

УДК 581.1/8

Д. М. Сытников^{1,2}, к.б.н., старший научный сотрудник**Л. М. Бабенко**¹, к.б.н., старший научный сотрудник**Н. Н. Щербатюк**¹, к.б.н., научный сотрудник¹ Институт ботаники имени Н. Г. Холодного НАН Украины, ул. Терещенковская, 2, Киев, 01601, Украина² Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова, Биотехнологический научно-учебный центр, ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина, e-mail: sytnikov@list.ru

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПИГМЕНТЫ И ОНТОГЕНЕЗ *EQUISETUM ARVENSE* L.

Изучена динамика содержания хлоропластных пигментов в различных органах хвоща полевого (*Equisetum arvense* L.) в онтогенезе и ультраструктурные особенности его фотосинтезирующих тканей. Показано, что содержание хлорофилла *a* и *b* в различных органах хвоща полевого зависит от периода онтогенеза и фазы развития растения. Установлена ведущая роль хлоренхимы нижних ветвей вегетативных побегов хвоща в накоплении максимального количества хлорофилла. В клетках хлоренхимы нижних ветвей идентифицировано скопление дифференцированных хлоропластов. Обсуждается роль структуры и физиологического состояния фотосинтетического аппарата хвоща полевого в его способности эффективно накапливать вегетативную массу и запасные питательные вещества за короткий период активного развития.

Ключевые слова: *Equisetum arvense* L., хлорофилл, ультраструктура тканей, онтогенез.

Семейство *Equisetaceae* (хвощёвые) преимущественно представлено ископаемыми формами. Эти растения появились в девоне и достигли своего расцвета в каменноугольном периоде. Современные хвощёвые насчитывают около 30 видов, 9 из которых произрастают на территории Украины. Наиболее распространенным видом является хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.) – многолетнее травянистое растение [4, 10].

В ходе фенологических наблюдений установлено, что генеративные (спороносные) побеги хвоща полевого появляются ранней весной, на верхушках они несут яйцевидно-цилиндрические стробилы со спорангиями, в которых формируются споры [4, 5, 14]. Эти побеги буровато-розовые, не ветвистые, обычно толще вегетативных побегов, состоят из 6–7 междоузлий и коротких узлов, от которых отходят расположенные кольцами листья, образующие сросшиеся мутовки с 8–10 черно-бурыми зубцами. После спороношения генеративные побеги большей частью отмирают, а вместо них развиваются вегетативные (ассимилирующие). Вегетативные побеги достигают 15–50 см в высоту и состоят из 14–15 междоузлий. Они стерильны, зеленого цвета, шероховатые, с бороздами и цилиндрическими мутовками, образующими влагалища, которые неплотно прилегают и заканчиваются ланцетовидными, заостренными, черно-бурыми, узко-бело-окаймленными

листьями, как правило, не участвующими в процессе фотосинтеза. Зубцевидные листовые пластинки обычно короткие и содержат очень мало хлорофилла. Ветви первого порядка трех-четырёхгранные, располагаются мутовчато, со временем, начиная с нижнего яруса, на них начинают формироваться ветви второго порядка и так далее. Стебли хвоща полевого обладают ярко выраженной метамерией, ассимиляционную функцию здесь выполняют зелёные стебли и ветви. Корневище у хвоща полевого двух типов – горизонтальное и вертикальное, буровато-черного цвета, ползущее и членистое, с длинными междоузлиями и короткими узлами, несет на себе листовые влагалища и формирует клубни, которые служат местом отложения запасных веществ, а также органами вегетативного размножения.

Хвощ полевой, как дикий вид, обладает высокой биологической эффективностью в распределении продуктов фотосинтеза, характеризуется способностью накапливать запасные вещества в наземной части растения, корневище и клубнях за короткий период активного роста побегов [19]. Хлорофилл и его интермедиаты играют важную роль в функционировании растительных организмов, обеспечивая протекание в клетках световых реакций фотосинтеза. Содержание фотосинтетических пигментов и динамика их изменений в ходе вегетации зависят от соотношения многих факторов. Эти показатели характеризуют физиологическое состояние и адаптационные возможности растений, связаны как с их продукционным процессом, так и с накоплением различных биологически активных веществ [6, 9].

Представители ныне живущего рода *Equisetum* характеризуются очень большой морфологической пластичностью, представляют интерес в фармакогнозии и в изучении экологических особенностей пионерной растительности. Хвощ является также объектом исследований в поиске эффективных средств борьбы с корневищными сорняками и как индикатор кислых почв [4, 8, 9, 19]. Тем не менее, несмотря на общую биологическую изученность и актуальность некоторых практических аспектов его применения, не до конца выясненными остаются вопросы физиологии хвоща полевого, относящиеся, в частности, к особенностям его онтогенеза и способности за короткое время эффективно накапливать вегетативную массу и запасные питательные вещества [13, 19, 20].

Целью настоящей работы явилось изучение содержания хлорофиллов в различных органах хвоща полевого в онтогенезе, а также особенностей ультраструктуры его фотосинтезирующих тканей.

Материалы и методы исследования

В работе использовали генеративные (спороносные) и вегетативные (ассимилирующие) побеги хвоща полевого (*Equisetum arvense* L.), произрастающего на научно-производственной базе Института ботаники имени Н. Г. Холодного НАН Украины “Феофания” (г. Киев) в условиях Северной Лесостепи Украины.

Фенологические наблюдения за растениями производили по общепринятой методике [1] в период с марта по август (2009–2012 гг.). Спороносные побеги хвоща исследовали в фазу меристематического побега, в фазах закрытого и открытого стробилов, при этом они были разделены по следующим органам – стробил, междуузлия и мутовки листьев (рис. 1).

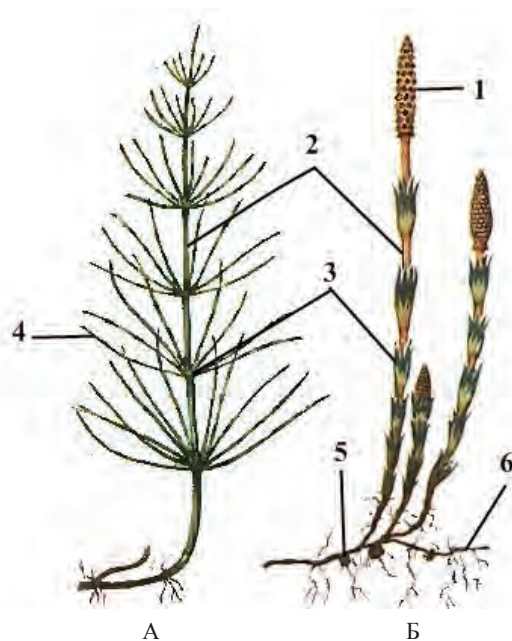


Рис. 1. Общий вид хвоща полевого, *Equisetum arvense* L. [11]:
А – ассимилирующий побег, Б – спороносный побег; 1 – стробил, 2 – междуузлия, 3 – редуцированные листья, 4 – ветви, 5 – клубень, 6 – корневище.

Ассимилирующие побеги хвоща для анализа заготавливали в фазах развития, которые соответствовали их следующим линейным размерам – 15, 25, 30 и 40 см. При этом побеги разделяли на междуузлия и ветви (первого порядка) нижней (1–6 междуузлия) и верхней (11–15 междуузлия) части растения (рис. 1). Фазы развития растений были выделены в ходе проводившихся наблюдений.

Определение содержания фотосинтетических пигментов производили путем предварительного экстрагирования хлорофилла 96 % этиловым спиртом в течение суток с последующим определением оптической плотности полученных экстрактов на спектрофотометре ПЭ 5400УФ (Россия) при 665 и 649 нм. Для измерений отбирали средние пробы измельченного растительного материала соответствующего органа нескольких рандомизированных растений. Измерения проводили в трехкратной повторности.

Для расчета содержания хлорофиллов *a* и *b* использовали следующие формулы [12]:

$$C_{\text{хл } a}, \text{ мг/л} = 13,70 \times D_{665} - 5,76 \times D_{649};$$

$$C_{\text{хл } b}, \text{ мг/л} = 25,80 \times D_{649} - 7,60 \times D_{665};$$

где *C* – концентрация пигментов, мг/л; *D* – длина волны.

После определения концентрации пигмента в экстракте, по формуле Винтерманс, Де Мотс рассчитывали его содержание в исследуемом растительном материале с учётом объема вытяжки и массы пробы [12]. Полученные результаты обрабатывали статистически, в таблице и тексте представлены средние арифметические и их стандартные ошибки.

Для исследования ультраструктуры клеток побегов хвоща отбирали фрагменты тканей размером 1 × 2 мм, которые фиксировали 3 %-ным раствором глютарового альдегида (“Serva”, США) на фосфатном буфере (pH 7,2) в течение 2 ч. Постфиксацию осуществляли 1 %-ным раствором тетроксид осмия при комнатной температуре в течение 3 ч. Материал обезживали восходящими концентрациями этилового спирта по общепринятой методике и заливали смесью (эпон и аралдит) эпоксидных смол (“Serva”, США) [15]. Ультратонкие срезы получали на ультрамикротоме LKB-3 (LKB, Швеция) и контрастировали цитратом свинца по Рейнольдсу [3] в течение 7 мин. Срезы тканей исследовали на трансмиссионном электронном микроскопе JEM-1230 (JEOL, Япония).

Изучение структурных особенностей поверхностных тканей проводили на сканирующем микроскопе JSM-6060 LA (JEOL, Япония). Замороженные при температуре жидкого азота образцы высушивали при температуре –40 °С, в вакууме, затем покрывали слоем золота в ионном напылителе ION Sputer JFC-1100 (JEOL, Япония).

Размеры клеток и органелл рассчитывали на электронных микрофотографиях при помощи программы UTHSCSA Image Tool 3.0.

Результаты и их обсуждение

По результатам фенологических наблюдений за хвощом полевым, обитающим в естественных условиях, в ходе его онтогенеза чётко выделяются: 1) генеративный период (спороносные побеги), включающий в себя фазу меристематического побега и побеги в фазах закрытого и открытого стробилов; 2) вегетативный период, в котором фазы развития дифференцируются по размеру ассимилирующего побега (см. материалы и методы); 3) период покоя, наступающий после отмирания надземной части растения. Рост спороносных побегов в генеративный период развития хвоща протекал медленно (начиная с конца марта – середины апреля); с переходом к вегетативному периоду, в начале мая, формировались ассимилирующие побеги, достигающие максимального роста в июле.

Размеры стебля хвощей сильно варьируют не только у разных видов, но и в пределах одного достаточно обширного клона в зависимости от условий окружающей среды [4]. В генеративный период развития меристематический побег исследуемых растений состоял из 6–7 полноценных междоузлий. Клетки междоузлий растений в эту фазу ещё не перешли к росту растяжением. Длина побега составляла $4,5 \pm 0,1$ см. Длина спороносного побега в фазу закрытого стробила составляла $23,6 \pm 1,5$ см, его диаметр находился в пределах 0,2–0,4 мм, длина усреднённого кольцевого листа (от основания узла до зубца) – $1,2 \pm 0,02$ см, а междоузлия – $3,8 \pm 0,1$ см. Непосредственно перед высypанием спор масса усреднённого стробила была $560,1 \pm 8,6$ мг, после высypания – $542,2 \pm 6,4$ мг, а длина – $4,2 \pm 0,3$ см. Влажность закрытого стробила находилась на уровне 62 %, а открытого – 48 %, что свидетельствовало о постепенном обезвоживании генеративного побега вследствие завершения спороношения и о начале его отмирания.

В вегетативный период развития хвоща на ассимилирующих побегах формируются ветви. Длина ветвей первого порядка в фазу 15 см составляла – $1,5 \pm 0,04$ см, в фазу 25 см – $4,0 \pm 0,1$ см (появляются ветви второго порядка длиной $0,8 \pm 0,01$ см), в фазу 30 см – $6,5 \pm 0,3$ см (ветви второго порядка – $1,5 \pm 0,1$ см) и в фазу 40 см – $14,4 \pm 1,5$ см (ветви второго порядка – $2,2 \pm 0,1$ см). Вариабельность морфометрических параметров побегов хвоща полевого, очевидно, была обусловлена условиями их естественного произрастания.

Исследование фотосинтетических пигментов показало, что максимальное количество хлорофилла *a* и *b* содержится в ветвях и междоузлиях нижней части ассимилирующих побегов (1–6 междоузлие) хвоща полевого (таблица). При этом прослеживается тенденция увеличения содержания пигментов в ветвях при последовательном развитии от побегов 15 см до побегов 40 см. Содержание пигментов в междоузлиях изменялось менее выражено, достигая своего максимума в фазу побегов 30 см.

Известно, что основная функциональная роль в фотосистемах принадлежит хлорофиллу *a*, в то время как хлорофилл *b* и каротиноиды выполняют вспомогательную (расширяют поглощение) и защитную функции. Максимальная эффективность фотосинтетического аппарата нормально развитых растений достигается при соотношении хлорофиллов (*a/b*) на уровне 2,5–3,0 [16]. В нашем случае соотношение *a/b* междоузлий и ветвей ассимилирующего побега хвоща было стабильным в различных фазах его развития и находилось в пределах 2,53–3,17 (см. таблицу), что свидетельствует об отсутствии влияния на растения неблагоприятных факторов, как показано в работах других авторов [2, 7, 17]. Постепенное увеличение соотношения *a/b* в междоузлиях (до фазы 30 см) и в ветвях (до фазы 40 см) указывает на снижение роли хлорофилла *b* с наступлением более поздних этапов развития хвоща полевого.

Принято считать, что спороносный побег, как правило, не содержит хлорофилла и поэтому не участвует в процессе фотосинтеза [4]. Так, в стробиле, междуузлиях и листьях (на всех фазах развития спороносного побега) нами были обнаружены незначительные количества хлорофилла. Очевидно, что для активного протекания фотосинтетических реакций в различных органах спороносного побега этого было не достаточно.

Таблица

Содержание хлоропластных пигментов в ассимилирующих побегах хвоща полевого (*Equisetum arvense* L.), мг/г сырой массы

Фаза развития побега, см	Нижняя часть растения (1–6 междуузлия)						Верхняя часть растения (11–15 междуузлия)					
	Междуузлия			Ветви			Междуузлия			Ветви		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a/b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a/b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a/b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a/b</i>
15	0,33 ± 0,018	0,12 ± 0,007	2,75	0,67 ± 0,035	0,26 ± 0,013	2,58	0,22 ± 0,009	0,08 ± 0,003 ⁺	2,75	0,43 ± 0,019 ⁺	0,17 ± 0,007 ⁺	2,53
25	0,34 ± 0,017	0,12 ± 0,006	2,83	0,65 ± 0,031	0,24 ± 0,014	2,71	0,25 ± 0,011	0,09 ± 0,005 ⁺	2,77	0,45 ± 0,021 ⁺	0,16 ± 0,005 ⁺	2,81
30	0,45 ± 0,024	0,15 ± 0,006	3,00	1,76 ± 0,091*	0,62 ± 0,028*	2,83	0,38 ± 0,017*	0,12 ± 0,01* ⁺	3,16	1,19 ± 0,069*	0,41 ± 0,019* ⁺	2,90
40	0,38 ± 0,018	0,14 ± 0,005	2,71	2,00 ± 0,112*	0,69 ± 0,031*	2,90	0,25 ± 0,009	0,09 ± 0,005 ⁺	2,78	1,49 ± 0,071*	0,47 ± 0,024* ⁺	3,17

Примечание: «*» – достоверность рассчитана относительно данных первой фазы развития побега (15 см); «⁺» – достоверность рассчитана относительно данных нижней части растения (1–6 междуузлия); *a* – хлорофилл *a*, *b* – хлорофилл *b*.

Известно, что фотосинтезирующая ткань, или хлоренхима стебля (обычные фотосинтезирующие органы, листья, у хвощей редуцированы), подстилает в первую очередь те участки эпидермы, в которых находятся устьица, но хлоренхима может также находиться под гребнями или располагаться сплошным кольцом [4]. В ходе цитологических исследований ассимилирующих побегов хвоща полевого (фаза 40 см), в клетках хлоренхимы нижних ветвей первого порядка (площадь клетки 401,87 ± 17,45 мкм²), были идентифицированы скопления высококодифференцированных хлоропластов, в которых отчетливо прослеживается хорошо развитая система тилакоидных мембран, мелкозернистая строма и четко очерченный электронноплотный матрикс (рис. 2).

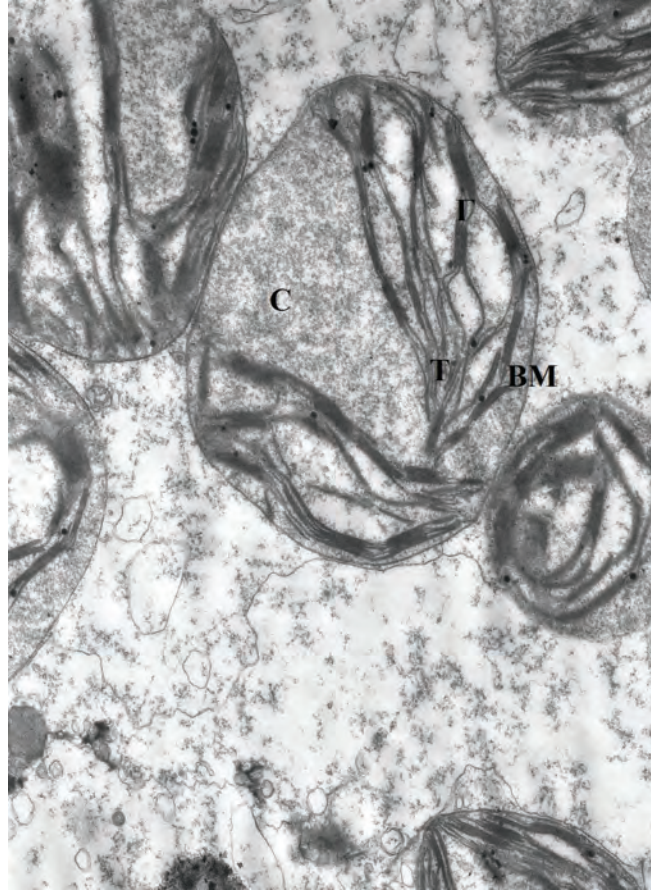


Рис. 2. Группа хлоропластов в клетке хлоренхимы нижней ветви (фаза 40 см) хвоща полевого, *Equisetum arvense* L.: С – строма, ВМ – внешняя мембрана хлоропласта, Т – тиллакоиды, Г – грана (увеличение – 8000×).

На представленной микрофотографии хлоропласты имеют округлую, слегка сдавленную по боковым сторонам форму, внутренняя мембранная система хлоропластов расположена в периферических слоях стромы. Тиллакоиды гран здесь имеют специфическую структуру, отличающуюся от гранальных систем высших растений [11, 18]. На профиль изученных клеток хлоренхимы приходится $6,31 \pm 0,87$ хлоропласта, площадь одного хлоропласта при этом составляет – $13,50 \pm 1,08$ мкм².

Кроме того, показано, что практически вся поверхность боковых ребер изученных ветвей хвоща была плотно усеяна устьицами, которые анатомически находятся над хлоренхимой (рис. 3).

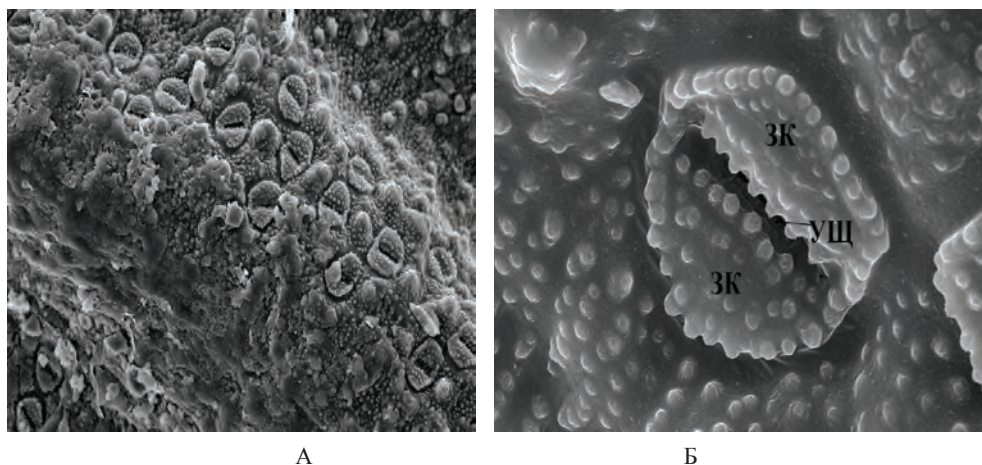


Рис. 3. Локализация устьичного аппарата поверхности ребра нижней ветви (фаза 40 см) хвоща полевого, *Equisetum arvense* L.: **А** – скопление устьиц (увеличение – 250×), **Б** – отдельное устьице (увеличение – 500×); ЗК – замыкающие клетки, УЩ – устьичная щель.

Обращает на себя внимание тот факт, что в спороносных побегах, не содержащих необходимого количества фотосинтетических пигментов, подобная структурная организация устьичного аппарата отсутствовала (рис. 4). Так, при исследовании междоузлий, стробила и листьев спороносного побега на их поверхности идентифицировались лишь единичные устьица, что свидетельствует об отсутствии активно функционирующей фотосинтетической ткани.

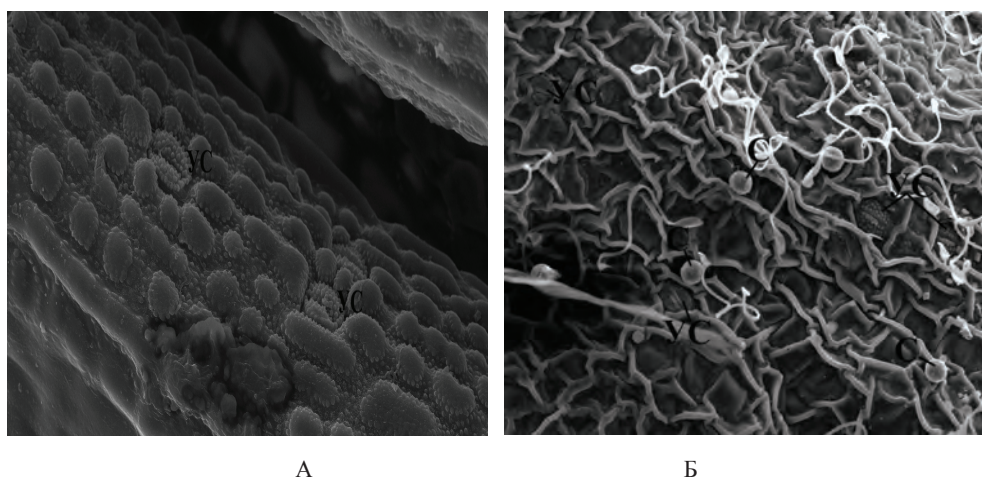


Рис. 4. Фрагменты поверхности спороносного побега хвоща полевого, *Equisetum arvense* L.: **А** – боковая поверхность междоузлия (увеличение – 230×), **Б** – поверхность стробила (увеличение – 150×); УС – устьице, С – спора.

Из полученных результатов следует, что относительно высокое содержание фотосинтетических пигментов в нижних ветвях ассимилирующих побегов хвоща полевого (фаза 40 см) обусловлено наличием полностью сформированного фотосинтетического аппарата и свидетельствует о максимальной ассимиляционной способности растений на данном этапе онтогенеза.

Ранее, в условиях вегетационного опыта, было показано, что рост побегов хвоща полевого медленно усиливается с момента посадки в марте, достигая максимального роста в июле, максимальной длины побегов в августе и их количества в сентябре [19]. При этом была установлена способность растений за короткий период времени (июль) накапливать максимальное количество сухой массы и следовательно запасных питательных веществ. Результаты исследований указывают (табл., рис. 2, 3), что основой такого явления служит структура и физиологическое состояние фотосинтетического аппарата растений на данном этапе онтогенеза (фаза 40 см). В дальнейшем полученные данные будут использованы в изучении особенностей углеводного обмена хвоща полевого, что имеет значение в понимании особенностей его физиологии, а также для фармакогнозии и разработки эффективных методов борьбы с этим корневищным сорняком.

Выводы

1. Содержание хлорофилла *a* и *b* в различных органах хвоща полевого зависит от генеративного и вегетативного периодов онтогенеза и фаз развития растения. Установлена тенденция увеличения содержания хлорофиллов в ветвях и междоузлиях ассимилирующих побегов при последовательном прохождении растениями фаз своего развития.

2. Относительно высокое содержание фотосинтетических пигментов в нижних ветвях ассимилирующих побегов хвоща полевого (фаза 40 см) обусловлено наличием полностью сформированного фотосинтетического аппарата и свидетельствует о максимальной ассимиляционной способности растений на данном этапе онтогенеза.

3. Способность хвоща полевого накапливать за короткий период активного развития вегетативную массу и запасные питательные вещества может обеспечиваться структурой (скопление высококодифференцированных хлоропластов) и физиологическим состоянием (содержание пигментов в ветвях и междоузлиях) фотосинтетического аппарата его ассимилирующих побегов.

Список использованной литературы

1. Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ / И. Н. Бейдеман. – Новосибирск: Наука, 1974. – 156 с.
2. Вплив високотемпературного стресу на пігментний комплекс видів роду *Solidago* L. в репродуктивний період / Д. М. Станецька, І. В. Коваль, Н. І. Джуренко [та ін.] // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія. – 2011. – Вип. 30. – С. 192–196.
3. Гайер Г. Электронная гистохимия / Гайер Г. – М.: Мир, 1974. – 488 с.
4. Жизнь растений: [в 6-ти томах] / гл. ред.: Федоров Ал. А. – М.: Просвещение, 1974–1981. – Т. 4: Мхи. Плауны. Хвоши. Папоротники. Голосеменные растения / [Тахтаджан А. Л., Лазаренко А. С., Грушвицкий И. В. и др.]; под. ред. И. В. Грушвицкого и С. Г. Жилина, 1978. – 447 с.
5. Ідентифікація ліпоксигеназної активності в спороносних пагонах *Equisetum arvense* L. / Л. М. Бабенко, Л. В. Войтенко, Т. Д. Скатерна [та ін.] // Доповіді НАН України. – 2012. – № 12. – С. 163–167.
6. Киризий Д. А. Фотосинтез и рост растений в аспекте донорно-акцепторных отношений / Киризий Д. А. – Киев: Логос, 2004. – 192 с.
7. Кобилецька М. Вплив саліцилової кислоти на вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах кукурудзи за дії кадмію хлориду / М. Кобилецька, У. Маленька // Вісник Львівського університету. Серія Біологія. – 2012. – Вип. 8. – С. 300–308.
8. Коломиец Н. Э. Растения рода хвощ / Н. Э. Коломиец // Фармация. – 2006. – № 3. – С. 46–48.
9. Коломиец Н. Э. Сравнительное исследование химического состава видов рода хвощ флоры Сибири / Н. Э. Коломиец, Г. И. Калинкина // Химия растительного сырья. – 2010. – № 1. – С. 149–154.
10. Кучерява Л. Ф. Систематика вищих рослин. І. Археогоніати / Кучерява Л. Ф., Войтюк Ю. О., Нечитайло В. А. – Київ: Фітосоціоцентр, 1997. – 136 с.
11. Лотова Л. И. Морфология и анатомия высших растений / Лотова Л. И. – М.: Эдитореал УРСС, 2001. – 529 с.
12. Мусієнко М. М. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин / Мусієнко М. М., Паршикова Т. В., Славний П. С. – Київ: Фітосоціоцентр, 2001. – 200 с.
13. Рейвн П. Современная ботаника. Т. 2 / Рейвн П., Эверт Р., Айкхорн С. – М.: Мир, 1990. – 344 с.
14. Флора УССР // Голов. ред. акад. Фомін О. В. – том 1. – Київ: Видавництво АН УССР, 1936. – С. 110–113.
15. Фурст Г. Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей / Фурст Г. Г. – М.: Наука, 1979. – 155 с.
16. Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / Шлык А. А. // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1975. – С. 154–170.
17. Drążkiewicz M. Interference of nickel with the photosynthetic apparatus of *Zea mays* / M. Drążkiewicz, T. Baszyński // Ecotoxicol. Environ. Saf. – 2010. – Vol. 73, N 5. – P. 982–986.
18. Evert R. F. Esau's Plant Anatomy. Third edition. / Evert R. F. – Hoboken, New Jersey: Wiley Interscience, 2007. – 607 p.
19. Marshall G. Growth and Development of Field Horsetail (*Equisetum arvense* L.) / G. Marshall // Weed Science. – 1986. – Vol. 34. – P. 271–275.
20. Stern K. R. Introductory Plant Biology / Stern K. R., Jansky S., Bidlack J. E. – New York: McGraw-Hill, 2003. – 624 p.

Статья поступила в редакцию 11.04.2013

Д. М. Ситніков^{1,2}, Л. М. Бабенко¹, М. М. Щербатюк¹

¹ Інститут ботаніки імені М. Г. Холодного НАН України,
вул. Терещенківська, 2, Київ, 01601, Україна

² Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Біотехнологічний
науково-навчальний центр, вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна

ФОТОСИНТЕТИЧНІ ПІГМЕНТИ І ОНТОГЕНЕЗ *EQUISETUM ARVENSE* L.

Резюме

Досліджено динаміку вмісту хлоропластних пігментів у різних органах хвоща польового (*Equisetum arvense* L.) в онтогенезі і ультраструктурні особливості його фотосинтезуючих тканин. Показано, що вміст хлорофілу *a* і *b* в різних органах хвоща польового залежить від періоду онтогенезу і фази розвитку рослини. Встановлено провідну роль хлоренхіми нижніх гілок вегетативних пагонів хвоща польового в накопиченні максимальної кількості хлорофілу. В клітинах хлоренхіми нижніх гілок ідентифіковані скупчення диференційованих хлоропластів. Обговорюється роль структури і фізіологічного стану фотосинтетичного апарату хвоща польового у його здатності до ефективного накопичення вегетативної маси і запасних поживних речовин за короткий період активного розвитку.

Ключові слова: *Equisetum arvense* L., хлорофіл, ультраструктура тканин, онтогенез.

D. M. Sytnikov^{1,2}, L. M. Babenko¹, M. M. Shcherbatyuk¹

¹N. G. Kholodnyi Institute of Botany, National Academy of Science of Ukraine,
2, Tereshchenkivska Str., Kyiv, Ukraine

²Odesa National Mechnykov University, Biotechnology Research and Training Center, 2,
Dvoryanska Str., Odessa, 65082, Ukraine

PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS AND ONTOGENESIS OF *EQUISETUM* *ARVENSE* L.

Summary

The dynamic of content of chloroplast pigments from different organs of horsetail (*Equisetum arvense* L.) during ontogenesis and ultrastructure characteristics of its photosynthetic tissues were studied. It was shown that chlorophyll *a* and *b* content of different organs of horsetail depended on the ontogenesis period as well as the plant development phase. The key role of chlorenchima from vegetative shoots (lower branches) of the horsetail in chlorophyll accumulation was found. In chlorenchima cells of lower branches there were identified the clusters of chloroplasts with differentiated structure. The role of structure and physiological state of photosynthetic complex of the horsetail in its ability effectively accumulate vegetative mass and reserved nutritive materials in a short period of active development is discussing.

Key words: *Equisetum arvense* L., chlorophyll, tissue ultrastructure, ontogenesis.