

**ȘCOALA DOCTORALĂ
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI**

TITLUL TEZEI DE DOCTORAT :

**ASPECTE ENERGETICE PRIVIND MICROCLIMATUL ÎN
SPAȚII PROTEJATE
- APLICATII LA CAMERE DE CALUSARE SI ACLIMATIZARE**

RAPORT DE CERCETARE NR.1 :

***Stadiul actual al cercetărilor
în domeniu incintelor de calusare***

Conducător doctorat : Conf.dr.habil.ing. Adrian Gabriel Ghiauş

Doctorand : C.S.III, ing. Ionel Lucian DUMITRESCU

Septembrie 2017

Cuprins

1. Introducere.....	3
2. Culturi protejate : scurt istoric	4
3. Aspecte energetice în spații protejate	6
3.1. Radiația solară	7
3.2. Bilanț energetic	9
3.3. Concentrație CO ₂	11
3.4. Umiditatea aerului	11
4. Cercetări referitoare la camerele de calusare și/sau aclimatizare	13
4.1. Procesul de calusare	13
4.2. Camere de calusare cu control manual al factorilor de microclimat	15
4.3. Camere de calusare automatizate folosite în cercetare	18
4.4. Camere de calusare automatizate de mare productivitate	28
5. Concluzii	38
Bibliografie	40

1. Introducere

Noțiunea de *Culturi Protejate* a apărut din nevoia de a putea cultiva produse agricole în zone nefavorabile din punct de vedere climatic, mai exact în zone cu intensitate luminoasă scăzută sau prea intensă, cu temperaturi prea ridicate sau prea scăzute, cu umiditate în exces sau în deficit, cu sol cu deficit de nutrienți sau cu procent ridicat de dăunători, zone în care au loc fenomene atmosferice extreme cum ar fi vânturi puternice sau nivel al concentrației bioxidului de carbon neadecvată. *Cultura protejată* este un sistem specializat de activitate agricolă în care condițiile de mediu de cultură a plantelor sunt modificate astfel încât să se prelungească perioada de recoltare, să se modifice ciclurile de producție, să crească calitatea și cantitatea producției în condițiile în care cultura în câmp deschis este limitată (Castilla, 2013).

Fiecare cultivar are un regim optim de factori de mediu pentru dezvoltare. Dacă acest regim este modificat planta reacționează generând anumite procese între ea și microclimatul din spațiul înconjurător. De exemplu prin amplasarea unui ecran de protecție lângă o plantă se pot genera modificări ale unor părți ale plantei sau ale întregii plante. Aceste ecrane pot fi amplasate lateral față de plantă, sub plantă direct pe sol sau deasupra plantelor formând un acoperiș. Cele amplasate deasupra pot fi : (i) tunele cu înălțimea de circa 1m dedicate cultivarelor de talie mică; (ii) solarile și serele, structuri mai solide, mai înalte și care sunt utilizate pentru culturi cu talie mare, chiar și pentru cultura arbuștilor și pomilor. Aceste structuri nu numai că modifică condițiile naturale de microclimat în scopul de a se ajunge la productivitatea optimă a culturii, dar ajută și la utilizarea eficientă a resurselor locale cum ar fi solul, apa, energia, nutrienții disponibili, spațiul destinat culturii, a resurselor climaterice tip radiație solară, umiditate și concentrație de CO₂ (Wittwer & Castilla, 1995).

Costurile investițiilor în sere, cum ar fi costurile cu forța de muncă și cu energia, sunt mult mai mari comparativ cu producția convențională de plante în câmp deschis. Pentru a eficientiza producția în spații protejate, trebuie urmărită o bună utilizare a potențialului de producție al plantelor, printr-o productivitate sporită a muncii și printr-o eficiență energetică ridicată (Druma, 1998). În aceste spații protejate se dezvoltă fenomene termice complexe ca urmare a interacțiunii dintre temperaturile aerului din

interiorul serei și a celui folosit pentru ventilație. De asemenea energia solară care pătrunde în sere suferă modificări semnificative, în mare măsură apărute la trecerea radiației prin materialul care acoperă construcția. Astfel se generează o serie de fenomene complexe legate de temperatură și umiditate, de evaporare și condensare, de morfologia plantelor, de sol, de modul de proiectare a serei, de sistemul de încălzire.

Transferul și schimbul de căldură se realizează prin intermediul a trei mecanisme distincte:

- Conductivitatea termică, caracterizată în principal de coeficientul de conductivitate termică λ , exprimat în $W / m K$;
- Convecția, sau procesul de transfer de căldură între elementele constructive și atmosferă, aceasta putând fi:
 - a) convecție spontană (naturală și liberă) din cauza unor cauze naturale, cum ar fi diferența de temperatură care determină diferențe de densitate a aerului, care generează mișcarea acestuia;
 - b) convecție forțată generată de cauze externe ;
- Radiația, transferul de căldură are loc între zone cu temperaturi diferite datorită undelor electromagnetice (Bodolan & Bratucu, 2014)

2. Culturi protejate : scurt istoric

Prima atestare documentară a unei culturi protejate, conform istoricului Columella, este încă din perioada împăratului roman Tiberius Caesar (14-37 AD) când plăci mobile transparente de sticlă sau foi de mică sau alabastru au fost utilizate pentru a acoperi culturile de castraveți (Wittwer & Castilla, 1995). Însă aceasta metodă de cultură se pare că a dispărut odată cu decăderea imperiului roman (Dalrymple, 1973). Până în perioada renasterii nu mai există atestări documentare referitoare la sere și solarii. Începând cu sfârșitul secolului al 16-lea până în secolul al 19-lea, în Anglia și Franța apar o serie de structuri asemănătoare cu răsadnițele, similare cu celor folosite de fermierii români și bulgari la nord și sud de Dunăre. Aceste răsadnițe erau deschise ziua pentru ca soarele să încălzească răsadurile, iar seara erau închise pentru a le feri de nopțile reci. La sfârșitul secolului al 17-lea a fost menționată pentru prima dată folosirea ramelor și a clopotelor de sticlă, similare celor prezentate în figura 1, pentru acoperirea *paturilor*

fierbinți în care erau cultivate o mare varietate de legume (Woolf, 1997). Plantele erau așezate pe paturi de îngrășământ natural care le hrănea și încălzea în același timp.

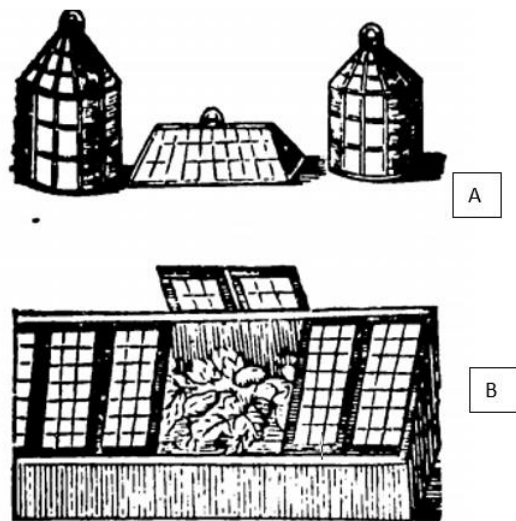


Fig. 1 : A – clopote de sticlă folosite în anii 1600 ; B – vechi desen publicat în 1670 în Olanda ce ilustrează un cadru acoperit în care se cultivă legume (adaprate după Dalrymple, 1973)

La început sticla era folosită doar la construcția acoperișului înclinat al serei, ceilalți pereți fiind construiți din alte materiale ca lemnul, bambusul sau alte materiale de construcții. Mai târziu în anii 1800 a început să fie folosită sticla și pentru pereții laterali. Sera cu două laturi de sticlă cu acoperiș cu secțiune triunghiulară a apărut la sfârșitul anilor 1800 (Wittwer & Castilla, 1995). Lideri în construcția acestui tip de sere au fost Anglia, Olanda, Franța și țările scandinave, iar mai apoi cultura în sere se dezvoltă și în America și Asia. În secolul al 20-lea, în special după al doilea război mondial odată cu revoluția economică mondială, s-a dezvoltat și producția agricolă în sere. Apariția foliilor de plastic a facilitat expansiunea culturilor în spații protejate, în special în solarii, în Asia (cu precădere în Japonia, Korea și China) dar și în Europa, lider fiind Olanda urmată de Spania, Italia și Franța. Prețul de producție legumicolă scăzut obținut în solarii în perioada extrasezonieră a făcut ca acest tip de cultură în spații protejate să ia o foarte mare amploare în perioada de criză energetică din Europa.

Serele și solariile au evoluat în două direcții (Enoch, 1985) : (i) un prim concept are ca obiectiv realizarea unui control exact al factorilor de microclimat astfel încât să se maximizeze producția, obiectiv ce implică construcții sofisticate; (ii) al doilea concept presupune un minim de control al factorilor de microclimat cu costuri minime de producție. Primul concept este întâlnit în țările din nordul Europei al doilea fiind aplicat

în țările Mediteraniene. În prezent se folosesc în mod curent multe tipuri constructive de sere: (i) serele tradiționale englezești construite pe stâlpi verticali cu o singură deschidere sau cu deschideri multiple cu înălțime de 6,7m; (ii) de tip olandeze cu multi-deschideri, cu înălțimi de 3,2m cu deschideri între stâlpi de 3,4m 6,4m sau 9,6m; sau cu o singură deschidere cu înălțime de 22m, cu pereți laterali înalți de 3,5m sau 4,5m și înclinări ale acoperișului de 22°-26° (Critten & Bailey, 2002).

Alegerea optimă a tipului de seră este o opțiune a fermierului și depinde de costurile investiției (sau de turnover) și de tipul de cultură. Astfel un cultivator de flori tăiate va alege tehnologii care să asigure maturizarea plantelor într-o anumită perioadă a anului pe când un producător de tomate va fi preocupat de tehnologii care să asigure producție maximă și uniformă pe o perioadă cât mai lungă (Critten & Bailey, 2002). Costurile de producție sunt în general influențate de necesarul de iluminare suplimentară, de pierderile de căldură în timpul perioadelor reci sau de costul ventilației în perioade cu temperaturi ridicate.

3. Aspecte energetice în spații protejate

Serele sunt niște sisteme complexe în care au loc procese fizice, chimice și biologice simultan. Prin urmare, condițiile de creștere a culturilor pot fi modificate intervenind asupra unor subsisteme, mai exact intervenind asupra sistemului de încălzire și de filtrare a aerului, asupra sistemului de ventilare, asupra sistemului de răcire și umbrire, a celui de umidificare, de irigare și ferigație, a sistemului de corecție a concentrației de CO₂, asupra senzoriilor și sistemului de automatizare. Principala problemă în controlul condițiilor de microclimat din spațiile protejate de cultură este că pot apărea schimbări bruște de temperatură, schimbări care depind de radiația solară, de temperatura exterioară, de umiditatea relativă, de modelul de seră, etc..Acest microclimat nu este uniform distribuit în incinta serei, parametrii variind de la centru spre marginea serei, de la sol la acoperiș sau de la limita masei plantelor către interiorul acesteia.

3.1. Radiația solară

Radiațiile solare ce ajung pe suprafața pământului, în proporție de 99% au lungimi de undă cuprinse între 300nm și 2500 nm și funcție de intervalele de lungimile de undă caracteristice se disting trei categorii de radiații :

- Radiații ultraviolete (UV), sub 380 nm ; aceste radiații sunt reduse la altitudini mici și când înălțimea soarelui față orizont este scăzută (la răsărit și la apus). Acest tip de radiație are efect de îmbătrânire a materialelor plastice și are un rol important în morfogeneza plantelor (Raviv, 1988). Ea reprezintă circa 2 - 4% din totalul radiației solare globale. Se disting 3 tipuri de radiații UV : (i) UV-A (cu lungimi de undă mai mari de 320 nm), radiație care este cea care bronzază pielea; (ii) UV-B (cu lungimi de undă de la 290 nm la 320 nm), ca care generează cancerul de piele; (iii) UV-C (cu lungimi de undă de la 200 nm la 290 nm) care reprezintă un potențial periculos pentru oameni, dar sunt complet absorbite de stratul de ozon (Monteith & Unsworth, 2007);

- Radiații vizibile la ochiul uman, de la 380 nm (violet-albastru) până la 780 nm (roșu). Acest interval include radiația PAR (radiații fotosintetic active sau fotoactive) între 400nm și 700nm, care reprezintă 45-50% din radiația globală.

- Radiația soarelui în infraroșu (IR), de la 780 nm la 5000 nm. Ea reprezintă aproape 50% din energia radiației globale. Frațiunea de energie în domeniul de la 2500 nm la 5000 nm este foarte scăzută. În IR, NIR (near IR) este banda între 760 nm și 2500 nm (Castilla, 2013). În figura 2 este o reprezentare a spectrului radiației solare .

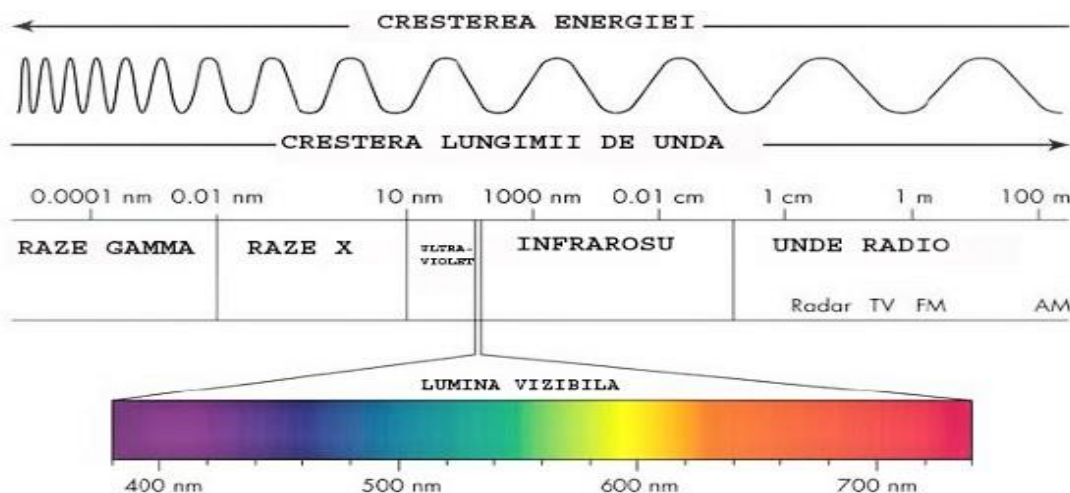


Fig. 2 :Spectrul radiației solare

Natura radiațiilor se schimbă în funcție de poziția soarelui și de opacitatea atmosferei. Atunci când soarele este este către asfințit sau către răsărit, lungimile de undă scurte sunt reduse (deci există mai puțin UV și mai mult roșu). Norii reduc cantitatea de energie a radiației solare, reducând în mare măsură NIR. PAR în raport cu radiația globală, crește odată cu creșterea dispersiei (difuziune) și scade când cerul clar, mai ales vara (ajunge la circa 45-48% din radiația globală). În timpul zilei, dacă cerul este clar, intensitatea radiației evoluează într-un mod foarte regulat funcție de poziția soarelui, dar dacă cerul este înnorat, aceasta variază foarte mult și foarte neregulat.

De asemenea radiația solară variază foarte mult cu latitudinea și cu sezonul, când se înregistrează diferențe mai mari între iarnă și vară cauzate de diferența de durată a activității solare diurne.

Materialele cu care sunt acoperite serele sunt transparente pentru radiațiile solare. În timpul zilei, radiațiile solare trec prin anvelopa serei și sunt absorbite de plante și de sol. Plantele și solul sunt încălzite și la rândul lor reemit energie, în majoritate cu lungimi de undă de 10 μm , dar pot varia în intervalul 2,5 μm și 25 μm (IR îndepărtat). Această energie re-emisă de plante și sol este interceptată de anvelopa serei care de obicei este opacă la radiația IR, aceasta este deci reîncălzită și ea re-emit energia la rândul său în exterior și în interior în proporții similare (Fig. 3). În acest fel aerul din seră este încălzit deoarece incinta este închisă și nu există ventilație cu aer proaspăt din exterior. Aceste fenomene generează o creștere a temperaturii care este foarte evidentă în timpul zilei, în raport cu exteriorul. Acest efect poate varia în funcție de condițiile specifice de transmisie și absorbție a anvelopei la radiație, în funcție de ventilație și de etanșeitatea serei și este denumit *Efect de seră*.

Pe timpul nopții gradientul de temperatură cu exteriorul depinde de un bilanț energetic complex influențat în special de diferența dintre temperatura cerului și temperatura din interiorul serei cât și de etanșeitatea serei. Astfel dacă materialul folosit ca anvelopa este permeabil la radiația IR, în nopțile fără vânt și cu o imobilitate a aerului din seră, pierderile de energie în radiație IR să fie foarte mari generând o scădere a temperaturii din seră sub cea din exterior apărând așa numitul fenomen *inversare termică*. În trecut, *efectul de seră radiativ* a fost considerat responsabil pentru

schimbările microclimatice din sere dar în prezent s-a demonstrat importanța efectului convectiv al anvelopei, astfel încât utilizarea expresiei "*efect de seră*" trebuie să se refere la ambele procese, radiativ și convectiv (Papadakis et al., 2000)

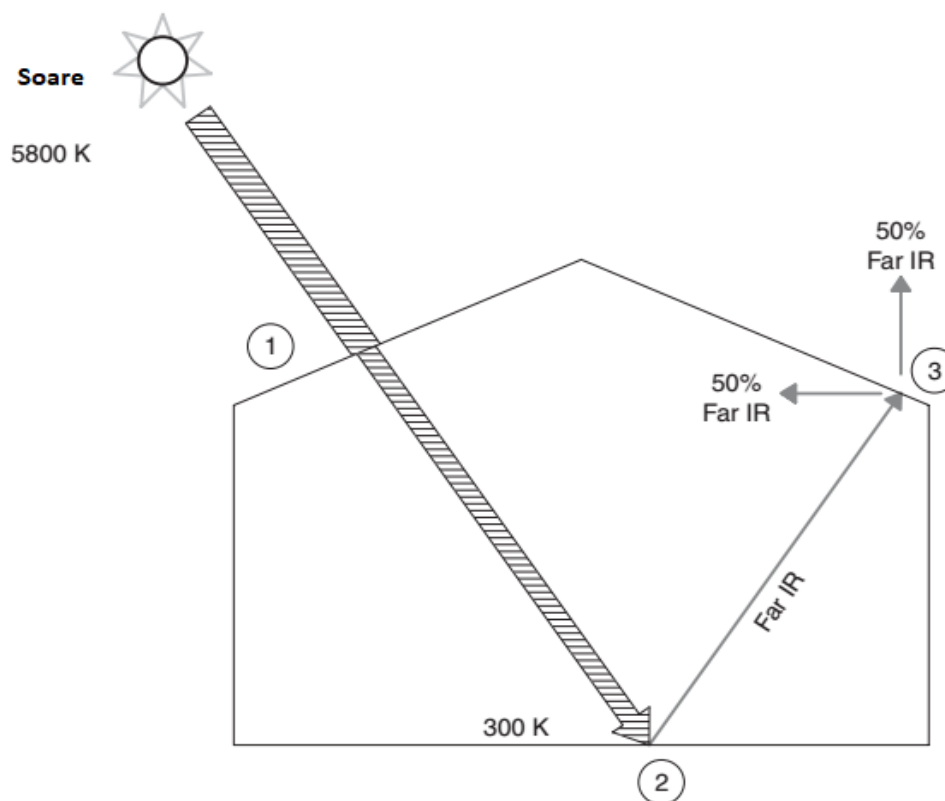


Fig. 3 : Producerea efectului de seră

(adaptare după(Castilla, 2013))

3.2 Bilanț energetic

Încălzirea în sere este produsă de sistemul de încălzire (E_i) și de radiația solară incidentă (E_s), în timp ce se pierderile sunt cauzate de ventilație (E_v), de etanșeitatea serei (E_e) și a transferului de căldură prin anvelopa serei (E_{anv}). O parte din energia ce intră în seră este stocată în anvelopă, în sol și în diverse componente constructive ale serei (E_{stoc}). Ecuația de bilanț energetic poate fi scrisă astfel (Fernandez & Bailey, 1992) :

$$E_i + E_s - E_v - E_e - E_{anv} - E_{stoc} = 0 \quad (1)$$

În general transferul de energie termică se face prin conducție, convecție și radiație sau combinații ale acestor procese. În figura 4 este prezentat schematic complexul de procese termice ce are loc într-o seră.

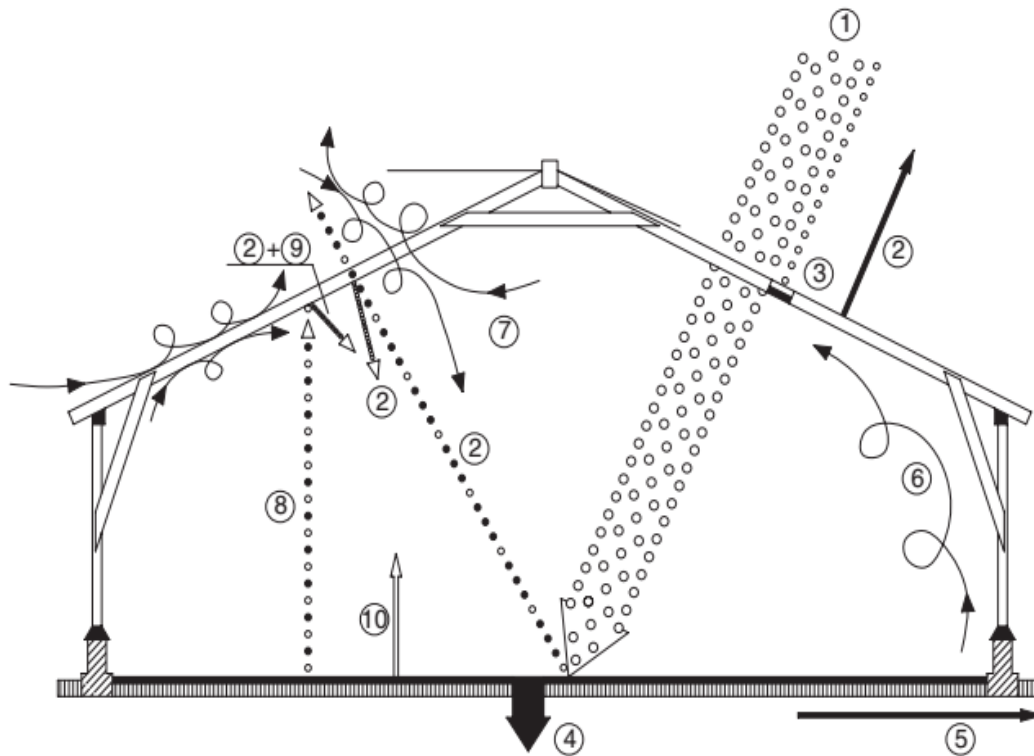


Fig. 4 : Bilanț termic și flux radiații în sere cu : 1-radiația solară, 2-radiație reflectată, 3-radiație absorbită, 4-flux termic în sol, 5-flux termic orizontal, 6-flux termic în aerul din incintă, 7-ventilație, schimb de căldură interior/exterior, 8-radiația solului, 9-radiația anvelopei, 10-evapotranspirație.
(adaptare după (Seemann, 1974)•

Cantitatea de căldură Q [W] care se pierde prin învelișul serei și prin sol datorită proceselor de conducere, convecție și radiație poate fi exprimată prin următoarea formulă:

$$Q = K \cdot (T_i - T_e) \cdot S_a \quad (2)$$

unde Q = Flux de căldură schimbată între interior și exterior [W] ; T_i = Temperatura interioară [K] ; T_e = temperatura exterioară [K] ; S_a = suprafața anvelopei [m^2] ; K = Coeficientul global de transfer de căldură al materialului de acoperire a serei, caracteristic pentru fiecare material [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] (Maslak, 2015). Transmisivitatea globală a serei trebuie înțeleasă ca transmisivitatea zilnică medie (cantitatea medie de radiație ce pătrunde în interiorul serei și care este acumulată de toate elementele din incintă), valoare ce este diferită de valorile instantanee.

Transmisivitatea depinde de o serie de factori ca : (i) condițiile climatice (nebulozitatea atmosferică care are influență directă asupra radiațiilor directe și difuze);

(ii) poziția soarelui pe cer (care va depinde de data și ora din zi și de latitudinea); (iii) geometria acoperișului serei; (iv) orientarea serei (est-vest, nord-sud); (v) materialul de acoperire (caracteristicile radiometrice, curățenia, comportamentul la condens pe suprafața sa interioară); și (vi) elementele de structură și echipamentele din interiorul serei care limitează, datorită umbrelor, radiația disponibilă în interior (Bot, 1983; Soriano et al., 2004; Von Zabeltitz, 1999).

Transmisivitatea radiației solare directe va varia în funcție de unghiul de incidență (format de raza soarelui și perpendiculara pe suprafața de incidență), transmisivitatea fiind mai mare când unghiul de incidență este mai mic (adică atunci când radiațiile sunt perpendiculare pe suprafața acoperișului serei). Transmisivitatea la radiațiile difuze, ce nu au o direcție precisă, este puțin influențată de geometria acoperișului serei (Baille, 1999).

3.3 Concentrație CO₂

Nivelul de CO₂ din seră este determinat de ventilație, de fotosinteză și respirația plantelor, de cantitatea de CO₂ generată de sol. Noaptea datorită respirației plantelor concentrația de CO₂ crește peste valoarea concentrației externe care este de circa 360 ppm. Ziua această concentrație scade din cauza intensificării procesului de fotosinteză. Pentru un proces biologic activ, concentrație de CO₂ nu trebuie să scadă sub 30 ppm. Acest lucru se poate obține fie prin ventilație (trebuie făcute cel puțin 20-30 cicluri de înlocuire a volumului de aer din incintă pe oră) fie prin injectare de CO₂ pentru serele ce funcționează în sistem închis.

În figura 5 este ilustrată variația concentrației de CO₂ într-o seră.

3.4 Umiditatea aerului

În sere evapotranspirația culturilor, evaporarea apei din sol precum și condensarea vaporilor de apă pe diferite suprafețe influențează în mare măsură umiditatea relativă (RH) a aerului din interiorul acestora (Day & Bailey, 1999). În timpul zilei RH scade în sere când temperatura crește (vezi figura 6) deși umiditatea absolută crește datorită evapotranspirației. Aerul mai rece și mai uscat din exterior ce este introdus în seră în timpul ventilației determină scăderea RH, deoarece acest aer are un schimb de căldură mai rapid decât schimbul de umiditate și astfel umiditatea relativă scade.

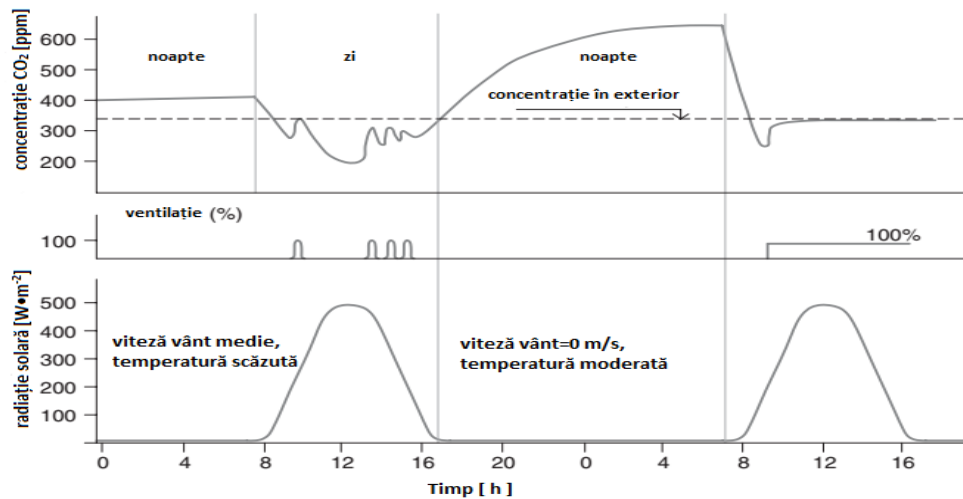


Fig. 5 : Influența ventilației și a radiației solare globale externe asupra concentrației de CO_2 în două zile de toamnă într-o seră fără îmbogățire cu CO_2 și în care sunt cultivate roșii
(adaptare după (Wacquant, Gratraud, & Roux, 2000))

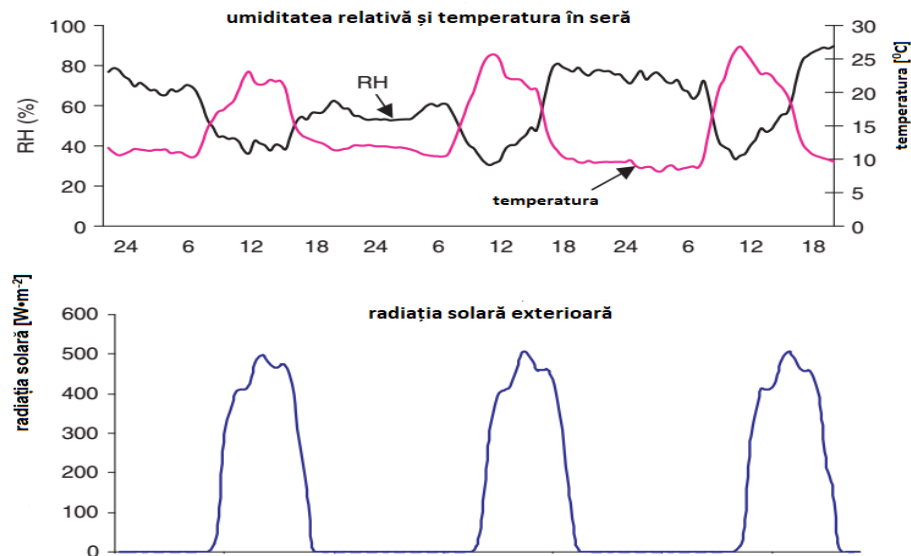


Fig. 6 : Evoluția temperaturii și a RH funcție de intensitatea radiației solare la sfârșit de vară într-o seră neîncălzită din Granada-Spania (adaptare după (Castilla, 2013))

Noaptea, pe măsură ce în seră aerul devine mai rece, RH crește și poate ajunge la saturație deci se poate produce condens pe suprafețele mai reci din seră, în special pe acoperișul acesteia. Dacă acoperișul are o înclinație suficientă picăturile de apă alunecă pe acesta și apoi pe pereții laterali. Dacă acoperișul nu este înclinat picăturile cad pe

cultură, lucru nedorit. Dacă sera este acoperită cu două rânduri de folie, folia din interior va fi mai caldă și timpul posibil de apariție a condensului va fi mai lung.

4. Cercetări referitoare la camerele de calusare și/sau aclimatizare

4.1. Procesul de calusare

Fermierii, la înființarea culturilor, caută în general soluțiile cele mai avantajoase din punct de vedere al costurilor materialelor și a manoperei. Pentru asta ei au nevoie de răsaduri sănătoase, la o anumită dată care de obicei este precis stabilită. Aceste răsaduri se obțin cel mai adesea în incinte specializate amplasate în interiorul serelor sau în alte spații protejate și astfel condițiile meteo externe nu pot influența dramatic factorii de microclimat din interiorul răsadnițelor, asigurându-se condiții optime pentru o germinație ridicată și un procent mare de supraviețuire a răsadurilor.

Tehnologiile avansate de control a factorilor de microclimat împreună cu echipamentele ce pot modifica acești factori funcție de cerințele culturii, pot transforma complet o răsadniță într-o incintă complet independentă față de condițiile atmosferice exterioare. Cercetările orientate către acțiuni complexe de control a factorilor de mediu în acest tip de incinte au fost făcute începând din anul 1924, desfășurate în așa numitele *Phytotrons* (Crocker, 1948), dar aplicații în sere comerciale au apărut doar către finele secolului al XIX-lea. Acest tip de incinte mai sunt denumite *Camere de Creștere* și pot fi de dimensiuni relativ mici (0.47 m x 0.36 m x 0.61 m cum sunt cele experimentate de van Israel în 2000) și foarte complexe, folosite în general pentru diverse cercetări specifice, sau pot fi de dimensiuni mari (cum este cea dezvoltată de W. Dong care avea o suprafață de 15 m² și o înălțime de 1,9 m) folosite în mod uzual pentru activități comerciale, de producere a răsadurilor. Primele prototipuri de astfel de camere au fost dezvoltate în Anglia și Olanda la începutul anilor 1960 (Germining, 1963). Aceste camere sunt în principal folosite pentru producerea de răsaduri, dar ele ar putea fi folosite și pentru creșterea plantelor până în faza de maturitate (recoltare) doar pentru culturile cu valoare foarte ridicată sau pentru cultivarea plantelor în zone cu condiții atmosferice extreme datorită costurilor de exploatare ridicate. De asemenea acest tip de incinte sunt folosite cu succes în cazul obținerii de răsaduri altoite, când condițiile de microclimat intern trebuiesc respectate cu strictețe.

Altoirea legumelor este o tehnică horticola prin care se unesc două plante, în faza de răsad, pentru a se crea o plantă cu caracteristici îmbunătățite din punct de vedere al rezistenței la bolile și/sau nematozii din sol, și care să corespundă cerințelor fermierilor din punct de vedere al calității și a productivității. Practic se atașează partea superioară a unei plante (altoiul) cu calitate bună a fructelor și cu un bun randament, pe rădăcina (portaltoiul) unei plante tolerantă sau rezistentă la boli, nematozi sau alte condiții extreme cum ar fi salinitatea solului, seceta, umiditatea excesivă, etc. (Kubota et al., 2008). Tehnicile de altoire au apărut în Europa și America de nord începând cu anii 1950, iar după anii 1990 s-au extins foarte mult. Prima referire scrisă despre tehnica altoirii apare citată într-o carte din China din secolul V și se referă la o tehnică de autogrefare a unei plante de țărțăcuță, iar în Coreea din secolul XVII există atestări scrise despre utilizarea altoirii la răsadurile de pepeni.

Începând cu 1 ianuarie 2008, în Italia și imediat apoi în toată Europa a fost interzisă folosirea bromurii de metil (BM) pentru dezinfecția solului în sere și solarii (Ristaino & Thomas, 1997; United Nations Environment Programme. Ozone Secretariat, 2006). BM era folosită pentru combaterea agenților patogeni din sol, a nematozilor și a unui spectru larg de buruieni. Însă fiind considerat un gaz cu potențial ridicat de distrugere a stratului atmosferic de ozon, prin Protocolul de la Montreal el a fost interzis. Ca înlocuitor al acestui gaz au apărut o serie de alte metode chimice sau ne chimice de tratament a solului din sere și solarii. O metodă nechimică de prevenire a bolilor și dăunătorilor provenite din sol ce pot afecta culturile din sere și solarii este folosirea răsadurilor altoite.

Întregul proces de producere a răsadurilor altoite, de la semănarea altoiului și portaltoiului, la altoire apoi vindecarea și aclimatizarea premergătoare plantării în câmp/sera, durează circa 5 săptămâni. Restabilirea conexiunilor vasculare dintre altoi și portaltoi, respectiv calusarea sau vindecarea, durează aproximativ 5 zile. În figura 7 este prezentată schematic cronologia acestui proces (Rivard & Louws, 2006).

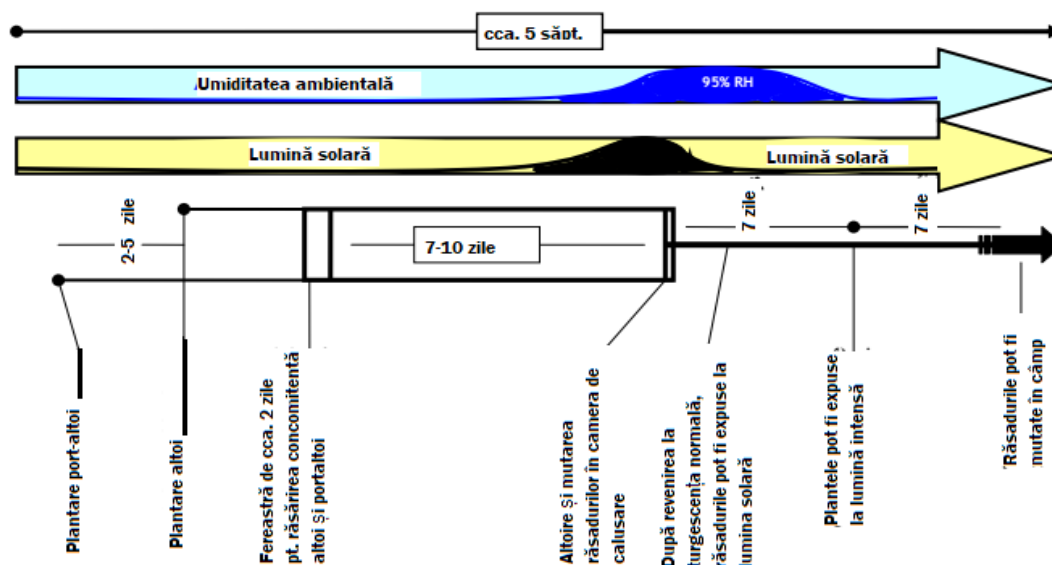


Fig. 7 : Cronologia procesului de calusare
(adaptare după (Rivard & Louws, 2006))

4.2. Camere de calusare cu control manual al factorilor de microclimat

În 2006 la North Carolina State University (NCSU)– Department of Plant Pathology, C. Rivard și colaboratorii (Rivard & Louws, 2006) au desfășurat un experiment prin care au vrut să demonstreze că procesul de altoie poate fi destul de accesibil din punct de vedere financiar pentru fermele mici, de familie. În procesul de altoire, imediat după unirea celor doua plante este necesară refacerea cât mai rapidă a vascularizării dintre altoi și port-altoi deoarece altoiul nu are încă legătură biologică cu rădăcina și nu poate fi alimentat cu apă și nutrienți. Deci camera de calusare trebuie să reducă stresul datorat lipsei de apă la care este supus altoiul. Cea mai bună cale de a face acest lucru este creșterea umidității în interiorul incintei, scăderea intensitatea radiației luminoase și reducerea temperaturii. În acest mod se diminuează procesul de evapotranspirație al răsadului. Așadar o cameră de calusare trebuie să asigure în perioada de vindecare umiditate ridicată, intensitate luminoasă solară redusă și temperatură moderată. De asemenea acești indicatori, umiditate, intensitate luminoasă și temperatură, trebuie să aibă valori cât mai constante. Umiditatea trebuie să fie de circa 80%-95% , temperatura între 21°C și 26°C iar intensitatea radiației solare 0 (este de preferat folosirea luminii artificiale în primele 5 – 7 zile după altoire).

În figura 8 este prezentată camera de calusare construită de către cercetătorii de la NCSU, o construcție extrem de simplă și ieftină.



Fig. 8 : Cameră de calusare NCSU
(adaptare după Rivard & Louws, 2006)

Ea este amplasată în interiorul unei sere, pe o masă de lucru, sub o prelată ce poate asigura umbrirea camerei. Camera a fost construită pe o folie cu ajutorul căreia, prin ridicarea marginilor se va forma un mic rezervor de apă ce va fi practic sursa de apă pentru menținerea umidității. Scheletul a fost construit din țevi de PVC de 1". Toată structura a fost învelită cu folie de plastic, accesul în interiorul incintei fiind foarte ușor, iar pentru umbrirea totală s-au folosit pungi de plastic negre tăiate longitudinal.

O cameră de calusare poate fi construită în diferite moduri, folosind cadre din lemn sau metal acoperite cu plastic, scopul principal este acela de a crea un mediu în care să poată fi controlată umiditatea și temperatura (Wilson et al., 2010). În general materialele din care sunt construite aceste camere de calusare sunt alese din cele disponibile pe plan local, putându-se folosi materiale ca: bambus, țevi din PVC, cărămizi, plase din nailon, scânduri de lemn, folie de polietilenă neagră și transparentă, plase de nuanță de argintiu / negru / verde, cleme din plastic, frânghii, sârmă sau cuie.

În 2011 Sacha Johnson de la Washington State University (Sacha Johnson et al., 2011) propune un model nou de cameră de calusare. El arată că dimensiunile camerei sunt foarte importante pentru a se putea controla cât mai precis umiditatea din incintă, deoarece într-o cameră cu înălțime mare va fi greu de menținut constant un nivel al umidității ridicat. De asemenea lungimea și lățimea camerei trebuie să asigure, la deschiderea și închiderea acesteia, o variație cât mai mică a umidității din incintă. În prezent, în special pentru camerele de calusare folosite de micii fermieri, există puține informații disponibile legate de proiectarea și utilizarea acestor camere. Din acest motiv construirea și managementul unor astfel de camere de calusare trebuie analizate în

fiecare caz în parte, consideră autorul articolului. În figura 9 este prezentată o astfel de cameră de calusare.



Fig. 9 : Cameră de calusare cu înălțime redusă
(adaptare după Sacha Johnson et al., 2011)

Pentru controlul umidității în interiorul acestei incinte se poate folosi un furtun cu un pulverizator sau un recipient manual tip sprayer cu care se umectează intens întreaga incintă și de asemenea tăvițele cu răsaduri înainte de a fi introduse în cameră. Imediat după introducerea răsadurilor, se acoperă complet camera și se etanșeizează cât mai bine posibil. Variațiile mari de umiditate din perioada critică de 5 zile pot cauza obținerea unor răsaduri necorespunzătoare sau chiar rata de supraviețuire poate scădea dramatic. Camerele de calusare pot fi dintre cele mai simple cum sunt cele prezentate anterior sau cum sunt cele din figurile 10 și 11.



Fig. 10 : Plantă altoită în pungă de plastic resigilabilă
(adaptare după (M. Ozores-Hampton & A. Coelho , 2013)

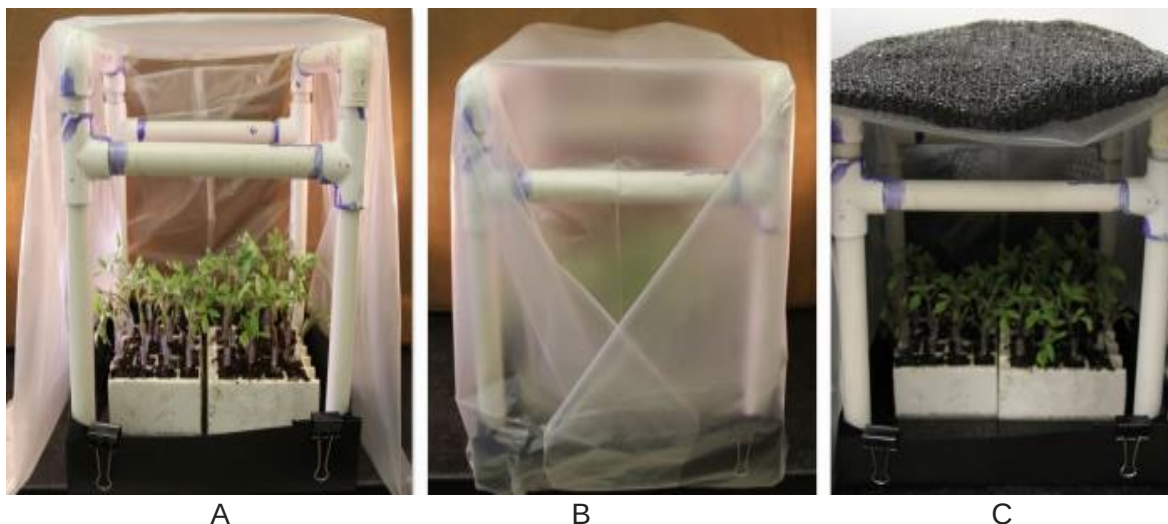


Fig. 11 : Cameră de calusare construită din țevi de PVC (A – deschisă; B – închisă cu folie de plastic; C – acoperită cu pânză de umbrire)
(adaptare după (M. Ozores-Hampton & A. Coelho , 2013)

4.3. Camere de calusare automatizate folosite în cercetare

În 2011 Johnson și Miles (Johnson & Miles, 2011) au efectuat un studiu comparativ relativ la efectul soluției constructive a camerelor de calusare asupra ratei de supraviețuire a răsadurilor altoite de vinete, tomate și pepeni verzi. Au fost selecționate 3 tipuri de camere de calusare : (i) model industrial; (ii) model pentru cercetări; (iii) model simplu folosit în fermele familiale.

Toate cele trei camere au fost construite din țevi de PVC și au fost montate pe mesele de creștere. Podelele au fost acoperite cu folie transparentă pentru crearea

rezervorului de apă de umidificare. La acoperirea camerelor s-a folosit folie de PVC de grosime 0,15 mm cu o caracteristică de transmitanță pentru PAR (radiație activă fotosintetică) de 90%. O plasă foarte deasă de polipropilenă cu un coeficient de transmitanță a PAR de 27% a fost folosită pentru umbrire. Camerele au fost plasate în interiorul unei sere unde temperatura a fost între 20,2°C și 24,8°C, iar umiditatea relativă a fost menținută în limitele 29% și 68%. Intensitatea radiației luminoase a fost suplimentată artificial astfel încât să se asigure un interval de 12 ore de iluminare similar iluminării diurne. Materialele folosite pentru acoperirea camerelor, metoda de umidificare, dimensiunile și volumul celor 3 camere sunt prezentate succint în tabelul 1.

Tabelul 1 : Descriere materiale, umidificare, dimensiuni și volum pentru cele 3 tipuri de camere
(adaptare după (Johnson & Miles, 2011))

Modelul camerei de calusare	Materiale folosite la acoperire și umbrire	Mod de umidificare	Dimensiuni (m)	Volum (m ³)
Cercetare	Plasă de umbrire , plastic , umidificator	Plante umectate la fiecare 5 minute câte 20 secunde	3.0 x 1.2 x 0.8	2.88
Industrială	Plasă de umbrire , plastic	Suprafețele interioare stropite manual în ziua 1, 3, 5 și 6	2.2 x 0.9 x 0.6	1.19
Ferme familiale	Plasă de umbrire	Plantele stropite manual de două ori pe zi	1.7 x 0.8 x 0.5	0.68

Temperatura și umiditatea relativă au fost măsurate la intervale de câte 5 minute. Plantele au stat în camere timp de 7 zile apoi au fost scoase în seră pentru o perioadă de încă 7 zile. Rata de supraviețuire a fost urmărită din ziua a 6-a de după altoire până în ziua a 14-a. Înregistrările făcute arată că au fost fluctuații zilnice de temperatură în toate cele 3 modele de camere de calusare, valorile minime de 22,2 °C fiind înregistrate în intervalul 02:00 – 04:00 iar valorile maxime de 25,6 °C în intervalul 14:00 – 16:00 (vezi figura 12). Alura variației temperaturilor în cele 3 modele de camere a fost asemănătoare cu cea a avriației temperaturii din sera în care s-au făcut experimentările. Variația umidității relative (RH) a avut aceeași alură pentru toate cele 3 camere în perioada în care au fost închise, respectiv ziua 2, 3 și 4, cu valori maxime în intervalul

02:00-04:00 și valori minime în jurul ore 16:00. Doar camera model *fermă familie* a înregistrat o scădere zilnică de RH deoarece nu a fost acoperită care ar fi reținut umiditatea. Camera model industrial a avut cea mai mare valoare a RH în ziua 2 și 3, camera model cercetare a atins valoare maximă în ziua 4 și ambele au avut valori similare ale RH în zilele 5 și 7. Temperatura și RH în toate cele 3 camere a fost influențată în mod direct de condițiile de microclimat din sera unde s-a desfășurat experimentul. Condițiile din interiorul serei au fost la rândul lor influențate de radiația solară, de sistemul de ventilație și de încălzire din seră, de lumina artificială utilizată.

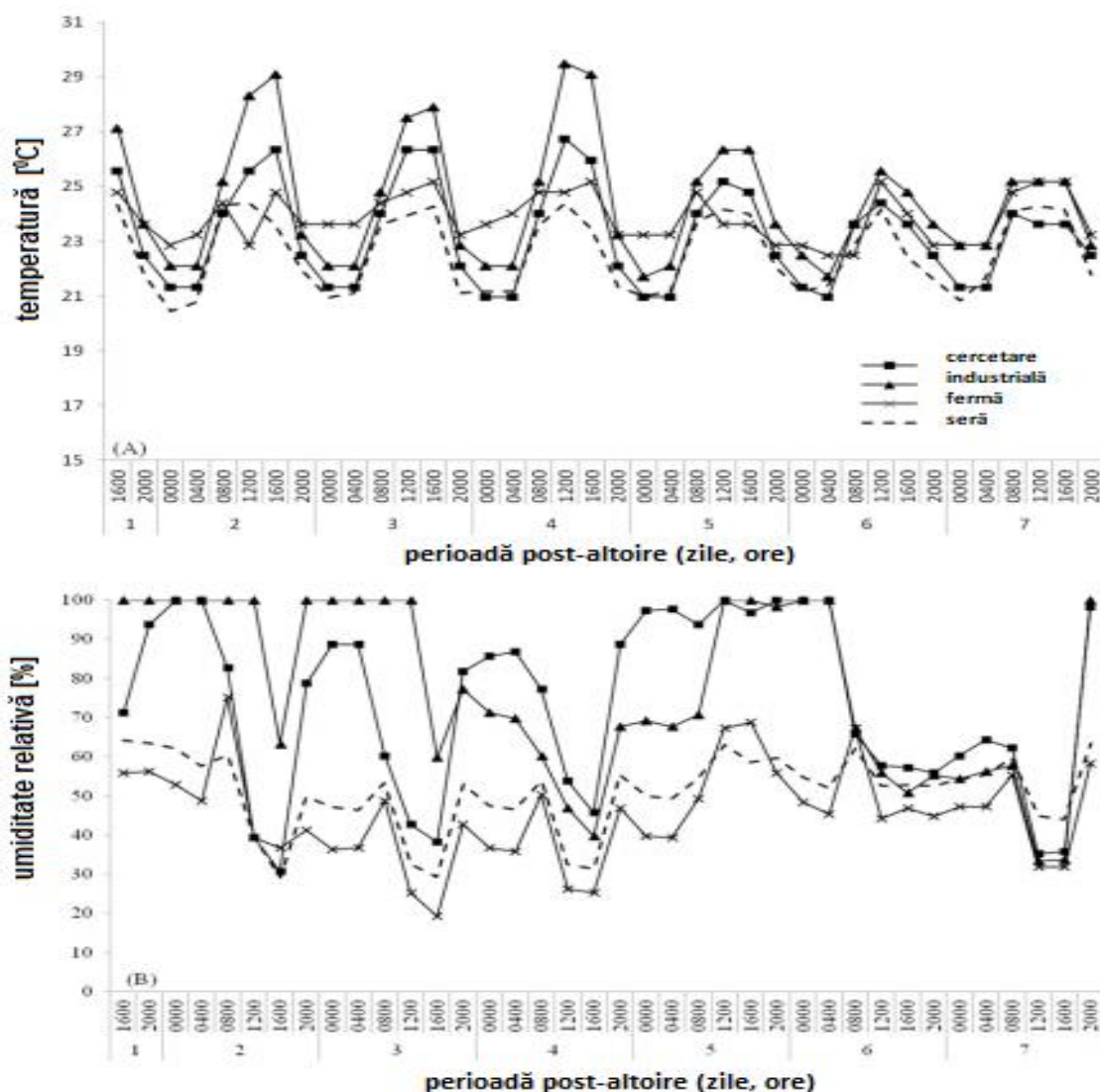


Fig. 12 : Variația temperaturii și a umidității relative în cele 3 modele de camere de calusare și în seră în care au fost montate experimentările (adaptare dup (Johnson & Miles, 2011))

În camera de calusare de tip industrial și în cea folosită în cercetare s-a constatat existența unui deficit de presiune de vaporii de 0,06 kPa și respectiv 0,51 kPa. Acest deficit de presiune de vaporii, calculat ca fiind diferența dintre presiunea de saturație a vaporilor p_s și presiunea parțială a vaporilor p_v într-un volum de aer dat, care are valori apropiate de 0 kPa arată că umiditatea relativă ϕ are, în acel volum, valoarea cea mai ridicată. Ambele camere au fost de tip sistem închis. Evapoarea, în acest tip de sisteme, se produce până când toată umiditatea disponibilă este consumată în acest mod, sau până când aerul din incintă devine aer umed saturat, adică presiunea vaporilor de apă atinge valoarea de saturație. Viteza cu care se ajunge la presiunea de saturație depinde de temperatură și de raportul dintre volumul total de aer și volumul de vaporii de apă din incintă V/V_v . Temperaturile ridicate conduc la accelerarea procesului de evaporare și la o scădere a umidității relative, deși rata de evaporare scade odată cu creșterea presiunii către presiunea de saturație (Giancoli, 2005). Deoarece volumul camerei de calusare model industrial are cu circa 58% volumul mai mic decât cel al camerei model de cercetare, calculând valoarea presiunii vaporilor din incinta camerei de tip industrial pentru o anumită temperatură, se constată că volumul vaporilor de apă din incintă este suficient pentru a se putea ajunge mai rapid la presiunea de saturație și deci la o umiditate relativă mai mare, decât în camera de tip cercetare. Astfel în camera de tip industrial s-au obținut umidități relative mai mari în timpul perioade de calusare de 7 zile, chiar dacă temperaturile medii înregistrate au fost mai ridicate decât în camera de tip cercetare.

Astfel, un rezultat foarte important din punct de vedere constructiv al camerelor de calusare, este că dimensiunea trebuie redusă la minimumul necesar pentru ca umiditatea relativă să fie aproape de saturație, iar procesul de evapotranspirație prin frunze să fie cât mai mic posibil.

O cameră model cercetare similară cu cea folosită la încercări de Johnson a fost folosită de Mun B. și colaboratorii (Mun, Jang, Goto, Ishigami, & Chun, 2011) pentru a testa un sistem de măsurare a ratei de schimb de CO_2 ce are loc în camerele de calusare în perioada vindecării și aclimatizării unor răsaduri de legume, respectiv

răsaduri de castraveți. Rata de schimb de CO_2 dă informații precise referitoare la intensitatea procesului de fotosinteză a răsadurilor. Un proces de fotosinteză intens, cu creșteri ale concentrației de CO_2 arată faptul că legătura dintre altoi și port-altoi a fost realizată, deci răsadul s-a calusat/vindecăt. Această incintă este prezentată în figura 13.

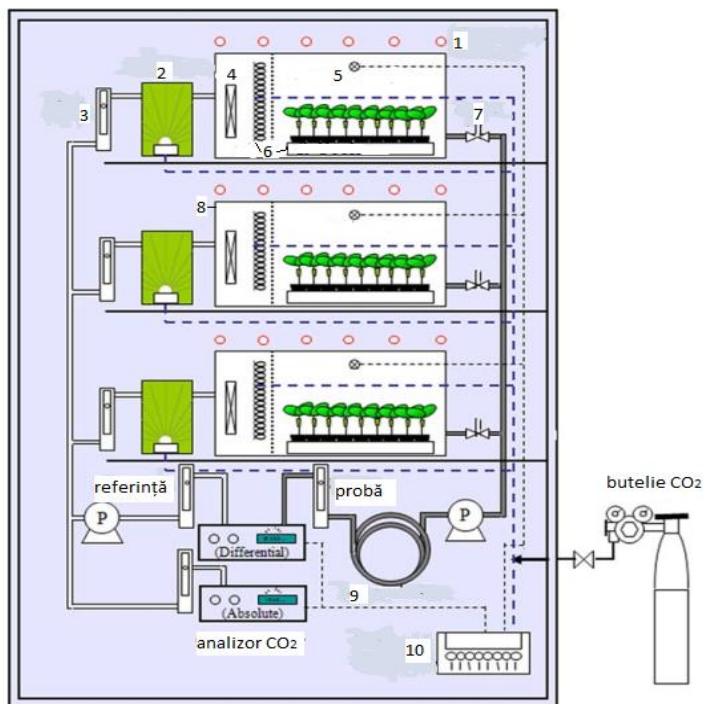


Fig. 13 : Schema sistemului semi-deschis cu 3 camere de calusare folosit la Chiba University-Japonia pentru măsurarea continuă a ratei de schimb de CO_2 .

Legendă : 1 - lampă fluorescentă; 2 - umidificator; 3 - debitmetru; 4 - ventilator; 5 - senzor temperatură / umiditate; 6 - încălzitor/răcitor; 7 - electrovalvă cu 3 căi; 8 - cameră vindecare; 9 - deumidificator; 10 - calculator de proces - data logger and controler (adaptare după Mun et al., 2011)

Factorii de microclimat din interiorul camerelor de calusare au fost monitorizați la fiecare 3 minute în perioada experimentelor. Umidificatorul, încălzitorul și răcitorul au fost monitorizați de un calculator de proces (PLC). Diferite intensități ale radiației luminoase PPF (photosynthetic photon flux density) la diferite valori ale umidității relative RH au fost aplicate în fiecare cameră. Cele 3 valori ale condițiilor de microclimat au fost : (i) $120 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ și 85% RH, (ii) $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ și 80% RH, (iii) $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ și 70% RH. Perioada de iluminare a fost de 14 ore pe zi. Pe perioada de întuneric RH nu a fost controlată dar a fost menținută în jurul valorii de 95% - 98% prin umidificare permanentă. Cele 3 niveluri ale intensității luminoase PPF au fost realizate prin modificarea numărului surselor de lumină. Pentru menținere temperaturii în jurul valorii

de 27°C s-au folosit rezistențe electrice, respectiv un schimbător de căldură cu apă rece pentru răcire. Pentru controlul umidității relative s-au folosit umidificatoare, fluxul de aer introdus în incinte trecând mai întâi prin acestea. Corectarea nivelului de CO₂ s-a efectuat prin injectarea de CO₂ lichid. Concentrația de CO₂ la intrarea în camere a fost măsurată cu un analizor total de gaz, iar rata de schimb de CO₂, practic concentrația acestuia în aerul la de ieșirea din cameră, a fost măsurată cu un analizor diferențial de gaz, după ce aerul a fost mai întâi dezumidificat. Conform lui Mitchell (Mitchell, 1992) parametrii procesului de fotosinteză se calculează cu formula :

$$P_{total} = \frac{f \cdot \Delta CO_2}{A} \dots \left[\frac{\mu mol}{m^2 \cdot s} \right] \quad (3)$$

unde f = fluxul de aer prin incintă în mol/s , ΔCO_2 = diferența de concentrație de CO₂ în aerul de la intrare și cea din aerul ce iese din cameră în $\mu mol/mol$, A = suprafața frunzelor răsadurilor în m².

Rata de schimb a CO₂ pentru răsaduri altoite de castraveți în perioada de vindecare și aclimatizare pentru cele 3 condiții de microclimat este prezentată în figura 14.

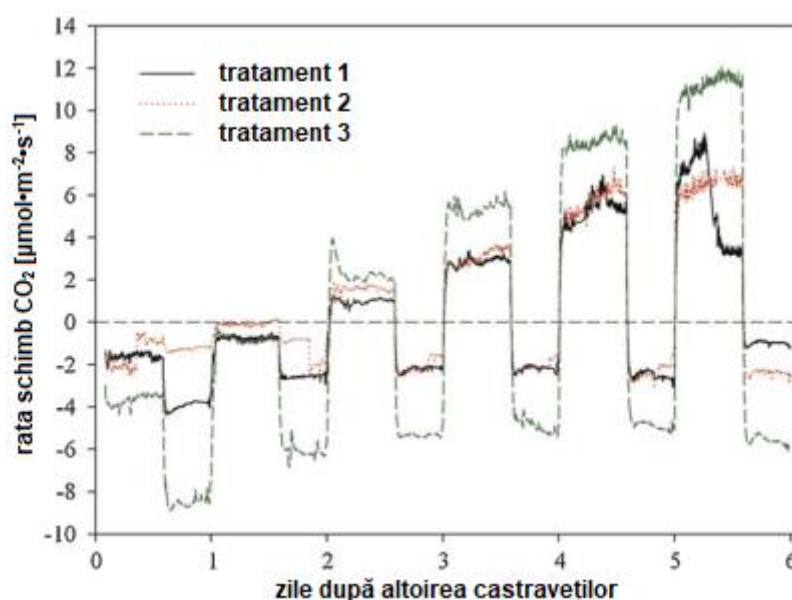


Fig. 14 : Rata schimb CO₂ în perioada de calusare și aclimatizare a răsadurilor de castraveți altoiți pentru 3 variante de microclimat (adaptare după (Mun et al., 2011))

În figura 15 se poate vedea cu arată în realitate un astfel de sistem de camere de calusare folosit în multe experimentări efectuate asupra răsadurilor altoite și nu numai.



Fig. 15 : Imagine din interiorul sistemului de camere de calusare folosit în cercetare
(adaptare după (Mun et al., 2011))

Acest sistem poate fi folosit la cercetări legate de modul în care vindecarea răsadurilor altoite este influențată de calitatea luminii, de variația temperaturii, de compoziția aerului, de umiditatea relativă a aerului, de viteza aerului în incintă, etc.

Un echipament asemănător însă cu 10 camere distincte a fost folosit de M.W. van Iersel (Van Iersel & Bugbee, 2000) de la Departamentul pentru Horticultură al Universității din Georgia USA. Acest sistem cu camere multiple permite montarea mai multor variante experimentale cu diferiți parametri microclimatici și/sau biologici. Schema unei astfel de instalații este prezentată în figura 16.

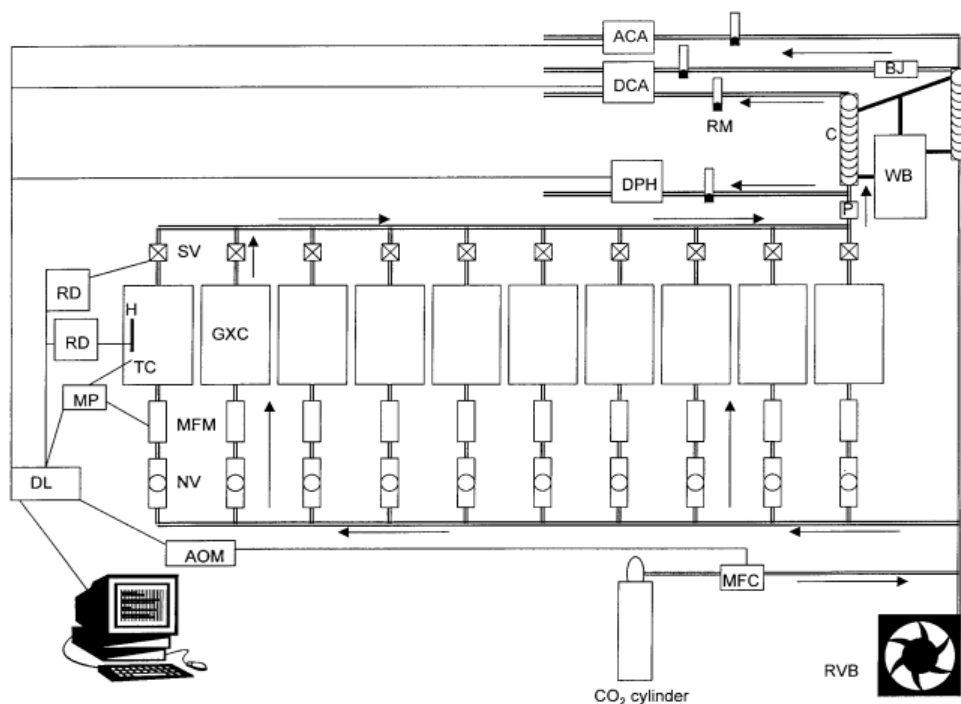


Fig. 16 : Schema sistemului semi-deschis cu 10 incinte de calusare.

(adaptare după (Van Iersel & Bugbee, 2000))

Notațiile din figura 9 sunt : ACA (absolute CO₂ analyzer) = Analizor total CO₂; AOM (analog output module) = Modulul de ieșire analogic; BJ (buffer jar) = Vas tampon; C (condensator) = condensator pt H₂O; DCA (differential CO₂ analyzer)=Analizor diferențial de CO₂; DL(datalogger) = modul stocare date; DPH(dew point hygrometer) = Higrometru, GXC (gas exchange chamber) = Cameră calusare; H(heater) = Încălzitor; MFC (mass flow controller) = Regulator de debit masic; MFM (mass flow meter) = Debitmetru masic; MP (multiplexer) = Multiplexor; NV (needle valve) = Electroventile cu ac; P (pump) = Pompă; RM (rotameter) = Debitmetru; RVB (rotary vane blower) = Ventilator; SV (solenoid valve) = Electrovalvă; WB (water bath) = Bazin apă; RD (relay driver) = Releu; TC (thermocouple) = Termocuplu

Principiul de funcționare este următorul :

- ventilatorul RBV introduce aer prin conducte separate în cele 10 camere de calusare;
- concentrația de CO₂ se măsoară cu analizorul analizor de gaz în infraroșu ACA; analizorului în infraroșu măsoară câtă radiație în infraroșu absoarbe un gaz – printr-un volum de aer este emis un fascicul de lumină în infraroșu și funcție de concentrația unui anumit component gazul se încălzește, crește presiunea în incinta în care se găsește și prin comparație cu o presiune etalon, se poate determina concentrația acelui component;
- la intrarea în fiecare cameră este măsurată masa de aer ce intră cu un contor de masă MFM; măsurarea masei este preferată măsurării debitului volumetric deoarece dispozitivele de măsurare volumetrice nu pot distinge modificările de temperatură sau

de presiune acest lucru ducând la erori pe când debitmetrele masice corectează automat valoarea debitului; în figura 17 este ilustrat cum aceeași masă poate ocupa un volum diferit dacă se variază presiunea; acestea sunt legate prin multiplexoare MP la modulul de achiziție date DL

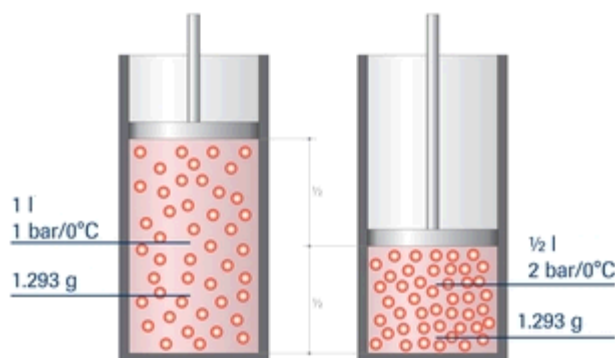


Fig. 17 : Variația volumului cu variația presiunii la masă constantă

- electroventilele SV comandă ieșirea aerului din camere; sunt deschise la intervale de 16 secunde independent astfel încât măsurătorile să poată fi făcute pentru fiecare cameră
- aerul din fiecare cameră este împins de pompa P printr-un higrometru DHP și apoi prin condensatorul C către analizorul diferențial de gaz cu infraroșu; aerul este trecut prin condensator pentru a elimina vaporii de apă care pot interfera în analizorul de gaz cu CO₂ (Bugbee, 1992); analizorul de gaz DCA măsoară diferența de concentrație de CO₂ între valoarea de la intrare în cameră și cea de la ieșirea din camera de caldare;
- cantitatea de CO₂ ce este introdusă în fiecare cameră este reglată cu ajutorul unui regulator de debit masic MFC a cărei funcționare este gestionată de modulul de stocare date DL și de un modulul de ieșire analogic AOM; în cazul variației concentrației de CO₂ aceasta poate fi reglată cu ajutorul electrovalvelor NV;
- pentru controlul umidității în interiorul fiecărei camere se montează niște schimbătoare de căldură tip radiator cu ventilator prin care circulă apă rece; umiditatea este reglată prin reglarea temperaturii apei ce circulă prin acest schimbător de căldură; punctul de rouă este măsurat în permanență cu higrometrul DHP, ce este legat la modulul de stocare date DL; temperatura punctului de rouă este apropiată de temperatura schimbătorului pentru răcire; astfel umiditatea relativă din cameră poate fi reglată cu ajutorul temperaturii răcitorului și cea a aerului din incintă; apa condensată este prelăută către rezervorul de apă WB
- pentru încălzire se folosește în fiecare cameră câte o rezistentă de 50/100W montată în apropierea ventilatorului folosit și la răcire; modulul de achiziție date DL comandă pornirea sau oprirea acestei rezistențe funcție temperatura setată;

În figura 18 este prezentată schema unei camere de calusare ce are dimensiunile 0,47 m lungime × 0,36 m lățime × 0,61 m înălțime. Aceste camere sunt concepute în sistem deschis deci pot fi folosite la diverse cercetări legate calusare. În interiorul acestora pot fi montate cincizeci mai mici pentru diverse cercetări iar controlul condițiilor de microclimat din camerele acestea constituind practic controlul factorilor de microclimat pentru cercetările montate în interiorul lor.

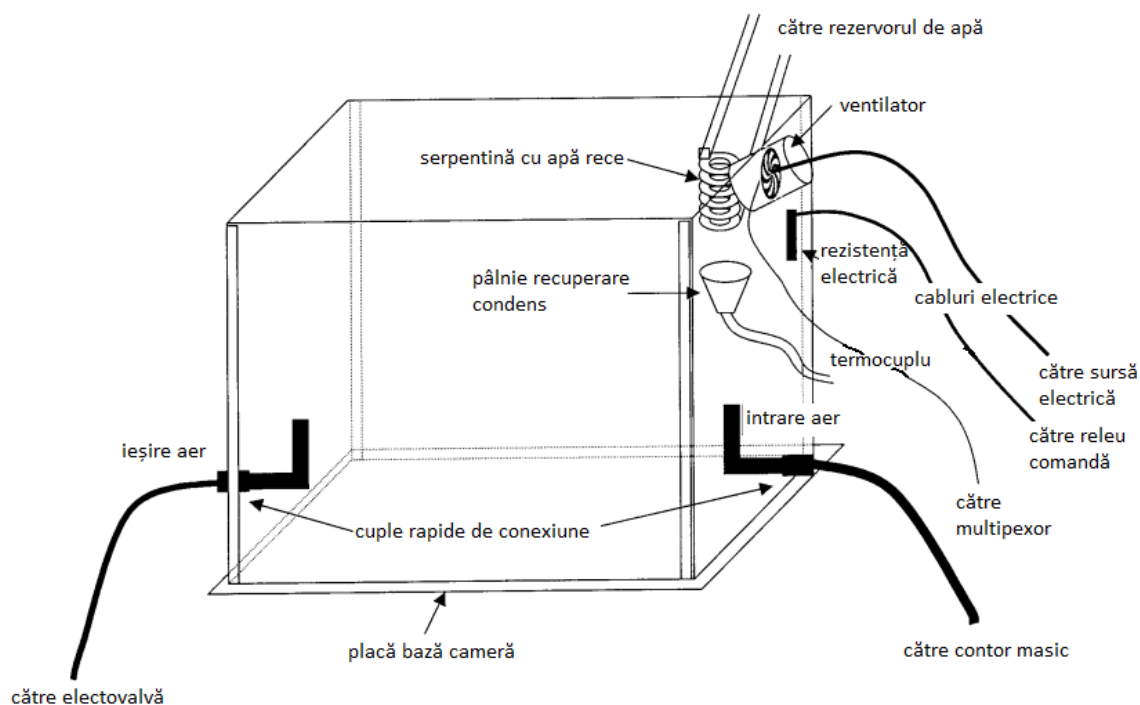


Fig. 18 : Schema camerei de calusare.
(adaptare după (Van Iersel & Bugbee, 2000))

În urma cercetărilor efectuate cu acest tip de sistem de camera s-a putut concluziona faptul că aceste sisteme cu mai multe compartimente oferă posibilitatea de investigare concomitentă a mai multor parametri ce caracterizează procesele ce au loc în timpul calusării, ceea ce constituie un mare avantaj deoarece interacțiunea acestor parametrii poate fi determinantă în procesul de calusare.

În perioada post-altoire condițiile de microclimat, în care se vindecă se refac legăturile capilare răsadurile altoite, trebuie gestionate cu foarte mare atenție. Cercetările conduse în astfel de sisteme prezentate anterior, au avut ca scop principal

ca, pentru diferite soiuri de legume, să determine cu o acuratețe valorile optime ale factorilor de microclimat pentru perioada de calusarea și aclimatizare a răsadurilor altoite. Nu numai atât, folosind aceste dispozitive de cercetare s-au putut determina condițiile optime de dezvoltare a celor două componente ale răsadurilor altoite, altoiul și portaltoiul, astfel încât acestea să fie compatibile din punct de vedere fiziologic.

4.4. Camere de calusare automatizate de mare productivitate

Procesul de vindecare a răsadurilor altoite poate afecta în mod semnificativ rata de supraviețuire a răsadurilor. Un microclimat necorespunzător determină o dezvoltare neuniformă a celor două componente, altoi și portaltoi, sau chiar uscarea acestora. Variația bruscă a factorilor de climă externi pot afecta în mod dramatic microclimatul din încăintele de calusare și/sau aclimatizare a răsadurilor. În astfel de cazuri lucrătorii din ferme trebuie să observe și să intervină pentru a păstra în aceste incinte condiții optime de dezvoltare, prin ventilare, acoperire, umbrire, udare, etc.. Deci activitatea lucrătorilor fermieri trebuie să fie foarte calificată, foarte precisă dar și foarte intensă (Chiu, Chen, Chang, & Chou, 2007).

Cum folosirea răsadurilor altoite capătă o amploare din ce în ce mai mare pe plan mondial, necesitatea înlocuirii controlului manual a condițiilor de microclimat în camerele de calusare, cu sisteme automatizare este evidentă. De asemenea se constată specializarea unor ferme în producția exclusivă de răsaduri. Această specializare generează avantaje calitative, cantitative și evident materiale atât pentru producătorii de răsaduri dar și pentru fermierii ce folosesc aceste răsaduri. Această specializare de tip industrial a necesitat conceperea și dezvoltarea unor camere de calusare/aclimatizare care să poată furniza plantelor în timp real condițiile de microclimat optime.

În figura 19 este prezentat principiul general de monitorizare și control a factorilor de microclimat din camerele de calusare/aclimatizare industriale.

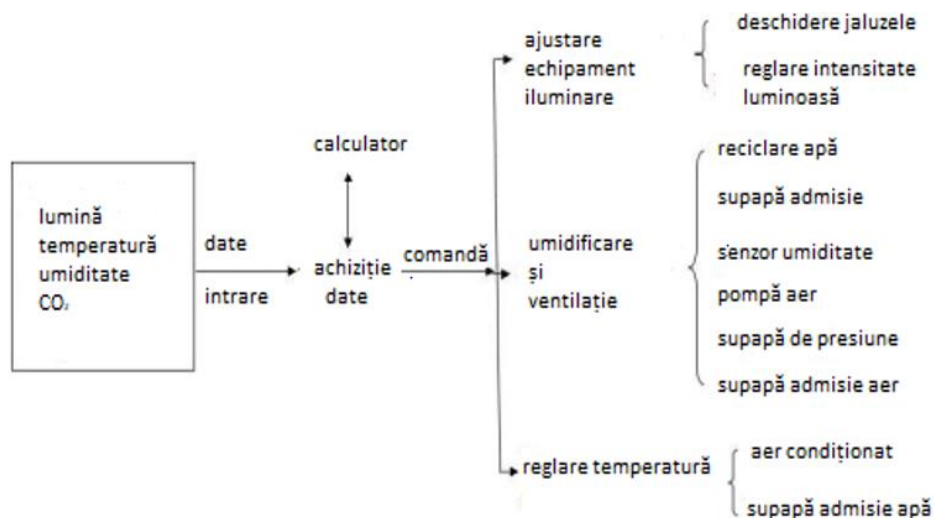


Fig. 19 : Diagrama schematică a unui sistem de control a condițiilor de mediu dintr-o cameră de calusare (adaptare după (Dong, 2015))

În această ordine de idei, în 1999 Chiu și colaboratorii (Chiu, Jou, & Chen, 1999) a dezvoltat o cameră închisă de calusare automatizată la Lan Yang Institute of Technology din Taiwan. Dimensiunile camerei sunt 3520x1800x2100 mm, pereții izolatori au grosimea de 50 mm, iar înălțimea interioară este de 1850 mm.

Transferul de căldură dintre interior și exterior este neglijabil deoarece camera este foarte bine izolată termic. Încălzirea camerei depinde de căldura generată de sistemul de iluminare, de ventilatoare și de căldura generată de respirația răsadurilor. Deci temperatura va crește cât timp sistemul este în funcțiune, mai puțin în timpul răcirii incintei. Un experiment a fost îndreptat către evaluarea vitezei de creștere a temperaturii cât timp luminile și ventilatoarele sunt în funcțiune și astfel să se poată determina dacă este nevoie de echipamente suplimentare pentru încălzire sau răcire.

În cameră pot fi introduse 5.760 răsaduri concomitent așezate pe 5 cărucioare cu câte 5 rafturi, iar pe fiecare raft încap câte 4 tavițe cu câte 72 de cuburi nutritive în care sunt răsadurile. În figura 20 este ilustrată o reprezentare schematică a camerei de aclimatizare dezvoltată de Chiu. În această experimentare s-a urmărit ca să se pastreze constante și uniforme condițiile de microclimat pentru răsaduri de pepene altiot, respectiv temperatura să fie în intervalul 25°C – 28°C, umiditatea relativă la 95% și 12 ore pe zi de iluminare.

Pentru a verifica uniformitatea factorilor de microclimat în interiorul camerei, un deziderat foarte important de altfel, Chiu a amplasat senzori pentru măsurarea acestora în 27 de puncte așa cum poate fi văzut în figura 21.

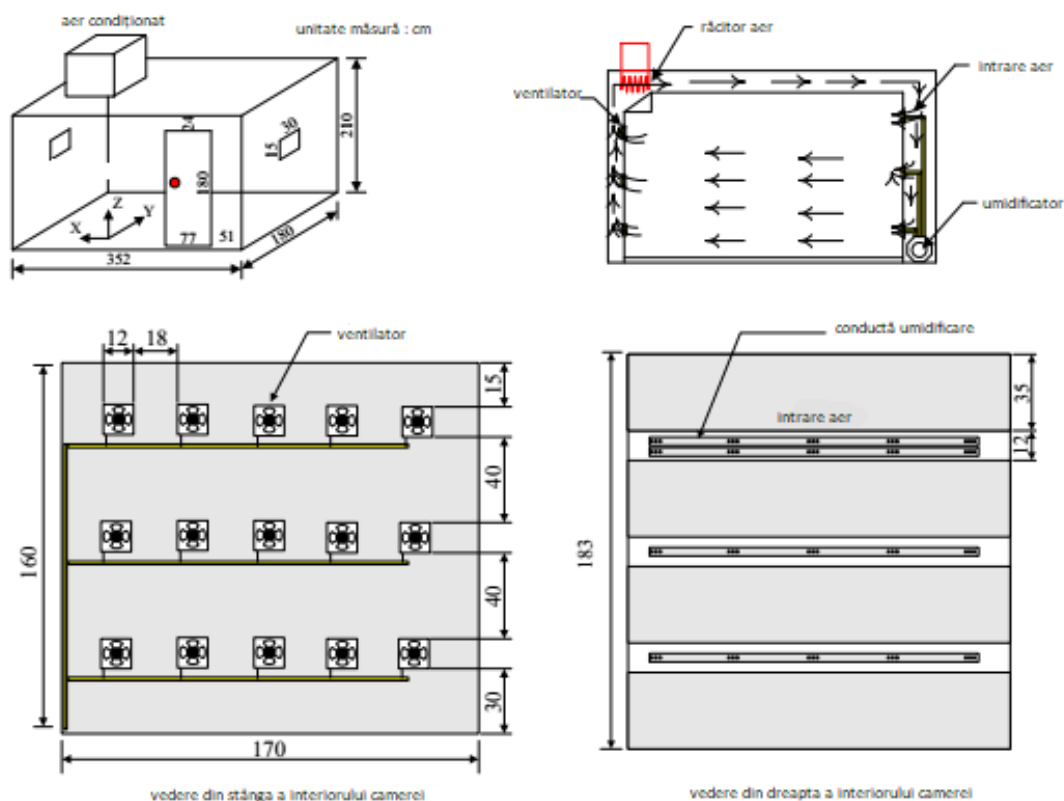


Fig. 20 : Schema camerei de aclimatizare
(adaptare după (Chiu et al., 1999))

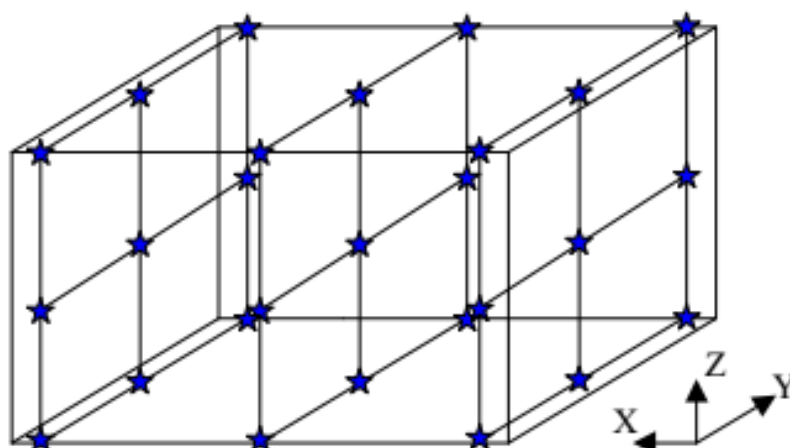


Fig. 21 : Planul de amplasare a senzorilor de măsurare a parametrilor microclimatului în interiorul camerei (adaptare după Chiu, Jou, & Chen, 1999)

Pentru monitorizarea factorilor de microclimat s-a folosit metoda nonlineară de control secvențial a acestora. Implementarea controlului secvențial presupune folosirea atât a metodei de setare a unui microclimat artificial cât și metoda utilizării factorilor de microclimat existenți în exteriorul camerei. Astfel dacă condițiile meteo externe sunt apropiate de condițiile de caldare necesare răsadurilor, aerul exterior este direcționat către incinta camerei. În alte condiții, sistemul va închide prizele de aer din exterior formând un sistem închis în care factorii de microclimat vor fi controlați de către echipamente specializate.

Controlul factorilor de microclimat s-a făcut respectând următoarea strategie :

(i). Dacă temperatura interioară depășește temperatura maximă setată, pornește sistemul de condiționare a aerului. Acesta se oprește dacă temperatura din interior scade sub minimul setat;

(ii). Dacă umiditatea scade sub valoarea minimă reglată, umidificatorul intră în funcțiune și se oprește când aceasta ajunge la valoarea maximă reglată ;

(iii). Dacă condițiile meteo exterioare sunt în limitele setate, se activează sistemul de ventilație al camerei care permite aerului ambiental să intre în incintă. În acest caz instalațiile de condiționare și umidificare sunt oprite, dacă erau în funcțiune ;

(iiii). Sistemul de iluminare și ferestrele de ventilație sunt activate periodic prin releu de temporizare. Toate echipamentele pot fi activate sau dezactivate și în mod manual.

În figura 22 este ilustrat modul în care a crescut temperatura în cameră cu luminile și ventilatoarele în funcțiune. De la temperatura inițială de 19,5°C gradual după 24 de ore s-a ajuns la o temperatură de circa 45°C. Temperatura a crescut mai rapid în regiuni cu valori mai scăzute și a crescut mai lent în zone cu valori mai ridicate. Cunoscând că temperatura din incintă trebuie să fie în intervalul 25°C-30°C s-a dorit a se ști în cât timp se ajunge la aceste valori setate din momentul pornirii sistemului. În figura 3 se observă că în circa 58 minute de la pornirea sistemului temperatura ajunge de la 19,5°C la 25°C și în circa 90 minute de la 19,5°C la 30°C.

Rezultatele acestei cercetări a arătat că o astfel de cameră de caldare/aclimatizare poate îndeplini condițiile de microclimat optime dezvoltării răsadurilor altoite în perioada post-altoire.

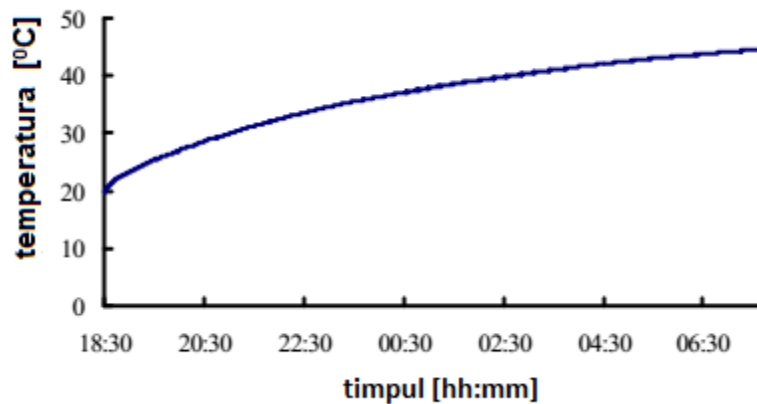


Fig. 22 : Creșterea temperaturii în camera de calusare sub efectul sistemului de iluminare, al ventilatoarelor și al respirației plantelor (adaptare după Chiu, Jou, & Chen, 1999)

Tot Chiu împreună cu un colectiv de colaboratori, în 2007 (Chiu et al., 2007) a folosit acelaș concept de cameră de calusare într-o cercetare care urmărea automatizarea completă a procesului de altoire. Mai precis se urmărea dezvoltarea, pe lângă o cameră de calusare, și a unui robot destinat altoirii legumelor. Camera dezvoltată era mai mare decât cea anterioară putând adăposti un număr de 12.960 de răsaduri în perioada de calusare. Aceeași strategie de control a factorilor de microclimat a fost folosită și la această incintă.

Ca și în experimentul anterior, camera dezvoltată prezentată în figura 23, a asigurat condiții optime de microclimat pentru vindecarea răsadurilor altiote. Variațiile de temperatură față de valorile setate au fost de circa 1°C, variațiile umidității relative de aproximativ 3,6%, iar viteza vântului a fost mai mică de 0,21 m / s.



Fig. 23 : Instantaneu din interiorul camerei de calusare
(adaptare după (Chiu et al., 2007))

În Japonia s-a investit foarte mult în dezvoltarea unor tehnologii complete de altoire a legumelor, astfel compania Mitsubishi a construit o cameră de calusare care poate furniza în mod automat condiții de microclimat optime pentru răsaduri. De asemenea în China compania Beijing Jingpeng International Hi-Tech Corporation a făcut cercetări și a dezvoltat o cameră de calusare destinată fermelor de producere industrială a răsadurilor de legume altoite (Dong, 2015). Pornind de la principiul general prezentat în figura 10 în ipoteza că în incintă avem un gaz perfect pentru controlul exact și în timp real a temperaturii, umidității, luminii, concentrației de CO₂ și a altor factori, este necesară conceperea unor aplicații hardwar și software de înalt nivel tehnologic. Cercetătorii chinezi și-au propus să realizeze o cameră de calusare în care temperatura să poată fi ajustabilă în intervalul 15 °C și 30 °C cu o precizie de $\pm 0,5$ °C , cu o umiditate relativă care poate varia în limitele a 60% și 90% cu o precizie de reglare de $\pm 3\%$ și reglarea intensității luminoase să poată fi făcută între 0 și 5000 lx.

Camera dezvoltată de cercetătorii chinezi are următoarea structură : un sistemul de control inteligent a factorilor de microclimat, un sistem de umidificare, echipamente de fertilizare, echipamente de ventilație, echipamente de control a concentrației de CO₂, sisteme de control a temperaturii și a luminii, un sistem de etanșare și protecție față de mediul extern.

Sistemul inteligent de control al condițiilor de mediu (IECS - Intelligent Environment Control System) este format dintr-o casetă inteligentă de control, dintr-un modul de achiziție și unul de control a datelor, dintr-un modul de introducerea analogică a datelor, un modul de ieșire și un modul de control.

Sistemul de umidificate folosit poate produce ceață cu picături cu diametre mai mici de 20μm. Această lucră poate produce rapid creșterea umidității și scăderea temperaturii.

Sistemul de iluminare, prin faptul ca asigură variația intensității, a calității și a perioadei de timp de iluminare, poate influența procesul de fotosinteză. Prin controlul acestui parametru se poate reduce evapotranspirația răsadurilor și în acest fel ofilirea acestora în perioada de calusare.

După proiectarea și execuția acestei camere de calusare, s-au introdus în incintă răsaduri de castraveți altoiți și s-a procedat la verificarea sistemelor de monitorizare a

factorilor de microclimat. În figura 24 este prezentată camera pregătită pentru experimentări. Măsurătorile efectuate au arătat faptul că parametrii de microclimat din incintă pot fi controlați și modificați cu exactitate. Dezvoltarea unei astfel de camere complet automatizată poate satisface nevoile fermierilor indiferent de condițiile naturale existente.



Fig. 24 : Cameră de calusare dezvoltată în China
(adaptare după (Dong, 2015))

Într-o fermă de producere a răsadurilor altoite din Yu-Chia , Taiwan, se produc circa 1 mil. de răsaduri altoite pe an. Calusarea se face în camere de calusare echipate cu umidificatoare ultrasonice, cu control al temperaturii și cu lămpi fluorescente cum se poate vedea în figura 25.



Fig. 25 : Cameră de calusare închisă în Yu-Chia Nursery, Taiwan
(adaptat după (Zhao & Kubota, n.d.)

În Japonia compania Jardin Co., Ltd. din Prefectura Chiba specializată în producția de răsaduri pentru legume și plante ornamentale produce circa 15 mil. răsaduri anual. Pentru creștere și calusare folosesc incinte închise, complet automatizate. O astfel de cameră este prezentată în figura 26.



Fig. 26 : Cameră de calusare la Jardin Co., Japonia, cu control automat al iluminării (12-14 ore/zi), al temperaturii și al umidității (aprox. 70%); are sistem de irigare cu debit variabil și sistem de recuperare a apei; are sistem de îmbogățire cu CO₂ cu menținerea acestuia la un nivel de circa 1000 ppm.

(adaptat după (Zhao & Kubota, n.d.)

În figura 27 este ilustrat modul cum mai multe astfel de camere sunt plasate în spații specializate. Pentru producerea celor circa 6 mil. de răsaduri altoite de legume pe an, ferma are 20 de lucrători permanenți. Camerele de calusare automatizate sunt echipate și cu sisteme de recirculare a apei folosită la umidificarea camerelor și irigarea răsadurilor. Ohyama (Ohyama et al. 2003) spune că mai mult de 90% din apa folosită în perioada de calusare poate fi reciclată. Principiul de reciclare a apei este prezentat în figura 28.



Fig. 27 : Camere de calusare într-o fermă de producere răsaduri
(adaptare după (Zhao & Kubota, n.d.)

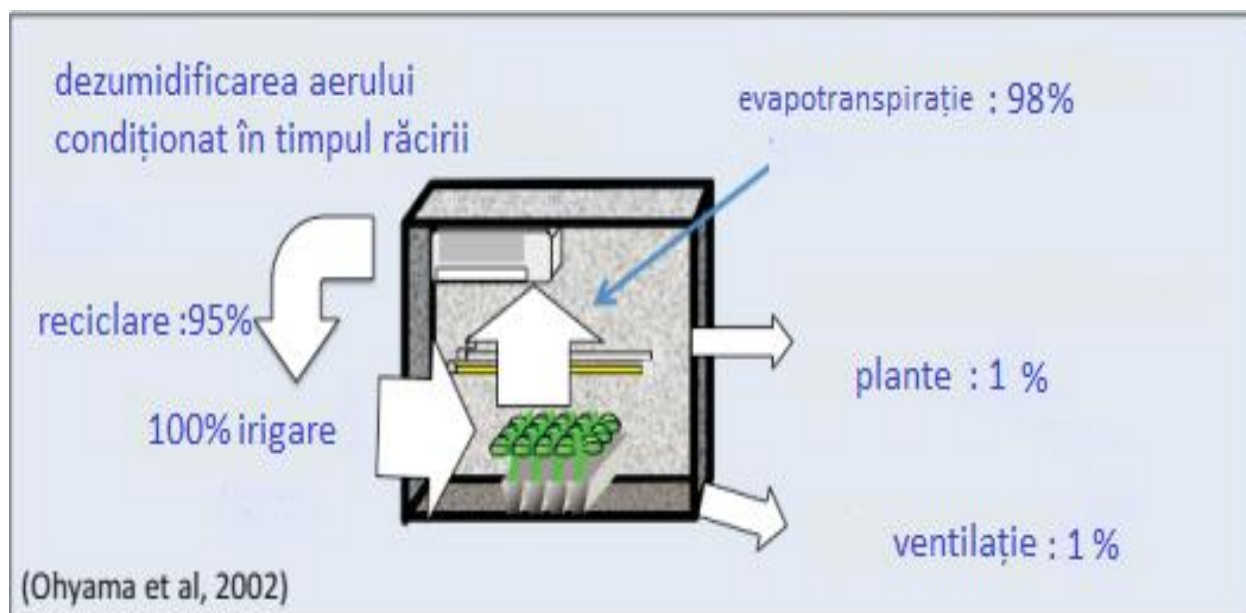


Fig. 28 : Schemă de principiu a utilizării eficiente a apei

(adaptare după (Zhao & Kubota, n.d.)

Astăzi tot mai multe ferme industriale de producere a răsadurilor utilizează sisteme închise de camere de calusare denumite CPPS (Closed-type Plant Production System). Mirai Co., Ltd. din Japonia a implementat un astfel de sistem pentru producerea în special a legumelor frunzoase. O astfel de “Fabrică de plante” are o suprafață de 500 m² și o înălțime de 6 m. Prin controlul temperaturii, a luminii (se folosesc lămpi fluorescente și lumina LED) și a fluxului de aer, într-un sistem închis și steril, pericolul bolilor și al dăunătorilor este minim iar pesticidele nu sunt utilizate deloc. Datorită faptului că pentru irigare și umidificare este folosită apă potabilă, legumele sunt “gata pentru mâncat” și sunt ambalate imediat după ce sunt recoltate în aceeași încăpere fără clătire. În figura 29 se poate vedea o astfel de fermă de legume complet automatizată de tip sistem-închis.



Fig. 29 : Cameră complet automatizată în sistem închis pentru producerea industrială a răsadurilor și/sau a legumelor “gata pentru mâncat”

(adaptat după (Zhao & Kubota, n.d.)

5. Concluzii

Ca urmare a beneficiilor folosirii răsadurilor altoite, se constată o creștere rapidă a cererii de astfel de material săditor de înaltă calitate, de către fermieri. Obținerea răsadurilor altoite devine astfel o ramură importantă a producției horticole.

Un element foarte important în obținerea calității și cantității cerute acestor răsaduri îl constituie factorii de microclimat din incintele în care se produc aceste răsaduri. Etapele de obținere a răsadurilor altoite fiind relativ scurte, fluctuațiile factorilor de mediu pot avea efecte dramatice asupra calității și cantității producției răsadurilor altoite. Din acest considerent, folosirea mediilor artificiale pentru calusare răsadurilor altoite este o metodă foarte utilizată. Avantajele utilizării unui mediu artificial sunt în principal predictibilitatea indicatorilor de producție și standardizarea calității răsadurilor ca urmare a constanței condițiilor de microclimat din camerele de calusare.

Cercetările referitoare la procesele ce au loc în spațiile protejate de cultură au fost orientate, cu precădere către analiza factorilor de microclimat, a interacțiunii acestora și a influenței elementelor constructive asupra lor, în sere și solarii. În ceea ce privește condițiile de microclimat din instalațiile de calusare, pentru managementul acestora s-a considerat *a priori* că și aici se desfășoară aceleași procese.

Camerele de calusare și aclimatizare a răsadurilor, din punct de vedere tehnologic s-au dezvoltat foarte mult. Dezvoltarea și implicit automatizarea acestora s-a făcut plecând însă de la cerințe strict tehnologice horticole. Chiar dacă procesele din incintă par a fi similare cu cele din sere/solarii, în camerele de calusare aceste procese sunt diferite. Camerele de calusare, în general, sunt fie incinte mici și foarte sofisticate folosite în general în activități de cercetare, fie incinte mari, mai puțin complexe, folosite în special pentru producția industrială de răsaduri altoite.

Creșterea rapidă a cererii de răsaduri altoite face ca producerea acestora în mod tradițional, în sere și solarii, să devină o metodă învechită la un moment dat. Totodată acest lucru poate să determine dezvoltarea unor cercetări interdisciplinare care să analizeze dinamica factorilor de microclimat și a celorlalte fenomene ce se desfășoară în camerele de calusare, astfel încât în interiorul acestora să se poată realiza condiții optime de dezvoltare și calusare a răsadurilor altoite, indiferent de condițiile de mediu din exterior.

Prin cercetările și experimentările ce se vor derula în continuare în acest proiect, se urmărește monitorizarea condițiilor de microclimat cerute a fi îndeplinite în incintele de calusare specificate pentru fiecare tip de plantă analizată, monitorizarea dinamicii aclimatizării și a celorlalte fenomene ce se desfășoară în incintele de calusare. Aceste experimentări vor crea premisele dezvoltării unui tunel de calusare ce poate oferi productivitate maximă sau mai exact o rată de supraviețuire ridicată a legumelor altoite și o calitate ridicată a răsadului prin intermediul unui mediu optimat de control al creșterii plantelor.

Bibliografie

- Baille, A. (1999). Energy cycle. *Ecosystems of the World*, 265–286.
- Bodolan, C., & Bratucu, G. (2014). Theoretical research regarding heat transfer between greenhouses and environment. *3rd International Conference Research & Innovation in Engineering , COMAT 2014 16-17 October 2014, Braşov, Romania*.
- Bot, G. P. (1983). Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model.
- Bugbee, B. (1992). Steady-state canopy gas exchange: system design and operation. *HortScience : A Publication of the American Society for Horticultural Science*, 27, 770–6.
- Castilla, N. (2013). *Greenhouse technology and management*. Cabi.
- Chiu, Y.-C., Chen, S., Chang, Y.-C., & Chou, L.-J. (2007). International Seminar on Agricultural Structure and Agricultural Engineering December 8th-9th, 2007.
- Chiu, Y.-C., Jou, L.-J., & Chen, S. (1999). *Development on an acclimatization chamber for grafted seedlings*.
- Critten, D., & Bailey, B. (2002). A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. *Agricultural and Forest Meteorology*, 112(1), 1–22.
- Crocker, W. (1948). Growth of plants. Twenty years' research at Boyce Thompson Institute. *Growth of Plants. Twenty Years' Research at Boyce Thompson Institute*.
- Dalrymple, D. G. (1973). *Controlled environment agriculture: A global review of greenhouse food production*. United States Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Day, W., & Bailey, B. (1999). Physical principles of microclimate modification in: Greenhouse ecosystems. *Elsevier. Amsterdam. Netherlands. Pp*, 71–96.
- Dong, W. (2015). Research and application of grafted seedlings healing room. *Acta Horticulturae*, (1086), 51–57. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1086.4>
- Druma, A. M. (1998). *Dynamic climate model of a greenhouse*. United Nations University.
- Enoch, H. (1985). Climate and protected cultivation (pp. 11–20). Presented at the International Symposium on Protected Cultivations in the Mediterranean Regions 176.
- Fernandez, J., & Bailey, B. (1992). Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58(3–4), 229–245.
- Germing, G. H. (1963). Opkweek en teeltresultaten van kunstmatig belichte tomatenplanten (The Raising and Cropping of Artificially Illuminated Tomato Planst). *Instituut Voor Tuinbouwtechnick, Wageningen, Holland*.
- Giancoli, D. C. (2005). *Physics: principles with applications*. Pearson Education USA.
- Johnson, S. J., & Miles, C. A. (2011). Effect of healing chamber design on the survival of grafted eggplant, tomato, and watermelon. *HortTechnology*, 21(6), 752–758.
- Kubota, C., McClure, M. A., Kokalis-Burelle, N., Bausher, M. G., & Rosskopf, E. N. (2008). Vegetable grafting: History, use, and current technology status in North America. *HortScience*, 43(6), 1664–1669.
- Maslak, K. (2015). *Thermal energy use in greenhouses*.
- Mitchell, C. A. (1992). Measurement of photosynthetic gas exchange in controlled environments. *HortScience*, 27(7), 764–767.

- Monica Ozores-Hampton, & Aline Coelho Frasca. (2013). Healing Chamber for Grafted Vegetable Seedlings in Florida.
- Monteith, J., & Unsworth, M. (2007). *Principles of environmental physics*. Academic Press.
- Mun, B., Jang, Y., Goto, E., Ishigami, Y., & Chun, C. (2011). Measurement system of whole-canopy carbon dioxide exchange rates in grafted cucumber transplants in which scions were exposed to different water regimes using a semi-open multi-chamber. *Scientia Horticulturae*, 130(3), 607–614.
- OHYAMA, K., MANABE, K., OMURA, Y., KUBOTA, C., & KOZAI, T. (2003). A comparison between closed-type and open-type transplant production systems with respect to quality of tomato plug transplants and resource consumption during summer. *Environment Control in Biology*, 41(1), 57–61.
- Papadakis, G., Briassoulis, D., Mugnozza, G. S., Vox, G., Feuilleley, P., & Stoffers, J. (2000). Review Paper (SE—Structures and Environment): Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(1), 7–38.
- Raviv, M. (1988). The use of photoselective cladding materials as modifiers of morphogenesis of plants and pathogens (pp. 275–284). Presented at the International Symposium on Protected Cultivation of Ornamentals in Mild Winter Climates 246.
- Ristaino, J. B., & Thomas, W. (1997). Agriculture, methyl bromide, and the ozone hole: can we fill the gaps? *Plant Disease*, 81(9), 964–977.
- Rivard, C., & Louws, F. J. (2006). *Grafting: A simple strategy for disease management in heirloom tomato production*. NC Cooperative Extension Service.
- Sacha Johnson et al. (2011). Vegetable Grafting, The Healing Chamber. *Washington State University, WSU Mount Vernon Northwestern Washington Research & Extension Center, WASHINGTON STATE UNIVERSITY EXTENSION FACT SHEET F S 0 5 1 E*.
- Seemann, J. (1974). *Climate under glass*. Secretariat of the World Meteorological Organization.
- Soriano, T., Montero, J., Sánchez-Guerrero, M., Medrano, E., Antón, A., Hernández, J., ... Castilla, N. (2004). A study of direct solar radiation transmission in asymmetrical multi-span greenhouses using scale models and simulation models. *Biosystems Engineering*, 88(2), 243–253.
- United Nations Environment Programme. Ozone Secretariat. (2006). *Handbook for the Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer*. UNEP/Earthprint.
- Van Iersel, M., & Bugbee, B. (2000). A multiple chamber, semicontinuous, crop carbon dioxide exchange system: Design, calibration, and data interpretation. *Journal of the American Society for Horticultural Science. American Society for Horticultural Science*, 125, 86–92.
- Von Zabeltitz, C. (1999). Greenhouse structures. *Ecosystems of the World*, 17–70.
- Wacquant, C., Gratraud, J., & Roux, P. (2000). La construction des serres et abris.
- Wilson, H., Kuhar, T., Rideout, S., Freeman, J., Reiter, M., Straw, R., ... Deitch, U. (2010). Commercial vegetable production recommendations-Virginia. *Publication No. 456–420*.

- Wittwer, S. H., & Castilla, N. (1995). Protected cultivation of horticultural crops worldwide. *HortTechnology*, 5(1), 6–23.
- Woolf, D. R. (1997). A feminine past? Gender, genre, and historical knowledge in England, 1500-1800. *The American Historical Review*, 102(3), 645–679.
- Zhao, X., & Kubota, C. (n.d.). Vegetable Grafting International Field Trip Report–Part I: Taiwan and Japan.