

<https://doi.org/10.55505/sa.2026.1.03>

UDC: 634.11:631.543.1



ANALIZA COMPARATIVĂ A REGIMULUI LUMINOS ÎN PLANTAȚII DE MĂR PE TERENURI CU RELIEF DIFERIT

Valerian BALAN*, ORCID: 0000-0001-9875-8888,

Inna BÎLICI, ORCID: 0009-0000-8971-092X,

Sergiu VĂMĂȘESCU, ORCID: 0000-0001-5537-0306

Universitatea Tehnică a Moldovei, Republica Moldova

*Correspondență: Valerian BALAN - e-mail: valerian.balan@h.utm.md

Abstract. The study evaluated the interaction between variety, row orientation, and terrain topography on the degree of solar radiation interception within the tree crown at latitude 48°N. Three variants were analyzed: Gala Buckeye Simmons (North-South row orientation N-S, on flat terrain), Golden Delicious (East-West row orientation, E-W, on a 5° northern slope), and Renet Simirencu (North West-South East row orientation, NW-SE, NE on a 6° north-eastern slope). Measurements focused on the radiant flux in the tree axis and crown junction areas. The N-S orientation ensured the highest light homogeneity between the flanks, with a difference of only 3%. However, the small planting distance (0.8 m) increased the risk of shading in the central part of the tree axis (0.56 cal/cm²*min). The E-W orientation on the northern slope presented a deficient light regime on the northern flank (0.45), with an asymmetry of 40% compared to the southern flank. The height-to-row distance H/D ratio of 0.87 on this slope severely limited the light penetration under the canopy at noon (0.25). The NW-SE orientation demonstrated efficient interception (44%), but with a sharp decrease in intensity after 3:00 p.m.

Keywords: *Malus domestica; Orchards; Fruit crops; Light regime, Density; Row orientation.*

Rezumat. Studiul a evaluat interacțiunea dintre soi, orientarea rândurilor și topografia terenului asupra gradului de interceptare a radiației solare în coroana pomilor la latitudinea de 48°N. Au fost analizate trei variante: Gala Buckeye Simmons (orientarea rândurilor nord-sud N-S, teren plan), Golden Delicious (orientarea rândurilor est-vest E-V, pe o pantă nordică de 5°) și Renet Simirencu (orientarea rândurilor nord-vest-sud-est NV-SE, pe o pantă NE de 6°). Măsurătorile au vizat fluxul radiant în zonele axului și de întrepătrundere ale coroanelor. Orientarea N-S a asigurat cea mai ridicată omogenitate a luminii între flancuri, cu o diferență de doar 3%. Totuși, distanța mică de plantare (0,8 m) a generat un risc de umbră în centrul axului (0,56 cal/cm²*min). Orientarea E-V pe pantă nordică a prezentat un regim luminos deficitar pe flancul nordic (0,45), cu o asimetrie de 40% față de flancul sudic. Raportul: înălțime/distanță între rânduri (H/D de 0,87) pe această pantă a limitat drastic pătrunderea luminii sub coroană la amiază (0,25). Orientarea NV-SE a demonstrat o interceptare eficientă (44%), însă cu o scădere accentuată a intensității luminii după ora 15:00.

Cuvinte-cheie: *Malus domestica; Livezi; Culturi pomicole; Regim de lumină; Densitate; Orientarea rândurilor.*

INTRODUCERE

Stabilirea direcției rândurilor într-o livadă intensivă reprezintă o decizie strategică de care depind direct eficiența fotosintezei, calitatea fructelor și rentabilitatea investiției pe termen lung. Într-un sistem pomicol modern, geometria luminii trebuie să se armonizeze cu geometria terenului pentru a asigura un echilibru optim între productivitate și protecția resurselor naturale (Robinson, 2007; Balan et al., 2021).

În literatura de specialitate, orientarea rândurilor pe direcția nord-sud (N-S) este considerată soluția optimă pentru livezile intensive. Traectoria aparentă a soarelui de la est la vest permite iluminarea succesivă și relativ uniformă a ambelor fețe ale peretelui fructifer, latura estică beneficiind de radiația solară din prima parte a zilei, iar cea vestică de radiația din a doua parte a zilei (Bîlici, 2020a; Balan et al., 2021). Această distribuție echilibrată a luminii reduce fenomenul de auto-umbrire și optimizează procesele fiziologice, inclusiv la nivelul masei foliare din interiorul coroanei (Babuc, 2012; Lauri et al., 2009). În consecință, se obțin o maturare mai uniformă a fructelor, o colorare superioară și un conținut mai ridicat de zaharuri. Totodată, circulația mai eficientă a aerului favorizează evaporarea rapidă a umidității de pe frunziș, diminuând riscul apariției bolilor fungice, precum rapănul și făinarea (Balan, 2015).

Deși axa N-S reprezintă soluția optimă din punct de vedere teoretic, condițiile topografice impun adesea adaptarea acesteia. Pe terenurile cu o înclinație de peste 3-5%, prioritățile se schimbă: pe pantele pronunțate, rândurile trebuie trasate obligatoriu pe direcția curbelor de nivel. Această măsură este critică pentru a limita scurgerea rapidă a apei și eroziunea stratului fertil de sol (Cimpoieș, 2000; Balan et al., 2021). În zonele caracterizate prin curenți puternici, se recomandă orientarea rândurilor paralel cu direcția predominantă a vântului pentru a reduce rezistența mecanică și riscul de dezrădăcinare sau de degradare a sistemului de susținere (Babuc, 2012). Uneori, configurația terenului poate impune orientarea Est-Vest (E-V) pentru a maximiza densitatea plantării și a facilita procesele de mecanizare. În sistemele superintensive (peste 2500 de pomi/ha), cu coroane foarte înguste, o deviere de până la 15-20° de la axa N-S este considerată acceptabilă (Wertheim, 1981; Babuc et al., 2013).

Pentru o proiectare riguroasă, designul livezii trebuie să rezulte dintr-o modelare matematică ce corelează următorii parametri fundamentali:

- distanța dintre rânduri (L) în raport cu înălțimea pomilor (H), pentru a optimiza interceptarea luminii și a minimiza fenomenul de auto-umbrire;
- latitudinea geografică (φ) – un factor esențial pentru calculul insolației la 48° latitudine nordică, specifică Republicii Moldova;
- unghiul de înclinare a coroanei (α) (Balan, 1996).

Scopul prezentei lucrări constă în determinarea direcției optime de orientare a rândurilor prin integrarea acestor factori. Demersul vizează proiectarea unor sisteme pomicole durabile, capabile să maximizeze eficiența fotosintetică prin captarea optimă a energiei solare, asigurând totodată conservarea solului pe terenurile în pantă.

MATERIALE ȘI METODE

Investigațiile experimentale s-au desfășurat în perioada 2013-2024 în zona pomicolă centrală a Republicii Moldova, în cadrul a trei exploatații agricole reprezentative. Studiul a vizat influența sistemelor de cultură, formelor de coroană și densității de plantare, analizate în corelație cu condițiile pedoclimatice și tehnologiile de întreținere implementate.

Cercetările au fost structurate pe trei combinații soi-portaltoi, amplasate pe terenuri cu configurații topografice distincte, pentru a evidenția influența orientării rândurilor și a configurației terenului asupra regimului de iluminare și a funcționării plantațiilor. Principalii parametri structurali ai plantațiilor analizate sunt prezentați în tabelul 1.

Optimizarea structurii plantațiilor s-a bazat pe algoritmi și modelele de calcul descrise în literatura de specialitate (Vămășescu, 2018; Bîlici, 2020b), care stabilesc relația funcțională dintre distanța dintre rânduri (L), înălțimea pomilor (H), latitudinea geografică (φ) și unghiul de înclinare a coroanei față de verticală (α).

În conformitate cu recomandările metodologice formulate de Cimpoieș (2000) și Babuc (2012), proiectarea și evaluarea variantelor experimentale au fost realizate după următoarele criterii:

- Pe terenuri plane (pantă $< 3^\circ$): s-a urmărit menținerea raportului $H/L \approx 0,75$, valoare considerată optimă pentru maximizarea eficienței fotosintetice și asigurarea uniformității maturării fructelor.
- Pe terenuri în pantă ($>5^\circ$): S-a optat pentru reducerea înălțimii pomilor (H) și ajustarea distanțelor dintre rânduri pentru a compensa unghiul mai puțin favorabil de expunere la soare, asigurând totodată controlul asupra eroziunii solului și stabilitatea agregatelor agricole.

Tabelul 1. Caracteristicile structurale și topografice ale sectoarelor experimentale

Asociația soi-portaltoi	Distanța de plantare (m)	Înălțimea pomilor (H , m)	Expoziția și înclinarea pantei	Orientarea rândurilor	Forma de coroană
Gala Buckeye Simmons / M9	3,2 x 0,8	3,0	Teren plan ($< 3^\circ$)	N-S	Fus subțire ameliorat
Golden Delicious / M26	4,0 x 2,0	3,5	Nordică (N), $\sim 5^\circ$	E-V	Natural ameliorată cu volum redus
Renet Simirenco / M26	4,0 x 2,0	3,5	Nord-Estică (NE), $\sim 6^\circ$	NV-SE	Natural ameliorată cu volum redus

Dinamica regimului de iluminare a fost evaluată la sfârșitul lunii iulie, perioadă care corespunde dezvoltării maxime a suprafeței foliare și valorilor de vârf ale intensității radiației solare. Pentru efectuarea măsurătorilor s-au utilizat piranometrul universal M-80 și galvanometrul GSA-1. Determinările s-au efectuat pe timp senin, în intervalul orar 09:00 – 17:00, la fiecare două ore. Măsurătorile au fost realizate conform metodologiei descrise de Lukyanov & Denisov (1968), vizând următoarele puncte de observație: în centrul coroanei, pe axul central; în zona de întrepătrundere a coroanelor adiacente; la înălțimi de 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m și 2,0 m față de sol; în planul de simetrie al coroanei și la o distanță laterală de 0,3 m spre intervalul dintre rânduri.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Analiza datelor din tabelul 2 oferă o imagine clară asupra modului în care lumina este interceptată și distribuită în interiorul coroanei pomilor din soiul Gala Buckeye Simmons (Gala), la vârsta de 8 ani, într-o plantație intensivă (3,2 x 0,8 m), cu orientarea rândurilor pe axa nord-sud.

Valoarea maximă a radiației în câmp deschis se înregistrează la ora 15:00 (1,13 cal/cm²*min), aceasta reflectând intensitatea condițiilor climatice specifice perioadei de

vegetație. Se observă o diferență clară între nivelul radiației măsurat în câmp deschis și valorile înregistrate în interiorul coroanei. De exemplu, la ora 13:00, axul central al coroanei a interceptat un flux de $0,57 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$, comparativ cu $1,08 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$ în exterior, ceea ce indică faptul că structura coroanei absoarbe aproximativ 47% din lumină.

Valorile medii ale intensității luminii înregistrate în zona de întrepătrundere a coroanelor ($0,68 - 0,72 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$) au fost constant mai ridicate decât cele din zona axului ($0,56 - 0,64 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$). Această diferență sugerează că, în condițiile unei distanțe reduse între pomi pe un rând ($0,8 \text{ m}$), densitatea foliară se evidențiază în zona axului central, generând o umbră internă mai pronunțată. În ambele zone analizate, cele mai mici valori ale intensității luminii s-au înregistrat în centrul coroanei (media $0,56$ la ax). Importanța fluxului de lumină în coroana pomilor a fost subliniată pe scară largă în literatura de specialitate (Cimpoieș, 2000; Balan, 2009; Babuc, 2012; Robinson et al., 2013). Autorii accentuează că umbră excesivă a zonei centrale a coroanei poate diminua diferențierea mugurilor de rod și afecta colorarea fructelor.

Influența orientării rândurilor pe direcția nord-sud asupra distribuției luminii în coroană este evidentă pe parcursul întregii zile. Dimineața (ora 09:00), partea de est este semnificativ mai luminată decât cea de vest (ex.: $0,32$ vs $0,25 \text{ cal/cm}^2$ în zona axului). După-amiază (între orele 15:00 – 17:00), situația se inversează: partea de vest primește mult mai multă lumină ($0,90$ - $0,70 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$) față de cea de est ($0,70 - 0,58 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$). Valorile medii zilnice confirmă o distribuție relativ echilibrată a radiației între cele două flancuri ale coroanei.

Tabelul 2. Regimul de lumină în coroana pomului de soiul Gala Buckeye Simmons, altoit pe portaltoiul M9, $\text{cal/cm}^2\cdot\text{min}$

(latitudinea 48° , înălțimea pomilor de $H=3,0 \text{ m}$, lățimea la baza coroanei de $B=1,4 \text{ m}$, înclinația coroanei $\alpha=12^\circ$, direcția rândurilor N-S, vârsta pomilor 8 ani, distanța de plantare $3,2 \times 0,8 \text{ m}$)

Timpul determinării, ora	Radiația solară în câmp deschis	Zona axului			Zona de împreunare a coroanelor		
		partea de est	centrul coroanei	partea de vest	partea de est	centrul coroanei	partea de vest
9 ⁰⁰	0,45	0,32	0,29	0,25	0,37	0,33	0,27
11 ⁰⁰	0,87	0,73	0,53	0,50	0,67	0,61	0,68
13 ⁰⁰	1,08	0,89	0,57	0,73	0,93	0,71	0,89
15 ⁰⁰	1,13	0,70	0,71	0,90	0,85	0,91	0,94
17 ⁰⁰	0,88	0,58	0,69	0,70	0,69	0,83	0,84
Media	0,88	0,64	0,56	0,62	0,70	0,68	0,72

La vârsta de 8 ani, valorile medii de $0,56$ - $0,72 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$ indică un regim de lumină satisfăcător pentru fotosinteză, dar aflat la limita inferioară în zona axului central. Având în vedere distanța mică de plantare ($0,8 \text{ m}$ între pomi), menținerea unei coroane suuple, de tip fus subțire, este vitală. Orice creștere excesivă a vigoriei în centrul coroanei va reduce radiația sub pragul critic, afectând acumularea de zaharuri și pigmentarea roșie specifică soiului Gala (Jackson, 1980; Арафонов, 1974; Lauri et al., 2009).

Analizând datele prezentate, observăm că orientarea N-S la soiul Gala permite o distribuție echilibrată a luminii între cele două fețe ale rândului. Media pe partea de est este $0,64 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$, iar pe cea de vest $0,62 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$. Diferența este minimă (3%), ceea ce înseamnă că fructele se vor colora și se vor coace uniform pe ambele părți ale rândului. Orientarea nord-sud permite o penetrare a luminii în centrul coroanei (zona

axului) de $0,56 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$ (63,6% din câmpul deschis). În zona de împreunare, unde coroanele se ating pe rând, lumina medie la soiul Gala (N-S) este de $0,70 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$. Dovezi empirice substanțiale atestă faptul că orientarea nord-sud oferă o expunere egală a fructelor la soare, evitând situația în care jumătate din recoltă ar fi calitativ inferioară (Jackson, 1980; Агафонов, 1974; 1983).

Analiza regimului de lumină pentru soiul Renet Simirencu (pe portaltoiul M26), în condițiile latitudinii 48°N , pe o pantă cu expoziție NE de 6° și orientare NV-SE, evidențiază că vârful de intensitate s-a înregistrat la ora 13:00 ($1,22 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$). Media luminii sub coroană ($0,49 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$), raportată la lumina totală ($0,88 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$), indică faptul că pomul interceptează aproximativ 44% din radiația incidentă, restul trecând prin frunziș sau ajungând la sol. Acest lucru reflectă un grad ridicat de interceptare a radiației fotosintetic active (RFA) de către aparatul foliar, dar și o umbră densă la nivelul solului (Tabelul 3).

Orientarea rândurilor pe direcția NV-SE generează o distribuție asimetrică pe parcursul zilei. Dimineața (ora 09:00), partea de est a regiunii centrale este mai bine iluminată ($0,62 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$) decât cea de vest ($0,48 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$), datorită unghiului de incidență al soarelui care lovește direct flancul estic. După-amiaza (15:00 – 17:00), se observă o scădere a iluminării pe ambele flancuri, dar mai pronunțată în centrul coroanei. Pe panta orientată spre nord-est, seara, partea vestică este iluminată, dar intensitatea scade pe măsură ce soarele apune spre SV, reducând durata de iluminare utilă în a doua parte a zilei. La amiază (ora 13:00), lumina pătrunde eficient, înregistrându-se valori de $0,97 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$ atât în est, cât și în centrul coroanei. Aceasta demonstrează că unghiul de înclinație al coroanei ($\alpha=12^\circ$) este bine ales pentru a minimiza auto-umbrărea la prânz. La ora 17:00, valorile în regiunea centrală ($0,51 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$) și în est ($0,52 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$) scad periculos de aproape de pragul de eficiență fotosintetică minimă pentru acest soi.

Tabelul 3. Regimul de lumină în coroana pomului de soiul Renet Simirencu, altoit pe portaltoiul M26

(latitudinea 48°N , direcția pantei NE cu un unghi de aproape de 6° , înălțimea pomilor de $H=3,5 \text{ m}$, lățimea la bazei coroanei de $B=2,0 \text{ m}$, înclinația coroanei de $\alpha=12^\circ$, direcția rândurilor NV-SE, vârsta pomilor 12 ani, distanța de plantare $4 \times 2 \text{ m}$).

Timpul, ora	Lumina		Regiunea centrală a coroanei			Regiunea de împreunare a coroanelor		
	Totală	Sub coroană	Partea de est	Centrul coroanei	Partea de vest	Partea de est	Centrul coroanei	Partea de vest
9 ⁰⁰	0,64	0,42	0,62	0,45	0,48	0,63	0,49	0,48
11 ⁰⁰	0,92	0,52	0,87	0,69	0,76	0,89	0,71	0,74
13 ⁰⁰	1,22	0,58	0,97	0,97	0,89	0,94	0,99	0,95
15 ⁰⁰	0,89	0,45	0,71	0,69	0,53	0,69	0,79	0,65
17 ⁰⁰	0,73	0,49	0,52	0,51	0,66	0,49	0,52	0,65
Media	0,88	0,49	0,74	0,66	0,66	0,73	0,71	0,69

Distanța de plantare de 2 m între pomi pe rând conduce la o întrepătrundere a coroanelor la vârsta de 12 ani. Media luminii în zonele de împreunare ($0,69 - 0,73 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$) este comparabilă sau chiar ușor superioară centrului coroanei. Acest lucru indică faptul că gardul fructifer este relativ omogen în ceea ce privește captarea luminii, fără a crea zone de umbră extremă între pomi, aspect ce favorizează o coacere uniformă a fructelor de-a lungul rândului.

S-a demonstrat că valorile medii de 0,66–0,74 cal/cm²*min în zonele active ale coroanei sunt suficiente pentru inducția florală la soiul Renet Simirenco, un soi pretențios din acest punct de vedere. La o înălțime a pomilor de 3,5 m și o distanță între rânduri de 4 m, raportul de umbră se află la limita critică. Orice creștere suplimentară a înălțimii va accentua umbrărea bazei rândurilor vecine, în special pe această pantă cu expoziție nord-estică (Арафонов, 1974).

Din cauza direcției NV-SE a rândurilor, pomii tind să crească asimetric, ceea ce complică tăierile mecanizate sau manuale. Se recomandă formarea unor „ferestre de lumină” prin tăieri de rărire în etajul superior, pentru a prelungi perioada de iluminare a centrului coroanei după ora 15:00 (Арафонов, 1983; Babuc, 2012).

Analiza datelor pentru soiul Golden Delicious evidențiază un regim de lumină marcat de o asimetrie severă, cauzată de combinația dintre orientarea rândurilor est-vest (E-V) și amplasarea pe o pantă cu expoziție nordică (N) (Tabelul 4). Spre deosebire de soiul Renet Simirenco (direcția NV-SE), în acest caz apare o confruntare directă între fața însorită (sud) și cea umbră (nord) a rândului.

Orientarea E-V pe pantă nordică reprezintă una dintre cele mai dificile configurații din punct de vedere fotometric. Partea de sud a coroanei este constant privilegiată, având o medie de 0,73 cal/cm²*min, în timp ce partea de nord primește doar 0,45 cal/cm²*min (o reducere de aproape 40%). Întrucât rândurile sunt orientate E-V, rândul dinspre sud acționează ca un paravan solar pentru rândul următor, efect potențat de panta de 5° spre nord, unde terenul este înclinat în direcția opusă incidenței razelor solare.

În timpul amiezii (13:00), deși lumina totală înregistrează valoarea maximă (1,11 cal/cm²*min), lumina sub coroană scade la un minim de 0,25 cal/cm²*min. Aceasta indică faptul că, la prânz, din cauza înălțimii pomilor de 3,5 m, coroana este extrem de densă și netransparentă, blocând aproape total penetrarea luminii către baza sa sau către sol. După-amiază (ora 15:00), se observă o creștere ușoară a luminii sub coroană (0,37 cal/cm²*min), deoarece unghiul de incidență al soarelui devine mai lateral, facilitând pătrunderea în masa foliară.

Tabelul 4. Regimul de lumină în coroana pomului de soiul Golden Delicious, altoit pe portaltoiul M26, cal/cm²*min

(latitudinea 48°N, direcția pantei N la un unghi de aproape de 5°, înălțimea pomilor de H=3,5 m, lățimea la baza coroanei de B=2,0 m, înclinația coroanei de α=12°, direcția rândurilor E-V, vârsta pomilor 10 ani, distanța de plantare 4 x 2 m)

Timpul, ora	Lumina		Regiunea centrală a coroanei			Regiunea de împănare a coroanelor		
	Totală	Sub coroană	Partea de sud	Centrul coroanei	Partea de nord	Partea de sud	Centrul coroanei	Partea de nord
9 ⁰⁰	0,50	0,22	0,50	0,35	0,25	0,48	0,34	0,28
11 ⁰⁰	0,82	0,35	0,80	0,58	0,44	0,78	0,56	0,43
13 ⁰⁰	1,11	0,25	0,97	0,75	0,64	0,96	0,77	0,48
15 ⁰⁰	0,89	0,37	0,85	0,66	0,59	0,82	0,65	0,56
17 ⁰⁰	0,57	0,33	0,55	0,43	0,33	0,54	0,50	0,34
Media	0,78	0,31	0,73	0,55	0,45	0,72	0,56	0,42

În regiunea centrală a coroanei, pe partea nordică (media 0,45 cal/cm²*min), insolația se situează sub pragul optim pentru soiul Golden Delicious, care necesită lumină intensă pentru a evita deprecierea calitativă a fructelor (dimensiuni reduse și aromă

slabă) (Cimpoieș, 2012). La orele 09:00 și 17:00, valorile în zona de nord ($0,25 - 0,33 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$) sunt aproape de punctul de compensație fotosintetică. Centrul coroanei reușește să mențină o medie de $0,55 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$, ceea ce sugerează că înclinația coroanei ($\alpha = 12^\circ$) ajută la captarea luminii în interior, însă aportul nu este suficient pentru a compensa deficitul de radieră indus de panta nordică.

În regiunea centrală a coroanei, pe partea nordică (media $0,45 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$), insolația se situează sub pragul optim pentru soiul Golden Delicious, care necesită o intensitate luminoasă ridicată pentru a evita obținerea unor fructe de dimensiuni reduse și cu proprietăți organoleptice modeste (Cimpoieș, 2012). La orele 09:00 și 17:00, valorile în zona de nord ($0,25 - 0,33 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$) sunt aproape de punctul de compensație fotosintetică. Centrul coroanei reușește să mențină o medie de $0,55 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$, ceea ce sugerează că înclinația coroanei ($\alpha=12^\circ$) ajută la captarea luminii în interior, însă aportul nu este suficient pentru a compensa umbrirea indusă de panta nordică.

Regiunea de împreunare (între pomi pe rând) prezintă valori similare cu regiunea centrală. Acest lucru indică faptul că la distanța de 2 m pe rând, coroanele au format un gard fructifer continuu. Această densitate a vegetației pe direcția E-V explică motivul pentru care partea de nord este atât de defavorizată: absența spațiilor libere împiedică pătrunderea luminii către flancul nordic.

Se atestă că, la orientarea E-V pe pantă nordică, există un risc major ca fructele situate pe partea nordică a rândului să prezinte o colorare deficitară, un conținut mai scăzut de zaharuri și dimensiuni mai mici comparativ cu cele de pe partea de sud. Ramurile de rod pe partea nordică vor îmbătrâni prematur din cauza deficitului de lumină (sub $0,50 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$ în cea mai mare parte a zilei). Deși înclinarea coroanei la unghiul de 12° este utilă, la o înălțime de 3,5 m, raportul H/D (înălțime/distanță între rânduri) ajunge la 0,87. Pe o pantă nordică, acest raport ar trebui să fie mai redus (maximum $0,6 - 0,7$) pentru a permite luminii să ajungă la baza rândului dinspre nord. Rezultatele prezente justifică necesitatea unor tăieri de rărire sau a reducerii înălțimii pomilor la 2,8–3,0 m, pentru a diminua umbra proiectată asupra flancului nordic.

Pentru îmbunătățirea regimului heliotermic în plantațiile pomicole intensive, este imperativă optimizarea geometriei coroanei și un management riguros al vigorii pomilor. Analiza datelor experimentale relevă faptul că, pentru soiurile Golden Delicious și Renet Simirenco, înălțimea de 3,5 m este excesivă la o distanță de 4 m între rânduri, în special pe pantele cu expoziție nordică. Reducerea plafonului superior la 2,8 – 3,0 m ar diminua semnificativ fenomenul de auto-umbră între rânduri. S-a constatat că, după ora 17:00, umbra purtată scade radiația sub pragul critic de $0,50 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$.

Importanța amplasării plantațiilor pe versanți a fost validată de numeroase studii (Арафонов, 1983; Cimpoieș, 2000; Balan, 2021; Babuc, 2012). Pe terenurile cu o înclinație de peste 6° , factorul edafic (conservarea solului prin prevenirea eroziunii) trebuie să prevaleze asupra factorului energetic. Este preferabilă acceptarea unei reduceri minore a intensității luminoase, prin orientarea rândurilor pe direcția curbă de nivel (adesea E-V), pentru a preveni degradarea cernoziomului. În acest scenariu, deficitul de lumină poate fi compensat prin: mărirea distanței dintre rânduri (L); reducerea înălțimii gardului fructifer (H); utilizarea sistemelor de conducere cu volum redus (ex. fus subțire ameliorat).

Indiferent de orientarea rândurilor, menținerea indicelui suprafeței foliare (LAI) la un nivel optim este crucială. Conform studiilor (Balan, 2021), un LAI care depășește $3,5 \text{ m}^2 \text{ frunziș/m}^2 \text{ sol}$ anulează beneficiile unei orientări corecte. Se recomandă tăierea mecanică de contur pentru a menține grosimea gardului fructifer la valori de 1,5 m la bază și 0,6 m la vârf, precum și crearea unor „ferestre de lumină” prin suprimarea la cep

(15-20 cm) a ramurilor viguroase din etajul mediu și superior care umbresc axul. Aceste intervenții pot ridica media fluxului luminos de la 0,56 la 0,70 cal/cm²*min, optimizând sinteza antocianilor și transparența structurală a gardului fructifer.

Orientarea est-vest (E-V) este considerată suboptimă în emisfera nordică din cauza distribuției asimetrice a radiației. Latura nordică se află în umbră cvasi-permanentă, primind preponderent lumină difuză, ceea ce conduce la obținerea unor fructe de dimensiuni reduse, slab colorate, cu acumulări scăzute de zaharuri. Latura sudică, dimpotrivă, este expusă suprailuminării, în special la amiază, ceea ce crește riscul de arsuri solare și generează un dezechilibru vegetativ în coroană.

Orientarea nord-est – sud-vest (NE-SV) asigură un echilibru fiziologic superior. Diminuează, latura estică beneficiază de radiația solară timpurie, facilitând uscarea rapidă a frunzișului și reducând presiunea bolilor fungice. După-amiază, latura nord-vestică primește radiație intensă, însă unghiul de incidență permite penetrarea luminii în profunzimea coroanei.

Pe o pantă cu expoziție nordică de 5°, chiar și o orientare teoretic optimă a rândurilor este influențată de relief (fenomenul de „pantă care fuge de soare”). În acest caz, rândul situat în aval este puternic umbrit de cel din amonte, fiind necesară o recalculare a distanței între rânduri pentru a compensa unghiul de înclinație al terenului. Optimizarea iluminării se bazează pe principii de geometrie solară; pentru determinarea distanței optime între rânduri (L), se aplică formula elaborată de Balan (1996):

$$L = H \operatorname{tg} \varphi - H \operatorname{tg} \alpha + B \quad (1)$$

Cerința firească a formulei constă în prevenirea auto-umbririi între rânduri și stabilirea relației între parametrii coroanei care determină structura geometrică a rândurilor de pomi, în funcție de zona geografică, unde:

- $H \operatorname{tg} \varphi$: Determină lungimea umbrei proiectate în funcție de latitudinea locului (φ). Cu cât latitudinea este mai mare, cu atât umbra este mai lungă.
- $H \operatorname{tg} \alpha$: Reprezintă corecția pentru forma coroanei (unghiul α). O formă conică permite apropierea rândurilor fără a umbri baza rândului vecin.
- B: Lățimea bazei coroanei asigură spațiul fizic necesar pentru dezvoltarea aparatului foliar și trecerea agregatelor.

CONCLUZII

Studiul a evidențiat interacțiunea critică dintre orientarea rândurilor, topografia terenului și arhitectura coroanei pomilor. Din analiza efectuată, se desprind următoarele concluzii fundamentale:

- Panta nordică (N și NE) accentuează fenomenul de umbră. Chiar și la o înclinație mică (5-6°), panta reduce perioada de insolație directă, forțând o regândire a raportului dintre înălțimea pomului (H) și distanța între rânduri (D).
- Orientarea E-V pe pantă N (Golden Delicious) generează cea mai mare asimetrie a fluxului luminos între cele două flancuri (o diferență de aproximativ 40% între sud și nord). În schimb, orientarea N-S pe teren plan (Gala) oferă cea mai mare omogenitate zilnică (diferență de doar 3%).
- Structura coroanei la vârsta de 8-12 ani interceptează între 44% și 47% din radiația incidentă. Valorile de sub coroană (0,25 – 0,49 cal/cm²*min) sugerează că masa foliară limitează pătrunderea luminii către etajele inferioare ale coroanei dacă nu este gestionată riguros.

- Pentru livezile pe pante nordice, raportul H/D trebuie să fie mai mic decât pe teren plan. La Golden Delicious (H=3,5 m, D=4 m), raportul de 0,87 este excesiv; se recomandă limitarea înălțimii la 2,8 – 3,0 m pentru a reduce umbra purtată pe flancul nordic al rândului vecin.
- Tăierile de rărire sunt obligatorii pentru soiurile Renet Simirenco și Golden Delicious în etajul superior. Acestea permit pătrunderea luminii către axul coroanei după ora 15:00, când unghiul soarelui devine critic.
- În zonele cu radiație sub 0,50 cal/cm²*min (partea de nord la Golden Delicious sau centrul axului la Gala), există un risc fiziologic major de avortare a mugurilor de rod și de obținere a unor fructe mici, slab colorate și cu aromă redusă.
- Deși orientarea N-S pe teren plan este optimă, distanța mică pe rând (0,8 m) impune menținerea unui fus subțire. Orice lărgire a bazei coroanei peste 1,4 m va prăbuși regimul de lumină sub pragul de fotosinteză utilă.
- Cercetarea a demonstrat că orientarea N-S este superioară pe teren plan, însă pe pantele cu expoziție nordică, orientarea rândurilor trebuie să compenseze deficitul de lumină prin reducerea înălțimii pomilor și deschiderea coroanei. Pentru soiurile sensibile la culoare (Gala), managementul riguros al vigorii reprezintă o condiție esențială pentru menținerea radiației peste pragul de 0,56 cal/cm²*min în zona axului.

ACKNOWLEDGEMENTS

Acest studiu a fost susținut de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare a Republicii Moldova, proiectul 44-PS „Adaptarea tehnologiilor durabile și ecologice de producere a fructelor sub aspect cantitativ și calitativ în funcție de integritatea sistemii de cultură și schimbărilor climatice”.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. BABUC, V. (2012). *Pomicultura*. Chișinău. 664 p. ISBN 978-9975-53-067-5.
2. BABUC, V.; A. PEȘTEANU; E. GUDUMAC și A. CUMPANICI (2013). *Producerea merelor. Manual tehnologic*. Chișinău: Bons Offices, 240 p. ISBN 978-9975-80-590-2.
3. BALAN, V. (1996). Metodă de stabilire a distanței dintre rândurile de pomi fructiferi. Brevet de invenție nr. 361 F1. A 01 G 1/00,17/00, nr. depozit 95-0116, data depozit 06.01.1995. Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Publicat 31.01.1996. In: *Buletinul Oficial de Proprietate Intelectuală*, nr. 1, p. 32.
4. BALAN, V. (2021). Structura plantației pomicole ca factor determinativ al productivității. In: *Lucrări științifice*, USAMV „Ion Ionescu de la Brad”, vol. 44(1): Horticultură, pp. 163-168.
5. BALAN, V. (2009). Sisteme de cultură în pomicultură. Randamentul producției de fructe. *Akadememos*, nr. 4(15), pp. 82-89. ISSN 1857-0461.
6. BALAN, V. (2015). Tehnologii pentru intensificarea culturii mărului și cireșului. *Akadememos*, nr. 3(38), pp. 82-87. ISSN 1857-0461.
7. BALAN, V.; A. PEȘTEANU și Gh. NICOLAESCU (2021). *Bunele practici de creștere a fructelor, strugurilor și pomuşoarelor în contextul schimbărilor climatice. Ghid practic pentru producătorii agricoli*. Chișinău: Bons Offices, 150 p. ISBN 978-9975-87-781-7.
8. BÎLICI, I. (2020a). *Evaluarea unor soiuri noi de măr în sistemul de cultură superintensiv în condițiile Republicii Moldova*. Teză de doctor în științe agricole. Chișinău. 37 p.
9. BÎLICI, I. (2020b). Formarea suprafeței foliare la soiurile noi de măr în condițiile Republicii Moldova. *Știința agricolă*, nr. 1, pp. 55-62. ISSN 1857-0003. DOI 10.5281/zenodo.3884006.
10. CIMPOIEȘ, Gh. (2000). *Conducerea și tăierea pomilor*. Chișinău, 274 p. ISBN 9975-67-148-9.
11. CIMPOIEȘ, Gh. (2012). *Cultura mărului*. Chișinău: Editura Bonus Offices. 382 p. ISBN 978-9975-80-547-6.

12. JACKSON, J. E. (1980). Theory of light interception by orchard and a modeling approach to optimizing orchard design. *Acta Horticulturae*, vol. 114, pp. 69-79. ISSN 0567-7572.
13. LAURI, P. E.; E. COSTES; J. L. REGNARD; L. BRUN; S. SIMON et al. (2009). Does knowledge on fruit tree architecture and its implications for orchard management improve horticultural sustainability? An overview of recent advances in the apple. *Acta Horticulture*, vol. 817. DOI 10.13140/2.1.3307.6486.
14. ROBINSON, T. L. (2007). Effect of tree density and tree shape on light interception, tree growth, yield and economic performance of apples. *Acta Horticulturae*, vol. 732, pp. 405-414. ISSN 0567-7572.
15. ROBINSON, T. L.; S. HOYING, M. M. SAZO; A. DEMARREE and L. DOMINGUEZ (2013). A Vision for Apple Orchard Systems of the Future. *NY Fruit Quarterly*, vol. 21, no. 3, pp. 11-16.
16. VĂMĂȘESCU, S. (2018). *Sporirea cantității și calității producției de mere prin aplicarea fertilizării și normării încărcăturii cu rod*. Autoreferatul tezei de doctor în agricultură. Chișinău, 30 p.
17. WERTHEIM, S. J. (1981). High-density planting: development and current achievements in the Netherlands, Belgium, and West Germany. *Acta Horticulturae*, vol. 114, pp. 318-330. DOI 10.17660/Acta-Hortic.1981.114.44.
18. АГАФОНОВ, Н. В. (1974). Теоретическое обоснование оптимальных параметров кроны яблони. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, вып. 2, с. 98-107.
19. АГАФОНОВ, Н. В. (1983). *Научные основы размещения и формирования плодовых деревьев*. Москва: Колос, 174 с.
20. ЛУКЪЯНОВ, В. М. и А. М. ДЕНИСОВ (1968). Методика определения светового режима в кронах плодовых деревьев. *Сельскохозяйственная биология*, том 3, № 4, с. 582-584. ISSN 0131-6397.

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflict of interests.

Authors' contributions

This work was carried out in collaboration among all authors. All authors read and approved the final manuscript.

Paper history

Received 23.04.2026; Accepted 10.06.2026.

Copyright: © 2026 by the authors. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0)