуктивностью.

Семена в состоянии покоя, в период начала прорастания проходят несколько основных этапов, в том числе активацию внутренних метаболических процессов, подготовку к началу роста — растяжение семени и начало развития органов проростка. На первом этапе гидрофобные биочастицы по капиллярно-электролитным законам смачивания притягивают водные растворы питательных веществ. Соответственно, они притягивают и компоненты применяемых стимуляторов. При этом происходит процесс перехода биологического объекта в активное состояние

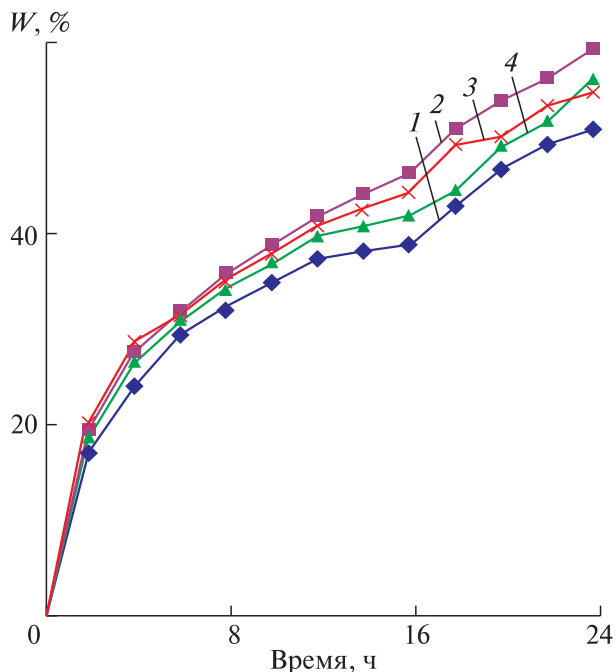


Рис. 1. Степень набухания семян W , % от исходной массы, при прорастании в среде стимулятора КФ: 1 — горчица в воде, контроль; 2 — горчица, опыт; 3 — фасоль, контроль; 4 — фасоль, опыт

Fig. 1. The degree of seeds swelling W , % of the initial mass at germination in the environment of the stimulator KF: 1 — mustard in water, control; 2 — mustard, experiment; 3 — beans, control; 4 — beans, experiment

ферментно-регуляторных систем и начинается интенсивное развитие внутренних гидролитических процессов распада запасных питательных веществ и их поступление к точкам роста. Скорость и степень набухания семян связаны с пробуждением зародыша и началом активной жизнедеятельности.

Наиболее интенсивное набухание отмечалось в первые 6...8 ч нахождения семян в среде стимуляторов. За это время они достигали уровня влажности 38...42 % и в опытной, и в контрольной группе. Превышение в опытных образцах контрольных данных составляло до 5 %.

Период в 10...12 ч выдержки можно отнести к началу второго этапа прорастания — подготовке к растяжению клеток. Здесь наблюдался некоторый лаг-период (т. е. период, во время которого скорость поглощения влаги и растворенного в ней кислорода изменяется мало). В течение этого периода первичный стимулятор, роль которого выполняют водные растворы использованных гидролизатов, вызывает метаболическую реакцию и активацию факторов прорастания.

За лаг-периодом следует фаза, для которой характерны повторное повышение темпов водопоглощения и незначительное увеличение степени набухания. За 36...48 ч семена могут достигать уровня критической влажности, обуславливаю-

щей максимальное растяжение оболочки, в результате чего кончик корешка выталкивается из семени.

Таким образом, установлено, что процессы поступления водных растворов рассматриваемых стимуляторов в семенах фасоли и горчицы описываются кривой набухания, имеющей трехфазный характер. Это соответствует современным представлениям о набухании семян. При использовании регуляторов роста на основе гидролизатов животного происхождения общая направленность процесса не изменяется, но увеличивается скорость водопоступления, что выражается в более раннем достижении пороговых уровней, необходимых для активизации метаболических процессов в семени.

В семенах растительных культур основной запасной формой жизненной энергии являются углеводы, которые содержатся в клетках в виде крахмала и его производных. Содержание крахмала в семенах может достигать 30...65 % общей массы [24]. Прорастание семян как естественный процесс сопровождается внутренними биохимическими реакциями, в частности распадом крахмала и высвобождением энергии, необходимой для обеспечения роста растения. Реакция гидролиза крахмала происходит под воздействием ферментов — амилаз, которые находятся в семенах в свободном и связанном состоянии и могут активироваться при набухании. Интенсификация этого процесса коррелирует со скоростью и интенсивностью прорастания семян.

Согласно классическим представлениям о биохимии растений, фермент α -амилаза начинает активно образовываться в процессе прорастания семян, а другая форма данного класса ферментов, расщепляющего крахмальные соединения, β -амилаза, уже находится в сухих семенах в связанном макрокомплексном состоянии. Считается, что основная роль в гидролитическом распаде крахмала с образованием сахаридов принадлежит именно α -амилазе (1,4-глюкан-4-глюкогидролазе), расщепляющей активированные гранулы крахмала. Под действием β -амилаз (1,4-глюкан-мальтогидролаз) продуктами гидролиза становятся простые сахара [8, 12, 18]. Для авторов представляла интерес оценка амилазной активности при обработке семян изучаемыми стимуляторами роста.

На рис. 2 приведены данные об изменении уровня амилазной активности живых систем в процессе прорастания семян фасоли под воздействием стимуляторов.

В ходе проведенных исследований отмечено увеличение суммарной амилазной активности при обработке семян КГ, КФ и «Аминозолом» в первые 72 ч наблюдений (см. рис. 2). Максимум ферментативной активности был зарегистриро-

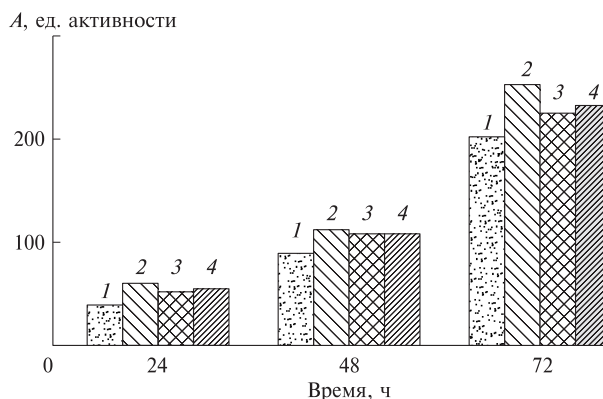


Рис. 2. Суммарная амилазная активность в семенах при прорастании *A*, ед. активности (мг гидролизованного крахмала за 1 ч на 1 г сухого вещества): 1 — вода (контроль); 2 — КГ; 3 — КФ; 4 — «Аминозол»

Fig. 2. Total amylase activity in seeds during germination *A*, unit activity (mg hydrolyzed starch for 1 h per 1 g of dry matter): 1 — water (control); 2 — KG; 3 — KF; 4 — «Aminozole»

ван на третьи сутки с превышением контроля на 10...15 %. Увеличение амилазной активности в присутствии регуляторов роста, по-видимому, способствует интенсификации потенциальных возможностей семени и, соответственно, способствует дальнейшему эффективному усвоению питательных веществ клеток и интенсивному развитию растения.

В таблице представлены интегральные значения эффекта влияния стимуляторов на скорость образования проросших семян горчицы, оцениваемого по доли проросших семян в зависимости от времени выдержки в питательной среде.

Проращивание семян в присутствии стимуляторов роста, % от суммы

Seed germination in the presence of growth stimulants, % of the amount

Время, сут	Применение стимулятора			
	Контроль (вода)	ФГ	КГ	«Аминозол»
1	20	30	50	5
2	20	45	65	16
3	50	55	88	35

Из таблицы видно, что выдержка и проращивание семян происходило более интенсивно в среде тех стимуляторов, в которых при прочих равных условиях содержалось больше свободных аминокислот. Так, в стимуляторе КГ, содержащем в своей основе более 90 % достаточно сбалансированной смеси свободных аминокислот, выдержка семян приводила к прорастанию с большей скоростью по сравнению со стимулятором ФГ, в котором содержалось около 30 % свободных аминокислот, и «Аминозолом», содержащим

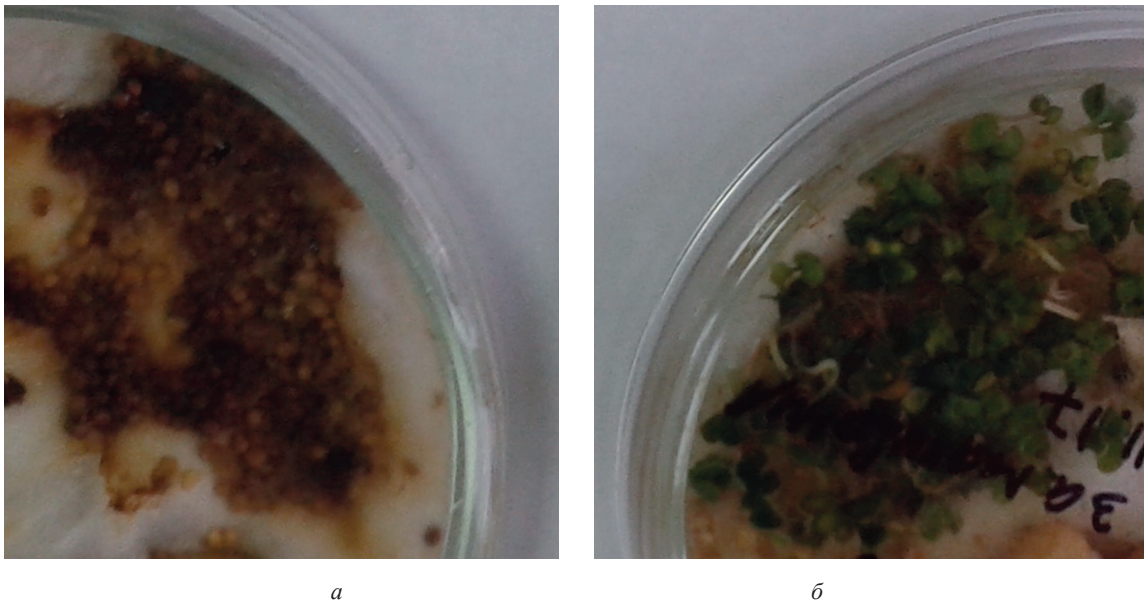


Рис. 3. Эффект проращивания семян горчицы под воздействием стимулятора КГ (3 сут, температура 25 °С, влажность 90 %): *a* — влияние воды; *б* — действие стимулятора

Fig. 3. The effect of the germination of mustard seeds under the influence of KG stimulator (3 days, temperature 25 °С, humidity 90%): *a* — the effect of water; *b* — stimulant effect



Рис. 4. Развитие культуры фасоли (температура 25 °С, влажность 85 %, естественная освещенность через стекло 500 лк, выдержка в воде питьевой 4 сут и дополнительно в грунте 5 сут, контроль)

Fig. 4. Development of bean cropper (temperature 25 °С, humidity 85 %, daylight through glass 500 lx, exposure to drinking water for 4 days and additionally in the ground 5 days, control)



Рис. 5. Развитие корней фасоли (температура 25 °С, влажность 85 %, естественная освещенность 500 лк, выдержка в среде биостимулятора КФ в течение 4 сут и 5 сут дополнительно в грунте, опыт)

Fig. 5. Bean root development (temperature 25 °С, humidity 85 %, daylight exposure 500 lx, exposure to the biostimulator KF environment for 4 days and 5 days additionally in the soil, experience)

не более 10 % свободных аминокислот. Больше всего аминокислот содержалось в стимуляторе КГ, и скорость образования ростков здесь была в несколько раз выше. Следует отметить, что в этом же стимуляторе содержится больше всего необходимого для развития растений свободного лизина.

Аминокислоты нужны для нормального метаболизма растений, поскольку являются теми элементами, из которых образуются белки растительных клеток. Если наличие запасных белков, определяет качество урожая, ферменты участвуют в регулировании процессов, происходящих в клетке, что еще важнее для растения.

Сами растения способны синтезировать необходимые для них аминокислоты. Однако в период интенсивного роста или в стрессовом состоянии поступление аминокислот извне позволяет растению ускорить метаболические процессы без дополнительных затрат энергии на самостоятельный синтез.

На рис. 3 наглядно представлено проращивание семян горчицы. Видно, что в среде стимулятора КГ (рис. 3, б) происходит интенсивное образование ростков, в то время как в водной среде (рис. 3, а) проращивание не произошло вообще, а в зоне эксперимента имело место развитие процессов загнивания. Аналогичный консервирующий эффект при добавлении стимулятора, который кроме питательных веществ содержит компоненты, вызывающие ингибирование развития микрофлоры, наблюдался также в ряде других независимых опытов.

Влияние стимуляторов прослеживается не только на ранних стадиях развития растений, но и на стадиях достаточно интенсивного образования отростков и корней, что хорошо видно на рис. 4 и 5. Развитие мощной корневой системы растения в присутствии стимуляторов, содержащих свободные аминокислоты и питательные вещества (см. рис. 5), является залогом дальнейшего успешного образования растительной биомассы.

Выводы

Испытания органических биостимуляторов на основе продуктов переработки животного сырья показали, что имеет место их выраженное влияние на скорость проращивания семян растений и дальнейшее формирование зеленой биомассы.

Эффективность влияния стимуляторов может быть связана с наличием свободных аминокислот, которые содержались в стимуляторах в соотношениях, соответствующих количественному составу аминокислот в природных объектах, поскольку исходным сырьем для них послужило белковое сырье животного происхождения. Это может рассматриваться как дополнительный стимулирующий фактор.

Список литературы

- [1] Numan M., Bashir S., Khan Y., Mumtaz R., Khan Z., Shinwari Z.K., Khan A.L., Khan A., Al-Harrasi A. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review // *Microbiological Research*, 2018, v. 209, no. 4, pp. 21–32.
- [2] Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Дроздов И.И. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на проращивание семян и рост сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской // *Лесной журнал*, 2015. № 3/345. С. 53–58.
- [3] Welfle A. Balancing growing global bioenergy resource demands – Brazil's biomass potential and the availability of resource for trade // *Biomass and Bioenergy*, 2017, v. 105, no.10, pp. 83–95.
- [4] Lima M.F., Eloy N.B., Siqueira J.A.B., Inzé D., Ferreira P.C.G. Molecular mechanisms of biomass increase in plants // *Biotechnology Research and Innovation*, 2017, v. 1, no. 1, pp.14–25.
- [5] Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шоба С.А., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Васильев С.Б., Новиков Д.А., Пастухов А.Е. Способ выбора состава растворов при предпосевной обработке семян зерновых культур препаратами-стимуляторами проращивания семян. Пат. 2593214 Российская Федерация МПК А01N 25/02 (2006.01) / заявитель и патентообладатель МГУЛ, № 2015110724/13, заявл. 26.03.2015, опубл. 10.08.2016, бюл. № 22. 10 с.
- [6] Laila K.M., Elbordiny M.M. Response of wheat plants to potassium humate application // *Journal of Applied Sciences Research*, 2009, v. 5, no. 9, pp. 1202–1209.
- [7] Lodhi A., Tahir S., Iqbal Z., Mahmood A., Akhtar M., Qureshi T.M., Yaqub M. and Naeem A. Characterization of commercial humic acid samples and their impact on growth of fungi and plants // *Soil Environ*, 2013, v. 32, no. 1, pp. 63–70.
- [8] Неклюдов А.Д., Иванкин А.Н. Биологически активные соединения из природных объектов: свойства и структурно-функциональные взаимосвязи. М.: МГУЛ, 2003. 480 с.
- [9] Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Вострикова Н.Л. Биологически активные соединения природного происхождения. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011. 480 с.
- [10] Neklyudov A.D., Fedotov G.N., Ivankin A.N. Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: a review // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2008, v. 44, no. 1, pp. 6–18.
- [11] Mooij W.M., Boersma M. An object-oriented simulation framework for individual-based simulations: Daphnia population dynamics as an example // *Ecological Modelling*, 1996, v. 93, no. 1–3, pp. 139–153.
- [12] Pawlicki-Julian N., Courtois B., Pillon M., Lesur D., Courtois J. Exopolysaccharide production by nitrogen-fixing bacteria within nodules of Medicago plants exposed to chronic radiation in the Chernobyl exclusion zone // *Research in Microbiology*, 2010, v. 161, no. 2, pp. 101–108.
- [13] Иванкин А.Н., Красноштанова А.А. Гидролиз нанобиомакромолекулярных систем. М.: МГУЛ, 2010. 394 с.
- [14] Неклюдов А.Д., Иванкин А.Н., Бердугина А.В. Основы биохимической переработки животного и комбинированного сырья. М.: ВНИИМП, 2003. 116 с.
- [15] Новиков И.С. Стимулятор роста и развития растений «Гиббор-М». Пат. 2142231 Российская Федерация МПК C05F 11/08, A01N 63/04 / заявитель и патентообладатель Новиков И.С. Заявка RU 97113040 А., № 97113040/13, заявл. 11.08.1997, опубл. 20.06.1999, бюл. № 1. 2 с.

- [16] Комоско Г.В., Кузнецов С.М., Фалевская М.А., Целищев А.Г. Способ получения стимулятора роста растений в результате непрерывной ферментации навоза крупного рогатого скота. Пат. RU 2542113 С1, МПК C05F 3/00 / № 2013144658/13, заявл. 07.10.2013, опубл. 20.02.2015, бюл. № 5, 16 с.
- [17] Диас Л.М., Лабурдетте Ж., Эрнандес Н., Хадано Х., Ветхоловски И., Пасторе М., Ошима А., Мюнкс К.В. Применение стимуляторов иммунной защиты для борьбы с вредными бактериальными организмами на культурных растениях. Пат. RU 2628290С2, МПК A01N 43/80 / № 2014134135, заявл. 17.01.2013, опубл. 15.08.2017, бюл. № 23, 58 с.
- [18] Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Современные представления о биостимуляторах // *Агрохимия*, 2014. № 7. С. 85–90.
- [19] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. Properties and uses of protein hydrolysates (review) // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2000, v. 36, no. 5, pp. 533, 534.
- [20] Chalamaiiah M., Yu W., Wu J. Immunomodulatory and anticancer protein hydrolysates (peptides) from food proteins: A review // *Food Chemistry*, 2018, v. 245, no. 4, pp. 205–222.
- [21] Aguilar J.G.S., Sato H.H. Microbial proteases: Production and application in obtaining protein hydrolysates // *Food Research International*, 2018, v. 103, no.1, pp. 253–262.
- [22] Taniguchi M., Kawabe J., Toyoda R., Namae T., Tanaka T. Cationic peptides from peptic hydrolysates of rice endosperm protein exhibit antimicrobial, LPS-neutralizing, and angiogenic activities // *Peptides*, 2017, v. 97, no.11, pp. 70–78.
- [23] Лисицын А.Б., Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д. Методы практической биотехнологии. М: ВНИИМП, 2002. 402 с.
- [24] Химический состав основных компонентов в объектах пищевого назначения. URL: http://www.intelmeal.ru/nutrition/food_category.php (дата обращения 10.11.2017).

Сведения об авторах

Иванкин Андрей Николаевич — д-р хим. наук, профессор кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Васильев Сергей Борисович — канд. с.-х. наук, заведующий кафедрой искусственного лесовыращивания и механизации лесохозяйственных работ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), svasilyev@mgul.ac.ru

Бабурина Марина Ивановна — канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, baburina2005@yandex.ru

Вострикова Наталья Леонидовна — канд. техн. наук, заведующая лабораторией ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, nvostrikova@list.ru

Козырев Илья Владимирович — ведущий научный сотрудник, руководитель направления ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, ikozyrev@vniimp.ru

Миттельштейн Татьяна Михайловна — старший научный сотрудник ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, pervichka@vniimp.ru

Мишугина Татьяна Владимировна — младший научный сотрудник ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, t.mishugina@fneps.ru

Поступила в редакцию 23.05.2018.

Принята к публикации 20.08.2018.

ABOUT THE MECHANISM OF BIOSYMLATION AND ACTIVATING THE DEVELOPMENT OF VEGETABLE CROPS

A.N. Ivankin¹, S.B. Vasil'ev¹, M.I. Baburina², N.L. Vostrikova², I.V. Kozyrev², T.M. Mittelshtein², T.V. Mishugina²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 109316, Moscow, 26, Talalikhina st., Russia

aivankin@inbox.ru

The process of stimulation development of agricultural crop seeds was studied, the model objects of fast growing seeds of beans and mustard were used. Stimulation was carried out in the presence of complex organic biostimulators based on enzymatic and acidic hydrolysates of animal raw materials in comparison with the known foreign stimulant «Aminosol» (Germany). The enzymatic hydrolyzate is a peptide-amino acid mixture with a content of free amino acids, %: Ile 0.5; Lei 1.7; Liz 1.4; Met 0.5; Cis 0.4; Phe 0.7; Tyr 1.2; Tre 0.4; Trp 1.2; Val 1.5; Ala 0.8; Arg 2.6; Asp 1.3; Gis 1.3; Gly 0.4; Glu 7.4; Pro 3.2; Ser 0.6. The amount of free amino acids in the acid hydrolyzate reached 90 % and included, %: Ile 4.7; Lei 5.5; Liz 4.8; Met 1.6; Cis 0.01; Phe 2.6; Tyr 4.9; Tre 0.8; Trp 0.1; Val 5.2; Ala 7.2; Arg 1.5; Asp 21.3; Gis 12.3; Gly 9.8; Glu 2.5; Pro 3.8; Ser 1.4. The composition of stimulants included, g / 100 g: hydrolyzate — 5; succinic acid — 0.3; urea — 3; KNO₃ — 3; K₂HPO₄ — 3; MgSO₄ — 4; NH₄NO₃ — 6; (NH₄)₂SO₄ — 1; Na₂B₄O₇ — 0.1; MnSO₄ — 0.002; ZnSO₄ — 0.5; CuSO₄ — 0.5. In Aminoazole the amount of free amino acids, %: Ile 1.1; Lay 0.2; Lys 0.3; Met 0.2; Cis 0.5; Phe 0.7; Tyr 0.3; Tre 0.02; Trp 0.1; Val 1.2; Ala 1.4; Arg 1.3; Asp 0.9; Gis 0.15; Gly 0.6; Glu 0.7; Pro 0.6; Ser 0.4. We studied the process of seed swelling in the medium of stimulants, there was no significant difference in the hydration rate of the seeds. The change in the levels of amylase activity during seed treatment during the first 72 hours of development was assessed and the growth of amylase activity increased by more than 5 times. The expressed influence of the used stimulators on the rate of germination of plant seeds and the further formation of green biomass was established.

Keywords: plant growth stimulants, acid hydrolyzate AH, enzymatic hydrolyzate EH, stimulant «Aminosol»

Suggested citation: Ivankin A.N., Vasil'ev S.B., Baburina M.I., Vostrikova N.L., Kozyrev I.V., Mittelshtein T.M., Mishugina T.V. *O mekhanizme biostimulirovaniya i aktivatsii razvitiya rastitel'nykh kul'tur* [About the mechanism of biosymulation and activating the development of vegetable crops]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-5-13

References

- [1] Numan M., Bashir S., Khan Y., Mumtaz R., Khan Z., Shinwari Z.K., Khan A.L., Khan A., Al-Harrasi A. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. *Microbiological Research*, 2018, v. 209, no. 4, pp. 21–32.
- [2] Smirnov A.I., Orlov F.S., Drozdov I.I. *Vliyaniye nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na prorstaniye semyan i rost sey-antsev sosny obyknovennoy i eli evropeyskoy* [Influence of low-frequency electromagnetic field on germination of seeds and growth of seedlings of Scotch pine and European spruce]. *Lesnoy zhurnal*, 2015, no. 3/345, pp. 53–58.
- [3] Welfle A. Balancing growing global bioenergy resource demands – Brazil's biomass potential and the availability of resource for trade. *Biomass and Bioenergy*, 2017, v. 105, no. 10, pp. 83–95.
- [4] Lima M.F., Eloy N.B., Siqueira J.A.B., Inzé D., Ferreira P.C.G. Molecular mechanisms of biomass increase in plants. *Biotechnology Research and Innovation*, 2017, v. 1, no. 1, pp.14–25.
- [5] Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shoba S.A., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Vasil'ev S.B., Novikov D.A., Pastukhov A.E. *Sposob vybora sostava rastvorov pri predposevnoy obrabotke semyan zernovykh kul'tur preparatami-stimulyatorami prorstaniya semyan* [A method for selecting the composition of solutions in the presowing treatment of seeds of cereal crops with stimulant preparations of seed germination]. Patent RU 2593214, A01N 25/02 (2006.01), 2015110724/13, declared 26.03.2015, publ. 10.08.2016, bul. no. 22, 10 p.
- [6] Laila K.M., Elbordiny M.M. Response of wheat plants to potassium humate application. *Journal of Applied Sciences Research*, 2009, v. 5, no. 9, pp. 1202–1209.
- [7] Lodhi A., Tahir S., Iqbal Z., Mahmood A., Akhtar M., Qureshi T.M., Yaqub M. and Naeem A. Characterization of commercial humic acid samples and their impact on growth of fungi and plants. *Soil Environ*, 2013, v. 32, no. 1, pp. 63–70.
- [8] Neklyudov A.D., Ivankin A.N. *Biologicheski aktivnye soedineniya iz prorodnykh ob'ektov: svoystva i strukturno-funktsional'nye vzaimosvyazi* [Biologically active compounds from natural objects. properties and structural-functional relationships]. Moscow: MGUL [Moscow State Forest University], 2003, 480 p.
- [9] Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Vostrikova N.L. *Biologicheski aktivnye soedineniya prirodnoy proishozhdeniya* [Biologically active compounds of natural origin]. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011, 480 p.
- [10] Neklyudov A.D., Fedotov G.N., Ivankin A.N. Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2008, v. 44, no. 1, pp. 6–18.
- [11] Mooij W.M., Boersma M. An object-oriented simulation framework for individual-based simulations: Daphnia population dynamics as an example. *Ecological Modelling*, 1996, v. 93, no. 1–3, pp. 139–153.
- [12] Pawlicki-Julian N., Courtois B., Pillon M., Lesur D., Courtois J. Exopolysaccharide production by nitrogen-fixing bacteria within nodules of Medicago plants exposed to chronic radiation in the Chernobyl exclusion zone. *Research in Microbiology*, 2010, v. 161, no. 2, pp. 101–108.

- [13] Ivankin A.N., Krasnoshtanova A.A. *Gidroliz nanobiomakromolekulyarnykh sistem* [Hydrolysis of nanobiomacromolecular systems], Moscow: MGUL [Moscow State Forest University], 2010, 394 p.
- [14] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. *Osnovy biohimicheskoy pererabotki zhivotnogo i kombinirovannogo syr'ya* [Fundamentals of biochemical processing of animal and combined raw materials]. Moscow: VNIIMP, 2003, 402 p.
- [15] Novikov I.S. *Stimulyator rosta i razvitiya rasteniy «Gibbor-M»* [Stimulator of plant growth and development «Gibbor-M»]. Patent RU 2142231. Application RU 97113040 A, C05F 11/08, A01N 63/04, no. 97113040/13, declared 11.08.1997, publ. 06/20/1999, bull. no. 1, 2 p.
- [16] Komosko G.V., Kuznetsov S.M., Falevskaya M.A., Tselishev A.G. *Sposob polucheniya stimulyatora rosta rasteniy v rezul'tate nepreryvnoy fermentatsii navoza krupnogo rogatogo skota* [A method for obtaining the growth stimulator of plants as a result of continuous fermentation of manure of large horned cattle]. Patent RU 2542113 C1, C05F 3/00, no. 2013144658/13, declared 10/10/2013, publ. 02/20/2015, bull. no. 5, 16 p.
- [17] Dias L.M., Labourdette Zh., Ernandes N., Khadano Kh., Vetkholovski I., Pastore M., Oshima A., Myunks K.V. *Primeniye stimulyatora immunoy zashchity dlya bor'by s vrednymi bakterial'nymi organizmami na kulturnykh rasteniyakh* [Application of immune defense stimulants to control harmful bacterial organisms on cultivated plants]. Patent RU 2628290C2, A01N 43/80, no. 2014134135, declared 01/17/2013, publ. 08/15/2012, bull. no. 23, 58 p.
- [18] Yakhin O.I., Lubyaynov A.A., Yakhin I.A. *Sovremennyye predstavleniya o biostimulyatorakh* [Modern ideas about biostimulators]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], 2014, no. 7, pp. 85–90.
- [19] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. Properties and uses of protein hydrolysates (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2000, v. 36, no. 5, pp. 533, 534.
- [20] Chalamaiah M., Yu. W., Wu J. Immunomodulatory and anticancer protein hydrolysates (peptides) from food proteins: A review. *Food Chemistry*, 2018, v. 245, no. 4, pp. 205–222.
- [21] Aguilar J.G.S., Sato H.H. Microbial proteases: Production and application in obtaining protein hydrolysates. *Food Research International*, 2018, v. 103, no.1, pp. 253–262.
- [22] Taniguchi M., Kawabe J., Toyoda R., Namae T., Tanaka T. Cationic peptides from peptic hydrolysates of rice endosperm protein exhibit antimicrobial, LPS-neutralizing, and angiogenic activities. *Peptides*, 2017, v. 97, no. 11, pp. 70–78.
- [23] Lisitsyn A.B., Ivankin A.N., Neklyudov A.D. *Metody prakticheskoy biotekhnologii* [Methods of practical biotechnology]. Moscow: VNIIMP, 2002, 402 p.
- [24] *Khimicheskyy sostav osnovnykh komponentov v ob'yektakh pishchevogo naznacheniya* [Chemical composition of the main components in food objects]. Available at: http://www.intelmeal.ru/nutrition/food_category.php (accessed 10.11.2017)

Authors' information

Ivankin Andrey Nikolaevich — Dr. Sci. (Chemistry), Professor of the Department of Chemistry at the BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

Vasil'ev Sergey Borisovich — Cand. Sci. (Tech.), Head of Department of Artificial Forest Regeneration and Mechanization of Forestry Works of BMSTU (Mytishchi branch), svasilyev@mgul.ac.ru

Baburina Marina Ivanovna — Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, baburina2005@yandex.ru

Vostrikova Natal'ya Leonidovna — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Laboratory of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, nvostrikova@list.ru

Kozyrev Il'ya Vladimirovich — Leading Researcher of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, ikozyrev@vniimp.ru

Mittelshtein Tat'yana Mikhailovna — Senior Researcher of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, pervichka@vniimp.ru,

Mishugina Tat'yana Vladimirovna — Junior Researcher of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, t.mishugina@fncps.ru

Received 23.05.2018.

Accepted for publication 20.08.2018.