

УДК 547.541.3, 547.542.7

DOI: 10.34824/VKNPIRAN.2023.14.3.012

## РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕФТЯНЫХ КИСЛОТ И ИХ СОЛЕЙ

© Мамедбейли Эльдар Гусейнгулу оглу (а), Ганбарова Фатима Д. (b)

(а) Институт Нефтехимических процессов НАН Азербайджана, Азербайджан, г. Баку; доктор хим. наук, зав. лаб. «Изучение антимикробных свойств и биоповреждений»,

[eldar\\_mammadbeyli@mail.ru](mailto:eldar_mammadbeyli@mail.ru)

(b) Институт Нефтехимических процессов НАН Азербайджана, Азербайджан, г. Баку; докторант, н.с. лаборатории «Синтез и технология биологически активных химических соединений», [fatime-quliyeva-78@mail.ru](mailto:fatime-quliyeva-78@mail.ru)

**Аннотация.** Регуляторы (стимуляторы) роста растений представляют собой вещества, влияющие на процессы роста и развития растений. Природные регуляторы роста образуются в самих растениях в небольших количествах. К этой группе веществ относятся гиббереллины, ауксины, цитокинины, брассинолиды, стимулирующие рост и деление клеток, а также абсцизовая кислота и этилен – ингибиторы этих процессов. Синтетические регуляторы роста стали появляться после синтеза голландским физиологом растений Ф.Кеглем ауксина в 1935 году. Синтетические ингибиторы, в отличие от природных, способны более резко подавлять ростовые процессы. Они длительный период не поддаются инактивации растительными тканями; характер их действия часто связан не только с ростом, но и с нарушением морфогенетических процессов. Применение регуляторов роста в практике позволяет получить сдвиги в обмене веществ, идентичные тем, которые возникают под влиянием определенных внешних условий (длины дня, температуре и др.), например, ускорить образование генеративных органов, усилить или затормозить рост и т.п. В представленной работе нами рассмотрены стимуляторы роста растений, полученных на основе выделенных из состава нефтяных фракций нафтеновых (нефтяных) кислот и их солей и других производных.

**Ключевые слова:** регуляторы роста, стимуляторы, нефтяные кислоты, соли нафтенов, ростовые вещества.

## PLANT GROWTH REGULATORS BASED ON PETROLEUM ACIDS AND THEIR SALTS

© Mammadbayli Eldar Huseyngulu (a), Qanbarova Fatima D. (b)

(a) Institute of Petrochemical Processes of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Azerbaijan, Baku; Doctor of Chemical Sciences, Head of the lab. "Study of antimicrobial properties and bio-damage", [eldar\\_mammadbeyli@mail.ru](mailto:eldar_mammadbeyli@mail.ru)

(b) Institute of Petrochemical Processes of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Azerbaijan, Baku; Doctoral student, PhD in the laboratory "Synthesis and technology of biologically active chemical compounds", fatime-quliyeva-78@mail.ru

**Abstract.** Plant growth regulators (stimulants) are substances that affect the processes of plant growth and development. Natural growth regulators are formed in the plants themselves in small quantities. This group of substances includes gibberellins, auxins, cytokinins, brassinolides, which stimulate cell growth and division, as well as abscisic acid and ethylene, inhibitors of these processes. Synthetic growth regulators began to appear after the synthesis of auxin by the Dutch plant physiologist F. Kegel in 1935. Synthetic inhibitors, in contrast to natural ones, are able to suppress growth processes more sharply. They do not lend themselves to inactivation by plant tissues for a long period; the nature of their action is often associated not only with growth, but also with a violation of morphogenetic processes. The use of growth regulators in practice makes it possible to obtain shifts in metabolism that are identical to those that occur under the influence of certain external conditions (day length, temperature, etc.), for example, accelerate the formation of generative organs, enhance or slow down growth, etc. In the presented work, we considered plant growth stimulants obtained on the basis of naphthenic (petroleum) acids isolated from the composition of petroleum fractions and their salts and other derivatives.

**Key words:** growth regulators, stimulants, petroleum acids, naphthenate salts, growth substances.

Регуляторы роста растений представляют собой органические соединения, вызывающие (в очень низких концентрациях) стимуляцию или подавление роста и морфогенеза растений. Следует отметить, что под развитием растений понимают качественные изменения в структуре и функциональной активности растения и его частей (органов, тканей и клеток) в процессе онтогенеза, а рост растения – это необратимое увеличение размеров и массы клетки, органа или всего организма, связанное с новообразованием элементов и их структур [1]. По происхождению их в целом можно разделить на две группы:

1) Природные регуляторы роста растений

К ним относятся фитогормоны (ауксины, гиббереллины, цитокинины, этилен, абсцизовая кислота) и ингибиторы негормональной природы (некоторые фенолы, производные мочевины и др.)

Фитогормоны представляют собой низкомолекулярные органические вещества, вырабатываемые растениями и выполняющие регуляторные функции. Они действуют в очень низких концентрациях (порядка 10<sup>-11</sup> моль/л), вызывают различные физиологические и морфологические изменения в чувствительных к их действию частях растений.

2) Синтетические регуляторы роста растений

К ним относятся стимуляторы типа ауксинов (индолилмасляные, индолилуксусные, нафтилуксусные кислоты) и синтетические ингибиторы (морфактины, ретарданты, дефолианты и др.).

Ретарданты - это синтетические вещества разной химической природы, которые подавляют рост стеблей и побегов. Они представляют собой одну из разновидностей регуляторов роста. Основной целью применения ретардантов является получение растений с сильным ветвлением, крепким стеблем и мощной корневой системой.

Дефолианты - это вещества, вызывающие опадение листьев растений. Дефолианты обладают свойствами гербицидов, в определенных концентрациях вызывая опадение листьев, при этом жизнеспособность растений остается высокой. В небольших дозах данные вещества могут оказать стимулирующее воздействие на рост, а в других дозах — вызвать его торможение или даже гибель самого растения

Применение регуляторов роста растений приводит к сдвигам в обмене веществ, аналогичным тем, которые возникают под влиянием определенных внешних условий (длительность дня, температура и др.) и приводят к ускорению образования генеративных органов, усилению или торможению роста и т.п.

В современном сельском хозяйстве природные и синтетические регуляторы роста растений нашли весьма широкое применение. В этом направлении особо следует отметить применение сырой нефти и нефтепродуктов в качестве стимуляторов роста растений. Так, цель работы [2] заключалась в выявлении закономерностей влияния сырой нефти на рост и развитие древесных растений в фазе прорастания семян в лабораторных условиях для прогнозирования лесовозобновительного процесса. По результатам проведенных автором исследований, был выявлен стимулирующий эффект на прорастание семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovata* L.) при концентрациях нефти до 1,0 мг/л. Достоверно стимулирующий эффект проявился уже при концентрации сырой нефти 0,05 мг/л ( $P < 0,01$ ). Показано, что при этой концентрации нефти всхожесть семян ели возросла на 16 % по сравнению с контролем. Наиболее положительной для семян сосны оказалась концентрация нефти 0,10 мг/л, при которой все заложенные в опыте семена проросли (т. е. абсолютная всхожесть составила 100 %). Отличительной особенностью лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) явилась низкая степень всхожести её семян при всех дозах сырой нефти. Резкое снижение величины всхожести семян сосны на 12 % наблюдалось с уровня концентрации нефти более 5,0 мг/л. В последующем, при более высоких концентрациях нефти наблюдалась устойчивая тенденция в падении всхожести её семян и роста проростков. Наиболее сильный спад по этим показателям выявился при концентрации нефти 30,0 мг/л. У семян ели резкое снижение всхожести наблюдалось уже при концентрациях нефти 15,0 мг/л. Наиболее резкое падение всхожести семян лиственницы отмечалось при максимальных концентрациях нефти (35,0–40,0 мг/л) и составило 7 %, тогда как у семян сосны и ели всхожесть сохранилась соответственно на более высоком уровне 28 % и 24 %.

В работе [3] анализируются вероятностные причины стимулирующего действия мазута на растения и микроорганизмы. Проводится сравнение исследований, посвященных влиянию загрязнения мазутом на микробную систему почв, рост и развитие растений, продуктивность растительных сообществ пустынь и полупустынь, а также прорастание семян древесных растений в условиях загрязнения мазутом. Предложены причины стимулирующего действия мазутного загрязнения на растения и микроорганизмы. В качестве выводов приводятся факторы для самовосстановления почвенного покрова при мазутном загрязнении.

Приводятся данные по изучению содержания стероидных гормонов растений (брасиностероидов) в образцах нефти ряда месторождений Беларуси [4]. Брасиностероиды представляют собой фитогормоны класса стероидов, поддерживающие нормальное функционирование иммунной системы растения, особенно в неблагоприятных условиях, например, при пониженных температурах, заморозках, затоплении, засухе, болезнях, действии пестицидов, засолении почвы и др. Брасиностероиды являются стрессовыми адаптогенами, обладающими сильной ростостимулирующей активностью. Содержатся в каждой растительной клетке в очень малом количестве. Отмечается, что первый представитель группы брасиностероидов – брасинолид – был выделен американскими учеными в 1979 году в виде кристаллического вещества в количестве 4 мг из 40 кг собранной пчёлами пыльцы рапса (*Brassica napus*)

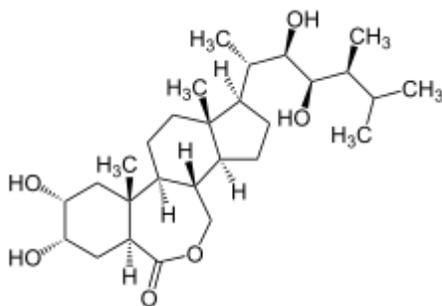


Рис.1. брассинолид

Содержание стероидных гормонов растений в образцах нефти измерялось методом иммуноферментного анализа. В составе ископаемого сырья впервые обнаружены брассиностероиды ряда брассинолида, 24-эпибрассинолида и 28-гомобрассинолида. Количество содержащихся в нефти брассиностероидов варьирует в пределах от 0.87 до 8.82 нг/г, что сопоставимо с содержанием их в растительных объектах.

В работе [5] рассмотрены экспериментальные данные, связанных с разработкой новых фитогормонов на основе местного нефтехимического сырья Республики Казахстан. Поиски новых регуляторов растений структурно близких к природным физиологически активным веществам способствовали синтезу ряда соединений на основе циклопентановых, нафтеновых, органических карбоновых кислот, терпеноидов, стероидных и гетероциклических соединений.

Для получения стимуляторов роста растений в патенте [6] проводят озонлиз смолисто-асфальтеновых веществ малосернистых нефтей и битумов нафтенового типа, продукты озонлиза гидролизуют нагреванием с водным раствором щелочи с последующим подкислением до pH 1-2, обработкой осадков кислот раствором KOH до pH 8-9 и сушкой полученных солей. Водорастворимые калиевые соли полуфункциональных карбоновых кислот используют в виде 0,001-0,01%-ного водного раствора для обработки семян перед посевом.

В работе [7] показан анализ литературных данных, подтверждающих положительный опыт воздействия углеводородного ростового вещества (УРВ) на всхожесть семян, жизнестойкость, рост растений, и урожайность различных сельскохозяйственных культур. Показано, что основные экспериментальные данные относятся к 60-м годам XX века. При этом, работы по применению УРВ впервые были обобщены в сборнике трудов Академии наук Азербайджанской ССР Институтом почвоведения и агрохимии. УРВ представляет собой побочный продукт нефтепереработки, получаемый при сернокислотной очистке дизельного топлива с последующей обработкой щелочным раствором NaOH. Оно включает преимущественно смесь натриевых солей нафтеновых кислот. На основании литературных данных и собственных исследований установлено, что для каждой культуры существует своя оптимальная весьма малая концентрация УРВ (0,005-0,01%), обработка раствором которого оказывает положительное воздействие на всхожесть, рост и развитие сельскохозяйственных культур.

В работе [8] оценивалось влияние сырой нефти, включая сублетальные концентрации сырой нефти, на урожайность и фитохимический состав капусты (*Brassica oleracea* L.) и салата (*Lactuca sativa* L.). Загрязнение сырой нефтью в пределах исследованного диапазона не повлияло на всплытие; выход и фитохимическое распределение были затронуты при некоторых уровнях загрязнения, особенно 10000 мг/кг. Показано, что при концентрации сырой нефти 10000 мг/кг .повышается содержание некоторых фенолов и органических кислот в зеленолистных овощах, что вызывает ускоренное созревание и старение листьев. Использование сырой нефти в концентрациях ниже 10000 мг/кг представляется эффективным.

Сообщается [9], что процесс прорастания является чрезвычайно чувствительной фазой роста и развития растений, свидетельствующей о любых типах загрязнителей окружающей среды. Влияние тяжелых остатков сырой нефти было исследовано на некоторые параметры семян *Triticum aestivum*. Показано, что травы успешно прорастают при разных уровнях загрязнения нефтяными углеводородами. Полученные результаты показали, что, низкие концентрации как фенола, так и нафтола вызывали увеличение процента всхожести большинства семян тестируемых культур. Вероятно, это связано с тем, что низкие разведения этих соединений могут служить сигналом для продукции амилазы в семенах.

В работе [10] показано, что восприимчивость проростков *Amaranthus hybridus* L. к отработанному моторному маслу исследовалась в почве с добавлением масла в концентрации от 1 до 5 процентов по объему. Учитываемыми параметрами были относительная скорость роста, отношение площади листьев, общая высота растения, площадь листьев, количество листьев, уровни хлорофилла и белка. Было обнаружено, что существует взаимосвязь между ингибирующим эффектом и лечебными концентрациями. После 70-дневного роста в обработанных почвах средняя высота и площадь листьев растений в почвах, обработанных 5-процентным отработанным моторным маслом, составила  $27,0 \pm 1,25$  см и  $5,63 \pm 0,36$  см<sup>2</sup>. Они достоверно отличались (при  $p=0,05$ ) от соответствующих значений  $41,4 \pm 0,8$  см и  $13,44 \pm 0,22$  см<sup>2</sup> для контрольных растений. Уровни общего хлорофилла (на грамм сырого веса листьев) и белка (на грамм сухого веса всего растения) были выше у контрольных растений по сравнению с растениями, выращенными на почве, обработанной нефтью. Результаты, полученные в результате анализа роста, показали ингибирующее действие отработанного моторного масла на *Amaranthus hybridus* L.

В работе [11] оценивалась выживаемость травы *Leersia hexandra* (Lh) в условиях стресса, вызванного сырой нефтью (СО), посредством синтеза активных форм кислорода, антиоксидантов в корнях листьев и ризосферной бактериальной активности Lh. Эксперимент проводился в течение 180 дней, применялась факторная схема 4x2, четыре концентрации СО и две технологии (фиторемедиация (ФГ) с ЛГ и естественная аттенюация (НА) с нативными микроорганизмами). Результаты показывают, что концентрации 90 г/кг стимулировали образование молодых растений (УР) и корневой системы. В листьях УР биосинтез H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, общих фенолов (ТР) и общих флавоноидов (TFV) увеличивался под действием СО, а также каталазы (САТ) и фенилаланин-аммиаклиазы (РАЛ) в корнях.

Среди нефтепродуктов наибольшее применение в качестве фитогормонов получили нефтяные кислоты и их производные, в частности соли. В представленной работе нами рассмотрены результаты исследований в области применения нафтеновых кислот и их производных (солей) в качестве регуляторов роста растений. Так, в работе [12] показаны перспективы применения стимуляторов роста растений и удобрений для сельскохозяйственных продуктов на основе нефтяного сырья. Установлен стимулирующий эффект комплексных соединений и солей нефтяных кислот на рост семян помидора. В работе использована фракция природной нефтяной кислоты (ПНК), выкипающая в интервале 80-1800С/3.99 10-4МПа. Осуществлен синтез комплексов нефтяной кислоты с триэтаноломином и изобутиламином, а также натриевых солей ПНК. Изучены физико-химические свойства синтезированных солей и комплексных соединений, в том числе электропроводность. Лабораторные и полевые испытания натриевых, калиевых и аммониевых солей, полученных на основе первой фракции ПНК выявили их стимулирующую способность для растений и полученные начальные результаты показывают широкие перспективы для их применения в сельском хозяйстве. Показано, что семена, смоченные в растворе комплекса триэтаноламина с ПНК, дают 100% прорастание. Растворы комплекса триэтаноламина с ПНК оказывают больший эффект на рост зеленой биомассы рассады помидора и урожайность семян. Предложенные соединения нефтяного происхождения могут быть использованы в качестве стимуляторов роста растений.

В патенте [13] описано органическое ростовое вещество, содержащее натриевую соль нафтеновой кислоты - 35-45 мас.%, рапсовое масло - 0,005-0,015 мас.% и воду пресную - остальное. Органическое ростовое вещество получают растворением натриевой соли нафтеновой кислоты в пресной воде с температурой  $20^{\circ}\div 24^{\circ}\text{C}$  с добавлением рапсового масла до получения смеси. Предлагаемое органическое ростовое вещество используют для обработки посевных культур путем замачивания семян, опрыскивания растений, а также для обработки посевных площадей. Водный раствор натриевых солей нафтеновых кислот можно применять вместе с фунгицидами при химической обработке растений. Установлено, что предлагаемое ростовое вещество обладает выраженной ростостимулирующей активностью различных посевных культур.

Природные нефтяные кислоты, выделенные из нефтяных бассейнов Воеводины, интересны разнообразием возможностей их использования, прежде всего их биологической активностью и возможностью использования в качестве стимуляторов роста растений [14]. В статье изучена биологическая активность природных нефтяных кислот, выделенных из нефтяной товарной фракции "Велебит" ( $168-290^{\circ}\text{C}$ ). Нефтяные кислоты выделяли щелочной экстракцией и превращали в метиловые эфиры с diazometаном. Впоследствии для определения индивидуальных кислотных структур использовали n-d-M-анализ групповой структуры и анализ ГХ-МС. Структуры алифатических, определены моно- и бициклические кислоты со средней молекулярной массой 144-326. Биологическую активность ауксинового типа оценивали в К-нафтенатной форме, отчетливая активность была обнаружена в растворах с концентрацией 10-7 моль/дм<sup>3</sup>.

В аналогичной работе [15] исследуемые нефтяные кислоты были выделены из средних нефтяных фракций (т.кип.  $270-380^{\circ}\text{C}$ ) воеводинской сырой нефти "Келебия". Групповой структурный анализ проводили с помощью масс-спектрометрии низкого разрешения с использованием полевой ионизации и химической ионизации. Идентифицированные карбоновые кислоты  $\text{C}_n\text{H}_{2n+z}\text{O}_2$  принадлежат к ряду моноциклических, бициклических, трициклических и тетрациклических карбоновых кислот. Физиологическую активность выделенных нефтяных кислот определяли с помощью водных растворов солей калия. Высокую активность ауксинов определяли с помощью колеоптильного теста (увеличение колеоптиля на 20,5 %) при концентрации нафтеновой кислоты 10-7 М, а очень высокую биологическую активность гиббереллинового типа — с помощью эндоспермового теста (увеличение концентрации редуцирующих сахаров на 31,6 %) при нефтяная кислота концентрацией 10-7М.

В работе [16] представлены результаты исследований по определению стимулирующего действия солей органических кислот и растворов комплексных соединений на прорастание семян томатов. Для этой цели авторы использовали фракцию природной нефтяной кислоты, выкипающую в пределах  $80-1800^{\circ}\text{C}$  /3,99·10<sup>-4</sup> МПа и смесь, полученную гидролизом подсолнечного масла с триэтанолламином. Изобутиламиноновый комплекс соединения нефтяной кислоты, натриевые соли природной нефтяной кислоты и кислоты подсолнечного масла синтезированы в Институте нефтехимических процессов. Физико-химические свойства синтезированных солей и комплексов были изучены и приготовлены растворы 0,0001% полученных соединений. . Семена сорта образца № 111 растения томата замачивали в растворах, приготовленных в лабораторных условиях. Аспекты физиологического воздействия на всхожесть семян изучали в питомнике теплицы. На основании проведенных исследований установлено, что наилучшие результаты для прорастания семян, хранящихся в растворе, отмечены для раствора 0,0001% триэтанолламинового комплекса природной нефтяной кислоты. Таким образом, семена, замоченные в растворе триэтанолламинового комплекса природной нефтяной кислоты проросли на 100%, в то же время это соединение лучше повлияло на развитие зеленой биомассы рассады томата по сравнению с использованием обычной поливной воды.

Исследовано влияние нафтенатов и их фракций на укоренение выращенных *in vitro* *Sequoia sempervirens* [17]. Природные нафтенновые кислоты выделены щелочной экстракцией из средней газойлевой фракции сырой нефти. Побеги Секвойи вечнозеленой (длиной 1 см) выращивали на среде Мурасиге и Скуга (1962) (МС) с добавлением либо тотального нафтенатного препарата, либо нафтенатных фракций, полученных экстракцией при различных значениях рН (рН 2, рН 4, рН 7 и рН 9), либо индол-3-масляная кислотой (ИВА) в различных концентрациях (испытано двадцать обработок). Тестирование укоренения основывалось на количестве и общей длине корней, образовавшихся после четырех недель роста *in vitro*. Как и в отношении общей длины корней, наибольшее количество корней на эксплант ( $\approx 7$ ) было достигнуто в среде, содержащей 50 мкМ нафтенновой фракции, экстрагированной при рН 2, и в среде, содержащей 50 мкМ фракции, экстрагированной при рН 9. выше, чем в контроле, и значительно лучше, чем при лучшей ИМК-обработке (50 мкМ ИМК), где в среднем формировалось пять корней на эксплантат. Результаты исследований над *Sequoia sempervirens* подтверждают возможность стимуляции корнеобразования нафтенатами.

Сообщается [18], что нафтенновые кислоты (НК) представляют собой сложные смеси циклоалифатических и алкилзамещенных ациклических карбоновых кислот, общие характеристики которых определяются составом смеси. Сложная смесь НК из товарной фракции атмосферной перегонки нефти Воеводинского месторождения «Велебит» (Сербия) была разделена на более узкие фракции по их кислотности. Масс-спектрометрический анализ фракций с электрораспылением ионизации показал наличие структурной дифференциации кислот. Путем экстракции при рН 3-5 было выделено около 50 % от общей массы кислот, состоящих преимущественно из трициклических и бициклических структур. Кислоты более низкой кислотности (около 22 %), выделяются при рН 9 и 10, и их доминирующими составляющими являются кислоты с трех-, четырех- и пятичленными кольцами. Обнаружена корреляция между доминирующей структурой и биологической активностью НК фракций. Фракция, экстрагированная при рН 8, также с преобладающими бициклическими и трициклическими структурами, показала самую высокую активность ауксина и гиббереллина, что дает основание для использования этих НК в качестве стимуляторов роста растений.

В работе [19] представлено исследование влияния некорневой и корневой подкормки низких концентраций (0,1–10 мкМ) нафтената калия на антиоксидантный статус огурца (*Cucumis sativus* L.), оцениваемый как для местных, так и для системных органов. Изменения содержания пролина и глутатиона свидетельствуют о том, что обработку растений нафтенатом калия можно охарактеризовать как мягкий абиотический стресс. Антиоксидантная система растений огурца чувствительна к такой обработке, поскольку в органах, подвергшихся непосредственному воздействию химиката, наблюдалось снижение общей антиоксидантной активности и повышение перекисного окисления. В органах, не подвергавшихся непосредственному воздействию, повышение общей антиоксидантной активности наблюдалось только при самой низкой концентрации нафтената, тогда как при более высоких концентрациях эта активность имела тенденцию к снижению.

Молодые растения сельдерея, петрушки, пастернака и моркови, выращенные на питательном растворе, обрабатывали нафтенатом натрия (10–7 моль/дм<sup>3</sup>), применяя некорневые и корневые обработки [20]. Обе обработки влияли на содержание в корнях всех исследуемых элементов, присутствующих в питательном растворе, но по-разному, в зависимости от вида растения. Среднее изменение (увеличение/уменьшение) содержания исследованных эссенциальных элементов составило около 35%. Результаты исследований авторов работы с нафтенатом показали, что такая обработка может повысить эффективность усвоения эссенциальных элементов и увеличить их содержание в растениях без изменения концен-

трации этих элементов в питательном растворе. Особенно интересные результаты были получены в случае с морковью, так как повышенное содержание наблюдалось в элементах, обычно дефицитных в питании (Fe, Zn, Mn),

В статье [21] описано влияние солей природных нафтеновых кислот на укоренение молодых черенков подсолнечника и боковое ветвление межвидовых гибридов подсолнечника. Нафтеновые кислоты получали щелочной экстракцией из атмосферной газойлевой фракции воеводинской нефти «Велебит» и очищали колоночной хроматографией на оксиде алюминия. Их натриевые соли в концентрациях  $1 \cdot 10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup> стимулировали образование придаточных корней у черенков подсолнечника даже в 40 раз по сравнению с контролем, причем эффект наблюдался и у боковых ветвей межвидовых гибридов подсолнечника. Полученные результаты позволяют предположить возможность использования нафтеновых кислот в качестве средства для укоренения черенков растений.

Отмечается [22], что нафтеновые кислоты (НК) относятся к наиболее токсичным органическим загрязнителям, присутствующим в технологических водах нефтеносных песков (ОСНХ), и попадают в морскую и пресноводную среду из природных и антропогенных источников. Авторы работы исследовали влияние кислотной экстрагируемой органической (АЕО) фракции ОСНХ и отдельных суррогатных НК на максимальную эффективность фотосинтеза фотосистемы II (PSII) (FV/FM) и рост клеток у *Emiliana huxleyi* и *Chlorella vulgaris* как представителей морского и пресноводного фитопланктона. В то время как FV/FM у *E. huxleyi* и *C. vulgaris* не ингибировался АЕО, воздействие двух суррогатных НК: (4'-н-бутилфенил)-4-бутановая кислота (n-ВРВА) и (4'-трет-бутилфенила)-4-бутановая кислота (трет-ВРВА) вызывала полное ингибирование FV/FM у *E. huxleyi* ( $\geq 10$  мг/л n-ВРВА;  $\geq 50$  мг/л трет-ВРВА), но не у *C. vulgaris*. Скорость роста и количество клеток у *E. huxleyi* также снижались при воздействии  $\geq 10$  мг/л n- и трет-ВРВА; однако для снижения роста клеток *C. vulgaris* требовались более высокие концентрации n- и трет-ВРВА (100 мг/л). АЕО в концентрации  $\geq 10$  мг/л стимулировал скорость роста *E. huxleyi* ( $p \leq 0,002$ ), но не оказывал явного влияния на *C. vulgaris*. Таким образом, *E. huxleyi* в целом более чувствительна к НК, чем *C. vulgaris*. Эти результаты обеспечивают лучшее понимание физиологических реакций фитопланктона на НК, что позволит улучшить мониторинг загрязнения НК в водных экосистемах в будущем.

На листья 14-дневных растений фасоли кустарниковой *Phaseolus vulgaris* наносили 0,5%-ный водный раствор нафтенатов калия, затем растения выращивали при интенсивности света 16,1, 10,76 и 5,38 клк при 26 °С в течение 7, 14 и 21 дней [23]. Фотосинтез, темновое дыхание и активность фосфорилазы были значительно выше (уровень 0,05) у обработанных растений в конце всех трех периодов роста при всех условиях освещения. Значительная стимуляция фосфоглицераткиназы развивалась медленнее при более низкой интенсивности света. Стимуляция нитратредуктазы и глутамин-пировиноградной трансминазы у обработанных растений достигала значительного уровня между 7 и 14 днями после обработки, а затем усиливалась. Процентное увеличение всех процессов по сравнению с соответствующими значениями у контрольных растений было наибольшим у растений, выращенных при наибольшей интенсивности света.

В аналогичной работе в трех экспериментах 14-дневные растения фасоли *Phaseolus vulgaris* L., обработанные до стекания аэрозольным распылителем, содержащим смесь нафтената калия (КНАП) и 2,4-дихлорфеноксиацетата калия (2,4-Д), были частично защищены от действия гербицида [24]. Была получена защита от курчавости листьев, деформации черешка и стебля, хлороза и гибели. Наилучшая защита была достигнута при 5000 частей на миллион КНАП и при 10-1М концентрации раствора циклогексанкарбоксилата калия (КСНС) при смешивании с 40 или 400 ppm раствором 2,4-Д. После обработки 40 ppm 2,4-Д только растения, обработанные КНАП, показали значительное развитие тройчатых листьев и цветков.

Нафтенат калия размером 20 мкм наносили на листовую часть 14-дневных растений фасоли кустарниковой *Phaseolus vulgaris* L, сорта Top Crop, кукурузы, *Zea mays* L, сорта Golden Bantam, яровой пшеницы, *Triticum vulgare* Vill., сорта V Neerawa и 2 мМ раствора на 21-дневные растения сахарной свеклы *Beta vulgaris* L сорта CS-43 [25]. Через семь дней после применения активность рибулозодифосфаткарбоксилазы и фосфоенолпировиноградной карбоксилазы в листьях фасоли и кукурузы, обработанных нафтенатом, была выше, чем в листьях необработанных растений. Повышение активности карбоксилаз у обработанной яровой пшеницы не имело статистической значимости. В то же время после обработки CO<sub>2</sub> точка компенсации фасоли была меньше, чем у контрольных растений, как и средняя точка компенсации CO<sub>2</sub> сахарной свеклы, измеренная с интервалом до 21 дня после опрыскивания. Частота дыхания зародышей семян фасоли, замоченных на 12, 24 и 48 ч в 43,5 мкМ нафтената калия, была выше, чем у семян, замоченных в воде. Активность аскорбатоксидазы в листьях фасоли, определяемая через 7, 14 и 21 сут после применения К-нафтената, также стимулировалась. Более высокая активность фермента, измеренная через 6, 7, 12 и 14 дней после опрыскивания, также была результатом применения К-нафтената. Результаты показывают, что более высокая скорость фотосинтеза у растений, обработанных нафтенатом, может быть частично обусловлена повышенной скоростью фиксации CO<sub>2</sub>, и что более высокая эффективность фотосинтеза вместе с более обильным поступлением АТФ, возникающим в результате увеличения потока электронов при дыхании, обусловлена его участием в большем росте растений, к которым применялся нафтенат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борюк В.В., Воскобойникова Т.В. Влияние регуляторов роста на стимуляцию плодообразования томатов. *Фундаментальные исследования*. 2007. № 12. с. 225-227
2. Донец Е.В., Должанкина Л.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на прорастание хвойных видов древесных растений. *Омский научный вестник*, 2014, № 1, с. 151-154
3. Гайворонский В.Г. Стимулирующее действие мазутного загрязнения почв на растения и микроорганизмы. *Международный научно-исследовательский журнал*, 2016, Т. 54, № 12, с. 10-12
4. Гарецкий Р.Г., Грибик Я.Г., Литвиновская Р.П., Савчук А.Л. Стероидные гормоны растений – уникальные компоненты девонских нефтей Беларуси. *Доклады Российской Академии Наук. Серия. Науки о Земле*, 2020, Т. 494, № 1, с. 29-32
5. Кожамжарова Л.С., Есимсенитова З.Б., Кожамжарова А.С. Фиторегуляторы развития растений на основе природного и синтетического сырья Казахстана. *Вестник КазНМУ*, 2017, № 3, с. 307-311
6. Pat. 2082296. RU. 2017 Способ получения регуляторов роста растений / Лебедев А.К., Сивирилов П.П., Камьянов В.Ф. /
7. Александрова Э.А., Александров Б.Л., Александров А.Ж. Применение углеводородного ростового вещества при выращивании сельхозкультур. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского Государственного Аграрного Университета*, 2019, № 151, с. 33-45
8. Oduko J., Lambert R., Sakrabani R. Impact of Crude Oil on Yield and Phytochemical Composition of Selected Green Leafy Vegetables. *International Journal of Vegetable Science*, 2019, Vol. 25, N 6, pp. 554-570

9. Hamaden M., Alzway A., Hassan M., Attitalla I. Physiological Responses of Some Plant Species to Crude Oil and its Effects Residues on Seed Germination. *Annals of Biological Sciences*, 2021, N 6, Pp. 22-42
10. Odjegba V.J., Sadiq O.A. Effect of spent engine oil on the growth parameters, chlorophyll and protein levels of *Amaranthus hybridus* L. *Environmentalist*, 2002, Vol. 22, N 1, pp. 23-28
11. Orocio-Carrillo J.A., River-Cruz M.C., Juarez-Maldonado A., Bautista-Munoz C. Crude oil induces plant growth and antioxidant production in *Leersia hexandra* Sw. A hydrophytic grass that rhizodegrades oil in Tabasco, Mexico. *Research Square*, 2022, N 1, Pp. 1-14
12. Асадов Р.А., Исмаилов И.Т., Алиева А.А. Получение стимуляторов роста растений на основе нефтяных кислот. *Известия Тульского Государственного Университета. Серия. Естественные науки*, 2022, № 3, с. 35-48
13. Pat. 2713902С1. RU. 2019 Органическое ростовое вещество / Григулецкий В.Г., Ивакин Р.А., Ивакина Ю.В. /
14. Cirin-Novta V., Kuhajda K., Kevresan S., Kandrac J. Biological activity and structure of natural petroleum acids from Lower oil fractions of "Vebebit" oil. *Acta Periodica Technologica*, 2022, Vol. 33, pp. 33-45
15. Cirin-Novta V., Kuhajda K., Kevresan S., Kandrac J. Structural and physiological properties of natural petroleum acids from middle oil fractions of "Kelebija" oil. *Acta Periodica Technologica*, 2004, N 35, pp. 87-94
16. Abbasov V.M., Ismayilov I.T., Asadova R.A., Allahverdiyev E.I. Study of the effect of organic salts on the germination of tomato seeds and the formation of green biomass in seedlings. *PPOR*, 2021, Vol. 22, N 1, pp. 117-125
17. Halmagyi A., Kevresan S., Kovacevic B., Orlovic D. Effects of naphthenic acids on rooting of in vitro grown *Sequoia sempervirens*. *Acta Horticultrae*, 2010, Vol. 885, pp. 139-143
18. Grbovic L., Pavlovic K., Vasiljevic B., Kuhajda K. Fractionation of complex mixtures of naphthenic acids, their characterization and biological activity. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 2012, Vol. 77, N 2, pp. 147-157
19. Kevresan S., Maksimovic I., Popovic B., Stajner D. Foliar and root treatments of cucumber with potassium naphthenate: Antioxidative responses // *Open Life Sciences*. 2012. Vol. 7. N 6. Pp. 131-137
20. Grbovic L., Kevresan S., Cirin-Novta V., Kuhajda K. The Increased Content of Micronutrients in Celery, Carrot, Parsnip and Parsley Plants after Treatment with Sodium Naphthenate // *Contemporary Agriculture*. 2016. Vol. 65. N 1-2. Pp. 1-6
21. Kevresan S., Cirin-Novta V., Miladinovic D., Kuhajda K. Effect of naphthenic acids on formation of adventitious roots in sunflower cuttings // *Helia*. 2014. Vol. 26. N 39. Pp. 75-81
22. Beddow J., Johnson R., Lawson T., Breckels M.N. The effect of oil sands process-affected water and model naphthenic acids on photosynthesis and growth in *Emiliania huxleyi* and *Chlorella vulgaris* // *Chemosphere*. 2016. Vol. 145. Pp. 416-423
23. Fattah Q.A., Wort D.J. Metabolic responses of bush bean plants to naphthenate application // *Canadian Journal of Botany*. 1970. Vol. 48. N 5. Pp. 9-20

24. Peirson D.R., Borden J.H., Vakenti J.M. Naphthenate and cyclohexanecarboxylate treatment protects *Phaseolus vulgaris* from effects on 2,4-dichlorophenoxyacetate // Canadian Journal of Plant Science. 1976. Vol. 56. N 1. Pp. 98-106
25. Wort D.J. Mechanism of Plant Growth Stimulation by Naphthenic Acid // Plant Physiology. 1976. Vol. 58. N 1. Pp. 82-86

#### REFERENCES

1. Boryuk V.V., Voskoboinikova T.V. Influence of growth regulators on stimulation of tomato fruit formation. Fundamental research. 2007. No. 12. pp. 225-227
2. Donets E.V., Dolzhankina L.V. Influence of oil pollution of soil on the growth of coniferous species of woody plants. Omsk Scientific Bulletin, 2014, No. 1, pp. 151-154
3. Gaivoronsky V.G. Stimulating effect of fuel oil pollution of soils on plants and microorganisms. International Scientific Research Journal, 2016, vol. 54, No. 12, pp. 10-12
4. Garetsky R.G., Gribik Ya.G., Litvinovskaya R.P., Savchuk A.L. Steroid hormones of plants - unique components of Devonian oils of Belarus. Reports of the Russian Academy of Sciences. Series. Earth Sciences, 2020, vol. 494, No. 1, pp. 29-32
5. Kozhamzharova L.S., Yessimsenitova Z.B., Kozhamzharova A.S. Phyto regulators of plant development based on natural and synthetic raw materials of Kazakhstan. KazNMU Bulletin, 2017, No. 3, pp. 307-311
6. Patent. 2082296. RU. 2017 With a request for the assistance of growth regulators / Lebedev A.K., Sivilov P.P., Kamyaynov V.V. /
7. Alexandrova E.A., Alexandrov B.L., Alexandrov A.J. The use of carbohydrate-native growth substance in the cultivation of crops. Polythematic Online Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University, 2019, No. 151, pp. 33-45
8. Odukoval J., Lambert R., Sakrabani R. The effect of crude oil on the yield and phytochemical composition of selected green leafy vegetables. International Scientific Journal of Vegetable Growing, 2019, Volume 25, N 6, pp. 554-570
9. Hamaden M., Alzway A., Hassan M., Attitalla I. Physiological reactions of some plant species to crude oil and its effect on seed germination. Annals of Biological Sciences, 2021, N 6, pp. 22-42
10. Ojebga V.J., Sadik O.A. Influence of used engine oil on growth parameters, chlorophyll level and *Amaranthus hybridus* L protein. Ecologist, 2002, Volume 22, N 1, pp. 23-28
11. Orochio-Carrillo H.A., River-Cruz M.K., Juarez-Maldonado A., Bautista-Munoz S. Crude oil stimulates plant growth and antioxidant production in *Leersia hexandra* Sw. A hydrophytic herb that decomposes oil from rhizomes in Tabasco, Mexico. Research Square, 2022, N 1, pp. 1-14
12. Asadov R.A., Ismailov I.T., Alieva A.A. Obtaining plant growth stimulants based on petroleum acids. News of the Tula State University. Series. Natural Sciences, 2022, No. 3, pp. 35-48
13. Patent. 2713902C1. RU. 2019 Organic agriculture / Griguletsky V.G., Ivakin R.A., Ivakina N.V. /
14. Chirin-Novta V., Kuhaida K., Kevresan S., Kandrak J. Biological activity and structure of natural petroleum acids from the lower petroleum fractions of Velebit oil. Acta Periodica Technologica, 2022, volume 33, pp. 33-45

15. Chirin-Novta V., Kuhaida K., Kevresan S., Kandrak J. Structural and physiological properties of natural petroleum acids from medium oil fractions of Celebia oil. *Technological Act*, 2004, N 35, pp. 87-94
16. Abbasov V.M., Ismailov I.T., Asadova R.A., Allahverdiev E.I. Study of the effect of organic salts on the germination of tomato seeds and the formation of green biomass in seedlings. *PPOR*, 2021, volume 22, N 1, pp. 117-125
17. Halmadzhi A., Kevreshan S., Kovachevich B., Orlovich D. The effect of naphthenic acids on the rooting of sequoia sempervirens grown in vitro. *Acta Horticultrae*, 2010, Volume 885, pp. 139-143
18. Grbovich L., Pavlovich K., Vasilyevich B., Kuhaida K. Fractionation of complex mixtures of naphthenic acids, their characteristics and biological activity. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 2012, volume 77, N 2, pp. 147-157
19. Kevresan S., Maksimovich I., Popovich B., Steiner D. Foliar and root treatment of cucumbers with potassium naphthenate: antioxidant reactions // *Open Life Sciences*. 2012. Volume 7. N 6. pp. 131-137
20. Grbovich L., Kevreshan S., Chirin-Novta V., Kuhaida K. Increased content of trace elements in celery, carrot, parsnip and parsley plants after treatment with sodium naphthenate // *Modern agriculture*. 2016. Vol. 65. N 1-2. Pages 1-6
21. Kevreshan S., Chirin-Novta V., Miladinovich D., Kuhaida K. The effect of naphthenic acids on the formation of adventitious roots in sunflower cuttings // *Helia*. 2014. Volume 26. N 39. pp. 75-81
22. Beddow J., Johnson R., Lawson T., Brackels M.N. The influence of water exposed to technological effects of oil sands and model naphthenic acids on photosynthesis and growth of *Emiliana huxleyi* and *Chlorella vulgaris* // *Himosphere*. 2016. Volume 145. Pages 416-423
23. Fattah K.A., Worth D.J. Metabolic reactions of bush bean plants to the use of naphthenates // *Canadian Botanical Journal*. 1970. Volume 48. N 5. pp. 9-20
24. Pearson D.R., Borden J.H., Vakenti J.M. Treatment with naphthenate and cyclohexanecarboxylate protects *Phaseolus vulgaris* from the effects of 2,4-dichlorophenoxyacetate // *Canadian Journal of Plant Production*. 1976. Volume 56. N 1. Pp. 98-106
25. Worth D.J. The mechanism of plant growth stimulation with naphthenic acid // *Plant physiology*. 1976. Volume 58. N 1. pp. 82-86