

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlul de manuscris

CZU:663.222:634.853.06:543.544.5:339.13(478)(043.2)

WANG FEI

**ARGUMENTAREA ITINERARIILOR DE PRODUCERE
STRUGURI-VIN ADAPTATE LA CERINȚELE
PIEȚELOR DE DESFACERE**

253.03 - TEHNOLOGIA BĂUTURILOR ALCOOLICE ȘI NEALCOOLICE

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

CHIȘINĂU 2026

Teza a fost elaborată în cadrul Centrului de Cercetări Oenologice, Facultatea Tehnologia Alimentelor, Universitatea Tehnică a Moldovei și în condiții de producere la „Vinăria Purcari” SRL și în cadrul vinăriei didactice a școlii profesionale din Leova.

Conducător științific:

ARPENTIN Gheorghe, doctor habilitat în științe tehnice, conferențiar universitar

Referenți oficiali:

TARAN Nicolae, doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, Institutul Național de Cercetări Aplicative în Agricultură și Medicină Veterinară

GĂINĂ Boris, doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, academician, Academia de Științe a Moldovei

COVACI Ecaterina, doctor în chimie, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei

Componența comisiei de doctorat:

1. STURZA Rodica, președinte, dr. hab., prof. univ., m.c. AȘM
2. ARPENTIN Gheorghe, membru, dr. hab., conf. univ.
3. TARAN Nicolae, referent oficial, dr. hab., prof. univ.
4. GĂINĂ Boris, referent oficial, dr. hab., prof. univ., academician
5. COVACI Ecaterina, referent oficial, dr., conf. univ.

The public defence of the doctoral thesis will take place **28 April 2026** on at **14:00** before the **Public Doctoral Commission of the Doctoral School of the Technical University of Moldova** (established by the decision of the Scientific Council of TUM of 27 February 2026, Protocol No. 3), at Studentilor street, building 5, Aula 120, MD-2045, Chișinău, Republic of Moldova.

The doctoral thesis and the abstract can be consulted at the library of the Technical University of Moldova and on the ANACEC website (www.anacec.md).

Conducător științific

ARPENTIN Gheorghe, dr. hab., conf. univ.

Autor

WANG Fei

CUPRINS

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII.....	4
CONȚINUTUL TEZEI.....	8
1. SINTEZA METODOLOGIEI DE CERCETARE	8
2. REZULTATE PRIVIND CARACTERIZAREA AGRO-PEDO-CLIMATICĂ A TERROIRURILOR STUDIAT	9
3. STUDIUL COMPOZIȚIEI VOLATILE ȘI AL PROFILULUI SENZORIAL AL VINURILOR FETEASCĂ NEAGRĂ (ROȘII SECI, ANUL DE ROADĂ 2022)	11
4. REZULTATE PRIVIND VALORIFICAREA PRACTICĂ A CERCETĂRII..	18
CONCLUZII GENERALE	21
RECOMANDĂRI PRACTICE	22
BIBLIOGRAFIE	22
LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI	25
ADNOTARE	27
АННОТАЦИЯ.....	22
ABSTRACT.....	29

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și importanța temei abordate. Industria vitivinicolă contemporană se află într-un proces de tranziție de la modele tehnologice standardizate către sisteme integrate de producere fundamentate pe diferențiere regională, control predictiv al calității și optimizare orientată spre piață [1,2,3]. Competitivitatea vinurilor pe piețele internaționale depinde tot mai mult de capacitatea sistemului „struguri-vin” de a genera profiluri aromatice stabile, cuantificabile și adaptate cerințelor consumatorilor[4,5,6,7].

Conform datelor publicate de Organizația Internațională a Viei și Vinului, piețele emergente manifestă o orientare accentuată către vinuri cu identitate aromatică clar definită și specific regional distinct[8,9,10], ceea ce impune dezvoltarea unor modele ingineresti capabile să coreleze factorii pedoclimatici, compoziția materiei prime și parametrii procesului tehnologic într-un sistem decizional coerent.

Studiul complexului aromatic al vinurilor a fost abordat pe larg în cercetarea oenologică internațională C.Van Leeuwen, A.L. Robinson, O.A. Antoce et. al. [11,12,13], iar în Republica Moldova contribuții semnificative la fundamentarea relației dintre terroir, soi și expresia aromatică au fost aduse de școala oenologică moldovenească, reprezentată de cercetători precum G.Musteață, N.Taran, B.Găina, A.Bălănuță, N.Furtună[14,15,16] și alți specialiști care au investigat mecanismele biochimice ale formării compușilor volatili și influența condițiilor pedoclimatice asupra calității vinurilor.

Cu toate acestea, abordările existente tratează frecvent aceste componente separat, fără integrarea lor într-un model tehnologic unitar, fundamentat pe corelații statistice și orientat spre optimizarea itinerariilor de producere struguri-vin în funcție de cerințele pieței.

Profilul aromatic al vinului reprezintă rezultatul interacțiunii dintre condițiile agro-pedo-climatice (terroir), potențialul metabolic al soiului și parametrii procesului de vinificare [17,18,19,20]. Variabilitatea temperaturii, regimului hidric, compoziției solului și altitudinii influențează sinteza compușilor organici volatili - esterii, alcoolii superiori, terpenii și compușii sulfurici - cu impact direct asupra expresiei senzoriale [21,22].

În Republica Moldova, implementarea sistemului Indicației Geografice Protejate pentru regiunile Codru, Ștefan Vodă și Valul lui Traian creează premise pentru valorificarea diferențierii regionale, însă lipsește un model tehnologic integrat care să transforme această diferențiere într-un instrument operațional de optimizare.

Problema științifică abordată în teză constă în lipsa unui model tehnologic integrat care să permită corelarea cuantificabilă a factorilor terroirului cu profilul compușilor organici volatili și cu parametrii procesului de vinificare, în scopul optimizării expresiei aromatice și al creșterii

competitivității vinurilor moldovenești pe piețele externe.

Scopul și obiectivele lucrării. Scopul prezentei cercetări constă în elaborarea și validarea unui model tehnologic integrat de producere a vinurilor roșii din soiul Fetească Neagră, bazat pe corelarea cuantificabilă a parametrilor agro-pedo-climatici ai terroirului cu profilul compușilor organici volatili și cu parametrii procesului de vinificare, în vederea optimizării expresiei aromatice și adaptării produsului la cerințele piețelor de desfacere.

Pentru realizarea scopului propus au fost stabilite următoarele **obiective**. 1. Caracterizarea și modelarea terroirurilor studiate, prin determinarea parametrilor agro-pedo-climatici și cuantificarea gradientului regional de variabilitate în cadrul celor trei regiuni IGP. 2. Determinarea și diferențierea profilului compușilor organici volatili, prin aplicarea tehnicii GC-IMS și a analizelor statistice multivariate pentru identificarea markerilor aromatici regionali. 3. Stabilirea relațiilor funcționale dintre factorii pedoclimatici și expresia aromatică, prin modelare statistică multivariată și evaluare senzorială integrată. 4. Fundamentarea, optimizarea și validarea itinerariilor tehnologice diferențiate, prin implementare în condiții reale de producție și integrare într-un model decizional orientat spre piață.

Ipotezele de lucru. 1. Variabilitatea agro-pedo-climatică a unităților de terroir determină diferențe semnificative în compoziția compușilor organici volatili ai vinurilor din soiul Fetească Neagră. 2. Profilul volatil al vinurilor Fetească Neagră prezintă markeri aromatici regionali identificabili instrumental și diferențiablei statistic. 3. Există relații funcționale semnificative între indicatorii bioclimatici și distribuția principalelor clase de compuși volatili, care permit modelarea predictivă a expresiei aromatice. 4. Adaptarea parametrilor tehnologici la specificul pedoclimatic permite optimizarea expresiei aromatice și poziționarea diferențiată pe piață.

Noutatea științifică a lucrării. Prezenta teză aduce contribuții originale în domeniul tehnologiei vinurilor prin fundamentarea unui model tehnologic integrat de corelare a terroirului cu expresia aromatică și cu itinerariile de vinificare adaptate cerințelor pieței. Noutatea cercetării constă în elaborarea modelului integrat „Terroir Profil-volatil Piață”, care corelează clasificarea bioclimatică multicriterială, analiza GC-IMS, modelarea statistică și deciziile tehnologice diferențiate. În acest context, a fost aplicată sistematic tehnica GC-IMS pentru soiul Fetească Neagră, fiind identificați 44 de compuși organici volatili și demonstrată diferențierea regională a probelor prin analize multivariate. De asemenea, au fost identificați markerii aromatici diferențiatori ($OAV > 1$), evidențiindu-se terpinolena ca posibil element distinctiv pentru acest soi. Cercetarea a permis stabilirea relațiilor funcționale dintre factorii pedoclimatici și distribuția compușilor volatili, cu relevanță pentru modelarea predictivă a expresiei aromatice, precum și fundamentarea și validarea itinerariilor tehnologice diferențiate prin implementare la scară industrială. Contribuția majoră a

lucrării constă în transformarea conceptului de terroir într-un instrument tehnologic cuantificabil și operațional.

Valoarea practică a tezei . Rezultatele cercetării oferă instrumente aplicative pentru optimizarea selecției parcelare, stabilirea momentului de recoltare și adaptarea parametrilor de vinificare la specificul pedoclimatic, reducând variabilitatea necontrolată și crescând eficiența tehnologică.

Tehnica GC-IMS este fundamentată ca instrument de monitorizare a amprente aromatice și de control obiectiv al calității. Modelul propus permite dezvoltarea unor stiluri diferențiate de vin, orientate atât către segmentul premium, cât și către piețe externe cu cerințe specifice.

Implementarea rezultatelor în practică. Modelul tehnologic elaborat a fost aplicat în cadrul Grupul de Vinării Purcari pentru producerea seriei premium „Academia Fetească Neagră”, destinată pieței Chinei, fiind realizat un lot de aproximativ 3000 de butelii, valorificate pe segmentul premium.

În paralel, tehnologia a fost implementată în cadrul vinăriei didactice a Școala Profesională din Leova pentru producerea unui lot de circa 5000 de butelii destinate pieței canadiene (SAQ), confirmând adaptabilitatea modelului pentru diferite segmente comerciale. În perioada 2023-2025, elevii din Școala Profesională din Leova au participat la ateliere practice de vinificație desfășurate conform tehnologiei elaborate, asigurând transferul direct al rezultatelor cercetării în procesul de formare profesională. Validarea practică a fost confirmată prin analize fizico-chimice, determinări GC-IMS, analiză multivariată și evaluare senzorială, demonstrând funcționalitatea modelului în condiții reale de producție și comercializare.

Aprobarea rezultatelor tezei. Rezultatele științifice obținute în cadrul cercetării au fost prezentate și discutate la manifestări științifice internaționale de prestigiu, inclusiv la Congresele Mondiale ale Viei și Vinului (edițiile 44 - Jerez, 2023; 45 - Dijon, 2024; 46 - Chișinău, 2025), precum și în cadrul conferinței internaționale CASEE 2023 „Smart Life Sciences and Technology for Sustainable Development” (Chișinău, 2023). Prezentarea rezultatelor în cadrul acestor foruri confirmă relevanța științifică și vizibilitatea internațională a cercetării.

Publicarea rezultatelor . Rezultatele cercetării sunt reflectate în 10 lucrări științifice, dintre care:

- 2 articole în reviste internaționale cu factor de impact;
- 2 articole în reviste naționale categoria B+;
- 1 articol în revistă națională categoria B;
- 8 participări la conferințe științifice naționale și internaționale.

Publicațiile acoperă integral problematica tezei și validează caracterul științific al rezultatelor obținute.

Structura si volumul tezei. Teza este expusă pe 121 pagini de text dactilografiat și include 20 tabele, 17 figuri și 6 anexe. Anexele includ: caracteristicile claselor chimice ale compușilor organici volatili din vinuri; datele primare privind condițiile climaterice ale perioadei de studiu; protocoalele de aplicare și testare a tehnologiei în condiții practice; certificate de participare la conferințe și congrese științifice internaționale; certificatul de participare al autorului la cursul OIV internațional ampelography course; harta solurilor a domeniului Purcari.

Lucrarea este structurată în 5 capitole:

Introducerea argumentează actualitatea temei, formulează problema științifică, scopul, ipotezele și metodologia cercetării.

Capitolul 1 fundamentează științific relația dintre terroir, compușii organici volatili și identitatea aromatică, analizând literatura de specialitate și orientările pieței internaționale.

Capitolul 2 prezintă materialele și metodele utilizate, asigurând veridicitatea și reproductibilitatea rezultatelor prin aplicarea metodelor chimice, senzoriale și statistice.

Capitolul 3 analizează componentele agro-pedo-climatice ale celor șapte parcele experimentale, demonstrând existența unui gradient regional de terroir.

Capitolul 4 investighează compoziția volatilă și profilul senzorial al vinurilor Fetească Neagră prin tehnica GC-IMS și analiză multivariată, evidențiind diferențierea regională.

Capitolul 5 valorifică practic rezultatele cercetării prin fundamentarea și implementarea itinerariilor tehnologice diferențiate.

Teza se finalizează cu concluzii generale și recomandări, prezentând un parcurs coerent de la fundamentarea teoretică la validarea practică a modelului tehnologic propus.

Principalele rezultate științifice înaintate spre susținere. În cadrul cercetării au fost obținute și fundamentate următoarele rezultate științifice principale

1. Demonstrarea existenței unui gradient regional de terroir, prin caracterizarea agro-pedo-climatică a șapte podgorii din cele trei regiuni IGP și cuantificarea diferențelor bioclimatice și pedologice.
2. Confirmarea influenței terroirului asupra compoziției volatile, evidențiind variații semnificative în structura compușilor organici volatili ai vinurilor din soiul Fetească Neagră.
3. Obținerea amprentelor aromatice regionale prin tehnica GC-IMS, cu identificarea markerilor aromatici diferențiatori și demonstrarea separării statistice a vinurilor prin analiză multivariată.
4. Stabilirea relațiilor funcționale dintre factorii pedoclimatici și grupele principale de compuși volatili, confirmând posibilitatea modelării predictive a expresiei aromatice.
5. Fundamentarea itinerariilor tehnologice diferențiate, prin adaptarea parametrilor de macerare, fermentare și maturare la specificul pedoclimatic al fiecărei unități de terroir.

6. Elaborarea modelului tehnologic integrat „Terroir-Profil volatil-Piață”, care corelează caracterizarea terroirului, expresia aromatică și decizia tehnologică în funcție de cerințele segmentului de piață.
7. Validarea practică a modelului propus, prin implementare industrială și comercială, demonstrând aplicabilitatea și competitivitatea tehnologiei dezvoltate.

CONȚINUTUL TEZEI

1. SINTEZA METODOLOGIEI DE CERCETARE

Cercetarea a fost realizată asupra soiului autohton Fetească Neagră, utilizând șapte parcele reprezentative din cele trei regiuni cu Indicație Geografică Protejată ale Republicii Moldova (Codru, Valul lui Traian, Ștefan Vodă), selectate pentru a acoperi variabilitatea pedologică, climatică și topografică regională. Datele climatice au fost obținute prin rețeaua de stații meteorologice i-Meteos (ONVV).

Caracterizarea terroirului a fost realizată prin aplicarea Sistemului de Clasificare Climatică Geo viticolă Multicriterială (MCC) [23], utilizând indicii Winkler (GDD), Huglin (HI), GST, Indicele de secetă (DI), Coeficientul hidrotermal (HTC) și Indicele temperaturilor nocturne (CI). Cartografierea pedologică a fost efectuată la scara 1:2000, iar analizele de laborator au inclus determinarea conținutului de humus, pH, carbonați și macro-/microelemente, permițând cuantificarea gradientului regional de terroir.

Pentru eliminarea influenței variabilelor tehnologice externe, toate probele au fost supuse unui protocol unificat de micro vinificație: desciorchinare și zdrobire controlată, inoculare cu drojdie selectată (Lalvin Bourgovin RC212™), fermentație alcoolică la 25°C, gestionare manuală a căciulii, declanșare controlată a fermentației malolactică, stabilizare și îmbuteliere în condiții standardizate. Standardizarea procesului a permis atribuirea diferențelor observate exclusiv factorilor pedoclimatici.

Profilul compușilor organici volatili a fost determinat utilizând sistemul FlavourSpec® (GC-IMS). Probele au fost incubate la 60°C, utilizând 2-metil-3-heptanona ca standard intern. Determinarea semi-cantitativă s-a realizat pe baza raportului volumelor de vârf, iar pentru evaluarea impactului senzorial s-a calculat valoarea activității olfactive (OAV). Tehnica GC-IMS a permis obținerea amprentelor aromatice și compararea diferențelor regionale.

Parametrii fizico-chimici au fost determinați conform standardelor naționale și internaționale. Evaluarea senzorială a fost realizată prin metoda Napping®, cu un panel format din 7 experți, iar datele au fost procesate prin Analiza Multifactorială (MFA) pentru obținerea spațiului senzorial de consens.

Cercetarea a fost structurată conform modelului conceptual „Componentele Terroirului”, care integrează interacțiunea dintre mediul natural (indicatori bio-climatici și pedologici), particularitățile

parcele (agrotehnică, material vegetal, sisteme de conducere) și răspunsul sistemului de producere (parametrii strugurilor, profilul compușilor organici volatili și expresia senzorială). Modelul a permis abordarea integrată a relației „terroir-profil volatil-decizie tehnologică”, asigurând corelarea etapelor experimentale cu validarea practică a rezultatelor.

Prelucrarea statistică a fost realizată în limbajul R, utilizând ANOVA cu test Tukey HSD, Analiza Componentelor Principale (PCA), MFA, corelația Spearman și regresia PLSR. Nivelul de semnificație statistică a fost stabilit la $p < 0,05$. Abordarea multivariată a permis reducerea dimensionalității, identificarea markerilor aromatici și modelarea relațiilor funcționale dintre terroir și compoziția volatilă.

2. REZULTATE PRIVIND CARACTERIZAREA AGRO-PEDO-CLIMATICĂ A TERROIRURILOR STUDIATE

Analiza celor șapte parcele experimentale din cele trei regiuni IGP ale Republicii Moldova a evidențiat o variabilitate agro-pedo-climatică semnificativă, exprimată prin diferențe cuantificabile de altitudine (70-304 m), expoziție, tipuri de sol, textură, pH (6,86-8,25) și conținut de humus (1,5-3,7%).

Diversitatea pedologică reflectă existența unor unități distincte de terroir, cu potențial diferențiat de influențare a metabolismului secundar al viței de vie.

Analiza comparativă pedologică prin heatmap și clusterizării ierarhice a permis evidențierea similarității lor și diferențelor dintre parcele (figura 2.1). Rezultatele arată o grupare a parcelelor Speia și Bugeac datorită texturii și conținutului de materie organică comparabile, în timp ce parcela Mircești se diferențiază prin conținut ridicat de azot, iar Purcari prezintă un caracter distinct asociat fertilității reduse și aridității accentuate. Diagrama heatmap confirmă astfel existența unor structuri pedologice diferențiate, susceptibile de a genera răspunsuri metabolice distincte.

Analiza seriilor climatice pentru perioada 2019-2023 a evidențiat o creștere a temperaturii medii anuale cu peste 2°C față de media multianuală și o reducere a precipitațiilor în majoritatea locațiilor, cu variabilitate interanuală accentuată a indicelui de secetă (DI). Valorile indicelui Huglin (HI) au variat între aproximativ 1800°C și peste 2600°C, conturând un gradient termic regional clar.

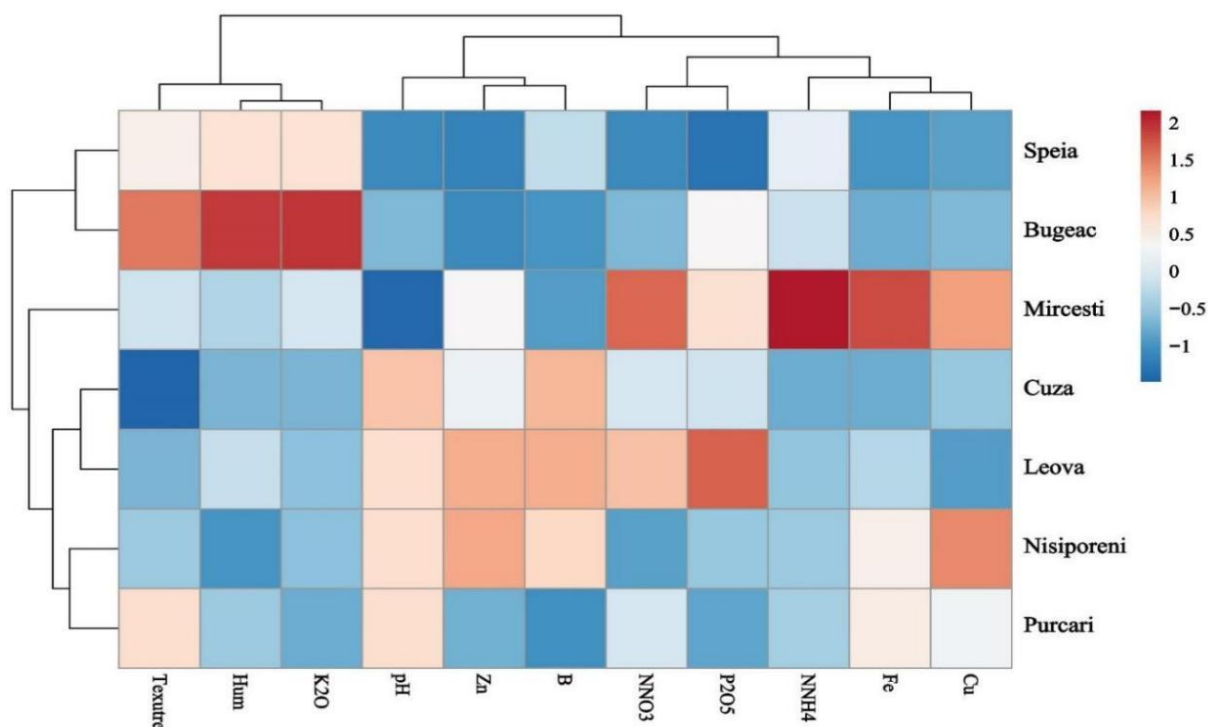


Figura 2.1. Analiza Heatmap a corelațiilor dintre parametrii edafici (solului) și parcelele experimentale DI/GDD

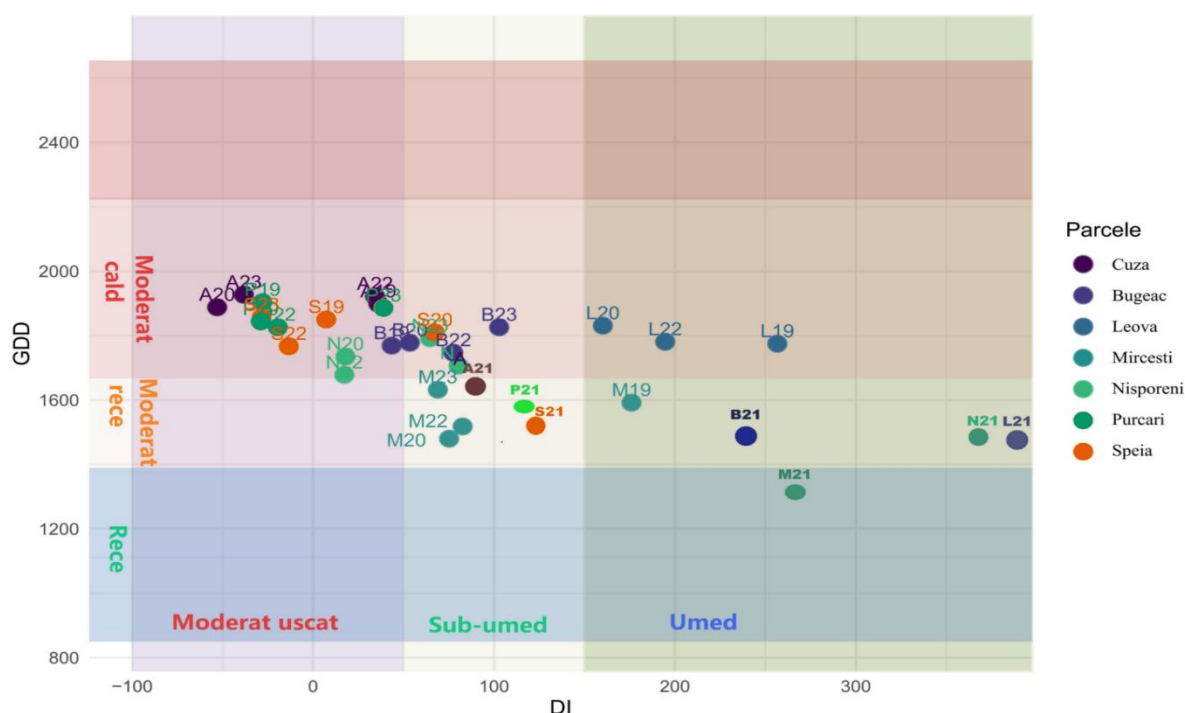


Figura 2.2 Particularitățile parcelelor experimentale în funcție de indicatorii bioclimaticii

Diagrama gradientului climatic evidențiază trei tipologii distincte (figura 2.2): un terroir moderat-răcoros (Mircești), caracterizat prin $HI \approx 2000^{\circ}\text{C}$ și regim hidrotermic favorabil conservării acidității; un terroir cald-arid (Cuza, Speia, Purcari), cu $HI > 2400-2600^{\circ}\text{C}$ și episoade frecvente de deficit hidric; și un terroir cald-echilibrat (Leova, Bugeac, Nisiporeni), cu acumulare termică ridicată,

dar variabilitate hidrică moderată [19]. Interacțiunea dintre acumularea termică, regimul nocturn, balanța hidrotermic și fertilitatea solului influențează direct sinteza precursorilor aromatici, echilibrul aciditate/alcool și maturarea fenolică [11,24]. Integrarea acestor factori demonstrează existența unui gradient de terroir coerent și funcțional, care justifică abordarea diferențiată a strategiilor tehnologice și confirmă prima ipoteză a cercetării privind influența factorilor pedoclimatici asupra potențialului aromatic al soiului Fetească Neagră.

3. STUDIUL COMPOZIȚIEI VOLATILE ȘI AL PROFILULUI SENZORIAL AL VINURILOR FETEASCĂ NEAGRĂ (ROȘII SECI, ANUL DE ROADĂ 2022)

Analiza compoziției volatile a vinurilor roșii seci Fetească Neagră provenite din șapte terroiruri reprezentative ale Republicii Moldova a evidențiat diferențe regionale semnificative, în condițiile aplicării unei tehnologii de vinificare unificate, ceea ce permite atribuirea variațiilor exclusiv influenței factorilor pedoclimatici[25].

Prin utilizarea tehnicii GC-IMS au fost detectate 44 de semnale corespunzătoare compușilor organici volatili aparținând în principal claselor esteri, alcoolii superiori, aldehide, cetone, compuși sulfurici și terpenici[26].

Variația concentrației compușilor volatili între probe evidențiază diferențele parcele și confirmă influența terroirului asupra profilului aromatic al vinurilor Fetească Neagră. În figura 3.1 (A-B) și în tabelul 3.1 sunt prezentate diferențele cantitative ale principalelor clase de compuși volatili între cele șapte parcele, evidențiindu-se variații regionale semnificative.

Conținutul total de alcoolii superiori a fost relativ ridicat în toate probele, cu maxim în Bugeac și minim în Mircești, sugerând diferențe de intensitate aromatică și structură. Aldehidele și cetonele au prezentat variații moderate, cu niveluri superioare în Cuza și Leova, iar esterii principalii responsabili de notele fructate, au atins valori maxime în Cuza și Purcari [27] și minime în Mircești.

Esterii au constituit fracția dominantă a profilului volatil, cu valori totale cuprinse între aproximativ 62.600 și 78.500 $\mu\text{g/L}$, cele mai ridicate concentrații fiind înregistrate în vinurile din Cuza și Purcari, iar cele mai reduse în Mircești. Alcoolii superiori au variat între 278.231 $\mu\text{g/L}$ și 338.222 $\mu\text{g/L}$, cu un maxim în Bugeac, sugerând o structură aromatică mai amplă în zonele cu acumulare termică ridicată. Aldehidele au prezentat diferențe pronunțate, în special în cazul pentanolului, iar sulfatul de dimetil a variat de peste trei ori între terroiruri, indicând un potențial rol de modulare a caracterului fructat.

Un rezultat remarcabil îl constituie identificarea terpinolenă drept unic compus terpenici detectat, cu valori ce depășesc pragul senzorial în mai multe probe, sugerând o particularitate aromatică distinctivă a soiului în condițiile pedoclimatice studiate.

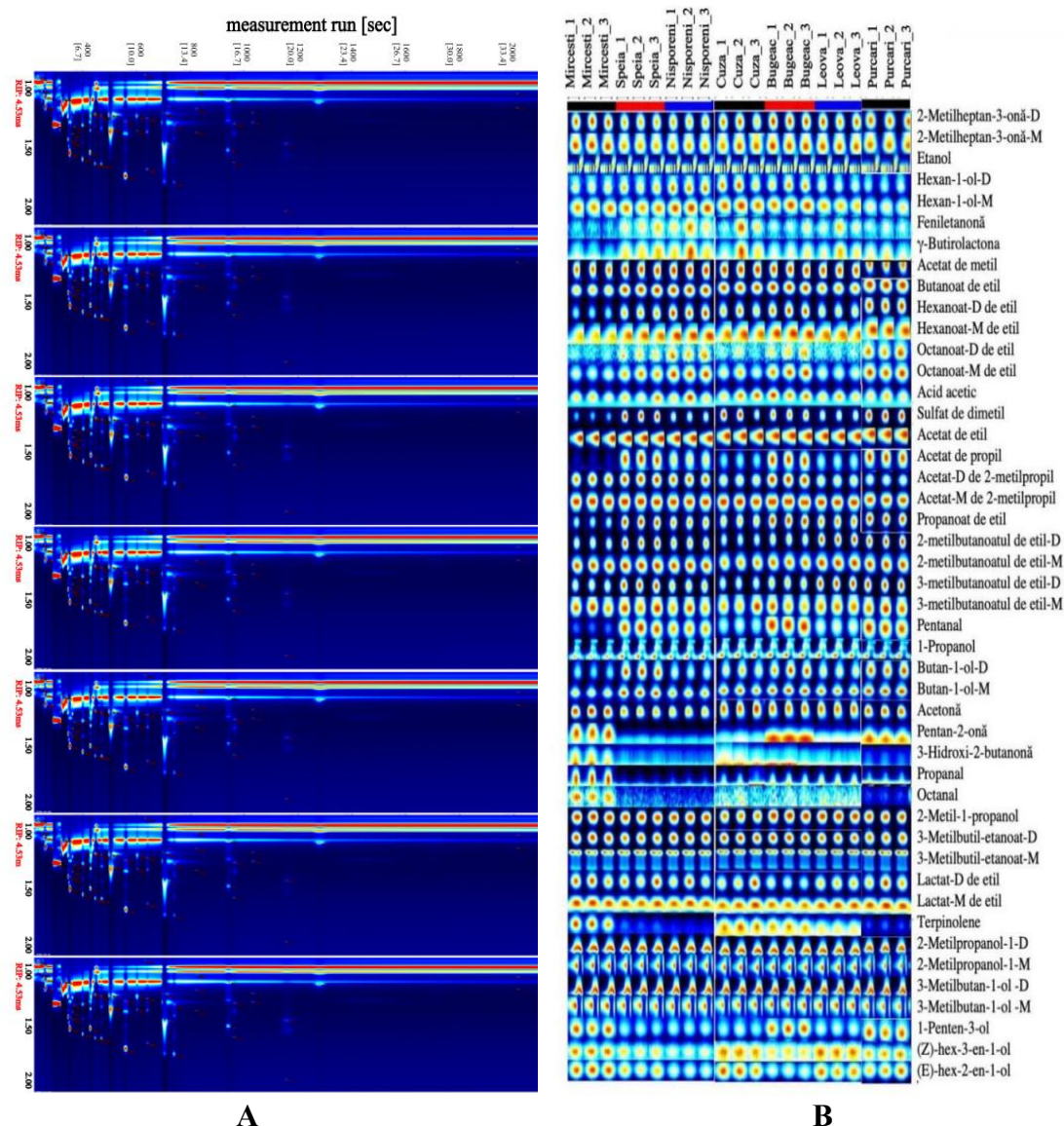


Figura 3.1 Amprelele compușilor organici volatili a vinurilor Feteasca Neagră (A)Spectrul bidimensional ale COV, (B) Amprenta compușilor organici volatili

Reprezentarea heatmap a distribuției compușilor volatili evidențiază o separare clară a probelor în funcție de origine (figura 3.2). Vinurile din Mircești formează un cluster distinct, caracterizat prin niveluri mai reduse de esteri și concentrații relativ mai ridicate de alcooli C6 și propanal, conturând un stil aromatic proaspăt, vegetal și cu aciditate accentuată. În contrast, vinurile din Purcari și Cuza se disting prin concentrații ridicate de esteri etilici și sulfat de dimetil, configurând un profil fructat intens, cu structură amplă și potențial de maturare. Bugeac, Nisporeni și Speia prezintă o poziționare intermediară, cu profiluri volatile apropiate, sugerând o expresie regională coerentă.

Tabelul 3.1. Concentrația a compușilor organici volatili determinați în vinurile roșii seci Fetească Neagră obținute din diferitele terroiruri ale Republicii Moldova.

Nr.	Descriere	Parcelă						
	Compușii volatili (μg/L)	Mircești	Nisporeni	Speia	Cuza	Bugeac	Leova	Purcari
1.	Acid acetic	6240.7±338.24b	7207.77±508.34ab	7416.91±895.43ab	7451.37±465.51ab	8792.02±1014.88a	8098.95±336.85a	7262.73±603.75ab
2.	Aciditatea volatilă totală	6240.7±338.24b	7207.77±508.34ab	7416.91±895.43ab	7451.37±465.51ab	8792.02±1014.88a	8098.95±336.85a	7262.73±603.75ab
3.	(E)-hex-2-en-1-ol	344.22±8a	312.95±17.58a	269.17±4.52b	313.27±19.27a	267.61±6.71b	185.49±10.78d	218.94±2.84c
4.	(Z)-hex-3-en-1-ol	354.57±5.68ab	365.51±13.28a	327.69±18.44ab	342.94±17.13ab	344.29±25.81ab	284.56±2.74c	313.97±0.7bc
5.	Hexan-1-ol	742.35±40.11e	851.98±14.3cd	904.27±8.93c	821.05±19.29d	1119.81±16.88a	984.98±24.98b	880.83±38.14cd
6.	3-Metilbutan-1-ol	23848.41±493.76c	26006.53±438.83b	25724.42±82.35bc	25047.86±352.17bc	28334.9±1444.52a	25194.75±379.08bc	26723.57±1019.79ab
7.	1-Penten-3-ol	105.85±2.87a	79.92±2.84de	82.3±1.33d	94.96±3.1bc	85.81±3.32cd	98.06±5.97ab	71.07±3.31e
8.	Butan-1-ol	2543.99±49.75e	3793.06±51.43bc	3149.15±23.28d	4741.81±91.57a	3913.4±60.03b	3942.79±136.89b	3619.31±111.27c
9.	2-Metilpropanol	26666.19±345.65bc	27544.12±425.45bc	27600.45±146.16bc	26047.42±225.15c	30387.18±1396.71a	28468.94±642.38ab	28675.44±981.23ab
10.	1-Propanol	8703.35±52.96d	11382.57±213.92bc	11002.05±137.93c	11315.28±135.68bc	12793.11±761.44a	11897.31±200.29abc	12057.17±445.23ab
11.	Etanol	214922.3±1882.3b	232032.54±6058.37b	233573.75±6165.19b	235788.72±5465.51b	260976.21±18453.57a	222633.54±3134.57b	230722.5±8670.48b
12.	Alcooli superiori total	278231.23±1483.73b	302369.16±6621.46b	302633.24±6507.46b	304513.31±5940.63b	338222.31±21854.68a	293690.42±3364.47b	303282.8±11239.23b
13.	Octanal	73.02±3.63a	48.27±1.41cd	41.22±3.45d	54.4±1.77bc	58.89±4.43b	48.15±6.1cd	47.13±1.72cd
14.	Pentanal	58.48±0.81e	212.18±8.51cd	192.42±4.36d	285.91±2.31b	227.89±13.07c	331.58±2.03a	224.94±9.63c
15.	Propanoat de etil	1238.61±15.5d	2406.2±50.33b	2103.34±26.21c	2683.03±43.01a	2327.36±166.67bc	2674.37±28.3a	2333.03±116.63b
16.	Propanal	471.71±13.71a	204.59±18.91c	221.31±8.51c	237.02±15.74c	311.52±2.42b	326.58±26.16b	322.56±15.79b
17.	Aldehide total	1841.82±15.62d	2871.24±77.01b	2558.29±40.76c	3260.36±54.94a	2925.66±185.23b	3380.68±52.43a	2927.66±141.51b
18.	Octanoat de etil	1096.77±84.17e	1571.59±57.42bc	1670.05±30.86b	2422.21±47.13a	1311.57±86.68d	1460.57±50.79cd	1122.39±82.42e
19.	Lactat de etil	5208.78±160.56c	5623.82±247.91abc	5511.45±370.74bc	6482.67±387.71ab	6711.65±902.02a	5474.84±164.34bc	6052.74±274.12abc
20.	Hexanoat de etil	1306.3±1.84f	1980.53±12.54c	2215.21±9.76b	2800±17.55a	1823.25±75.67d	1821.62±53.55d	1602.47±55.99e

Continuare Tabelul 3.1

21.	3-Metilbutil- etanoat	11470.27±137.11b	12002.9±27.71ab	12601.91±64.86ab	12944.03±144.9a	13009.58±944.88a	11868.79±246.12ab	11543.74±461.48b
22.	3-Metilbutan-1-ol	1935.71±52.27c	2742.33±72.88a	2347.13±65.11b	2356.73±61.1b	2247.79±228.07b	2270.13±69.19b	2667.56±117.27a
23.	2-Metilbutan-1-ol	2201.72±41.14c	2917.84±58.93a	2714.88±72.51ab	2376.72±63.03c	2457.52±243.52bc	2478.77±55.87bc	2905.8±123.65a
24.	Butanoat de etil	2140.65±34.3d	3105.73±38.7b	3123.93±39.87b	4331.05±67.68a	3190.11±244.94b	2987.39±60.35b	2577.23±105.63c
25.	Acetat de 2- metilpropil	3114.8±53.8e	3651.84±44.38bc	3558.15±38.41cd	3331.31±46.75de	3889.65±238b	4439.7±72.57a	3614.15±148bcd
26.	Acetat de propil	55.43±1.4d	240.7±2.21b	188.92±4.86c	401.12±8.34a	251.91±11.51b	415.13±10.28a	257.88±10.44b
27.	2-Metilpropanol- 1	6122.59±75.06ab	6411.87±66.26ab	6348.74±83.89ab	5961.75±74.82b	5989.34±434.43b	6645.66±87.76a	6630.39±278.06a
28.	Acetat de etil	24360.81±101.75c	29325.3±427.18b	29107.01±370.02b	30481.29±322.74ab	32334.03±2491.84a	30873.9±399.91ab	29535.57±1159.86ab
29.	Acetat de metil	3584.75±29.11c	4362.61±53.34b	4568±43.78b	4239.25±34.03b	5349.06±407.9a	4556.22±48.61b	4591.7±178.21b
30.	Esteri total	62598.56±462.52b	73937.07±751.35a	73955.38±1160.99a	78128.13±1130.8a	78565.46±6162.39a	75292.73±1162.15a	73101.64±2990.06a
31.	Feniletanună	426.38±31.6c	559.5±44.87bc	583.73±62.16abc	566.08±23.81bc	743.45±63.98a	587.17±62.58abc	615.57±88.94ab
32.	Pentan-2-onă	174.35±1.08a	86.88±4.92cd	77.8±2.44d	145.43±9.9b	101.21±5.31c	147.77±5.15b	100.63±5.91c
33.	Acetonă	2749.65±61.36	2469.34±84.8	2414.26±74.8	2749.48±43.66	2870.16±496.12	2433.79±22.66	2455.67±107.26
34.	Cetone total	3350.38±59.94ab	3115.72±82.04ab	3075.79±139.01b	3460.99±64.67ab	3714.82±539.99a	3168.73±41.89ab	3171.87±193.76ab
35.	Sulfură de dimetil	549.28±9.27d	1172.28±22.58b	744.69±10.54cd	1684.67±17.56a	1365.62±218.36b	1205.42±38.05b	914.71±39.65c
36.	Sulf total	549.28±9.27d	1172.28±22.58b	744.69±10.54cd	1684.67±17.56a	1365.62±218.36b	1205.42±38.05b	914.71±39.65c
37.	Terpinolene	480.18±34.74a	237.49±21.79bc	202.74±8.45c	426.23±32.28a	278.11±24.76b	245.9±24.98bc	205.28±15.91c
38.	Terpenoide totale	480.18±34.74a	237.49±21.79bc	202.74±8.45c	426.23±32.28a	278.11±24.76b	245.9±24.98bc	205.28±15.91c
39.	γ-Butirolactona	606.8±15.35b	854.26±14.93ab	854.93±95.72ab	718.5±52.7ab	1000.68±193.91a	841.15±17.4ab	914.75±164.67a
40.	3-Hidroxi-2- butanonă	124.72±3.31a	79.95±7.48bc	66.9±6.5c	97.39±10.67b	85.03±11.74bc	82.58±7.9bc	76.31±0.89bc
41.	Altele total	731.51±15.97b	934.21±15.97ab	921.84±100.99ab	815.89±63.14ab	1085.71±201.27a	923.73±9.51ab	991.06±165.45ab

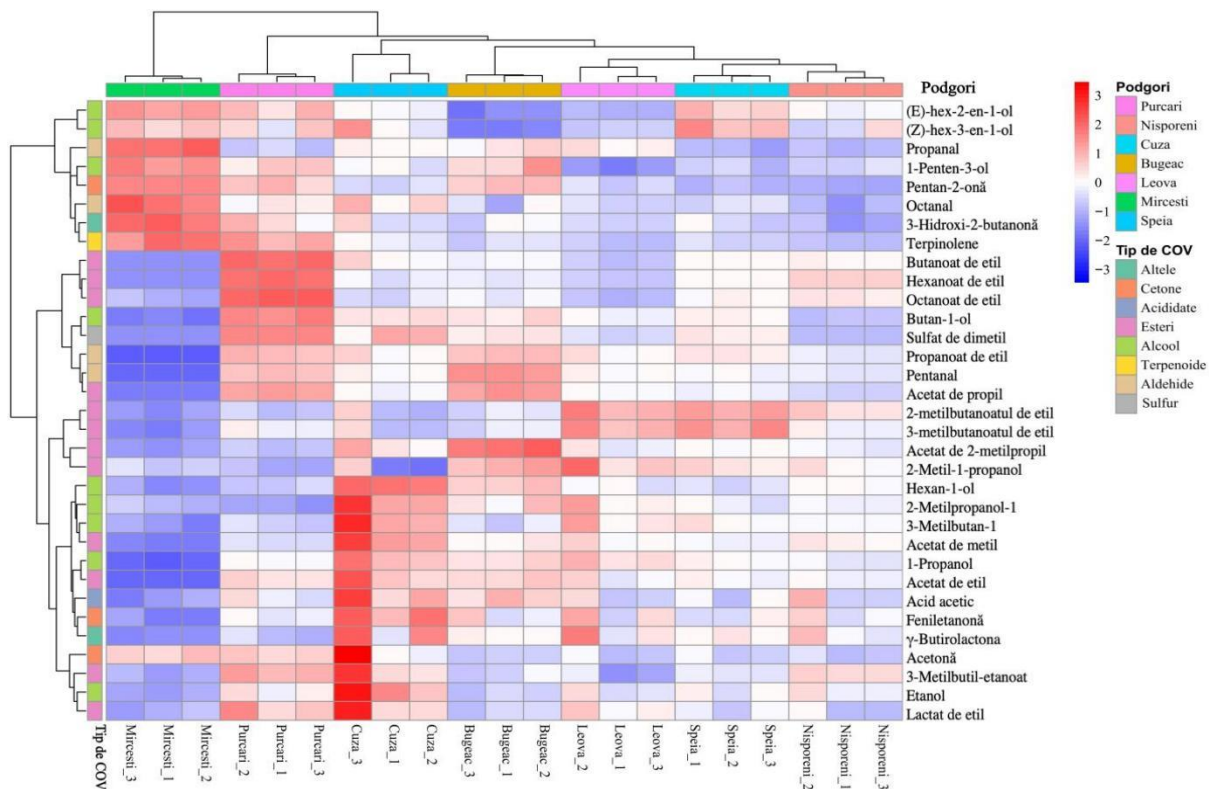


Figura 3.2. Analiza Heatmap a compușilor organici volatili

Analiza compușilor volatili confirmă existența unor diferențe regionale semnificative între parcele, evidențiind influența terroirului asupra profilului aromatic al vinurilor Fetească Neagră, prin variația acidității volatile, alcoolilor superiori, aldehidelor, esterilor, sulfatului de dimetil și prin prezența distinctivă a terpinolenei, care contribuie la definirea tipicității și identității regionale.

Analiza componentelor principale confirmă diferențierea chimică regională, primele două componente explicând aproximativ 63 % din variația totală (figura 3.3A&B). Mircești și Purcari se detașează net față de celelalte terroiruri, primul prin contribuția compușilor C6 și a aldehidelor, al doilea prin niveluri ridicate de esterii și compuși sulfurici. Această separare statistică confirmă existența unor traiectorii distincte de expresie aromatică în funcție de terroir.

Pentru evaluarea impactului real asupra aromei, s-au calculat valorile activității olfactive (OAV), identificându-se 15 compuși cu OAV > 1. Esterii etilici au dominat contribuția aromatică, în special 3-metilbutanoatul de etil, hexanoatul de etil și butanoatul de etil, cu valori OAV extrem de ridicate, confirmând rolul central al acestora în generarea notelor de fructe roșii și negri. Sulfatul de dimetil a prezentat, de asemenea, valori OAV semnificative, indicând un posibil efect sinergic asupra percepției fructate. Interacțiunile dintre esterii, compuși sulfurici și alcooli superiori evidențiază caracterul integrat al expresiei aromatice, dependent atât de concentrație, cât și de efectele de matrice.

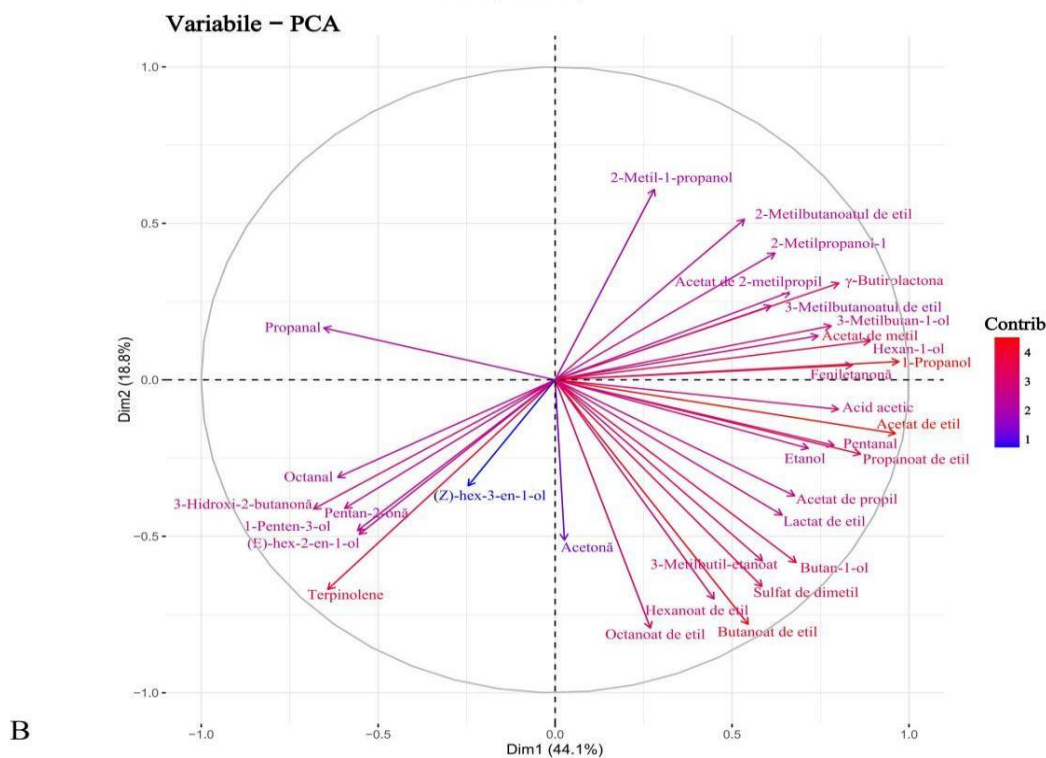
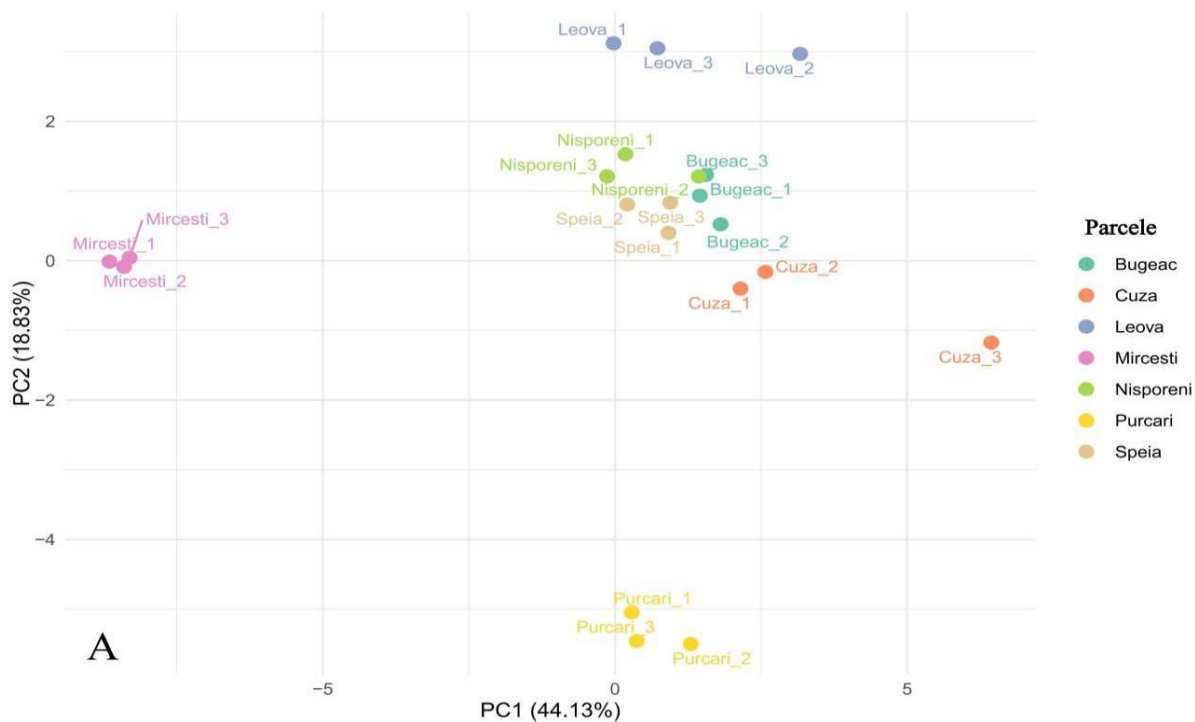


Figura 3.3(A). Componentelor principale ale compușilor organici volatili; (B). Proiecția variabilelor (compuși organici volatili) pe primele două componente principale.

Evaluarea senzorială, analizată prin metodă multifactorială (figura 3.4), a demonstrat o coerență ridicată cu datele instrumentale. Vinurile din Nisporeni și Speia se corelează cu descriptorii „fructe negre” și „ciocolată”, Bugeac cu „fructe roșii”, Cuza cu note „condimentate” și „vegetale”, iar Purcari cu un profil echilibrat și complex. Mircești prezintă un profil senzorial distinct, poziționat separat față de ceilalți descriptorii, confirmând identitatea sa aromatică specifică.

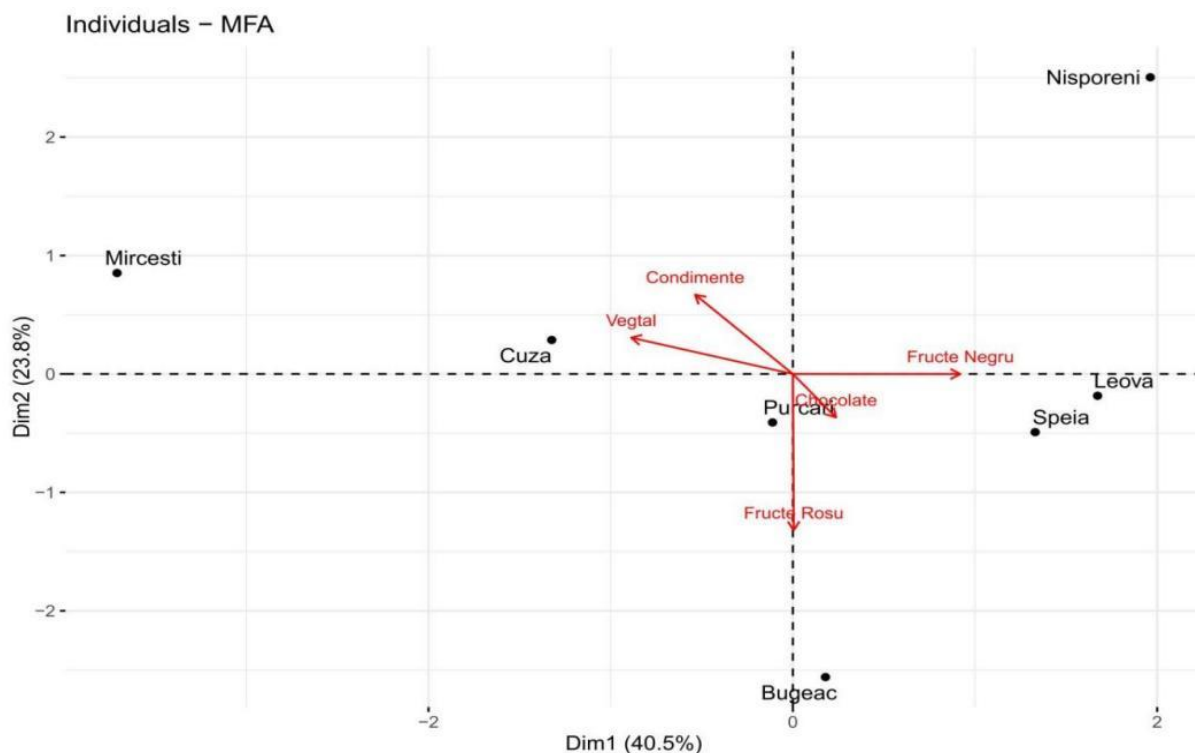


Figura 3.4. Analiza factorială multiplă a corelațiilor dintre descriptorii senzorial

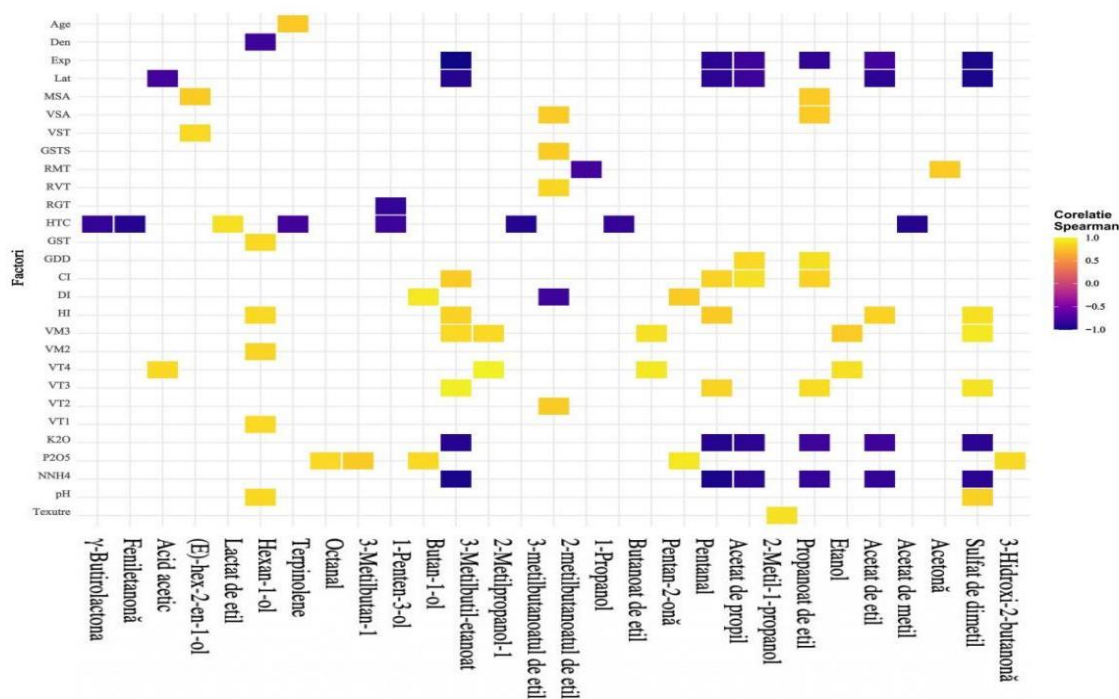


Figura 3.5. Corelațiile Spearman dintre factorii de terroir și compușii organici volatili

Analiza corelațiilor Spearman (figura 3.5) a evidențiat relații semnificative între indicii bioclimatici și compușii volatili cheie. Indicele Huglin s-a corelat pozitiv cu esterii etilici și sulfatul de dimetil, în timp ce altitudinea și coeficientul hidrotermic au influențat concentrația alcoolilor

superiori și a compușilor C6. Conținutul de potasiu și amoniu din sol a prezentat corelații negative cu mai mulți esteri, confirmând rolul nutriției minerale în reglarea biosintezei precursorilor aromatici.

Pe baza corelațiilor stabilite între indicii bioclimatici, profilul compușilor volatili și evaluarea senzorială, au fost fundamentate recomandări tehnologice diferențiate pentru fiecare unitate de terroir, sintetizate în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2. Corelarea expresiei senzoriale, a compușilor organici volatili dominanți și a strategiilor de vinificare recomandate pentru vinurile roșii seci Fetească Neagră

Parcelă	Indicator climatic dominant	Particularitate pedologică	Profil volatil dominant	Stil tehnologic recomandat	Segmente de piață
Mircești	HI \approx 2000; HTC > 1	Sol fertil, N ridicat	↑ C6; esteri moderați	Macerare scurtă, extracție limitată	Vin proaspăt, acid
Nisporeni	HI \approx 2300	Sol echilibrat	↑ Esteri	Macerare medie, fermentare controlată	Fructat elegant
Speia	HI \approx 2400; DI moderat	Textură luto- argiloasă	↑ Esteri+alcooli	Macerare medie, control termic	Fructe negre
Bugeac	HI \approx 2450	Humus ridicat	↑ Esteri; structură amplă	Macerare prelungită	Stil concentrat
Leova	HI \approx 2400; HTC \approx 1	Cernoziom drenat	↑ Esteri primari	Macerare 4-5 zile	Consum rapid
Cuza	HI > 2600; DI ridicat	Sol arid	↑ Esteri; DMS	Control extracție fenolică	Rotund, fructat
Purcari	HI > 2500	Cernoziom carbonatic	↑ Esteri etilici; lactone	Amfore + maturare stejar	Premium, potențial de maturabil

În ansamblu, rezultatele demonstrează că profilul volatil și expresia senzorială a vinurilor Fetească Neagră sunt determinate de interacțiunea complexă dintre acumularea termică, regimul hidric, altitudine și caracteristicile solului. Diferențele regionale observate, confirmate atât instrumental, cât și senzorial, validează ipoteza privind controlul pedoclimatic al expresiei aromatice și fundamentează științific adaptarea strategiilor de vinificare la specificul fiecărui terroir.

4. REZULTATE PRIVIND VALORIFICAREA PRACTICĂ A CERCETĂRII

Rezultatele cercetării au fost valorificate prin implementarea directă a modelelor tehnologice diferențiate în două contexte distincte unul industrial premium și unul educațional comercial, cu scopul validării aplicative a corelațiilor stabilite între terroir, compoziția volatilă și expresia senzorială a vinurilor Fetească Neagră.

Prima direcție de implementare a vizat producerea seriei iconice „Academia Fetească Neagră” în cadrul Vinăriei Purcari (figura 4.1), destinată în principal pieței chineze. Fundamentarea tehnologică s-a realizat pe baza datelor privind acumularea termică ridicată (HI > 2500°C),

compoziția pedologică și profilul volatil caracteristic terroirului Purcari. Selecția parcelară, monitorizarea strictă a maturității (23,5-24,5 °Brix), fermentația controlată în amfore de lut la 28 °C, macerația prelungită și maturarea diferențiată în budane de stejar au permis obținerea unui vin cu structură polifenolică stabilă și semnătură aromatică distinctă.

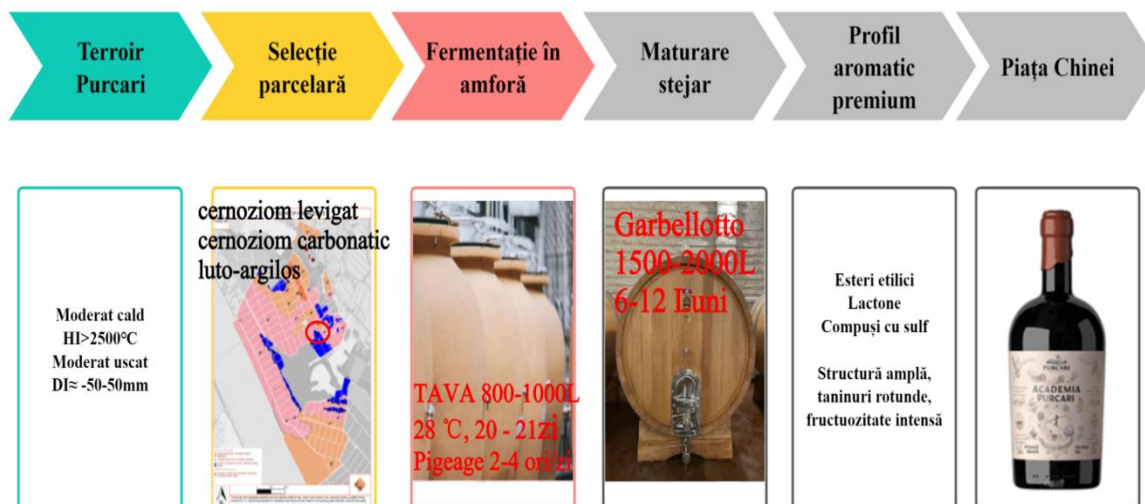


Figura 4.1. Itinerarul de producere a vinurilor „Academia Fetească Neagră”

Vinul „Academia” a prezentat o concentrație alcoolică de 14,5 % vol., extract sec nereducător de 31 g/L și o notă organoleptică de 95 puncte (tabelul 4.1), fiind produs într-un lot de aproximativ 3000 de butelii destinate exportului pe piața chineză.

Tabelu 4.1. Rezultatele analizelor comparative fizico-chimice și organoleptice a vinurilor experimentale

Nr.	Indicii fizico-chimici	Directă a modelelor tehnologice	
		Purcari	Leova
		Valoare	
1.	Concentrația alcoolică dobândită, % vol.	14,5 ± 0,1	13,0 ± 0,2
2.	Concentrația în masă a aciditate totală, g/L	5,5 ± 0,1	6,0 ± 0,1
3.	pH	3,72	3,62
4.	Concentrația în masă a extract sec nereducător, g/L	31,0 ± 0,4	26,8 ± 0,3
5.	Concentrația în masă a zaharurilor reziduale, g/L	< 2,5	< 3,0
6.	Nota organoleptică, puncte	95	86
7.	Stil	Structurat, complex	Fructat, consum rapid
8.	Piață	China (premium)	Canada (SAQ)

Profilul aromatic dominat de esteri etilici, lactone și compuși cu sulf, corelat anterior prin GC-IMS și OAV, a confirmat validitatea conceptului de „aromatic fingerprint” aplicat în practică. Adaptarea stilului către preferințele consumatorului asiatic - structură amplă, taninuri rotunde,

fructuozitate intensă - demonstrează transpunerea directă a rezultatelor științifice în strategie comercială.

A doua direcție de valorificare a fost implementată în cadrul Vinăriei Didactice a Școlii Profesionale din Leova (figura 4.2), prin elaborarea unui vin tânăr, destinat consumului rapid și pieței nord-americane.

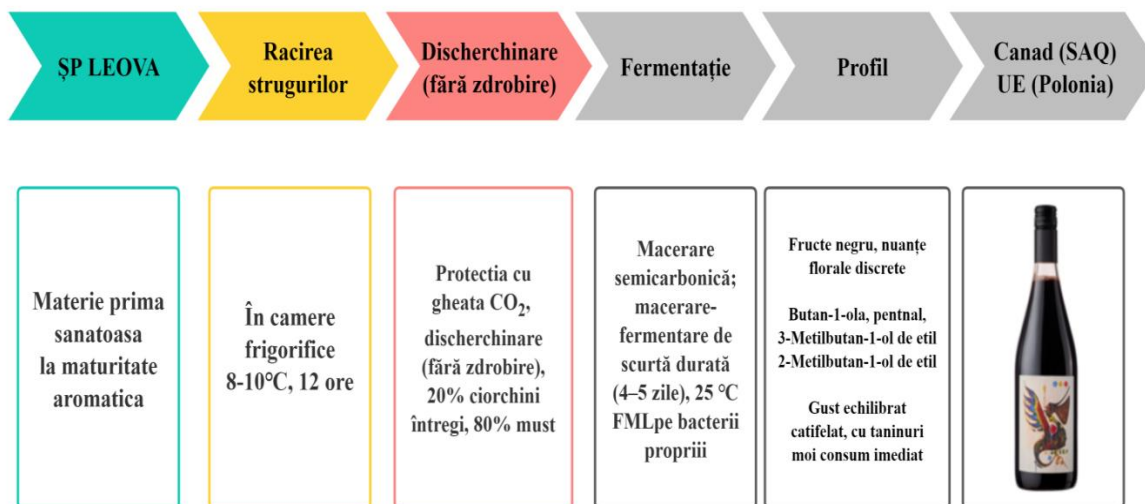


Figura 4.2. Schema de implementare a vinuri în cadrul Vinăriei didactice Leova - vin destinat consumului rapid

Aplicarea unei tehnologii simplificate macerație scurtă (4-5 zile), fermentație la 25 °C, control limitat al extracției fenolice și fermentație malolactică parțială, a permis obținerea unui vin echilibrat, cu 13,0 % vol. alcool și aciditate totală de 6,0 g/L (tabelul 4.1), caracterizat prin profil fructat și taninuri moi. Lotul pilot de aproximativ 5000 de butelii a fost direcționat către piața canadiană prin intermediul SAQ, reprezentând o validare externă a calității tehnologice și a competitivității produsului.

Cele două aplicații constituie modele complementare de valorificare a cercetării: un model premium, bazat pe expresia profundă a terroirului și maturare diferențiată, și un model reproductibil, destinat vinurilor tinere, orientate către consum rapid și formare profesională. În ambele cazuri, parametrii tehnologici au fost derivați direct din analiza pedoclimatică și din caracterizarea compușilor organici volatili, demonstrând transferul efectiv al cunoașterii din cercetare în producție.

Impactul practic al capitoulului constă în:

- validarea aplicabilității corelațiilor stabilite între indicii bioclimatici și expresia aromatică;
- dezvoltarea a două itinerarii tehnologice diferențiate, adaptate specificului regional;
- producerea și valorificarea comercială a 8000 de butelii în total;
- integrarea rezultatelor cercetării în procesul de formare profesională a elevilor (2023-2025);
- consolidarea unui model de vinificare bazat pe date științifice, aplicabil altor soiuri autohtone.

În ansamblu, rezultatele demonstrează că terroirul nu reprezintă doar un concept descriptiv, ci un instrument tehnologic și economic operațional, capabil să orienteze deciziile de vinificare, să optimizeze expresia aromatică și să susțină poziționarea strategică a vinurilor moldovenești pe piețele internaționale.

CONCLUZII GENERALE

Prezenta cercetare a avut ca obiectiv analiza sistematică a influenței condițiilor de terroir asupra compoziției compușilor organici volatili și a expresiei senzoriale în vinurile Fetească Neagră provenite din șapte parcele reprezentative ale Republicii Moldova. Prin integrarea analizelor GC-IMS, evaluărilor OAV și testărilor senzoriale, studiul a evidențiat clar diferențele interregionale în ceea ce privește structura aromatică, corpolența vinului și potențialul de poziționare stilistică pe piață. De asemenea, au fost identificați principalii factori pedoclimatici și nutriționali care controlează expresia aromatică a soiului.

1. A fost demonstrată existența unui gradient pedoclimatic regional între cele șapte parcele studiate, diferențiate în tipologii moderat reci, moderat calde și cald-aride, cu regimuri hidrice distincte, constituind baza modelării expresiei aromatice a soiului Fetească Neagră (**Cap. 3, subsecțiunile 3.1-3.2**).

2. Analiza compușilor organici volatili prin tehnica GC-IMS, corelată cu evaluarea senzorială și analiza multivariată (PCA, MFA), a evidențiat diferențierea statistic semnificativă a vinurilor în funcție de terroir, confirmând influența factorilor pedoclimatici asupra profilului aromatic (**Cap. 4, subsecțiunile 4.1 și 4.1.2**).

3. Au fost identificați 15 compuși cu impact senzorial major ($OAV > 1$), care definesc amprenta aromatică regională și pot servi drept markeri diferențiatori ai expresiei terroirului (**Cap. 4, subsecțiunea 4.1.3**).

4. Corelațiile semnificative dintre indicii bioclimatici (HI, DI, HTC), parametrii solului și distribuția esterilor, alcoolilor superiori și compușilor sulfurici demonstrează posibilitatea integrării factorilor naturali într-un model predictiv al expresiei aromatice (**Cap. 4, subsecțiunea 4.2**).

5. A fost elaborat și validat modelul tehnologic integrat „Terroir-Profil volatil-Piață”, demonstrând că markerii aromatici pot fi amplificați sau conservați prin adaptarea parametrilor de macerație, fermentație și maturare la specificul fiecărei unități de terroir (**Cap. 5, subsecțiunile 5.1 și 5.2**).

6. Implementarea practică a modelului în producția a 8000 de butelii destinate piețelor externe (China și Canada) și integrarea acestuia în procesul de formare profesională confirmă impactul economic, tehnologic și educațional al cercetării (**Cap. 5, subsecțiunea 5.3**).

În ansamblu, cercetarea demonstrează că terroirul poate fi transpus din concept descriptiv într-un instrument tehnologic predictiv și reproductibil, capabil să susțină diferențierea stilistică și poziționarea competitivă a vinurilor moldovenești.

RECOMANDĂRI PRACTICE

1. Integrarea clasificării bioclimatice (HI, DI, HTC) în managementul viticol și în selecția parcelară pentru optimizarea momentului de recoltare (**Cap. 3**).

2. Implementarea tehnicii GC-IMS și a analizei OAV în controlul calității și autenticității vinurilor din soiul Fetească Neagră (**Cap. 4.1 și 4.1.3**).

3. Adaptarea duratei macerației și a regimului de fermentare la tipologia terroirului, pentru maximizarea expresiei aromatice specifice (**Cap. 5.1 și 5.2**).

4. Extinderea modelului integrat la alte soiuri autohtone și la alte regiuni viticole, utilizând aceeași schemă de corelare terroir-profil volatil-piață (**Cap. 4.2 și Cap. 5**).

5. Dezvoltarea unei platforme naționale de corelare a datelor pedoclimatice și aromatice pentru susținerea vinurilor de terroir cu trasabilitate demonstrabilă (derivat din **Cap.3-5**).

BIBLIOGRAFIE

1. M.Arnáiz, M., B.Rodríguez, E., H.Luque, D. Multifunctional territorialized agri-food systems, geographical quality marks and agricultural landscapes: The case of vineyards. In: *Land*. 2022, vol. 11, nr. 4, pp. 1-28. ISSN 2073-445X.
2. Liu, X., Lu, J., Zhan, Y. Studiu privind caracteristicile și preferințele consumatorilor de vinuri importate. In: *Sino-Overseas Grapevine & Wine*. 2014, nr.04, pp. 62-67. ISSN 1004-7360.
3. Campo, R., Reinoso-Carvalho, F., Pierfelice, R. Wine experiences: A review from a multisensory perspective. In: *Applied Sciences*. 2021, vol.11, nr. 10, pp. 4488. ISSN 2076-3417.
4. **Wang, F.**, Yao, M., Arpentin, G. Terroir of Fetească Neagră wines from Moldova. In: *BIO Web of Conferences*. 2023, vol. 78, pp. 05003. ISSN 2117-4458. Disponibil: https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/194701
5. González-Barreiro, C., Rial-Otero, R., Cancho-Grande, B., Simal-Gándara, J. Wine aroma compounds in grapes: a critical review. In: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015, vol. 55, nr.2, pp. 202-218. ISSN 1549-7852.
6. Li, J., Li, J. Studiu privind preferințele consumatorilor de vin pentru atributele produsului, pe baza analizei conjoint. In: *Sino-Overseas Grapevine & Wine*. 2024, nr. 05, pp.103-110. ISSN 1004-7360.
7. Gonzaga, L.S., Capone, D.L., Bastian, S.E.P., Jeffery, D.W. Defining wine typicity: sensory characterisation and consumer perspectives. In: *Australian Journal of Grape and Wine Research*.

- 2021, vol. 27, nr. 2, pp. 139-256. ISSN 1322-7130.
8. *Focus oiv 2023 evolution of world wine production and consumption by colour*. OIV, 2024. Disponibil: <https://www.oiv.int/sites/default/files/2024-01/OIV-FOCUS-2023volutionoftheworldwineproductionandconsumptionbycolour0.pdf>
 9. *World Wine Production Outlook, OIV First Estimates*. 2024.11.29. Disponibil: <https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV2024WorldWineProductionOutlook1.pdf>
 10. John, B. *State of the global vine and wine sector*, oiv press conference. 2025. Disponibil: <https://www.oiv.int/sites/default/files/2025-04/OIVStateoftheWorldVineandWineSectorin2024PPT.pdf>
 11. Van Leeuwen, C., Barbe, J.C., Darriet, P., Geffroy, O., Gomès, E., Guillaumie, S., Thibon, C. Recent advancements in understanding the terroir effect on aromas in grapes and wines. In: *OENO One*. 2020, vol. 54, nr.4, pp. 985-1006. ISSN 2494-1271.
 12. Robinson, A.L., Adams, D.O., Boss, P.K., Heymann, H., Solomon, P.S., Trengove, R.D. Influence of geographic origin on the sensory characteristics and wine composition of vitis vinifera cv. cabernet sauvignon wines from australia. In: *American Journal of Enology and Viticulture*. 2012, vol. 63, nr.4, pp. 467-476. ISSN 0002-9254.
 13. Antoce, O.A., Nămoloșanu, I. The influence of terroir on the sensory profile of Fetească Neagră red wines. In: *Lucrări Științifice USAMVB, Seria B*. 2009, vol. LIII, pp. 528-533. ISSN 2285-5653.
 14. ARSENI, A., NECULA, STURZA, R. Analiza compoziției vinurilor roșii seci din soiurile de struguri autohtoni Feteasca neagră și Rara neagră din diferite regiuni geografice ale Republicii Moldova. In: *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 27-29 martie 2024, Chișinău*. Chișinău, Republica Moldova: „Tehnica-UTM”, 2024, Vol.2, pp. 1047-1050. ISBN 978 9975-64-460-0.
 15. SCORBANOVA, E., TARAN, N., PONOMARIOVA, I., DEGTEARI, Natalia, RÎNDA, P., EFREMOV, E. Studiul compoziției antocienilor monomerici în vinurile roșii din soiurile de struguri autohtone și de selecție nouă prin metoda HPLC. In: *Pomicultura, Viticultura și Vinificația*, 2023, nr. 1(89), pp. 58-62. ISSN 1857-3142.
 16. COVACI, E., CODREAN, A., BALANUȚĂ, A. Fetească Neagră wine quality influenced by terroir in different ecosystems from Republic of Moldova. In: *Modern Technologies in the Food Industry, Ed. 5, 20-22 octombrie 2022, Chișinău*. Chișinău, Republica Moldova: 2022, p. 78. ISBN 978-9975-45-851-1.
 17. Van Leeuwen, C., Barbe, J.C., Darriet, P., Destrac-Irvine, A., Gowdy, M., Lytra, G., Thibon, C. Aromatic maturity is a cornerstone of terroir expression in red wine. In: *OENO One*. 2022, vol.

56, nr. 2, pp. 335-351. ISSN 2494-1271.

18. Liu, S., Lou, Y., Li, Y., Zhao, Y., Laaksonen, O., Li, P., Zhang, J., Battino, M., Yang, B., Gu, Q. Aroma characteristics of volatile compounds brought by variations in microbes in winemaking. In: *Food Chemistry*. 2023, vol. 420, pp. 1-21. ISSN 0308-8146.
19. **WANG, F.**, YAO, M., Arpentin, G. Exploring the micro and macro terroir of Fetească Neagră wine from moldova. In: *Journal of Engineering Science*. 2024, vol. 31, nr. 1, pp. 97-111. ISSN 2587-3474. Disponibil: <https://ibn.idsi.md/ro/vizualizarearticol/204369>
20. Alem, H., Rigou, P., Schneider, R., Ojeda, H., Torregrosa, L. Impact of agronomic practices on grape aroma composition: a review. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018, pp. 1-54. ISSN 0022-5142.
21. Artem, V., Antocea, O.A., Geană, E.I., Ionete, R.E. Study of the impact of vine cultivation technology on the Fetească Neagră wine phenolic composition and antioxidant properties. In: *Journal of Food Science and Technology*. 2022, vol. 59, nr. 5, pp. 1715-1726. ISSN 0022-1155.
22. Pons, A., Allamy, L., Schüttler, A., Rauhut, D., Thibon, C., Darriet, P. What is the expected impact of climate change on wine aroma compounds and their precursors in grape?. In: *OENO One*. 2017, vol. 51, nr. 2, pp. 141-146. ISSN 2494-1271.
23. JORGE, T., ALAIN C. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. In: *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, vol. 124, pp. 81-97. ISSN 0168-1923.
24. DROULIA, F., CHARALAMPOPOULOS, I. A review on the observed climate change in europe and its impacts on viticulture. In: *Atmosphere*. 2022, vol. 13, nr.5, pp. 1-35. ISSN 2073-4433.
25. YAO, M., **WANG, F.**, ARPENTIN, G., XIAO, C. Volatile compounds as indicators of terroir differentiation in Moldovan Feteasca Neagra wines. In: *IVES Conference Series, 46th World Congress of Vine and Wine*. 2025, pp. 1-6. ISSN 2777-9173. Disponibil: <https://doi.org/10.58233/XgY6a09Y>
26. YAO, M., **WANG, F.**, ARPENTIN, G. Exploratory terroir differentiation of Fetească Neagră wines via volatile aroma compounds in Moldovan regions. In: *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2026, pp. 1-15. ISSN 2193-4134 Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s11694-025-04007-w>
27. **WANG, F.**, YAO, M., ARPENTIN, G. Application of gas chromatography-ion mobility spectrometry (gc-ims) to characterize volatile signatures of fetească neagră wines from the igp ștefan vodă region. In: *Journal of Engineering Science*. 2025, vol. 32, nr. 4, pp. 150-160. ISSN 2587-3474. Disponibil: [https://doi.org/10.52326/jes.utm .2025.32\(4\).11](https://doi.org/10.52326/jes.utm .2025.32(4).11)

LISTA LUCRĂRILOR ȘTIINȚIFICE LA TEMA TEZEI

1. Articole în reviste științifice

1.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS

Yao, M., **Wang, F.**, Arpentin, G. Exploratory terroir differentiation of Fetească Neagră wines via volatile aroma compounds in Moldovan regions. In: *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2026, pp. 1-15. ISSN 2193-4134. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s11694-025-04007-w>

Deng, Y., Zhao, M., Jia, L., Liang, J., **Wang, F.**, Yao, M., Mitina, I., Zhang, J.i, Feng, H., Arpentin, G. Exogenous ATP Functions in Alleviating the Decrease in Quality of Grape (*Vitis vinifera* L.) Fruits After Harvest. In: *Flavour and Fragrance Journal*, 2025, vol. 40, pp. 417-424. ISSN 0882-5734. Disponibil: <https://doi.org/10.1002/ffj.3850>

1.2. în reviste din alte baze de date acceptate de către ANACEC (cu indicarea bazei de date)
(Baza de date DOAJ)

Wang, F., Yao, M., Arpentin, G. Sensory evaluation of Fetească Neagră wine in Republic Moldova. In: *Magarach Vinogradstvo i Vinodelie*, 2022, vol. 24(1), 90-94. ISSN 0236-1264. Disponibil: [10.35547/IM.2022.38.66.014](https://doi.org/10.35547/IM.2022.38.66.014)

1.3. în reviste din Registrul Național al revistelor de profil (cu indicarea categoriei)

Categoria B+: **Wang, F.**, Yao, M., Arpentin, G. Exploring the Micro and Macro terroir of Feteasca Neagra wine from Moldova. In: *Journal of Engineering Sciences*, 2024, vol. 31, nr.1, pp. 97-111. ISSN 2587-3474. Disponibil: [https://doi.org/0.52326/jes.utm.2024.31\(1\).08](https://doi.org/0.52326/jes.utm.2024.31(1).08)

Wang, F., Yao, M., Arpentin, G. Application of gas chromatography-ion mobility spectrometry(gc-ims) to characterize volatile signatures of fetească neagră wines from the igp ștefan vodă region. In: *Journal of Engineering Science*. 2025, vol. 32, nr. 4, pp. 150-160. ISSN 2587-3474. Disponibil: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2025.32\(4\).11](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2025.32(4).11).

Categoria B: Yao, M., **Wang, F.**, Arpentin, G. Studiul microorganismelor strugurilor din Parcelele Republicii Moldova: influența factorilor uman și natural. In: *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*, 2023, vol.70, nr.3, pp. 99-106. ISSN 1857-0461/ISSNe 2587-3687. <https://doi.org/10.52673/18570461.23.3-70.08>

2. Articole în lucrările conferințelor și altor manifestări științifice

2.1. în lucrările manifestărilor științifice incluse în bazele de date Web of Science și SCOPUS (Manifestare științifică internațională (baza de data SCOPUS))

Yao M., **Wang F.**, Arpentin G., Xiao C. Volatile compounds as indicators of terroir differentiation in Moldovan Feteasca Neagra wines. In: *IVES Conference Series, 46th World Congress of Vine and Wine, Chișinău, Moldova*. 2025. Disponibil: <https://doi.org/10.58233/Xg Y6a09Y>

Wang, F., Yao, M., Arpentin, G. Terroir of Fetească Neagră wines from Moldova. In: *International Scientific-Practical Conference on Modern Trends of Science, Innovative Technologies in Viticulture and Winemaking*. Yalta, Rusia, 2023, vol. 78, pp. 1-7. ISSN 2117-4458. Disponibil: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237805003>

2.2. în lucrările manifestărilor științifice incluse în alte baze de date acceptate de către ANACEC (Manifestare științifică internațională (baza de data DOAJ))

WANG, F. Phenology of the native species Fetească Neagră in Moldova under the background of climate change. In: *Smart Life Sciences and Technology for Sustainable Development, Ed. Ediția 13*, 28 iunie 2023, Chișinău. Chișinău: „Tehnica-UTM”, 2023, Ediția 13, p. 61. ISBN 978-9975-64-363-4.

Yao, M., **Wang, F.**, Arpentin, G. Bioprotection as a tool to produce natural wine: Impact on physicochemical and sensory analysis. In: *43rd World Congress of Vine and Wine, Ensenada, Mexico*. 2022, vol. 56, pp. 1-4. ISSN 2273-1709. Disponibil: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20235602019>

ADNOTARE

Teza de doctorat elaborată de WANG Fei, cu tema „Argumentarea itinerariilor de producere struguri-vin adaptate la cerințele piețelor de desfacere”, specialitatea 253.03 - Tehnologia băuturilor alcoolice și nealcoolice, este consacrată fundamentării științifice a unui model tehnologic integrat de valorificare a terroirului în vinificarea soiului autohton Fetească Neagră.

Teza este structurată în introducere, cinci capitole, concluzii și recomandări, bibliografie cu 221 de titluri și 6 anexe. Conținutul de bază însumează 121 pagini, incluzând 20 tabele și 17 figuri. Rezultatele cercetării au fost reflectate în 10 publicații științifice.

Cuvinte-cheie: Fetească Neagră, terroir, compuși organici volatili, GC-IMS.

Scopul lucrării constă în elaborarea și validarea unui model tehnologic bazat pe corelarea parametrilor agro-pedo-climatici cu profilul compușilor organici volatili și cu deciziile tehnologice de vinificare, în vederea optimizării expresiei aromatice și adaptării produsului la cerințele pieței.

Obiectivele cercetării au vizat: caracterizarea multicriterială a unităților de terroir din regiunile cu Indicație Geografică Protejată ale Republicii Moldova; determinarea profilului volatil prin tehnica GC-IMS și analiză statistică multivariată; identificarea markerilor aromatici regionali prin calculul valorilor activității olfactive (OAV); stabilirea corelațiilor dintre indicii bioclimatici și expresia aromatică; fundamentarea și validarea itinerariilor tehnologice diferențiate.

Noutatea și originalitatea științifică constau în elaborarea modelului integrat „Terroir-Profil volatil-Piață”, care transformă terroirul într-un instrument tehnologic predictiv. Cercetarea a demonstrat existența unui gradient pedoclimatic regional și influența acestuia asupra distribuției compușilor volatili, fiind identificați 44 compuși organici volatili și 15 markeri aromatici cu impact senzorial major (OAV > 1). Analiza multivariată a confirmat diferențierea statistică a vinurilor în funcție de origine.

Valoarea practică și aplicativă constă în dezvoltarea unor itinerarii tehnologice adaptate tipologiei terroirului, care permit optimizarea macerației, fermentației și maturării pentru obținerea unor stiluri diferențiate de vin. Metodologia elaborată poate fi extinsă la alte soiuri autohtone și constituie un instrument operațional pentru managementul vitivinicol bazat pe date științifice.

Implementarea rezultatelor a fost realizată prin producerea a aproximativ 8000 de butelii destinate piețelor externe (China și Canada), precum și prin integrarea modelului în procesul de formare profesională, confirmând aplicabilitatea tehnologică și impactul economic al cercetării.

АННОТАЦИЯ

Диссертационная работа WANG Fei на тему «Обоснование технологических маршрутов производства вин из винограда с учетом требований рынков сбыта», специальность 253.03 - Технология алкогольных и безалкогольных напитков, посвящена научному обоснованию интегрированной технологической модели использования терруара при производстве вин из автохтонного сорта Фетяска Нягрэ.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и рекомендаций, библиографии, включающей 221 наименование, и 6 приложений. Основной текст изложен на 121 страницах и содержит 20 таблиц и 17 рисунков. Результаты исследования отражены в 10 научных публикациях.

Ключевые слова: Фетяска Нягрэ, терруар, летучие органические соединения, GC-IMS.

Цель работы заключалась в разработке и валидации технологической модели, основанной на корреляции агро-почвенно-климатических параметров с профилем летучих органических соединений и технологическими решениями в процессе виноделия, с целью оптимизации ароматического выражения и адаптации продукции к требованиям рынка.

В задачи исследования входили: мультикритериальная характеристика единиц терруара регионов с защищенным географическим указанием Республики Молдова; определение профиля летучих соединений методом GC-IMS с применением многомерного статистического анализа; идентификация региональных ароматических маркеров на основе показателя активности запаха (OAV); установление корреляций между биоклиматическими индексами и ароматическим профилем; обоснование и валидация дифференцированных технологических маршрутов.

Научная новизна и оригинальность заключаются в разработке интегрированной модели «Терруар-Профиль летучих соединений-Рынок», которая трансформирует понятие терруара в предиктивный технологический инструмент. В ходе исследования доказано существование регионального почвенно-климатического градиента и его влияние на распределение летучих соединений. Идентифицировано 44 летучих органических соединения, из которых 15 являются ключевыми ароматическими маркерами (OAV > 1). Многомерный анализ подтвердил статистически значимую дифференциацию вин в зависимости от их происхождения.

Практическая и прикладная ценность работы состоит в разработке технологических маршрутов, адаптированных к типологии терруара, что позволяет оптимизировать процессы мацерации, ферментации и выдержки для получения дифференцированных стилей вина. Предложенная методология может быть распространена на другие автохтонные сорта винограда и представляет собой операционный инструмент управления виноградарством и виноделием на основе научных данных.

Результаты исследования внедрены в промышленную и образовательную практику посредством производства около 8000 бутылок вина, предназначенных для рынков Китая и Канады, а также путем интеграции модели в процесс профессиональной подготовки, что подтверждает технологическую применимость и экономическую значимость выполненной работы.

ABSTRACT

The doctoral thesis authored by WANG Fei, entitled “Substantiation of Grape-to-Wine Production Itineraries Adapted to Market Requirements”, specialty 253.03 - Technology of Alcoholic and Non-Alcoholic Beverages, is devoted to the scientific substantiation of an integrated technological model for valorizing terroir in the vinification of the autochthonous grape variety Fetească Neagră.

The thesis consists of an introduction, five chapters, general conclusions and recommendations, a bibliography comprising 221 references, and 6 appendices. The main body includes 121 pages, containing 20 tables and 17 figures. The research results have been published in 10 scientific papers.

Keywords: Fetească Neagră, terroir, volatile organic compounds, GC-IMS.

The aim of the research was to develop and validate a technological model based on the correlation between agro-pedo-climatic parameters and the profile of volatile organic compounds, as well as winemaking decisions, in order to optimize aromatic expression and adapt the final product to market requirements.

The research objectives included: multicriteria characterization of terroir units within the Protected Geographical Indication (PGI) regions of the Republic of Moldova; determination of the volatile profile using GC-IMS and multivariate statistical analysis; identification of regional aromatic markers through Odor Activity Values (OAV); establishment of correlations between bioclimatic indices and aromatic expression; and substantiation and validation of differentiated technological itineraries.

The scientific novelty and originality consist in the development of the integrated model “Terroir-Volatile Profile-Market”, which transforms the concept of terroir into a predictive technological tool. The research demonstrated the existence of a regional pedoclimatic gradient and its influence on the distribution of volatile compounds. A total of 44 volatile organic compounds were identified, including 15 key aromatic markers with OAV > 1. Multivariate analysis confirmed the statistically significant differentiation of wines according to origin.

The practical and applied value of the research lies in the development of terroir-adapted technological itineraries enabling the optimization of maceration, fermentation, and maturation processes to obtain differentiated wine styles. The proposed methodology can be extended to other autochthonous grape varieties and represents an operational tool for data-driven viticultural management.

The scientific results were implemented through the production of approximately 8,000 bottles destined for external markets (China and Canada), as well as through integration into professional training processes, confirming the technological applicability and economic impact of the research.

WANG FEI

**ARGUMENTAREA ITINERARIILOR DE PRODUCERE STRUGURI-VIN
ADAPTATE LA CERINȚELE PIETELOR DE DESFACERE**

253.03 - TEHNOLOGIA BĂUTURILOR ALCOOLICE ȘI NEALCOOLICE

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Aprobat spre tipar 12.03.2026
Formatul hârtiei 60 x 84 1/16
Hârtie ofset. Tipar ofset.

Tiraj: 35 ex.
Coli de tipar: 1,7
Comanda nr.57

Centrul Editorial-Poligrafic al UPS „Ion Creangă” Str. Ion Creangă 1, Chișinău, MD-2069