

In the amino acid composition of raw materials (3-leaf flushes), the main amount is represented by proline (from 44 to 63 % of the total amount of all amino acids); from 5 to 15 % are serine and valine and about 7 % are methionine. The largest amount of amino acids is synthesized in May (on average 1 644 mg/100 g of raw weight), in June the level of proline is 59.53 % from the total of all amino acids; in August, in response to prolonged exposure to hydrothermal stress, the peak of active accumulation of proline is observed on average up to 923 mg/100 g. When processing raw materials into ready-made tea, the amount of amino acids decreases, which is associated with oxidative deamination and their conversion into protein compounds that are involved in the formation of tea flavor. There are slightly fewer amino acids in black (483.0 mg/100 g) than in green tea (826.4 mg/100 g), since active processes of oxidative deamination take place during the fermentation of black tea. 11 amino acids have been identified in 3-leaf flushes and ready-made tea. The level of proline in the leaf can be used to assess the condition of plants. Statistical analysis has shown the dependence of the amino acid content on the amount of precipitation. When processing raw materials into ready-made tea, the amount of amino acids decreases, which is due to the technological features of processing raw materials. Varietal differences in the accumulation and transformation of amino acids are traced.

Key words: tea, cultivars, amino acids, hydrothermal stress, processing, black tea, green tea.

УДК 631/635:58

doi: 10.31360/2225-3068-2022-83-157-167

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХЛОРОФИЛЛ-ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ (литературный обзор)

Кунина В.А.

*Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»,
г. Сочи, Россия, e-mail: ryndina.v@mail.ru*

Целью данной статьи является оценка возможности использования флуоресценции хлорофилла для диагностики функционального состояния растений, их реакции на воздействие стресс-факторов. Показано, что реакция видов на действие стрессовых факторов проходит не только на морфологическом, но и на физиолого-биохимическом уровне. Физиолого-биохимические показатели отражают все основные функциональные нарушения и являются более чувствительными к неблагоприятным природным и антропогенным факторам. Наиболее важным функциональным показателем состояния растений является активность их фотосинтетического аппарата (ФСА) на уровне листа. В настоящее время, в связи с быстрыми изменениями, которые происходят в биосфере, особенно остро встаёт вопрос разработки новых методов оперативного мониторинга за окружающей средой с возможностью оценки и

описания функционального состояния растений. Не случайно, более 80 % оптических методов, используемых для оценки функционального состояния растений, основаны на использовании индукции флуоресценции хлорофилла. Наиболее часто используемым, оперативным и чувствительным методом является измерение интенсивности флуоресценции хлорофилла с регистрацией ряда характеристик индукции флуоресценции хлорофилла (ИФХ). Большую роль в изучении флуоресценции хлорофилла и разработке метода диагностики состояния растений уделено в исследовании мичуринских учёных. Разработанный ими метод с успехом используется и в исследованиях, проводимых на базе ФИЦ СЦ РАН. Метод характеризуется высокой информативностью и универсальностью, ему присуща высокая скорость анализа при отсутствии трудоёмких операций. И самое главное, метод отличается неразрушающим характером измерений. Благодаря чему его можно использовать для оценки продуктивности и потребности растений в микро- и макроэлементном питании, влияния почвенной засухи и засоления, низких и высоких температур, оптимизации условий выращивания растений и посадочного материала, выявления сортов устойчивых к заболеваниям, исследовании реакции фотосинтетического аппарата растений на абиотический стресс и т. д.

Ключевые слова: флуоресценция хлорофилла, лист, фотосинтетический аппарат, стресс, функциональное состояние, диагностика.

Регулирование адаптивности сельскохозяйственных культур к стрессорам различной природы является центральной задачей отечественного агропромышленного комплекса. В данном вопросе значимым является оценка реакции растительного организма на воздействие стрессоров различной природы. Поиск информативных методов для целей диагностики функционального состояния растений ведётся многими исследователями как в стране, так и за рубежом, так как продуктивность растительных культур определяются не столько потенциальными возможностями их фотосинтетического аппарата, сколько способностью растения функционировать эффективно и уцелеть при неблагоприятных условиях среды обитания, то есть от их способности адаптироваться к окружающим условиям [9].

Реакция видов на действие стрессовых факторов проходит не только на морфологическом, но и на физиолого-биохимическом уровне, изменение которых может привести вплоть до полного выпадения растительного сообщества [1, 5, 10].

Физиолого-биохимические показатели отражают все основные функциональные нарушения и являются более чувствительными к неблагоприятным природным и антропогенным факторам. Поэтому, по мнению Т.В. Нестеренко (2007), центральным методологическим вопросом контроля фитоценозов является проблема определения физиологического состояния растений по шкале «норма – патология» [24].

По результатам анализа многочисленных исследований, проведённого нами, было отмечено, что все стрессовые факторы, действующие на какую-либо часть растения, так или иначе, влияют на фотосинтез. Активность фотосинтетических функций существенным образом определяет продуктивность, устойчивость к стресс-факторам любой природы, адаптивность и жизнеспособность растений [3]. Не случайно, одним из наиболее важных функциональных показателей состояния растений является активность их фотосинтетического аппарата (ФСА) на уровне листа [20]. Значение ФСА обусловлено как важностью процесса фотосинтеза в жизни растений, так и его высокой чувствительностью к повреждающим воздействиям окружающей среды [8, 16, 29].

Процесс фотосинтеза заключается в преобразовании энергии света в энергию химических связей. Фотохимическая работа осуществляется в хлоропластах. Энергия поглощённых ими квантов света расходуется тремя путями:

- 1 – используется в синтезе углеводов (фотохимическая работа);
- 2 – преобразуется в тепло;
- 3 – избыток излучается в виде флуоресценции [20, 21, 30].

В настоящее время, в связи с быстрыми изменениями, которые происходят в биосфере, особенно остро встаёт вопрос разработки новых методов оперативного мониторинга за окружающей средой с возможностью оценки и описания функционального состояния растений. Анализ литературы показывает, что большинство методов, использующих оптические способы регистрации, основаны на использовании индукции флуоресценции хлорофилла, т. к. данный показатель зависит от светового и водного режима, температурного фактора, почвенных условий (уровень обеспеченности элементами питания, рН почвенного раствора и др.), от антропогенной нагрузки на растительные объекты.

Одним из перспективных способов оценки негативного влияния окружающей среды на насаждения является регистрация флуоресцентных параметров, в частности, замедленной флуоресценции (ЗФ) хлорофилла. На возможность использования ЗФ в качестве универсального информативного метода мониторинга диагностики функционального состояния растений неоднократно указывалось многими авторами [5, 10, 23, 28].

Способность фотосинтезирующих организмов испускать длительное свечение впервые обнаружили Стрелер и Арнольд в 1951 г. Это явление впоследствии получило название замедленная флуоресценция (ЗФ) [2, 3, 10].

Ещё одним из эффективных является метод лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ), в связи с тем, что он характеризуется высокой чувствительностью, оперативностью, возможностью вызывать

нелинейные эффекты флуоресцентного сигнала. Кроме того, флуоресцентные измерения не причиняют вреда исследуемым организмам и способны осуществлять неразрушающий контроль. К настоящему времени методы ЛИФ широко используются в исследованиях океана и атмосферы, реакции на возникновение заболеваний или проникновение фитопаразита, внедрение лазерных методов позволяет ставить и решать задачи мониторинга на новом качественном уровне [11, 12].

Наиболее часто используемым, оперативным и чувствительным методом является измерение интенсивности флуоресценции хлорофилла с регистрацией ряда характеристик индукции флуоресценции хлорофилла (ИФХ). Рядом исследователей показано, что интенсивность флуоресценции сначала резко (в течение 0,1–0,8 секунд после начала освещения) возрастает от базового уровня F_0 до максимума F_m , а потом постепенно (в течение 1–5 минут) снижается до, так называемого, стационарного уровня F_T [3, 4]. График изменения флуоресценции от момента начала освещения до достижения стационарного уровня (кривая ИФХ) несёт информацию о состоянии фотосинтезирующего аппарата [3, 4]. Важными диагностическими характеристиками, определяемыми по кривой ИФХ, является: индекс жизнеспособности, который рассчитывается как отношение максимума флуоресценции к стационарному уровню и обозначается как F_m/F_T ; скорость спада флуоресценции за некоторый промежуток времени, который является чувствительным индикатором изменений в работе ФСА [3]. Ингибирование фотосинтетического аппарата растений под действием стрессового фактора оценивается по степени снижения величины показателей K_f_T ; K_f_n и F_m/F_T растительных тканей опытных растений по сравнению с контрольными растениями, произрастающими в оптимальных условиях [3, 17].

Так, на примере растений *Cucumis sativus* L. авторами в условиях светокультуры показана возможность использования возрастных, качественных и количественных закономерностей ИФХ листьев (изменения формы индукционных кривых флуоресценции хлорофилла и динамики параметров ИФХ в течение онтогенеза листа) для сравнительного изучения различий между полностью активными и подвергнутыми стрессовым воздействиям растениями [24].

При этом, авторы отмечают, что при оценке устойчивости растений необходимо учитывать онтогенетические особенности, так как в процессе старения такие показатели ИФХ, как «индекс жизнеспособности», а также интенсивность фотосинтеза, обычно снижаются. Авторы считают, что об устойчивости растений к тем или иным стрессовым факторам можно судить по длительности «стационарного периода» кривой ИФХ. Некоторые стрессовые факторы могут

ускорять онтогенез листа, а другие (например, вирусные инфекции) могут его замедлять. В любом случае отклонение длительности «стационарного периода» от нормы может свидетельствовать о патологических изменениях в работе фотосинтетического аппарата [24].

Флуоресцентный метод оценки концентрации хлорофилла и, соответственно, обилия водорослей нашёл широкое применение в экологии и гидробиологии как при работе с интактными водорослями, так и с экстрагированными из них растворами пигментов [13, 25].

Ковалева О.А. (2007) в своей работе отмечает, что сельскохозяйственные растения обладают низкой чувствительностью к действию УФР зоны, негативное воздействие которой возможно диагностировать изменением динамики параметров ИФХ [15].

Navaux и Lannoue в своей работе отмечают, что флуоресценция хлорофилла является надежным простым, и главное, неразрушающим методом исследования воздействия засухи на растения [27]. Так, у кукурузы, подвергшейся водному стрессу, наблюдалось резкое снижение коэффициента флуоресценции хлорофилла и сильное ингибирование переходных процессов индукции медленной флуоресценции. При этом, в процессе восстановления оводнённости тканей, отмечено медленное угасание флуоресценции хлорофилла, что указывает на необратимое повреждение хлоропластовых мембран [27].

В работах Georgieva (2000) показана возможность использования флуоресценции для оценки влияния низких температур на растения [26]. В её исследовании отмечено снижение фотосинтетической активности, измеряемой по снижению коэффициентов уменьшения флуоресценции.

Японскими учёными Nogikane и Kugata прослеживалось влияние водного стресса на растения томатов [31]. Ими фиксировались данные о транспирации, содержании хлорофилла и состоянии воды для количественной оценки физиологических изменений в растениях. И одновременно, регистрировались показатели флуоресценции, что позволило учёным не только обнаруживать ранние признаки водного стресса, но и коррелировать состояние растений с данными измерений флуоресценции и сделать вывод о том, что данный метод позволяет обнаружить ранние признаки водного стресса у отдельно стоящих растений томатов [31].

В исследовании экологических проблем растительных сообществ также находит своё применение метод измерения ИФХ. Так, рядом авторов показана перспективность оценки флуоресценции хлорофилла в анализе экологического стресса растений [1, 10].

Учёными Сибирского ФТИ аграрных проблем в ходе селекционных исследований отмечена необходимость уже на ранних этапах оценки перспективного материала на устойчивость к факторам среды (засухе, повышенным и пониженным температурам), возбудителям болезней,

вредителям и др. Для этих целей ими разработаны технические средства и методы диагностики селекционного материала, в том числе, регистраторы замедленной флуоресценции (ЗФ) растений [2]. При проведении исследований они регистрировали замедленную флуоресценцию листьев яровой мягкой пшеницы в условиях действия повышенных и пониженных температур на фоне хлоридного засоления. Было выявлено значительное изменение уровня и кинетики ЗФ, что свидетельствовало о нарушениях в мембранных структурах хлоропластов при воздействии стресс-факторов [2].

Большую роль в изучении флуоресценции хлорофилла и разработке метода диагностики состояния растений уделено в исследовании мичуринских учёных [3, 4]. Авторы не только изучили теоретические вопросы диагностики стрессоустойчивости растений с использованием ИФХ, но и разработали ряд диагностического оборудования для регистрации реакции растений на стресс по параметрам МИФХ [3, 4]. Авторами отмечается, что метод характеризуется высокой информативностью и универсальностью, ему присуща высокая скорость анализа при отсутствии трудоёмких операций. И самое главное – неразрушающий характер измерений. В связи с чем, предлагается использование хлорофилл-флуоресценции для оценки продуктивности и потребности растений в микро- и макроэлементном питании, влияния почвенной засухи и засоления, низких и высоких температур, оптимизации условий выращивания растений и посадочного материала, выявления сортов устойчивых к заболеваниям, исследовании реакции фотосинтетического аппарата растений на абиотический стресс и т. д. [3].

В ФИЦ СНЦ РАН исследования реакции растений на стрессовые факторы различной природы также проводятся с использованием метода оценки функционального состояния растений по параметрам медленной индукции флуоресценции хлорофилла, разработанного мичуринскими коллегами, для чего используются разработанные коллегами приборы. Это позволяет быстро решать вопросы оценки адаптивного потенциала растений, стоящие перед нашими селекционерами, физиологами и биохимиками на современном уровне [6, 7, 14, 18, 19, 22].

Таким образом, проведён анализ литературных источников, посвящённых использованию флуоресценции хлорофилла для диагностики функционального состояния растений. Показана перспективность данного метода, его оперативность и точность. Преимуществом является и неразрушающий характер измерений.

*Исследование проведено в рамках
ГЗ ФИЦ СНЦ РАН FGRW-2022-0012*

Список литературы

1. Алиева М.Ю., Маммаев А.Т., Магомедова М.Х.-М., Пиняскина Е.В. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла древесных растений в условиях различной транспортной нагрузки, Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014; 16(1-3) : 701-704.

2. Березина В.Ю., Гурова Т.А. Автоматизированный комплекс измерительной аппаратуры для оценки устойчивости растений к стрессовым факторам среды, Достижения науки и техники АПК. 2006; 11 : 15-17.
3. Будаговская О.Н., Будаговский А.В., Будаговский И.А., Гончаров С.А. Комплексная диагностика функционального состояния растений, Научные основы эффективного садоводства, Труды ВНИИС им. И.В. Мичурина. Воронеж: Кварта. 2006; 101-110.
4. Будаговская О.Н. Новые оптические методы и приборы количественной оценки адаптивного потенциала садовых растений, Плодоводство и ягодоводство России. 2001; 28 : 74-79.
5. Бучельников М.А. Замедленная флуоресценция хлорофилла в биоиндикации воздушных загрязнений. Автореф. канд. дис. Красноярск, 1998.
6. Василейко М.В., Белоус О.Г. Уровень флуоресценции хлорофилла в растениях мандарина при некорневых обработках регуляторами роста, Субтропическое и декоративное садоводство. 2022; 80 : 103-111. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-80-103-110.
7. Великий А.В. Фотосинтетическая активность зрелых листьев чая в ранневесенний период на фоне применения различных удобрений в условиях субтропиков России, Субтропическое и декоративное садоводство. 2020; 74 : 105-111. DOI: 10.31360/2225-3068-2020-74-105-111.
8. Веселовский В.А., Веселова Т.В. Люминесценция растений. Теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука, 1990, 200 с.
9. Гольцев В.Н., Каладжи Х.М., Паунов М. и др. Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений, Физиология растений. 2016; 63(6) : 881-907. DOI: 10.7868/S0015330316050055.
10. Григорьев Ю.С., Гаевский Н.А. Флуоресцентные методы в анализе экологического стресса растений. В кн.: Экологическая биофизика. М.: Лагос, 2002; 238-283
11. Гунар Л.Э., Мякинчиков А.Г., Караваев В.А. Изменения флуоресцентных и физиологических показателей растений ячменя под действием эпина, циркона и гиббереллина, Вестник Московского государственного университета леса (Лесной вестник). 2004; 34 : 132-136.
12. Канаш Е.В., Широкова Н.А. Диагностика устойчивости сортов к действию неблагоприятных факторов среды по показателю замедленной флуоресценции. В кн.: Агрофизика XXI века. СПб., 2002; 138-142.
13. Караваев В.А., Белогрудов И.О., Кукушкин А.К. Медленная индукция флуоресценции и CO₂-газообмен листьев бобов в присутствии диурона, Биофизика. 1989; 34(4) : 710.
14. Киселёва Н.С., Пашенко О.И. Переменная флуоресценция хлорофилла как показатель фотосинтетической активности ассимиляционного аппарата и кожицы плодов сортов и гибридов груши, Плодоводство и ягодоводство России. 2017; 49 : 145-151.
15. Ковалёва О.А. Влияние УФР на фотодинамические характеристики переменной флуоресценции и содержание флавоноидов в листьях картофеля: Вопросы естествознания: сб. науч. статей студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных фак. Естествознания. Мн.: БГПУ. 2007; 44-45.
16. Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. Киев: Альтенпресс, 2002, 188 с.
17. Куклев М.Ю., Фесенко И.А., Карлов Г.И. Разработка флуоресцентной тест-системы для выявления устойчивых к вертициллезу форм томата, Известия ТСХА. 2006; 4 : 115-119.
18. Кунина В.А., Белоус О.Г. Состояние фотосинтетических пигментов листьев древесных растений в условиях городской среды, Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2020; 6(72) : 108-118.

DOI: 10.37279/2413-1725-2020-6-2-108-118.

19. Кунина В.А., Белоус О.Г. Флуоресценция хлорофилла как диагностический показатель функционального состояния насаждений урбосреды (на примере центрального района г. Сочи), Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия флоры: материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси. В 2-х частях. Редколлегия: В.В. Титок [и др.]. Минск. 2022; 400-402.
20. Мокронос А.Т., Некрасова Г.Ф. Метаболические аспекты переходных состояний фотосинтеза в интродуцированном периоде, Физиология растений. 1966; 13(3) : 385-397.
21. Москвин О.В., Новичкова Н.С., Иванов Б.Н. Индукция флуоресценции хлорофилла *a* в листьях клевера, выращенного при различном азотном питании и различных интенсивностях света, Физиология растений. 1998; 45(3) : 413-418.
22. Мохно В.С., Пашенко О.И. Возможности отбора устойчивых форм фрезии по параметрам медленной индукции флуоресценции хлорофилла, Субтропическое и декоративное садоводство. 2012; 46 : 75-82.
23. Мочалкин А.И., Алексеев С.И., Соколов М.С., Мочалкина К.И. Изменение характера фотоиндуцированного свечения растений под действием гербицидов, Химия в сельском хозяйстве. 1969; 7(12) : 47-52.
24. Нестеренко Т.В., Тихомиров А.А., Шихов В.Н. Индукция флуоресценции хлорофилла и оценка устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям, Журнал общей биологии. 2007; 68(6) : 444-458.
25. Осипов В.А., Абдурахманов Г.М., Гаджиев А.А. и др. Использование флуоресценции хлорофилла *a* для биотестирования водной среды, Юг России: экология, развитие. 2012; 2 : 93-100.
26. Georgieva K.M. Influence of high temperature on the photosynthetic activity in two pea cultivars, Докл. Българ.АН. 2000; 53(6) : 95-97.
27. Navaux M., Lannoye R. Chlorophyll fluorescence induction: a sensitive indicator of water stress in maize plants, Irrigation Science. 1983; 4(2) : 147-151.
28. Krause G.H., Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics, Annual review of plant physiology and plant molecular biology. 1991; 42 : 313-349.
29. Lichtenthaler H.K., Rindere U. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plant, CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry. 1988; 19(1) : 29-85.
30. Lootens P., Van Waes J., Carlier L. Effect of a short photoinhibition stress on photosynthesis chlorophyll *a* fluorescence and pigment contents of different maize cultivars. Can a rapid and objective stress indicator be found?, Photosynthetica. 2004; 42(2) : 187-192.
31. Norikane J.H., Kurata K. Water stress detection by monitoring fluorescence of plants under ambient light, Trans.ASAE. 2001; 44(6) : 1915-1922.

References

1. Alieva M.Yu., Mammaev A.T., Magomedova M.Kh. -M., Pinyaskina E.V. Study of chlorophyll fluorescence parameters of woody plants under conditions of various transport loads, Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014; 16(1-3) : 701-704.
2. Berezina V.Yu., Gurova T.A. Automated complex of measuring equipment for assessing plant resistance to environmental stress factors, Achievements of Science and Technology of AICis. 2006; 11 : 15-17.
3. Budagovskaya O.N., Budagovsky A.V., Budagovsky I.A., Goncharov S.A. Complex diagnostics of the functional state of plants, Scientific foundations of effective gardening, Proceedings of the I.V. Michurin VNIIS. Voronezh: Kvant, 2006; 101-110.
4. Budagovskaya O.N. New optical methods and devices for quantitative assessment of the adaptive potential of garden plants, Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2001; 28 : 74-79.

5. Buchelnikov M.A. Delayed chlorophyll fluorescence in bioindication of air pollution. Abstract of the cand. dis. Krasnoyarsk, 1998.
6. Vasileiko M.V., Belous O.G. The level of chlorophyll fluorescence in mandarin plants during non-root treatments with growth regulators, *Subtropical and ornamental horticulture*. 2022; 80 : 103-111. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-80-103-110.
7. Velikiy A.V. Photosynthetic activity of mature tea leaves in the early spring period against the background of the use of various fertilizers in the subtropical conditions of Russia, *Subtropical and ornamental horticulture*. 2020; 74 : 105-111. DOI: 10.31360/2225-3068-2020-74-105-11.
8. Veselovsky V.A., Veselova T.V. Luminescence of plants. Theoretical and applied aspects. Moscow: Nauka, 1990, 200 p.
9. Goltsev V.N., Kalaji H.M., Paunov M. et al. The use of variable chlorophyll fluorescence to assess the physiological state of the photosynthetic apparatus of plants, *Plant Physiology*. 2016; 63(6) : 881-907. DOI: 10.7868/S0015330316050055.
10. Grigoriev Yu.S., Gaevsky N.A. Fluorescent methods in the analysis of ecological stress of plants. In: *Ecological Biophysics*. Moscow: Lagos, 2002; 238-283.
11. Gunar L.E., Myakinkov A.G., Karavaev V.A. Changes in fluorescent and physiological parameters of barley plants under the action of epin, zircon and gibberellin, *Forestry Bulletin*. 2004; 34 : 132-136.
12. Kanash E.V., Shirokova N.A. Diagnostics of resistance of varieties to the action of unfavorable environmental factors by the indicator of delayed fluorescence. In: *Agrophysics of the 21st Century*. St. Petersburg, 2002; 138-142.
13. Karavaev V.A., Belogradov I.O., Kukushkin A.K. Slow induction of fluorescence and CO₂-gas exchange of bean leaves in the presence of diuron, *Biophysics*. 1989; 34(4) : 710.
14. Kiseleva N.S., Pashchenko O.I. Variable chlorophyll fluorescence as an indicator of photosynthetic activity of the assimilation apparatus and the skin of fruits of pear varieties and hybrids, *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2017; 49 : 145-151.
15. Kovaleva O.A. The influence of UVR on the photodynamic characteristics of variable fluorescence and the content of flavonoids in potato leaves: Questions of natural science: collection of scientific articles of students, undergraduates, postgraduates and young scientists fac. Natural Sciences. Mn.: BSPU, 2007; 44-45.
16. Korneev D.Yu. Information possibilities of the chlorophyll fluorescence induction method. Kiev: Altenpress, 2002, 188 p.
17. Kuklev M.Yu., Fesenko I.A., Karlov G.I. Development of a fluorescent test system for detecting tomato forms resistant to verticilliosis, *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2006; 4 : 115-119.
18. Kunina V.A., Belous O.G. The state of photosynthetic pigments of leaves of woody plants in an urban environment, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2020; 6(72) : 108-118. DOI: 10.37279/2413-1725-2020-6-2-108-118.
19. Kunina V.A., Belous O.G. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic indicator of the functional state of urban environment plantings (on the example of the central district of Sochi), *Introduction, conservation and use of biological diversity of flora. Materials of the international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus*. In 2 parts. Editorial Board: V.V. Titok [et al.]. Minsk, 2022; 400-402.
20. Mokronosov A.T., Nekrasova G.F. Metabolic aspects of transitional states of photosynthesis in the introduction period, *Plant physiology*. 1966; 13(3) : 385-397.
21. Moskvina O.V., Novichkova N.S., Ivanov B.N. Induction of chlorophyll a fluorescence in clover leaves grown with different nitrogen nutrition and different light intensities, *plant physiology*. 1998; 45(3) : 413-418.

22. Mokhno V.S., Pashchenko O.I. possibilities of selection of stable forms of freesia by parameters of slow induction of chlorophyll fluorescence, *Subtropical and ornamental horticulture*. 2012; 46 : 75-82.
23. Mochalkin A.I., Alekseev S.I., Sokolov M.S., Mochalkina K.I. Changing the nature of photoinduced glow of plants under the action of herbicides, *Chemistry in Agriculture*. 1969; 7(12) : 47-52.
24. Nesterenko T.V., Tikhomirov A.A., Shikhov V.N. Induction of chlorophyll fluorescence and assessment of plant resistance to adverse effects, *Biology Bulletin Reviews*. 2007; 68(6) : 444-458.
25. Osipov V.A., Abdurakhmanov G.M., Gadzhiev A.A., etc. The use of chlorophyll *a* fluorescence for biotesting the aquatic environment, *South of Russia: ecology, development*. 2012; 2 : 93-100.
26. Georgieva K.M. Influence of high temperature on the photosynthetic activity in two pea cultivars, *Докл. Българ.АН*. 2000; 53(6) : 95-97.
27. Havaux M., Lannoye R. Chlorophyll fluorescence induction: a sensitive indicator of water stress in maize plants, *Irrigation Science*. 1983; 4(2) : 147-151.
28. Krause G.H., Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics, *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*. 1991; 42 : 313-349.
29. Lichtenthaler H.K., Rindere U. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plant, *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 1988; 19(1) : 29-85.
30. Lootens P., Van Waes J., Carlier L. Effect of a short photoinhibition stress on photosynthesis chlorophyll *a* fluorescence and pigment contents of different maize cultivars. Can a rapid and objective stress indicator be found?, *Photosynthetica*. 2004; 42(2) : 187-192
31. Norikane J.H., Kurata K. Water stress detection by monitoring fluorescence of plants under ambient light, *Trans.ASAE*. 2001; 44(6) : 1915-1922.

**APPLYING CHLOROPHYLL FLUORESCENCE
FOR DIAGNOSING THE FUNCTIONAL STATE OF PLANTS
(literature review)**

Kunina V.A.

*Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia; e-mail: ryndina.v@mail.ru*

The purpose of this paper is to evaluate the possibility of using chlorophyll fluorescence in order to diagnose the functional state of plants and their response to stress factors. It is shown that the reaction of certain species to the action of stress factors takes place not only at the morphological level, but also at the physiological and biochemical ones. Physiological and biochemical indicators reflect all major functional disorders and are more sensitive to adverse natural and anthropogenic factors. The activity of photosynthetic apparatus in plants (PAP) at the leaf level is the most important functional indicator of their state. Currently, due to the rapid changes that are taking place in the biosphere, particularly acute is the issue of developing new methods in operational monitoring of the environment with the ability to assess and describe the functional state of plants. It is no coincidence that more than 80 % of optical methods used to assess the functional state of

plants are based on chlorophyll fluorescence induction. The most commonly used, operational and sensitive method is the measurement of chlorophyll fluorescence intensity with registration of certain characteristics for chlorophyll fluorescence induction (CFI). An important role in the study of chlorophyll fluorescence and the development of a method for diagnosing plants condition was given in the research carried out by Michurinsky scientists. The method developed by them is also successfully used in research conducted on the basis of FRC SSC of RAS. The method is characterized by high informativeness and versatility, it is marked by high speed of analysis in the absence of time-consuming operations. And above all, the method is distinguished by the non-destructive nature of measurements. Due to this, it can be used to assess the productivity and plants' needs in micro- and macronutrient nutrition, the effects of soil drought and salinity, low and high temperatures, as well as in order to optimize growing conditions for plants and planting material, identify varieties resistant to diseases and study the reaction of photosynthetic apparatus in plants to abiotic stress, etc.

Key words: chlorophyll fluorescence, leaf, photosynthetic apparatus, stress, functional state, diagnostics.

УДК 633.72 : 581.19

doi: 10.31360/2225-3068-2022-83-167-180

ФЕНОЛОМ ЧАЯ СОРТА 'КОЛХИДА', ПРИ ЕГО ФЕРМЕНТАЦИИ В БЕСКИСЛОРОДНОЙ СРЕДЕ

Платонова Н.Б., Белоус О.Г.

*Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»,
г. Сочи, Россия, e-mail: oksana191962@mail.ru*

В статье приводится анализ фенольного комплекса (фенолома) готового чая, произведённого из растений сорта 'Колхида'. Исследование по изучению влияния различных способов переработки чайного сырья в готовый напиток проведено на базе лаборатории физиологии и биохимии растений Федерального исследовательского центра «Субтропический научный центр Российской академии наук». Установлено, что озонирование сырья усиливает ферментацию компонентов танино-катехинового комплекса с образованием флавоноидов, что способствует усилению синтеза ароматических компонентов, обеспечивая появление отличительных признаков чёрного чая (аромат напитка, цвет и яркость настоя, его крепость и насыщенность). При различных условиях производства чая по технологии Габа, количество теафлавинов и теарубигинов в Габа тёмной в связи с наличием процесса ферментации в 2,3 раза больше, чем в Габа светлой. При удлинении времени ферментации в кислородной камере с 7 до 24 часов содержание флавоноидов увеличивается (TFs – 0,032–0,048 мг/г и TRs – 0,132–0,528 мг/г, соответственно). Выдерживание сырья в камере, заполненной CO₂, ускоряет процесс окисления теафлавинов в теарубигины ещё до