

Метод оценки пигментного комплекса древесных растений как индикатор адаптации к засушливым условиям

Александра Викторовна СЕМЕНЮТИНА

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, зав. лабораторией
Волгоград, Россия
doksemenutina@mail.ru

Алия Шамильевна ХУЖАХМЕТОВА

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Волгоград, Россия
aliyasham@mail.ru

Виктория Алексеевна СЕМЕНЮТИНА

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
научный сотрудник
Волгоград, Россия
VSem89@mail.ru

Игорь Петрович СВИНЦОВ

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник – консультант
Волгоград, Россия
igorsvintsov@yandex.ru

Аннотация

Актуальность темы исследований связана с подбором адаптированного генофонда деревьев и кустарников для обогащения лесомелиоративных комплексов деградированных ландшафтов в условиях действия стресс-факторов. Опыт интродукции в аридном поясе России показал, что из нескольких тысяч таксонов испытанных деревьев и кустарников способны успешно произрастать чуть более трехсот. Для решения проблемы научно-обоснованного подбора ассортимента для обогащения дендрофлоры с учетом лимитирующих стресс-факторов роста и развития растений в различных экологических условиях необходимо проводить специальные эксперименты с глубоким обобщением и анализом полученных результатов. Результаты эксперимента напрямую зависят от эффективности используемых методов.

Цель исследований – провести сравнительную оценку и установить различия в состоянии пигментного комплекса под воздействием стресс-факторов с использованием современного портативного флавонид- и хлорофиллометра DUALEX SCIENTIFIC+.

В статье рассмотрена возможность определения устойчивости растительных организмов к стресс-факторам по пигментному комплексу. На основе сравнительной оценки количественных измерений хлорофилла а и b, каротиноидов, антоцианов листьев в полевых условиях с использованием современного портативного флавонид- и хлорофиллометра DUALEX SCIENTIFIC+ выявлены закономерности изменения содержания пигментного комплекса, отражающие адаптационные возможности растений.

Объектами исследований являлись представители видового, формового и сортового разнообразия деревьев и кустарников коллекционного фонда ФНЦ агроэкологии РАН, произрастающих в Кластерном дендрологическом парке ВНИАЛМИ (34:34:060061:10; ФГУП «Волгоградское», 34:34:000000:122).

Представлен анализ апробации полевого метода оценки пигментного комплекса (хлорофилл а и b, каротиноиды, антоцианы), на базе спектров оптических длин волн в здоровых растениях приемлемый для получения количественных данных в пространственных и временных масштабах. Полученные материалы согласуются с зарубежными исследованиями и отмечают варьирование содержания пигментного комплекса под действием экологических факторов в период вегетации. Установлен диапазон содержания хлорофилла а+б у древесных видов от 11,50 до 46,95 мг/см². Выявлены различия на действие стресс-факторов (температура воздуха – 34,42-35,48 °С, влажность воздуха – 15,5-16,0 %) по содержанию флавоноидов (у деревьев от 0,41 до 2,19 мг/см², кустарников – от 0,82 до 2,08 мг/см² и антоцианов (от 0,08 до 0,29 мг/см²). Проведенный анализ динамики пигментного комплекса позволил выделить перспективные группы растений (виды, формы, сорта) по их адаптивности к различным неблагоприятным воздействиям окружающей среды.

Ключевые слова

пигментный комплекс, стресс-факторы, адаптация, деревья, кустарники, биоразнообразие, обогащение дендрофлоры, критерии отбора, защитные лесные насаждения.

Введение

Состав существующих защитных лесных экосистем в степи и полупустыне дендрологически бедный. В системе мер по стабилизации и оздоровлению экологической обстановки, рациональному использованию и охране земельных ресурсов в районах с низкой лесистостью (3-5%) и бедным видовым составом естественной дендрофлоры одно из ведущих мест принадлежит защитному лесоразведению, которое основано на применении интродуцированных пород. В связи с этим разработка методов восстановления биоресурсов и деградирующих компонентов ландшафта, в частности почвенного плодородия с помощью обогащения дендрофлоры хозяйственно ценными растениями, имеет большое значение в аридных регионах [2, 7].

Из-за возросшей в последние годы антропогенной нагрузки требуется пересмотр и обновление используемого генофонда древесных растений [7]. Крайне неблагоприятные для растений условия обуславливают актуальность проведения комплексных исследований по выявлению механизмов адаптации древесных видов к стресс-факторам, т.е. к сильно действующим факторам внешней среды, способных вызвать в организме повреждения или даже привести к гибели [3, 4, 5].

Стресс – это интегральный неспецифический ответ растения на повреждающее действие, направленный на выживание организма за счет мобилизации и формирования защитных систем. Способность растений переносить действие неблагоприятных факторов и давать в таких условиях потомство называют устойчивостью или стресс-толерантностью. Устойчивость является конечным результатом адаптации [3, 8].

Наиболее распространенными неблагоприятными для растений факторами в условиях Волгоградской области являются засухи, высокие и низкие температуры, ультрафиолетовая радиация, загрязнения ионами тяжелых металлов, фитопатогены.

Пигменты растений (хлорофилл, каротиноиды, антоцианы) выполняют защитные функции, предохраняют растения от различных неблагоприятных воздействий. В засушливых условиях (повышенные температуры, сухость воздуха и почвы) изменяется прочность связей, происходит деструкция хлоропластов, нарушается синтез хлорофилла. Установлено, что флавонолы и антоцианы предохраняют хлорофилл и цитоплазму клеток от разрушения [1, 9]. Многие авторы указывают, что антоцианы проявляют себя и обеспечивают антиоксидантные функции и защиту от патогенов [3, 4]. Состояние пигментного комплекса влияет на устойчивость растительных организмов к стрессу.

Существует множество различных методов, которые были разработаны для оценки содержания пигментов, сохраняя образец листа неповрежденным. Они обычно ориентированы на получение содержания хлорофилла или использования содержания хлорофилла для моделирования других

биохимических процессов (как правило, содержание азота). Разработаны способы моделирования каротиноидов или антоцианов с использованием полевых методов на базе спектров оптических длин волн в здоровых растениях [10, 13, 15].

В последние годы приобрели актуальность исследования содержания растительных пигментов с использованием спектров отражения для получения количественных данных в пространственных и временных масштабах. За рубежом развиты в широком диапазоне экосистем исследования в области моделирования наземных пигментов растений и их диагностических функций с использованием оптических методов дистанционного зондирования [11, 14, 15, 16-18].

В связи с вышеизложенным, целью наших исследований является сравнительная оценка и установление различий в состоянии пигментного комплекса под воздействием стресс-факторов с использованием современного портативного флуориметра и хлорофиллометра DUALEX SCIENTIFIC+.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований является видовое, формовое и сортовое разнообразие представителей родовых комплексов *Quercus*, *Gleditsia*, *Robinia*, *Populus*, *Fraxinus*, *Acer*, *Tilia*, *Sorbus*, *Catalpa*, *Salix*, *Betula*, *Sorbus*, *Rosa*, *Berberis*, *Ribes*, *Chaenomeles*, *Ligustrum*, *Cotinus*, *Spiraea*, *Rhus*, *Mahonia*, *Cotoneaster*, *Crataegus*, *Amorpha*, *Corylus*, *Zizyphus* коллекционного фонда ФНЦ агроэкологии РАН, произрастающих в Кластерном дендрологическом парке ВНИАЛМИ (34:34:060061:10; ФГУП «Волгоградское», 34:34:000000:122) (рисунки 1).



Рисунок 1. Схема расположения объектов исследований

Природные особенности района исследований. Южная часть Советского района г. Волгограда. Зона сухих степей, юго-восток Восточно-Европейской (Русской) равнины, Ергенинская возвышенность, правый берег р. Волга.

Рельеф ровный с уклоном 3°, почвы светло-каштановые, среднесуглинистые, сформированные на делювиальном наносе, состоящем из песков, залегающих однородной массой с глубины одного метра, количество гумуса – 0,7-1,2 %. Грунтовые воды залегают на глубине 3-4 м, содержание солей в пределах допустимой нормы.

Сумма положительных средних суточных температур воздуха за период с температурой выше 10 °С составляет 2800€-3200€С, осадков на этот же период выпадает 175-200 мм. Количество осадков 350 мм в год. Зима умеренно холодная. Абсолютный минимум температуры –37 °С. Устойчивый снежный покров образуется в декабре. Средняя высота снежного покрова 15-20 см. Лето жаркое, сухое, пыльное. Средняя температура июля 22°-24,2 °С. Абсолютный максимум температуры 40°-43°С. Средняя продолжительность безморозного периода 148-170 дней. Часто наблюдаются засухи и суховеи. Высота над уровнем моря 29 м. 46° 38 с.ш., 44°26 в.д.

Использовалось оборудование (DUALEX SCIENTIFIC+), предназначенное для выявления адаптивных стратегий древесных растений к стресс-факторам, оценки биологического потенциала и эколого-хозяйственной пригодности генофонда деревьев и кустарников.

Устройство DUALEX Scientific является прибором сбора данных при проведении исследований в области флуоресценции и оптоэлектроники, которое связывает экофизиологию с сельским хозяйством. Измерения проводят в течение вегетационного периода в дендрологических коллекциях (рисунок 2).

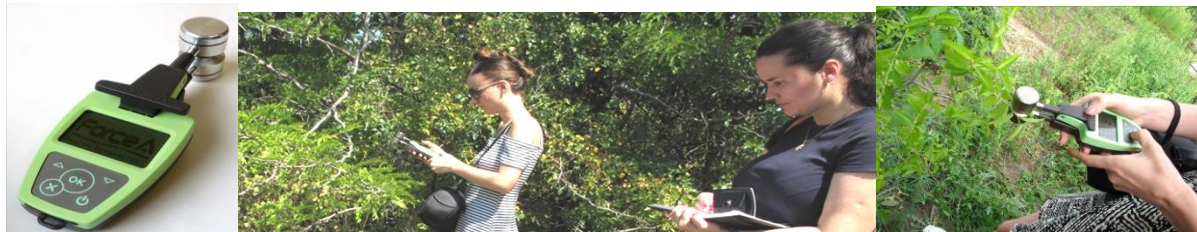


Рисунок 2. Применение DUALEX SCIENTIFIC в полевых условиях

Измеряемый материал: листья растений. Измеряемые параметры: поглощение света при УФ-длине волны (содержание флавонола); поглощение света при длине волны зеленой области видимого спектра (содержание антоцианов); передача света при длине волн ближнего ИК-диапазона (содержание хлорофилла) (рисунок 3).

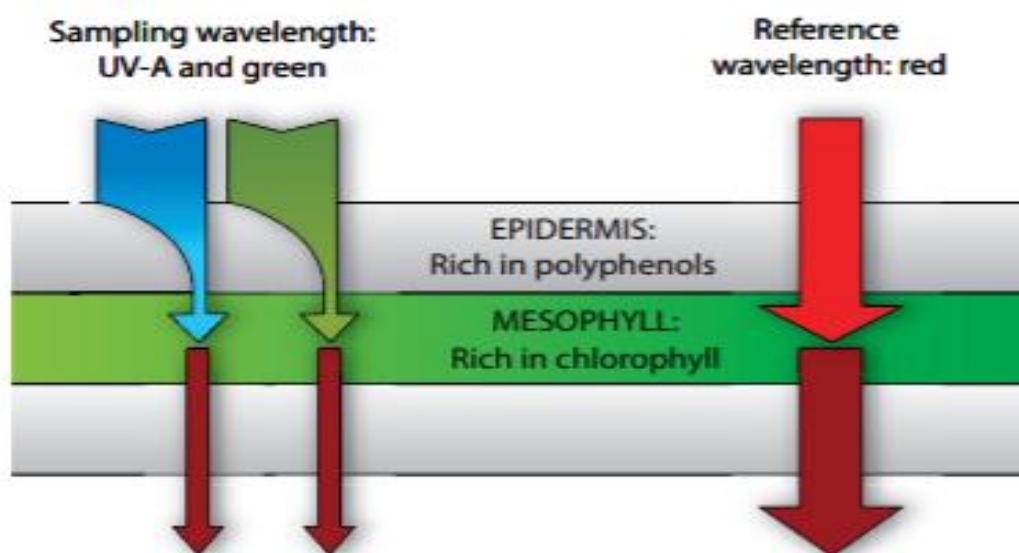


Рисунок 3. Принцип измерения флуоресценции, излучаемой хлорофиллом [19]

Этот метод базируется на функции спектрального поглощения, которая связана с содержанием пигмента растения через отражательную способность или пропускание. Неразрушающие методы широко используются, потому что они предоставляют возможности для получения содержания пигмента, когда аналитическое решение невозможно из-за недостатка времени (во время обширных полевых исследований), удаленности доступа к лабораторным установкам, высокой стоимости лабораторных методов.

Результаты и обсуждение

Многие исследователи отмечают варьирование содержания пигментного комплекса под действием экологических факторов в период вегетации [1, 5, 12, 14]. Они выявили, что во время стресса или старения растительности отношение каротиноидов к хлорофиллу увеличивается. Esteban et al. [12] выявили, что пигменты лютеина, ксантофилла и общий хлорофилл очень чувствительны к стрессу (низкая температура, засуха и охлаждение), тогда как другие, такие как неоксантин, были более стабильными. Каротиноиды участвуют в синтезе абсцизовой кислоты, который отвечает за

запуск механизма устьичного закрытия и способствуют стабилизации адаптационных возможностей организмов к стресс-факторам.

Под действием значительной сухости воздуха и высокой температуры повышается ксероморфность растений, как важный показатель их адаптации к аридным условиям. Это согласуется с анализом содержания биологически активных веществ – флавоноидов и хлорофиллов (таблица 1).

Таблица 1. Сезонная динамика пигментного комплекса видового, формового разнообразия деревьев (по измерениям содержания в листьях хлорофилла, флавоноидов, антоцианов устройством DUALEX SCIENTIFIC)

Виды	Содержание, мкг/см ²		
	хлорофилл	флавоноиды	антоцианы
август 2017			
<i>Juglans sieboldiana Maxim.</i>	<u>15,74±0,57*</u> 14,62-17,94	<u>2,05±0,035</u> 2,029-2,112	<u>0,263±0,018</u> 0,244-0,283
<i>Celtis australis L.</i>	<u>13,78±0,53</u> 12,56-15,01	<u>1,835±0,149</u> 1,724-2,029	<u>0,213±0,010</u> 0,191-0,238
<i>Quercus robur L.</i>	<u>25,69±1,13</u> 22,18-28,20	<u>1,23±0,037</u> 1,139-1,389	<u>0,172±0,009</u> 0,156-0,194
<i>Populus tremula L.</i>	<u>23,66±1,12</u> 22,59-24,83	<u>2,02±0,017</u> 2,000-2,035	<u>0,121±0,011</u> 0,110-0,131
<i>Populus bolleana</i>	<u>26,05±1,91</u> 25,31±27,48	<u>1,19±0,038</u> 1,447-1,658	<u>0,217±0,009</u> 0,205-0,252
<i>Fraxinus lanceolata Borkh.</i> ♀	<u>32,71±1,43</u> 31,52-33,81	<u>0,41±0,007</u> 0,401-0,412	<u>0,132±0,008</u> 0,123-0,137
<i>Fraxinus lanceolata Borkh.</i> ♂	<u>25,00±1,20</u> 23,79-26,33	<u>1,53±0,03</u> 1,510-1,546	<u>0,179±0,004</u> 0,175-0,182
<i>Fraxinus pennsylvanica March.</i>	<u>24,70±1,38</u> 22,77-26,68	<u>1,87±0,062</u> 1,812-1,916	<u>0,206±0,010</u> 0,170-0,224
<i>Sorbus aucuparia L.</i>	<u>30,50±0,639</u> 30,65-29,81	<u>1,92±0,007</u> 1,798-2,017	<u>0,167±0,004</u> 0,162-0,170
<i>Sorbus aucuparia L.</i> ф. крупноплодная	<u>30,23±0,56</u> 29,69-30,82	<u>2,17±0,009</u> 2,163-2,178	<u>0,185±0,007</u> 0,177-0,191
<i>Sorbus hybrida L.</i>	<u>37,56±1,79</u> 35,99-39,16	<u>1,84±0,018</u> 1,829-1,862	<u>0,110±0,005</u> 0,102-0,118
<i>Aesculus hippocastanum L.</i>	<u>23,46±1,92</u> 20,98-24,72	<u>2,19±0,104</u> 2,022±2,312	<u>0,195±0,021</u> 0,174-0,220
<i>Betula borysthena Klok.</i>	<u>27,26±0,97</u> 24,40-30,56	<u>1,80±0,067</u> 1,775-1,824	<u>0,145±0,005</u> 0,142-0,202
<i>Tilia platyphyllos Scop.</i>	<u>28,04±0,71</u> 23,82-28,54	<u>1,54±0,058</u> 1,317-1,820	<u>0,159±0,006</u> 0,140-0,177
<i>Tilia cordata Mill.</i>	<u>25,55±1,21</u> 23,84-27,22	<u>1,66±0,040</u> 1,632-1,729	<u>0,150±0,006</u> 0,131-0,161
<i>Acer negundo L.</i>	<u>24,95±1,16</u> 23,14-27,49	<u>0,89±0,39</u> 0,622-0,853	<u>0,101±0,028</u> 0,078-0,161
<i>Catalpa bignonioides Walt.</i>	<u>19,40±0,09</u> 19,31-19,50	<u>1,88±0,064</u> 1,828-1,946	<u>0,193±0,010</u> 0,179-0,200
<i>Salix babylonica L.</i>	<u>30,20±0,74</u> 29,96-33,03	<u>1,70±0,034</u> 1,649-1,833	<u>0,155±0,007</u> 0,153-0,159
Температура воздуха, С	34,42-35,48		
Влажность воздуха, %	15,50-16,00		

* В числителе – среднее значение и стандартное отклонение значений; в знаменателе – минимальное и максимальное значение.

Диапазон хлорофиллового содержания у деревьев составил от 11,50 до 43,55 мг/см². Установлено, что среднее содержание хлорофилла в пределах 20-30 мг/см² имеют 48% изучаемых видов деревьев (*Quercus robur* L., *Gleditsia triacanthos* L., *Robinia luxurians* (Dieck) S.K. Schneid., *R. viscosa* Vent., *Populus bolleana* Lauche., *Fraxinus lanceolata* Borkh., *F. pemisylvanica* March., *Acer negundo* L., *Tilia cordata* Mill., *Sorbus hybrida* L.) и более 30 мг/см² – 40 % (*Gleditsia triacanthos* L., *G. texana* Sarg., *Robinia pseudoacacia* L., *Fraxinus lanceolata* Borkh., *Catalpa bignonioides* Walt., *Salix babylonica* L., *Betula borysthenica* Klok., *Sorbus aucuparia* L.).

Сравнительная эколого-физиологическая оценка на примере видов родовых комплексов *Gleditsia*, *Robinia* показала, что водоудерживающая способность листьев под воздействием стресс-факторов (температура воздуха 40-44 °С, влажность воздуха 15%) изменялась незначительно, что коррелирует с их засухоустойчивостью (рисунок 4).

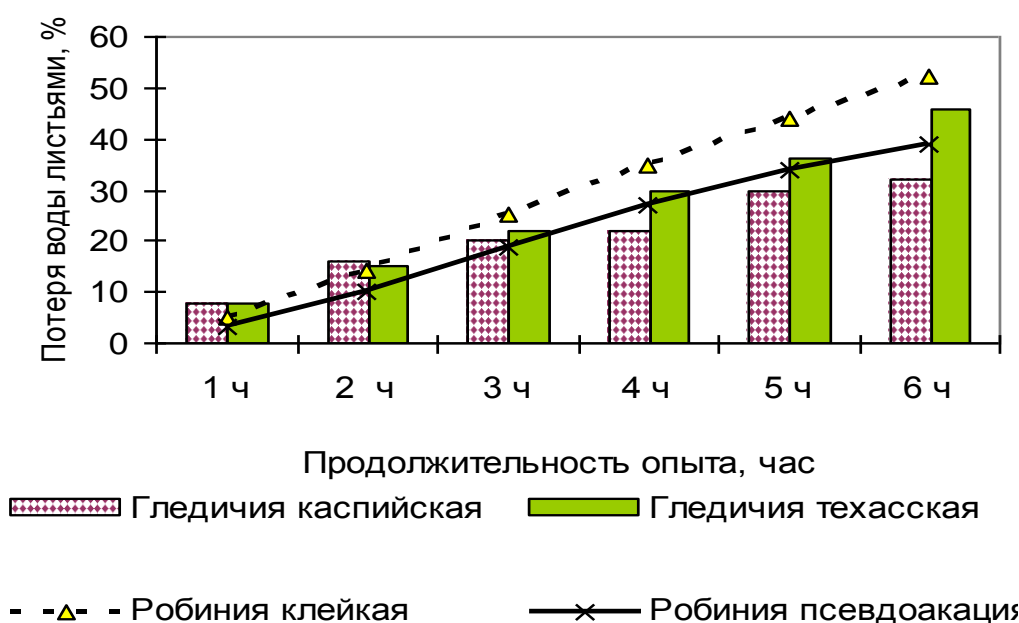


Рисунок 4. Водоудерживающая способность листьев у видов *Gleditsia*, *Robinia* (светло-каштановые почвы, июль 2017)

При длительном действии засухи интенсивность фотосинтеза резко снижается, нарушается синтез хлорофилла и структура хлоропластов. Хлоропласты обладают большей устойчивостью к водному дефициту – при сильном обезвоживании медленнее теряют воду, чем вся клетка. Это можно рассматривать как приспособление фотосинтетического аппарата к засухе (таблица 2).

Таблица 2. Показатели пигментного комплекса видового разнообразия *Gleditsia*, *Robinia* (по измерениям содержания в листьях хлорофилла (Chl), флавоноидов (Flan), антоцианов (Anth) устройством DUALEX SCIENTIFIC)

Виды	Содержание, мг/см ²					
	хлорофилл		флавоноиды		антоцианы	
	VII	VIII	VII	VIII	VII	VIII
ФГУП «Волгоградское»						
<i>Gleditsia caspica</i>	<u>41,51±1,81</u> 41,10-41,92	<u>31,10±0,41</u> 30,90-31,72	<u>1,43±0,05</u> 1,40-1,46	<u>1,55±0,01</u> 1,54-1,55	<u>0,09±0,01</u> 0,08-0,10	<u>0,14±0,002</u> 0,13-0,14
<i>G. texana</i>	<u>32,82±1,65</u> 31,21-34,43	<u>25,43±1,15</u> 25,07-27,75	<u>1,62±0,13</u> 1,48-1,74	<u>1,15±0,05</u> 1,07-1,24	<u>0,16±0,06</u> 0,11-0,23	<u>0,19±0,005</u> 0,17-0,22
<i>G. triacanthos</i>	<u>42,31±1,61</u> 40,10-43,99	<u>31,93±0,82</u> 31,34-32,51	<u>1,48±0,03</u> 1,41-1,52	<u>1,53±0,07</u> 1,47-1,58	<u>0,08±0,01</u> 0,07-0,09	<u>0,15±0,008</u> 0,14-0,17
<i>Robinia viscosa</i>	<u>34,38±2,08</u> 32,76-36,72	<u>34,85±1,70</u> 34,24-35,45	<u>1,55±0,08</u> 1,50-1,65	<u>1,66±0,06</u> 1,60-1,72	<u>0,11±0,01</u> 0,09-0,12	<u>0,15±0,008</u> 0,15-0,16
<i>R. pseudoacacia</i>	<u>36,20±1,49</u> 34,50-37,92	<u>20,45±1,00</u> 19,20-21,41	<u>1,82±0,09</u> 1,80-1,84	<u>1,29±0,07</u> 1,21-1,40	<u>0,11±0,07</u> 0,11-0,12	<u>0,22±0,012</u> 0,21-0,23
Температура воздуха, С			38,49-38,94	34,42-35,48		
Влажность воздуха, %			20,60-21,20	15,50-16,00		

В наших опытах представители *Gleditsia*, *Robinia* варьируют в течение вегетации под воздействием стресс-факторов по показателям пигментного комплекса, что является индикатором их адаптации к засушливым условиям (рисунок 5).

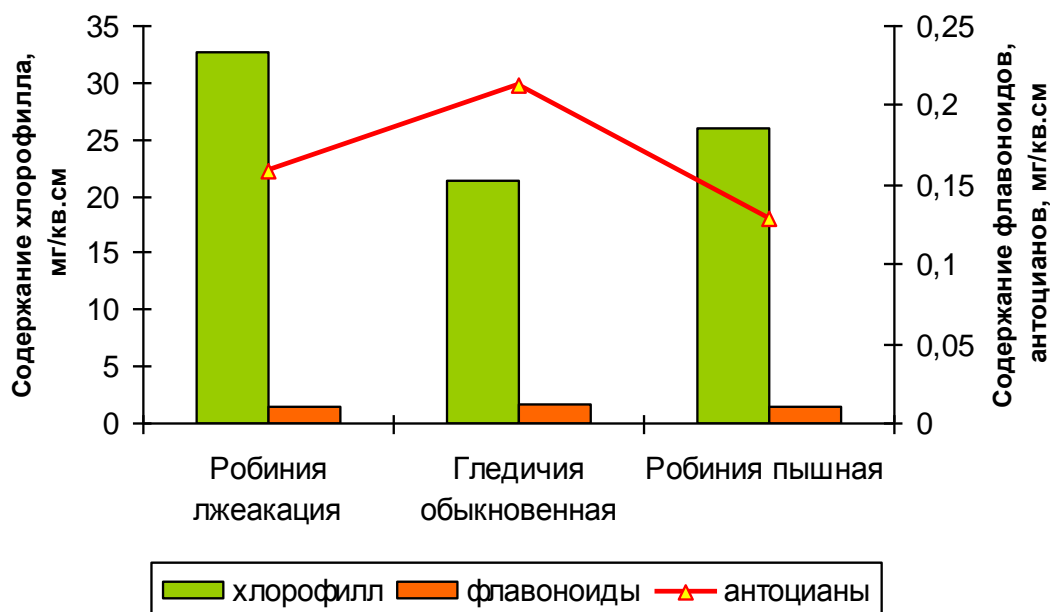


Рисунок 5. Эколого-физиологическая оценка видового разнообразия *Gleditsia*, *Robinia* (август 2017; температура воздуха 36°С, влажность воздуха – 30%)

В июле-августе диапазон содержания хлорофилла a+b у кустарников составил от 12,70 до 46,95 мг/см² (таблица 3).

Таблица 3. Сезонная динамика пигментного комплекса видового, формового разнообразия кустарников

Виды	Содержание, мкг/см ²		
	хлорофилл а+b	флавоноиды	антоцианы
Июль 2017			
<i>Cotoneaster lucidus</i>	<u>29,87±0,38</u> 29,94-30,21	<u>2,04±0,030</u> 2,011-0,072	<u>0,205±0,006</u> 0,198-0,209
<i>Berberis vulgaris</i> L., <i>vulgaris</i> L. var. <i>purpurea</i>	<u>26,67±0,98</u> 25,06-27,56	<u>1,73±0,075</u> 1,647-1,787	<u>0,891±0,060</u> 0,822-0,931
<i>Amorpha fruticosa</i>	<u>37,43±0,56</u> 36,86-37,98	<u>1,83±0,045</u> 1,790-1,880	<u>0,135±0,004</u> 0,130-0,139
<i>Cotinus coggygria</i>	<u>20,65±0,71</u> 17,53-24,82	<u>2,08±0,083</u> 1,988-2,227	<u>0,197±0,022</u> 0,177-0,220
<i>Spiraea vanhouttei</i>	<u>28,44±0,95</u> 23,64-30,82	<u>2,08±0,012</u> 2,071-0,097	<u>0,206±0,003</u> 0,203-0,209
<i>Crataegus douglasii</i>	<u>38,05±1,93</u> 36,31-39,80	<u>1,85±0,038</u> 1,801-1,879	<u>0,159±0,008</u> 0,151-0,170
<i>Caragana arborescens</i>	<u>28,45±1,34</u> 26,41-30,66	<u>1,68±0,064</u> 1,541-1,837	<u>0,187±0,008</u> 0,145-0,169
<i>Ligustrum vulgare</i>	<u>46,82±0,75</u> 45,95-47,27	<u>1,53±0,001</u> 1,530-1,532	<u>0,093±0,004</u> 0,087-0,103
Температура воздуха, С	32,80-34,00		
Влажность воздуха, %	20,60-22,50		
август 2017			
<i>Berberis vulgaris</i>	<u>26,61±1,21</u> 20,75-26,74	<u>2,009±0,025</u> 2,000-2,017	<u>0,232±0,010</u> 0,224-0,240
<i>Berberis vulgaris</i> L. var. <i>purpurea</i>	<u>20,82±1,06</u> 20,44-21,02	<u>1,998±0,065</u> 1,927-2,053	<u>1,340±0,056</u> 1,254-1,481
<i>Cotoneaster lucidus</i>	<u>37,17±1,40</u> 36,32-38,01	<u>2,04±0,089</u> 1,937-2,105	<u>0,203±0,004</u> 0,200-0,207
<i>Ribes aureum</i>	<u>27,82±1,06</u> 28,26-32,95	<u>1,40±0,011</u> 1,390-2,148	<u>0,160±0,008</u> 0,156-0,207
<i>Amorpha fruticosa</i>	<u>37,67±0,16</u> 37,54-37,85	<u>0,82±0,011</u> 0,809-0,828	-
<i>Chaenomeles maulei</i>	<u>28,49±0,72</u> 25,36-30,34	<u>1,87±0,025</u> 1,867-1,903	<u>0,199±0,008</u> 0,178-0,212
Температура воздуха, С	34,42-35,48		
Влажность воздуха, %	15,50-16,00		

* В числителе – среднее значение и стандартное отклонение значений; в знаменателе – минимальное и максимальное значение.

Изученные виды по стабильности содержания пигментного комплекса в течение вегетации под воздействием стресс-факторов распределились на три группы: с высокой, средней и слабой степенью адаптации. Установлена сопряженность показателей пигментного комплекса с состоянием коллоидно-осмотических свойств протоплазмы (высокая – относительный выход электролитов 1,4-1,7; средняя – 2,2-3,0; слабая – 3,7-4,0).

Около 40 % видов кустарников приходятся на группу со средним содержанием хлорофилла 20-30 мг/см² (*Rosa spinosissima* L., *Berberis vulgaris* L., *vulgaris* L. var. *purpurea* Bert., *Ribes aureum* Pursh., *Chaenomeles maulei* (Mast.) C. K. Schneid., *Ligustrum vulgare* L., *Rosa canina* L., *Cotinus coggygria* Scop., *Spiraea vanhouttei* (Briot.) Zab., *Rhus aromatica* Ait.). У более 40% видов содержание хлорофилла а+b превышает 30 мг/см² (*Mahonia aquifolium* Nutt., *Rosa canina* L., *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Crataegus*

rotundifolia Moench., C. submollis Sarg., Amorpha fruticosa L., Rosa beggerana Schrenk., Corylus pontica C. Koch, Zizyphus jujube Mill.). В июле-августе диапазон содержания флавоноидов составил: у деревьев от 0,41 до 2,19 мг/см², кустарников – от 0,82 до 2,08 мг/см². Содержание антоцианов варьировало от 0,08 до 0,29 мг/см².

Морфологические параметры листьев определяют развитие и адаптацию к факторам среды ассимиляционного аппарата и влияют на особенности биологического потенциала сортов. Отмечена тесная связь между количественным содержанием пигментов в листьях растений и их биологическими особенностями, связанные со структурной организацией листа, его толщиной и площадью. Установлена разная отзывчивость пигментов на действие стресс-факторов у сортовых растительных организмов (таблица 4).

Таблица 4. Эколого-физиологическая оценка сортов фундука (по измерениям содержания в листьях хлорофилла (Chl), флавоноидов (Flan), антоцианов (Anth) устройством Dualex scientific, 2017, средняя часть кроны)

Виды	Содержание, мг/см ²					
	хлорофилл a+b		флавоноиды		антоцианы	
	VII	VIII	VII	VIII	VII	VIII
Футкурами	<u>34,30±1,68</u>	<u>39,94±1,65</u>	<u>0,97±0,04</u>	<u>1,69±0,09</u>	<u>0,09±0,003</u>	<u>0,10±0,004</u>
	33,38-35,23	38,86-41,02	0,93-1,02	1,63-1,76	0,08-0,09	0,09-0,10
Президент	<u>33,85±1,88</u>	<u>40,75±1,84</u>	<u>1,24±0,09</u>	<u>1,56±0,06</u>	<u>0,09±0,004</u>	<u>0,10±0,004</u>
	31,65-36,05	39,18-42,77	0,80-1,24	1,49-1,61	0,08-0,09	0,09-0,10
Черкесский-2	<u>29,08±1,96</u>	<u>25,73±1,37</u>	<u>0,91±0,54</u>	<u>1,92±0,07</u>	<u>0,12±0,05</u>	<u>0,22±0,03</u>
	27,03-30,95	24,19-26,82	1,19-2,15	1,84-1,98	0,09-0,18	0,19-0,26
Температура воздуха, С			38,49-38,94	34,42-35,48	38,49-38,94	34,42-35,48
Влажность воздуха, %			20,60-21,20	15,50-16,00	20,60-21,20	15,50-16,00

* В числителе – среднее значение и стандартное отклонение значений; в знаменателе – минимальное и максимальное значение.

Заключение

Опыт интродукции показал, что лимитирующими факторами роста и развития в условиях Волгоградской области являются засухи, высокие и низкие температуры, ультрафиолетовая радиация, загрязнения ионами тяжелых металлов, фитопатогены. В связи с этим приобретают актуальность методические вопросы выявления адаптации древесных видов к стресс-факторам, так как способность растений переносить действие неблагоприятных факторов зависит от устойчивости, которая является результатом адаптации.

В результате исследований выявлено, что устойчивость растительных организмов к стрессу связана с состоянием пигментного комплекса. Выявлена способность пигментов растений (хлорофилл, каротиноиды, антоцианы) предохранять от различных неблагоприятных воздействий в засушливых условиях (повышенные температуры, сухость воздуха и почвы).

Проведенный анализ, показал преимущества полевых методов на базе спектров оптических длин волн в здоровых растениях с сохранением образцов. Выявлено состояние пигментного комплекса под воздействием стресс-факторов с использованием современного портативного флавоноид- и хлорофиллометра DUALEX SCIENTIFIC+.

Установлено, что каротиноиды в течение вегетации видны как желтые и оранжевые пигменты в осенних листьях, и показатели их значений играют важную роль в селекции при отборе растительных организмов на декоративность.

Стресс-факторы влияют на отношение каротиноидов к хлорофиллу. У всех изученных древесных растений к концу вегетации снижается содержание хлорофилла a+b. Засухоустойчивые растения характеризуются большей стабильностью пигментного комплекса при повышенных температурах и водном дефиците. Сравнительная оценка пигментного комплекса показала, что под воздействием стресс-

факторов (температура воздуха 40-44 °С, влажность воздуха 15%) показатели коррелируют с засухоустойчивостью.

Полевой метод оценки пигментного комплекса (хлорофилл а и b, каротиноиды, антоцианы), на базе спектров оптических длин волн в здоровых растениях перспективен для получения количественных данных в пространственных и временных масштабах. Полученные материалы согласуются с зарубежными исследованиями и отмечают варьирование содержания пигментного комплекса под действием экологических факторов в период вегетации.

Для условий Волгоградской области (каштановые почвы) установлен диапазон содержания хлорофилла а+б у древесных видов от 11,50 до 46,95 мг/см². Выявлены различия на действие стресс-факторов (температура воздуха – 34,42-35,48 °С, влажность воздуха – 15,5-16,0 %) по содержанию флавоноидов (у деревьев от 0,41 до 2,19 мг/см², кустарников – от 0,82 до 2,08 мг/см² и антоцианов (от 0,08 до 0,29 мг/см²). Проведенный анализ динамики пигментного комплекса позволяет выделить перспективные группы растений (виды, формы, сорта) по их адаптивности к различным неблагоприятным воздействиям окружающей среды. Дальнейшее использование метода оценки пигментного комплекса как индикатора адаптации к засушливым условиям базируется на особенностях тех или иных форм и экотипов интродуцентов в каждом конкретном регионе их испытания.

Исследования выполнены по теме Государственного задания №0713-2018-0004 Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН

Список литературы

1. Горюнов Ю.Д. Влияние экологических факторов на содержание в растениях некоторых антиоксидантов: автореферат диссертации. Калининград, 2009. 24с.
2. Кулик К.Н., Свинцов И.П., Семенютина А.В. Эколого-экспериментальная интродукция хозяйственно ценных растений для агролесомелиорации // Доклады РАСХН. 2004. № 3. С. 19-24.
3. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Абрис, 2011. 783с.
4. Косулина Л.Г., Луценко Э.К., Аксенова В.А. Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды. Ростов-н/Д.: РГУ, 1993. 240с.
5. Полевой В.В. Практикум по росту и устойчивости растений. – СПб.: Санкт-Петербургский университет, 2001. 212с.
6. Свинцов И.П., Семенютина А.В. Методологические основы изучения растительных организмов в условиях интродукции // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия естественные и технические науки. 2014. №9-10. С. 42-47.
7. Семенютина А.В. Дендрофлора лесомелиоративных комплексов (под ред. И.П. Свинцова). Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. 266с.
8. Семенютина А.В., Костюков С.М., Кащенко Е.В. Методы выявления механизмов адаптации древесных видов в связи с их интродукцией в засушливые регионы // Успехи современного естествознания. 2016. №2. С. 103-109.
9. Bueno J.M., Saez-Plaza P., Ramos-Escudero F., Jimenez A.M., Fett R., and Asuero A.G. / Analysis and Antioxidant Capacity of Anthocyanin Pigments. Part II: Chemical Structure, Color, and Intake of Anthocyanins. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 42, 2012; 126–151.
10. Croce R., van Amerongen H. Natural strategies for photosynthetic light harvesting. *Nature Chemical Biology* 10; 2014; 492–501.
11. Chen M., Blankenship R.E. Expanding the solarspectrum used by photosynthesis. *Trends in Plant Science* 16, 2011; 427–431
12. Esteban R., Barrutia O., Artetxe U., Fernandez-Marin B., Hernandez A., and Garcia-Plazaola J.I. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: A meta-analytical approach. *New Phytologist* 206, 2015; 268–280.
13. Kiang N.Y., Siefert J., Govindjee, Blankenship R.E. Spectral signatures of photosynthesis. I. Review of earth organisms. *Astrobiology* 7; 2007; 222–251

14. Gitelson A., Merzlyak M.N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology* 143, 1994; 286–292.
15. Penuelas J. and Filella I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science* 3, 1998; 151–156.
16. Ritz T., Damjanovic A., Schulten K., Zhang J.P., Koyama Y. / Efficient light harvesting through carotenoids. *Photosynthesis Research* 66; 2000; 125–144.
17. Thayer S.S., Bjorkman O. Leaf Xanthophyll content and composition in sun and shade determined by HPLC. *Photosynthesis Research* 23; 1990; 331–343
18. Quemada M., Gabriel J.L., Zarco-Tejada P. Airborne Hyperspectral Images and Ground-level Optical Sensors As assessment tools for Maize nitrogen fertilization // *Remote sensing*. 2014. Vol. 6. Pp. 2940-2962; doi: 10.3390/rs6042940.
19. <http://www.force-a.com/capteurs-optiques-optical-sensors/dualex-scientific-chlorophyll-meter/>

A method of evaluating pigment complex wood plants as an indicator of adaptation to dry conditions

Alexandra Viktorovna SEMENYUTINA

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences
Dr. Sc., professor, chief researcher, head of the laboratory
Volgograd, Russia
doksemenutina@mail.ru

Aliya Shamilevna KHUZHAKHMETOVA

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences
PhD, senior researcher
Volgograd, Russia
aliyasham@mail.ru

Victoria Alekseevna SEMENYUTINA

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences
researcher
Volgograd, Russia
VSem89@mail.ru

Igor Petrovich SVINTSOV

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences
Academician of RAS, Dr. Sc., principal researcher, consultant
Volgograd, Russia
igorsvintsov@yandex.ru

Abstract

The relevance of the research topic is related to the selection of adapted gene pool of trees and shrubs for the enrichment of forest reclamation complexes of degraded landscapes under the influence of stress factors. The experience of introduction in the arid zone of Russia showed that of several thousand taxa of tested trees and shrubs can successfully grow a little more than three hundred. To solve the problem of scientifically based selection of the range for the enrichment of dendroflora, taking into account the limiting stress factors of plant growth and development in various environmental conditions, it is necessary to conduct special experiments with a deep generalization and analysis of the results. The results of the experiment directly depend on the efficiency of the methods used.

The aim of the research is to compare and establish differences in the state of the pigment complex under the influence of stress factors using modern portable flavonide and CHLOROPHYLL dualox SCIENTIFIC+.

The article considers the possibility of determining the resistance of plant organisms to stress factors on the pigment complex. On the basis of comparative evaluation of quantitative measurements of chlorophyll a and b, carotenoids, leaf anthocyanins in the field using modern portable flavonide and chlorophyll meter DUALEX SCIENTIFIC+ the regularities of changes in the content of the pigment complex, reflecting the adaptive capacity of plants.

Objects of research were representatives of the species, molded and varietal diversity of trees and shrubs collection Fund FNTS Agroecology Russian Academy of Sciences, a Cluster growing in the arboretum Park VNIALMI (34:34:060061:10; Federal state unitary enterprise "Volgograd", 34:34:000000:122).

The paper presents an analysis of the field method of evaluation of pigment complex (chlorophyll a and b, carotenoids, anthocyanins) on the basis of optical wavelength spectra in healthy plants acceptable for quantitative data in spatial and temporal scales. The obtained materials are consistent with foreign studies and note the variation in the content of the pigment complex under the influence of environmental factors during the growing season. The range of chlorophyll a+b content in tree species was established from 11.50 to 46.95 mg/cm². Differences in the effect of stress factors (air temperature-34,42-35,48 ° C, air humidity-15,5 – 16,0 %) in the content of flavonoids (in trees from 0,41 to 2,19 mg/cm², shrubs-from 0.82 to 2.08 mg/cm² and anthocyanins (from 0.08 to 0.29 mg/cm²). The analysis of the pigment complex dynamics made it possible to identify promising groups of plants (species, forms, varieties) according to their adaptability to various adverse environmental effects.

Keywords

pigment complex, stress factors, adaptation, trees, shrubs, biodiversity, dendroflora enrichment, selection criteria, protective forest plantations.

References

1. Goryunov Yu.D. Influence of ecological factors on the maintenance in the plants of some antioxidants: the author's abstract of the dissertation. Kaliningrad, 2009. 24p.
2. Kulik K.N., Svintsov I.P., Semenyutina A.V. Ecological and experimental introduction of economically valuable plants for agroforestry // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2004. № 3. Pp. 19-24.
3. Kuznetsov V.V., Dmitrieva G.A. Plant physiology. Moscow: Abris, 2011. 783p.
4. Kosulina L.G., Lutsenko E.K., Aksenova V.A. Physiology of plant resistance to adverse environmental factors. Rostov-n / D.: RSU, 1993. 240p.
5. Polevoy V.V. Workshop on plant growth and resistance. St. Petersburg: St. Petersburg University, 2001. 212p.
6. Svintsov I.P., Semenyutina V.A. Methodological bases of studying plant organisms in conditions of introduction // Modern science: actual problems of theory and practice. A series of natural and technical sciences. 2014. № 9-10. Pp. 42-47.
7. Semenyutina A.V. Dendroflora forest-meliorative complexes (edited by I.P. Svintsov). Volgograd: VNIIALMI, 2013. 266p.
8. Semenyutina A.V., Kostyukov S.M., Kashchenko E.V. Methods for revealing the mechanisms of adaptation of tree species in connection with their introduction into arid regions // Successes of modern natural science. 2016. №2. Pp. 103-109.
9. Bueno J.M., Saez-Plaza P., Ramos-Escudero F., Jimenez A.M., Fett R., and Asuero A.G. Analysis and Antioxidant Capacity of Anthocyanin Pigments. Part II: Chemical Structure, Color, and Intake of Anthocyanins. Critical Reviews in Analytical Chemistry 42, 2012; 126-151.
10. Croce R., van Amerongen H. Natural strategies for photosynthetic light harvesting. Nature Chemical Biology 10; 2014; 492-501.
11. Chen M., Blankenship R.E. Expanding the solar spectrum used by photosynthesis. Trends in Plant Science 16, 2011; 427-431
12. Esteban R., Barrutia O., Artetxe U., Fernandez-Marin B., Hernandez A., and Garcia-Plazaola J.I. A meta-technical approach. New Phytologist 206, 2015; 268-280.
13. Kiang N.Y., Siefert J., Govindjee, Blankenship R.E. Spectral signatures of photosynthesis. I. Review of earth organisms. Astrobiology 7; 2007; 222-251
14. Gitelson A., Merzlyak M.N. Spectral relapse changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. Journal of Plant Physiology 143, 1994; 286-292.
15. Penuelas J. and Filella I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. Trends in Plant Science 3, 1998; 151-156.
16. Ritz T., Damjanovic A., Schulten K., Zhang J.P., Koyama Y. / Efficient light harvesting through carotenoids. Photosynthesis Research 66; 2000; 125-144.

17. Thayer S.S., Bjorkman O. Leaf Xanthophyll content and composition in sun and shade determined by HPLC. *Photosynthesis Research* 23; 1990; 331-343
18. Quemada M., Gabriel J.L., Zarco-Tejada P. Airborne Hyperspectral Images and Ground-level Optical Sensors // *Remote sensing*. 2014. Vol. 6. Pp. 2940-2962; doi: 10.3390 / rs6042940.
19. <http://www.force-a.com/capteurs-optiques-optical-sensors/dualex-scientific-chlorophyll-meter/>