

**Проф. дн Виолета Борисова Великова**  
**Конкурс за член-кореспонденти на БАН**

**КРАТКА СПРАВКА ЗА НАЙ-СЪЩЕСТВЕНИТЕ НАУЧНИ ПРИНОСИ**

**Въведение**

Научните постижения на Виолета Великова са в областта на екофизиологията на растенията и са насочени към изучаване на промените във функционалната активност и структурата на фотосинтетичния апарат, предизвикани от различни стресови въздействия. Основните научни приноси са свързани с изследването на физиологичната роля на биогенните летливи органични съединения и връзката им с фотосинтетичния процес, адаптацията и защитата на растенията в променящите се условия на околната среда. Акцент в изследванията е изопренът - най-широко разпространеният биогенен летлив въглеводород, чиито глобални емисии представляват ~ 44% от общите емисии на биогенните летливи органични съединения. Поради силната си реактивоспособност, изопренът играе важна роля в атмосферната химия и качеството на въздуха. Изучаването на въздействието на факторите на околната среда върху изопреновата емисия е от съществено значение при прогнозиране на глобалното изменение на климата, както и при предлагане на адекватни политики за контрол върху качеството на въздуха. Изследването на ролята на изопрена в защитата на растенията срещу различни неблагоприятни фактори на околната среда, изясняването на взаимодействията му с други молекули в реакцията на растенията при окислителен стрес, както и последствията от инхибирането му са важни условия за създаването на концепция за подбор на подходящи растителни видове за залесяване на райони с различно антропогенно и индустриално замърсяване.

Друго направление в научните изследвания на В. Великова е проучването на възможностите за получаване на растения с богати на важни за диетата на хората метаболити. Проучвани са възможностите за приложението на комбинации от високоефективни светлинни диоди (LED), позволяващи манипулация на спектралния състав на светлината с цел повишаване на ефективността на фотосинтетичния процес, както и селективен синтез на природни вторични метаболити. В това направление са прилагани и иновативни наноматериали (едностенни въглеродни нанотръби и стабилизирани полимерни наномицели) за подобряване на важни агрономични (кълняемост на семена, натрупване на биомаса) и физиологични показатели (по-ефективна фотосинтеза, подобрена устойчивост и пластичност на растенията в условията на неблагоприятни климатични промени).

Описаните по-долу най-съществени приноси се основават на общо 38 публикации. Те са

резултат от колективни изследвания с интердисциплинарен характер, в които Великова има водещ принос, виден от участието ѝ като първи или кореспондиращ автор в голяма част от публикациите.

**Приносите с оригинален характер могат да бъдат обособени в три тематични групи:**

- Първичен и вторичен метаболизъм при растенията в условия на стрес
- Устойчиво развитие на растенията чрез иновативни технологии
- Методични приноси

В края на документа, в табличен вид, е представена справка за броя на цитатите на публикациите въз основа на които са формулирани основните научни приноси. Номерацията, представена в скоби, съответства на тази в списъка на всички научни трудове, както и на списъка на публикациите, с които кандидатът участва в конкурса за член-кореспонденти на БАН.

## **I. Първичен и вторичен метаболизъм при растенията в условия на стрес**

Приносите в тази тематика се базират на 25 научни труда [13, 16, 21, 23, 25, 27, 28, 29, 31, 34, 38, 39, 40, 41, 44, 45, 47, 54, 55, 57, 59, 60, 63, 68, 88]

1. За първи път е показано, че ендогенният изопрен има важна защитна роля върху фотосинтетичната активност на растения, обгазявани с озон. Изопренът допринася за преодоляване на окислителния стрес, причинен от озона, намалявайки нивото на водородния пероксид в листата и липидното пероксидиране на мембраните. Тази функция на изопрена е демонстрирана в изопрен-отделящото растение *Phragmites australis* чрез прилагане на специфичния инхибитор на изопреновата биосинтеза - фосмидомицин. Краткотрайното третиране с озон на листа, отделящи изопрен, не води до значителни промени във фотосинтетичната дейност. Защитната роля на изопрена е много по-добре изразена, когато листата са изложени на дълготрайно озоново третиране [21].

2. Изследван е ефектът на изопрена върху толерантността на фотосинтетичния апарат на *Phragmites australis* към високотемпературен стрес. Установено е, че остатъчната изопренова емисия в листа на *P. australis* след химическо инхибиране на неговата синтеза с фосмидомицин, нараства при третиране с висока температура (44°C), което намалява негативния ефект от инхибирането на изопреновата синтеза в условията на високотемпературен стрес. При температура 44°C е установена значително по-висока скорост на фотосинтетичния

електронен транспорт в изопрен-отделящите листа в сравнение с тази при изопрен-инхибираните листа. Това предполага, че изопренът може да благоприятства електронния поток през фотосинтетичните/фотодихателните пътища [28]. Изопренът не само защитава листата на *P. australis* при топлинен стрес, но също така способства за по-бързото им възстановяване след прекратяване на въздействието [27].

3. Феноменът на повишена термоустойчивост на растенията, отделящи изопрен като естествен метаболит, е изследван и в различни по възраст растения *Platanus orientalis*. Показано е, че 2-годишните фиданки отделят по-голямо количество изопрен и притежават подобър капацитет да преодоляват негативното въздействие на високата температура в сравнение с 1-годишните фиданки. Получените резултати отново доказват важната роля на изопрена в защитата на фотосинтезата срещу увреждане от висока температура. Изказано е предположение, че изопренът е важен компонент на неензимната защитна система на растенията при термичен стрес [31].

4. Показано е, че инхибирането на изопреновата биосинтеза, само по себе си, предизвиква окислителен стрес. Установено е увеличаване на съдържанието на  $H_2O_2$  и продуктите на липидно пероксидиране в листата с инхибирана изопренова синтеза в сравнение с тези, отделящи изопрен. Тези данни са в подкрепа на предположението, че изопренът ефективно “улавя” активните кислородни форми и предпазва мембраните от увреждане [21, 27, 28].

5. Установено е, че изопренът има защитно действие срещу синглетен кислород. Защитният механизъм включва пряко взаимодействие на изопрена със синглетния кислород. Гасенето на синглетен кислород от изопрена се обяснява с наличието на спрегнати двойни връзки в изопреновата молекула, което улеснява преноса на енергия и топлинната дисипация [25].

6. Термо-протекторните и антиоксидантни свойства на изопрена са доказани в специално създаден за целта генномодифициран тютюн, който отделя изопрен като естествен метаболит (дивият тип не отделя такъв метаболит). Показано е, че генномодифицираните тютюневи растения са по-добре защитени от окислителен стрес вследствие на висока температура и озон в сравнение с неотделящия изопрен див тип тютюн [39]. Трансгенните тютюневи растения, които отделят изопрен, по-добре толерират силна степен на засушаване и се възстановяват по-добре след прекратяване на стреса. За първи път е демонстрирано, че в присъствие на изопрен се иницира действието и на други защитни метаболити (нелетливи изопреноиди и фенилпропаноиди), осигурявайки допълнителна защита на растенията. Резултатите подчертават централната роля на изопрена в индуцираната от стрес метаболитна настройка [55].

7. За първи път са представени експериментални данни, пряко подкрепящи хипотезата за мембранно-стабилизиращата роля на изопрена. Чрез използването на различни биофизични техники (кръгов дихроизъм, електрохромно изместване при 515 nm, термолуминесценция) е показано, че изопренът подобрява интегритета и функционалността на тилакоидните мембрани при високотемпературен стрес. Установено е, че изопренът (1) способства за повишаване на температурната стабилност на светосъбиращия комплекс на Фотосистема 2 в стикованите области на граналните тилакоиди; (2) намалява флуидността на тилакоидните мембрани при високи температури; (3) измества с около 10°C към високотемпературния диапазон основния В пик от термолуминесцентните спектри, което предполага модификационни промени в липидния бислой на тилакоидните мембрани [45].

8. За първи път чрез прилагането на нов метод за протеомни изследвания (изотопно-кодирана техника за маркиране на белтъци) (isotope-coded protein-labeling technique, ICPL) е установено, че инхибирането на изопреновата биосинтеза и емисия променя хлоропластния белтъчен профил, което е свързано със структурни промени във фотосинтетичните мембрани и намаляване на устойчивостта на растенията към окислителен стрес. Доказано е, че при неотделящите изопрен генотипове топола намаляват нивата на хлоропластните белтъци, участващи във фотосинтезата (особено белтъците, свързани със светлинните реакции), редукционното регулиране и защитата от окислителен стрес, и се повишават нивата на хистоните и рибозомалните белтъци [54].

9. За първи път са представени експериментални данни, доказващи че потискането на изопреновата емисия в трансгенни растения топола води до съществени изменения в липидния и мастнокиселинен състав на тилакоидните мембрани и до промени в ултраструктурата на хлоропластите [59]. Тези данни подкрепят хипотезата за мембранно-стабилизиращата роля на изопрена.

10. За първи път е изследвана връзката между изопреновата емисия и азотния оксид с цел да се изясни дали тези две летливи съединения си взаимодействат *in planta* и по този начин се постига по-ефективна защита срещу окислителен стрес. Листа от топола с предварително инхибирана по химичен път изопренова емисия имат по-висока емисия на азотен оксид, в сравнение с изопрен-отделящите листа. По-висока изопренова емисия е измерена от листа, предварително третиран с с-РТЮ (“уловител” на азотен оксид). Установено е, че и двете летливи съединения, изопрен и азотен оксид, намаляват уврежданията от окислителен стрес и че тяхното защитно действие е адитивно [38].

11. Предложеният модел за молекулен диалог между изопрена и NO [29, 38, 88] експериментално е демонстриран в генномодифицирани растения топола, неотделящи изопрен. Изопренът влияе върху емисиите на NO, индуцирани при стрес, а по този начин и

върху *in vivo* S-нитрозопротеома. Основни мишени на действие на NO в неотделящите изопрен генотипове тополя са белтъците, свързани със светлинните и тъмнинните реакции на фотосинтезата, цикъла на трикарбоновите киселини, белтъчния метаболизъм и редокс регулацията. Показано е, че изопренът индиректно регулира образуването на активни кислородни форми чрез контрол на нивата на S-нитрозилиране на ензими метаболизиращи реактивните форми [60].

12. Представени са оригинални експериментални доказателства, че биогенният изопрен действа като активен механизъм, контролиращ нивото на вредните кислородни и азотни форми, образувани при стрес. Изопренът ограничава натрупването на азотен оксид (NO) в листа на *Phragmites australis*, изпитващи озонов стрес, като значително количество NO се акумулира само в мезофилната тъкан на изопрен-инхибираните листа, но не и в изопрен-отделящите листа. Когато изопренът отсъства (див тип *Arabidopsis*), едновременно натрупване на H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и азотен оксид може да предизвика клетъчна смърт, докато при изопрен-отделящите растения арабидопсис (*IspS*), акумулирането на H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и NO може да не достигне токсични нива или тяхното съотношение може да не е адекватно и свръхчувствителните реакции да бъдат предотвратени. По този начин се потиска индуцирането на свръхчувствителен отговор (hypersensitive response), водещ до програмирана клетъчна смърт [29, 38, 47, 88].

13. Предложено е ново доказателство за синхронизираното действие на антиоксидантните защитни средства през деня и е установена интеграция между летливите и нелетливите изопреноиди и флавоноидите в растения, подложени на комбинирано въздействие на висока температура, висок светлинен интензитет и засушаване [57].

14. Показано е, че растения *Arundo donax*, инвестиращи в изопреноиди (изопрен, каротеноиди, абсцисиева киселина и нейни катаболити), проявяват по-добра издръжливост през периоди на временно засушаване. Докато растения *Hakonechloa macra*, инвестиращи във фенолпропаноиди (хидроксиканелени киселини и деривати на лутеолин и апигенин), не са в състояние да избегнат увреждането на фотосинтетичния апарат вследствие на засушаване, но са в състояние да се справят с продължително излагане на окислителен стрес. Изопрен-отделящото растение *A. donax* по-ефективно регулира загубата на вода посредством координирано намаляване на мезофилната и устичната проводимост, в сравнение с *H. macra* [63].

15. Показано е наличие на висока фенотипна пластичност между екотипове на *A. donax*, която може да бъде използвана за компенсиране на ниската генетична изменчивост на този вид, когато се подбират растения, характеризиращи се с по-голяма продуктивност. Растения *A. donax*, произхождащи от райони с неблагоприятни условия, значително увеличават

биосинтезата на изопrenoиди, които допринасят за защитата на фотосинтетичните мембрани при силно засушаване и за по-доброто и бързо възстановяване на растенията след рехидратиране [68].

16. Изследвани са лимитиращите фотосинтезата фактори и промените в изопrenoидните емисии на два типа листа (напълно развити и развиващи се) на топола (*Populus nigra*, бързорастящ вид, често използван за биоремедиация), подложени на различни дози никел в почвата. Тополата отделя високи количества изопрен, активно взаимодействащ с много атмосферни компоненти, което води до съществени промени в атмосферната химия. Получените данни ясно показват, че Ni повлиява отрицателно растителния метаболизъм. Този ефект зависи от количеството натрупан Ni в листата и от фазата на развитие. Лимитирането на фотосинтезата се дължи на дифузионни (намаление на устичната и мезофилната проводимост за CO<sub>2</sub>) и биохимични (понижена ефективност на карбоксилиране на Рубиско) фактори. Въздействието с Ni не повлиява изопреновата емисия от развитите листа, докато при развиващите се листа Ni има стимулиращ ефект. За първи път е показано, че конститутивните емисии на изопрен и индуцираните емисии на цис-β-осцимен и линалол са повлияни от Ni стрес. Никелът стимулира емисията на цис-β-осцимен в развитите листа и на линалол и в двата типа листа на *P. nigra*. Индуцираната емисия на тези съединения показва началото на антиоксидантни процеси, които биха могли да допринасят за намаляване на вредното въздействие на Ni, особено в развитите листа. Действително, получените резултати показват, че фотосинтетичният апарат в развитите листа е по-слабо засегнат от вредното въздействие на Ni в сравнение с развиващите се листа [44].

17. За първи път са проведени изследвания за оценка на бъдещи климатични промени (повишена CO<sub>2</sub> концентрация в атмосферния въздух и повишена температура) върху устойчивостта на растенията, опосредствена от летливи вторични метаболити. Експериментите са проведени с два типа листа на чинар (*Platanus orientalis*): предварително съществуващи, които са били добре развити преди поставянето на растенията в атмосфера с повишена концентрация на CO<sub>2</sub>, и новопоявили се. След едномесечен престой в атмосфера с повишена концентрация на CO<sub>2</sub> растенията са подлагани на високотемпературно въздействие. Установено е, че комбинираното въздействие с висока температура и повишена концентрация на CO<sub>2</sub> няма неблагоприятни ефекти върху фотосинтезата и хлоропластната ултраструктура в предварително съществуващите листа, които се характеризират и с по-висока емисия на изопрен. В същото време приложеното комбинирано въздействие значително намалява скоростите на фотосинтезата и електронния транспорт, увеличава емисията на метанол, променя структурата на хлоропластите и мембрания интегритет в новопоявилите се листа, които се характеризират с по-ниска изопренова емисия. Получените резултати са в подкрепа

на хипотезата за термозащитната функция на изопрена. Предполагено е, че чинарът ще бъде по-чувствителен към условията на бъдещи климатични промени, като глобално затопляне и повишена концентрация на CO<sub>2</sub>, в сравнение с чувствителността му към настоящите климатични условия [40].

18. За първи път е показано, че полиамините спермидин и спермин, приложени екзогенно преди киселинен дъжд, имат защитно действие върху фасулевите растения и техния фотосинтетичен апарат. Най-силен е положителният ефект на използваните полиамини върху нето-фотосинтетичната скорост. Кислород-отделящата система, като едно от най-чувствителните звена на фотосинтетичната електрон-транспортна верига, се протектира в по-слаба степен. Защитният ефект на полиамините се обяснява с базичните им свойства, неутрализиращи ефекта на киселинния дъжд, както и с мембранно-укрепващите им и антиоксидантни функции [16].

19. Изследван е ефектът на изкуствен киселинен дъжд върху фотосинтетичните промени в растения от фасул. Направено е разграничение на устичните и неустични (биохимични) фактори, които ограничават фотосинтетичния процес в третираните с киселинен дъжд (pH 2.4 и 1.8) растения. Установено е също, че в първите часове след въздействието се засягат главно светлинните реакции на фотосинтезата, а впоследствие определяща роля играе намалената карбоксилираща активност на Рубиско (рибулозо-1,5-бисфосфаткарбоксилаза/оксигеназа) [13].

20. Изследвани са различни фотосинтетични параметри в растения памук, страдащи от физиологичното разстройство “почервяване на листата”, което се дължи на окислителен стрес вследствие на нарушаването на K/Na баланс. Резултатите показват, че понижението на скоростта на фотосинтезата при почервяването на листата се дължи както на устични, така и на неустични (понижена активност на фотосистема 2) фактори. Предполагено е, че понижената устична проводимост при червените листа вероятно е свързана с недостига на калий, който има важна роля в устичната регулация [23].

21. Изучаван е ефектът от храненето на растителноядните насекоми *Murgantia histrionica* и *Nezara viridula* върху *Brassica oleracea* и *Phaseolus vulgaris*, съответно. Установеното инхибиране на фотосинтезата в двата растителни вида се дължи на намалена дифузия на CO<sub>2</sub> в мезофила. За първи път е показано, че отлагането на яйца от *M. histrionica* върху листа на *B. oleracea* само по себе си значително повлиява първичните реакции на фотосинтезата и намалява фотосинтетичната активност. Установено е индуциране на емисиите на моно- и сескитерпени в листата на зеле в резултат от храненето на *M. histrionica*. Различният времеви ход на индуциране на двата класа терпени вероятно отразява стимулиране на два различни

биосинтетични пътя и показва различни роли на тези терпеноиди в тритрофните взаимодействия [41].

22. За първи път експериментално са доказани свойствата на фениламидите (конюгати на полиамините и хидроксиканелените киселини) да гасят синглетен кислород. Доказано е, че техните изходни форми (р-кумарова, кафена и ферулова киселини) и свободните полиамини путресцин, спермидин и спермин действат като гасители на синглетния кислород, като ковалентното им свързване във фениламиди повишава способността им за гасене на синглетния кислород. Полиамините, хидроксиканелените киселини и фениламидите се включват в сложната мрежа на неензимните гасители на активни кислородни форми, и могат да играят важна роля в антиоксидантната защита, особено в местата на интензивно генериране на синглетен кислород, каквито са фотосинтетичните центрове [34].

## **II. Устойчиво развитие на растенията чрез иновативни технологии**

В тази тематика са включени 9 научни труда [62, 79, 80, 81, 82, 85, 87, 91, 93].

1. Установено е, че комбинацията червена-зелена-синя светлина, доставяна от LED източник, подобрява фотосинтезата, скоростта на карбоксилиране на Рубиско и устичната проводимост при растения домати, в сравнение с тези, отглеждани при по-енергоемката флуоресцентна светлина. Отглеждането на растенията при режим на осветяване с червена-синя LED светлина стимулира синтеза на метаболити с антиоксидантна активност в плодовете [85]. Получени са оригинални данни, които показват че чрез промяна на качеството на светлината може да се модифицира синтеза на вторични метаболити, пряко свързани с фотосинтезата, каквито са летливите изопреноиди [62]. Така контролът на качеството на светлината може да има важни приложения за модулиране на устойчивостта на растенията.

2. За първи път е оценен комбинираният ефект от приложението на биостимуланти и светлина с различно качество върху прорастъци от соя, вид който се консумира широко по света като източник на богати на протеини храни и напитки. Установено е, че предварителното третиране на семената с препарата „Каиши“, на основата на растителни протеинови хидролизати, и отглеждането на прорастъците при режим на осветяване червена-синя светлина, значително повишават физиологичната ефективност, антиоксидантния заряд на кълновете и съдържанието на протеини и въглехидрати. Данните предоставят доказателства за устойчив подход за получаване на кълнове с по-висока хранителна стойност и разсад с висока фотосинтетична активност [79].



3. Отглеждането на икономически важни култури, домати и манголд (листно цвекло), при светлина с определен спектрален състав значително намалява негативния ефект от облъчването на семена с йонизиращи лъчения ( $^{48}\text{Ca}$  - 25 Gy,  $^{12}\text{C}$  и  $^{50}\text{Ti}$  йони - 10 Gy). Растения домати, отгледани при червена-синя светлина, и растения манголд при червен-зелен-син светлинен режим, са с подобрени морфологични и функционални характеристики и съдържание на биологично-активни вещества. По-добрата фотосинтетична ефективност е свързана с промени в устичната и мезофилна проводимост, както и с количеството на Рубиско. Този резултат допринася за разработването на подходящи протоколи за отглеждане на здрави, богати на ценни за диетата на човека растения в контролирана екологична система не само на Земята, но и в Космоса [81, 87].

4. За първи път е показано, че листното приложение на едностенни въглеродни нанотръби (SWCNT) върху интактни грахови растения променя морфологията на листата, ултраструктурата на хлоропластите, функционалната активност на фотосинтетичния апарат, и предизвиква структурно ремоделиране на тилакоидната мембранна система [80]. Представени са оригинални доказателства за електронен трансфер между фотосинтетичната електронно-транспортна верига (на нивото на крайните акцептори на фотосистема I и пластохиноновия пул) и SWCNT *in vivo* [82].

5. Третирането на грахови семена с едностенни въглеродни нанотръби, диспергирани в разтвор на полимера Pluronic P85 (обозначени като P85-SWCNT) по т.н. процедура „прайминг“ е безопасно за растенията, тъй като не нарушава покълването на семената, развитието на растенията, анатомията на листата, натрупването на биомаса и фотосинтетичната активност и дори увеличава количеството на фотохимично активните центрове на фотосистема II в зависимост от приложената концентрация. Само концентрацията от 300 mg/L оказва неблагоприятно въздействие върху тези параметри. Установено е обаче, че полимерът P85, приложен самостоятелно, проявява редица негативни ефекти върху растежа на растенията (дължина на корените, анатомия на листата, натрупване на биомаса и способност за фотозащита), най-вероятно свързани с неблагоприятното взаимодействие на унимерите на P85 с растителните мембрани [91].

6. За първи път са представени експериментални данни за ефекта от обработването на грахови семена със стабилизирани наномицели, съставени от биосъвместимия триблоков кополимер Pluronic P85 (SPM). Резултатите показват, че използваните наноматериали проникват през обвивката на семената, клетъчните стени на растенията и оказват както краткосрочни (по време на покълването) така и дългосрочни ефекти (в процеса на растежа и развитието на растенията), които ефекти са концентрационно зависими. Положителен ефект върху покълването на семената и развитието на растенията е установен при концентрация 0.2

g L<sup>-1</sup>, а отрицателен - при 10-30 g L<sup>-1</sup>. Получените резултати показват че оптималната концентрация от 0.2 g (SPM) L<sup>-1</sup> може да бъде използвана за по-нататъшно разработване на стабилизирани Pluronic P85 наномицели, „натоварени“ с вещества, полезни за растежа на растенията и тяхната пластичност по отношение на адаптацията им към неблагоприятни фактори на околната среда [93].

### III. Методични приноси

Приносите се базират на 2 научни труда [20, 30].

1. Разработен е метод за измерване на митохондриалното дишане на светло. Използвайки този метод е установено, че много малко количество CO<sub>2</sub> се освобождава от листа на царевица, дори когато те са подложени на силни стресови въздействия (солеви стрес и воден дефицит). CO<sub>2</sub> се отделя само когато скоростта на фотосинтезата е ниска поради лимитираща светлинна интензивност или при листа, изложени на топлинен стрес. Голяма част от CO<sub>2</sub>, образуван в процеса на митохондриалното дишане, се рефиксира в мезофила, когато фотосинтезата е висока, така че митохондриалното дишане може да бъде инхибирано само в условията на стрес, в случая - силен воден дефицит [20].

2. Приложен е оригинален подход за локализирано обгазяване с озон, който позволява листа от едно растение да бъдат подложени на различни дози озон. С използването на този метод се елиминират възможните ефекти на други фактори, различни от тези на озона, като генетични различия, метеорологични фактори и ефекти на почвените условия. Изследвани са физиологичните промени в листата на два дървесни вида *Quercus ilex* (L.) и *Quercus pubescens* (L.), подложени на високи (около 300 ppb), средни (около 200 ppb) и близки до пиковите дози в околната среда (около 100 ppb). Получени са доказателства, че *Q. ilex* и *Q. pubescens* са устойчиви на озонов стрес, т.е. негативните промени във фотосинтетичните показатели са временни и възстановяването е бързо. Въпреки че третирането с високи дози озон води до затваряне на устицата и последващо намаляване на фотосинтезата, не беше установен лимитиращ фотосинтезта ефект от ниски нива на CO<sub>2</sub>, а именно концентрацията на CO<sub>2</sub> в междуклетъчните пространства и в хлоропластите остава непроменена в продължение на целия експеримент. Не са установени и фотохимични увреждания в листата на *Q. ilex*, а фотохимичните промени при *Q. pubescens* са незначителни. Нарастването в нивата на водороден пероксид и липидно пероксидиране беше ограничено само в началото на третирането с висока доза озон и беше последвано от увеличаване на изопреновата емисия от листата на *Q. pubescens*. Предполагано е, че повишеното образуване на изопрен спомага за

“гасенето” на активни кислородни форми и нормализира състоянието на мембраните в листа, възстановяващи се от озонов стрес [30].

Справка за броя цитирания, към 27.04.2024, на публикациите въз основа на които са формулирани основните научни приноси.

№		Списание	Брой цитати
<b>I. Първичен и вторичен метаболизъм при растенията в условия на стрес</b>			
[13]	Velikova et al.	Physiologia Plantarum 107: 77-83, 1999	42
[16]	Velikova et al.	Plant Science 151: 59-66, 2000	3881
[21]	Loreto & Velikova	Plant Physiology 127: 1781-1787, 2001	1030
[23]	Velikova et al.	Photosynthetica 40: 449-452, 2002	4
[25]	Velikova et al.	Physiologia Plantarum 122: 219-225, 2004	85
[27]	Velikova & Loreto	Plant Cell and Environment 28: 318-327, 2005	214
[28]	Velikova et al.	Agriculture, Ecosystems & Environment 106: 209-217, 2005	32
[29]	Velikova et al.	New Phytologist 166: 419-426, 2005	105
[31]	Velikova et al.	Functional Plant Biology 33: 931-940, 2006	32
[34]	Velikova et al.	Zeitschrift für Naturforschung 62c: 833-838, 2007	19
[38]	Velikova et al.	Plant Cell and Environment 31: 1882-1894, 2008	51
[39]	Vickers et al.	Plant Cell and Environment 32: 520-531, 2009	207
[40]	Velikova et al.	Environmental Pollution 157: 2629-2637, 2009	43
[41]	Velikova et al.	Journal of Chemical Ecology 36: 629-641, 2010	51
[44]	Velikova et al.	Environmental Pollution 159: 1058-1066, 2011	83
[45]	Velikova et al.	Plant Physiology 157: 905-916, 2011	121
[47]	Velikova et al.	Plant Signaling & Behavior 7, 139-141, 2012	74
[54]	Velikova et al.	Journal of Proteome Research 13, 2005-2018, 2014	36
[55]	Tattini et al.	Plant, Cell and Environment 37, 1950-1964, 2014	46
[57]	Tattini et al.	New Phytologist 207, 613-626, 2015	96
[59]	Velikova et al.	Plant Physiology 168: 859-870, 2015	25
[60]	Vanzo et al.	Plant Physiology 170 (4), 1945-1961, 2016	24
[63]	Velikova et al.	Plant, Cell and Environment 39, 2185-2197, 2016	24
[68]	Ahrar et al.	Journal of Experimental Botany 68(9): 2439-2451, 2017	18
[88]	Velikova et al.	Journal of Experimental Botany 74(3), 688-706, 2023	1
<b>II. Устойчиво развитие на растенията чрез иновативни технологии</b>			
[62]	Arena et al.	Environmental and Experimental Botany 130, 122-132, 2016	88
[79]	Vitale et al.	Plants 10(5), 861, 2021	10
[80]	Velikova et al.	International Journal of Molecular Sciences 22:4878, 2021	21
[81]	Vitale et al.	Plants 10,1752, 2021	2
[82]	Petrova et al.	Molecules 26:5958, 2021	4

[85]	Vitale et al.	PeerJ 10: e13677, 2022	5
[87]	Vitale et al.	Plants 11, 1816, 2022	4
[91]	Krumova et al.	Nanomaterials 13:1332, 2023	4
[93]	Krumova et al.	Photosynthetica 61: 432-440, 2023	1
<b>III. Методични приноси</b>			
[20]	Loreto et al.	Australian Journal of Plant Physiology 28: 1103-1108, 2001	74
[30]	Velikova et al.	Tree Physiology 25: 1523-1532, 2005	67

май, 2024

София

Изготвил:

/проф. дн В. Великова/