

30 ГОДИНИ КОСМИЧЕСКИ БИОТЕХНОЛОГИИ В БЪЛГАРИЯ

Таня Иванова, Илиана Илиева, Йордан Найденов

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: tivanova@space.bas.bg

Ключови думи: *Интеркосмос, Орбитална станция МИР, Космическа оранжерия СВЕТ*

Резюме: *Направен е обзор на извършената организационна, изследователска и инженерна дейност при изпълнението на един от най-успешните български проекти – Космическата оранжерия (КО) СВЕТ, във връзка с 30-годишнината от стартирането му. КО СВЕТ е първата автоматизирана апаратура за провеждане на дългосрочни експерименти с растения на борда на Орбиталната станция МИР. Създадена е с цел разработка на космически биотехнологии за развитие на растенията – основно звено на Биологичните системи за осигуряване живота на екипажите при бъдещите полети до Марс. В периода 1990-2000 година в нея бяха осъществени експериментални изследвания с различни култури от международни екипажи и колективи по програмите «Интеркосмос» и МИР-НАСА. Дадени са накратко основните научни резултати, доказващи възможността за нормално развитие на растенията в микрогравитация, както и проектите по които продължава наземната научна работа по усъвършенстването на оранжерийните системи (за мониторинг и осветление) и биотехнологиите.*

30 YEARS SPACE BIOTECHNOLOGIES IN BULGARIA

Tania Ivanova, Iliana Ilieva, Yordan Naydenov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: tivanova@space.bas.bg

Keywords: *Interkosmos, MIR Orbital Station, SVET Space Greenhouse*

Abstract: *An overview of the organizational, research and engineering activities during one of the most successful Bulgarian projects – SVET Space Greenhouse (SG) is made, on the occasion of the 30th anniversary of its inception. SVET SG is the first ever automated equipment, designed for long-term experiments with plants, and has operated on board MIR Orbital Station. It was created in order to develop space biotechnologies to growing plants – basic functional groups of the Biological Life Support Systems for the future long-duration manned missions to Mars. The experimental research was carried out by the international crews and teams in the frame of Interkosmos and MIR-NASA programmes in the period 1990-2000. Basic scientific results are presented in brief, proving the possibility of normal development and use of plants in microgravity, as well as the projects for improvement of greenhouse systems (monitoring and lighting) and biotechnologies, the scientific work on which is continuing in laboratories on ground.*

Въведение

През 1984 година, на двустранна международна среща в Института по медико-биологични проблеми (ИМБП), Москва, в тържествена обстановка бе подписан договорът за сътрудничество с тогавашната Централна лаборатория за космически изследвания (ЦЛКИ) при БАН, за разработка и изработване на първата автоматизирана Космическа оранжерия (КО) СВЕТ за дългосрочни изследвания с растения в условия на безтегловност. Преговорите за това сътрудничество започнаха около година преди това, когато водещите учени на колективите от двата института – Г. Й. Мелешко от ИМБП и Т. Иванова от ЦЛКИ се срещнаха и обсъдиха възможностите на страните за реализиране на такъв проект на едно от ежегодните съвещания на Постоянно-действащата работна група по „Космическа биология и медицина“ на програмата „Интеркосмос“ в Кечкемет, Унгария. Българските учени и специалисти се включиха в темата „Изследване на пътищата и методите за използване на растенията и животните в

Биологичните системи за осигуряване живота (БСОЖ) на космическите екипажи", най-важното звено на които са растенията [1].

Основание за реализуемост на такава задача даваше постигнатия през 1982 г. резултат от руските учени в това ново направление „Космическо растениевъдство“, които след 20-годишни неуспешни опити за отглеждане на растения в безтегловност, бяха получили първите семена от растението *Arabidopsis* в камерата "Фитон-3" на борда на Орбиталната станция "Салют-7". Проведените дотогава биологични експерименти в Космоса бяха доказали, че безтегловността все пак е съвместима с нормалните жизнени функции на растителните организми, но те предявяват изключително високи изисквания при подготовката и провеждането на опитите. Трябваше да се разработят технологии за култивиране на необходимите за храна на космонавтите видове растения (натрупващи мазнини, белтъчини, въглехидрати и витамини), а не моделно растение като *Arabidopsis*. За осъществяването на успешни експерименти се изискваше много точно спазване на оптималните условия за растеж и хранене на растенията, към които те са привикнали на Земята, регулирането на температурата, влажността и осветеността на средата им на развитие в точно определени граници. А това можеше да бъде постигнато, ако с помощта на прецизна сензорна система и микропроцесорно устройство се мерят и управляват изпълнителните механизми за регулиране параметрите на средата в кореновата и листната зона на растенията [2,3].

Разработката на космически оранжерийни системи и биотехнологии за отглеждане на растения в условия на микрогравитация се оказа изключително трудна научна задача, изпълнена успешно от българските учени от БАН, първоначално с подкрепата и с финансирането на българското правителство. Техническата част на проекта поеха специалисти от ЦЛКИ (сега ИКИТ), които вече имаха 15-годишен опит в разработката на космическа апаратура за изследване на околоземната плазма, а с биологичната част се заеха учени от Института по физиология на растенията (сега ИФРГ).

През изминалите три десетилетия са разработени три поколения българска КО СВЕТ, в първите две от които се проведеха 8 дългосрочни експеримента с растения на борда на Орбиталната станция (ОС) МИР в продължение на 680 дни в периода 1990-2000 година. Имаше много проблеми, но работата на апаратурата в орбиталния комплекс показа, че правилно са подбрани основните технически решения и биотехнологии за отглеждането на растения в космически условия.

Първата Космическа оранжерия СВЕТ

Първата модификация на КО СВЕТ бе разработена през 80-те години (по Договор 820/1983 с ДКНТП) и изпратена в орбита като щатна апаратура в модул "Кристал", скачил се към ОС МИР на 10 юни 1990 година. Комплексът апаратура на КО СВЕТ беше преминал успешно всички приемо-предавателни изпитания и бе изстрелян безвъзмездно благодарение на международната програма за сътрудничество „Интеркосмос“, която ни предоставяше изцяло необходимата руска космическа техника, инфраструктура и логистика (космодруми, ракети, станции и пр.).

Намиращите се на борда руски космонавти от поредния постоянно пребиваващ екипаж, който беше предварително обучен на тренажор, осъществи монтажа на кабелите между блоковете и по специална тестова програма извърши проверка за правилността на функционирането им. С командата „СТАРТ“ на историческата дата *16 юни 1990 г.* беше ознаменувано началото на многото успешни бъдещи стартове на българската КО СВЕТ.

Първоначално беше решено да бъдат отгледани два вида зеленчукови култури (салата и репички), които се характеризират с висока продуктивност и сравнително къс вегетационен цикъл (30-45 дни). И това не беше случайно, тогава България беше известна с качествените си зеленчуци, които изнасяше в цяла източна Европа. Проверени бяха по няколко вида сортове от тях и подбрани най-подходящите за условията в орбиталния отсек, при сравнително висока температура (25°C), ниска влажност на въздуха (40%) и ниска осветеност, все неподходящи за тези пролетни култури. За хранителна среда за растенията бе подбран субстратът „Балканин“, допълнително обогатен с минерални соли по оригинална българска технология, за да се използва години наред за отглеждане на много последователни вегетации без торене [4].

Специално конструираната за целта микрокомпютърна система за управление на оранжерията следи и поддържа автоматично параметрите на околната среда във вегетационната камера, осигурявайки оптимални за развитието на растенията условия, близки до земните.

Космонавтите Александър Баландин и Анатолий Соловьев проведеха първите дългосрочни експерименти със зеленчукови растения (репички и китайско зеле) за витаминозна добавка към рациона на космонавтите. На 29-тия ден част от растенията бяха обрани и

хербаризирани, а на тяхно място засадени нови семена, от които се развиха втора вегетация 23-дневни растения. В края на експеримента те бяха обрани заедно с първоначално засетите 54-дневни растения и при завръщането си на 8 август 1990 г. екипажът донесе увити в мокри салфетки свежи биологични образци в отлично състояние и от двете вегетации. Физиологичните им характеристики бяха изследвани с апаратура LI-COR още на площадката за приземяване на спускаемия отсек от учените-биолози Александър Машинский (ИМБП-РАН) и Димитър Величков (ИФР-БАН), представители на двете страни, участници в експеримента (фиг. 1а). Морфологичните им характеристики бяха нормални, но се забелязва почти двойно забавяне на растежа и увеличаване на съдържанието на сухо вещество. За пръв път бе получен кореноплод (репичка) в условия на космически полет, макар и с над 3 пъти по-малко свежо тегло на подземната част [5].

Втората Космическа оранжерия СВЕТ-2 и научни експерименти

Втората модификация КО СВЕТ-2 бе разработена през 90-те години с финансиране от НАСА и изстреляна през 1996 г. по програмата МИР-НАСА на различни носители. В нея бяха проведени серия от дългосрочни експерименти с различни растителни култури с цел доказване възможността за осъществяване на пълен вегетационен цикъл на растения в безтегловност – получаване на “космически” семена. Към българската апаратура американските учени от Лабораторията по космическа динамика, Университета на Юта, добавиха и своя система за мониторинг на средата и за измерване на газовия обмен в камерата GEMS /Gas Exchange Measurement System/. Целта бе да се измерва количеството въглероден диоксид на входа и изхода на системата, за да може да се прогнозира ролята на фотосинтезата за биологичното пречистване на въздуха в бъдещите космически станции за далечни мисии на човека с по-големи оранжерии на борда. В КО СВЕТ-2 бяха проведени няколко дългосрочни експерименти с различни видове растения по програма МИР-НАСА-3,5 (1996-97) и по руската програма (1998-2000).



Фиг. 1. (а) Биолозите А. Машинский и Д. Величков измерват фотосинтетичната активност на свежи растителни проби, току-що донесени от ОС МИР, Казахстан, 8 август 1990 г.; (б) Клас от пшеница сорт *Ароее*, отгледана в КО СВЕТ-2 на борда на ОС МИР през 1998-99 г.

Два последователни експеримента с пшеница сорт *Super Dwarf* бяха проведени по програма МИР-НАСА-3 с участието на американски астронавти с цел – постигане на пълен жизнен цикъл на развитие (от посяти на борда семена да се получат растения със семена). По време на първия 123-дневен експеримент, проведен през 1996 г. от американската астронавтка Шанън Люсид, се получиха зрели растения с класове с по-малки размери, но повече на брой от наземните. Джон Блаха проведе втория 42-дневен експеримент за получаване на зелени растения, които бяха замразени [6]. Образци от растенията и от двата експеримента бяха върнати за изследване на Земята. Оказа се, че първите космически класове не съдържат семена, въпреки усъвършенстваните биотехнологии, а причина за стерилитета на пшеницата не е безтегловността, а наличието на големи концентрации газ етилен (над 1%) в атмосферата на ОС МИР [7].

Три последователни експеримента с растения *Brassica rapa* бяха проведени през 1997 г. по програмата МИР-НАСА-5 в сътрудничество с Университета на Луизиана и с участието на американския астронавт Майкъл Фуул. За пръв път се получават “космически” семена и е доказана възможността за репродуктивност на растенията в безтегловност [8].

Два последователни научни експеримента с нов сорт пшеница (*Apogee*), по-устойчив на високото съдържание на етилен на борда бяха проведени в КО СВЕТ-2 по руската научна програма през 1998-99 г. Руският космонавт Сергей Авдеев отгледа първите 508 “космически” семена пшеница от 12 растения с 29 формирана класа (фиг. 1б). Част от тях бяха засети отново и се разви второ поколение растения, отново до пълен вегетационен цикъл. Това беше голямо постижение в областта на фундаменталната гравитационна биология, тъй като за първи път се отглеждаха “космически” семена от две генерации пшеница в Космоса [9].

Последните изследвания с растения в КО СВЕТ-2 бяха осъществени от 28-ия екипаж на ОС МИР (космонавтите Сергей Залютин и Александър Калери) през 2000 г., когато бяха засети семена от различни видове салатни култури. По един образец от получените растения бяха изпратени на Земята, а останалите за пръв път бяха предоставени за храна на космонавтите за да се оценят вкусовите качества на растителния материал.

При експерименталните изследвания проведени в КО СВЕТ-2 са постигнати уникални резултати, доказващи че безтегловността не е пречка за развитието на растенията и те могат да бъдат използвани пълноценно за създаването на БСОЖ на екипажите при дълготрайни мисии [10]. Нямаше съмнения, че на бъдещите орбитални или междупланетни станции ще бъдат създадени ефективни космически оранжерии на базата на българските технологии, както беше при оранжерията ЛАДА, работила на новата Международната космическа станция (МКС) [11].

Разработка на Космическа оранжерия СВЕТ-3

С приключването на изследванията на ОС МИР, започна разработката на трето поколение КО СВЕТ-3 за МКС и търсенето на проекти с външно финансиране. През 1999 г. се включихме в проект за разработка на космическа оранжерия SGH (Space GreenHouse) за МКС в сътрудничество с Италианската космическа агенция (ASI), в който участваха 10 научни центрове и университети. През 2000 г. бе подписан договор за разработка на оранжерийна установка EARM (Equipment for Agricultural Research in Microgravity) в сътрудничество с Бразилия (BRAZSAT) за изследване на продуктивността на соята на борда на МКС (по програмата за полета на първия бразилски космонавт Маркос Понтес). Направена бе предварителна оценка за осъществимостта и цената на проектите (Feasibility Study), но редица политически обстоятелства (терористичните атаки, катастрофата на совалката „Колумбия“, войната в Ирак) попречи на финансирането и реализацията им.

В новата адаптивна концепция на КО СВЕТ-3 се предвижда да се измерват не само параметрите на средата, в която се отглеждат растенията, но и някои физиологични параметри свързани с растежа и развитието им през целия вегетационен период. Наред с основните климатични параметри – температурата и влажността на въздуха и субстрата, ще се следят фотосинтезата, транспирацията, височината, температура и площ на листата и други параметри, свързани със „здравето“ на растенията. Събирайки и обработвайки тези данни, микрокомпютърната система за управление адаптивно поддържа параметрите на околната среда, така че да се осигурят оптимални резултати – здрави и жизнени растения с богата биомаса [12].

Основните възли на третото поколение КО СВЕТ-3 бяха оптимизирани с българско финансиране от ФНИ по Национална научна програма „Космически изследвания“ (2004-2006). Разработена бе нова система за разширен мониторинг на параметрите на средата в листната зона и управление с помощта на съвременна микроконтролерна система за събиране на данни ME-4610 [13].

Целта бе да се замени оригиналният Блок управление (БУ) на КО СВЕТ-2 [14], като функционалността и задачите му изцяло се поемат от нарочна приложна програма, изпълнявана на стандартен персонален компютър. Този виртуален БУ позволява голяма гъвкавост при надграждането и модификациите в конфигурацията на КО СВЕТ-3 по време на нейната разработка, технически изпитания и верификация на цялостната концепция, чрез биотехнологични лабораторни експерименти с растения [15].

Оригиналната система за мониторинг на субстратната среда в Кореновия модул бе разширена с такава за следене параметрите на въздушната среда в листната зона, като бяха добавени сензори за отчитане на температурата и относителната влажност на въздуха, светлинния интензитет, атмосферното налягане и скоростта на вертикално движение на въздушния поток в Камерата за отглеждане на растения [16].

Разработен бе и нов Блок за осветление (БО) на съвременни светлинни източници – червени (R), зелени (G) и сини (B) светодиоди (LEDs), заместващи използваните в КО-СВЕТ-1,2 флуоресцентни лампи. Задачата бе осъществена по проекта „Оранжерия-Марс“ (2006-2010),

изпълняван в партньорство с ИМБП, Москва, във връзка с подготовката и провеждането на експеримента „Марс-500“ – наземна имитация на полета на човека до Марс [17].

Разработени бяха две модификации на БО на RGB LEDs, на мощни светодиоди БО-LED и на маломощни – БО-LED-M, с регулируеми параметри на светлината [18]. Проведени бяха дългосрочни експерименти с различни видове зеленчуци (салата и листна цикория), насочени към изследване влиянието на интензитета (плътност на фотосинтетичния фотонен поток) и спектъра на светлината с цел установяване на границите, при които изследваните перспективни за космоса растения се развиват най-добре [19,20].

Изследвано бе влиянието на съотношението зелена/синя светлина при постоянен дял на червената светлина 70%. След сравняване на резултатите от анализа на растенията от двата експеримента – морфометричните характеристики (свежо и сухо вещество) и хлорофилната флуоресценция бе установено, че физиологичното състояние на растенията отгледани при по-високо процентно съдържание на синя светлина в спектъра (10% G, 20% B) е по-добро в сравнение с това на растения, отгледани при съотношение на светлината 20% G към 10% B [21].

Получените досега резултати задават рамката на бъдещите ни изследвания в тази област: уточняване на спектралния състав и съотношението на червена/зелена/синя светлина в него, както и установяване на минималния и максималния светлинен интензитет, които БО на светодиоди трябва да осигурява при съответния спектрален състав за да се постигне осветление, оптимално за растежа и развитието на отглежданите в КО СВЕТ-3 растения.

Заклучение

Българските учени от ИКИТ ще продължат активно научната си дейност, свързана с усъвършенстването на Космическите биотехнологии и разработването на оранжерийни системи (основно за мониторинг на средата и светодиодно осветление), с помощта на модерно оборудваната със съвременна апаратура Лаборатория за биотехнологични изпитания (проект ИКАМОС по ОП „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика“ от 2013 г.). Системата за изследване на физиологичните параметри на образци от опитните растения включва апарат за едновременно измерване на фотосинтеза и хлорофилна флуоресценция, скенер за определяне на листната повърхност и квантов сензор за измерване на фотосинтетичния фотонен поток на фирмата LI-COR. В Лабораторията е включена и Аналитична система за биохимични анализи на образци от различни етапи на развитие на растенията.

Работата на българските учени е вдъхновена от приближаващото се реализиране на полета на човека до Марс в близките 1-2 десетилетия и вярата, че утрешните поколения на нашата цивилизация ще овладеят близкото и далечното космическо пространство, ще го населяват и ще пътуват из него. А за осъществяването на тези мисии няма да може да се изпращат товарни кораби с храна, вода и кислород, както сега до МКС, а ще са необходими космически оранжерии с възможно по-големи площи. Те ще са жизнено важни и за създаването на първите научно-изследователски станции с хора на Луната и Марс, особено след като бяха открити огромни подпочвени залежи от замръзнала вода на тях, но където гравитацията е съответно шест и три пъти по-слаба от земната. Животът в тези станции ще се осигурява с помощта на изкуствени затворени биологични системи, в които ще се пресъздава земната биосфера с всички необходими растителни и животински видове – достатъчно, за да се осъществява равновесие за поддържане на въздух, нормален за дишане, за пречистване на водата и за осигуряване на храна.

Литература:

1. Иванова, Т. Биологични системи за осигуряване на живота на космическите екипажи. *Сборник с доклади от Юбилейна научна сесия „40 години от първия полет на човек в космоса“*, Д. Митрополия, 12-13 април 2001, УДК 629.7.048, том 3, 2002, 159-164.
2. Ivanova, T. N., P. T. Kostov, S. M. Sapunova, H. S. Dobrev, I. W. Dandolov. Sensors and Methods for Measurement of the Environment parameters in "SVET" Space Greenhouse. *Compt. rend. Acad. Bulg. Sci.*, 45, 11, 1992, 55-58.
3. Иванова, Т. Н., И. В. Дандолов, П. Т. Костов. Автоматизирана система за управление на Космическа оранжерия. *Сборник с доклади от Юбилейна научна сесия „110 години Въздухоплаване в България“*, Д. Митрополия, 25-26 април 2002, том 2, 2002, 398-403.
4. Ivanova, T., I. Stoyanov, G. Stoilov, P. Kostov, S. Sapunova. Zeolite Gardens in Space. *NATURAL ZEOLITES Sofia '95. Proceedings of the Sofia Zeolite Meeting '95*, 18-25 June 1995, G. Kirov et al. (eds), PENSOFT, 1997, 3-10.

5. Ivanova, T. N., Yu. A. Bercovich, A. L. Mashinskiy, G. I. Meleshko. The First Vegetables Have been Grown up in the "SVET" Greenhouse by Means of Controlled Environmental Conditions. *Microgravity Quarterly*, Vol. 2, No. 2, 1992, pp. 109-114.
6. Ivanova, T. N., P. T. Kostov, S. M. Sapunova, I. W. Dandolov, F. B. Salisbury, G.E. Bingham, V. N. Sytchov, M. A. Levinskikh, I. G. Podolski, D. B. Bubenheim, G. Jahns. Six-Month Space Greenhouse Experiments – a Step to Creation of Future Biological Life Support Systems. *Acta Astronautica*, Vol. 42, Nos. 1-8, 1998, pp. 11-23.
7. Levinskikh, M. A., V. N. Sychev, T. A. Derendyaeva, O. B. Signalova, F. B. Salisbury, W. F. Campbell, D. L. Bubenheim, G. Jahns. Analysis of the Spaceflight Effects on Growth and Development of Super Dwarf Wheat in Greenhouse SVET. *J. Plant Physiology*, 156(4), 2000, pp. 522-529.
8. Musgrave, M. E., A. Kuang *et al.* Gravity Independence of Seed-to-Seed Cycling in *Brassica rapa*. *Planta*, 210, 2000, pp. 400-406.
9. Levinskikh, M. A., V. N. Sychev *et al.* Growth and Development of Plants in a Row of Generations under the Conditions of Space Flight (Experiment Greenhouse-5). *Aviakosm. Ekolog. Med.*, 35(4), 2001, pp. 45-49.
10. Ivanova, T. Greenhouse Aboard Mir Shows Plants Can Thrive in Space. *21st CENTURY – Science and Technology*, Vol. 15, No. 2, 2002, 39-47.
11. Bingham, G. E., I. G. Podolsky, M. A. Levinskikh, V. N. Sychev. LADA, A New Joint Russian - U.S. Plant Greenhouse: Continuing the "Svet" Science and Technology Development Tradition on ISS, *Grav. and Space Bio. Bul.*, 15(1), 2001, Rep. SERGEB99.
12. Kostov, P., T. Ivanova, I. Dandolov, S. Sapunova, I. Ilieva. Adaptive Environmental Control for Optimal Results during Plant Microgravity Experiments. *Acta Astronautica*, Vol. 51, Nos. 1-9, 2002, pp. 213-220.
13. Naydenov, Y., T. Ivanova, I. Dandolov, I. Ilieva. Plant Shoot Environment Monitoring and Control in the SVET Space Greenhouse. *Proceedings of the 60th International Astronautical Congress*, 12-16 October 2009, Daejeon, Republic of Korea, Curran Associates Inc., Vol. 1, 2010, pp. 299-306.
14. Naydenov, Y., T. Ivanova. "SVET" Space Greenhouse Control Unit: Automation of Plant Cultivation in Microgravity. *Journal of the Technical University at Plovdiv „Fundamental Sciences and Applications”*, Vol. 16, Book 1, 2011, pp. 429-434.
15. Naydenov, Y., T. Ivanova, I. Ilieva, I. Dandolov. Virtual Control Unit for SVET Space Greenhouse. *Proceedings of the 6th Scientific Conference with International Participation „Space, Ecology, Safety” (SES 2010)*, 2-4 November 2010, Sofia, Bulgaria, 2011, pp. 118-123.
16. Naydenov, Y. "SVET" Space Greenhouse Monitoring System Development. *Ecological Engineering and Environment Protection*, Vol. 4, 2011, pp. 66-71.
17. Ivanova, T., V. Sychev. Project „Greenhouse-Mars” – Plant Growth Study with Different Spectra LED Light Units. *Proceedings of the 2nd Scientific Conference with International Participation „Space, Ecology, Nanotechnology, Safety” (SENS 2006)*, 14-16 June 2006, Varna, Bulgaria.
18. Ivanova, T., I. Dandolov, I. Ilieva, Y. Naydenov, M. Levinskikh, V. Sychev. New LEDs Light Module developed on „Greenhouse-Mars” Project. *Aerospace Research in Bulgaria*, Vol. 23, 2009, pp. 85-102.
19. Ilieva, I., Y. Naydenov, T. Ivanova, I. Dandolov, D. Stefanov, E. Gesheva. Morphometrical Characteristics and Photosynthetic activity of Radicchio under RGB LED Lighting. *Proceedings of the 7th Scientific Conference with International Participation „Space, Ecology, Safety” (SES 2011)*, 29 November - 1 December 2011, Sofia, Bulgaria, 2012, pp. 119-124.
20. Ilieva, I., T. Ivanova, Y. Naydenov, I. Dandolov, D. Stefanov. Plant Experiments with Light-Emitting Diode Module in SVET Space Greenhouse. *Advances in Space Research*, 2010, Vol. 46, No. 7, pp. 840-845.
21. Ilieva, I., Y. Naydenov, T. Ivanova, I. Dandolov, D. Stefanov, E. Gesheva, V. Nenova. Effect of the Green:Blue Light Ratio on the Physiology of Radicchio Under RGB Lighting. *Proceedings of the 8th Scientific Conference with International Participation „Space, Ecology, Safety” (SES 2012)*, 4-6 December 2012, Sofia, Bulgaria, 2013, pp. 239-243.