

7. Экзогенная регуляция вторичного метаболизма у растений из семейства Яснотковые (Е.Л.Маланкина)

Среди фармакологически значимых групп соединений, представленных в Яснотковых в той или иной степени можно назвать фенольные соединения, в том числе флавоноиды (Маланкина, 2018) дубильные вещества и фенолкарбоновые кислоты, эфирное масло, компонентный состав которого сильно варьирует в зависимости от вида растения, сорта, фазы развития и от условий его произрастания (Маланкина, 2018).

В целом содержание вторичных метаболитов характеризуется большой подвижностью в онтогенезе, в зависимости от температурного фактора, влажности и осадков, вносимых удобрений. Большинство авторов сходятся во мнении, что данный процесс регулируется фитогормонами и некоторыми другими сигнальными соединениями. Изменение гормонального статуса растения в нужную сторону позволяет получить необходимый эффект и как следствие урожай с высоким содержанием целевых соединений (Prins, 2010).

В настоящее время в этом направлении используются как классические фитогормоны и их аналоги (гиббереллин, ИУК, 2-хлорэтил фосфоновая кислота), так и другие соединения, и комплексы, влияющие в свою очередь на гормональный баланс в растении. К таким препаратам можно отнести средства, содержащие гидроксикоричные кислоты (Циркон), brassinosteroids (Эпин экстра), органические соединения кремния (Силиплант), продукты жизнедеятельности бактерий, а также аминокислотные препараты (Malankina, 2022.). В последние годы большое внимание уделяется использованию ризобактерий не только для повышения эффективности использования удобрений и улучшения свойств почвы, но и в качестве меры по биоконтролю патогенов (Sivasakhti, 2014)

Большая часть работ посвящена применению рострегулирующих веществ в биотехнологии, однако в последние десятилетия отмечается тенденция использования физиологически активных соединений и в полевых условиях.

Возникает вопрос, что же предпочесть? У каждой группы есть свои достоинства и недостатки. При использовании фитогормонов и их аналогов результат предсказуем, механизмы действия хорошо и глубоко изучены, понятен порядок применяемых концентраций. Но, увы, в большинстве случаев их применение неэкологично, имеет ряд ограничений. Природные соединения оказывают минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду, но при этом их действие очень многогранно и относительно плохо изучено, в большинстве случаев на уровне констатации факта- увеличилось или уменьшилось (урожайность, содержание БАВ). Их воздействие сильно зависит от погоды, а рекомендации по эффективным концентрациям часто очень субъективны. Но постепенно, информация накапливается, вопросы по применению проясняются и применение этих субстанций входит в научное русло.

В настоящее время проводится достаточно большое число работ на лекарственных и эфирномасличных культурах из семейства Яснотковые как с фитогормонами, так и с различными субстанциями и микроудобрениями. Учитывая большой объём накопленного материала, можно говорить о разработке стратегий применения рострегулирующих веществ на лекарственных и эфирномасличных культурах. Это связано с тем, что на первых этапах данное направление рассматривалось исключительно как способ повышения целевых соединений в лекарственном сырье (Шаин, 2000; Шаин, 2005). Однако многолетние исследования показали, что действие физиологически активных соединений многогранно и их эффективность сильно связана с погодно-климатическими условиями и сортовыми особенностями. Кроме того, сроки и способы применения сильно варьируют в зависимости от морфологической группы сырья и класса целевых фармакологически значимых соединений. В частности, для получения корней и плодов зонтичных могут быть рекомендованы ауксиновые регуляторы или препараты с ауксиноподобным действием (Ковалев, 2020; Malankina, 2021; Sabagh, 2021), которые благодаря аттрагирующему эффекту пластических веществ

стимулируют рост и предотвращают осыпание завязей у укропа и кориандра, и увеличивают массу корня у лопуха.

Таким образом, применение рострегулирующих веществ стало возможным рассматривать как элемент адаптивной технологии, позволяющий повысить устойчивость растений к неблагоприятным факторам. (Маланкина, 2007; Пушкина, 2010; Сидельников, 2016; Пушкина, 2017). Большая работа по данному направлению на растениях различных семейств проделана в ФГБНУ ВИЛАР на примере таких культур как эхинацея (Сидельников Н.И., 2021), *Macleaya cordata* (Will) R. Br., *Atropa belladonna* L., *Ammi majus* L. (Сидельников, 2018), ромашке аптечной, змееголовнике молдавском и мяте перечной (Тропина, 2018). В данных работах речь идёт не только о повышении продуктивности культуры, но и повышении её устойчивости к сорнякам, вредителям и болезням, а также неблагоприятным погодным условиям. Основываясь на физиологических особенностях действия регуляторов роста и микроудобрений, можно активизировать внутренние механизмы защиты лекарственных культур от абиотического стресса и сократить потери урожая лекарственного и эфирномасличного сырья. С другой стороны, некорректное применение рострегулирующих веществ, без учёта биологии и фазы развития растений, а также погодно-климатических особенностей сезона, может привести к обратному эффекту. Довольно длительные наблюдения в течение нескольких сезонов показывали разную эффективность 2-ХЭФК и ССС (хлормекватхлорида) на ряде эфирномасличных культур (Маланкина, 2007). Таким образом, стратегия применения рострегулирующих веществ и микроудобрений для повышения продуктивности, и адаптивного потенциала лекарственных и эфирномасличных растений базируется на биологических особенностях, агроклиматических и фитосанитарных проблемах и физиологических аспектах накопления определённых групп вторичных метаболитов.

Семейство Яснотковые насчитывает около 250 родов и 7,9 тысяч видов, многие из которых имеют большое хозяйственное значение. Среди

представителей этого семейства можно встретить овощные (перилла, стахис Зибольда), лекарственные (пустырник пятилопастной, душица обыкновенная, мелисса лекарственная, чабер садовый) и эфирномасличные растения (лаванда узколистная, шалфей мускатный, мята перечная и др.). Последние две группы возделывают для получения лекарственного сырья, фармацевтических субстанций или эфирного масла. Для большинства видов лекарственным или эфирномасличным сырьём являются надземные части растений: «трава» (тимьян обыкновенный, душица обыкновенная), лист (мята перечная, шалфей лекарственный, мелисса лекарственная), соцветия (лаванда и лавандин, шалфей мускатный). Соответственно основные цели экзогенной регуляции повышение урожая, доли листьев в сырье у «листных растений», содержания эфирного масла, флавоноидов и других фенольных соединений в зависимости от требований нормативных документов. Одновременно возможно решение проблемы конкурентоспособности по отношению к сорнякам и устойчивости к вредителям и болезням, а также снижение пестицидной нагрузки.

В основном в настоящее время имеются работы по влиянию фитогормонов и их аналогов на содержание эфирного масла.

Результаты применения гиббереллина и его аналогов довольно противоречивы. Гиббереллины (ГА) регулируют интеркалярный рост междоузлий, прорастание семян и цветение. Они также имеют значение при переходе ювенильных растений в генеративное состояние. (Spatz, 2008). Ингибирование биосинтеза ГК является одним из основных ответов растения на стресс (Rademacher, 2000), за которым следует замедление роста. Обработка растений змееголовника молдавского при незначительном увеличении урожайности (в основном за счёт увеличения доли стеблей) снижала содержание эфирного масла в сырье. Кроме того, в эфирном масле преобладали спирты линалоол и гераниол, что характерно для молодых растений в прегенеративной фазе (Маланкина, 1996). На шалфее лекарственном применение гиббереллинов приводило к увеличению облиственности (Povh, 2007) и после некорневого опрыскивания шалфея (*Salvia officinalis*) раствором

гиббереллина 100 мг л⁻¹ сырья было с более высоким содержанием эфирного масла по сравнению с контрольными растениями (Povh, 2006). При обработке базилика (*O. gratissimum* L.) раствором гиббереллина отмечено снижение содержания метилхалвикола с 85.26% в контроле до 58.31% в варианте опыта и повышение содержания транс-анетола с 4.25% до 12.30% соответственно. Принс с соавт. (Prins, 2010) и Гершензон с соавт. (Gershenzon, 1994) предположили, что снижение содержание масла объясняется снижением плотности секреторных образований на листе под действием гиббереллина, в то время как некорневое применение БАП (бензиламинопурина) увеличивает число железок на листьях у некоторых видов (*Lavandula dentata*, *Thymus mastichina*). (Kim, 2006). Однако данная концепция представляется спорной и имеются ряд работ, опровергающих прямую зависимость плотности железок и эфирномасличности сырья (Lohwasser, 2018; Lohwasser, 2014).

Более перспективным оказалось применение ретардантов в предуборочный период. При применении за 7-12 дней до уборки, то есть в период цветения остановка роста уже не вызывала существенное снижение урожайности, но значительно увеличивала содержание эфирного масла в сырье. Как показали исследования, некорневое применение ретардантов ССС и 2-ХЭФК увеличивало содержание эфирного масла в сырье эльгольции реснитчатой и котовника кошачьего (Гринева, 2007), змееголовника молдавского (Маланкина, 1995), монрды дудчатой и иссопа лекарственного (Маланкина, 2007). Оптимальные значения ССС находятся в среднем в пределах 0,15-0,2%, однако они отличаются в зависимости от особенностей культуры и условий года. Оптимум при применении 2-ХЭФК в форме препарата Кампозан находится в районе значения 0,04% по препарату, сдвигаясь в большую или меньшую сторону в зависимости от условий года. В благоприятном году оптимальная концентрация на всех культурах была ниже, чем в неблагоприятные по погодным условиям годы. Так при опрыскивании змееголовника молдавского в 1993 году в период обработки и уборки стояли сравнительно низкие среднесуточные температуры, а, как известно из

литературы, чем выше температура, тем интенсивнее идёт поглощение и разложение 2-ХЭФК с выделением этилена. Соответственно наиболее в холодные годы эффективными были повышенные концентрации ретарданта. Следует отметить, что оптимальные концентрации для каждой культуры не являются стабильной величиной. Значение оптимума зависит от чувствительности культуры к действию ретарданта и погодных условий, в частности температурного и влажностного режима.

В большинстве случаев оптимальные значения находились в промежутке от 0,03 до 0,04 % для Кампозана и 0,15-0,2 % для ССС. Чем позже проводится обработка, тем выше должна быть концентрация препаратов. Чем ниже среднесуточные температуры и больше осадков, тем выше должна быть концентрация препарата

Как видно из таблицы 7.1, оптимальная концентрация могла отличаться в 2 раза в зависимости от условий года. На фоне достаточно высоких среднесуточных температур (более 17-18° С) увеличение содержания ЭМ после обработки 2-ХЭФК наблюдалось уже через трое суток и далее почти не изменялось.

Таблица 7.1

Диапазон оптимальных концентраций (%) ретардантов для обработки эфиромасличных растений из сем. Яснотковые

Культура	Кампозан	ССС
Змееголовник молдавский	0,02-0,04	0,10-0,15
Иссоп лекарственный	0,03-0,04	0,2-0,3
Котовник кошачий	0,04-0,06	0,15-0,20
Монарда двойчатая	0,04-0,05	0,15-0,20
Эльсголышя реснитчатая	0,03-0,06	0,2-0,3

По сведениям авторов (Деева и др., 1988), исследовавших механизмы поглощения этиленпроизводных, поглощение 2-ХЭФК начинается сразу после обработки растений, одновременно начинает выделяться этилен. Максимум

содержания этилена в тканях при благоприятных условиях наблюдается в этом случае через 48 часов. Далее выделение этилена снижается, а через неделю поглощение 2-ХЭФК практически прекращается. Не поглощенная 2-ХЭФК может быть смыта с поверхности растения осадками. По нашим данным, в большинстве случаев положительное действие 2-ХЭФК проявлялось уже на третьей сутки. В этот срок после обработки у змееголовника молдавского содержание масла превышало контроль на 15-20 %, у монарды - на 15,5 %, у эльсгольции - на 27,6 %. Далее различия с контролем по этому показателю увеличивались до пятых суток после обработки, а затем выходили на плато. В результате трехлетних опытов со змееголовником молдавским и иссопом лекарственным, было установлено, что действие 2-ХЭФК проявлялось тем быстрее, чем выше была температура воздуха. Эти данные хорошо согласуются и с литературными источниками. Поэтому оптимальным сроком уборки растений после обработки 2-ХЭФК следует считать 7-10 суток после обработки. После обработки ССС содержание эфирного масла сначала не изменялось или даже снижалось, но затем начинало увеличиваться. Действие этого ретарданта оказалось более продолжительным по сравнению с 2-ХЭФК.

Применение ростингибирующих соединений приводило и к изменению физиологических показателей растений. В 2-2,5 раза снижалась интенсивность дыхания после обработки ССС и в 4-5 раз - после обработки 2-ХЭФК. Депрессия фотосинтеза сохранялась до уборки растений, но к завершению опыта (10-е сутки) различия между контролем и опытными вариантами уменьшались, что объясняется заканчивающимся действием ретардантов. При обработке ССС резкий «всплеск» дыхания наблюдался почти сразу после обработки. При сопоставлении этого события с динамикой накопления ЭМ видно, что его содержание в этот период увеличивалось незначительно, а в отдельных случаях даже снижалось. Затем интенсивность дыхания к 10 суткам опыта постепенно снижалась, приближаясь к контролю, а содержание ЭМ параллельно достигало максимума. Таким образом, излишние продукты фотосинтеза сжигаются в процессе дыхания или трансформируются во

вторичные метаболиты, в результате чего концентрация ЭМ в сырье увеличивается. Известно, что действие ССС сводится к прерыванию ферментативного синтеза гиббереллинов, прерывая реакцию превращения геранилгеранилдифосфата в копалилпирофосфат и синтез каурена предшественника гиббереллинов. Это ведет к накоплению промежуточных продуктов, в том числе геранилпирофосфата, который является предшественником монотерпенов, преобладающих в ЭМ змееголовника молдавского и монарды двойчатой. Поэтому биосинтез направлен на трансформацию промежуточных продуктов и перевод их в летучие соединения, которые могут удаляться из растения в результате испарения или при необходимости реутилизироваться для синтеза других терпеноидов более высокого порядка. При обработке растений 2-ХЭФК наблюдается несколько другая ситуация: сначала дыхание подавлялось и его интенсивность на 3 сутки после обработки была почти в 2 раза меньше, чем в контроле. Одновременно наблюдалась сильная депрессия фотосинтеза. Этот показатель был в 5-6 раз ниже контроля. И учитывая меньший пул продуктов фотосинтеза в этот период, по-видимому, не было необходимости в их сжигании через усиленное дыхание, как при использовании ССС. К моменту уборки (на 10 сутки), наоборот, наблюдалось возрастание интенсивности дыхания, которое было в 3 раза выше, чем в контроле. Биотрансформация излишних продуктов фотосинтеза в низкомолекулярные терпеноиды под влиянием 2-ХЭФК происходит значительно быстрее, чем после действия ССС. Поэтому накопление ЭМ при действии 2-ХЭФК активизировалось уже к 3-5 суткам после обработки растений (Маланкина, 2007). Под действием фитогормонов и регуляторов роста, как правило, происходит изменение гормонального статуса растений, расшифровка которого позволит управлять продукционным процессом, поэтому данное направление является в настоящий момент чрезвычайно важным. Исследование содержания эндогенных гормонов после обработки изучаемых эфирноносителей показало, что в условиях водного стресса наблюдается быстрое увеличение содержания абсцизовой кислоты (АБК). Обычно

количество АБК в растениях составляет 10-100 нг\г сырой массы. По нашим данным в опыте зафиксировано рекордно высокое содержание АБК (5900-10000нг\г). Концентрация гиббереллинов по всем вариантам опыта оставалась на одинаково низком уровне -1,0 мкг\г.

Появление повышенных концентраций абсцизовой кислоты (АБК) коррелирует с интенсивностью устойчивости к стрессу у сельскохозяйственных культур. АБК координирует множество функций растений, позволяя им противостоять различным абиотическим стрессам (Raza, 2019). Хорошо известно, что накопление абсцизовой кислоты (АБК) увеличивается в ответ на абиотические стрессы, такие как засуха, соль и холод (Malaga, 2020). Кроме того, АБК работает как многоцелевой медиатор многих физиологических процессов, в том числе и накоплении вторичных метаболитов. АБК играет решающую роль, способствуя старению листьев у растений, переходящих от вегетативной к репродуктивной фазе для завершения жизненного цикла при низком водном потенциале.

В настоящее время разработаны более экологичные препараты ретардантного действия, в частности препарат Харди. Харди - препарат, разработанный фирмой «НЭСТ М». Данный препарат проходит предварительные испытания на многих культурах. Он является экологически безопасным, так как в его состав входят соединения, широко представленные в растениях: α -дифенолы и эпибрассинолид. Харди - препарат, разработанный фирмой «НЭСТ М» (Пушкина, 2015).

Обработка ретрантаном Харди способствовала увеличению содержания эфирного масла на 8-й и 12-й день после обработки в сырье душицы на 35-36 %, к 16-му дню после обработки наблюдается некоторое снижение эффективности ретарданта. При этом Харди не оказал отрицательного влияния на урожайность сырья (травы), ко времени уборки она оставалась на уровне контроля с обработкой водой (Тхаганов, 2022). Также Харди показал высокую эффективность на мяте перечной и змееголовнике молдавском. (Тропина, 2021). Применение Этрела [(2-хлорэтил) фосфоновая кислота] (2-ХЭФК),

которая разлагается при контакте с растительными клетками, продуцирующими этилен, в концентрациях 50 и 100 мг л⁻¹ приводили к уменьшению высоты растений шалфея мускатного, но произошло увеличение на 38-42% по свежей и сухой массе цветов по отношению к контрольным растениям. Положительные результаты от применения 2-ХЭФК получены на таких культурах как змееголовник молдавский, душица обыкновенная, эльсгольция реснитчатая, монарда дудчатая, исоп лекарственный и др. При этом, чем комфортнее для растения были условия года, тем выше должна была быть концентрация для получения ожидаемого эффекта. С другой стороны, высокая концентрации (250 и 500 мг л⁻¹) имели отрицательные эффекты не только по высоте растений, но и по цветению. Тем не менее, на массу отдельных цветков это не повлияло. В условиях Московской области избыточные концентрации 2-ХЭФК действовали на растения как десикант, ускоряя потерю влаги в тканях, усыхание листьев и созревание семян.

Встречается достаточно много работ по применению жасмонатов, физиологическая роль которых заключается среди прочего в ингибировании роста и ускорении процессов созревания плодов и старения тканей (Nooden, 2003). Работы по применению жасмонатов на примере базилика и майорана показали существенное увеличение эфирного масла в сырье у майорана до 22 % а у базилика до 26 % в зависимости от условий года. Компонентный состав эфирного масла изменялся у майорана снижалось содержание *cis*-сабиненгидрата) и в меньшей степени у базилика (незначительно увеличивалось содержание линалоола. (Németh-Zámbozine, 2022). Однако применение в качестве ретарданта метилжасмоната достаточно дорого и больше подходит для лабораторных исследований. В практической деятельности более эффективны производные 2-ХЭФК или хлормекватхлорид.

Использование на мяте полевой (*Mentha arvensis*) раствора кинетина в дозе 200 мг/л привело к росту урожая надземной массы и содержания эфирного масла (Faroqi, 2003). В другом опыте с *M. arvensis* L. var. *piperascens* Mal. показано, что после обработки обработанных цитокининами и нафтилуксусной

кислотой (НУК) несмотря на уменьшение высоты растений, увеличивалась облиственность и выход эфирного масла (Farooqi, 1988). У лаванды (*Lavandula dentata*) в результате применения с 0,1 мг л⁻¹ (ВА) отмечено меньшее число эфирномасличных желёзок на единицу площади листа, при этом листья имели интенсивный зеленый цвет и дольше оставались молодыми. Наблюдаемый эффект был связан с задержкой старения листьев и дифференцировки секреторных желез, что удерживает их в пресекреторной стадии (Sudriá, 2004). Таким образом, учитывая «омолаживание» тканей листа, которое препятствует переходу желёзок от фазы роста к секреторной стадии, цитокининовые препараты менее перспективны, чем, например, ретарданты.

Довольно обнадеживающие результаты показывает применение ауксинов регуляторов не только в качестве корнеобразователей. Ауксин взаимодействует с сигнальными компонентами, реагирующими на стресс, такими как кальций (Ca²⁺) и активные формы кислорода (АФК), которые накапливаются в растениях при воздействии биотических и абиотических стрессовых условий (Tognetti, 2017). Отмечается, что применение ауксинов совместно с АБК способствуют повышению устойчивости растения к водному стрессу, что важно при водном дефиците, который в итоге приводит у большинства культур к торможению роста, ускоренному переходу к генеративной фазе и существенному падению урожайности. Ауксины в сочетании с АБК способствуют росту корневых волосков на фоне двух антагонистических явлений, называемых гравитропизмом и гидротропизмом, которые одновременно происходят в почве. Вклад ауксина в гидротропизм меньше, чем в гравитропизм (Cassab, 2013). Однако конечное направление расширения корней в направлении влажных участков почвы в первую очередь контролируется передачей сигналов АБК, которая может подавляться опосредованным ауксинами гравитропизмом (Taniguchi, 2010). С другой стороны, на значительной части Российской Федерации представляет опасность переувлажнение. В этом случае своевременное применение ауксиновых препаратов на вегетирующих растениях может смягчить неизбежный стресс

корневой системы и дать растению шанс адаптироваться и сохранить способность к формированию урожая. Затопление или заболачивание, вызывают либо гипоксию, либо аноксию в зависимости от вида растений. Эти реакции включают, среди прочего, увеличение развития аэренхимы, развитие адвентивного корня и развитие побегов наряду с эпинастическими или гипонастическими явлениями роста (Bailey-Serres, 2010; Lin, 2017). Образование придаточных корней, зависящее от затопления или заболачивания, требует, как повышенного накопления ауксина, так и изменения транспорта ауксина, а также изобретения усиленного этилена (Vidoz, 2010).

Брассиностероиды являются относительно новой группой соединений, которые применяют для экзогенной регуляции продукционного процесса сельскохозяйственных культур. В большей степени они зарекомендовали себя как средство для повышения устойчивости к абиотическим стрессам. Во взаимодействии с другими гормонами растений, связанными со стрессоустойчивостью, брассиностероиды повышают устойчивость растений к широкому спектру стрессов (Ahammed, 2020), в том числе жаре, холоду, засухе и засоленности.

Применение различных форм брассиностероидов (кетонный и лактоновый спиростан) привело к увеличению свежего вещества листьев и повышало биосинтез ментола у *Mentha arvensis* L. (Maia, 2004).

Применение гидроксикоричных кислот является относительно новым направлением, однако за прошедшие полтора десятка лет выявлено, что они оказывают на растительный организм полифункциональное действие: активизируют физиологические процессы, стимулируют рост и ускоряют развитие, повышают адаптационные возможности к неблагоприятным факторам среды как абиотической (погодные условия), так и биотической природы (вредители и фитопатогены) (Ковалев, 2022). Достаточно обширные исследования проведены в том числе на растениях из семейства Яснотковые, в частности на змееголовнике молдавском, в частности повышало содержание эфирного масла (Пушкина, и др., 2008). Как предполагается, Циркон

осуществляет антиоксидантную функцию, защищает ИУК через механизм ингибирования фермента ауксиноксидазы, играющего ключевую роль в процессах роста и развития растений, и тем самым влияет на накопление вторичных метаболитов, в том числе и фенольный обмен (Sroka, 2003; Sroka, 2005). В литературе встречаются упоминания о его способности повышать устойчивость к неблагоприятным условиям как овощных, так и лекарственных культур (Пушкина, 2010; Еремеева, 2014; Пушкина, 2015). В настоящее время действие гидроксикоричных кислот испытано на нескольких культурах, в частности на мелиссе, чабреце садовом, шалфее лекарственном. В течение четырех лет в условиях Краснодарского края в лекарственном севообороте Северо-Кавказского филиала ВИЛАР на душице обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) проводили исследования по изучению действия регулятора роста Циркон, который вносили в фазе массового отрастания растений с нормой расхода 0,04 л/га и в фазе бутонизации – 0,1 л/га. Уборку эфиромасличного сырья (трава) осуществляли через 10 дней после последней обработки биорегулятором. В результате испытаний установлено, что Циркон, применяемый в начальные фазы вегетации эфиромасличных культур, обеспечил усиление роста растений и повышение урожайности сырья на 11-12%. При обработке препаратом в генеративной фазе не отмечено его влияния на ростовые процессы, урожайность была практически на уровне контроля, однако наблюдалось повышение содержания ЭМ на 21-25%. Полученные результаты показали, что Циркон проявляет свои росторегулирующие свойства в низких нормах расхода, а при их увеличении активизируются процессы накопления ЭМ. Такой системный подход к применению Циркона обеспечивает повышение двух составляющих биопродуктивности, способствуя увеличению сбора эфирного масла с 1 га по сравнению с контролем на 36-37% и на 10-14% по сравнению с одноразовым применением Циркона (Быкова, 2022).

В условиях Нечерноземной зоны мелисса характеризуется стабильными урожаями, но сырье отличается низким содержанием эфирного масла. В

результате обработки Цирконом содержание ЭМ в сырье неделю после обработки увеличивалось на 33 - 150% в зависимости от условий года. Однако продолжительность действия препарата составляла 7-10 дней (Маланкина, 2007). В условия Северного Кавказа с целью увеличения сбора эфирного масла рекомендуется комплексная обработка: в период формирования урожая культуры для обеспечения активного прироста биомассы опрыскивание вегетирующих растений Силиплантом (0,7 л/га), а в генеративную фазу в предуборочный период для активизации накопления эфирного масла, следует применить регулятор роста Циркон (0,1 л/га) (Тропина, 2022).

Для шалфея лекарственного также были получены положительные результаты. В результате двукратной обработки цирконом существенно увеличивалась и урожайность, и содержание ЭМ в сырье, несмотря на довольно неблагоприятные условия летнего периода 2006 года. Кроме того, в 2006 и 2007 годах на опытных растениях была отмечена 90-96% перезимовка шалфея и Melissa (контроль 59 и 78% соответственно), что является очень высоким показателем для Подмосковья (Маланкина, 2007). На некоторых культурах, в частности на змееголовнике молдавском, его применение повышало содержание эфирного масла в сырье. Также при обработке змееголовника молдавского препаратом Циркон (1,5-2 мл/л) увеличивалось содержание суммы фенольных соединений (Еремеева, 2014).

При применении препарата Циркон на 4-х сортах чабера садового были выявлены сортовые особенности реакции на препарат. Содержание эфирного масла снижалось у всех сортов, особенно заметно у низкорослого сорта Гном - с 0,54% в контроле до 0,30%. Вероятно, эта реакция связана с применением препарата не в предуборочный период, а в прегенеративном периоде. Препарат стимулировал активный рост растений и соответственно не отмечено накопление эфирного масла. Вместе с тем, под действием гидроксикоричных кислот существенно увеличивалась сумма полифенолов и их отдельных групп соответственно.

Как видно из рисунка 7.1, сумма полифенолов по сравнению с контролем увеличилась с 5,93 до 7,5 %, то есть на 26 %. Содержание дубильных веществ повысилось на 20 %, а содержание флавоноидов – на 86 % (Маланкина, 2017).

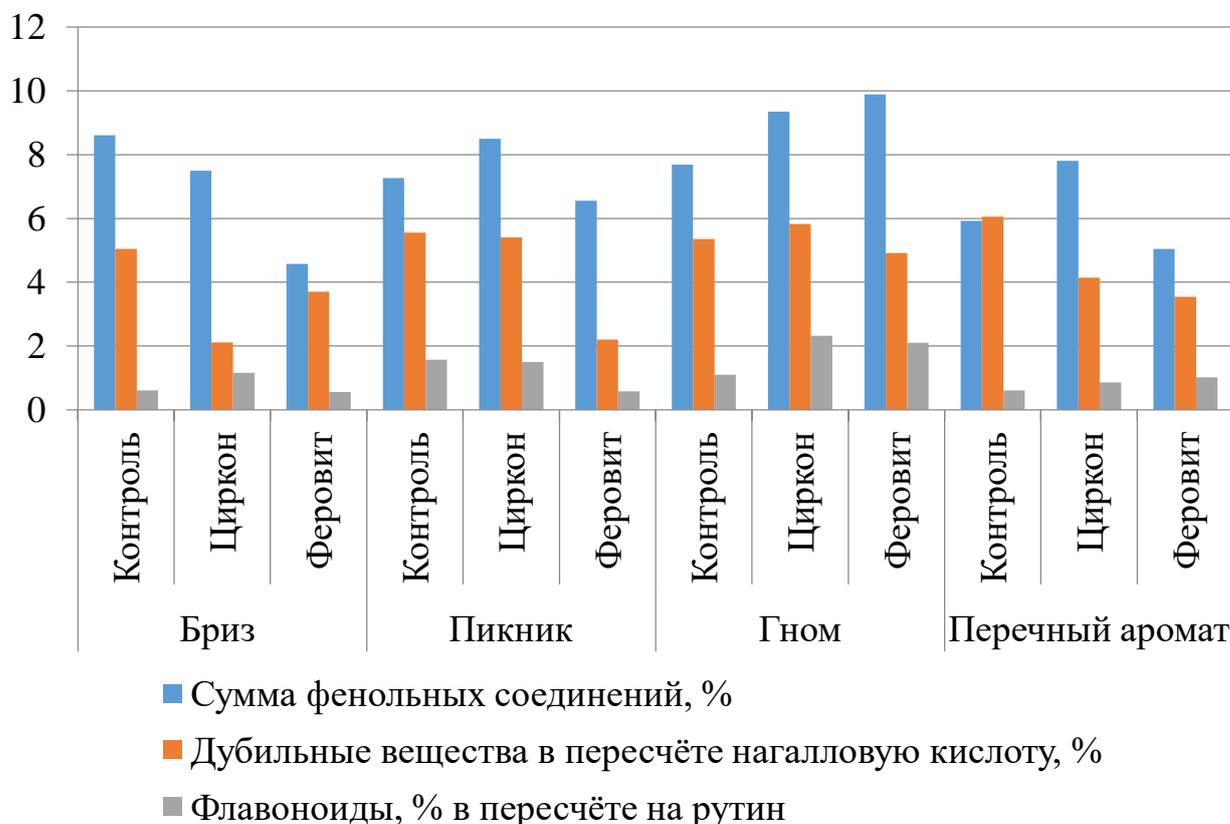


Рисунок 7.1. - Влияние препаратов Феровит и Циркон на содержание фенольных соединений в сырье чабера садового, % в сухом сырье (Романова, 2019)

Применение препарата Харди на змееголовнике молдавском в условиях Московской области показало отсутствие существенного влияния на урожай сырья с единицы площади. Вместе с тем, существенно увеличивались содержание не только эфирного масла, но и суммы фенольных соединений и дубильных веществ. В качестве меры, повышающей содержание этих групп соединений в сырье, можно рекомендовать обработку вегетирующих растений за 10 суток до уборки препаратом Харди в концентрации 1,5 мл/л (Маланкина, 2020).

Препарат Феровит, содержащий хелатные формы железа на эфирномасличных культурах не приводил к значительному повышению

содержания эфирного масла (Малеванная, 2005; Пушкина, 2005). Однако учитывая, что железо участвует в окислительно-восстановительных реакциях.

Препарат Феровит, содержащий хелатные формы железа, на эфирномасличных культурах не приводил к значительному повышению содержания эфирного масла (Пушкина, 2015). Однако учитывая, что железо участвует в окислительно-восстановительных реакциях, можно предположить, что оно будет влиять на содержание фенольных соединений. (Маланкина, 2017), значительная доля которого у чабера составляют фенолы тимол и карвакрол.

После обработки пяти сортов чабера садового, отличающихся по морфологическим признакам и ритмам сезонного развития, препаратом Феровит содержание эфирного масла в сырье у одних сортов повышалось (сорта: Пикник, Бриз, Гном), у других снижалось (сорта: Перечный аромат, Ароматный). Погодные условия также оказывают влияние на эффективность препаратов, что подтверждает результаты исследований ВИЛАР на других эфирномасличных культурах. При обработке Феровитом доля карвакрола в эфирном масле чабера снижалась в среднем на 5 % за счёт увеличения доли γ -терпинена на аналогичную величину. В результате исследований установлено, что применение Феровита приводило к снижению содержания фенольных соединений, причём как флавоноидов, так и дубильных веществ.

Практически у всех сортов обработка железосодержащим препаратом Феровит увеличивала содержание аскорбиновой кислоты в тканях растения. Действие препарата Циркон было неоднозначно: у двух сортов (Пикник и Бриз) её содержание снижалось по сравнению с контролем, а у сортов Ароматный и Перечный аромат, наоборот, было выше, чем в контроле. Если предположить, что действие экзогенного железа активизирует ферментные системы и окислительно-восстановительные реакции, то механизм действия гидроксикоричных кислот объяснить однозначно сложно.

На ряде других эфирномасличных культур из семейства Яснотковые, в частности на монарде двойчатой (Маланкина, 2007) показано, что под

действием красного света в эфирном масле резко возрастает количество фенолов, причем как за счет карвакрола, так и за счет тимола. При воздействии на растение синим светом наблюдалось образование в больших количествах линалоола, присутствие которого на красном свету практически не отмечено. при освещении красной частью спектра. На примере двух сортов мяты перечной с различным составом эфирного масла выявлено существенное изменение содержания эфирного масла под действием света различного спектрального состава. В качестве объектов исследования были выбраны сорт Кубанская 6 характеризуется высоким содержанием ментола и сорт Апельсиновая в котором эфирном масле которого преобладает линалоол.

Как видно из рисунка 7.2 содержание эфирного масла было максимальным при использовании красного света для обоих сортов и составило 0,39 % у сорта Кубанская 6 и 0,10 % у сорта Апельсиновая.

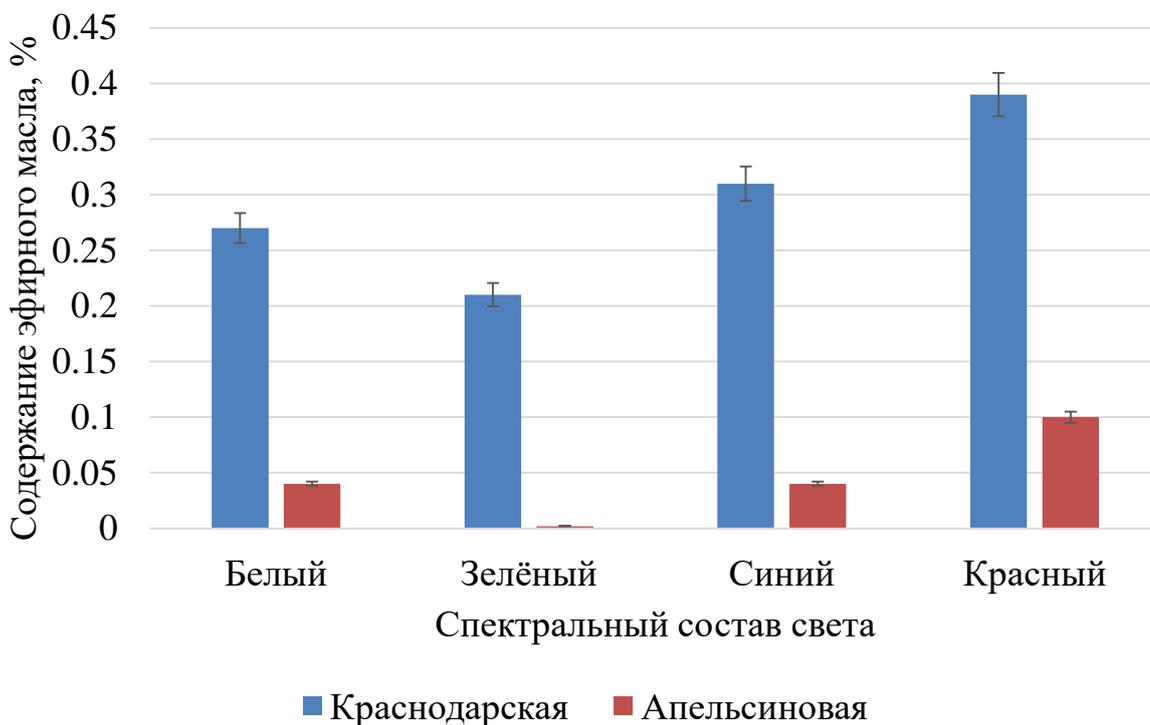


Рисунок 7.2. - Влияние спектрального состава освещения на содержание эфирного масла в свежем сырье мяты перечной

При использовании зелёной части спектра накопления масла практически не происходило у сорта Апельсин и было существенно ниже у сорта Кубанская 6 (Плыкина, 2020). Воздействие различными частями спектра на вегетирующие растения несомненно представляет большой научный интерес, однако в практическом плане данные работы применимы при выращивании растений в защищенном грунте, на проточных линиях и сити-фермах.

Подводя итог вышесказанному, следует отметить, что для стимуляции накопления фармакологически значимых соединений наиболее целесообразно применение ретардантов и гидроксикоричных кислот. Как видно из проведённого выше анализа, наиболее хорошо изучено влияние регуляторов роста на накопление эфирного масла. Гораздо меньшее число работ посвящено гормональной регуляции биосинтеза фенольных соединений. Учитывая, что сырьём представителей семейства Яснотковые является надземная масса, стратегия повышения продуктивности растений и увеличения выхода целевых соединений с единицы площади должна строиться на повышении адаптивности в первой половине вегетации, когда идёт активный рост биомассы, и остановке ростовых процессов в предуборочный период, с целью накопления фармакологически значимых веществ.