Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 630*161.32:630*17:582.475

Содержание пигментного фонда в однолетней хвое ели колючей (Picea pungens) и туи западной (Thuja occidentalis), произрастающих в разных функциональных зонах г. Ельца

Дубровина О.А., Зубкова Т.В.

Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина

Аннотация

В качестве биоиндикатора окружающей среды могут выступать древесные растения. Наиболее информативные в этом плане - хвойные виды. Для изучения динамики роста и развития в городских условиях г. Ельца были выбраны насаждения ели колючей и туи западной, произрастающих в различных по степени загрязнения условиях. Выбранные виды хвойных широко применяются при создании искусственных насаждений, широко используются в озеленении и ландшафтной архитектуре города г. Ельца. Изучение содержания пигментов (хлорофиллов a, b и каротиноидов) в однолетней хвое ели колючей (P. pungens) и туи западной(T. occidentalis) определялось в экстрактах с помощью спектрофотометрического анализа.

В результате проведённых исследований были установлены видовые различия по содержанию фотосинтетических пигментов в хвое ели колючей (P. pungens) и туи западной (T. occidentalis) в период вегетации.

В весенний период с повышением температуры происходит возобновление активности ФАР, и определяются видовые различия по величине суммы пигментов. С началом роста хвои, по сумме пигментов в мае лидировала ель колючая (P. pungens) (0,486 мг/г) > туя западная (T. occidentalis) (0,435мг/г). В 2019 г. в однолетней хвое ели колючей (P. pungens) и туи западной (T. occidentalis) в зонах исследования наблюдается довольно равномерное повышение содержания хлорофилла, с максимумом накопления в июле.

Анализ полученных данных свидетельствует о высоких адаптационных ресурсах фотосинтетического аппарата ели колючей (P. pungens) и туи западной (T. occidentalis) применительно к условиям загрязнения города Ельца

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Ключевые слова: ЕЛЬ КОЛЮЧАЯ, ТУЯ ЗАПАДНАЯ, ХЛОРОФИЛЛЫ, КАРОТИНОИДЫ, АДАПТИВНАЯ РЕАКЦИЯ

В последнее время одними из самых востребованных видов в садово-парковой архитектуре города Ельца являются хвойные растения – ель колючая (Picea pungens Engelm.) и туя западная (Thuja occidentalis). Предпочтение отдается этим видам, за счет их высоких декоративных, абиотических и фитоциндных качеств. Помимо эстетической ценности, данные растения можно использовать как вид-биоиндикатор качества среды [4,10].

Одним из информативных показателей, показывающим ответ растительного организма на условия произрастания, является содержание фотосинтетических пигментов - хлорофилла и каротиноидов. На их концентрацию влияют внешние экологические факторы и генетическая природа растения, в том числе его онтогенетические и возрастные особенности [8,9].

Адаптивные реакции в условиях техногенного стресса проявляются у растений в изменении соотношения между содержанием хлорофилла и каротиноидов, участвующих в процессе фотосинтеза.

В связи с этим, изучение отклика фотосинтетического аппарата ели колючей (P. pungens .) и туи западной (T. occidentalis) и его адаптивных реакций на изменяющиеся внешние факторы в условиях города Ельца , явилось целью нашего исследования.

Район, объект и методы исследования

Для изучения отклика фотосинтетического аппарата на условия урбанизированной среды г. Ельца были выбраны насаждения ели колючей и туи западной. Выбранные виды хвойных применяются при создании искусственных насаждений, широко используются в озеленении и ландшафтной архитектуре города Ельца. Исследования проводились с мая по август 2019 года. Состояние атмосферного воздуха на территории города в 2019 году, согласно данным государственного фонового мониторинга, характеризовалось Комплексным индексом загрязнения атмосферы на

уровне «низкий», объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников по предварительным данным составил около 3 тыс. тонн. [4].

Ель колючая (Picea pungens Engelm.) относится к подсемейству: Пихтовые (Abietoideae). В культуре ель колючая распространена с 1858 года. В настоящее время повсеместно встречается в парковых и городских посадках на всей территории РФ в виде крупных массивов, одиночных посадок и аллей. Родиной ели колючей (P. pungens**)** является Северная Америка. Зимостойкое, засухоустойчивое, газо – и дымоустойчиво растение, с продолжительностью жизни около 200 лет.

Ель колючую часто называют голубой елью, благодаря голубовато-зелёной окраске хвои [2,5].

Средняя высота деревьев в условиях города Ельца составила - 4 метра. Диаметр ствола находится в диапазоне 21-25 см, форма кроны коническая, густая, низко опущенная.

Туя западная (T. occidentalis**)** - является лучшей хвойной породой для озеленения городских территорий и промышленных участков, в связи с высокой устойчивостью к копоти, дыму и атмосферному загрязнению.

Растущие в городе Ельце растения находятся в средневозрастном генеративном состоянии. Средний диаметр ствола по объектам от 9 до 13,4 см. Высота всех растений приблизительно одинакова и составляет 3-3,8 метров.

Значительная часть исследуемых растений ели колючей (P. pungens) и туи западной (T. occidentalis) во всех районах города в основном без видимых признаков ослабления и оценивается, как «здоровое» с индексом ОЖС -80-100% . Внешний вид деревьев высокоэстетичен (II балла).

Для исследований было взято шесть площадок:

1. Пробная площадь №1 (площадь Героев) - в центре города Ельца испытывает на себе влияние непосредственной близости дороги с интенсивным автомобильным движением;

2. Пробная площадь №2 (Городской парк) - расположена в центре города;

3. Пробная площадь №3 (Красная площадь) - расположена в центре города. Интенсивность движения средняя в одном направлении;

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

4. Пробная площадь №4 (площадь Ленина) – расположена в центре города и испытывает на себе влияние непосредственной близости дороги с интенсивным автомобильным движением;

5. Пробная площадь №5 (площадь Победы) - расположена в районе с очень интенсивным автомобильным движением

6. Пробная площадь №6 (аллея УК 12 ЕГУ им. И.А. Бунина) - невысокая интенсивность движения транспорта на расстоянии 100м выбрана в качестве зоны условного контроля (ЗУК).

Отбор образцов производился из средней части кроны с 5 модельных деревьев в последнюю декаду каждого месяца вегетационного периода в период с 11:00 – 14:00 ч.

Содержание пигментов в однолетней хвое ели колючей (P. pungens) и туи западной (T. occidentalis) определялось в экстрактах с помощью спектрофотометрического анализа при помощи спектрофотометра КФК – 5М (Россия).

Экстракт готовился в пробирках на основе 96%-го этилового спирта: в объем равным 10 мл помещалась навеска мелкоизмельченной хвои массой 0,1 г, взвешенной на электронных весах GF-200. Пробирки выдерживались в течение 12 часов в темном помещении во избежание разрушения пигментов. По истечении указанного времени проводили измерения содержания фотосинтетических пигментов – хлорофилла *a* и *b*, а также каротиноидов. Содержание пигментов в хвое рассчитывали по следующим формулам:

С хлорофилл *a*= 13,7•D665 – 5,76•D649;

С хлорофилл *b*= 25,8•D649 – 7,6•D665;

С каротиноиды = 4,695•D440,5 – 0,268•(С хлорофилл *a* + С хлорофилл *b*);

где D665, D649, D440,5– показатели оптической плотности спиртового раствора при соответствующих длинах волн (665, 649 и 440,5 нм).

Содержание пигментов в вытяжке определяли в исследуемом материале с учетом объема вытяжки и навески пробы по следующей формуле**:**

$A = V \cdot C/(P \cdot 1000)$, где

C — концентрация пигментов, мг/л;

V — объем вытяжки, мл;

P — навеска растительного материала, г;

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

А — содержание пигмента в растительном материале, мг/г сырой массы.

Обработку данных проводили с использованием пакета программ Microsoft Office Excel. Полученные данные достоверны при $p<0,05$.

Результаты исследования

У изучаемых видов наиболее активно процесс жизнедеятельности в весенний период проявился в хвое первого года жизни ели колючей (P. pungens).

По внешнему виду развитие растений в мае в условиях города не свидетельствовало об их сильном угнетении. Однако изучение пигментного фонда в хвое ели колючей (P. pungens) позволило выявить, что у растений произрастающих в непосредственной близости к автодорогам (площадь Ленина, площадь Победы) сумма пигментов в 1,6 раз была ниже контрольного значения и составляла 0,367± 0,0008мг/г сырого веса и 0,365± 0,0019мг/г сырого веса против 0,552±0,0035мг/г сырого веса в условиях УК-12. На участках площадь Героев и Городской парк сумма пигментов составляла соответственно 0,426±0,0037 и 0,448± 0,0023 мг/г сырого веса. У растений, отобранных на Красной площади, общая сумма пигментов приближалась к показателю контрольных особей и равнялась 0,508± 0,0034 мг/г сырого веса (табл. 1).

По сравнению с маем у всех изучаемых особей на конец июня наблюдается резкое повышение содержания пигментов.

Максимальная сумма пигментов за июнь в отобранных образцах ели колючей (P. pungens) в конце мая была на площадке №6 (УК-12), которая составляла 0,924±0,0052мг/г сырой массы. Минимальная сумма пигментов 0,794±0,0062 мг/г сырой массы на участке площадь Победы. По сравнению с аналитическими данными, полученными за май ухудшилась фотосинтетическая активность у растений, произрастающих в зоне площади Героев, здесь сумма пигментов составила 0,807±0,0016 мг/г сырой массы и с третьей позиции опустилась до пятой. Приблизительно равные значения были получены на изучаемых площадях в вариантах 2 и 4 , разбег аналитических данных здесь составлял 0,897±0,0024 - 0,882±0,0033 мг/г сырой массы соответственно. Снижение величины суммы пигментов показывает на стрессовую ситуацию у растений.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Таблица 1. Содержания пигментов в однолетней хвое ели колючей (P. pungens) в разных функциональных зонах г. Ельца

		Фотосинтетические пигменты, мг/г сырого веса			
Зона исследования	месяц	Хлорофилл *a*	Хлорофилл *b*	Каротиноиды	Сумма пигментов
1. Площадь Героев	май	0,292 ±0,0044	0,038 ± 0,0012	0,096± 0,0020	0,426± 0,0037
	июнь	0,510 ±0,0024	0,186 ±0,0065	0,111±0,0030	0,807±0,0016
	июль	0,918± 0,0053	0,454±0,0031	0,326±0,0015	1,698±0,0061
	август	0,819± 0,0082	0,365±0,0031	0,341±0,0015	1,525±0,0071
2. Городской парк	май	0,302± 0,0016	0,050± 0,0015	0,096± 0,0026	0,448± 0,0023
	июнь	0,590 ±0,0017	0,177 ±0,0038	0,130±0,0052	0,897±0,0024
	июль	1,040±0,0097	0,576±0,00 14	0,143±0,0031	1,759 ±0,0072
	август	0,850±0,0034	0,367±0,0022	0,318±0,0071	1,535±0,0041
3. Красная площадь	май	0,346± 0,0024	0,030± 0,0031	0,132±0,0029	0,508± 0,0034
	июнь	0,543±0,0009	0,169 ±0,0027	0,112±0,0054	0,824±0,0041
	июль	0,832±0,0022	0,558±0,0023	0,230±0,0016	1,620± 0,0021
	август	0,790±0,002 6	0,400±0,0031	0,330±0,0016	1,520±0,0029
4. Площадь Ленина	май	0,258± 0,0081	0,021 ± 0,0036	0,088± 0,0033	0,367± 0,0008
	июнь	0,586±0033	0,172 ±0,0018	0,124±0,0043	0,882±0,0033
	июль	0,761±0,0021	0,646±0,0092	0,310±0,0071	1,717±0,0041
	август	0,691±0,0030	0,432± 0,0020	0,366±0,0024	1,489±0,0072
5.Площадь Победы	май	0,239 ± 0,0025	0,019± 0,0010	0,107± 0,0014	0,365± 0,0019
	июнь	0,502±0,019	0,174±0,022	0,118±0,0036	0,794±0,0062
	июль	0,698±0,0084	0,432±0,0085	0,240±0,0034	1,370±0,0044
	август	0,571±0,0065	0,372±0,0085	0,339±0,0034	1,282±0,0034
6. УК 12 ЕГУ им. Бунина	май	0,378±0,0032	0,034±0,0017	0,140±0,0015	0,552±0,0035
	июнь	0,602±0,0031	0,188±0,0092	0,134±0,0028	0,924±0,0052
	июль	1,040±0,0062	0,632±0,0034	0,265±0,0073	1,937±0,0028
	август	0,869±0,0049	0,380±0,0026	0,318±0,0047	1,567±0,0030
НСР05		0,14	0,33	0,15	0,28
НСР%		2,18	2,67	3,12	3,42

Динамика накопления суммы пигментов в однолетней хвое ели колючей (P. pungens) в июле выглядела следующим образом: УК 12 ЕГУ им. И.А. Бунина - 1,937±0,0028; Городской парк -1,759 ±0,0072; Красная площадь- 1,620± 0,0021; площадь Героев - 1,698±0,0061; площадь Ленина- 1,717±0,0041; площадь Победы-1,370 ±0,0044

(мг/г сырого веса). О работе фотосинтетического аппарата судят по отношению хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*a/b*). Чем больше активность «главного» хлорофилла *a*, тем интенсивнее фотосинтез. По представленным показателям можно видеть, что с повышением уровня загрязнения наблюдаются изменения в содержания хлорофилла *a* в наименьшую сторону по сравнению с контрольной точкой и наоборот, концентрация пигмента увеличивается по мере удаления от объектов загрязнения.

Хлорофилл *b* более стабилен к действию загрязнения на всех изученных объектах за исключением варианта 5. Важным интегральным показателем при фотосинтезе является отношение хлорофилл *a*/хлорофилл *b* (хл.*a* /хл.*b*). В норме этот показатель должен находиться в пределах от 2,2 до 3,0 [1,7,8]. Соотношение хл.*a* к хл.*b* на изучаемых объектах было следующее: вариант 1 – 2,0; вариант 2 -1,8; вариант 3- 1,2; вариант 4 -1,6; вариант 5- 1,4. На участке относительного контроля УК-12 соотношение данных пигментов составило 1,7.

Первопричиной уменьшения отношения хл.*a* /хл.*b*, особенно в придорожных зонах стало запыление растений в зоне транспортного воздействия, которое поспособствовало снижению светопоглощения на 7-12 % .

По аналитическим данным, представленным в таблице 1, видно, что ассимиляционная активность ели колючей (P. pungens) существенно снижается к концу августа. Анализ фотосинтетической особенности ассимиляции ели колючей (P. pungens) в разных типах насаждений показал, что самые высокие показатели по-прежнему наблюдаются в УК-12 (1,567±0,0030мг/г сырого веса), а самые низкие в условиях наибольшей транспортной нагрузки на площади Победы (1,282±0,0034 мг/г сырого веса). и на площади Героев (1,525±0,0071мг/г сырого веса). В насаждениях парковой зоны – 1,535±0,0041мг/г сырого веса, что приближено к данным зоны условного контроля. В условиях произрастания ели колючей (P. pungens) с односторонним движением транспорта (площадь Ленина, Красная площадь) ассимиляционная активность занимает промежуточное положение и по сумме пигментов составляет соответственно 1,489±0,0072 и 1,520±0,0029 мг/г сырой массы.

Каратиноиды – важный показатель пигментной системы растений [6,7,8]. Представленные данные концентрации каротиноидов в особях, изучаемых в разных

функциональных зонах, выявили прямо пропорциональные увеличения пигмента к сезонным изменениям, а также степени техногенной нагрузки.

Интенсивность фотосинтетической активности у туи западной (T. occidentalis) в изучаемых зонах на конец мая несколько ниже, чем у ели колючей (P. pungens) , но последовательность соотношения пигментов повторяется.

В вариантах №1 и №2 сумма пигментов была равной и находилась в пределах 0,360 ±0,0057- 0,364 ±0,0031мг/г сырого веса. Несколько ниже фотосинтетическая активность у особей туи западной произрастающих Красной площади 0,329 ±0,0011 и Площади Ленина - 0,328 ±0,0045 мг/г сырого веса. Наиболее низкая сумма всех пигментов у особей туи западной выявлена на участке Площади Победы 0,309 ±0,0021мг/г сырого веса. В условиях произрастания УК 12 ЕГУ им. И.А. Бунина общая сумма всех пигментов составила 0,381 ±0,0027 мг/г сырого веса. Таким образом, выявленная разница между контрольным участком (УК-12) и участком с самым низким показателем (площадь Победы) была не значительной и составляла на конец мая -20% (табл. 2).

По литературным данным известно, что с ростом уровня загрязнения фотосинтетическая активность хвои снижается [1,3,6,10]. Эти данные подтвердились и в наших исследованиях при сопоставлении суммы пигментов у туи западной (T. occidentalis) произрастающей на Площади Победы и значений, полученных с условного контроля. Сумма пигментов, полученная в результате исследований на Площади Победы, составила 0,672±0,0014 мг/г сырого веса, а в варианте 6 (УК-12) - 0,931± 0,0030мг/г сырого веса, превысив вариант 5 в 1,4 раза. Степень накопления пигментов в функциональных зонах площадь Ленина и площадь Героев находилась в диапазоне 0,691±0,0027 и 0,672±0,0014мг/г сырого веса соответственно. Сумма всех пигментов у особей, растущих на Красной Площади, равнялась 0,728±0,0055мг/г сырого веса. В городском парке этот показатель составил 0,850±0,0028мг/г сырого веса.

К концу июля, когда ростовые процессы замедляются, концентрация пигментов в хвое туи западной (T. occidentalis) достигает своего пика. По сравнению с елью колючей (P. pungens) к концу июля фотосинтетическая активность туи западной (T. occidentalis) резко возросла, и по количеству пигментов превысило показатели ели колючей (P. pungens).

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Таблица 2. Содержания пигментов в однолетней хвое туи западной (T. occidentalis) в разных функциональных зонах г. Ельца

Зона исследования	Фотосинтетические пигменты, мг/г сырого веса				
	месяц	Хлорофилл *a*	Хлорофилл *b*	Каротиноиды	Сумма пигментов
1. Площадь Героев	май	0,210 ±,0033	0,094 ±0,0018	0,056 ±0,0014	0,360 ±0,0057
	июнь	0,424 ±0,0043	0,130 ±0,0021	0,146±0,0037	0,700±0,0030
	июль	0,854± 0,0 063	0,778±0,0026	0,294±0,0041	1,926±0,0075
	август	0,840± 0,0057	0,437±0,0026	0,377±0,0050	1,654±0,0045
2. Городской парк	май	0,217 ±0,0011	0,098 ±0,0032	0,049 ±0,0020	0,364 ±0,0031
	июнь	0,482±0,0030	0,206 ±0,0051	0,162±0,0043	0,850±0,0028
	июль	0,989±0,0058	0,678±0,0064	0,368±0,0041	2,035±0,0011
	август	0,880±0,0081	0,494±0,0077	0,354±0,0012	1,728±0,0016
3. Красная площадь	май	0,196±0,0034	0,087 ±0,0012	0,046±0,0014	0,329 ±0,0011
	июнь	0,437±0,0018	0,137±0,0040	0,154±0,0017	0,728±0,0055
	июль	0,929±0,0085	0,679±0,0032	0,362±0,0065	1,970±0,0025
	август	0,827±0,0029	0,410±0,0026	0,343±0,0084	1,580±0,0035
4. Площадь Ленина	май	0,188±0025	0,090 ±0,0033	0,050 ±0,0016	0,328 ±0,0045
	июнь	0,408±0,0015	0,133±0,0016	0,150±0,0018	0,691±0,0027
	июль	0,889±0,0037	0,650±0,0063	0,379±0,0075	1,918±0,0036
	август	0,792±0,0054	0,405± 0,0037	0,393±0,0009	1,590±0,0018
5. Площадь Победы	май	0,180±0,0015	0,084±0,024	0,045 ±0,0031	0,309 ±0,0021
	июнь	0,393±0,0014	0,137±0,0043	0,142±0,0050	0,672±0,0014
	июль	0,778±0,0057	0,632±0,0013	0,458±0,0051	1,868±0,0046
	август	0,671±0,0005	0,433±0,0043	0,350±0,0049	1,454±0,0018
6.УК 12 ЕГУ им. Бунина	май	0,216±0,019	0,110±0,0052	0,055 ±0,0100	0,381 ±0,0027
	июнь	0,550±0,0068	0,212±0,0030	0,169±0,0010	0,931± 0,0030
	июль	1,020±0,0017	0,612±0,0077	0,341±0,0091	1,973±0,0081
	август	0,981±0,0025	0,432±0,0033	0,350±0,0040	1,763±0,0089
НСР05		0,17	0,46	0,15	0,34
НСР%		2,66	3,18	2,42	2,87

Интегральный показатель соотношения хлорофилл *a*/хлорофилл *b* было следующее по изучаемым зонам: вариант 1 - 1,08; вариант 2- 1,5; вариант 3 -2,0; варианте

4- 1,4; вариант 5- 1,2. На участке относительного контроля УК-12 соотношение пигментов составило 1,8.

Ассимиляционная активность туи западной (T. occidentalis) в августе по сравнению с июлем не значительно снизилась. По изучаемым зонам этот показатель составлял 15%, за исключением варианта №5, где сравнительный показатель был выше и составлял - 19%. Снижение величины фотосинтетической активности на данной территории и увеличение суммы желтых пигментов является показателем, отражающим негативное воздействие атмосферного загрязнения на растения. Интегральный показатель отношения хлорофилл *a*/хлорофилл *b* по изучаемым зонам находился в следующем порядке: варианте 1 - 1,8; варианте 2- 2,0; варианте 3 -2,0; варианте 4- 1,8; варианте 5- 1,5. На участке относительного контроля УК-12 соотношение пигментов составило 2,3.

Выводы

В результате проведённых исследований было установлено, что в период вегетации в хвое ели колючей (P. pungens) и туи западной(T. occidentalis) отмечались видовые различия по содержанию фотосинтетических пигментов.

В весенний период с повышением температуры происходит возобновление активности ФАР и определяются видовые различия по величине суммы пигментов. С началом роста хвои, по сумме пигментов в мае лидировала ель колючая (P. pungens) (0,486 мг/г) > туя западная (T. occidentalis) (0,435мг/г).

В 2019 г. в однолетней хвое ели колючей (P. pungens) и туи западной (T. occidentalis) в зонах исследования наблюдается довольно равномерное повышение содержания хлорофилла, с максимумом накопления в июле.

Анализ полученных данных свидетельствует о высокой адаптационной возможности фотосинтетического аппарата ели колючей (P. pungens) и туи западной (T. occidentalis) применительно к условиям загрязнения города Ельца.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Список использованных источников

1. Бухарина И.Л., Пашкова А.С. Особенности фотосинтетического аппарата ели колючей (*Picea pungens*) и ели европейской (*Picea abies* L.) в условиях городской среды // Современные проблемы науки и образования, 2015. – Выпуск № 3. – С. 1-8.
2. Бухарина И.Л., Двоеглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений городских насаждений: монография. - Ижевск: изд-во «Удмурский университет», 2010. -184 с.
3. Воскресенский В.С., Воскресенская О.Л. Влияние факторов городской среды на функциональное состояние древесных растений: монография. - Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2011. -194 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды» Липецкой области 2018 год». – Издательство Веда социум, 2019.- 234с.
5. Матюхин Д. Л. Виды и формы хвойных, культивируемых в России. Часть 2. Picea A.Dietr., Thuja L. / Д. Л. Матюхин, О. С. Манина, Е. С. Сысоева. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 288 с.
6. Петухова И.П. Эколого-физиологические основы интродукции древесных растений / И.П. Петухова. - М: Наука, 2014. - 124 с.
7. Современные проблемы фотосинтеза. В 2 томах. Том 2. - М.: Институт компьютерных исследований, 2014. - 544 с.
8. Чирков Ю.Г. Рассказы о фотосинтезе. Выпуск 61 / Ю.Г. Чирков. - Москва: ИЛ, 2017. - 113 с.
9. Яковлев А.П. Первичный фотосинтез / Андрей Яковлев. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. - 336 с.
10. Якушевская Е. Б., Якимова Е. П. Растения-индикаторы состояния городской среды // Ученые записки ЗабГГПУ им. Н. Г. Чернышевского, 2013.- № 1.- С. 116–121.

==========

Цитирование:

Дубровина О.А., Зубкова Т.В. Содержание пигментного фонда в однолетней хвое ели колючей(Picea pungens) и туи западной (Thuja occidentalis), произрастающих в разных функциональных зонах г. Ельца // АгроЭкоИнфо. – 2020, №3. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_315.pdf