

Ж.Б. Калдыбаева^{1*}, М.С. Курманбаева²¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан;²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*Хат-хабарларға арналған автор: zhanar_161081@mail.ru

***Paulownia Siebold & Zucc* түрлері жапырақтарының салыстырмалы морфологиялық-анатомиялық ерекшеліктері**

Мақалада Алматы қаласы жағдайында өсірілген *Paulownia Siebold & Zucc* түрлерінің гибридтері Shan Tong және FTE жапырақтарының морфологиялық және анатомиялық құрылысының ерекшеліктері алғаш рет сипатталды. Бұл ағаш түрі Оңтүстік-Шығыс Азия елдерінде табиғи жағдайда кеңінен тараған. Қазіргі уақытта көптеген елдерде өсіріліп, жерсіндірілуде. Жұмыстың өзектілігі: *Paulownia* ағашы орман өнеркәсібінде, биоотын және биогаз алу мақсатында, биоремедиант ретінде және медицинада емдік қасиеттерін кеңінен қолданады. Қазақстан жағдайында жанадан өсіріліп, жерсіндірілуде, сол себептен жергілікті экологиялық жағдайда *Paulownia* түрлері гибридтеріне биологиялық-экологиялық зерттеулер жүргізілмеген. Практикалық маңыздылығын ескерсек, орманға тапшы еліміз үшін бұл ағаштың мүмкіндіктерін пайдалану аса қажет. Жұмыстың мақсат-міндеттері: *Paulownia* өсімдігінің Shan Tong және FTE гибридтер жапырақтарының морфологиялық-анатомиялық ерекшеліктерін зерттеп, салыстыру. Зерттеу әдістері: морфометриялық көрсеткіштері мен мүшелерінің морфологиялық құрылымы жалпы қабылданған әдістеме бойынша жүргізілді. Микроскопиялық талдау үшін фиксация Страсбургер-Флемминг әдісімен жасалды. Нәтижесі: Shan Tong және FTE жапырақтарының анатомиялық құрылысының диагностикалық белгілерін анықтауда биологиялық активті заттардың шоғырлану орындары белгіленді, сондай-ақ, гликозидтер бағаналы және борпылдақ мезофилде шоғырланғандығы айқындалды. Микроскопиялық кесінділерден жапырақтың анатомиялық құрылысында қарапайым көп клеткалы бір ядролы трихомалар, бір клеткалы безді түктер, құмыра тәрізді тармақталмаған, көп клеткалы, бір ядролы ірі трихомалар кездесетіндігі анықталды. Салыстыру барысында FTE гибридті жапырағының морфометрикалық көрсеткіштері Shan Tong гибридті жапырағының морфометрикалық көрсеткіштеріне қарағанда жоғары екендігі белгілі болды, айырмашылық тек бағаналы мезофилдің қалыңдығында байқалды. Алынған нәтижелер *Paulownia* туысы түрлері жапырағының анатомиялық ерекшелігін айқындап, деректерді растауға, нақтылауға және толықтыруға мүмкіндік береді. Алынған мәліметтерді *Paulownia* туысы түрлерін практикалық қолданыста жүйелі зерттеулер үшін қолдануға болады.

Кілт сөздер: морфология, микроскопия, анатомиялық-диагностикалық белгілер, *Paulownia* Shan Tong, *Paulownia* FTE.

Kipicne

Мақалада қарастырылатын Павловния өсімдігі *Paulownia Siebold & Zucc* туысы — павловниялар (*Paulowniaceae*) тұқымдасына жатады, оған 9 түр кіреді, сондай-ақ бірнеше гибрид түрлері бар [1]. Оңтүстік-Шығыс Азия елдерінде (Қытай, Корея, Жапония т.б.) табиғи жағдайда кеңінен тараған. Қазіргі уақытта АҚШ, Еуропа және ТМД-ның оңтүстік аумақтарында да дақыл ретінде және жапырақты ағаш қазіргі уақытта әлемнің көптеген аумақтарында, көгалдандыру-декоративтік және ағаш алу мақсатында өсіріледі [2].

Paulownia — жапырақты жылдам өсетін биік ағаш, жылына 2-4 м өсіп, 18-25 м биіктікке жетеді. Жапырақтары мамыр айында жайқалып және алғашқы аяздың басталуымен түседі. Жапырақтары өте үлкен, кең жүрек тәрізді, бір-біріне қарама-қарсы орналасқан. Көктемнің сәуір-мамыр айларында гүлдейді, гүлдері күлгін-қызғылт түсті. Көктемде жапырақтары бүршік жармас бұрын гүлдейді, гүлдері хош иісті, түтікшелі-қоңырау тәрізді, диаметрі 5-6 см [3]. Көбеюі, табиғи жағдайда ұсақ қанатты тұқымдары желмен таралады, ал вегетациялық көбейту тұқым, атпа тамырлары және бұталарын қалемшелеу арқылы жүзеге асады. Гүлдеп болған соң жеміс салады. Жемісі қосжақтаулы ұзынша келген қорапша тәрізді болады, оның ішінде көптеген тұқым болады. Өсімдікті 1835 жылы неміс биологтары Д. Цуккарини мен Ф. Зибольд ашты. Халық арасында көптеген атауға ие: Адам ағашы, ханшайым ағашы, айдаһар ағашы, император ағашы, феникс ағашы [4].

Paulownia-ның практикалық маңыздылығы өте жоғары, ол орман шаруашылығында, әсіресе ағаш алу мақсатында, биоэтанол және биоотын өндірісінде, дәрілік шикізат алуда және басқа да көп мақсатты түрде қолданыс тапқан перспективалы ағаш түрі. *Paulownia*-ның ағаш-сүрегі, жапырақтары,

гүлдері, тамыры және тұқымы барлығы дерлік пайдаға жарамды болып келеді [5,6]. *Paulownia*-ның жапырақтары мал азығы ретінде өте құнды, протеин мөлшері жоғары болғандықтан құнарлы болып табылады [7, 8]. Жапырық құрамында алкалоидтар, альдегидтер, органикалық қышқылдар, флавоноидтар, полифенолдар, эфир майлары бар [9, 10]. Өсімдіктің антидиоксантик, қабынуға, микробтар мен вирусқа қарсы, түрлі қоздырғыштарға қарсы және косметологиялық зерттеулерде биологиялық белсенділігі анықталған [11]. *Paulownia* жапырақтары аяқтың жаралары мен үсікті емдеуде жараны емдейтін сипаттамаларға ие болуы мүмкін [12]. Сонымен қатар, *Paulownia* жапырақтары микробқа қарсы әсерге ие. Жапырақтарының су сығындылары алтын түстес стафилококк [13], ішек сальмонелласы, көк ірің таяқшасы, *Raenibacillus*, *Pyogenes* стрептококк және *Candida albicans*-қа қатысты микробқа қарсы әсерге ие [14]. *Paulownia* жапырақтарының ингибиторлық әсері граммтеріс бактерияларға қарсы бола алатындығы дәлелденді [15, 16]. *Paulownia* жапырақтарының жаңа сығындыларындағы тролох балама антиоксиданттық қабілеті бұл өсімдіктің жаңа дәрілік мақсатта қолдануға мүмкіндігі бар екенін көрсетеді [17-19].

Paulownia өсімдігінің жаңадан жиналған жапырақтарының физика-химиялық құрамы және элементтік талдау нәтижесі биогаз өндіру үшін тиімді екендігін анықтайды. Ағаш биомассасы өндірісінде өсімдік жапырақтары көміртегін азайтуға және жаңартылатын энергия мен тыңайтқыштың қосымша көзі болып табылады [20]. *Paulownia tomentosa* жапырақтарынан жаңа нанотыңайтқыш синтезделіп, оның *Ocimum basilicum*-дағы құрғақшылық стресімен күресудегі тиімділігі айқындалған. Нәтижесінде, *Paulownia* жапырақтарынан биосинтезделген нанотыңайтқыш экономикалық және экологиялық пайдалы [21].

Жапырақтың биологиялық белсенді заттарын анықтауда фитохимиялық зерттеу мен талдаулардан басқа микроскопиялық зерттеулер арқылы анатомиялық талдаулар жасалынады. Мақалада қарастырылып отырған өз зерттеулерімізде *Paulownia* жапырақтарына анатомиялық талдаулар жасалды.

Жұмыстың мақсаты — *Paulownia* өсімдігінің Shan Tong және FTE гибридтер жапырақтарының морфологиялық-анатомиялық ерекшеліктерін зерттеп, салыстыру.

Paulownia-ның вегетативті және генеративті органдарына әртүрлі мақсатта зерттеулер, соның ішінде оның анатомиясына, яғни құрылысына — тамырына, діңіне, сабақтарына, тұқымына, гүліне және жапырақтарына анатомиялық зерттеулер жүргізілген. Өсімдіктің жапырақтарына анатомиялық зерттеулер фармацевтика-медициналық, фиторемедиациялық бағытта және қоршаған ортаның сыртқы, яғни экологиялық факторлардың әсер етуі және оған өсімдіктің жауап беру реакциясын анықтау үшін жасалынған. Скопус базасына кіретін журналдарда жарияланған ғылыми мақалаларға әдеби шолу жасалып, *Paulownia*-ның мүшелеріне анатомиялық зерттеулер жүргізілген жұмыстар талданды. Көбіне анатомиялық ғылыми-зерттеу жұмыстары өсімдіктің биологиялық-белсенді заттарын анықтауда, ағаш-сүрек алу мақсатында физикалық-механикалық қасиеттерін анықтауда және абиотикалық-антропогендік факторлардың әсер ету дәрежесін және өсімдік органдарының жауап беру реакциясын анықтауда жүргізіледі.

Өсімдікке абиотикалық-антропогендік факторлардың әсер ету дәрежесін және өсімдік органдарының жауап беру реакциясын анықтауда өсімдіктің жапырақтарына, гүліне, тұқымына және тамыр мүшелеріне анатомиялық және фитохимиялық және басқа да зерттеулер жүргізілген. Miladinova-Georgieva және Ivanova т.б. өз зерттеулерінде өнеркәсіптік ластанған топыраққа EDTA және цитрат берудің ауыр металдардың *Paulownia*-ның екі гибрид түрлерінің фитоэкстракциясына, жапырақ анатомиясына және газ алмасу параметрлеріне әсерін бағалады. Осы зерттеулердегі *Paulownia* жапырақтары бифазалық және амфиотоматикалық құрылымға ие екенін, адаксиалды және абаксиалды эпидермисі жақсы дамыған және бағаналы мезофилдің екі-үш қабатынан тұратынын анықталған. Абаксиалды эпидермистің үстінде үлкен жасушааралық кеңістіктерді қоршап тұрған түкті жасушалардың екі-үш қабатынан тұратын борпылдық мезофилл орналасқандығы белгілі болды [22].

Жапырақтың анатомиялық құрылысын зерттеуде келесідей жұмыста *Paulownia*-ның (*P. tomentosa*) — *in vitro* жағдайында өсірілген көшеттері натрий хлоридінің (NaCl) әртүрлі концентрациясы (50, 100 және 150 mM) бар MS ортасында өсірілген. Тұзды стресске ұшырамаған *Paulownia* көшеттері жапырағының анатомиясы симметриялы және гетерогенді құрылымға ие. Сонымен қатар, жапырақтардың жартылай кесінділері эпидермистің тығыз оралған ұзартылған жасушалардың бір қабатынан тұратынын көрсетеді. Кутикуласы жұқа. Стома ашық және қорғаныс жасушаларымен қоршалған. Мезофилдің қалыңдығы бағаналы паренхиманың ұзартылған жасушаларынан тұрады, ал борпылдық тәрізді паренхиманың жасушалары созылмаған және тұрақты пішінді. Бағаналы паренхимасы да, борпылдық паренхимасы да көптеген хлоропласттарды қамтиды. Жасушааралық кеңістік-

тері үлкен. Тамырлы байламдар паренхималық жасушалармен қоршалған, ал тамырлы байламдардағы ксилема кішірек. Флоэма жасушалары үлкен. Трихомалар және олардың белгілері өсімдіктерді анықтау үшін маңызды ақпарат көзі және таксономиялық құрал болуы мүмкін. Стреске ұшырамаған көшеттердің трихомалары эпидермистің шаш тәрізді немесе қабыршақты кеңеюінен тұрды. Сканерлейтін электронды микроскопия кесінділерінде көрсетілгендей *Paulownia* жапырақтарының трихомаларының құрылымы капителді, түзу, тармақталмаған, бір жасушалы басы бар безді. Бір жасушалы негіз эпидермис жасушаларынан пайда болады. Трихомалардың үш ұзын жасушадан тұратын ұзын аяғы болды. Капитулярлы безді трихомаларда әдетте дөңгелек немесе алмұрт тәрізді бастары бар екенін анықтады [23].

Материалдар мен зерттеу әдістері

Зерттеу нысандары Алматы қаласының әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Алма бақ телімінде 2022 жылдың тамыз айында жиналған екі жылдық *Paulownia Shan Tong* (*tomentosa+fortunei*) және *Paulownia FTE* (*fortunei+ tomentosa+elongata*) гибридтері жапырақтары. Ағаштардың өсу биіктігі 4-4,5 м. Өсімдіктің жапырақтары жеткілікті дамыған, сағақсыз жиналды. Жапырақтары өте үлкен, жүрек тәрізді, бір-біріне қарама-қарсы орналасқан. Жиналған жапырақтардың ені 60-70 см, ұзындығы 75-80 см.

Вегетативті және генеративті тіршілік формасының сипаты, морфометриялық көрсеткіштері мен мүшелерінің морфологиялық құрылымы жалпы қабылданған әдістеме бойынша жүргізілді.

Микроскопиялық талдау үшін жаңа алынған өсімдік жапырағы Страсбургер-Флемминг әдісімен этил спирті, глицерин және су қоспасында 1:1:1 қатынасында бекітіліп, көлеңкелі жерде бір апта ұсталды. Бекітілген фиксациядан жасалған анатомиялық кесінділер MZP-01 микротомында қолмен жасалды. Өлшемдер мен микрографиялар MSX100 Micros (Austria) бейнемикроскопының 519 CU5.0M CMOS камерасымен түсірілді. Барлық деректер статистикалық түрде өңделді, кестеде орташа мәндер, орташа мәннен стандартты ауытқулар және көрсеткіштердің пайыздық арақатынасы көрсетілді. Көрсеткіштер арасындағы айырмашылықтардың сенімділігі $\geq 0,05$ маңыздылық деңгейінде Стьюденттің критерийі арқылы анықталды.

Нәтижесі мен талқылау

Жапырақ, жоғары сатыдағы өсімдіктердің бүйірлік органы, фотосинтез және транспирация, сондай-ақ ауа ортасымен газ алмасуды қамтамасыз етеді және өсімдік өмірінің басқа да маңызды процестеріне қатысады. *Paulownia Shan Tong* және *FTE* гибридтерінің жапырақтары морфологиялық тұрғыдан симметриялы және гетерогенді құрылыммен ерекшеленеді. Жапырақтары сағақты, қарапайым, ірі.

Paulownia Shan Tong және *FTE* гибридтері жапырақтарының морфологиялық белгілерінің салыстырмалы сипатында біраз айырмашылықтары анықталды. Атап, айтсақ жапырақ тақтасының өлшемдерінде *Shan Tong* жапырақтары *FTE*-мен салыстырғанда көлемінің үлкендігі, екіншіден, тақтасы пішінінің айырмасы *Shan Tong* жапырағы жүрек тәрізді, ал *FTE* жапырағы кең жұмыртқа тәрізді болатындығы, үшіншіден жапырақ тақтасының жүйкелену түрі *Paulownia Shan Tong* — бес жүйкелі, қарама-қарсы орналасқан, ал *FTE* — үш-бес жүйкелі, қарама-қарсы орналасып, өте түкті болатындығы белгілі болды (1-кесте, 1-сурет).

1 - кесте

Paulownia Shan Tong және *Paulownia FTE* гибридтері жапырақтарының морфологиялық белгілерінің салыстырмалы сипаттамасы

№	Белгілері	<i>Paulownia Shan Tong</i>	<i>Paulownia FTE</i>
1	Жапырақ тақтасының өлшемдері:		
2	Ұзындығы, см/ Ені, см	60-70/ 75-80	50-55/ 45-55
3	Жапырақ тақтасының пішіні	жүрек тәрізді	кең жұмыртқа тәрізді
4	Жапырақ тақтасының жиегінің пішіні	тегіс	тегіс
5	Жапырақ тақтасының ұшы	үшкір	үшкір
6	Жүйкелену түрі	саусақ салалы	саусақ салалы
7	Жапырақ тақтасының жүйкелену түрі	5 жүйкелі, қарама-қарсы орналасқан	3-5 жүйкелі, түкті, қарама-қарсы орналасқан



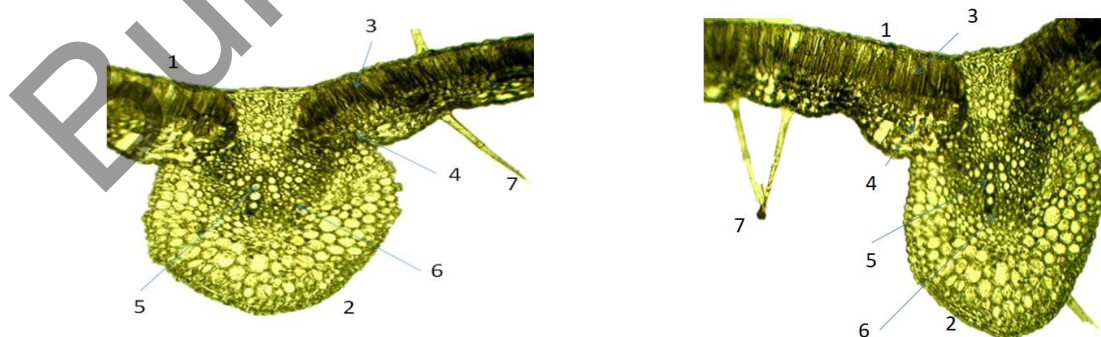
A



B

1-сурет. А — *FTE* гибриді, В — *Shan Tong* гибриді жапырақтарының морфологиялық көрінісі

Paulownia түрлерінің гибридтерінде жапырақ анатомиясы мен орнографиясында ұқсастықтар бар, бірақ морфометриялық көрсеткіштерінде біраз айырмашылықтар анықталды. *Paulownia FTE* гибридінің жоғарғы және төменгі эпидермисі клеткаларының сыртқа бағытталған қабырғасы кутиденген. Жоғары және төменгі эпидермисте де трихомалар өте жақсы дамыған. Безді түктер де анық байқалады. Бағаналы мезофилл жақсы дамыған, 2-3 қатар орналасқан баған тәрізді клеткалардан тұрады. Байқалған өзгеріс екі қатар бағаналы клеткалар жақсы дамығандығы және үшінші қатар қалыптасып жатқандығы нақты байқалды. Борпылдақ мезофилде ауалық қуыстар басым. Орталық өткізгіш шоқта ксилема түтіктері сәулеленіп жақсы дамыған. Флоэма элементтері төменгі эпидермиске бағытталған. *Paulownia FTE* гибридінің морфометриялық көрсеткіштері *Shan Tong* гибридімен салыстырғанда жоғары болатындығы белгілі болды (2-кесте, 2-сурет).



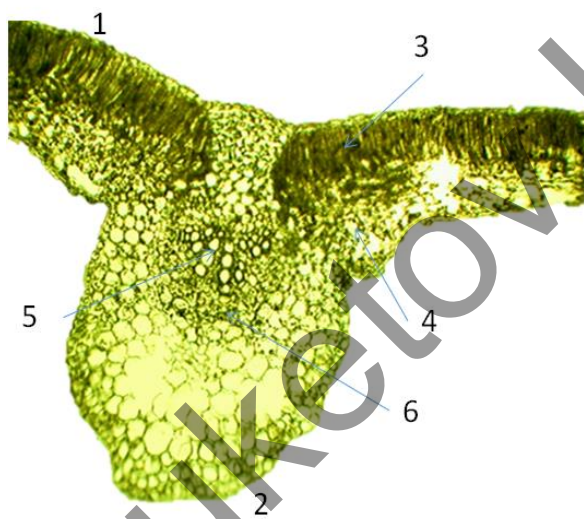
1 – жоғарғы эпидермис, 2 – төменгі эпидермис, 3 – бағаналы мезофилл, 4 – борпылдақ мезофилл, 5 – ксилема, 6 – флоэма, 7 – қарапайым көп клеткалы бір ядролы трихома

2-сурет. *Paulownia FTE* гибриді жапырағының анатомиялық құрылысы

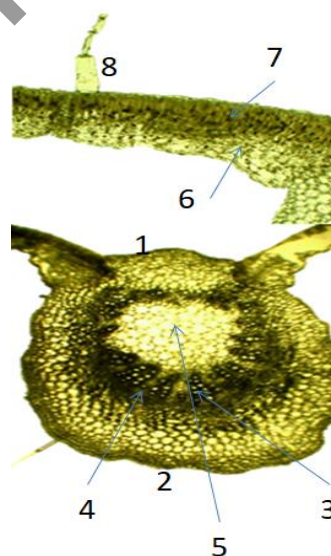
***Paulownia* гибридерінің салыстырмалы морфометриялық мәліметтері, ұлғайтылуы x 100 есе**

№	Көрсеткіштер, мкм	<i>Paulownia Shan Tong</i>	<i>Paulownia FTE</i>
1	Жапырақ қалыңдығы	1700,8±0,2872	1740,7 ± 0,25472
2	Жоғарғы эпидермис қалыңдығы	54,4±0,0388	59,5±0,0254
3	Төменгі эпидермис қалыңдығы	43,8±0,0496	57,3±0,0244
4	Бағаналы мезофилл	984,82±0,17576	957,3± 0,2604
5	Борпылдақ мезофил	730,18±0,15136	894,1±0,21528
6	Өткізгіш шоқ диаметрі, мм ²	20929	24522

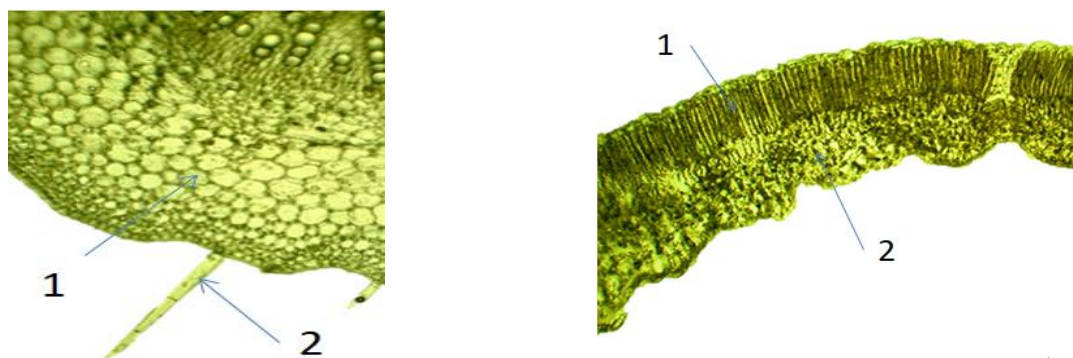
Paulownia Shan Tong гибриді жапырағының анатомиялық құрылысын зерттеу барысында жапырағының көлденең кесіндісі қосжарнақты өсімдіктер құрылымына сәйкес екендігі нақтыланды. Жоғарғы эпидермис клеткалары әртүрлі көлемді клеткаларды қамтыған, ерекше ірілеу дөңгелек пішінді моторлы клеткаларға ұқсас клеткалар айқындалды. Құмыра пішіндес көп клеткалы ірі трихома анықталды. Төменгі эпидермисте де ірі клеткалар оқшауланды. Мезофилл бағаналы және борпылдақ болып келген. Бағаналы мезофилл екі қатардан тұратын ұзын жіңішке баған тәрізді орналасқан клеткалардан тұрады. Бағаналы мезофилде гликозидтер өте жиі шоғырланғандығы байқалды. Биологиялық активті заттардың, яғни гликозидтердің орны жапырақта алғаш рет анықталды. Борпылдақ мезофилде де гликозидтер кездеседі, бірақ шашыраңқы орналасқан. Борпылдақ мезофилде клеткааралық бос қуыстар басым. Ортаңғы жүйкеде негізгі өткізгіш шоқ орналасқан. Негізгі жүйкенің жоғарғы бөлігінде склеренхималық клеткалар дамыған. Жоғары эпидермиске бағытталған ксилеманың 7-9 сәулелері, төменгі эпидермиске бағытталған флоэма элементтері айқын көрінеді. Флоэманың төменгі бөлігінде негізгі паренхима клеткалары орналасқан (3-сурет).



1 – жоғарғы эпидермис, 2 – төменгі эпидермис,
3 – бағаналы мезофилл, 4 – борпылдақ мезофилл,
5 – ксилема, 6 – флоэма



1 – жоғарғы эпидермис, 2 – төменгі эпидермис,
3 – ксилема, 4 – флоэма, 5 – паренхима, 6 – бағаналы
мезофилл, 7 – борпылдақ мезофилл, 8 – құмыра тә-
різді тармақталмаған, көп клеткалы, бір ядролы,
безді ірі трихома



1 – паренхима, 2 – қарапайым көп клеткалы бір ядролы трихома

1 – бағаналы мезофилл, 2 – борпылдақ мезофилл

3-сурет. *Paulownia Shan Tong* гибриді жапырағының анатомиялық құрылысы

Екі гибрид жапырақтарының талдау нәтижесіндегі морфометриялық көрсеткіштерін салыстыру барысында *FTE* гибридіде жапырақ көрсеткіштері *Shan Tong* гибриді жапырағы көрсеткіштеріне карағанда жоғары екендігі анықталды. Айырмашылық бағаналы мезофилде байқалды, бағаналы мезофилл *Shan Tong* жапырағында қалың екендігі байқалды (2-кесте). Трихомалар жоғарғы және төменгі мезофилде кездесті, әсіресе *FTE* гибриді жапырағы өте түкті екендігі айқындалды. Трихомалардың үш түрі анықталды: құмыра тәрізді тармақталмаған, көп клеткалы, бір ядролы, безді ірі трихома; қарапайым көп клеткалы бір ядролы трихома; бір клеткалы безді түк. Сонымен қатар, жапырақ қалыңдығы *FTE* гибридіде қалыңдау екені және өткізгіш шоқ диаметрі үлкен екені белгілі болды.

Қорытынды

Осылайша, бұл өсімдіктерді диагностикалауға мүмкіндік беретін *Paulownia* түрлерінің *Shan Tong* және *FTE* гибридтері жапырақтарына салыстырмалы зерттеу жүргізілді. Жапырақтардың негізгі анатомиялық ерекшеліктері — трихомалар, эпидермис клеткаларының пішіні, бағаналы және борпылдақ мезофилл қатынасы айқындалды. *Paulownia Shan Tong* және *Paulownia FTE* гибридтері жапырақтарының анықталған салыстырмалы морфологиялық-анатомиялық айырмашылықтары: *FTE* гибридіде морфометриялық көрсеткіштер жоғары; *FTE* гибриді жапырағы түкті, трихомалары жиі; *FTE* гибридіде жапырақ қалыңдығы қалың; *FTE* гибридіде өткізгіш шоқ диаметрі үлкен, ал *Shan Tong* жапырағында тек бағаналы мезофилл қалың болды.

Алматы қаласы жағдайында өсірілген *Paulownia* түрлерінің *Shan Tong* және *FTE* гибридтері жапырақтарының анатомиялық құрылысынан алғаш рет гликозидтердің шоғырлану орны айқындалды. Анықталған биологиялық активті заттардың диагностикалық белгілері болашақта өсімдік шикізатына құжаттама дайындау кезінде нормативтік құқықтық актілерде қолдануға болады.

References

- 1 Yadav, N.K., Vaidya, B.N., Henderson, K., Lee, J.F., Stewart, W.M., Dhekney, S.A. & Joshee, N. (2013). A review of Paulownia biotechnology: A short rotation, fast growing multipurpose bioenergy tree. *American Journal of Plant Sciences*, 4(11), 2070–2082. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2013.411259>.
- 2 Jakubowski, M. (2022). Cultivation potential and uses of Paulownia wood: A review. *Forests*, 13(5), 668. <https://doi.org/10.3390/f13050668>.
- 3 Cheng, C.L., Jia, X.H., Xiao, C.M., & Tang, W.Z. (2019). Paulownia C-geranylated flavonoids: Their structural variety, biological activity and application prospects. *Phytochemistry reviews*, 18(3), 549-570. <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09614-2>.
- 4 Janus Bojesen Jensen, B.B.A. (2016). An investigation into the suitability of Paulownia as an agroforestry species for UK & NW European farming systems. Submitted to the Department of Agriculture & Business Management, SRUC, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science SRUC, B.B.A. (Beirut) <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.31955.78882>.
- 5 López, F., Pérez, A., Zamudio, M.A., De Alva, H.E. & García, J.C. (2012). Paulownia as raw material for solid biofuel and cellulose pulp. *Biomass and Bioenergy*, 45, 77-86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.010>.

- 6 Barbu, M.C., Buresova, K., Tudor, E.M. & Petutschnigg, A. (2022). Physical and Mechanical Properties of Paulownia tomentosa x elongata Sawn Wood from Spanish, Bulgarian and Serbian Plantations. *Forests*, 13(10), 1543. <https://doi.org/10.3390/f13101543>.
- 7 Al-Sagheer, A.A., Abd El-Hack, M.E., Alagawany, M., Naiel, M.A., Mahgoub, S.A., Badr, M.M. & Swelum, A.A. (2019). Paulownia leaves as a new feed resource: Chemical composition and effects on growth, carcasses, digestibility, blood biochemistry, and intestinal bacterial populations of growing rabbits. *Animals*, 9(3), 95. <https://doi.org/10.3390/ani9030095>.
- 8 Alagawany, M., Farag, M.R., Sahfi, M.E., Elnesr, S.S., Alqaisi, O., El-Kassas, S. & Abd E-Hack, M.E. (2022). Phytochemical characteristics of Paulownia trees wastes and its use as unconventional feedstuff in animal feed. *Animal Biotechnology*, 33(3), 586-593. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1806074>.
- 9 Molčanová, L., Treml, J., Brezáni, V., Maršík, P., Kurhan, S., Trávníček, Z., & Šmejkal, K. (2022). C-geranylated flavonoids from Paulownia tomentosa Steud. Fruit as potential anti-inflammatory agents. *Journal of Ethnopharmacology*, 296, 115509. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115509>.
- 10 Kaldybayeva, Zh., Kurmanbayeva M., Alimov, K., Bakirova, K. (2022). Phytochemical analysis of the plant Paulownia Siebold & Zucc, grown in the conditions of Almaty region. *Pharmacy of Kazakhstan*, 6 (245), 140-147. <https://doi.org/10.53511/PHARMKAZ.2022.53.47.023>.
- 11 Erbar, C. & Gülden, C. (2011). Ontogeny of the flowers in Paulownia tomentosa – A contribution to the recognition of the resurrected monogeneric family Paulowniaceae. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 206(3), 205-218. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2010.05.003>.
- 12 Džugan, M., Miłek, M., Grabek-Lejko, D., Heçlik, J., Jacek, B. & Litwińczuk, W. (2021). Antioxidant activity, polyphenolic profiles and antibacterial properties of leaf extract of various Paulownia spp. clones. *Agronomy*, 11(10), 2001. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102001>.
- 13 Navrátilová, A., Nešuta, O., Vančatová, I., Čížek, A., Varela-M, R.E., López-Abán, J. & Šmejkal, K. (2016). C-Geranylated flavonoids from Paulownia tomentosa fruits with antimicrobial potential and synergistic activity with antibiotics. *Pharmaceutical Biology*, 54(8), 1398-1407. <https://doi.org/10.3109/13880209.2015.1103755>.
- 14 Móricz, Á.M., Ott, P.G., Knaś, M., Długosz, E., Krüzselyi, D., Kowalska, T. & Sajewicz, M. (2019). Antibacterial potential of the phenolics extracted from the Paulownia tomentosa L. leaves as studied with use of high-performance thin-layer chromatography combined with direct bioautography. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 42(9-10), 282-289. <https://doi.org/10.1080/10826076.2019.1585604>.
- 15 Popova, T.P. & Baykov, B.D. (2013). Antimicrobial activity of aqueous extracts of leaves and silage from Paulownia elongata. *Am. J. Biol. Chem. Pharm. Sci*, 1(2), 8-15.
- 16 Özge, U.Ğ.U.Z. & Yeşim, K.A.R.A. (2019). Determination of Antioxidant Potential in the Leaf and Flower of Paulownia tomentosa. *International Journal of Secondary Metabolite*, 6(2), 106-112. <https://dx.doi.org/10.21448/ijsm.537166>.
- 17 He, T., Vaidya, B.N., Perry, Z.D., Parajuli, P. & Joshee, N. (2016). Paulownia as a medicinal tree: Traditional uses and current advances. *European journal of medicinal plants*, 14(1). 1–15. <https://dx.doi.org/10.9734/EJMP/2016/25170>.
- 18 Rodríguez-Seoane, P., Díaz-Reinoso, B. & Domínguez, H. (2022). Supercritical CO₂ extraction of antioxidants from Paulownia elongata x fortunei leaves. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-9; 3985-3993. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01022-3>.
- 19 Pontaza-Licon, Y.S., Ramos-Jacques, A.L., Cervantes-Chavez, J.A., López-Miranda, J.L., de Jesús Ruíz-Baltazar, Á., Maya-Cornejo, J. & Hernandez-Martínez, A.R. (2019). Alcoholic extracts from Paulownia tomentosa leaves for silver nanoparticles synthesis. *Results in physics*, 12, 1670-1679. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.01.082>.
- 20 Mazurkiewicz, J. (2022). The Biogas Potential of Oxytree Leaves. *Energies*, 15(23), 8872. <https://doi.org/10.3390/en15238872>.
- 21 Sohrabi, Y., Sharifi Kalyani, F., Heydari, M., Yazdani, M., Omer, K.M. & Yousefi, A.R. (2022). Plant-based nano-fertilizer prepared from Paulownia Tomentosa: fabrication, characterization, and application on Ocimum basilicum. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00352-w>.
- 22 Miladinova-Georgieva, K., Ivanova, K., Georgieva, T., Geneva, M., Petrov, P., Stancheva, I. & Markovska, Y. (2018). EDTA and citrate impact on heavy metals phytoremediation using paulownia hybrids. *International Journal of Environment and Pollution*, 63(1-2), 31-46. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2018.092985>.
- 23 Salah, A. (2022). Anatomical alterations of in vitro grown Paulownia (Paulownia tomentosa) undersalt stress. *Egyptian Journal of Desert Research*, 72(1), 121-137. <https://doi.org/10.21608/ejdr.2022.134845.1103>.

Ж.Б. Калдыбаева, М.С. Курманбаева

Сравнительные морфологические и анатомические особенности листьев видов *Paulownia Siebold & Zucc.*

В статье впервые описаны особенности морфологического и анатомического строения листьев *Shan Tong* и *FTE* гибридов видов *Paulownia Siebold & Zucc.*, выращенных в условиях г. Алматы. Этот вид деревьев широко распространен в естественных условиях в странах Юго-Восточной Азии. В настоящее время культивируется во многих странах. Древесина *Paulownia* широко используется в лесной промышленности, в целях получения биотоплива и биогаза, в качестве биоремедианта и в медицине. В условиях Казахстана культивируется впервые и поэтому биолого-экологические исследования гибридов видов *Paulownia* в местных экологических условиях не проводились. Учитывая его практическую значимость для нашей страны, которая испытывает нехватку леса, крайне необходимо использовать возможности этого дерева. Цели статьи — изучить и сравнить морфолого-анатомические особенности листьев гибридов *Shan Tong* и *FTE* вида *Paulownia*. Авторами использованы следующие методы исследования: морфометрические показатели и морфологическая структура органов. Для микроскопического анализа фиксация производилась методом Страсбургера–Флемминга. В результате установлены места концентрации биологически активных веществ при выявлении диагностических признаков анатомического строения листьев *Shan Tong* и *FTE*, а также доказано, что гликозиды концентрируются в столбчатом и рыхлом мезофиллах. Из микроскопических срезов установлено, что в анатомическом строении листа встречаются простые многоклеточные одноядерные трихомы, одноклеточные железистые волоски, не разветвленные кувшинообразные, многоклеточные, одноядерные крупные трихомы. При сравнении выяснилось, что морфометрические показатели листа гибрида *FTE* выше, чем морфометрические показатели листа гибрида *Shan Tong*, разница наблюдалась только в толщине столбчатого мезофилла. Полученные результаты позволяют выявить анатомические особенности листьев родственных видов *Paulownia*, а также подтвердить, уточнить и дополнить данные. Показатели исследования могут быть применены при систематическом изучении родственных видов *Paulownia* в практическом использовании.

Ключевые слова: морфология, микроскопия, анатомо-диагностические признаки, *Paulownia Shan Tong*, *Paulownia FTE*.

Zh.B. Kaldybayeva, M.S. Kurmanbayeva

Comparative morphological and anatomical features of the leaves of the species *Paulownia Siebold & Zucc*

The article describes for the first time the features of the morphological and anatomical structure of the leaves of the hybrids *Shan Tong* and *FTE* of the species *Paulownia Siebold & Zucc.*, grown in the conditions of Almaty. This type of tree is widely distributed in natural conditions in the countries of Southeast Asia. It is currently cultivated in many countries. *Relevance of the work:* Paulownia wood is widely used in the forestry industry, for the production of biofuels and biogas, as a bioremediant and in medicine. It is cultivated in Kazakhstan for the first time, and therefore biological and ecological studies of *Paulownia* hybrids have not been carried out in local environmental conditions. Given its practical significance, it is extremely necessary for our country, which is experiencing a shortage of forest, to use the capabilities of this tree. *Aims and objectives of the work:* to study and compare the morphological and anatomical features of the leaves of the *Shan Tong* and *FTE* hybrids of the *Paulownia* species. *Research methods:* morphometric indicators and morphological structure of organs were carried out according to the generally accepted methodology. For microscopic analysis, fixation was performed by the Strasburger-Flemming method. *Result:* the concentration sites of biologically active substances were established when identifying diagnostic signs of the anatomical structure of the leaves of *Shan Tong* and *FTE*, and it was also found that glycosides are concentrated in columnar and loose mesophyll. Microscopic sections revealed that in the anatomical structure of the leaf there are simple multicellular mononuclear trichomes, unicellular glandular hairs, unbranched pitcher-shaped, multicellular, mononuclear large trichomes. The comparison revealed that the morphometric parameters of the *FTE* hybrid leaf are higher than the morphometric parameters of the *Shan Tong* hybrid leaf, the difference was observed only in the thickness of the columnar mesophyll. The obtained results make it possible to identify the anatomical features of the leaves of related *Paulownia* species, as well as to confirm, clarify and supplement the data. The data obtained can be used for systematic studies of related species of *Paulownia* in practical use.

Keywords: morphology, microscopy, anatomical and diagnostic signs, *Paulownia Shan Tong*, *Paulownia FTE*.