

УДК 634.1:631.811.98

UDC 634.1:631.811.98

DOI 10.30679/2219-5335-2021-6-72-176-221

DOI 10.30679/2219-5335-2021-6-72-176-221

**ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ  
БИОСТИМУЛЯТОРОВ РОСТА  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ  
И СТАБИЛЬНОСТИ ПЛОДОНОШЕНИЯ  
ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР**

**THE PROSPECT OF APPLICATION  
BIOSTIMULANTS  
OF GROWTH TO INCREASE  
THE STABILITY OF FRUITING  
OF FRUIT CROPS**

Попова Валентина Петровна  
д-р с.-х. наук  
зав. НЦ агрохимии  
и почвоведения,  
зав. лабораторией экологии почв

Popova Valentina Petrovna  
Dr. Sci. Agr.  
Head of Agrochemistry  
and Soil Science SC,  
Head of Soil Ecology Laboratory

Оплачко Роман Андреевич  
канд. с.-х наук  
зав. лабораторией управления  
воспроизводством в плодовых  
агроценозах и экосистемах

Oplachko Roman Andreevich  
Cand. Agr. Sci.  
Head of Reproduction Control  
in Fruit Ampeloceneses  
and Ecological systems Laboratory

Оплачко Екатерина Александровна,  
мл. научный сотрудник  
лаборатории управления  
воспроизводством в плодовых  
агроценозах и экосистемах

Oplachko Ekaterina Aleksandrovna  
Junior Research Associate  
of Reproduction Control  
in Fruit Ampeloceneses  
and Ecological systems Laboratory

*Федеральное государственное  
бюджетное научное учреждение  
«Северо-Кавказский федеральный  
научный центр садоводства,  
виноградарства, виноделия»,  
Краснодар, Россия*

*Federal State Budget  
Scientific Institution  
«North Caucasian Federal  
Scientific Center of Horticulture,  
Viticulture, Wine-making»,  
Krasnodar, Russia*

Обсуждаются перспективы применения биостимуляторов роста для повышения устойчивости и стабильности плодоношения плодовых культур. Плодовые культуры подвергаются воздействию стрессовых факторов, как биотического, так и абиотического направления. Изменения климата, особенно региональных погодных условий, характеризующихся более высокой частотой экстремальных проявлений абиотических стрессов, сильно влияют на рост и продуктивность, качество продукции плодовых растений. Повышение продуктивности плодовых культур достигается путем регулирования основных факторов продукционного процесса. Одним из перспективных направлений современного садоводства для повышения устойчивости

The prospects of application biostimulants of growth to increase the resistance and stability of fruiting of fruit crops are discussed. Fruit crops are exposed to stress factors, both biotic and abiotic. Climate changes, especially regional weather conditions, characterized by a higher frequency of extreme manifestations of abiotic stress, strongly affect the growth and productivity, the quality of fruit plant products. Increasing the productivity of fruit crops is achieved by regulating the main factors of the production process. One of the promising areas of modern horticulture for increasing the resistance and formation of stable productivity of fruit agrocenoses is the development of a system

и формирования стабильной продуктивности плодовых агроценозов является разработка системы применения биостимуляторов. Рассмотрены группы биостимуляторов, их классификация, характеристика и механизм действия на растения. Представлен анализ влияния биостимуляторов на устойчивость и продуктивность плодовых культур. Показано, что биостимуляторы в низких концентрациях обладают ростстимулирующим действием, усиливают метаболизм растений и повышают степень поглощения питательных веществ из почвы. Их использование позволяет повысить эффективность и снизить объемы применения минеральных удобрений в системе ухода за насаждениями садовых культур, возделываемых по интенсивным технологиям. Выявлена роль биостимуляторов в сохранении почвенного плодородия садовых агроценозов, поскольку эти препараты могут стимулировать активность «полезных» почвенных микроорганизмов и оптимизацию поглощения растениями питательных веществ из почвы. Изучены и проанализированы антистрессовые свойства биостимуляторов для сохранения уровня продуктивности плодовых растений, качества плодов в условиях засухи, засоления, низких и высоких температур. Имеющиеся наработки в области использования биостимуляторов в садоводстве свидетельствуют о перспективности применения результатов исследований для дальнейшего совершенствования интенсивных технологий возделывания плодовых насаждений на основе методов биологизации и экологизации производственных процессов.

*Ключевые слова:* БИОСТИМУЛЯТОРЫ, ПРОДУКТИВНОСТЬ САДОВЫХ КУЛЬТУР, КЛАССИФИКАЦИЯ БИОСТИМУЛЯТОРОВ, РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ, АБИОТИЧЕСКИЙ СТРЕСС, ФИТОГОРМОНЫ

for the application of biostimulants. Groups of biostimulants, their classification, characteristics and mechanism of action on plants are considered. The analysis of the influence of biostimulants on the stability and productivity of fruit crops is presented. It is shown that biostimulants in low concentrations have a growth-stimulating effect, enhance plant metabolism and increase the degree of absorption of nutrients from the soil. Their application makes it possible to increase the efficiency and reduce the amount of mineral fertilizers used in the management system for garden crops cultivated using intensive technologies. The role of biostimulants in the preservation of soil fertility of garden agroecosystems is revealed, since these drugs can stimulate the activity of «useful» soil microorganisms and optimize the absorption of nutrients from the soil by plants. The anti-stress properties of biostimulants were studied and analyzed to preserve the productivity level of fruit plants, the quality of fruits in conditions of drought, salinity, low and high temperatures. The available developments in the field of the application of biostimulants in horticulture indicate the prospects of applying the research results for further improvement of intensive technologies for cultivating fruit plantations based on methods of biologization and ecologization of production processes.

*Key words:* BIOSTIMULATORS, PRODUCTIVITY OF GARDEN CROPS, CLASSIFICATION OF BIOSTIMULATORS, REGULATORS PLANT GROWTH, ABIOTIC STRESS, PHYTHORMONES

**Введение.** Продуктивность плодовых культур зависит от множества факторов, в том числе от погодных условий. Абиотические стрессы значительно влияют на рост, развитие растений и качество продукции. В последние годы изменения региональных погодных условий (высокие температуры

летом, возвратные заморозки и т.д.) оказывают значительное воздействие на состояние плодовых насаждений и их продуктивность. Для нивелирования негативного воздействия абиотических и биотических стрессовых факторов, а также регуляции роста плодовых растений в современных интенсивных технологиях возделывания используют биостимуляторы. Высокая физиологическая активность, способность воздействуя на растения улучшать их устойчивость к неблагоприятным факторам среды и повышать их продуктивность, обуславливает их перспективы для использования в плодоводстве. В то же время остаются недостаточно разработанными вопросы выбора эффективных видов биостимуляторов, оптимальных сроков их применения по фазам развития плодовых растений и точных дозировок. В связи с этим, рассмотрение проблемных вопросов в области эффективности биостимуляторов, механизма их воздействия на плодовые культуры и системы их применения в плодовых насаждениях, возделываемых по интенсивным технологиям, является актуальным. Цель настоящей работы – обзор и анализ предлагаемых для применения в отрасли садоводства биостимуляторов.

*Биостимуляторы: определение, краткая характеристика  
и механизм действия на плодовые культуры*

Определение «биостимуляторы» в процессе развития представлений об этих соединениях менялось. Биостимуляторы рассматривались как органический материал, способствующий при применении в небольших количествах улучшению роста и развития растений, но не заменяющий питательные вещества. Позднее их определяли как вещества, улучшающие основные биохимические процессы в растениях и почве, гормоноподобные и не являющиеся заменой органо-минеральных удобрений [1-3]. На современном этапе предложено определение биостимуляторов «как веществ и материалов, за исключением питательных веществ и пестицидов, которые при применении путем обработки растений, семян и ростовых субстратов обладают способностью модифицировать физиологические процессы растений для обеспечения роста, развития, устойчивости к стрессовым воздействиям» [1, 3, 4].

Биостимуляторы – препараты преимущественно природного происхождения, применяемые в ультра- и малых дозах для модификации физиологических и биохимических процессов растений с целью более полной реализации генетического потенциала их продуктивности посредством изменения гормонального статуса, активации метаболических процессов, стимуляции роста, развития и усиления способности противостоять негативному действию стрессовых факторов различной природы [1, 4-7].

Существует множество вариантов классификации биостимуляторов [3, 6, 8, 9]. По источнику происхождения и составу выделяют следующие категории биостимуляторов: 1 – гуминовые и фульвокислоты; 2 – гидролизаты белков и другие N-содержащие соединения; 3 – экстракты морских водорослей и растительные вещества; 4 – хитозан и другие биополимеры; 5 – неорганические соединения; 6 – полезные грибы; 7 – полезные бактерии [1-3, 5, 6, 9] (рис. 1).



Рис. 1. Классификация биостимуляторов по источнику происхождения и составу [3, 8].

*Гуминовые и фульвокислоты.* Гуминовые вещества являются естественными составляющими органического вещества почвы, образованными в результате разложения растительных, животных и микробных остатков, а также в результате метаболической активности почвенных микробов, использующих эти субстраты [3, 10, 11]. Гуминовые вещества – это совокупность гетерогенных соединений, классифицированных в соответствии с их молекулярной массой и растворимостью на гумины, гуминовые кислоты и фульвокислоты. Гуминовые вещества уже давно признаны в качестве основных факторов, влияющих на плодородие почв, оказывающих влияние на их физические, физико-химические, химические и биологические свойства. Гуминовые вещества стимулируют рост корней и, таким образом, увеличивают доступность питательных веществ в почве за счет увеличения площади контакта между почвой и корнями [3, 5, 10-13]. Эти вещества способны изменять архитектуру корневой системы и динамику роста корней, увеличивая их размеры, ветвление и плотность корневых волосков, площадь их поверхности [5, 13]. Гуминовые вещества способны увеличивать катионообменную способность почвы и нейтрализовать рН почвы [3, 13]. Они также создают комплексы с нерастворимыми элементами, такими как железо, и делают их доступными для растений. Это важное свойство, поскольку оно позволяет снабжать растения труднодоступными элементами питания, например, для достаточного поглощения железа корнями деревьев персика на известковых почвах, на которых отмечается хлороз растений [13, 14]. Гуминовые кислоты являются природным «кондиционером» почвы, они содержат большое количество карбоксильных, фенольных гидроксильных и других активных групп, что способствует улучшению образования микробного сообщества почвы [5, 10, 12, 15].

Гуминовые кислоты влияют на многие аспекты физиологической активности растений, в том числе на рост растений, поглощение питательных элементов, фотосинтез, дыхание и активность ферментов [5, 15]. Эти соединения

способствуют улучшению механизмов антиоксидантной защиты сельскохозяйственных культур при различных стрессах окружающей среды [10, 12].

Фульвокислоты в основном образуются в результате биodeградации лигнинсодержащих органических соединений, присутствуют в почве в очень низкой концентрации (0,2-1 %), но оказывают большое влияние на плодородие почвы и рост растений [12, 16, 17]. Они улучшают катионообменную способность почв, легко связывают минеральные элементы, такие как  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , и облегчают их перемещение к растениям [12, 18]. Присутствие фульвокислых соединений в почве способствует хелатированию минеральных ионов, присутствующих в ризосфере, и улучшению их перемещения в растениях через корни, что в конечном итоге улучшает рост растений, урожайность и питательные качества плодов. Фульвокислоты помогают справиться с засолением, увеличивая буферные свойства растений против доступных почвенных солей, а также кислотность почвы. Фульвокислоты имеют сильное притяжение к молекулам воды, которые поддерживают влажность почвы и, как следствие, увеличивают доступность воды для поглощения корнями, водоудерживающую способность почвы, что в конечном итоге усиливает поглощение питательных веществ, повышается продуктивность растений [16, 19, 20]. Кроме того, гуминовые и фульвокислоты снижают токсичность вредных веществ, присутствующих в почве, могут связывать тяжелые металлы, поэтому они с меньшей вероятностью усваиваются растением [21, 22]. Например, гуминовые вещества образуют комплекс с  $\text{Pb}^{2+}$  – токсичным ионом свинца, часто встречающимся в загрязненных свинцом почвах, в результате он становится менее растворимым и его поглощение уменьшается. Экзогенное применение фульвокислоты в виде некорневой подкормки увеличивает способность растений поглощать кислород, что напрямую связано с увеличением содержания хлорофилла и стабильностью мембран в условиях абиотического стресса, а также способностью поглощения питательных веществ корнями [12].

Фульвокислоты также могут действовать как фитогормоны, которые помогают регулировать многие физиологические и биохимические процессы, происходящие в клетке, обуславливают защиту растений от окислительного повреждения, увеличивая антиоксидантную способность [12, 23, 24]. Например, экзогенное применение фульвокислот оказалось эффективным для увеличения роста сельскохозяйственных культур, выращенных в условиях различных абиотических стрессов [12, 18, 20, 25-27].

Как показывает анализ доступных источников, применение гуминовых и фульвокислот в качестве биостимуляторов способствует устойчивости растений к стрессам, повышению урожайности и качества продукции. Так, некорневое или почвенное внесение раствора гуминовой кислоты (0,25-0,50 %) при завязывании плодов персика и в четыре последующие даты (каждые 15 дней) вызывало значительное увеличение размера плодов и урожайности [28]. Кроме того, содержание растворимых сухих веществ в плодах и концентрация антоцианов в кожуре увеличились. Наибольший эффект наблюдался, когда раствор гуминовой кислоты вносили в концентрации 0,50 % как при почвенном внесении, так и при некорневой подкормке, поскольку это способствовало увеличению размера и массы плодов на 77-78 %, соответственно повышению урожайности плодов. Наряду с этим отмечено значительное увеличение содержания хлорофиллов, азота, фосфора, калия в листьях. На абрикосе сорта Оранжевый рубин некорневая подкормка гуминовыми и фульвокислотами на трех фенологических стадиях способствовала значительному повышению антиоксидантной активности плодов [29]. Есть данные о влиянии гуминовых и фульвокислот на повышение концентрации цинка и железа в листьях черешни [30, 31].

В насаждениях цитрусовых культур и винограда в условиях солевого стресса некорневое внесение фульвокислоты способствовало улучшению роста растений, увеличению содержания хлорофилла, белка, накопления пролина, а также усилению поглощения питательных веществ корнями [12, 31, 32].

*Белковые гидролизаты и другие N-содержащие соединения.* Продукты на основе белков можно разделить на две основные категории: гидролизаты белков, состоящие из смеси пептидов и аминокислот животного и растительного происхождения, и отдельные аминокислоты, такие как глутамат, глутамин, пролин и глицинбетаин [33].

Белковые гидролизаты получают путем химического, ферментативного или термического гидролиза белков из побочных продуктов сельского хозяйства как из растительных источников (растительные остатки), так и из отходов животного происхождения (например коллаген, эпителиальные ткани) [3, 11, 17, 33, 34].

Белковые гидролизаты стимулируют метаболизм железа (Fe) и азота (N), усвоение питательных веществ, эффективность использования воды и питательных веществ. Это объясняется более высокой микробной и ферментативной активностью почвы, улучшенной подвижностью и растворимостью элементов питания, улучшением архитектуры корня и увеличением специфических ферментов [11, 34-39]. Белковые гидролизаты растительного происхождения также изменяют баланс фитогормонов, вызывая ауксин- и гиббереллиноподобные эффекты со стороны определенных пептидов и предшественников фитогормонов, таких как триптофан [11, 36]. Белковые гидролизаты могут повышать концентрацию полезных для здоровья фитохимических веществ, таких как каротиноиды, флавоноиды и полифенолы [11, 40-42].

Непрямое воздействие на питание и рост растений также имеет важное значение в сельскохозяйственной практике, когда белковые гидролизаты применяются на растениях и почвах. Известно, что белковые гидролизаты увеличивают микробную биомассу, активность и дыхание почвы и, в целом, её плодородие. Считается, что хелатирующая и комплексообразующая активность конкретных аминокислот и пептидов способствует доступности питательных веществ и их усвоению корнями [3]. Применение белковых гидролизатов способствует вегетативному росту и усвоению макро-

и микроэлементов некоторыми садовыми культурами, что приводит к повышению их урожайности [34, 43].

Вторая категория продуктов на основе белков – это отдельные аминокислоты. К ним относят двадцать структурных аминокислот, участвующих в синтезе белков, а также небелковые аминокислоты, которые в большом количестве содержатся в некоторых видах растений [44]. Экзогенное применение ряда структурных и небелковых аминокислот может обеспечивать защиту от стрессов окружающей среды [33].

Отмечена эффективность ежемесячных некорневых подкормок белковым гидролизатом животного происхождения на папайе, где товарный урожай увеличился на 22 % по сравнению с необработанными растениями. Улучшение урожайности папайи было связано с увеличением количества плодов за счет улучшения завязываемости плодов. В насаждениях банана почвенная или некорневая обработка белковым гидролизатом из перьевых отходов, побочного продукта переработки птицы, сократила созревание урожая на 28 дней и увеличила количественные и качественные показатели урожайности. Более высокая урожайность банана, обработанного белковым гидролизатом, была связана с высоким содержанием хлорофилла и пониженным содержанием сахара. Авторы пришли к выводу, что применение продуктов разложения пера может играть двойную роль в качестве биоусилителя для сокращения использования удобрений в садоводстве и утилизации отходов птицеводства [43, 45]. R.G. Gurav и J.P. Jadhav сообщили о накоплении общих фенольных соединений, флавоноидов и белков и повышенной антиоксидантной активности в банане после использования деградированных перьевых продуктов [11, 46].

В горшечной культуре киви применение некорневой подкормки различных количеств и фракций молекулярной массы белкового гидролизата животного происхождения стимулировало рост побегов и корней [43, 47].

Применение биостимулятора на основе аминокислот животного происхождения усиливало рост и устойчивость к повреждениям морозами земляники сортов 'Alba', 'Asia' и 'Clery' [21, 48].

*Экстракты морских водорослей и растительные вещества.* Существует два основных класса биостимуляторов на растительной основе – экстракты морских водорослей и экстракты различных частей растений, которые используются для повышения урожайности различными способами. Свежие морские водоросли в качестве источника органических веществ и удобрений использовались в сельском хозяйстве давно, но биостимулирующие эффекты были зарегистрированы лишь недавно [12]. Названия продуктов из более чем 20 морских водорослей, используемых в качестве биостимулятора роста растений, были перечислены Khan и др. [3, 49, 50]. Судя по численности и распространению, бурые водоросли *Phaeophyta* являются одними из наиболее часто используемых для коммерческого производства экстрактов в целях применения в сельском хозяйстве и садоводстве. *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima*, *Macrocystis pyrifera* и *Durvillea potatorum* являются наиболее часто коммерчески используемыми в добывающих отраслях [49-51].

Экстракты морских водорослей (ЭМВ) состоят из различных неорганических (азот, фосфор, калий, кальций, железо, магний, цинк, натрий и сера) и органических компонентов, включая различные углеводы, стерины, полиамины, осмолиты, бетаины, аминокислоты, антиоксиданты и белки, а также в некоторых случаях фитогормоны [12, 27, 49, 52, 53]. Экстракт бурых водорослей также содержит определенное количество аминокислот и белков. В сухой массе бурых водорослей около 10-47 % белков [3, 54]. Кроме того, в составе бурых водорослей значительное количество вторичных метаболитов и предшественников витаминов, которые могут усиливать рост и продуктивность растений при экзогенном применении [12, 49, 55]. Есть в их составе и большое количество фенольных соединений, которые защищают клетки

и клеточные компоненты от неблагоприятного воздействия стрессов [56]. Фенольные соединения осуществляют значительную роль в улавливании активных форм кислорода, образующихся в стрессовых условиях [12, 57].

Экстракты, содержащие вещества с высокой молекулярной массой, такие как полисахариды и полифенолы, действуют как биостимуляторы и аллелохимические вещества и придают устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам [50, 51, 53, 58-63]. Морские водоросли влияют на почву и растения, изменяя физические, биохимические и биологические свойства, также могут воздействовать на структуру корней растений, способствуя эффективному усвоению питательных веществ [50, 55, 64]. Опубликовано огромное количество статей, в которых описывается роль экстракта водорослей как биостимулятора для улучшения роста и урожайности растений в условиях абиотического стресса [3, 5, 12, 33, 49, 50, 52, 53, 65-73].

ЭМВ (экстракты морских водорослей) доступны в различных формах, включая жидкую или в виде растворимого порошка, их можно растворять в поливной воде и применять с капельным орошением [3, 49]. Эти препараты можно вносить на почвах, в гидропонных растворах или в качестве некорневой обработки.

По данным Naider и др. листовые обработки растворами ЭМВ способствуют улучшению ростовых процессов деревьев сливы, вишни, миндаля, манго и т. д. [3, 12, 74]. Под воздействием растворов экстракта увеличивался срок хранения авокадо и груш [3, 12, 75]. Обработка растений земляники экстрактом морских водорослей способствовала более сильному вегетативному росту и более высокой урожайности [21, 76]. J. Vercauteren и др. проверили пригодность данного вида биостимуляторов для снижения частоты растрескивания плодов черешни из-за выпадения осадков. Двух-трехкратное некорневое применение препаратов с экстрактом за две-четыре недели до сбора урожая снизило количество треснувших плодов сортов Кордия

и Милая на 10 % [21, 77]. Некорневые обработки препаратами ЭМВ насаждений органически выращенных яблонь сорта Джонатан приводили к увеличению площади листьев и их фотосинтетической активности [21, 78, 79]. Обработки препаратами на основе экстрактов морских водорослей обуславливали увеличение урожайности и в последующий год после применения [21, 74, 76, 78, 80, 81]. Применение ЭМВ (*A. nodosum*) при возделывании груши сорта Вильямс повышало урожайность в течение двух сезонов подряд [21, 82]. Обнаружено, что три обработки во время цветения (от раннего цветения до завязывания плодов) привели к увеличению количества семян в плодах на 40 %, увеличению массы плодов и урожайности на 20 % по сравнению с контролем [21]. Применение биостимуляторов на основе экстрактов морских водорослей и неорганических соединений Zn и Si перед сбором урожая яблук сорта Джанотан в сочетании с кальцием улучшило эстетический вид и качество плодов [83].

*Растительные вещества* – это вещества, извлеченные из растений, они используются в фармацевтических и косметических продуктах в качестве пищевых ингредиентов, а также в средствах защиты растений [84]. По сравнению с морскими водорослями гораздо меньше известно об их биостимулирующей активности, до сих пор основное внимание уделяется их пестицидным свойствам. Однако есть сведения, что возможно использование их и в качестве биостимуляторов [3, 49, 85, 86].

Использование экстрактов различных частей растений (корни, побеги, семена) демонстрирует различную реакцию в зависимости от способа применения и используемой концентрации, а также от типа растений [12, 87]. Различные части растений имеют разный химический состав, который изменяет рост растений при экзогенном применении препаратов на их основе [12, 88]. Они могут содержать фитогормоны, питательные вещества, а также противогрибные и антимикробные средства, которые защищают растение от биотического и абиотического стрессов. Растения являются источником различных

биологически активных соединений и вторичных метаболитов, включая нитрилы, флавоноиды, алкалоиды и антиоксидантные агенты [12, 89]. Например, корнеплоды сахарной свеклы содержат большое количество сахарозы, а также глицинбетаин и флериновую кислоту, которая улучшает рост сельскохозяйственных культур. Фитоэкстракты различных растений содержат органические и неорганические соединения, в том числе минеральные элементы, такие как калий, кальций, сера, магний, фосфор, витамины и аминокислоты. Таким образом, фитоэкстракты (более эффективны) по сравнению с синтетическими химическими веществами. Кроме того, экстракт на основе растений содержит множество фитогормонов, включая зеатин, производное пурина-аденина цитокинина группы гормонов растений [12, 90]. Зеатин улучшает антиоксидантные свойства многих ферментов и защищает клетку от окислительного повреждения в стрессовых условиях [12, 91]. Улучшение роста растений также происходит за счет экзогенного использования экстракта на основе растений из-за присутствия цитокинина [12, 92]. Было обнаружено, что экзогенное применение экстрактов растений разными способами способствует усилению продуктивного роста растений в условиях абиотического стресса. Различные соединения, экстрагированные из растений, показали разнообразие соединений в зависимости от части растения, используемой для экстракции [12, 93, 94]. Эти соединения в экстрактах в совокупности улучшают антиоксидантные свойства растений, а также их рост [12].

*Хитозан и другие биополимеры.* Хитозан – это деацетилированная форма биополимера хитина, получаемая естественным и промышленным путем. Хитозан является производным хитина – соединения, присутствующего в клеточной стенке грибов, а также основного компонента экзоскелета насекомых и панцирей ракообразных [3, 12, 95]. Хитозан широко используется в сельском хозяйстве и медицине. Экзогенное применение хитозана изучалось для многих сельскохозяйственных культур [12, 96-98]. Хитозан используется как биостимулятор для активации роста растений и усиления

устойчивости к абиотическим стрессам, а также как стимулятор сопротивляемости патогенам [3, 12, 32, 95, 99-101].

Плодовые культуры – самая крупная группа растений, изучаемая в отношении воздействия хитозана. Погружение черенков винограда в подходящую концентрацию и тип хитозана улучшили последующее укоренение, увеличили количество междоузлий и содержание хлорофилла [95, 102]. Опрыскивание листьев наночастицами хитозана увеличивало рост кофейных растений, обработка хитозаном растений земляники после высадки увеличивала вегетативный рост и урожай, не влияя на качество ягод [95, 103, 104]. Обмакивание или покрытие поверхности плодов – самый популярный метод, используемый для продления срока хранения фруктов [95, 105-107]. Хитозановое покрытие препятствует потемнению яблок, мушмулы и других плодов [108, 109]. Предотвращение потери массы – еще одно воздействие, которое может продлить срок хранения фруктов. Есть сведения, что хитозан предотвращает потерю массы плодов яблони, абрикоса, персика, мушмулы, плодов папайи, личи, земляники [95, 109]. Хитозан вызывает накопление фенольных соединений во многих фруктах [95, 106, 109-112].

Исследования реакции садовых культур на внесение хитозана показали, что каждая культура реагирует по-разному в зависимости от химического состава хитозана, а также времени и нормы внесения. Хитозан стимулирует различные реакции растений, включая индукцию устойчивости к болезням и абиотическому стрессу, ускорение роста и повышение урожайности растений, увеличение срока хранения цветов, ягод и фруктов, а также активацию производства вторичных метаболитов [95].

*Неорганические соединения.* Химические элементы, которые способствуют росту растений и могут быть важны для определённых видов, но не требуются для всех растений, называются полезными элементами [3, 113].

Пятью основными полезными элементами являются Al, Co, Na, Se и Si, присутствующие в почвах и растениях в виде различных неорганических солей и нерастворимых форм аморфного кремнезема ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) у злаковых видов. Эти элементы обладают рядом полезных свойств. Многие эффекты полезных элементов, согласно данным в научной литературе, способствуют росту растений, качеству урожая и устойчивости к абиотическому стрессу [3, 113]. Как биостимуляторы роста неорганические соли полезных и незаменимых элементов (хлориды, фосфаты, фосфиты, силикаты) воздействуют на эффективность питания растений и устойчивость к абиотическому стрессу [3]. Фосфит, восстановленная форма фосфата, становится новым биостимулятором в садоводстве [114]. По результатам многих исследований ясно, что некорневая подкормка фосфитом улучшает рост растений, урожайность и питательные качества многих сельскохозяйственных культур [114, 115]. Обработки плодовых растений способствуют устойчивости к абиотическому стрессу за счет улучшения скорости фотосинтеза растений и антиоксидантной активности. Применение фосфита также улучшает качество фруктов. Некорневые подкормки цитрусовых и авокадо увеличивали количество цветков, степень завязываемости плодов, приводили к высокой урожайности и формированию плодов большого размера [114-116]. Породы косточковых культур также отзывчивы на обработки фосфитами [114, 115]. Обработки на малине и землянике повышали качество плодов за счет активации синтеза аскорбиновой кислоты и антоцианов [114, 117]. Адаптация к P<sub>i</sub>-голоданию включает усиление синтеза антоцианов [114, 118-121].

Результаты исследований и практический опыт свидетельствуют о благотворном влиянии кремния (Si) на рост и развитие многих видов растений, особенно при воздействии абиотического или биотического стрессов. В настоящее время кремний применяется с целью стимулирования устойчивости к абиотическим стрессам, болезням и патогенам [122-124]. Положительное влияние на рост растений после некорневой подкормки Si было выявлено у нескольких садовых культур, включая землянику

[125, 126]. Внесение путем фертигации также эффективно [127, 128]. Одно из применений Si – это выращивание сельскохозяйственных культур, сталкивающихся с проблемами засоления из-за высоких концентраций NaCl в доступной поливной воде, что ограничивает рост растений и урожайность. Мелиоративный эффект Si на растения, выращиваемые в условиях засоления, может расширить возможности использования воды низкого качества для орошения, что имеет первостепенное значение с экологической точки зрения. Кремний можно использовать также для садовых культур при нехватке воды в период выращивания. Еще одна область применения Si в садоводстве – это питание растений. Значительное количество исследований показало, что использование Si может уменьшать дефицит питательных веществ и проявление токсичности, а также дисбаланс, вызванный чрезмерным поступлением некоторых питательных веществ, таких как азот [129]. Поскольку поступление питательных веществ зависит не только от внесения удобрения, но и от многих непредсказуемых факторов (например, климатических условий, неоднородности почвы в поле), применение кремния может минимизировать проблемы, связанные с питанием растений, тем самым улучшая стабильность урожая. Кроме того, Si можно применять в качестве защитного биостимулятора для садовых культур, сталкивающихся с потенциальным риском воздействия тяжелых металлов либо из-за выращивания вблизи промышленных территорий, где вероятно загрязнение почвы, либо из-за орошения очищенными сточными водами. Еще одно возможное применение Si – это выращивание сельскохозяйственных культур, испытывающих стресс, связанный с климатическими условиями, такими как засуха, низкие температуры, или заморозки [123, 130, 131].

*Полезные грибы.* Микоризные грибы представляют собой гетерогенную группу таксонов, которые устанавливают симбиозы с более чем 90 % всех видов растений. Среди различных форм физических взаимодействий и вовлеченных таксонов арбускулообразующая микориза (АМФ) является

широко распространенным типом эндомикоризы, ассоциированной с полевыми и садовыми растениями, где грибные гифы видов *Glomeromycota* проникают в кортикальные клетки корней и образуют разветвленные структуры, называемые арбускулами [3, 132, 133]. Арбускулярные микоризные грибы обладают биостимулирующими свойствами, за счет их влияния корни растений эффективнее поглощают воду и труднодоступные питательные вещества [131, 134, 135]. Цзоу изучал саженцы трехлистного апельсина *Poncirus trifoliata* Л. Раф. и обнаружил, что колонизация *Glomus Versiforme* увеличивала минеральный состав листьев (N, P, K, Ca, Fe, Mn и Zn) в условиях стресса засухи по сравнению с растениями без колонизации. У растений фисташки сортов 'Qazvini' и 'Badami-Riz-Zarand', выращенных в тепличных условиях, инокулированных арбускулярными грибами (*F. mosseae* и *R. intraradices*), увеличилось поглощение малоподвижных элементов, таких как P и Zn, и сформировался более благоприятный водный статус листьев в условиях засухи [134, 136]. Исследования показали, что инокуляция арбускулярными микоризными грибами улучшает засухоустойчивость цитрусовых за счет снижения осмотического потенциала чистых скоплений неорганических и органических веществ [131, 134]. Урожайность инокулированных растений в условиях сильного и умеренного стресса засухи была значительно выше – на 25 % и 16 %, формировался лучший питательный уровень (с более высоким содержанием азота и фосфора) в сочетании с поддержанием водного статуса листьев. Арбускулярные микоризные грибы способствуют повышению урожайности при засолении. Сообщалось, что у подвоев виноградной лозы (*Vitis vinifera* L., 'Dogridge', '1103', 'Paulsen' и 'Harmony') и саженцев цитрусовых, инокулированных *R. intraradices* (для виноградной лозы) и *F. mosseae* и *Paraglomus occultum* (для цитрусовых), были лучшие параметры роста (высота растения, диаметр штамба, биомасса побегов и корней) в связи с более низкой концентрацией Na и Cl и более высокой концентрацией K, Mg в тканях листьев, а также оптимальным соотношением K/Na [134, 137, 138].

*Триходерма* – это полезный почвенный гриб-антагонист. Большинство видов этого гриба обладают высоким биостимулирующим воздействием на садовые культуры. Внесение гриба *Trichoderma* в почву, на семена или на поверхность растений увеличивает растворимость питательных веществ, а также улучшает способность корня усваивать питательные вещества. Препараты с грибом способствуют устойчивости растений к абиотическим стрессам за счет повышения эндогенного уровня ауксинов, этилена и гиббереллинов, растительных ферментов, антиоксидантов и совместимых растворенных веществ, и соединений, таких как фитоалексины и фенолы. Благоприятные эффекты оказывают препараты на основе Триходермы для смягчения неблагоприятных последствий засоления [139-142]. Гриб *Trichoderma* может повысить устойчивость растений к засухе через улучшенное развитие корня [143, 144], активируя антиоксидантную защиту от повреждений при обезвоживании [141, 145], отсрочить вызванные засухой изменения в раскрытии устьиц, фотосинтезе и содержании хлорофилла в листьях. *Trichoderma* уменьшает негативное влияние стресса на метаболизм растений [60].

*Полезные бактерии.* Бактерии взаимодействуют с растениями различными способами, но в качестве биостимуляторов используются два основных типа бактерий, стимулирующих рост растений (PGPB – *Plant Growth Promoting Bacteria*): эндофитные бактерии типа *Rhizobium* (PGPE – *Plant Growth Promoting Endophytes*) и ризосферные или «стимулирующие рост растений ризобактерии» (PGPR – *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) [3, 146, 147]. PGPB многофункциональны и влияют на все стороны жизнедеятельности растений: питание и рост, морфогенез и развитие, биотический и абиотический стрессы растений, взаимодействие с другими организмами в агроэкосистемах [3, 147-149]. Эндофитные бактерии чаще всего проникают в растения через корни, в растения через устьица, а также повреждения тканей. Бактерии *Acinetobacter sp.*, *Azospirillum sp.*, *Azotobacter sp.*,

*Pseudomonas sp. and Bacillus sp.* производят фитогормоны, такие как индолуксусная кислота, индолилмасляная кислота, гиббереллины, цитокинины, октадеканойды и соединения, имитирующие действие жасмонатов и помогают в выживании растений [150]. Механизм действия RGPB заключается в производстве гормонов и создании гормональных изменений в растениях, образовании летучих органических соединений, улучшении доступности питательных веществ и повышении устойчивости к абиотическим стрессам [151]. По данным изученной литературы, применение RGPB увеличило урожайность садовых культур в лабораторных, тепличных и полевых условиях [151, 152]. Бактериальные штаммы, используемые на плодовых культурах как биостимуляторы, в основном относятся к роду *Pseudomonas* и *Bacillus*. Применение RGPB на яблоне, абрикосе, вишне, землянике способствовало увеличению урожайности, улучшению количественных и качественных параметров плодов, повышению концентрации антоцианов [151, 153-157]. Применение RGPB на грецком орехе в тепличных условиях увеличивало высоту растений, объём сухой массы побегов и корней, повышению уровня содержания фосфора и азота [151, 158]. Таким образом, применение биостимуляторов на основе бактерий способствует росту растений, улучшает усвоение питательных веществ и стимулирует устойчивость к стрессу окружающей среды.

*Регуляторы роста.* Многие биостимуляторы фактически являются регуляторами роста растений. Регуляторы роста – это соединения, действующие в малых дозах и не имеющие питательного значения для растений. Исторически первыми регуляторами роста растений были фитогормоны (абсцизовая кислота, ауксины, цитокинины, гиббереллины, этилен), затем их количество возросло благодаря выявлению новых классов фитогормонов (брасиностероиды, жасмоновая кислота и др.) и синтезу различных не природных соединений, в большинстве случаев являющихся ксенобиотиками [159, 160].

Следует отметить, что регуляторы роста могут классифицироваться по эффекту действия (ретарданты, дефолианты, десиканты, стимуляторы роста) или по определению разделяются на биостимуляторы и биоингибиторы [159, 160].

Являясь «чистыми» соединениями, все они имеют определенную идентифицированную структуру. Обсуждается классификация регуляторов роста растений как фитогормонов (ауксины, гиббереллины, цитокинины, brassinosteroids; этилен, абсцизовая кислота и их синтетические и «физиологические» аналоги) и негормональных регуляторов (стимуляторы и ингибиторы роста эндогенной природы – фенолы, кумарины, витамины) [159, 160] (рис. 2).



Рис. 2. Классификация фитогормонов

Фитогормоны – это биологические регуляторы роста и развития растений, осуществляющие взаимодействие клеток, тканей и органов, стимулирующие и ингибирующие морфогенетические и физиологические процессы в растительных организмах.

Основные физиологические процессы, такие как рост, развитие, формообразование и адаптация к факторам среды, запуск защитных реакций растений регулируются фитогормонами. Фитогормоны разнообразны как по химическому составу, строению, так и по характеру действия. По химической природе гормоны растений подразделяются на две группы: производные мевалоновой кислоты (гиббереллины, абсцизины, брассины, фузикоцин, цитокинины) и производные аминокислот (ауксины – из триптофана, этилен – из метионина или аланина). По функциональному действию различают 5 основных групп фитогормонов – ауксины, гиббереллины, цитокинины (ЦК), абсцизовая кислота (АБК), этилен. Они подразделены на две группы – фитогормоны-стимуляторы (ауксины, гиббереллины, цитокинины, брассиностероиды или брассины, жасмоновая и салициловая кислоты) и ингибиторы (абсцизовая кислота, этилен и фенольные ингибиторы).

Ауксин – гормон роста индольной природы. Основным фитогормоном типа ауксин является индолилуксусная кислота. Ауксины образуются в верхушках корней и побегов. Ауксин стимулирует корнеобразование у черенков, его используют при черенковании и укоренении саженцев [159-161].

Цитокинин регулирует закладку почек и их рост. Синтезируется в корнях растений и способствует росту боковых побегов [159-161].

Гиббереллин отвечает за рост стеблей и ветвей, способствует цветению и развитию плодов, а также ускоряет поступление питательных веществ в листья растений, иногда и в корни [159-161].

Абсцизин – гормон покоя и ингибитор роста растений. Регулирует процессы увядания, опадения листьев, торможения роста растений и покоя.

Абсцизин находится во всех органах и тканях растений и может синтезироваться в листьях, корнях, семенах и плодах [162].

Этилен является ингибитором роста и старения растений. Он участвует в процессе созревания плодов, опадения листьев, покоя почек. Этилен сокращает период зимнего покоя, регулирует реакции стресса в растениях. Его применяют для ускорения созревания плодов.

Брассиностероиды недавно были добавлены в категорию фитогормонов. Это стрессовые адаптогены, обладающие сильной ростостимулирующей активностью. Они содержатся в каждой растительной клетке в очень малом количестве. Концентрация ферментов для их биосинтеза наиболее высока в молодых тканях растения: этиолированных проростках, меристемах, флоральных примordiaх, развивающейся пыльце. Эти вещества относятся к фитогормонам класса стероидов, поддерживающих нормальное функционирование иммунной системы растения, особенно в неблагоприятных условиях, например, при пониженных температурах, заморозках, затоплении, засухе, болезнях, действии пестицидов, засолении почвы [162]. Кроме того, брассиностероиды регулируют множество важных процессов жизнедеятельности растений, таких как вегетативный рост, начало и прекращение цветения, завязывание и созревание плодов, влияют на урожайность и качество продукции [163]. Их возрастающая роль в растениеводстве основана на исключительно малой токсичности, так как они являются природными соединениями. Обнаруженные у брассиностероидов антистрессовые и защитные свойства, в сочетании с экологической безопасностью, позволили найти им широкое применение в сельском хозяйстве [164].

В сельскохозяйственном производстве регулирование процессов роста и развития растений имеет большое практическое значение, поскольку растительный организм никогда не реализует полностью всю генетическую информацию, заложенную в генотипе, а только в определенной мере, в зависимости от конкретных условий. Поэтому активация той или иной части

генома, ведущая к интенсификации роста и развития растений, способствует более полному проявлению потенциальных возможностей организма и повышению его продуктивности [162].

Среди регуляторов роста растений выделяются иммуностимуляторы. Иммуностимуляторы – препараты с иммунопротекторным, антистрессовым и рострегулирующим воздействием на растения, способные повышать адаптационные свойства растений к неблагоприятным факторам среды (климатическим, водным, солевым, осмотическим, температурным и другим стрессам) и их иммунитет к целому ряду заболеваний различной природы. Являясь природными соединениями, они непосредственно включаются в метаболизм растений, не оказывая вредного влияния на окружающую среду [162, 165].

Из широкого спектра всех регуляторов роста предпочтение отдается природным веществам, которые могут быть выделены из растений, грибов, микроорганизмов, и выполняющих роль, с одной стороны, стимуляторов роста, с другой стороны, антистрессовые и иммунопротекторные функции защиты растений [165, 166].

#### *Особенности влияния биостимуляторов на плодовые культуры*

Плодовые культуры подвергаются воздействию большого количества стрессовых факторов как биотического, так и абиотического происхождения.

Биотические стрессы вызываются конкретными вредными живыми организмами (включая бактерии, грибы и насекомые), тогда как абиотические стрессы возникают из-за неблагоприятных условий окружающей среды для роста и размножения растений.

Абиотические стрессы нарушают ряд морфо-анатомических, биохимических, метаболомных, молекулярных и физиологических процессов плодовых растений, приводящих к замедлению роста и экономически значимым потерям урожая [167]. Изменения среды выращивания, вызванные флуктуациями климата, региональными погодными условиями постоянно

увеличивают давление на производственный цикл возделывания плодовых культур с сезонными климатическими условиями за счет более частых экстремальных проявлений [168, 169]. Абиотические стрессы сильно влияют на рост, развитие растений и качество продукции. Наиболее важными абиотическими стрессорами, ограничивающими продуктивность плодовых культур, являются засуха, возвратные заморозки и недостаток питательных веществ [170]. Так, под влиянием абиотических стрессов, в частности засух, экстремальных температур, засоления почвы и воды снижение продуктивности может достигать 60-70 % [171].

Одним из приемов нивелирования воздействия абиотических факторов в технологическом цикле ухода за плодовыми насаждениями является использование одного из наиболее перспективных средств обеспечения стабильности урожайности в неблагоприятных экологических и почвенных условиях – биостимуляторов различной природы. Физиологическая активность биостимуляторов проявляется в стимулировании ростовых процессов плодовых растений и уменьшении негативного действия стрессовых факторов. Их использование позволяет повысить эффективность и снизить объемы применения минеральных удобрений в системе ухода за насаждениями садовых культур, возделываемых по интенсивным технологиям. Велика роль биостимуляторов в сохранении почвенного плодородия садовых агроценозов, поскольку эти препараты могут стимулировать активность полезных почвенных микроорганизмов и оптимизацию поглощения растениями питательных веществ из почвы. Изучены и проанализированы антистрессовые свойства биостимуляторов для сохранения уровня продуктивности плодовых растений в условиях засухи, засоления, низких и высоких температур и т.д. [1, 17, 171-176].

Эффективность биостимуляторов в обеспечении устойчивости плодовых культур к абиотическим стрессорам связана с несколькими прямыми и

косвенными механизмами, влияющими на биохимию и физиологию растений, включая:

1) улучшение усвоения и ассимиляции питательных веществ за счет более энергичной архитектуры корневой системы (более высокая биомасса корней, длина, объем и ветвление);

2) повышение эффективности фотосинтеза и водных отношений листьев;

3) увеличение накопления осмолитов, таких как глицинбетаин, пролин и сорбит;

4) укрепление антиоксидантной защиты (повышение активности антиоксидантных ферментов: супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы (Cat) и снижение оксидативного стресса (уменьшение содержания перекиси водорода ( $H_2O_2$ ) и малонового диальдегида);

5) повышение внутренней эффективности использования водных ресурсов (снижение транспирации);

б) формирование эпифитных микробных популяций, которые усиливают рост растений [21, 33, 171-174, 176].

В садоводстве используют 3 основных способа применения биостимуляторов: обработка семян, косточек перед стратификацией, опрыскивание вегетирующих растений, обработка почвы. Обработку почвы биостимуляторами используют для активации азотного метаболизма, активности микрофлоры и стимуляции роста растений [7, 177-180]. При обработке семян, листовой поверхности вегетирующих растений физиологическая активность биостимуляторов на основе природного сырья – микроорганизмов, водорослей, высших растений, тканей животных, гуматов – выражается, как правило, в положительных реакциях садовых растений: повышении энергии прорастания семян, активации роста корней и надземной части, повышении эффективности фотосинтеза и увеличении биомассы, повышении урожайности и качества плодовой продукции.

**Заключение.** Таким образом, изучив действие биостимуляторов на плодовые культуры, выявив их положительное влияние на рост, продуктивность и качество урожая, можно сделать вывод, что биостимуляторы, применяемые в ультра- и малых дозах, эффективны против воздействия абиотических факторов в технологическом цикле ухода за плодовыми насаждениями для обеспечения стабильной продуктивности и формирования качественной плодовой продукции.

Для разработки системы применения биостимуляторов в интенсивных плодовых насаждениях в конкретных условиях возделывания, для последующих исследований необходимо решить следующие задачи:

- выявить изменения функционального состояния плодовых растений в зависимости от групп и видов биостимуляторов;
- разработать оптимальные дозы и сроки применения системы биостимуляторов для плодовых культур в разрезе пород и сортов с учетом условий возделывания.

### Литература

1. Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Современные представления о биостимуляторах // *Агрехимия*. 2014. № 7. С. 85-90.
2. Du Jardin P. The Science of Plant Biostimulants. A bibliographic analysis ordered by the European Commission // (Contract 30-CE0455515/00-96, Ad hoc study on bio-stimulants products). 2012. - 37 p.
3. Du Jardin, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. // *Sci. Hortic*. 196, 2015. - 3–14 p.
4. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Коноваленко Л.Ю. Современные технологии производства пестицидов и агрохимикатов биологического происхождения: науч. анализ. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 124 с.
5. Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Физиологическая активность биостимуляторов и эффективность их применения // *Агрехимия*. 2016. № 6. С. 72-94.
6. Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Биостимуляторы в агротехнологиях: проблемы, решения, перспективы // *Агрехимический вестник*. 2016. № 1. С. 15-21.
7. Du Jardin, P.; Xu, L.; Geelen, D. Agricultural functions and action mechanisms of plant biostimulants (PBs): An introduction. In *The Chemical Biology of Plant Biostimulants*, 1st ed.; Geelen, D., Xu, L., Eds.; John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, West Sussex, UK, 2020; pp. 3–30.
8. Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Классификация биостимуляторов // *Агрехимия*. 2018. № 3. С. 90-95.

9. Yakhin O.I., Lubyaynov A.A., Yakhin I.A., Brown P.H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective // *Frontiers in Plant Science*, 2017. – P. 32 doi.org/10.3389/fpls.2016.02049.

10. Canellas L.P., Olivares, F.L., Aguiar N.O., Jones D.L., Nebbioso A., Mazzei P., Piccolo A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture // *Sci. Hortic.* 196, 2015. – 15-27 p.

11. Geilfus C.M. Microbial and Plant-Based Biostimulants. (Controlled Environment Horticulture. Christoph-Martin Geilfus Improving Quality of Vegetables and Medicinal Plants.) // Springer Nature Switzerland AG, 2019. – P. 131-143 doi.org/10.1007/978-3-030-23197-2\_12.

12. Ali Q., Shehzad F., Waseem M., Shahid S., Hussain A.I., Haider M. Z., Habib N., Hussain S.M., Javed M.T., Perveen R. Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I // Springer, Singapore, 2020. - pp 625-661 https://doi.org/10.1007/978-981-15-2156-0\_22.

13. Pylak M., Oszust K., Frac M. Review report on the role of bioproducts, biopreparations, biostimulants and microbial inoculants in organic production of fruit // *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 18, 2019. - P. 597-616 doi.org/10.1007/s11157-019-09500-5.

14. Garc´ıa-Mina J.M., Antol´ın M.C., Sanchez-Diaz M. Metal-humic complexes and plant micronutrient uptake: a study based on different plant species cultivated in diverse soil types // *Plant and Soil* 258: 2004. - P. 57–68 https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000016509.56780.40.

15. Li X., Xing M., Yang J., Huang Z. Compositional and functional features of humic acid-like fractions from vermicomposting of sewage sludge and cow dung // *J. Hazard. Mater.* 2011. V. 185. P. 740–748.

16. Malan M., Mller F., Cyster L., Raitt L., Aalbers J. Heavy metals in the irrigation water, soils and vegetables in the Philippi horticultural area in the Western Cape Province of South Africa // *Environ Monit Assess* 187: 2015. - 4085 DOI 10.1007/s10661-014-4085-y.

17. Van Oosten M. J., Pepe O., De Pascale S., Silletti S., Maggio A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants // *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4, 5; 2017. - P. 12 doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5.

18. Shahid M., Duma C., Silvestre J., Pinelli E. Effect of fulvic acids on lead-induced oxidative stress to metal sensitive *Vicia faba* L. plant. // *Biol. Fertil. Soils* 48, 2012. – P. 689-697.

19. Khang V.T. Fulvic foliar fertilizer impact on growth of rice and radish at first stage // *Omonrice* 18, 2011. – P. 144–148.

20. Lotfi R., Gharavi-Kouchebagh P., Khoshvaghti H. Biochemical and physiological responses of Brassica napus plants to humic acid under water stress // *Russ. J. Plant Physiol.* 62(4) 2015. - P. 480–486.

21. Basile B., Roupheal Y., Colla G., Soppelsa S., Andreotti C. Appraisal of emerging crop management opportunities in fruit trees, grapevines and berry crops facilitated by the application of biostimulants // *Sci. Hortic.* 2020. – P. 267, 109330.

22. Yang S.J., Zhang Z.L., Xue Y.X., Zhang Z.F., Shi S.Y. Arbuscular mycorrhizal fungi increase salt tolerance of apple seedlings. *Bot. Stud.* 55, 2014. -1–7. https://doi.org/10.1186/s40529-014-0070-6.

23. Anjum S.A., Wang L., Farooq M., Xue L., Ali S. Fulvic acid application improves the maize performance under well-watered and drought conditions. *J. Agron. Crop Sci.* 197(6), 2011 - P. 409-417.

24. Anjum S.A., Xie X.Y., Wang L.C., Saleem M.F., Man C., Lei W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr. J. Agric. Res.* 6(9), 2011a. - P. 2026–2032.

25. Dinler B.S., Gunduzer E., Tekinay T. Pre-treatment of fulvic acid plays a stimulant

role in protection of soybean (*Glycine Max* L.) leaves against heat and salt stress // Acta Biologica Cracoviensia s Botanica 58(1), 2016. - P. 29–41.

26. Husein M.E., El-Hassan S.A., Shahein M.M. Effect of humic, fulvic acid and calcium foliar application on growth and yield of tomato plants // Int J Biosci 7(1), 2015. – P. 132–140.

27. Moradi P., Pasari B., Fayyaz F. The effects of fulvic acid application on seed and oil yield of safflower cultivars // J. Cent. Eur. Agric. 18(3), 2017. – P. 584–597.

28. Abd El-Razek E., Abd-Allah A.S.E., Saleh M.M.S. Yield and fruit quality of Florida Prince peach trees as affected by foliar and soil applications of humic acid // J. Appl Sci. Res. 8, 2012.- P. 5724-5729.

29. Tarantino A., Lops F., Disciglio G., Lopriore G. Effects of plant biostimulants on fruit set, growth, yield and fruit quality attributes of ‘Orange Rubis’ apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivar in two consecutive years. Sci. Hort. 239, 2018. - 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.055>.

30. Abay S., Pirlak L. Effects of iron sulfate, zinc sulfate, iron chelate, powder sulphur and humic acid applications on vegetative growth of sweet cherry (*Prunus avium* L.). Erwerbs-Obstbau 59, 2017. – P. 71–75. <https://doi.org/10.1007/s10341-016-0300-z>.

31. El-Kenawy M.A. Effect of chitosan, salicylic acid and fulvic acid on vegetative growth, yield and fruit quality of Thompson seedless grapevines. Egypt J. Hort. 44 (1): 2017, 45-59.

32. Mahmoudi M., Aryee P. Study the effect of fluvic acid on physiological traits of *Citrus unshu* under salt stress. Int. J. Chem. Environ. Biol. Sci. 3(3): 2015. - 2320–4087.

33. Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W. Agricultural uses of plant biostimulants // Plant Soil. 2014. V. 383. № 1–2. P. 3–41.

34. Halpern M., Bar-Tal A., Ofek M., Minz D., Muller T., Yermiyahu U. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. In: Sparks, D.L. (Ed.), Advances in Agronomy, Vol. 129, 2015. - pp. 141–174.

35. Cerdán M., Sánchez-Sánchez A., Oliver M., Juárez M., Sánchez-Andreu J.J. Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. Acta Hort. 830: 2009, 481–488. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.830.68>.

36. Colla G., Rouphael Y., Canaguier R., Svecova E., Cardarelli M. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. Front Plant Sci 5: 2014, 448.

37. Ertani A., Cavani L., Pizzeghello D., Brandellero E., Altissimo A., Ciavatta C., Nardi S. Biostimulant activities of two protein hydrolysates on the growth and nitrogen metabolism in maize seedlings. J. Plant. Nutr. Soil Sci. 172: 2009, 237–244. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800174>.

38. García-Martínez A.M., Díaz A., Tejada M., Bautista J., Rodríguez B., María C.S., Revilla E., Parrado J. Enzymatic production of an organic soil biostimulant from wheat condensed distiller solubles: effects on soil biochemistry and biodiversity. Process Biochem 45: 2010. - 1127–113.

39. Lucini L., Rouphael Y., Cardarelli M., Canguier R., Kumar P., Colla G. The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. Sci. Hort. 182: 2015. - 124–133.

40. Ertani A., Pizzeghello D., Francioso O., Sambo P., Sanchez-Cortes S., Nardi S. *Capsicum chinensis* L. growth and nutraceutical properties are enhanced by biostimulants in a long-term period: chemical and metabolomic approaches. Front Plant Sci. 5: 2014. - 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.003>.

41. Paradikovic N., Vinkovic T., Vrcek I.V., Zuntar I., Bojic M., Medic-Saric M. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper

(*Capsicum annuum* L.) plants. J. Sci. Food Agric. 91: 2011. - 2146–2152. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4431>.

42. Parrado J., Escudero-Gilete M.L., Friaiza V., Garcia-Martinez A., González-Miret M.L., Bautista J.D., Heredia F.J. Enzymatic vegetable extract with bioactive components: influence of fertilizer on the colour and anthocyanins of red grapes. J. Sci. Food Agric. 87: 2007. – 2310-2318.

43. Colla G., Nardi S., Cardarelli M., Ertani A., Lucini L., Canaguier R., Roupheal Y. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture // Sci. Hortic. 196, 2015.- 28–38 p.

44. Vranova V., Rejsek K., Skene K.R., Formanek P. Non-protein amino acids: plant, soil and ecosystem interactions. Plant Soil 342, 2011. - 31–48.

45. Morales-Pajan J.P., Stall W.M. Papaya (*Carica papaya*) response to foliar treatments with organic complexes of peptides and amino acids. Proc. Fla. State Hortic. Soc. 116, 2003. - 30–32.

46. Gurav R.G., Jadhav J.P. A novel source of biofertilizer from feather biomass for banana cultivation. Environ Sci Pollut Res Int 20: 2013. - 4532–4539. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1405-z>.

47. Quartieri M., Cavani L., Lucchi A., Marangoni B., Tagliavini M. Effects of the rate of protein hydrolysis spray concentration on growth of potted kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) plants. Acta Hortic. 594, 2002. - 341–347.

48. Bogunovic I., Duralija B., Gadze J., Kusic I. Biostimulant usage for preserving strawberries to climate damages. Hort. Sci. 42, 2015, 132–140. <https://doi.org/10.17221/161/2014-HORTSCI>.

49. Battacharyya D., Babgohari M.Z., Rathor P., Prithiviraj B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture // Sci. Hortic. 196, 2015. – 39–48 p.

50. Khan W., Menon U., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J., Norrie J., Prithiviraj B. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development // Journal of Plant Growth Regulation, 28(4), 2009. – P. 386-399 DOI:10.1007/s00344-009-9103-x.

51. Mukherjee A., Patel J. S. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity // International journal of Environmental Science and Technology, 17(1), 2020. - P. 553-558 DOI:10.1007/s13762-019-02442-z.

52. Шибаева Т.Г., Шерудило Е.Г., Титов А.Ф. Экстракты морских водорослей как биостимуляторы растений // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 3. С. 36-67 DOI: 10.17076/eb138.

53. Nabti E., Hartmann A., Hartmann A. Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer // International journal of Environmental Science and Technology, 14(5), 2017. – P. 1119-1134 DOI:10.1007/s13762-016-1202-1.

54. Nagahama T., Fujimoto K., Takami S., Kinugawa A., Narusuye K. Effective amino acid composition of seaweeds inducing food preference behaviors in *Aplysia kurodai*. Neurosci. Res. 64, 2009. – 243-250.

55. Craigie J.S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. J. Appl. Phycol. 23, 2011. – 371-393.

56. Wang T., Jonsdottir R., Ólafsdóttir G. Total phenolic compounds, radical scavenging and metal chelation of extracts from Icelandic seaweeds. Food Chem. 116, 2009. – 240-248.

57. Belattmania Z., Engelen A.H., Pereira H., Serrão E.A., Barakate M., Elatouani S., Sabour B. Potential uses of the brown seaweed *Cystoseira humilis* biomass: 2-fatty acid composition, antioxidant and antibacterial activities. J Mater Environ Sci 7(6): 2016, 2074–2081.

58. González A., Castro J., Vera J., Moenne A. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. J Plant Growth Regul 32: 2013. 443–448.

59. Klarzynski O., Descamps V., Plesse B. et al (2003) Sulfated fucan oligosaccharides

elicit defence responses in tobacco and local and systemic resistance against Tobacco Mosaic Virus. *Mol Plant Microbe Interact* 16: 2003. - 115–122.

60. Michalak I., Chojnacka K. The potential usefulness of a new generation of agro-products based on raw materials of biological origin. *Acta scientiarum Polonorum. Hortorum cultus = Ogrodnictwo* 15: 2016. - 97–120.

61. Perez M.J., Falque E., Domínguez H. Antimicrobial action of compounds from marine seaweed. *Mar Drugs* 14(3): 2016. – 52.

62. Rioux L.E., Turgeon S.L., Beaulieu M. Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds. *Carbohydr Polym* 69: 2007. - 530–537.

63. Zhang Q., Zhang J., Shen J., Silva A., Dennis D.A. A simple 96-well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. *J Appl Phycol* (2006), 18: 445–450.

64. Craigie J., MacKinnon S., Walter J. Liquid seaweed extracts identified using H NMR profiles. *J. Appl. Phycol.* 20, 2008. - 665–671.

65. Ibrahim W.M., Ali R.M., Hemida K.A., Sayed M.A. Role of *Ulva lactuca* extract in alleviation of salinity stress on wheat seedlings. *Sci World J* 2014:1.

66. Khan A.S., Ahmad B., Jaskani M.J., Ahmad R., Malik A.U. Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract improve growth and physicochemical properties of grapes. *Int. J. Agric. Biol.* 14(3): 2012. - 383–38.

67. Mancuso S., Azzarello E., Mugnai S., Briand X. Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. *Adv. Hortic. Sci.* 20: 2006. - 156–161.

68. Mattner S.W., Wite D., Riches D.A., Porter I.J., Arioli T. The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. *Biol Agric Hortic* 29: 2013. - 258–270.

69. Rayorath P., Khan W., Palanisamy R., MacKinnon S.L., Stefanova R., Hankins S.D., Critchley A.T., Prithviraj B. Extracts of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* induce gibberellic acid (GA3)-independent amylase activity in barley // *J. Plant Growth. Regul.* 2008. V. 27. № 4. P. 370–379.

70. Rinez I., Ghezal N., Rinez A., Muhammad F., Dbara S., Saad I., Haouala R. Improving salt tolerance in pepper by bio-priming with *Padina pavonica* and *Jania rubens* aqueous extracts. *Int. J. Agric. Biol.* 20(3): 2018. - 513–523.

71. Santaniello A., Scartazza A., Gresta F., Loreti E., Biasone A., Di Tommaso D., Perata P. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in *Arabidopsis* by affecting photosynthetic performance and related gene expression. *Front. Plant Sci.* 8: 2017. – 1362.

72. Shukla P.S., Borza T., Critchley A.T., Prithviraj B. Carrageenans from red seaweeds as promoters of growth and elicitors of defense response in plants. *Front. Mar. Sci.* (2016) 3:81.

73. Tarakhovskaya E.R., Maslov Y.I., Shishova M.F. Phytohormones in algae. *Russ J Plant Physiol* (2007), 54: 163–170. DOI: 10.1134/S1021443707020021.

74. Haider M.W., Ayyub C.M., Pervez M.A., Asad H.U., Manan A., Raza S.A., Ashraf I. Impact of foliar application of seaweed extract on growth, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Soil Environ.* 31, 2012. - 157–162.

75. Kamel H.M. Impact of garlic oil, seaweed extract and imazalil on keeping quality of valencia orange fruits during cold storage. *J. Hortic. Sci. Orn. Plants* 6, 2014. 116–125

76. Spinelli F., Fiori G., Noferini M., Sprocatti M., Costa G. A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Sci. Hortic.* 125, 2010. - 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.011>.

77. Vercammen J., van Daele G., Vanrykel T. Cracking of sweet cherries: past tense? *Acta Hortic.* 795, 2008. - 463–468. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.70>.

78. Spinelli F., Fiori G., Noferini M., Sprocatti M., Costa G. Perspectives on the use of

a seaweed extract to moderate the negative effects of alternate bearing in apple trees. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84, 2009. - 131–137. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512610>.

79. Soppelsa S., Kelderer M., Casera C., Bassi M., Robatscher P., Andreotti C., Use of biostimulants for organic apple production: effects on tree growth, yield, and fruit quality at harvest and during storage. *Front. Plant Sci.* 9, 2018. - 1342. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01342>.

80. Bradshaw T.L., Berkett L.P., Griffith M.C., Kingsley-Richards S.L., Moran, R.E., Darby H.M., Parsons R.L., Moran R.E., Garcia M.E. Assessment of kelp extract biostimulants on tree growth, yield, and fruit quality in a certified organic apple orchard. *Acta Hort.* 1001, 2013, 191–198. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1001.21>.

81. Malaguti D., Rombolà A.D., Gerin M., Simoni G., Tagliavini M., Marangoni B. Effect of seaweed extracts-based leaf sprays on the mineral status, yield and fruit quality of apple. *Acta Hort.* 594, 2002. - 357–359. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.594.44>.

82. Colavita G.M., Spera N., Blackhall V., Sepulveda G.M. Effect of seaweed extract on pear fruit quality. *Acta Hort.* 909, 2011, 601–607. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.909.72>.

83. Soppelsa S., Kelderer M., Testolin R., Zanotelli D., Andreotti C. Effect of Biostimulants on Apple Quality at Harvest and After Storage // *Agronomy* 2020, 10, 1214, 102.

84. Seiber J.N., Coats J., Duke S.O., Gross A.D. Biopesticides: state of the art and future opportunities. *J. Agric. Food Chem.* 62, 2014. - 11613–11619.

85. Ertani A., Schiavon M., Muscolo A., Nardi S., Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. plants. *Plant Soil* 364, 2013. – 145-158.

86. Ziosi V., Zandoli R., Di Nardo A., Biondi S., Antognoni F., Calandriello F. Biological activity of different botanical extracts as evaluated by means of an array of *in vitro* and *in vivo* bioassays. *Acta Hort.* 1009, 2012. - 61–66.

87. Chojnacka K., Michalak I., Dmytryk A., Wilk R., Górecki, H. Innovative natural plant growth biostimulants. In Shishir S, Pant KK (eds) *Advances in fertilizer technology*, 2015, 452-489.

88. Roupheal Y., Giordano M., Cardarelli M., Cozzolino E., Mori M., Kyriacou M., Colla G. (2018) Plant and seaweed-based extracts increase yield but differentially modulate nutritional quality of greenhouse spinach through biostimulant action. *Agronomy* 8(7): 2018. – 126.

89. Ahmed M.B., Zhou J.L., Ngo H.H., Guo W., Chen M. Progress in the preparation and application of modified biochar for improved contaminant removal from water and wastewater. *Bioresour. Technol.* 214: 2016, 836–851.

90. Makkar H.P., Siddhuraju P., Becker K. Plant secondary metabolites. Humana Press, Totowa N.J., 2007. - pp 101–106.

91. Schäfer M., Brütting C., Meza-Canales I.D., Großkinsky D.K., Vankova R., Baldwin I.T., Meldau S. The role of cis-zeatin-type cytokinins in plant growth regulation and mediating responses to environmental interactions. *J. Exp. Bot.* 66(16): 2015. - 4873–4884.

92. Wahid A. Physiological implications of metabolite biosynthesis for net assimilation and heat stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. *J. Plant Res.* (2007), 120(2):219–228.

93. Rady M.M., Mohamed G.F. Modulation of salt stress effects on the growth, physiochemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and Moringa oleifera leaf extract. *Sci. Hortic.* 193: 2015. - 105–113.

94. Yasmeen A., Basra S.M.A., Farooq M., ur Rehman H., Hussain N. Exogenous application of moringa leaf extract modulates the antioxidant enzyme system to improve wheat performance under saline conditions. *Plant Growth Regul* (2013), 69(3): 225–233.

95. Pichyangkura R., Chadchawan S. Biostimulant activity of chitosan in horticulture // *Sci. Hortic.* 196, 2015. - 49–65 p.

96. Kananont N., Pichyangkura R., Chanprame S., Chadchawan S., Limpanavech P. Chitosan specificity for the *in vitro* seed germination of two *Dendrobium* orchids (*Asparagales Orchidaceae*). *Sci. Hortic.* 124(2), 2010: 239–247.

97. Limpanavech P., Chaiyasuta S., Vongpromek R., Pichyangkura R., Khunwasi C., Chadchawan S., Bangyeekhun T. Chitosan effects on floral production, gene expression, and anatomical changes in the *Dendrobium* orchid. *Sci. Hortic.* 116(1): 2008. - 65–72.

98. Pornpienpakdee P., Singhasurasak R., Chaiyasap P., Pichyangkura R., Bunjongrat R., Chadchawan S., Limpanavech P. Improving the micropropagation efficiency of hybrid *Dendrobium* orchids with chitosan. *Sci. Hortic.* 124(4): 2010. - 490–499.

99. Ali A., Noh N.M., Mustafa M.A. Antimicrobial activity of chitosan enriched with lemongrass oil against anthracnose of bell pepper. *Food Packag Shelf Life* 3: 2015, 56–61.

100. Bautista-Baños S., Hernández-López M., Bosquez-Molina E., Wilson C.L. Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop Prot.* 22(9): (2003), 1087–1092.

101. Prapagdee B., Kotchadat K., Kumsopa A., Visarathanonth N. The role of chitosan in protection of soybean from sudden death syndrome caused by *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. *Bioresour Technol* 98(7): 2007. - 1353–1358.

102. Górnik K., Grzesik M., Romanowska-Duda B., The effect of chitosan on rooting of grapevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress. *J. Fruit Ornamental Plant Res.* 16, 2008. - 333–343.

103. Van S.N., Minh H.D., Anh D.N. Study on chitosan nanoparticles on biophysical characteristics and growth of Robusta coffee in green house. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2, 2013. - 289–294.

104. El-Miniawy S., Ragab M., Youssef S., Metwally A. Response of strawberry plants to foliar spraying of chitosan. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 9, 2013. -366–372.

105. Casals C., Elmer P.A.G., Vinas I., Teixidó N., Sisquella M., Usall J., The combination of curing with either chitosan or *Bacillus subtilis* CPA-8 to control brown rot infections caused by *Monilinia fructicola*. *Postharvest Biol. Technol.* 64, 2012, 126–132.

106. Kerch G., Sabovics M., Kruma Z., Kampuse S., Straumite E. Effect of chitosan and chitoooligosaccharide on vitamin C and polyphenols contents in cherries and strawberries during refrigerated storage. *Eur. Food Res. Technol.* 233, 2011. - 351–358.

107. Ma Z., Yang L., Yan H., Kennedy J.F., Meng X. Chitosan and oligochitosan enhance the resistance of peach fruit to brown rot. *Carbohydr. Polym.* 94, 2013. – 272-277.

108. Qi H., Hu W., Jiang A., Tian M., Li Y. Extending shelf-life of fresh-cut ‘Fuji’ apples with chitosan-coatings. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 12, 2011. - 62–66.

109. Ghasemnezhad M., Nezhad M.A., Gerailoo S. Changes in postharvest quality of loquat (*Eriobotrya japonica*) fruits influenced by chitosan. *Hort. Environ. Biotechnol.* 52, 2011. – 40-45.

110. Ali A., Mohamed M.T.M., Siddiqui Y. Control of anthracnose by chitosan through stimulation of defence-related enzymes in Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit. *J. Biol. Life Sci.* 3, 2012, 114–126.

111. Badawya M.E.I., Rabea E.I. Potential of the biopolymer chitosan with different molecular weights to control postharvest gray mold of tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 51, 2009,110–117.

112. Meng X., Tian S. Effects of preharvest application of antagonistic yeast combined with chitosan on decay and quality of harvested table grape fruit. *J. Sci. Food Agric.* 89, 2009. - 1838–1842.

113. Pilon-Smits E.A.H., Quinn C.F., Tapken W., Malagoli M., Schiavon, M. Physiological functions of beneficial elements. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12, 2009. - 267–274.

114. Gómez-Merino F.C., Trejo-Téllez L.I. Biostimulant activity of phosphite in horticulture // *Sci. Hortic.* 196, 2015. - 82–90 p.

115. Lovatt C.J., Mikkelsen R.L. Phosphite fertilizers: what are they? Can you use them? What can they do? *Better Crops* 90, 2006. - 11–13.

116. Graham J.H. Phosphite for control of Phytophthora diseases in citrus: model for management of Phytophthora species on forest trees? *N. Z. J. For. Sci.* 41S, 2011. - P. 49-P. 56.

117. Moor U., Pöldma P., Tõnutare T., Karp K., Starast M., Vool E. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. *Sci. Hortic.* 119, 2009. - 264–269.

118. Estrada-Ortiz E., Trejo-Téllez L.I., Gómez-Merino F.C., Núñez-Escobar R., Sandoval-Villa M. The effects of phosphite on strawberry yield and fruit quality. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13, 2013. - 612–620, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000049>.

119. Lo Piero A.R. The state of art on biosynthesis of anthocyanins and its regulation in pigmented sweet oranges [*Citrus sinensis*] L. Osbeck]. *J. Agric. Food Chem.* 63, 2015. - 4031–4041. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01123>.

120. Routray W., Orsat V. Blueberries and their anthocyanins: factors affecting biosynthesis and properties. *Comp. Rev. Food Sci. Food Saf.* 10, 2011. - 303–320, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00164.x>.

121. Zafra-Stone S., Yasmin T., Bagchi M., Chatterjee, A., Vinson, J.A., Bagchi D. Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention. *Mol. Nutr. Food Res.* 51, 2007. - 675–683.

122. Pilon C., Soratto R.P., Moreno L.A. Effects of soil and foliar application of soluble silicon on mineral nutrition, gas exchange, and growth of potato plants. *Crop Sci.* 53, 2013. - 1605-1614.

123. Savvas D., Ntatsi G. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Sci. Hortic.* 196, 2015. - 66–81 p.

124. Wang S., Wang F., Gao G. Foliar application with nano-silicon alleviates Cd toxicity in rice seedlings. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 2015. - 2837–2845.

125. Haynes R.J. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177, 2014. - 831–844.

126. Wang S.Y., Galleta G.J. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. *J. Plant Nutr.* 21, 1998. - 157–167.

127. Savvas D., Giotis D., Chatzieustratiou E., Bakea M., Patakioutas G., Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environ. Exp. Bot.* 65, 2009. - 11–17.

128. Voogt W., Sonneveld C. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndörfer, G.H. (Eds.), *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Science* 8. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2001. - pp. 115–131.

129. Ma C.C., Li Q.F., Gao Y.B., Xin T.R. Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50, 2004. - 623–632.

130. Kim Y.-H., Khan A.L., Kim D.H., Lee S.W., Kim K.M., Waqas M., Jung H.-Y., Shin J.-H., Kim J.-G., Lee I.-J. Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATPases, *Oryza sativa* low silicon genes, and endogenous phytohormones. *BMC Plant Biol.* 14, 2014. - 13.

131. Wu Q.S., Srivastava A.K., Zou Y.N. AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: a review. *Sci. Hortic.* 164, 2013. - 77–87.

132. Behie S.W., Bidochka M.J. Nutrient transfer in plant-fungal symbioses. *Trends Plant Sci.* 19, 2014, 734–740.

133. Bonfante P., Genre A. Interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nat. Commun.* 1, 2010, 1–11.

134. Rouphael Y., Franken P., Schneider C., Schwarz D., Giovannetti M., Agnolucci M., De Pascale S., Bonini P., Colla G. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in

horticultural crops // Sci. Hortic. 196, 2015. - 91–108 p.

135. Smith S.E., Smith F.A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annu. Rev. Plant Biol.* 63, 2011. - 227–250.

136. Bagheri V., Shamshiri M.H., Shirani H., Roosta H. Nutrient uptake and distribution in mycorrhizal pistachio seedlings under drought stress. *J. Agric. Sci. Technol.* 14, 2012, 1591–1604

137. Khalil H.A. Influence of vesicular-arbuscula mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) on the response of grapevines rootstocks to salt stress. *Asian J. Crop Sci.* 5, 2013. - 393–404.

138. Wu Q.S., Zou Y.N., He X.H. Contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to growth, photosynthesis, root morphology and ionic balance of citrus seedlings under salt stress. *Acta Physiol. Plant.* 32, 2010. - 297–304.

139. Contreras-Cornejo H.A., Macías-Rodríguez L., Alfaro-Cuevas R., López-Bucio J. *Trichoderma* spp. improve growth of *Arabidopsis* seedlings under salt stress through enhanced root development, osmolite production, and Na<sup>+</sup> elimination through root exudates. *Mol. Plant Microbe Interact.* 27, 2014, 503–514.

140. López-Bucio J., Pelagio-Flores R., Herrera-Estrella A. *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus // *Sci. Hortic.* 196, 2015. - 109–123 p.

141. Mastouri F., Björkman T., Harman G.E. *Trichoderma harzianum* enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. *Mol. Plant Microbe Interact.* 25, 2012. - 1264–1271.

142. Rawat L., Singh Y., Shukla N., Kumar J. Salinity tolerant *Trichoderma harzianum* reinforces NaCl tolerance and reduces population dynamics of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cicer* in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under salt stress conditions. *Arch. Phytopathol. Plant Prot.* 46, 2013. - 1442–1467.

143. Contreras-Cornejo H., Macías-Rodríguez L., Cortés-Penagos C., López-Bucio J. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 149, 2009, 1579–1592.

144. Shukla N., Awasthi R.P., Rawat L., Kumar J., Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* under drought stress. *Plant Physiol. Biochem.* 54, 2012. - 78–88.

145. Brotman B., Landau A., Cuadros-Inostroza A., Takayuki T., Fernie, A., Chet I., Viterbo A., Willmitzer L. *Trichoderma*-plant root colonization: escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. *PLoS Pathog.* 9, 2013, e1003221.

146. Иванчина Н.В., Гарипова С.Р. Влияние ростстимулирующих бактерий (PGPB) на продуктивность и устойчивость растений // *Агрехимия.* 2012. № 7. С. 87-95.

147. Ahmad I., Pichtel J., Hayat S. *Plant-Bacteria Interactions. Strategies and Techniques to Promote Plant Growth.* January 2009. *Biotechnology Journal* 4(1):137. DOI: 10.1002/biot.200800349.

148. Berendsen R.L., Pieterse C.M., Bakker P.A. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends Plant Sci.* 17, 2012, 1360–1385.

149. Berg G., Grube M., Schloter M., Smalla K. Unraveling the plant microbiome: looking back and future perspectives. *Front. Microbiol.* 5, 2014, 1–7, Article 148.

150. Santos M.L.D., Berlitz D.L., Wiest S.L.F., Schünemann R. Benefits Associated with the Interaction of Endophytic Bacteria and Plants // *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 61, 2018. – P. 11. DOI:10.1590/1678-4324-2018160431.

151. Ruzzi M., Aroca R. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in

horticulture // Sci. Hortic. 196, 2015. - 124–134.

152. Yildirim E., Karlidag H., Turan M., Dursun A., Goktepe F. Growth, nutrient uptake and yield promotion of Broccoli by plant growth promoting rhizobacteria with manure. HortScience 46, 2011. - 932–936.

153. Esitken A., Pirlak L., Turan M., Sahin F. Effects of floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrition of sweet cherry. Sci. Hortic. 110, 2006. - 324–327.

154. Esitken A., Yildiz H.E., Ercisli S., Figen Donmez M., Turan M., Gunes, A. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. Sci. Hortic. 124, 2010. - 62–66.

155. Ipek M., Pirlak L., Esitken A., Dönmez M.F., Turan M., Sahin F. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) increase yield, growth and nutrition of strawberry under high-calcareous soil conditions. J. Plant Nutr. 37, 2014. -990–1001.

156. Karlidag H., Esitken A., Yildirim E., Donmez M.F., Turan M. Effects of plant growth promoting bacteria on yield, growth, leaf water content, membrane permeability, and ionic composition of strawberry under saline conditions. J. Plant Nutr. 34, 2010. - 34–45.

157. Lingua G., Bona E., Manassero P., Marsano F., Todeschini V., Cantamessa S., Copetta A., D'Agostino G., Gamalero E., Berta G. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads increases anthocyanin concentration in strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* var. *Selva*) in conditions of reduced fertilization. Int. J. Mol. Sci. 14, 2013. - 16207–16225.

158. Yu X., Liu X., Zhu T.H., Liu G.H., Mao C. Co-inoculation with phosphate-solubilizing and nitrogen-fixing bacteria on solubilization of rock phosphate and their effect on growth promotion and nutrient uptake by walnut. Eur. J. Soil Biol. 50, 2012. - 112–117.

159. Безуглова О.С. Удобрения и стимуляторы роста // Серия «Подворье». Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. 230 с.

160. Дорожкина Л., Поддымкина Л. Регуляторы роста: используем правильно // Настоящий хозяин. 2011. № 9 (81). С. 74-77.

161. Дорожкина Л.А. Что мы знаем о регуляторах роста и зачем они нужны // Питомник и частный сад. 2010. № 1. С. 49-52.

162. Котляров Д.В., Котляров В.В., Федулов Ю.П. Физиологически активные вещества в агротехнологиях: монография. Краснодар: КубГАУ, 2016. 224 с.

163. Baghel M., Nagaraja A., Srivastav M., Kumar Meena N., Senthil Kumar M., Kumar A., Sharma R. R. Pleiotropic influences of brassinosteroids on fruit crops: a review // Plant Growth Regulation (2019) 87:375–388 <https://doi.org/10.1007/s10725-018-0471-8>.

164. Прусакова Л.Д., Чижова С.И. Применение brassinosterоидов в экстремальных для растений условиях // Агрoхимия. 2005. № 7. С. 87-94.

165. Прусакова Л.Д., Малеванная Н.Н., Белопухов С.Л., Вакуленко В.В. Регуляторы роста растений с антистрессовыми и иммунопротекторными свойствами // Агрoхимия. 2005. № 11. С. 76-86.

166. Шаповал О.А., Можарова И.П., Коршунов А.А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях // Защита и карантин растений. 2014. № 6. С. 16-20.

167. Wang W., Vinocur B., Altman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. Planta 2003, 218, 1–14.

168. Bisbis M.B., Gruda N., Blanke M. Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality - A review. J. Clean. Prod. 2018, 170, 1602–1620.

169. Parajuli R., Thoma G., Matlock M.D. Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review. Sci. Total Environ. 2019, 650, P. 2863–2879.

170. Bulgari R.; Franzoni G.; Ferrante A. Biostimulants application in horticultural

crops under abiotic stress conditions // *Agronomy*, 2019.- P. - 9, 306.

171. Rouphael Y., Cardarelli M., Bonini P., Colla G. Synergistic Action of a Microbial-based Biostimulant and a Plant Derived-Protein Hydrolysate Enhances Lettuce Tolerance to Alkalinity and Salinity. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 131.

172. Andreotti C. Management of Abiotic Stress in Horticultural Crops: Spotlight on Biostimulants // *Agronomy* 2020, 10, 1514; doi:10.3390/agronomy10101514.

173. Colla G., Rouphael Y. Biostimulants in horticulture. *Sci. Hortic. (Amst.)* 2015, 196, 1–2.

174. Colla G., Hoagland L., Ruzzi M., Cardarelli M., Bonini P., Canaguier R., Rouphael Y. Biostimulant Action of Protein Hydrolysates: Unraveling Their Effects on Plant Physiology and Microbiome. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 2202.

175. Rouphael Y., Colla G. Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Front. Plant Sci.* 2018, 9, 1655.

176. Rouphael Y., Colla G. Editorial: Biostimulants in Agriculture // *Front. Plant Sci.* 2020, 11, 40 <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.

177. Tejada M., Garcia-Martinez A.M., Gomez I., Parrado J. Application of MCPA herbicide on soils amended with biostimulants: Short-time effects on soil biological properties // *Chemosphere*. 2010. № 80. P. 1088-1094.

178. Tejada M., Benitez C., Gymeza I., Parradoc J. Use of biostimulants on soil restoration: Effects on soil biochemical properties and microbial community // *Appl. Soil Ecol.* 2011. № 49. P. 11-17.

179. Tejada M., Benitez C., Parrado J. Application of biostimulants in benzo(a)pyrene polluted soils: Shorttime effects on soil biochemical properties // *Applied Soil Ecol.* 2011. № 50. P. 21–26.

180. Vernieri P., Borghesi E., Tognoni F., Ferrante A., Serra G., Piaggese A. Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system // *Acta Hort.* 2006. № 718. P. 477–484.

## References

1. Yahin O.I., Lubyaynov A.A., Yahin I.A. Sovremennye predstavleniya o biostimulyatorah // *Agrohimiya*. 2014. № 7. S. 85-90.

2. Du Jardin P. The Science of Plant Biostimulants. A bibliographic analysis ordered by the European Commission // (Contract 30-CE0455515/00-96, Ad hoc study on biostimulants products). 2012. - 37 p.

3. Du Jardin, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. // *Sci. Hortic.* 196, 2015. - 3–14 p.

4. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Konovalenko L.Yu. Sovremennye tekhnologii proizvodstva pesticidov i agrohimikatov biologicheskogo proiskhozhdeniya: nauch. analit. obzor. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2018. 124 s.

5. Yahin O.I., Lubyaynov A.A., Yahin I.A. Fiziologicheskaya aktivnost' biostimulyatorov i effektivnost' ih primeneniya // *Agrohimiya*. 2016. № 6. S. 72-94.

6. Yahin O.I., Lubyaynov A.A., Yahin I.A. Biostimulyatory v agrotekhnologiyah: problemy, resheniya, perspektivy // *Agrohimicheskij vestnik*. 2016. № 1. S. 15-21.

7. Du Jardin, P.; Xu, L.; Geelen, D. Agricultural functions and action mechanisms of plant biostimulants (PBs): An introduction. In the *Chemical Biology of Plant Biostimulants*, 1st ed.; Geelen, D., Xu, L., Eds.; John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, West Sussex, UK, 2020; pp. 3–30.

8. Yahin O.I., Lubyaynov A.A., Yahin I.A. Klassifikaciya biostimulyatorov // *Agrohimiya*. 2018. № 3. S. 90-95.

9. Yakhin O.I., Lubyantsev A.A., Yakhin I.A., Brown P.H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective // *Frontiers in Plant Science*, 2017. – P. 32 doi.org/10.3389/fpls.2016.02049.

10. Canellas L.P., Olivares, F.L., Aguiar N.O., Jones D.L., Nebbioso A., Mazzei P., Piccolo A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture // *Sci. Hortic.* 196, 2015. - 15–27 p.

11. Geilfus C.M. Microbial and Plant-Based Biostimulants. (Controlled Environment Horticulture. Christoph-Martin Geilfus Improving Quality of Vegetables and Medicinal Plants.) // Springer Nature Switzerland AG, 2019. – P. 131-143 doi.org/10.1007/978-3-030-23197-2\_12.

12. Ali Q., Shehzad F., Waseem M., Shahid S., Hussain A.I., Haider M. Z., Habib N., Hussain S.M., Javed M.T., Perveen R. Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I // Springer, Singapore, 2020. – pp. 625-661 [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2156-0\\_22](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2156-0_22).

13. Pylak M., Oszust K., Frąć M. Review report on the role of bioproducts, biopreparations, biostimulants and microbial inoculants in organic production of fruit // *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 18, 2019. - P. 597-616 doi.org/10.1007/s11157-019-09500-5.

14. Garc'ia-Mina J.M., Antol'in M.C., Sanchez-Diaz M. Metal-humic complexes and plant micronutrient uptake: a study based on different plant species cultivated in diverse soil types // *Plant and Soil* 258: 2004. - P. 57–68 <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000016509.56780.40>.

15. Li X., Xing M., Yang J., Huang Z. Compositional and functional features of humic acid-like fractions from vermicomposting of sewage sludge and cow dung // *J. Hazard. Mater.* 2011. V. 185. P. 740–748.

16. Malan M., Müller F., Cyster L., Raitt L., Aalbers J. Heavy metals in the irrigation water, soils and vegetables in the Philippi horticultural area in the Western Cape Province of South Africa // *Environ Monit Assess* 187: 2015. - 4085 DOI 10.1007/s10661-014-4085-y.

17. Van Oosten M. J., Pepe O., De Pascale S., Silletti S., Maggio A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants // *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4, 5; 2017. - P. 12 doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5.

18. Shahid M., Duma C., Silvestre J., Pinelli E. Effect of fulvic acids on lead-induced oxidative stress to metal sensitive *Vicia faba* L. plant. // *Biol. Fertil. Soils* 48, 2012. – P. 689–697.

19. Khang V.T. Fulvic foliar fertilizer impact on growth of rice and radish at first stage // *Omonrice* 18, 2011. – P. 144–148.

20. Lotfi R., Gharavi-Kouchebagh P., Khoshvaghti H. Biochemical and physiological responses of *Brassica napus* plants to humic acid under water stress // *Russ. J. Plant. Physiol.* 62(4) 2015. - P. 480–486.

21. Basile B., Roupheal Y., Colla G., Soppelsa S., Andreotti C. Appraisal of emerging crop management opportunities in fruit trees, grapevines and berry crops facilitated by the application of biostimulants // *Sci. Hortic.* 2020. – P. 267, 109330.

22. Yang S.J., Zhang Z.L., Xue Y.X., Zhang Z.F., Shi S.Y. Arbuscular mycorrhizal fungi increase salt tolerance of apple seedlings. *Bot. Stud.* 55, 2014. -1–7. <https://doi.org/10.1186/s40529-014-0070-6>.

23. Anjum S.A., Wang L., Farooq M., Xue L., Ali S. Fulvic acid application improves the maize performance under well-watered and drought conditions. *J. Agron. Crop Sci.* 197(6), 2011 - P. 409–417.

24. Anjum S.A., Xie X.Y., Wang L.C., Saleem M.F., Man C., Lei W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr. J. Agric. Res.* 6(9), 2011a. - P. 2026–2032.

25. Dinler B.S., Gunduzer E., Tekinay T. Pre-treatment of fulvic acid plays a stimulant role in protection of soybean (*Glycine Max* L.) leaves against heat and salt stress // *Acta Biologica Cracoviensia s Botanica* 58(1), 2016. - P. 29–41.

26. Husein M.E., El-Hassan S.A., Shahein M.M. Effect of humic, fulvic acid and calcium foliar application on growth and yield of tomato plants // *Int. J. Biosci.* 7(1), 2015. – P. 132–140.

27. Moradi P., Pasari B., Fayyaz F. The effects of fulvic acid application on seed and oil yield of safflower cultivars // *J. Cent. Eur. Agric.* 18(3), 2017. – P. 584–597.

28. Abd El-Razek E., Abd-Allah A.S.E., Saleh M.M.S. Yield and fruit quality of Florida Prince peach trees as affected by foliar and soil applications of humic acid // *J. Appl Sci. Res.* 8, 2012.- P. 5724-5729.

29. Tarantino A., Lops F., Disciglio G., Lopriore G. Effects of plant biostimulants on fruit set, growth, yield and fruit quality attributes of ‘Orange Rubis’ apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivar in two consecutive years. *Sci. Hortic.* 239, 2018. - 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.055>.

30. Abay S., Pirlak L. Effects of iron sulfate, zinc sulfate, iron chelate, powder sulphur and humic acid applications on vegetative growth of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Erwerbs-Obstbau* 59, 2017. – P. 71–75. <https://doi.org/10.1007/s10341-016-0300-z>.

31. El-Kenawy M.A. Effect of chitosan, salicylic acid and fulvic acid on vegetative growth, yield and fruit quality of Thompson seedless grapevines. *Egypt J. Hort.* 44 (1): 2017, 45-59.

32. Mahmoudi M., Aryee P. Study the effect of fluvic acid on physiological traits of *Citrus unshu* under salt stress. *Int. J. Chem. Environ. Biol. Sci.* 3(3): 2015. - 2320–4087.

33. Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W. Agricultural uses of plant biostimulants // *Plant Soil.* 2014. V. 383. № 1–2. P. 3–41.

34. Halpern M., Bar-Tal A., Ofek M., Minz D., Muller T., Yermiyahu U. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Vol. 129, 2015. - pp. 141–174.

35. Cerdán M., Sánchez-Sánchez A., Oliver M., Juárez M., Sánchez-Andreu J.J. Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. *Acta Hort.* 830: 2009, 481–488. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.830.68>.

36. Colla G., Rouphael Y., Canaguier R., Svecova E., Cardarelli M. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Front. Plant Sci.* 5: 2014, 448.

37. Ertani A., Cavani L., Pizzeghello D., Brandellero E., Altissimo A., Ciavatta C., Nardi S. Biostimulant activities of two protein hydrolysates on the growth and nitrogen metabolism in maize seedlings. *J. Plant Nutr. Soil. Sci.* 172: 2009, 237–244. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800174>.

38. García-Martínez A.M., Díaz A., Tejada M., Bautista J., Rodríguez B., María C.S., Revilla E., Parrado J. Enzymatic production of an organic soil biostimulant from wheat condensed distiller solubles: effects on soil biochemistry and biodiversity. *Process Biochem* 45: 2010. - 1127–113.

39. Lucini L., Rouphael Y., Cardarelli M., Canguier R., Kumar P., Colla G. The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. *Sci Hortic* 182: 2015. - 124–133.

40. Ertani A., Pizzeghello D., Francioso O., Sambo P., Sanchez-Cortes S., Nardi S. *Capsicum chinensis* L. growth and nutraceutical properties are enhanced by biostimulants in a long-term period: chemical and metabolomic approaches. *Front Plant Sci* 5: 2014. - 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.003>.

41. Paradikovic N., Vinkovic T., Vrcek I.V., Zuntar I., Bojic M., Medic-Saric M. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. J Sci Food Agric 91: 2011. - 2146–2152. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4431>.

42. Parrado J., Escudero-Gilete M.L., Friaza V., Garcia-Martinez A., González-Miret M.L., Bautista J.D., Heredia F.J. Enzymatic vegetable extract with bioactive components: influence of fertilizer on the colour and anthocyanins of red grapes. J Sci Food Agric 87: 2007. - 2310-2318.

43. Colla G., Nardi S., Cardarelli M., Ertani A., Lucini L., Canaguier R., Rouphael Y. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture // Sci. Hortic. 196, 2015.- 28–38 p.

44. Vranova V., Rejsek K., Skene K.R., Formanek P. Non-protein amino acids: plant, soil and ecosystem interactions. Plant Soil 342, 2011. - 31–48.

45. Morales-Pajan J.P., Stall W.M. Papaya (*Carica papaya*) response to foliar treatments with organic complexes of peptides and amino acids. Proc. Fla. State Hortic. Soc. 116, 2003. - 30–32.

46. Gurav R.G., Jadhav J.P. A novel source of biofertilizer from feather biomass for banana cultivation. Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 20: 2013. - 4532–4539. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1405-z>.

47. Quartieri M., Cavani L., Lucchi A., Marangoni B., Tagliavini M. Effects of the rate of protein hydrolysis spray concentration on growth of potted kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) plants. Acta Hortic. 594, 2002. - 341–347.

48. Bogunovic I., Duralija B., Gadze J., Kisic I. Biostimulant usage for preserving strawberries to climate damages. Hort. Sci. 42, 2015, 132–140. <https://doi.org/10.17221/161/2014-HORTSCI>.

49. Battacharyya D., Babgohari M.Z., Rathor P., Prithiviraj B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture // Sci. Hortic. 196, 2015. – 39–48 p.

50. Khan W., Menon U., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J., Norrie J., Prithiviraj B. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development // Journal of Plant Growth Regulation, 28(4), 2009. – P. 386-399 DOI:10.1007/s00344-009-9103-x.

51. Mukherjee A., Patel J. S. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity // International journal of Environmental Science and Technology, 17(1), 2020. - P. 553-558 DOI:10.1007/s13762-019-02442-z.

52. Shibaeva T.G., Sherudilo E.G., Titov A.F. Ekstrakty morskih vodoroslej kak biostimulyatory rastenij // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN, 2021, № 3. S. 36-67. DOI: 10.17076/eb138.

53. Nabti E., Hartmann A., Hartmann A. Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer // International journal of Environmental Science and Technology, 14(5), 2017. – R. 1119-1134. DOI:10.1007/s13762-016-1202-1.

54. Nagahama T., Fujimoto K., Takami S., Kinugawa A., Narusuye K. Effective amino acid composition of seaweeds inducing food preference behaviors in *Aplysia kurodai*. Neurosci. Res. 64, 2009. - 243–250.

55. Craigie J.S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. J. Appl. Phycol. 23, 2011. - 371–393.

56. Wang T., Jonsdottir R., Ólafsdóttir G. Total phenolic compounds, radical scavenging and metal chelation of extracts from Icelandic seaweeds. Food Chem. 116, 2009. – 240-248.

57. Belattmania Z., Engelen A.H., Pereira H., Serrão E.A., Barakate M., Elatouani S., Sabour B. Potential uses of the brown seaweed *Cystoseira humilis* biomass: 2-fatty acid composition, antioxidant and antibacterial activities. J. Mater. Environ. Sci. 7(6): 2016, 2074–2081.

58. González A., Castro J., Vera J., Moenne A. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. *J. Plant Growth Regul.* 32: 2013. 443–448.
59. Klarzynski O., Descamps V., Plesse B. et al (2003) Sulfated fucan oligosaccharides elicit defence responses in tobacco and local and systemic resistance against Tobacco Mosaic Virus. *Mol Plant Microbe Interact* 16: 2003. - 115–122.
60. Michalak I., Chojnacka K. The potential usefulness of a new generation of agro-products based on raw materials of biological origin. *Acta scientiarum Polonorum. Hortorum cultus = Ogronictwo* 15: 2016. - 97–120.
61. Perez M.J., Falque E., Domínguez H. Antimicrobial action of compounds from marine seaweed. *Mar Drugs* 14(3): 2016. – 52.
62. Rioux L.E., Turgeon S.L., Beaulieu M. Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds. *Carbohydr Polym* 69: 2007. - 530–537.
63. Zhang Q., Zhang J., Shen J., Silva A., Dennis D.A. A simple 96-well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. *J. Appl. Phycol.* (2006), 18: 445–450.
64. Craigie J., MacKinnon S., Walter J. Liquid seaweed extracts identified using H NMR profiles. *J. Appl. Phycol.* 20, 2008. - 665–671.
65. Ibrahim W.M., Ali R.M., Hemida K.A., Sayed M.A. Role of *Ulva lactuca* extract in alleviation of salinity stress on wheat seedlings. *Sci. World J.* 2014:1.
66. Khan A.S., Ahmad B., Jaskani M.J., Ahmad R., Malik A.U. Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract improve growth and physicochemical properties of grapes. *Int. J. Agric. Biol.* 14(3): 2012. - 383–38.
67. Mancuso S., Azzarello E., Mugnai S., Briand X. Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. *Adv Horticult Sci.* 20: 2006. - 156–161.
68. Mattner S.W., Wite D., Riches D.A., Porter I.J., Arioli T. The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. *Biol. Agric. Horticult.* 29: 2013. - 258–270.
69. Rayorath P., Khan W., Palanisamy R., MacKinnon S.L., Stefanova R., Hankins S.D., Critchley A.T., Prithiviraj B. Extracts of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* induce gibberellic acid (GA3)-independent amylase activity in barley // *J. Plant Growth Regul.* 2008. V. 27. № 4. P. 370–379.
70. Rinez I., Ghezal N., Rinez A., Muhammad F., Dbara S., Saad I., Haouala R. Improving salt tolerance in pepper by bio-priming with *Padina pavonica* and *Jania rubens* aqueous extracts. *Int. J. Agric. Biol.* 20(3): 2018. - 513–523.
71. Santaniello A., Scartazza A., Gresta F., Loreti E., Biasone A., Di Tommaso D., Perata P. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in Arabidopsis by affecting photosynthetic performance and related gene expression. *Front Plant Sci.* 8: 2017. – 1362.
72. Shukla P.S., Borza T., Critchley A.T., Prithiviraj B. Carrageenans from red sea-weeds as promoters of growth and elicitors of defense response in plants. *Front Mar. Sci.* (2016) 3:81.
73. Tarakhovskaya E.R., Maslov Y.I., Shishova M.F. Phytohormones in algae. *Russ J Plant Physiol* (2007), 54: 163–170. DOI: 10.1134/S1021443707020021
74. Haider M.W., Ayyub C.M., Pervez M.A., Asad H.U., Manan A., Raza S.A., Ashraf I., Impact of foliar application of seaweed extract on growth, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Soil Environ.* 31, 2012. - 157–162.
75. Kamel H.M. Impact of garlic oil, seaweed extract and imazalil on keeping quality of valencia orange fruits during cold storage. *J. Horticult. Sci. Ornam. Plants* 6, 2014. 116–125
76. Spinelli F., Fiori G., Noferini M., Sprocatti M., Costa G. A novel type of sea-weed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Sci. Horticult.* 125, 2010. - 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.011>.

77. Vercammen J., van Daele G., Vanrykel T. Cracking of sweet cherries: past tense? *Acta Hortic.* 795, 2008. - 463–468. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.70>.

78. Spinelli F., Fiori G., Noferini M., Sprocatti M., Costa G. Perspectives on the use of a seaweed extract to moderate the negative effects of alternate bearing in apple trees. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84, 2009. - 131–137. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512610>.

79. Soppelsa S., Kelderer M., Casera C., Bassi M., Robatscher P., Andreotti C., Use of biostimulants for organic apple production: effects on tree growth, yield, and fruit quality at harvest and during storage. *Front. Plant Sci.* 9, 2018. - 1342. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01342>.

80. Bradshaw T.L., Berkett L.P., Griffith M.C., Kingsley-Richards S.L., Moran, R.E., Darby H.M., Parsons R.L., Moran R.E., Garcia M.E. Assessment of kelp extract biostimulants on tree growth, yield, and fruit quality in a certified organic apple orchard. *Acta Hortic.* 1001, 2013, 191–198. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1001.21>.

81. Malaguti D., Rombolà A.D., Gerin M., Simoni G., Tagliavini M., Marangoni B. Effect of seaweed extracts-based leaf sprays on the mineral status, yield and fruit quality of apple. *Acta Hortic.* 594, 2002. - 357–359. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.594.44>.

82. Colavita G.M., Spera N., Blackhall V., Sepulveda G.M. Effect of seaweed extract on pear fruit quality. *Acta Hortic.* 909, 2011, 601–607. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.909.72>.

83. Soppelsa S., Kelderer M., Testolin R., Zanotelli D., Andreotti C. Effect of Biostimulants on Apple Quality at Harvest and After Storage // *Agronomy* 2020, 10, 1214, 102.

84. Seiber J.N., Coats J., Duke S.O., Gross A.D. Biopesticides: state of the art and future opportunities. *J. Agric. Food Chem.* 62, 2014. - 11613–11619.

85. Ertani A., Schiavon M., Muscolo A., Nardi S., Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. plants. *Plant Soil* 364, 2013. - 145–158.

86. Ziosi V., Zandoli R., Di Nardo A., Biondi S., Antognoni F., Calandriello F. Biological activity of different botanical extracts as evaluated by means of an array of *in vitro* and *in vivo* bioassays. *Acta Hortic.* 1009, 2012. - 61–66.

87. Chojnacka K., Michalak I., Dmytryk A., Wilk R., Górecki, H. Innovative natural plant growth biostimulants. In Shishir S, Pant KK (eds) *Advances in fertilizer technology*, 2015, 452–489.

88. Roupheal Y., Giordano M., Cardarelli M., Cozzolino E., Mori M., Kyriacou M., Colla G. (2018) Plant and seaweed-based extracts increase yield but differentially modulate nutritional quality of greenhouse spinach through biostimulant action. *Agronomy* 8(7): 2018. – 126.

89. Ahmed M.B., Zhou J.L., Ngo H.H., Guo W., Chen M. Progress in the preparation and application of modified biochar for improved contaminant removal from water and wastewater. *Bioresour Technol* 214: 2016, 836–851.

90. Makkar H.P., Siddhuraju P., Becker K. Plant secondary metabolites. Humana Press, Totowa N.J., 2007. – pp. 101–106.

91. Schäfer M., Brütting C., Meza-Canales I.D., Großkinsky D.K., Vankova R., Baldwin I.T., Meldau S. The role of cis-zeatin-type cytokinins in plant growth regulation and mediating responses to environmental interactions. *J. Exp. Bot.* 66(16): 2015. - 4873–4884.

92. Wahid A. Physiological implications of metabolite biosynthesis for net assimilation and heat stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. *J. Plant Res.* (2007), 120(2):219–228.

93. Rady M.M., Mohamed G.F. Modulation of salt stress effects on the growth, physiochemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and *Moringa oleifera* leaf extract. *Sci. Hortic.* 193: 2015. - 105–113.

94. Yasmeen A., Basra S.M.A., Farooq M., ur Rehman H., Hussain N. Exogenous application of moringa leaf extract modulates the antioxidant enzyme system to improve wheat performance under saline conditions. *Plant Growth Regul.* (2013), 69(3): 225–233.

95. Pichyangkura R., Chadchawan S. Biostimulant activity of chitosan in horticulture // *Sci. Hortic.* 196, 2015. - 49–65 p.

96. Kananont N., Pichyangkura R., Chanprame S., Chadchawan S., Limpanavech P. Chitosan specificity for the *in vitro* seed germination of two *Dendrobium* orchids (*Asparagales Orchidaceae*). *Sci. Hortic.* 124(2), 2010: 239–247.

97. Limpanavech P., Chaiyasuta S., Vongprommek R., Pichyangkura R., Khunwasi C., Chadchawan S., Bangyeekhun T. Chitosan effects on floral production, gene expression, and anatomical changes in the *Dendrobium* orchid. *Sci. Hortic.* 116(1): 2008. - 65–72.

98. Pornpienpakdee P., Singhasurasak R., Chaiyasap P., Pichyangkura R., Bunjongrat R., Chadchawan S., Limpanavech P. Improving the micropropagation efficiency of hybrid *Dendrobium* orchids with chitosan. *Sci. Hortic.* 124(4): 2010. - 490–499.

99. Ali A., Noh N.M., Mustafa M.A. Antimicrobial activity of chitosan enriched with lemongrass oil against anthracnose of bell pepper. *Food Packag Shelf Life* 3: 2015, 56–61.

100. Bautista-Baños S., Hernández-López M., Bosquez-Molina E., Wilson C.L. Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop Prot* 22(9): (2003), 1087–1092.

101. Prapagdee B., Kotchadat K., Kumsopa A., Visarathanonth N. The role of chitosan in protection of soybean from sudden death syndrome caused by *Fusarium solani* F. sp. *glycines*. *Bioresour Technol* 98(7): 2007. - 1353–1358.

102. Górnik K., Grzesik M., Romanowska-Duda B., The effect of chitosan on rooting of grapevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress. *J. Fruit Ornamental Plant Res.* 16, 2008. - 333–343.

103. Van S.N., Minh H.D., Anh D.N. Study on chitosan nanoparticles on biophysical characteristics and growth of Robusta coffee in green house. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2, 2013. - 289–294.

104. El-Miniawy S., Ragab M., Youssef S., Metwally A. Response of strawberry plants to foliar spraying of chitosan. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 9, 2013. -366–372.

105. Casals C., Elmer P.A.G., Vinas I., Teixidó N., Sisquella M., Usall J. The combination of curing with either chitosan or *Bacillus subtilis* CPA-8 to control brown rot infections caused by *Monilinia fructicola*. *Postharvest Biol. Technol.* 64, 2012, 126–132.

106. Kerch G., Sabovics M., Kruma Z., Kampuse S., Straumite E. Effect of chitosan and chitoooligosaccharide on vitamin C and polyphenols contents in cherries and strawberries during refrigerated storage. *Eur. Food Res. Technol.* 233, 2011. - 351–358.

107. Ma Z., Yang L., Yan H., Kennedy J.F., Meng X. Chitosan and oligochitosan enhance the resistance of peach fruit to brown rot. *Carbohydr. Polym.* 94, 2013. - 272–277.

108. Qi H., Hu W., Jiang A., Tian M., Li Y. Extending shelf-life of fresh-cut ‘Fuji’ apples with chitosan-coatings. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 12, 2011. - 62–66.

109. Ghasemnezhad M., Nezhad M.A., Gerailoo S. Changes in postharvest quality of loquat (*Eriobotrya japonica*) fruits influenced by chitosan. *Hort. Environ. Biotechnol.* 52, 2011. – 40–45.

110. Ali A., Mohamed M.T.M., Siddiqui Y. Control of anthracnose by chitosan through stimulation of defence-related enzymes in Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit. *J. Biol. Life Sci.* 3, 2012, 114–126.

111. Badawya M.E.I., Rabea E.I. Potential of the biopolymer chitosan with different molecular weights to control postharvest gray mold of tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 51, 2009, 110–117.

112. Meng X., Tian S. Effects of preharvest application of antagonistic yeast combined with chitosan on decay and quality of harvested table grape fruit. *J. Sci. Food Agric.* 89, 2009. - 1838–1842.

113. Pilon-Smits E.A.H., Quinn C.F., Tapken W., Malagoli M., Schiavon, M. Physiological functions of beneficial elements. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12, 2009. - 267–274.

114. Gómez-Merino F.C., Trejo-Téllez L.I. Biostimulant activity of phosphite in horticulture // *Sci. Hortic.* 196, 2015. - 82–90 p.

115. Lovatt C.J., Mikkelsen R.L. Phosphite fertilizers: what are they? Can you use them? What can they do? *Better Crops* 90, 2006. - 11–13.

116. Graham J.H. Phosphite for control of Phytophthora diseases in citrus: model for management of Phytophthora species on forest trees? *N. Z. J. For. Sci.* 41S, 2011. - P. 49-P. 56.

117. Moor U., Pöldma P., Tõnutare T., Karp K., Starast M., Vool E. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. *Sci. Hortic.* 119, 2009. - 264–269.

118. Estrada-Ortiz E., Trejo-Téllez L.I., Gómez-Merino F.C., Núñez-Escobar R., Sandoval-Villa M. The effects of phosphite on strawberry yield and fruit quality. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13, 2013. - 612–620, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000049>.

119. Lo Piero A.R. The state of art on biosynthesis of anthocyanins and its regulation in pigmented sweet oranges [(*Citrus sinensis*) L. Osbeck]. *J. Agric. Food Chem.* 63, 2015. - 4031–4041 <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01123>.

120. Routray W., Orsat V. Blueberries and their anthocyanins: factors affecting biosynthesis and properties. *Comp. Rev. Food Sci. Food Saf.* 10, 2011. -303–320, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00164.x>.

121. Zafra-Stone S., Yasmin T., Bagchi M., Chatterjee, A., Vinson, J.A., Bagchi D. Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention. *Mol. Nutr. Food Res.* 51, 2007. - 675–683.

122. Pilon C., Soratto R.P., Moreno L.A. Effects of soil and foliar application of soluble silicon on mineral nutrition, gas exchange, and growth of potato plants. *Crop Sci.* 53, 2013. - 1605–1614.

123. Savvas D., Ntatsi G. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Sci. Hortic.* 196, 2015. - 66–81 p.

124. Wang S., Wang F., Gao G. Foliar application with nano-silicon alleviates Cd toxicity in rice seedlings. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 2015. - 2837–2845.

125. Haynes R.J. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177, 2014. - 831–844.

126. Wang S.Y., Galleta G.J. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. *J. Plant Nutr.* 21, 1998. - 157–167.

127. Savvas D., Giotis D., Chatzieustratiou E., Bakea M., Patakioutas G., Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environ. Exp. Bot.* 65, 2009. - 11–17.

128. Voogt W., Sonneveld C. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndörfer, G.H. (Eds.), *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Science* 8. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2001. - pp. 115–131.

129. Ma C.C., Li Q.F., Gao Y.B., Xin T.R. Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50, 2004. - 623–632.

130. Kim Y.-H., Khan A.L., Kim D.H., Lee S.W., Kim K.M., Waqas M., Jung H.-Y., Shin J.-H., Kim J.-G., Lee I.-J. Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATPases, *Oryza sativa* low silicon genes, and endogenous phytohormones. *BMC Plant Biol.* 14, 2014. - 13.

131. Wu Q.S., Srivastava A.K., Zou Y.N. AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: a review. *Sci. Hort.* 164, 2013. - 77–87.
132. Behie S.W., Bidochka M.J. Nutrient transfer in plant-fungal symbioses. *Trends Plant Sci.* 19, 2014, 734–740.
133. Bonfante P., Genre A. Interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nat. Commun.* 1, 2010, 1–11.
134. Roupheal Y., Franken P., Schneider C., Schwarz D., Giovannetti M., Agnolucci M., De Pascale S., Bonini P., Colla G. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops // *Sci. Hort.* 196, 2015. - 91–108 p.
135. Smith S.E., Smith F.A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annu. Rev. Plant Biol.* 63, 2011. - 227–250.
136. Bagheri V., Shamsheeri M.H., Shirani H., Roosta H. Nutrient uptake and distribution in mycorrhizal pistachio seedlings under drought stress. *J. Agric. Sci. Technol.* 14, 2012, 1591–1604.
137. Khalil H.A. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) on the response of grapevines rootstocks to salt stress. *Asian J. Crop Sci.* 5, 2013. - 393–404.
138. Wu Q.S., Zou Y.N., He X.H. Contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to growth, photosynthesis, root morphology and ionic balance of citrus seedlings under salt stress. *Acta Physiol. Plant.* 32, 2010. - 297–304.
139. Contreras-Cornejo H.A., Macías-Rodríguez L., Alfaro-Cuevas R., López-Bucio J. *Trichoderma* spp. improve growth of *Arabidopsis* seedlings under salt stress through enhanced root development, osmolite production, and Na<sup>+</sup> elimination through root exudates. *Mol. Plant Microbe Interact.* 27, 2014, 503–514.
140. López-Bucio J., Pelagio-Flores R., Herrera-Estrella A. *Trichoderma* as bio stimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus // *Sci. Hort.* 196, 2015. - 109–123 p.
141. Mastouri F., Björkman T., Harman G.E. *Trichoderma harzianum* enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. *Mol. Plant Microbe Interact.* 25, 2012. - 1264–1271.
142. Rawat L., Singh Y., Shukla N., Kumar J. Salinity tolerant *Trichoderma harzianum* reinforces NaCl tolerance and reduces population dynamics of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cicer* in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under salt stress conditions. *Arch. Phytopathol. Plant Prot.* 46, 2013. - 1442–1467.
143. Contreras-Cornejo H., Macías-Rodríguez L., Cortés-Penagos C., López-Bucio J. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 149, 2009, 1579–1592.
144. Shukla N., Awasthi R.P., Rawat L., Kumar J., Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* under drought stress. *Plant Physiol. Biochem.* 54, 2012. - 78–88.
145. Brotman B., Landau A., Cuadros-Inostroza A., Takayuki T., Fernie, A., Chet I., Viterbo A., Willmitzer L. *Trichoderma*-plant root colonization: escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. *PLoS Pathog.* 9, 2013, e1003221.
146. Ivanchina N.V., Garipova S.R. Vliyanie rostimuliruyushchih bakterij (PGPB) na produktivnost' i ustojchivost' rastenij // *Agrohimiya.* 2012. № 7. S. 87-95.
147. Ahmad I., Pichtel J., Hayat S. Plant-Bacteria Interactions. Strategies and Techniques to Promote Plant Growth. January 2009. *Biotechnology Journal* 4(1):137. DOI: 10.1002/biot.200800349.

148. Berendsen R.L., Pieterse C.M., Bakker P.A. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends Plant Sci.* 17, 2012, 1360–1385.

149. Berg G., Grube M., Schloter M., Smalla K. Unraveling the plant microbiome: looking back and future perspectives. *Front. Microbiol.* 5, 2014, 1–7, Article 148.

150. Santos M.L.D., Berlitz D.L., Wiest S.L.F., Schünemann R. Benefits Associated with the Interaction of Endophytic Bacteria and Plants // *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 61, 2018. – R. 11 DOI:10.1590/1678-4324-2018160431

151. Ruzzi M., Aroca R. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture // *Sci. Hortic.* 196, 2015. - 124–134.

152. Yildirim E., Karlidag H., Turan M., Dursun A., Goktepe F. Growth, nutrient uptake and yield promotion of Broccoli by plant growth promoting rhizobacteria with manure. *Hort. Science.* 46, 2011. - 932–936.

153. Esitken A., Pirlak L., Turan M., Sahin F. Effects of floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrition of sweet cherry. *Sci. Hortic.* 110, 2006. - 324–327.

154. Esitken A., Yildiz H.E., Ercisli S., Figen Donmez M., Turan M., Gunes, A. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Sci. Hortic.* 124, 2010. - 62–66.

155. Ipek M., Pirlak L., Esitken A., Dönmez M.F., Turan M., Sahin F. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) increase yield, growth and nutrition of strawberry under high-calcareous soil conditions. *J. Plant Nutr.* 37, 2014.-990–1001.

156. Karlidag H., Esitken A., Yildirim E., Donmez M.F., Turan M. Effects of plant growth promoting bacteria on yield, growth, leaf water content, membrane permeability, and ionic composition of strawberry under saline conditions. *J. Plant Nutr.* 34, 2010. - 34–45.

157. Lingua G., Bona E., Manassero P., Marsano F., Todeschini V., Cantamessa S., Copetta A., D'Agostino G., Gamalero E., Berta G. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads increases anthocyanin concentration in strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* var. *Selva*) in conditions of reduced fertilization. *Int. J. Mol. Sci.* 14, 2013. - 16207–16225.

158. Yu X., Liu X., Zhu T.H., Liu G.H., Mao C. Co-inoculation with phosphate-solubilizing and nitrogen-fixing bacteria on solubilization of rock phosphate and their effect on growth promotion and nutrient uptake by walnut. *Eur. J. Soil Biol.* 50, 2012. - 112–117.

159. Bezuglova O.S. Udobreniya i stimulyatory rosta // *Seriya «Podvor'e»*. Rostov-na-Donu: Feniks, 2000. 230 s.

160. Dorozhkina L., Poddymkina L. Regulyatory rosta: ispol'zuem pravil'no // *Nastoyashchij hozyain*, № 9 (81), 2011. S. 74-77.

161. Dorozhkina L.A. Chto my znaem o regulyatorah rosta i zachem oni nuzhny // *Pitomnik i chastnyj sad*. 2010. № 1. S. 49-52.

162. Kotlyarov D.V., Kotlyarov V.V., Fedulov Yu.P. Fiziologicheski aktivnyye veshchestva v agrotekhnologiyah: monografiya // *Krasnodar: KubGAU*, 2016. 224 s.

163. Baghel M., Nagaraja A., Srivastav M., Kumar Meena N., Senthil Kumar M., Kumar A., Sharma R. R. Pleiotropic influences of brassinosteroids on fruit crops: a review // *Plant Growth Regulation* (2019) 87:375–388. <https://doi.org/10.1007/s10725-018-0471-8>.

164. Prusakova L.D., Chizhova S.I. Primenenie brassinosteroidov v ekstremal'nyh dlya rastenij usloviyah // *Agrohimiya*. 2005. № 7. S. 87-94.

165. Prusakova L.D., Malevannaya N.N., Belopuhov S.L., Vakulenko V.V. Regulyatory rosta rastenij s antistressovymi i immunoprotekturnymi svojstvami // *Agrohimiya*. 2005. № 11. S. 76-86.

166. Shapoval O.A., Mozharova I.P., Korshunov A.A. Regulyatory rosta rastenij v agrotekhnologiyah // *Zashchita i karantin rastenij*. 2014. № 6. S. 16-20.

167. Wang W., Vinocur B., Altman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 2003, 218, 1–14.

168. Bisbis M.B., Gruda N., Blanke M. Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality - A review. *J. Clean. Prod.* 2018, 170, 1602–1620.

169. Parajuli R., Thoma G., Matlock M.D. Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review. *Sci. Total Environ.* 2019, 650, P. 2863–2879.

170. Bulgari R.; Franzoni G.; Ferrante A. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions // *Agronomy*, 2019.- P. - 9, 306.

171. Rouphael Y., Cardarelli M., Bonini P., Colla G. Synergistic Action of a Microbial-based Biostimulant and a Plant Derived-Protein Hydrolysate Enhances Lettuce Tolerance to Alkalinity and Salinity. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 131.

172. Andreotti C. Management of Abiotic Stress in Horticultural Crops: Spotlight on Biostimulants // *Agronomy* 2020, 10, 1514; doi:10.3390/agronomy10101514.

173. Colla G., Rouphael Y. Biostimulants in horticulture. *Sci. Hortic. (Amst.)* 2015, 196, 1–2.

174. Colla G., Hoagland L., Ruzzi M., Cardarelli M., Bonini P., Canaguier R., Rouphael Y. Biostimulant Action of Protein Hydrolysates: Unraveling Their Effects on Plant Physiology and Microbiome. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 2202.

175. Rouphael Y., Colla G. Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Front. Plant Sci.* 2018, 9, 1655.

176. Rouphael Y., Colla G. Editorial: Biostimulants in Agriculture // *Front. Plant Sci.* 2020, 11, 40 <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.

177. Tejada M., Garcia-Martinez A.M., Gomez I., Parrado J. Application of MCPA herbicide on soils amended with biostimulants: Short-time effects on soil biological properties // *Chemosphere*. 2010. № 80. P. 1088-1094.

178. Tejada M., Benitez C., Gumeza I., Parradoc J. Use of biostimulants on soil restoration: Effects on soil biochemical properties and microbial community // *Appl. Soil Ecol.* 2011. № 49. P. 11-17

179. Tejada M., Benitez C., Parrado J. Application of biostimulants in ben-zo(a)pyrene polluted soils: Shorttime effects on soil biochemical properties // *Applied Soil Ecol.* 2011. № 50. P. 21–26.

180. Vernieri P., Borghesi E., Tognoni F., Ferrante A., Serra G., Piaggese A. Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system // *Acta Hort.* 2006. № 718. P. 477–484.