

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ANEMONE SYLVESTRIS (RANUNCULACEAE) В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
ПРОИЗРАСТАНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

А.А. Шеин, Д.В. Габышев, Г.В. Филиппова, И.А. Прокопьев

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН,
677980, Якутск, просп. Ленина, 41, e-mail: bg98saa@yandex.ru*

Исследовано влияние условий произрастания (луг, остепненный склон, лес) на морфометрические характеристики ветреницы лесной (*Anemone sylvestris* L.), а также физиологические, цитологические и биохимические параметры проростков. Показано, что высокая влажность семян вызывает активацию прооксидантно-антиоксидантных систем и увеличение суммарного содержания фотосинтетических пигментов в тканях их проростков.

Ключевые слова: *Anemone sylvestris* L., морфометрические показатели, влажность семян, прооксидантно-антиоксидантные системы, фотосинтетические пигменты, Центральная Якутия.

**MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGY-BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS
OF ANEMONE SYLVESTRIS (RANUNCULACEAE) GROWING IN DIFFERENT ECOLOGICAL
CONDITIONS OF CENTRAL YAKUTIA**

A.A. Shein, D.V. Gabyshev, G.V. Filippova, I.A. Prokopiev

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS,
677980, Yakutsk, Lenin str. 41, e-mail: bg98saa@yandex.ru*

The influence of growth conditions (meadow, slope, forest) on the morphometric characteristics of *Anemone sylvestris* L., as well as physiological, cytological and biochemical parameters of its seed progeny seedlings were studied. It is shown that the high moisture of seeds *A. sylvestris* induces activation of the prooxidant-antioxidant systems and increase the total content of green pigments in the tissues of seedlings.

Keywords: *Anemone sylvestris* L., morphometric parameters, seed moisture, prooxidant-antioxidant systems, photosynthetic pigments, Central Yakutia.

ВВЕДЕНИЕ

Между растениями и средой существует определенная связь. Развитие каждого растения, его жизненный цикл зависят от климатических, микроклиматических и почвенных условий окружающей среды, что отражается в поколениях в виде адаптаций на различных уровнях (Андреев, 2000; Полякова, Кашарин, 2004). Условия мест произрастания, в том числе, отражаются на физиологических и морфологических признаках растений, семян и проростков. Способность семян прорасти зависит от их стадии развития, влажности и скорости созревания, например, семена с низкой влажностью обладают более высокой способностью к прорастанию после длительного хранения (Gosling et al., 1981; Reed, 2005).

В основе любых процессов, протекающих в самых разнообразных живых организмах, лежат биохимические реакции, объединенные в саморегулирующиеся системы в рамках клетки, организма, сообщества, экосистемы. Особое место в процессе адаптации

занимают биохимические адаптивные системы, обеспечивающие гомеостаз (поддержание постоянства внутренней среды) либо энантиостаз (поддержание функций при изменении условий среды) клетки и многоклеточных организмов (Хочачка, Сомеро, 1988; Кузнецов, 1992). Одним из основных путей неспецифических механизмов влияния условий произрастания на жизнеспособность растений является ответная реакция на окислительный стресс, который отражается в формировании физиолого-биохимических адаптаций на уровне антиоксидантных систем (Барбой, 1992). Неконтролируемая генерация активных форм кислорода (АФК) может существенно отражаться на обмене веществ, что приводит непосредственно либо через образование вторичных метаболитов к снижению продуктивности растений. Для предотвращения негативного влияния АФК активируется система антиоксидантной защиты (АОЗ) (Колупаев и др., 2011; Foyer, Noctor, 2009; Balen et al., 2011).

Одним из направлений исследований экосистем Центральной Якутии является изучение влияния условий произрастания растительных организмов на формирование адаптивных морфологических, физиолого-биохимических и цитологических реакций (Прокопьев и др., 2011). Анализ литературы показал, что исследование *Anemone sylvestris* L. проводилось для выяснения филогенетических и биологических особенностей вида, включая изучение структуры и динамики ценологических популяций растений (Барыкина, Потапова, 1994; Ильина, 2009; Hoot et al., 1994). Изуче-

ние экологии многих видов ветреницы установило, что ведущим экологическим фактором, ограничивающим развитие и распространение растений, является водный режим почвы (Носова, 1983; Папонова, 1986).

Цель настоящей работы – исследование морфометрических характеристик растений, а также физиологических, цитологических и биохимических параметров проростков ветреницы лесной (*Anemone sylvestris*) в зависимости от условий формирования семян (луг, остепненный склон, опушка леса) в окрестности г. Якутска.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Ветреница лесная (*Anemone sylvestris*) – многолетнее ксеромезофитное травянистое растение, относящееся к семейству лютиковых (*Ranunculaceae*), растет по степным склонам, сухим лугам и на опушках светлых хвойных лесов (Иванова, 1990). Пространственная структура ценопопуляций *A. sylvestris* характеризуется групповым распределением особей. Агрегированное размещение растений зависит от их размножения, неоднородности экотопа и слабого приживания конкурирующих видов внутри скоплений *Anemone sylvestris* (Ильина, 2009). Выбор *A. sylvestris* обусловлен тем, что она является полизональным видом и представлена большим количеством индивидов в местах компактного произрастания, а также обладает достаточно высокой семенной продуктивностью (Черосов и др., 2005).

В целом для Центральной Якутии характерны условия засушливого резко континентального климата и многолетней мерзлоты (Гаврилова, 1973). На территории проведения исследований, расположенной в долине Туймаада, относительная влажность воздуха у р. Лена составляет в среднем 50–70 %, на суходолах – 30 % и ниже (Климат Якутска, 1982). Измерения морфологических характеристик растений *A. sylvestris* и сбор семенного материала осуществляли в трех типах местообитаний, характерных для этого вида, в окрестности г. Якутска: 1) остепненный злаково-разнотравный луг (луг); 2) остепненный склон коренного берега (склон); 3) опушка соснового леса (лес).

Биометрические показатели растений определяли в конце июля в фазе цветения по методике ВИЛАР (Майсурадзе и др., 1984), массу 1000 семян измеряли по методике, предложенной С.С. Лищук (1991), влажность семян – по межгосударственному стандарту (ГОСТ 24933.3-81).

Семена проращивали в чашках Петри на фильтрах при комнатных условиях (20–24 °С) и продолжительности фотопериода 16 ч, по 100 шт. в четырех по-

вторностях. Лабораторную всхожесть и длину корешка проростков определяли на 14-й день наблюдения. Для определения активности деления клеток использовали показатель митотического индекса (МИ), который рассчитывали по отношению числа находящихся в митозе клеток от их общего числа (Паушева, 1974). Препараты просматривали под световым микроскопом Axiostar plus, фирмы “Carl Zeiss” (Германия).

Все спектрофотометрические измерения выполнялись на приборе Cary 3E фирмы “Varian, inc.” (США). Суммарное содержание низкомолекулярных антиоксидантов (НМАО) определяли по методике А.И. Ермакова (1987). Активность супероксиддисмутазы (СОД; КФ 1.15.1.1) измерялась на основе модифицированной методики (Giannopolitis, Ries, 1977), аскорбатпероксидазы (АПК; 1.11.1.11) – по Y. Nakano, K. Asada (1987). Интенсивность процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) устанавливали по Ю.А. Владимирову, А.И. Арчакову (1972). Содержание хлорофиллов *a* (Хл. *a*), *b* (Хл. *b*) и каротиноидов (Кар.) в сухой массе проростков определяли в 80%-м ацетоне с максимумами поглощения 663, 647 и 470 нм. Долю Хл. *a*, входящего в светособирающий комплекс (ССК), рассчитывали исходя из того, что практически весь Хл. *b* находится в ССК и соотношение Хл. *a* и Хл. *b* для этого комплекса равно 1.2 (Lichtenthaler, 1987).

Все измерения выполняли в четырех биологических и аналитических повторностях. Результаты экспериментов представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартной ошибки. Сравнение средних значений выборок проводили методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), значимость отличий между средними значениями определяли, используя *t*-критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони для множественного сравнения при уровне $p < 0.05$. Расчет проводили с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus – программа статистического анализа, v.2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе морфометрических исследований *A. sylvestris* установлено, что ветреницы, произрастающие на опушке соснового леса, имеют длину и ширину листо-

вой пластинки прикорневых листьев в 1.4 и 2.6 раза меньше, общее число листьев на растении – в 1.6 раза меньше по сравнению с особями, произрастающими

Сравнительная морфометрическая характеристика *A. sylvestris* в зависимости от типа местообитания

Место произрастания	<i>n</i>	Высота растений, см	Число генеративных побегов, шт.	Длина листа, см*	Ширина листа, см*	Число листьев на растении, шт.
Лес	10	40.7 ± 1.9 ^a	1.3 ± 0.1 ^a	2.4 ± 0.2 ^a	0.5 ± 0.1 ^a	3.9 ± 0.3 ^a
Склон	22	40.2 ± 1.0 ^a	1.1 ± 0.1 ^a	3.4 ± 0.2 ^b	1.3 ± 0.1 ^b	6.1 ± 0.3 ^b
Луг	20	37.7 ± 0.7 ^a	1.2 ± 0.1 ^a	3.3 ± 0.1 ^b	1.1 ± 0.1 ^b	6.7 ± 0.5 ^b

Примечание. Средние значения с одинаковыми буквенными надстрочными индексами статистически не различимы при $p < 0.05$.

* Измерения проводились на листовой пластинке прикорневого листа без учета длины черешка.

Физиологические и цитологические характеристики проростков семян *A. sylvestris* в зависимости от типа местообитания материнских растений

Место произрастания	Влажность свежесобранных семян, %	Влажность семян после 8 месяцев хранения, %	Масса 1000 семян, г	Лабораторная всхожесть, %	Длина корешка, мм*	МИ, %
Лес	20.7 ± 0.1 ^a	3.1 ± 0.1 ^a	0.7 ± 0.1 ^a	35.2 ± 8.9 ^a	4.0 ± 0.2 ^a	4.9 ± 1.0 ^a
Склон	7.7 ± 0.1 ^b	3.0 ± 0.1 ^a	0.6 ± 0.1 ^a	48.0 ± 4.6 ^{ab}	5.5 ± 0.2 ^b	4.2 ± 0.6 ^a
Луг	11.2 ± 0.1 ^c	3.0 ± 0.1 ^a	0.6 ± 0.1 ^a	56.4 ± 3.6 ^b	5.5 ± 0.2 ^b	3.5 ± 0.5 ^a

Примечание. Средние значения с одинаковыми буквенными надстрочными индексами статистически не различимы при $p < 0.05$. МИ – митотический индекс.

* Измерения проводились на 20 проростках в четырех повторностях.

на остепненном лугу и остепненном склоне (табл. 1). При этом статистически достоверных отличий в значениях этих параметров для растений, произрастающих в условиях остепненного луга и на остепненном склоне коренного берега, не выявлено, что может указывать на сходство данных условий местообитания (Xu et al., 2008; Martiniello, Teixeira da Silva, 2011). Число генеративных побегов и высота растений в среднем статистически достоверно не отличались для всех изученных вариантов.

Показано, что содержание влаги в свежесобранных семенах увеличивается в ряду “склон” (7.7 %) < “луг” (11.2 %) < “лес” (20.7 %) (табл. 2). При этом дальнейшая сушка семенного материала в лабораторных условиях приводит к уменьшению содержания влаги в семенах в среднем до 3.0 %. Масса 1000 воздушно-сухих семян для всех трех вариантов местообитания *A. sylvestris* статистически значимо не отличалась (см. табл. 2).

Лабораторная всхожесть семян *A. sylvestris*, сформировавшихся на опушке соснового леса, и длина корешков их проростков были в 1.6 и 1.4 раза ниже, чем у семян ветреницы, произрастающей на остепненном лугу соответственно (см. табл. 2). При этом показатели МИ корневой меристемы проростков для всех трех рассматриваемых условий произрастания популяции *A. sylvestris* статистически не отличались. Возможно, снижение лабораторной всхожести и замедление ростовых процессов у проростков семенного потомства, сформированного в условиях опушки леса, связаны с

большей влажностью свежесобранных семян, что может привести к преждевременному старению и частичной гибели семенного материала (Reed, 2005).

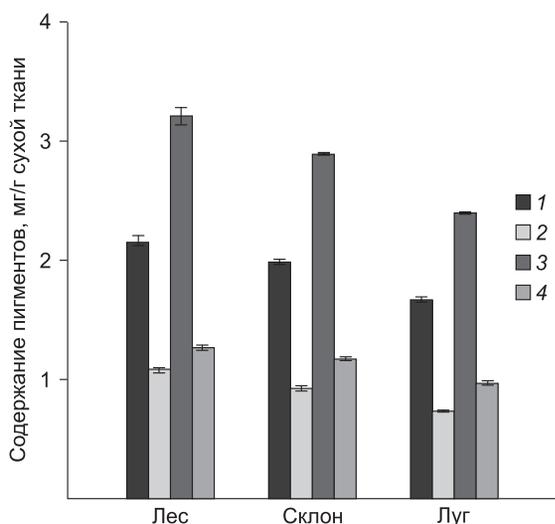
Известно, что при воздействии различных стресс-факторов среды усиливается генерация АФК и свободных радикалов, индуцирующих процессы ПОЛ и способствующих при их избыточном накоплении развитию деструктивных процессов как на уровне клетки, органа, так и всего организма (Владимиров, Арчаков, 1972). Показано, что произрастание материнских растений *A. sylvestris* в условиях опушки соснового леса могло быть причиной повышения в 2.1 раза концентрации малонового диальдегида (МДА) в клетках проростков по сравнению с аналогичным показателем для двух других рассматриваемых условий произрастания, что указывает на более высокую интенсивность процессов ПОЛ (табл. 3). Повидимому, в качестве адаптивной реакции на активацию ПОЛ у проростков (опушка соснового леса) повысилось суммарное содержание НМАО, флавоноидов и активность АПК в 1.7, 1.6 и 2.9 раза соответственно, при этом активность СОД статистически достоверно не изменялась по сравнению с аналогичными показателями для двух других рассматриваемых условий произрастания (см. табл. 3). Таким образом, повышение активности систем АОЗ в тканях проростков может быть следствием предшествующей адаптации материнских растений *A. sylvestris* к действию микроклиматических условий опушки соснового леса.

Биохимические характеристики проростков семян *A. sylvestris* в зависимости от типа местообитания материнских растений

Место произрастания	МДА, мкмоль/г сырой массы	НМАО, мг/г сырой массы	Флавоноиды, мг/г сырой массы	Активность ферментов, мкмоль/(мин·г сырой массы)		$k_{\text{ПОЛ}/\text{АОЗ}}$	Хлорофилл <i>a/b</i>	Доля хлорофилла в ССК, %
				СОД	АПК			
Лес	2.66 ± 0.07 ^a	15.05 ± 0.69 ^a	9.31 ± 0.43 ^a	5.75 ± 0.65 ^a	3.11 ± 0.23 ^a	0.88	2.00 ± 0.10 ^a	73.60 ± 3.68 ^a
Склон	1.37 ± 0.04 ^b	9.62 ± 0.96 ^b	7.36 ± 0.13 ^b	5.06 ± 0.25 ^a	1.13 ± 0.07 ^b	0.91	2.20 ± 0.11 ^{ab}	69.50 ± 3.48 ^a
Луг	1.22 ± 0.31 ^b	8.60 ± 0.07 ^b	4.01 ± 0.09 ^c	5.93 ± 0.30 ^a	1.03 ± 0.03 ^b	1.00	2.30 ± 0.12 ^b	66.50 ± 3.33 ^a

Примечание. Средние значения с одинаковыми буквенными надстрочными индексами статистически не различимы при $p < 0.05$.

МДА – малоновый диальдегид; НМАО – низкомолекулярные антиоксиданты; СОД – супероксиддисмутаза; АПК – аскорбат-пероксидаза; $k_{\text{ПОЛ}/\text{АОЗ}}$ – расчетный коэффициент антиоксидантно-прооксидантного статуса; ССК – светособирающий комплекс.



Содержание хлорофилла *a* (1), *b* (2), общего хлорофилла ($a + b$, 3) и каротиноидов (4) в тканях проростков *A. sylvestris* в зависимости от типа местообитания материнских растений.

Для оценки прооксидантно-антиоксидантно-го статуса был применен расчетный коэффициент $k_{\text{ПОЛ}/\text{АОЗ}}$, характеризующий вклад про- и антиоксидантных систем при формировании биохимической ответной реакции (Прокопьев и др., 2011). Интегральный коэффициент $k_{\text{ПОЛ}/\text{АОЗ}}$ рассчитывался как отношение показателей интенсивности ПОЛ (содержание МДА) к показателям активности АОЗ (содержание НМАО, активность АПК и СОД), нормированным по отношению к аналогичным значениям для проростков (остепненный луг). Показано, что значения $k_{\text{ПОЛ}/\text{АОЗ}}$ для проростков семенного потомства *A. sylvestris*, материнские растения которых произрастали в условиях остепненного луга, склона коренного берега и опушки соснового леса, варьировали в диапазоне 1.0–1.1, что свидетельствует об устойчивом протека-

нии метаболических процессов, выраженном в сбалансированной работе прооксидантно-антиоксидантных систем в режиме простой компенсации (см. табл. 3).

Известно, что неблагоприятные условия среды произрастания оказывают сильное влияние и на такие физиологические системы растений, как их пигментный аппарат (Дымова, Головки, 2007). Содержание и соотношение фотосинтетических пигментов определяются многими внешними и внутренними факторами, действие которых интегрируется в активности процессов биосинтеза и деградации пигментов.

Отмечено увеличение содержания фотосинтетических пигментов в тканях проростков в ряду “луг < склон < лес” (см. рисунок) по всем изученным показателям: Хл. *a*, Хл. *b*, общий хлорофилл (Хл. *a* + Хл. *b*) и Кар. Соотношения содержания зеленых пигментов “Хл. *a*/Хл. *b*” в клетках проростков семян, сформированных в различных условиях обитания, незначительно отличались (см. табл. 3), что свидетельствует о сохранении относительной стабильности функционирования пигментного аппарата исследованных проростков независимо от места произрастания (луг, склон, лес) родительских растений. При этом доли хлорофилла, входящие в ССК, проростков семян растений со всех изученных местонахождений статистически достоверно не отличались и составили в среднем 69.9 % от общего числа зеленых пигментов (см. табл. 3).

По-видимому, возрастание содержания хлорофилла *a* и *b* и стабильность их соотношения у проростков семенного потомства (в ряду “луг < склон < лес”) свидетельствуют об увеличении числа компонентов ССК и реакционных центров фотосистем I и II, в результате чего может возрастать скорость переноса электронов в электрон-транспортной цепи хлоропластов (Ничипорович, 1988).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что растения *A. sylvestris* характеризовались в среднем меньшими значениями морфоло-

гических признаков – длины и ширины листовой пластинки прикорневого листа, общего числа листьев

в условиях опушки соснового леса по сравнению с остепненным лугом и склоном. Свежесобранные семена *A. sylvestris*, сформировавшиеся в этих условиях, обладали высокой влажностью, которая, по-видимому, привела к снижению лабораторной всхожести семян

и длины корешков их проростков. При этом у проростков наблюдались ответные биохимические реакции, заключающиеся в одновременном повышении активности систем АОЗ и интенсивности ПОД, а также в увеличении суммарного содержания Хл. *a* и *b*.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреев Н.Г.** Луговое и полевое кормопроизводство. 3-е изд., перераб. и доп. М., 2000. 540 с.
- Барабой В.А.** Механизмы стресса и перекисное окисление липидов // Успехи соврем. биологии. 1992. Т. 111, вып. 6. С. 923–951.
- Барыкина Р.П., Потапова Н.Ф.** Биоморфологический анализ видов рода *Anemone* L. флоры бывшего СССР в ходе онтогенеза // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1994. Т. 99, вып. 5. С. 124–136.
- Владимиров Ю.А., Арчаков А.И.** Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М., 1972. 252 с.
- Гаврилова М.К.** Климат Центральной Якутии. Якутск, 1973. 120 с.
- Дымова О.В., Головкин Т.К.** Состояние пигментного аппарата растений живучки ползучей в связи с адаптацией к световым условиям произрастания // Физиология растений. 2007. Т. 54, № 1. С. 47–53.
- Ермаков А.И.** Методы биохимического исследования растений. Л., 1987. 430 с.
- Иванова В.П.** Двудольные растения окрестностей г. Якутска: Определитель. Якутск, 1990. 160 с.
- Ильина В.Н.** Некоторые результаты исследований ценопопуляций *Anemone sylvestris* L. (Ranunculaceae) в Самарском Заволжье // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2009. Т. 18, № 4. С. 159–170.
- Климат Якутска. Л., 1982. 247 с.
- Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В., Обозный А.И.** Антиоксидантная система растений: участие в клеточной сигнализации и адаптации к действию стрессоров // Вестн. Харьк. нац. аграр. ун-та. Сер. биология. 2011. Вып. 1, № 22. С. 6–34.
- Кузнецов В.В.** Индуцибельные системы и их роль при адаптации растений к стрессовым факторам: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Кишинев, 1992. 74 с.
- Лищук С.С.** Методика определения массы 1000 семян // Бот. журн. 1991. Т. 76, № 11. С. 1623.
- Майсурадзе Н.И., Киселев В.П., Черкасов О.А., Нухимовский Е.Л.** Методика исследований при интродукции лекарственных растений // Лекарственное растениеводство / Под ред. Н.И. Майсурадзе. М., 1984. Вып. 3. 32 с.
- Ничипорович А.А.** Фотосинтез и продукционный процесс. М., 1988. 277 с.
- Носова Л.М.** О роли экологических и фитоценологических факторов в распространении *Anemone nemorosa* L. // Эколого-ценотические и географические особенности растительности. М., 1983. С. 173–184.
- Папонова И.Т.** Некоторые вопросы клональной изменчивости ветреницы алтайской в центральной части Хападного Предураля // Онтогенез травянистых поликарпических растений: Сб. науч. тр. Свердловск, 1986. С. 107–112.
- Паушева З.П.** Практикум по цитологии растений. М., 1974. 288 с.
- Полякова Л.С., Кашарин Д.В.** Метеорология и климатология. Новочеркасск, 2004. 107 с.
- Прокопьев И.А., Журавская А.Н., Филиппова Г.В.** Изменчивость биохимических параметров и радиоустойчивость семенного потомства дескурайнии гулявниковой и клоповника безлепестного под действием различных факторов // Экология. 2011. № 4. С. 259–265.
- ГОСТ 24933.3-81.** Семена цветочных культур. Методы определения влажности. Введ. 1982.07.01. М., 1982. 2 с.
- Хочачка П., Сомеро Д.** Биохимическая адаптация: Пер. с англ. М., 1988. 568 с.
- Черосов М.М., Слепцова Н.П., Миронова С.И., Гоголева П.А., Пестряков Б.Н., Гаврильева Л.Д.** Синтаксономия синантропной растительности Якутии. Якутск, 2005. 575 с.
- Balen B., Peharec P., Tkalec M., Krsnik-Rasol M.** Oxidative stress in horseradish (*Armoracia lappathifolia* Gilib.) Tissues Grown *in vitro* // Food Technol. Biotechnol. 2011. V. 49, No. 1. P. 32–39.
- Foyer C.H., Noctor G.** Redox regulation in photosynthetic organisms: Signaling, acclimation and practical implications // Antioxidants and Redox Signaling. 2009. V. 11, No. 4. P. 861–905.
- Giannopolitis C.N., Ries S.K.** Superoxide dismutases: I. Occurrence in Higher Plants // Plant Physiol. 1977. V. 59, No. 2. P. 309–314.
- Gosling P.G., Butler R.A., Black M., Chapman J.M.** The onset of germination ability in developing wheat // J. Exp. Bot. 1981. V. 32, No. 3. P. 621–627.
- Hoot S.B., Reznicek A.A., Palmer J.D.** Phylogenetic relationships in *Anemone* (Ranunculaceae) based on morphology and chloroplast DNA // Systematic Botany. 1994. V. 19 (1). P. 169–200.
- Lichtenthaler H.K.** Chlorophylls and carotenoids pigments of photosynthetic biomembranes // Method. Enzymol. 1987. V. 148. P. 350–382.
- Martiniello P., Teixeira da Silva J.A.** Physiological and bio-agronomical involved in growth and yield components of cultivated forage species in mediterranean environments: A Review // Europ. J. Plant Sci., Biotechnol. 2011. V. 5 (Special Issue 2). P. 64–98.
- Nakano Y., Asada K.** Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts: its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical // Plant Cell Physiol. 1987. V. 28. P. 131–140.
- Reed S.M.** Effect of storage temperature and seed moisture on Germination of Stored Flowering Dogwood Seed // J. Environ. Hort. 2005. V. 23, No. 1. P. 29–32.
- Xu F., Guo W., Xu W., Wang R.** Habit effect on leaf morphological plasticity in *Quercus acutissima* // Acta Biol. Cracov. Ser. Bot. 2008. V. 50/2. P. 19–26.