|  |
| --- |
| **УНИВЕРЗИТЕТ „МЕГАТРЕНД“, БЕОГРАД** |
| **ФАКУЛТЕТ ЗА БИОФАРМИНГ, БАЧКА ТОПОЛА** |

|  |
| --- |
| **Ирфан Мујановић** |
|  |
| **ВАРИЈАБИЛНОСТ КРУПНОЋЕ ПЛОДА, САДРЖАЈА И ПРОФИЛА АНТОЦИЈАНСКОГ САСТАВА КОД РАЗЛИЧИТИХ ПОПУЛАЦИЈА БОРОВНИЦЕ *(VACCINIUM MYRTILLUS L.)* УЗАВИСНОСТИ ОД ЕКОЛШКИХ УСЛОВА СЕВЕРНЕ ЦРНЕ ГОРЕ** |
|  |
| **Докторска дисертација** |

**Бачка Топола, 2025**

|  |
| --- |
| **УНИВЕРЗИТЕТ „МЕГАТРЕНД“, БЕОГРАД** |
| **ФАКУЛТЕТ ЗА БИОФАРМИНГ, БАЧКА ТОПОЛА** |

|  |
| --- |
| **ВАРИЈАБИЛНОСТ КРУПНОЋЕ ПЛОДА, САДРЖАЈА И ПРОФИЛА АНТОЦИЈАНСКОГ САСТАВА КОД РАЗЛИЧИТИХ ПОПУЛАЦИЈА БОРОВНИЦЕ *(VACCINIUM MYRTILLUS L.)* УЗАВИСНОСТИ ОД ЕКОЛШКИХ УСЛОВА СЕВЕРНЕ ЦРНЕ ГОРЕ** |
|  |
| **Докторска дисертација** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ментор: | | Кандидат: |
| **Проф. др. Горица Цвијановић** | **Mаст. инж. Ирфан Мујановић** | |

**Бачка Топола, 2025**

**УНИВЕРЗИТЕТ „МЕГАТРЕНД“, БЕОГРАД**

**ФАКУЛТЕТ ЗА БИОФАРМИНГ, БАЧКА ТОПОЛА**

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Редни број:  РБР |  | |
| идентификациони број:  ИБР |  | |
| Тип документације:  ТД | Монографска документација | |
| Тип записа:  ТЗ | Текстуални штампани материјал | |
| Врста рада:  ВР | Докторска дисертација | |
| Име и презиме аутора:  АУ | Ирфан Мујановић | |
| Ментор (титула, име, презиме, звање):  МН | Проф. др Горица Цвијановић, редовни професор-научни саветник | |
| Наслов рада:  НР | Варијабилност крупноће плода, садржаја и профила антоцијанског састава код различитих популација боровнице *(Vaccinium myrtillus l.)* у зависности од еколошких услова северне Црне Горе | |
| Језик публикације:  ЈП | Српски, ћирилица | |
| Језик извода:  ЈИ | Српски и енглески | |
| Земља публиковања:  ЗП | Република Србија | |
| Уже географско подручје:  УГП | Аутономна Покрајина Војводина | |
| Година:  ГО | | 2025. |
| Издавач:  ИЗ | | Ауторски репринт |
| Место и адреса:  МА | | Бачка Топола, Маршала Тита 39 |
| Физички опис рада:  ФО | | Број поглавља- 9 / страница- 120 / табела- 13 / слика- 13 / референци -162 |
| Научна област:  НО | | Биотехничке науке |
| Научна дисциплина:  НД | | -- |
| Предметна одредница, кључне речи:  ПО | | Антоцијани, природни пигменти, боровница, феноли, UV зрачење, надморска висина, еколошки услови станишта |
| УДК | |  |
| Чува се:  ЧУ | | Библиотека, Факултет за биофарминг, Бачка Топола; Универзитет „Мегатренд“, Београд |
| Важна напомена: | |  |
| Датум прихватања теме од стране ННВ: | |  |
| Датум одбране: | |  |
|  | | |
| **Чланови комисије:**  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **др Горица Цвијановић, ментор,**  Редовни професор, Факултет за биофарминг,  Универзитет „Мегатренд”, Београд  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **др Сања Ђуровић, коментор,**  Научни сарадник, Институт за заштиту биља  и животну средину, Београд  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **др Јасмина Балијагић, члан**  Редовни професор, Биотехнички факултет,  Универзите Црне Горе, Подгорица  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **др Ратибор Штрбановић, члан,**  Виши научни сарадник, Институт за заштиту биља  и животну средину, Београд  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **др Добривој Поштић, члан,**  Научни саветник, Институт за заштиту биља  и животну средину, Београд | | |

**UNIVERSITY МЕGATREND, BELGRADE**

**FACULTY OF BIOFARMING, BAČKA TOPOLA**

KEY WORD DOCUMENTATION

|  |  |
| --- | --- |
| Accession number:  ANO |  |
| Identification number:  INO |  |
| Document type:  DT | Monograph documentation |
| Type of record:  TR | Textual printed material |
| Contents code:  CC | Doctoral dissertation |
| Author:  AU | Irfan Mujanović |
| Mentor:  MN | PhD Gorica Cvijanović, full professor-research associate |
| Title:  TI | Variability of fruit size, content and anthocyanin composition profile in different blueberry (*Vaccinium myrtillus L.*) populations depending on ecological conditions in northern Montenegro |
| Language of text:  LT | Serbian |
| Language of abstract:  LA | English and Serbian |
| Country of publication:  CP | Republic of Serbia |
| Locality of publication:  LP | Autonomous Province of Vojvodina |
| Publication year:  PY | 2025 |
| Publisher:  PU | Author reprint |
| Publication place:  PP | BačkaTopola, MaršalaTita 39 |
| Physical description:  PD | Number of chapters - 9 / pages -120 / tables - 13/ images -13 / references -162 |
| Scientific field  SF | Biotechnical sciences |
| Scientific discipline  SD |  |
| Subject, Key words  SKW | Аnthocyanins, natural pigments, bilberry, phenolics,  UV radiation, altitude, environmental factors. |
| UC |  |
| Holding data:  HD | Library, Faculty of Biofarming, “Megatrend” University, Belgrade |
| Note: |  |
| Accepted on Scientific Board on: |  |
| Defended: |  |
| **Thesis Defend Board:**  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **Gorica Cvijanović, PhD, member and supervisor,**  Full professor, Principal Research Fellow,  Faculty of Biofarming, „Megatrend”, University of Belgrade  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **Sanja Đurović, PhD, member and cosupervisor,**  Research associate, Institute for Plant Protection  and Environment, Belgrade  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **Jasmina Balijagić, PhD, member,**  Full Professor, Faculty of Biotechnology,  University of Montenegro, Podgorica  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **Ratibor Štrbanović, PhD, member,**  Senior **Research Fellow**, Institute for Plant Protection  and Environment, Belgrade  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  **Dobrivoj Poštić, PhD, member,**  Principal Research Fellow, Institute for Plant Protection  and Environment, Belgrade | |

**ЗАХВАЛНИЦА**

Овом приликом желим да изразим своју дубоку захвалност свима који су допринијели изради ове докторске дисертације.

Свом ментору, редовном професору Факултета за биофарминг, Универзита „Мегатренд”, Београд, др Горици Цвијановић, на неизмјерном стрпљењу, савјетима и вођењу током свих фаза мог истраживања и писања.

Такође, велику захвалност дугујем коментору др Сањи Ђуровић, мојим професорима са Биотехничког факултета др Миодрагу Јованчевићу и др Небојши Менковићу.

Члановима комисије на корисним сугестијама и конструктивним критикама које су унаприједиле квалитет ове дисертације др Јасмини Балијагић, др Добривоју Поштићу и др Ратибору Штрбановиђу.

Захваљујем се професорима и административном особљу Мегатренд универзитета, Факултета за биофарминг, на љубазности, професионалности и спремности да помогну у сваком тренутку.

Велику захвалност дугујем својим родитељима, брату, супрузи и мојој деци Мелини и Малику, као и породици Лукач на разумијевању, стрпљењу и подршци.

Ирфан Мујановић

**ЛИСТА СКРАЋЕНИЦА**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **СКРАЋЕНИ НАЗИВ** | | **ЕНГЛЕСКИ НАЗИВ** | | **СРПСКИ НАЗИВ** |
| NO | Nitrous oxide | | Азот моноксид | |
| FW | Fresh weight | | Свежа маса | |
| DW | Dry weight | | Сува маса | |
| NPK | Mineral fertiliser with nitrogen, phosphorus and potassium | | Минерално ђубриво са азотом, фосфором и калијумом | |
| PAR | Photosynthetically active radiation | | Фoтосинтетски активно зрачење | |
| DNA | Deoxyribonucleic acid | | Дезоксирибонуклеинска киселина | |
| АВА | Abscisic acid | | Абсцисинска киселина | |
| ROS | Reactive oxygen species | | Реактивнe врстe кисеоника | |
| COP1 | Photomorphogenesis protein | | Протеин фотоморфогенезе | |
| SPA1 | Phytochrome A suppressor | | Супресор фитохрома А | |
| DPPH | Superoxide dismutase | | Супероксид дисмутаза | |
| F3′H | Flavonoid-3-hydroxylase | | Флавоноид-3-хидроксилаза | |
| F3′5′H | Flavonoid-3-5-hydroxylase | | Флавоноид-3-5-хидроксилаза | |
| FLS | Flavonol synthase | | Флавонол синтаза | |
| DFR | Dihydroflavonol synthase | | Дихидрофлавонол синтаза | |
| ANS | Anthocyanidin synthase | | Антоцијанидин синтаза | |
| UDP-glukoza | Uracil diphosphate glucose | | Урацил дифосфат глукоза | |
| UFGT | 3-O-glycosyl transferase | | 3-О-гликозил трансфераза | |
| CHS | Chalcone synthase | | Халкон синтаза | |
| *VmMYBA1* | Anthocyanin biosynthesis gene | | Gен биосинтезе антоцијана | |
| TPC | Total phenol content | | Укупни садржај фенола | |
| TA | Total anthocyanins | | Укупни антоцијани | |
| N | Nitrogen | | Азот | |
| BE | Bilberry extract | | Екстракт боровнице | |
| GA | Galic acid | | Гална киселина | |
| HPLC | High-performance liquid chromatography | | Течна хроматографија високих перформанси | |
| HPTLC | High-performance thin layer chromatography | | Танкослојна хроматографија високих перформанси | |
| UV | Ultraviolet | | Ултравиолентно зрачење | |
| LSD | Least significant difference | | Најмања значајна разлика | |
| PCA | Principal component analysis | | Анализа главних компоненти | |
| ANOVA | Analysis of variance | | Анализа варијансе | |
| Dp | Delphinidin | | Делфинидин | |
| Cy | Cyanidine | | Цијанидин | |
| Pt | Petunidine | | Петунидин | |
| Pn | Peonidin | | Пеонидин | |
| Mv | Malvidin | | Малвидин | |
| C | Carbon | | Угљеник | |
| H2O2 | Hydrogen peroxide | | Водоник пероксид | |

**САДРЖАЈ**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **КЉУЧНА ИНФОРМАЦИЈСКА ДОКУМЕНТАЦИЈА** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ............................................. | | | | i |
| **KEY WORD DOCUMENTATION** | | | | | | | | | | | | | | | | ................................................................................. | | | | | | | | | | | iv |
| **ЛИСТА СКРАЋЕНИЦА** | | | | | | | | | | | ................................................................................................. | | | | | | | | | | | | | | | | ix |
| **САДРЖАЈ** | | | | ....................................................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x |
| **ИЗВОД** | | | ................................................................................................................................. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 12 |
| **SUMMARY** | | | | | ....................................................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 14 |
| **1. УВОД** | | | | ........................................................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 16 |
| **2. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА** | | | | | | | | | | | | | ......................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | 20 |
| **3. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ** | | | | | | | | | | | | | | ..................................................................................... | | | | | | | | | | | | | 21 |
| **4. РАДНА ХИПОТЕЗА** | | | | | | | | | | | ................................................................................................ | | | | | | | | | | | | | | | | 36 |
| **5. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА** | | | | | | | | | | | | | | | | | | ............................................................................. | | | | | | | | | 37 |
|  | | **5.1. Биљни материјал** | | | | | | | | | | ........................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | 37 |
|  | | **5.2. Методе рада** | | | | | | | | .................................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | | | 38 |
|  | | **5.3. Статистичка анализа података** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ..................................................................... | | | | | | 41 |
|  | | **5.4. Климатски услови у периоду извођења огледа** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | .......................................... | | | 42 |
|  | | **5.5. Особине земљишта** | | | | | | | | | | | ......................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | 46 |
| **6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ........................................................................... | | | | | | | | 49 |
|  | **6.1. Продуктивне особине** | | | | | | | | | | | | | .................................................................................... | | | | | | | | | | | | | 49 |
|  | 6.1.1. Ширина плода боровнице | | | | | | | | | | | | | | | | | ............................................................................ | | | | | | | | | 49 |
|  | 6.1.2. Висина плода боровнице | | | | | | | | | | | | | | | | ............................................................................. | | | | | | | | | | 51 |
|  | 6.1.3. Просечна маса плода | | | | | | | | | | | | | | ................................................................................... | | | | | | | | | | | | 53 |
|  | **6.2. Хемијске особине** | | | | | | | | | | | ........................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | 55 |
|  | 6.2.1. Садржај укупних фенола | | | | | | | | | | | | | | | | ............................................................................. | | | | | | | | | | 55 |
|  | 6.2.2. Садржај укупних антоцијана | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ...................................................................... | | | | | | | 58 |
|  | 6.2.3. Садржај појединачних антоцијанидина: цијанидина,  делфинидина, петунидина, пеонидина и малвидина | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ................................ | 60 |
|  | 6.2.4. Садржај ди-, три-субституисаних и метоксилованих  деривата антоцијана | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ................................ | 66 |
|  | **6.3. Корелациона повезаност испитиваних особина** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ......................................... | | 70 |
|  | **6.4. PCA мултиваријациона анализа** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ................................................................... | | | | | 73 |
| **7. ДИСКУСИЈА** | | | | | | | | ............................................................................................................ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 75 |
| **8. ЗАКЉУЧАК** | | | | | | | ............................................................................................................. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 92 |
| **9. ЛИТЕРАТУРА** | | | | | | | | | ......................................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | | | | 101 |
| **СПИСАК ТАБЕЛА** | | | | | | | | | ......................................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | | | | 115 |
| **СПИСАК СЛИКА** | | | | | | | | | ......................................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | | | | 116 |
| **ПРИЛИЗИ** | | | | ...................................................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 117 |
| **БИОГРАФИЈА** | | | | | | ............................................................................................................... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 119 |

# ИЗВОД

Антоцијани су природни пигменти који припадају групи флавоноида, поткласе полифенолних једињења. Боровница (*Vaccinium myrtillus L.*) је комерцијално важна врста дивљих бобица, која акумулира велике количине полифенола, посебно антоцијана у кожи и месу плода. Ово истраживање имало је за циљ утврђивање продуктивних особина бобице (ширине, висине и масе плода), укупног садржаја фенола (TPC), укупног садржаја антоцијана (ТА) и профила антоцијана у бобицама тридесет популација самоникле дивље боровнице из пет региона северне Црне Горе.

Испитивани фактор популација дивље боровнице је врло значајно утицала на све испитиване продуктивне особине плода боровнице. Код узорака боровнице пореклом са локалитета Жуте косе (ZK\*), Подбишће (PО) и Вељи Поток (VP\*) утврђена је највећа ширина плода и највећа маса плода. Такође, у узорку боровнице пореклом са локалитета Брекњача (BR\*) у региону Рожаје забележена је најнижа ширина плода и најмања маса плода. Овакав однос продуктивних особина ширине плода и масе плода потврђен је и високом корелацијом између ова два показатеља продуктивности боровнице.

Највећа висина плода 7,9 mm дивље боровнице забележена је на локалитету Турјак (TU) у региону Рожаје, док је најмања вредност висине плода дивље боровнице 6,8 mm утврђена на локалитетима Црни Врх (CV) и Рутовка (RU\*) у региону Беране. Највећа висина плода 7,9 mm дивље боровнице забележена је на локалитету Турјак (TU) у региону Рожаје, резултат услова средине је на оба локалитета популације боровнице расле су на надморској висини преко 1.500 m и са врло високом UV радијацијом преко 0,440 W/m2.

Најнижа вредност висине плода дивље боровнице од 6,8 mm установљена је на локалитету Црни Врх (CV) у региону Беране је последица нешто ниже надморске висине око 1.100 m и UV радијације 0,262 W/m2, док је на локалитету Рутовка (RU\*) последица је услова средине источне експозиције и засене у којима је расла популација боровнице. Код истих узорака дивље боровнице пореклом са локалитетима Црни Врх (CV) и Рутовка (RU\*) са најмањом висином плода забележена је и најнижа маса плода. Овакви резултати су очекивани јер између ове две продуктивне особине је констатована и врло висока корелација.

Укупан садржај антоцијана у испитиваним дивљим боровницама кретао се од 236 до 656 mg/100g. Утврђено је да је делфинидин најзаступљенији агликон, а затим следи цијанидин. Региони и локалитети на већим надморским висинама (1129-1699 m) и са високим UV зрачењем (0,370-0,480 W/m²) имали су веће вредности (TPC) и (ТА) антоцијана. Постојале су значајне варијације у садржају антоцијана унутар и између популација, што указује на разлике у сировом материјалу узорака дивље боровнице. Варијације у садржају антоцијана изражене у различитим популацијама боровнице из различитих региона су резултат кумулативних ефеката генотипа и животне средине. Констатовано је да су узорци популација боровнице пореклом са јужних подручја оствариле значајно ниже вредности TPC и TA, у поређењу са узорцима пореклом из северних региона.

Забележена је висока позитивна корелација између садржаја антоцијана, надморске висине и UV зрачења, са три-супституисаним, ди-супституисаним и метоксилованим дериватима који се повећавају са висином, заједно са садржајем малвидина. У поређењу са другим европским земљама, боровнице из овог региона су богатије три-субституисаним и метоксилованим дериватима, посебно садржајем малвидина, који се сматра драгоценим за здравље.

Мојковачки регион се посебно истиче, где на већим надморским висинама преко 1.600 m и са високим UV зрачењем, бележи највеће вредности ди-, три-супституисаних и метоксилованих деривата антоцијана, као и антоцијанидина делфинидина, пеонидина и малвидина, што указује да је микробиом утицао на акумулацију фенолних фитохемикалија у боровници.

Утврђено је да су узорци 30 популација дивље самоникле боровнице из 5 региона северне Црне Горе високе биолошке вредности, односно одличног квалитета на основу прописаних критеријума за садржај антоцијана у Европској фармакопеји. Ово истраживање сугерише да фактори животне средине, као што су надморска висина, сунчева светлост, UV зрачење, дневне температуре и топографија, утичу на крупноћу прода и синтезу и акумулацију антоцијана у плоду боровнице.

Вредности продуктивних особина, као и синтеза секундарних метаболита директно су дефинисане морфолошком архитектуром биљака смоникле дивље боровнице, која је резултат утицаја деловања локалних услова средине.

**Кључне речи**: антоцијани, природни пигменти, боровница, феноли, UV зрачење, надморска висина, еколошки услови станишта.

# SUMMARY

Anthocyanins are natural pigments belonging to the flavonoid group, subclasses of polyphenol compounds. Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) is a commercially important wild berry species, which accumulates high quantities of polyphenols, especially anthocyanins in the skin and flesh. This research aimed to determine the productive traits of the berry (width, height and fruit weight), total phenolic content (TPC), total anthocyanin content (TA) and anthocyanin profile in the berries of thirty populations of wild blueberry from five regions of northern Montenegro.

The tested factor wild bilberry population had a very significant impact on all tested productive traits of bilberry fruit. Bilberry samples originating from the localities Žute kose (ZK\*), Podbišće (PO) and Velji potok (VP\*) had the largest fruit width and the largest fruit mass. Also, the bilberry sample originating from the locality Breknjača (BR\*) in the Rožaje region had the lowest fruit width and the smallest fruit mass. This relationship between the productive traits of fruit width and fruit mass was also confirmed by the high correlation between these two indicators of bilberry productivity.

The highest wild bilberry fruit height of 7.9 mm was recorded at the Turjak (TU) site in the Rožaje region, while the lowest wild bilberry fruit height value of 6.8 mm was recorded at the Crni Vrh (CV) and Rutovka (RU\*) sites in the Berane region. The highest wild bilberry fruit height of 7.9 mm was recorded at the Turjak (TU) site in the Rožaje region, as a result of environmental conditions in both sites, where bilberry populations grew at altitudes above 1,500 m and with very high UV radiation of over 0.440 W/m2.

The lowest value of wild bilberry fruit height of 6.8 mm was established at the Crni Vrh (CV) site in the Berane region, due to a slightly lower altitude of about 1,100 m and UV radiation of 0.262 W/m2, while at the Rutovka (RU\*) site it was due to the conditions of mid-eastern exposure and shade in which the bilberry population grew. The same wild blueberry samples originating from the Crni Vrh (CV) and Rutovka (RU\*) sites with the lowest fruit height also recorded the lowest fruit mass. Such results were expected because a very high correlation was also found between these two productive traits.

The total anthocyanin content in the wild bilberries tested ranged from 236 to 656 mg/100g. Delphinidin was found to be the most abundant aglycone, followed by cyanidin. Regions and localities at higher altitudes (1129-1699 m) and with high UV radiation (0.370-0.480 W/m²) had higher values ​​of (TPC) and (TA) anthocyanins. There were significant variations in anthocyanin content within and between populations, indicating differences in the raw material of the wild bilberry samples. Variations in anthocyanin content expressed in different bilberry populations from different regions are the result of cumulative effects of genotype and environment. It was found that samples of bilberry populations originating from southern areas achieved significantly lower TPC and TA values, compared to samples originating from northern regions.

A high positive correlation was observed between anthocyanin content, altitude and UV radiation, with tri-substituted, di-substituted and methoxylated derivatives increasing with altitude, along with malvidin content. Compared to other European countries, bilberries from this region are richer in tri-substituted and methoxylated derivatives, especially in malvidin content, which is considered valuable for health.

The Mojkovac region stands out in particular, where at higher altitudes above 1,600 m and with high UV radiation, it records the highest values ​​of di-, tri-substituted and methoxylated anthocyanin derivatives, as well as the anthocyanins delphinidin, peonidin and malvidin, indicating that the microbiome influenced the accumulation of phenolic phytochemicals in bilberries.

It was determined that samples of 30 wild bilberry populations from 5 regions of northern Montenegro were of high biological value, i.e. of excellent quality based on the prescribed criteria for anthocyanin content in the European Pharmacopoeia. This research suggests that environmental factors, such as altitude, sunlight, UV radiation, daily temperatures and topography, influence the size of the fruit and the synthesis and accumulation of anthocyanins in bilberry fruit.

The values ​​of productive traits, as well as the synthesis of secondary metabolites, are directly defined by the morphological architecture of wild bilberry plants, which is the result of the influence of local environmental conditions.

**Keywords**: anthocyanins, natural pigments, bilberry, phenolics, UV radiation, altitude, environmental

factors.

# 

# 1. УВОД

Боровница (*Vaccinium mirtillus* L.), такође названа европска боровница, је листопадни ниско растући жбун пореклом из северне Европе, који се такође налази у другим различитим деловима Европе (**Nestby et al., 2011**), укључујући Црну Гору, широко распрострањен у полу-планинским пределима северне Црне Горе.

У оквиру константног интересовања за нутритивне и нутриционистичке особине локално произведеног воћа, циљ рада био је да се утврди садржај укупних полифенола, укупних антоцијана и појединачних антоцијанидина (делфинидина, цијанидина, петунидима, пеонидина и малвидина) дивљих боровница које самоникло расту у северној Црној Гори. Упоређен је састав секундарних метаболита плода боровнице између тридесет фитоклиматских услова, који се разликују по фотосинтетском активном зрачењу и интензитету светлости.



Слика1. Структурна формула антоцијанидина (**Lätti et al., 2008**)

Боровница (*Vaccinium mirtillus* L.) је лековито воће познато по високом садржају антоцијана, флавоноида, витамина, аскорбинске киселине, каротеноида, токоферола и фенолне киселине. Боровница се дуго користи у оријенталној медицини за превенцију и лечење разних болести, као што су оштрина вида, хипергликемија, дислипидемија, дијабетес, рак, гојазност, упалне и кардиоваскуларне болести (**Bayazid et al., 2021**).

**Bayazid et al. (2021)** наводе да је екстракт плода дивље боровницепоказао значајан утицај на смањење сдржаја слободних радикала и инхибицију оксидације линолне киселине. Такође, констатују да је екстракт плода боровнице смањио синтезу азот моноксида (NO) и иницирао настанак проинфламаторних цитокинина. На основу оваквих резултата сугеришу да је екстракт боровнице природни моћни антиоксиданc са антиинфламаторним дејством и богат извор антоцијана.

[**Mikulić-Petkovšek**](https://onlinelibrary.wiley.com/action/doSearch?ContribAuthorRaw=Mikulic-Petkovsek%2C+Maja) **et al. (2015)** у својим истраживањима наводе да боровнице садрже висок ниво антоцијанидина (цијанидин, делфинидин, малвидин, петунидин и пеонидин гликозида), деривате хидроксициметне киселине и ниске нивое флавонол гликозида (углавном гликозида кверцетина и мирицетина), флаван-3-ола, проантоцијанидина. Даље указују у својој студији на то да боровнице које расту на местима са високим фотосинтетичким активним зрачењем (PAR) садрже веће нивое укупних шећера, антоцијанина, флавонола и хидроксициметних киселина и ниже нивое органских киселина у поређењу са плодовима боровнице са слабо осветљених локација. И на крају констатују да на локацијама са високом PAR укупан садржај фенола и антиоксидативни капацитет плода су значајно повећани.

Боровница даје тамнољубичасте јестиве плодове и расте на киселим земљиштима на ливадама и влажним четинарским шумама, у умереној хладовини и влажним условима земљишта **(Chu et al., 2011)**. Боровнице се сматрају највреднијим бобицама, називају се плодовима планина које захватају велики део сунчеве енергије са високих платоа које претварају у здраву храну **(Ciulca et al., 2021)**. Плодови боровнице могу се конзумирати свежи, замрзнути или сушени, као и у различитим прерађеним облицима, као што су сокови, џемови, аналози вина, ликери или додаци исхрани **(Pires et al., 2020)**. С обзиром на то да се током прераде воћа утиче на ниво фенола, кориснија је потрошња свежег воћа, али су прерађени производи вредни извори фенолних једињења током целе године **(Zorenc et al., 2018)**.

Дивља боровница је класификована као биљка 1. класе од стране Америчког удружења биљних производа, што значи да се може безбедно конзумирати када се правилно користи. Препоручене дневне дозе су 20 - 60 g сувог воћа и 160 - 480 mg екстракта у праху **(Upton, 2001)**. Нутритивна вредност боровнице је око 399 kcal/100 g, а главна хемијска једињења су: угљени хидрати (94,5%), протеини (3%), пепео (1,5%) и масти (1%) **Pires et al. (2020)**. Плодови боровнице су драгоцени извори различитих микронутријената и фитокемијских једињења са важним здравственим предностима, као што су: фенолна једињења **(Ferlemi** и **Lamari, 2016; Mikulic-Petkovsek et al., 2012)**, витамини **(Cocetta et al., 2012)**, шећери **(Uleberg et al., 2012; Zorenc et al., 2016)**. Поред тога, плодови боровнице садрже значајне количине каротеноида, веће од култивисане боровнице **(Bunea et al., 2011)**.

Повећање потражње потрошача за плодовима боровнице повезано је са високим садржајем различитих фенолних једињења различитог здравствено-заштитног деловања **(Pires et al., 2020)**. Промене нутритивног и хемијског састава плодова боровнице последица су утицаја како генотипа тако и животне средине. Неколико студија је показало да воће које расте на северним географским ширинама има већи садржај фенола у поређењу са воћем из јужних географских ширина **(Lätti et al., 2008; Åkerström et al., 2010)**. Такође, у условима са високим фотосинтетичким активним зрачењем, укупан садржај фенола и антиоксидативни капацитет плодова боровнице значајно су порасли **(Mikulic-Petkovsek et al., 2014)**. На осунчаним местима са очуваним површинским слојем земљишта, плодови садрже веће количине фенолних једињења **(Vaneková et al., 2020)**, као и на већим надморским висинама **(Jovančević et al., 2011)**.

Главна фенолна једињења боровнице су флавоноиди, танини, фенолне киселине, али су најважнији антоцијани **(Scalzo et al., 2015)**. Боровница се сматра најбогатијим природним изворима антоцијана **(Ciulca et al., 2021)**. Ова једињења дају плаво-црну боју плодовима и сматрају се биолошки најактивнијим једињењима у боровници, а одговорна су за многе здравствене предности боровнице **(Popović et al., 2016)**. Концентрација антоцијана расте приближно 70 пута од зелених до зрелих плодова **(Gibson et al., 2013)** због промена које доводе до општег смањења синтезе других полифенола током сазревања боровнице и интензивирања синтезе антоцијана **(Karppinen et al., 2016)**. Количина антоцијана у плодовима дивље боровнице је више него двоструко већа у односу на плодове гајене боровнице **(Müller et al., 2012; Stefanescu et al., 2017)**. **Zoratti et al. (2015)** наводе у својим истраживањима да је повећање надморске висине повезано са прогресивним смањењем температуре и повећаним интензитетом светлости, што директно утиче на позитиван ефекат и повећање акумулацију антоцијана.

Екстракт плодова боровнице богат полифенолима има инхибиторну активност према ензиму -глукозидазу, па је тако користан у контроли дијабетеса типа 2 **(Karcheva-Bahchevanska et al., 2017)**. Екстракти боровнице су такође показали да имају заштитни ефекат на визуелну функцију током упале мрежњаче **(Miyake et al., 2011)** и антипролиферативно деловање у ћелијским линијама хуманог карцинома након ин виво третмана **(Šaponjac et al., 2015)**. Екстракти боровнице су такође показали инхибиторне ефекте против пероксидације липида и превентивну активност на оксидативно оштећење DNK **(Bayazid et al., 2021)**. У поређењу са гајеним генотиповима *Vaccinium corimbosum*, дивља боровница је имала приближно два до три пута већи антиоксидативни капацитет **(Milivojević et al., 2012; Celik et al., 2017)**, и већу концентрацију биоактивних компоненти **(Giovanelli et al., 2009; Bunea et al., 2011; Može et al., 2011)**, са великим позитивним утицајима на здравље **(Akagić et al., 2020)**.

Антиоксиданси су неопходни за превенцију и заштиту од деловања нестабилних слободних радикала, који узрокују оштећења различитих биомолекула у телу и доводе до рака, срчаних болести и многих повезаних здравствених проблема **(Bayazid et al., 2021)**. Исхрана богата антиоксидансима може бити ефикасан начин за смањење учесталости ових болести, јер антиоксиданси могу да блокирају напад слободних радикала **(Ciulca et al., 2021)**. Природне антиоксиданте преферирају потрошачи, јер су безбедни у поређењу са синтетичким антиоксидансима **(Li et al., 2009)**. С обзиром на то да већина природних антиоксиданата има реактивне атоме водоника који делују као редуктори, DPPH процедура је добра процена стандардног профила антиоксиданса **(Szerlauth et al., 2019)**.

Цијанидин, делфинидин, пеларгонидин, пеонидин, малвидин и петунидин су најчешћи антоцијанидини распрострањени у биљкама **(Khoo et al., 2017)**. Боровница садржи пуно антоцијанидина као што су цијанидин, делфинидин, петунидин, пеонидин, пеларгонидин и малвидин. Антоцијани, који имају антиоксидативна својства, у великој су корелацији са антиоксидативним и антиинфламаторним активностима **(Chu et al., 2011)**.

ROS се јавља прекомерно због дисбаланса метаболизма, недостатка природних антиоксиданата као што су антоцијани, флавоноиди и полифеноли, који ометају формирање ROS, играју кључну улогу у напредовању многих болести **(Mojica et al., 2015)**.

Садржај секундарних метаболита у различитим биљним органима варира због модификација експресије гена или њихове кодиране протеинске активности укључене у секундарни метаболизам под дејством различитих развојних фаза и стреса **(Li et al., 2020)**. Синтеза фенолних једињења је комбинаторна биосинтеза, укључујући путеве шикимата и ацетата **(Vilkickyte** и **Raudone, 2021)**. Даље, код боровнице генотип може значајно утицати на количину и квалитативни састав различитих фенолних једињења у плодовима **(Häkkinen** и **Törrönen, 2000)**. Варијације у полифенолном саставу су истакнуте у популацијама боровнице из различитих региона бербе, вероватно као последица кумулативних ефеката генотипа и животне средине **(Giordani et al., 2018)**.

# 2. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

**За циљ истраживања** ове докторске дисертације кандидат је поставио да се утврди утицај еколошких услова северне Црне Горе, на продуктивност и биолошку вредност тридесет популација самоникле дивље боровнице. У склопу актуелног интересовања за нутритивне и нутриционистичке особине домаће производње бобичастог воћа, циљ овог рада је да се утврди природа и садржај укупних полифенола и антоцијана плода дивљe боровницe у северној Црној Гори. Добијени резултати треба да укажу на значај природних станишта дивље боровнице у северној Црној Гори, као богатог извора микронутријената и фитохемикалија са високим здравственим потенцијалом за потрошаче.

На основу резултата у спроведеним истраживањима стећи ће се детаљан увид у природу и садржај полифенола и антоцијана у плодовима дивље боровнице за даља проучавања, као и њену потенцијалну експлоатацију што може бити значајан извор прихода у руралним срединама тог подручја.

# 3. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Дивља боровница (*Vaccinium myrtillus* L.) припада роду *Vaccinium*, породици *Ericaceae*. Позната је и под називом европска боровница спада међу најзначајније врсте шумског воћа. Порекло води из северне Европе, заступљена је широм Европе **(Nestby et al., 2011)**, западни Балкан, укључујући Црну Гору, где је широко распрострањена у полу-планинским пределима северне Црне Горе.

Дивља боровница расте и развија се на влажном киселом земљишту са pH од 4,5 до 5,5. Најбоља природна станишта су са сувим до влажним условима земљишта, сиромашна хранљивим материјама, добро дренирана иловаста или песковита и каменита земљишта, ливаде и пашњаци, у зонама листопадних, букових и четинарских шума у пуној или делимичној сенци **(Chu et al., 2011)**. Земљишта која су склона већој акумулацији воде јој не одговарају, јер то може довести до труљења кореновог система. Значајна је њена улога на планинским голетима и субалпским ацидофилним заједницама где обраста велике површине. Чест је становник многих планинских масива.

Дивља боровница је вишегодишњи листопадни жбун, висине 20-60 cm, јако разгранат са усправним избојцима, глатким гранама зелене боје. Коренов систем чине ризоми којима се шире по терену. Биљка дивље боровнице може да живи и до 30 година, а коренов систем може да допре до дубине од 1 m. Грмови боровнице су веома чврсти и имају добру отпорност према ниским температурама, могу да издрже температуре од -15 до -20 ℃.



Слика 2. Изглед ризома дивље боровнице

(Извор: <https://www.inaturalist.org/taxa>)

*Листови* су светлозелене боје једноставни су и наизменично распоређени по гранама. Дужина листова је 1-3 cm, јајасто овалног до копљастог или широко елиптичног облика, ситно назубљених ивица и са зашиљеним врховима. у јесен лишће добија тамно црвену боју и опада.

*Цветови* су потпуни и хермафродитни са дебелим дршкама (око 2-3 mm) развијају се појединачно у пазуху лишћа и окренути су на доле. Цветови подсећају на фењере розе-црвене су боје. Круница је дуга 4 до 6 mm зеленкасте до црвенкасте. Чашица је мала и спојена са ситним режњевима на цвету у облику чаше. Заобљене ружичасте латице у облику урне имају кратке, закривљене режњеве. У цвету се налази од 8-10 кратких прашника. Плодник се састоји из четири или пет комора и дугим стубићем. Фенофаза цветања се одвија од средине маја до средине јуна, зависно од надморске висине и климатских услова подручја **(Martinić** и **Kojić, 1998)**.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Flowers on inflorescens | Flower | Mature flowers | Flower cross-section |
| а) Цветови | б) Цвет | в) Зрео цвет | г) Попречни пресек цвета |

Слика 3. Изглед цвета дивље боровнице

(Извор: https://www.inaturalist.org/taxa)

*Плод* је сферична, спљоштено округла бобица пречника до 1 cm. На дршци плода расте једна бобица. Фенофаза сазревање плодова почиње крајем јула и почетком августа у зависности од надморске висине и климатских карактеристика подручја **(Martinić** и **Kojić, 1998)**. Плодови су карактеристичне љубичасто до црне боје са сочним, накиселим и ароматичним ружичасто-црвеним месом изнутра. У плоду се налази више семена у облику полумесеца браонкасте боје. На плоду се налази изражен ожиљак чашице и обилан пепељак. **Kalt et al. (2001)** наводе да су ситнији плодови имали већи антиоксидативни капацитет, а **Manninen** и **Peltola, (2019)** констатују да је антиоксидативни капацитет *Vaccinium* врста је у већој корелацији са укупним фенолима него sа антоцијанима.

 

Слика 4. Изглед плода дивље боровнице Слика 5. Попречни пресек плода

(Извор: <https://www.inaturalist.org/taxa>) (Извор: https://www.inaturalist.org/taxa)

Принос плода дивље боровнице је веома неизвестан и комплексан процес, који зависи од више фактора, као што су: газдовање шумама, историјат и старост заједнице **(Hedwall et al., 2013; Eldegard et al., 2019)** и климатских услова који варирају **(Boulanger-Lapointe et al., 2017)**, што директно утиче на значајно варирање приноса између година. **Nielsen et al. (2007)** у својим истраживањима наводе да просечни прираст биљака *V. myrtillus* опада са повећањем старости шума.

Боровница је генерално најзаступљенија на локалитетима средње продуктивности **(Ihalainen et al., 2005)**, док су мање заступљена у сеченим и младим шумама у поређењу са старијим заједницама **(Manninen** и **Peltola, 2019)**, на које утиче и састав врста дрвећа **(Gamfeldt et al., 2013; Eldegard et al., 2019)**. **Parlane et al. (2006)** наводе да подручја са делимичном засеном нуде најоптималније светлосне услове за развој дивље боровнице.

**Manninen** и **Peltola, (2019)** у спроведеним трогодишњим испитивањима у Финској тврде да су се принос и заметање плодова боровнице повећали након континуираног брања, односно да берба убрзава процес подмлађивања биљака боровница. Даље наводе да је релативна бројност функционалних биљака остала је иста након три године бербе, што сугерише да континуирано брање не погоршава приносе боровнице изазивањем промена у структури вегетацијске заједнице, односно да берба има позитиван ефекат на дугорочне перформансе боровнице. На основу ове студије, можемо закључити да интензивно брање бобица сваке године би било на одрживом нивоу.

Постоје и супротне тврдње других аутора **(Ciulca, 2006; Gamfeldt et al., 2013)**, који наводе да на ниво приноса утиче и чињеница да су биљке боровнице обилно цветале сваке друге године, што указује на двогодишњи образац цветања.

Многи аутори **(Wang** и **Jiao, 2000; Fernández-Calvo** и **Obeso, 2004; Roma** и **Ciulca, 2021)** констатују да је принос плода дивље боровнице повезан са величином једногодишњих изданака и такође је у корелацији са способношћу биљака да произведу нови раст (изданке) након губитка биомасе.

Варијабилност масе плода углавном је последица утицаја висине и ширине плода, и под ниским утицајем од облика и садржаја растворљиве чврсте материје у плодовима. **Roma** и **Ciulca, (2021)** указују на постојање позитивних корелација и статистички значајних односа између ширине и висине плода, са њиховом масом.

Такође, **Roma** и **Ciulca, (2021)** у својим истраживањима користећи анализу варијансе вишеструке регресије су утврдили да ширина плода има велики и значајан утицај (60,77 %) на масу плода, односно да висина плода утиче са 31,93 % на масу плода.

Промена висине плода има значајан негативан утицај на облик плода и садржај растворљиве суве материје у плоду **(Roma** и **Ciulca, 2021)**.

Повећање висине биљака дивље боровнице углавном доводи до повећања масе плода, док супротно повећање пречника стабљика и броја грана су негативно утицали на крупноћу, односно масу плода **(Roma** и **Ciulca, 2021)**. Даље су утврдили постојање негативне корелације између облика плода и садржаја растворљиве чврсте материје и масом плода, што указује да је плод са већом ширином богатији растворљивим чврстим материјама.

Главни и значајан утицај на раст биљке боровнице има пречник стабљике, а затим број грана. Промене дужине и површине листа остварила је низак утицај на варијабилност висине биљака. Површина листа показује индиректан негативан утицај на пречник стабљике и број грана **(Roma** и **Ciulca, 2021)**.

С обзиром на велику потражњу за свежим плодовима боровнице на тржишту, потребни су напори да се идентификују подручја у којима биљке дају велике приносе са високом биолошком вредошћу **(Zoratti et al., 2015)**. Биљке са високом биолошком вредношћу у погледу количине и квалитета плодова могу се идентификовати помоћу различитих особина у корелацији са карактеристикама приноса и квалитета **(Roma** и **Ciulca, 2021)**.

Плодови боровнице могу се конзумирати свежи, замрзнути или сушени, као и у различитим прерађеним облицима, као што су сокови, џемови, сирупи, аналози вина, ликери, чајеви, додаци исхрани **(Pires et al., 2020)**. С обзиром на то да се током прераде воћа утиче на ниво фенола, кориснија је потрошња свежег воћа, али су прерађени производи вредни извори фенолних једињења током целе године **(Zorenc et al., 2018)**. **Milivojević et аl. (2012)** наводе да се плодови мање користе у свежем стању, а више за замрзавање и прераду. Плодови шумске боровнице захваљујући изузетном биохемијском саставу остварују већу цену на светском тржишту него гајене сорте.

Плодови дивље боровнице су драгоцени извори различитих микронутријената и фитохемијских једињења, која имају вишеструко биолошко дејство, као што су: фенолна једињења **(Mikulic-Petkovsek et al., 2012; Ferlemi** и **Lamari, 2016)**, витамини **(Cocetta et al., 2012)**, шећери **(Uleberg et al., 2012; Milivojević et аl., 2012; Zorenc et al., 2016)**. **Bunea et al. (2011)** наводе да плод дивље боровнице садржи значајне количине каротеноида, веће од култивисане боровнице. Плодови боровнице су богати фенолним киселинама, стилбенима и флавоноидима, посебно антоцијанима, за које се процењује да представљају скоро 90% укупних фенола у овим бобицама **(Može et al., 2011; Skrede et al., 2012)**. Многа фенолна једињења су идентификована у боровницама и уочене су разлике у њиховим фенолним профилима и повезане са бројним факторима. **Gibson et al. (2013)** наводе да концентрација антоцијана током зрења расте приближно 70 пута од зелених до зрелих плодова, овако интензивна синтеза и промена количине антоцијана доводи до општег смањења синтезе других полифенола током сазревања плода **(Karppinen et al., 2016)**.

**Steyn, (2009)** и **Scalzo et al. (2015)** наводе такође, да антоцијани припадају групи флавоноидних једињења, која представљају главне пигменте у многим цветовима и плодовима, у којима делују као атрактанти инсеката и животиња и штите биљку од светлосног оксидативног стреса.

**Prior et al. (1998)** наводе да ниво антоцијана варира у зависности од врсте сорте, сезоне, степена зрелости и услова станишта, стога су подаци из објављене литературе прилично разнолики. Друге групе фенола идентификоване у боровницама су флавоноли, флаван-3-оли и хидроксициметне киселине **(Su, 2012; Wang et al., 2014; Colak et al., 2016; Colak et al., 2016a)**.

Нешто раније **Su, (2012), Khattab et al. (2016)** и **Stanoeva et al. (2017)** наводе да антоцијани представљају главну полифенолну групу једињења, која карактерише род *Vaccinium* и доприноси њиховим атрактивним љубичасто-плавим нијансама плода, као и дефинише биолошки вредност плода. Такође, **Ciulca et al. (2021)** наводе да се дивља боровница сматра најбогатијим природним извором антоцијана.

Док **Müller et al. (2012)** и **Stefanescu et al. (2017)** у својим истраживањима констатују да је количина антоцијана у плодовима дивље боровнице више него двоструко већа у односу на плодове гајене боровнице. Такође, **Milivojević et аl. (2012)** констатује да је ниво укупних фенола двоструко већи у поређењу са гајеним сортама високо жбунасте боровнице.

**Pires et al. (2020)** су утврдили у својим истраживањима да је нутритивна вредност плода боровнице око 399 kcal/100 g, а главна хемијска једињења су: угљени хидрати (94,5%), протеини (3%), пепео (1,5%), и масти (1%). **Mikulic-Petkovsek et al. (2012)** наводе да плод дивље боровнице садржи велике количине шећера (240–600 mmol/kg) и органских киселина (58–143 mmol/kg).

**Khoo et al. (2017)** наводе да су цијанидин, делфинидин, пеларгонидин, пеонидин, малвидин и петунидин су најчешћи антоцијани распрострањени у биљкама. Антоцијани се биосинтетишу путем фенилпропаноид/флавоноидног пута који се састоји од низа ензимских корака који катализују секвенцијалну реакцију која доводи до производње различитих антоцијанидина укључујући делфинидин (Dp), цијанидин (Cy), петунидин (Pt), пеонидин (Pn) и малвидин (Mv).

Сазревање воћа је сложен процес повезан са одређивањем различитих атрибута квалитета, као што су чврстоћа, укус, арома и развој боје. Пигменти антоцијана, као одговорни за развој боје, акумулирају се на високим нивоима током зрења дајући изражену црвену или плаву боју многим плодовима **(Zifkin et al., 2012; Oh et al., 2018)**. Иако антоцијани највише доприносе фенолном саставу у црвено-плавом воћу, флавоноли, као што су кверцетин и мирицетин, такође доприносе садржају флавоноида у многим јестивим бобицама **(Häkkinen et al., 1999; Wang et al., 2014)**. И антоцијани и флавоноли се синтетишу преко флавоноидног огранка из добро окарактерисане биосинтетске путање фенилпропаноида. Кључни ензими укључени у биосинтезу флавоноида су халкон синтаза (CHS), заједно са флавоноид хидроксилазама (F3'H and F3'5'H), који су ензими који ограничавају брзину у тачкама гранања цијанидина и делфинидина. Флавоноли се синтетишу из дихидрофлавонола помоћу флавонол синтазе (FLS). Касни биосинтетички ензими антоцијана, као што су дихидрофлавонол 4-редуктаза (DFR) и антоцијанидин синтаза (ANS), укључени су у производњу антоцијанидин агликона. UDP-глукоза флавоноид 3-О-глукозилтрансфераза (UFGT) обавља кораке гликозилације до 3-хидроксилне групе антоцијанидина **(Zhai et al., 2014)**. Овај секвенцијални процес доводи до производње различитих група антоцијана, укључујући деривате делфинидина, цијанидина, пеларгонидина, малвидина, петунидина и пеонидина **(Dare et al., 2022)**.

**Samkumar et al. (2022)** су утврдили да кључни регулаторни ген биосинтезе антоцијана, *VmMYBA1*, експримира пет пута више под третманом плавим светлом код одвојених бобица у поређењу са контролом.

У плодовима боровнице познато је да на квантитативни и квалитативни састав флавоноида снажно утиче развојна фаза плода **(Jaakola et al., 2002; Jaakola and Hohtola, 2010)**. Познато је да плодови боровнице акумулирају високе концентрације различитих антоцијана у покожици и месу током периода зрења, иако се наводи да генетски фактори и фактори животне средине такође утичу на коначни састав **(Lätti et al., 2008; Åkerström et al., 2010; Uleberg et al., 2012)**.

Промене нутритивног и хемијског састава плодова боровнице последица су утицаја како генотипа тако и животне средине. Па тако **Li et al. (2020)** наводе да садржај секундарних метаболита у различитим биљним органима варира због модификација експресије гена или њихове кодиране протеинске активности укључене у секундарни метаболизам под дејством различитих развојних фаза и стреса. **Vilkickyte** и **Raudone (2021)** наводе да синтеза фенолних једињења је комбинаторна биосинтеза, укључујући путеве шикимата и ацетата.

Даље, **Hakkinnen** и **Torrоnen (2000)** наводе да код боровнице генотип значајно утиче на количину и квалитативни састав различитих фенолних једињења у плодовима. Такође, **Giordani et al. (2018)** наводе да су варијације у полифенолном саставу биле значајне у популацијама боровнице из различитих региона бербе, што је вероватно била последица кумулативних ефеката и интеракције генотипа и животне средине. Сличне резултате износе и **Åkerström et al. (2010)** који тврде да је синтеза секундарних метаболита под јаком генетском контролом, иако фактори животне средине такође могу бити укључени у ту регулацију.

**Mengist et al. (2020)** констатују у свом опсежном проучавању велике колекције од 100 тетраплоидних боровница, да су утврдили умерену до високу херитабилност у широком смислу за све метаболите антоцијана и ниску херитабилност за флаваноле, флавоноле и фенолне киселине. Такође, **Connor et al. (2002)** у својим истраживањима наслеђивања биолошке вредности плода код дивље боровнице констатовали херитабилност за антиоксидативну активност (43%), укупне феноле (46%) и садржај укупних антоцијана (56%). Утврђене веће вредности херитабилности код гајених боровница у поређењу са резултатима код популација дивље боровнице, вероватно су последица много веће варијације фактора средине у природним условима станишта. Многи истраживачи **(Rieger et al., 2008; Jovančević et al., 2011; Zoratti et al., 2015)** из различитих европских земаља су у својим истраживањима утврдили утицај интеракције генотип-средина на акумулацију фенолних једињења, посебно антоцијана у природним популацијама боровнице.

*Квалитет сунчевог зрачења* је један од кључних фактора синтезе полифенола, а познато је да повећава експресију гена за биосинтезу флавоноида и садржај флавоноида у листовима боровнице **(Hokkanen et al., 2009; Martz et al., 2010)**.

**Martz et al. (2010)** наводе у својој студији да је интензитет светлости важнији фактор у стимулацији синтезе фенола од концентрације хранљивих материја у земљишту.

Такође, **Mikulic-Petkovsek et al. (2015)** наводе да у условима са високим фотосинтетичким активним зрачењем, укупан садржај фенола и антиоксидативни капацитет плодова боровнице значајно су порасли. **Vanekova et al. (2020)** констатују да на осунчаним местима, плодови садрже веће количине фенолних једињења, као и у случају већих надморских висина **(Jovančević et аl., 2011)**.

Значајно повећање количине фенолних једињења примећено је код биљака боровнице које се развијају на директној сунчевој светлости у поређењу са биљкама које расту у засени **(Jaakola et al., 2004; Lätti et al., 2008; Martz et al., 2010)**.

**Lätti et al. (2008)** и **Åkerström et al. (2010)** у својим студијама наводе да популације боровнице које су расле на северним географским ширинама садржале веће количине флавоноида, посебно антоцијана, у поређењу са боровницама из јужних географских ширина.

Такође, **Taulavuori et al. (2010)** у својим истраживањима констатују да на северним географским ширинама летње ноћи карактерише дуг сумрак са високим уделом плаве и дуго таласне црвене светлости што подстакло већу акумулацију антоцијана у плодовима боровнице већ у раним фазама сазревања плодова. До сличних закључака дошли су **Zoratti et al. (2014a)** у својим истраживањима да квалитет светлости утиче на изазивање квалитативних и квантитативних промена садржаја антоцијана у бобоцама током зрења.

Као што смо већ навели, познато је да квалитет спектра светлости утиче на биосинтезу флавоноида током зрења воћа. Па тако **Ma et al. (2021a)** наводе да је улога фактора животне средине, као што су специфичне таласне дужине зрачења светлости, потенцијално могу одредити укупан фенолни профил бобица и већи антиоксидативни потенцијал.

**Zoratti et al. (2014a)** користећи различите светлосне третмане у својим истраживањима констатују да квалитет светлости утиче на пут синтезе флавоноида. Односно, да спектрални састав светлости регулише акумулацију антоцијана у плодовима, показујући интеракцију између пута биосинтезе флавоноида и састава светлосног спектра који биљка прима. Даље наводе да се укупан садржај антоцијана у зрелим бобицама боровнице значајно повећао излагањем монохроматским светлима плаве, црвене и дуго таласне црвене боје, у поређењу са бобицама третираним белим светлом или држаним у мраку. Биљке које су гајене под белим светлом или у мраку, показале су значајно смањење садржаја Dp, што указује да је спектрални састав светлости укључен у акумулацију ове групе антоцијана. У истом истраживању **Zoratti et al. (2014a)** наводе да је већа количина укупних антоцијана у плодовима боровнице синтетисана као одговор на монохроматске таласне дужине светлости што је последица повећане продукције Dp и Pt у односу на Cy и Pn.

Такође, **Zoratti et al. (2014a)** констатују да светлосни третмани нису утицали на садржај Cy и Pn, док су Dp, Mv и Pt показали значајно повећање (р < 0,05) (33%, 46% и 38%) у бобицама боровнице биљака третираних монохроматским светлосним таласним дужинама, у поређењу са бобицама биљака које су гајене у условима беле светлости, што сугерише да квалитет светлости утиче на пут флавоноида. Док је садржај Mv показао другачије понашање од садржаја Dp и Pt, концентрација Mv је била значајно виша (p < 0,05) у бобицама остављеним у мраку него под било којим од светлосних третмана.

Даље **Zoratti et al. (2014a)** су показали да је третман биљака боровнице монохроматским светлосним таласним дужинама спектра видљиве светлости, чак и кратко време током периода сазревања плодова, довољан да изазове значајно повећање садржаја антоцијана у зрелим плодовима. Утврдили су да је квалитет светлости посебно утицао на биосинтезу делфинидин гликозида.

**Uleberg et al. (2012)** наводе да су веће количине антоцијана пронађене у плодовима боровнице гајеним у контролисаним условима у фитотрону са 24h природног дневног светла, опонашајући светлосне услове арктичких лета.

**Samkumar et al. (2022)** су излагали биљке дивље боровнице током фенофазе зрења третманом црвене и плаве светлости што је довело до повећане акумулације полифенола у бобицама. И црвено и плаво додатно светло повећало је нивое експресије свих главних структурних гена флавоноидног пута током зрења.

Даље **Samkumar et al. ( 2022)** констатују да је третман црвеним светлом природно зрелих бобица боровнице селективно повећао делфинидинску грану антоцијана. Поред тога, црвена и дуго таласна црвена светлост имале су позитиван утицај на акумулацију флавонола, посебно деривата кверцетина и мирицетин гликозида. Слично мишљење деле и **Ouzounis et al. (2015)** и **Abeysinghe et al. (2019)** да је светлост један од главних фактора животне средине који контролишу сазревање воћа и биосинтезу антоцијана. Такође је познато да одређене таласне дужине из опсега фотосинтетског активног зрачења (PAR) позитивно утичу и мењају метаболизам флавоноида **(Liu et al., 2018)**. Раније је утврђено да квалитет и интензитет светлости утиче на биосинтезу флавоноида и акумулацију антоцијана у плодовима гајених воћарских биљних врста **(Miao et al., 2016; Ma et al., 2019)**.

Спектралне таласне дужине сунчевог зрачења перципирају специфични биљни фоторецептори који делују на протеин конститутивну фотоморфогенезу (COP1), који је један од кључних контролора фотоморфогенезе **(Wu et al., 2019)**. COP1 ступа у интеракцију са светлосним индукујућим протеинима, као што је супресор фитохрома-А (SPA1), формирајући комплексе који доводе до чврсто регулисаног механизма каскаде сигнала што резултира променама у експресији и регулаторних и структурних гена биосинтетског пута флавоноида **(Ma et al., 2021a)**.

Репресор COP1 посебно делује у деградацији неких познатих позитивних регулатора биосинтезе антоцијана, као што су издужени хипокотил 5 (HY5) и транскрипциони фактори MYB у променљивим условима светла и таме **(Lu et al., 2017; Ma et al., 2021b)**.

У воћу је доказано да MYB регулишу акумулацију антоцијана и флавонола као одговор на специфичне светлосне услове посредовањем просторно-временских образаца експресије изазваних светлошћу **(Zoratti et al., 2014a; Lu et al., 2017)**.

Такође, допунске светлеће диоде (LED) омогућавају лаку модификацију светлосног спектра и стога се широко користе за проучавање светлосних ефеката и за побољшање састава биоактивних једињења у плодовима пре и после бербе **(Kokalj et al., 2019; Panjai et al., 2019)**.

Монохроматско светло или различита комбинација квалитета светлости може довести до значајних варијација у акумулацији специфичних секундарних метаболита у плодовима. У скоријим истраживањима **Silva et al. (2020)** и **Liang et al. (2021)** констатују да плава и црвена светлост у различитим односима утичу на биомасу, фотосинтезу и акумулацију антоцијана у неколико биљних врста. Ове две главне светлосне таласне дужине унутар PAR опсегу су опширно проучаване код многих воћарских биљних врста и поврћа и доказано је да подстичу синтезу секундарних метаболита **(Bian et al., 2015)**.

Даље, **Samkumar et al. (2021)** наводе да квалитет светлости регулише биосинтезу антоцијана у боровницама које сазревају и да је посебно црвено светло утицало да се подстакне акумулацију антоцијана, посредовано путем АВА сигнализације и метаболизма.

Многи аутори **(Arakawa, 1988; Zhou and Singh, 2002; Zoratti et al., 2014b; Zhang et al., 2018a; Samkumar, 2021; Samkumar et al., 2021)** у својим студијама наводе да специфичне спектралне таласне дужине светлости дате као додатно зрачење током зрења могу стимулисати биосинтезу флавоноида код воћарских биљних врста, укључујући врсте из рода *Vaccinium.*

**Lobiuc et al. (2017)** и **Zhang et al. (2018b)** су утврдили да третмани црвеним и плавим светлом у контролисаним условима повећавају садржај антоцијана код многих воћних биљних врста. Такође и претходне студије су показале да црвено светло може селективно индуковати биосинтезу антоцијана у воћу, укључујући бруснице (*Vaccinium macrocarpon)* **(Arakawa, 1988; Zhou** и **Singh, 2002)**, док је плаво светло позитивно утицало на биосинтезу антоцијана у многим воћним биљним врстама. На пример, зрачење плавим светлом је подстакло акумулацију биоактивних једињења пре и после бербе у парадајзу и јагодама **(Xu et al., 2014; Ngcobo et al., 2020)**.

Познато је да полифенолна једињења доприносе укупном антиоксидативном капацитету бобичастог воћа **(Zorzi et al., 2020)**. Такође, даље констатују да је релативно висока концентрација фенолних једињења, укључујући мономерне антоцијане и флавоноле, примећена у бобицама под црвеним светлом, допринела је већем укупном антиоксидативном потенцијалу боровница. Дуго таласно црвено светло није имало утицаја на антиоксидативни потенцијал бобица.

Повећане надморске висине повезане са прогресивним смањењем температуре и повећаним интензитетом светлости, има позитиван утицај на акумулацију антоцијана **(Zoratti et al., 2015)**.

Фенилпропаноидни пут реагује на различите стимулусе околине као што су температура, фотопериод, плодност земљишта **(Uleberg et al., 2012; Lillo et al., 2008; Jaakola** и **Hohtola, 2010)** и посебно светлост **(Martz et al., 2010; Zoratti et al., 2014)**.

**Ciulca et al. (2021)** наводи да је највећи садржај TPC констатован у популацијама дивље боровнице пореклом са локалитета са највишим вредностима pH земљишта и садржаја фосфора. Најниже вредности TPC утврђене су код популације пореклом са земљишта са ниским pH и ниским садржајем фосфора, а повезаним са високим садржајем азота, као и код популације пореклом са најниже надморске висине и највећим садржајем калијума и азота у земљишту.

Такође, различите студије у Норвешкој **(Rohloff et al., 2015)** и Шведској **(Åkerström et al., 2009)** наводе негативан утицај азота на садржај антоцијана и TPC у плодовима боровнице. Слично овим наводима и **Eichholz et al. (2011)** констатују да се код сорти боровнице TPC и антиоксидативна активност смањују са већим ђубрењем N. Друга група аутора **(Guevara-Teran et al., 2022)** испитивала је утицај надморске висине на хемијски састав, антиоксидативни и антимикробни капацитет дивље андске боровнице (*Vaccinium floribundum* Kunth) и утврдили су да повећање надморске висине доприноси повећаној акумулацији аскорбинске киселине, слободних аминокиселина и антоцијана.

У истраживању **Zeng et al. (2020)** садржај ТА у боровницама се повећавао са порастом надморске висине са 37 на 2010 m, за шта претпостављају да је повезано са заштитним механизмима биљке од јачег сунчевог зрачења и ултраљубичастог светла које је израженије у регионима са већом надморском висином. У студији **Karagiannis et al. (2020)**, боја плодова јабуке постаје интензивнија са повећањем надморске висине, што је директна последица веће концентрације антоцијана, одговорних за боју покожице јабуке.

**Popović et al. (2016)** наводе да фенолна једињења дају плаво-црну боју плодовима дивље боровнице и сматрају се биолошки најактивнијим једињењима у боровници, која се користе у превенцији многих болести.

Различита биолошка активност производа биљног порекла је повезана са биљним фенолним једињењима, што је главни разлог за опсежна истраживања њихове заступљености и хемијске структуре у данашње време. Показало се да фенолна једињења у екстрактима бобичастог воћа имају јак капацитет да уклоне радикалне врсте кисеоника (ROS) и да инхибирају раст патогених бактерија **(Kähkönen et al., 2001; Puupponen-Pimiä et al., 2001; Colak et al., 2016; Colak et al., 2016a; Nowak et al., 2016; Singh et al., 2017)**.

Боровнице се сматрају највреднијим бобицама, називају се плодовима планина које захватају велики део сунчеве енергије са високих платоа које претварају у здраву храну **(Ciulca et al., 2021)**. Популарност боровнице може се приписати њеном уравнотеженом слатко-киселом укусу и добро познатој нутритивној вредности **(Hariram** и **Won, 2013)**. Повећање потражње потрошача за плодовима боровнице повезано је са високим садржајем различитих фенолних једињења различитог здравствено-заштитног деловања **(Pires et al., 2020)**.

У поређењу са гајеним генотиповима *Vaccinium corimbosum*, дивља боровница има приближно два до три пута већи антиоксидативни капацитет **(Milivojević et al., 2012; Celik et al., 2017)** и већу концентрацију биоактивних компоненти **(Giovanelli et al., 2009; Bunea et al., 2011; Može et al., 2011)** и са великим позитивним утицајима на здравље **(Akagić et al., 2020)**.

**Szajdek** и **Borowska, (2008)** у „*in vitro*“ студији указују на антиканцерогено, антиинфламаторно и антимикробно деловање. Бобичасто воће је такође широко познато по својим различитим својствима која промовишу здравље, укључујући смањени ризик од рака и кардиоваскуларних болести **(Steinmetz** и **Potter, 1996; Ness** и **Powles, 1997)**.

Екстракт плодова боровнице богат полифенолима има инхибиторну активност према ензиму -глукозидази, па је тако користан у контроли дијабетеса типа 2 **(Karcheva-Bahchevanska et al., 2017)**. Екстракти боровнице су такође показали да имају заштитни ефекат на визуелну функцију током упале мрежњаче **(Miyake et al., 2011)** и антипролиферативно деловање у ћелијским линијама хуманог карцинома након ,,*in vivo*,, третмана **(Šaponjac et al., 2015)**.

Екстракти боровнице су такође показали инхибиторне ефекте против пероксидације липида и превентивну активност на оксидативно оштећење DNK **(Bayazid et al., 2021)**.

Антоцијани су моћни антиоксиданси и стога се показало да су корисни за људско здравље **(Dai** и **Mumper, 2010)**. Неколико истраживања се фокусирало на њихове ефекте у превенцији неуронских и кардиоваскуларних болести, рака и дијабетеса, као и на промовисање људске исхране **(Dai** и **Mumper, 2010; de Pascual-Teresa et al., 2010)**.

Многе студије сугеришу да антоцијани у боровници имају антиинфламаторне ефекте **(Khoo et al., 2017),** укључујући инхибирање активности протеасома, који регулишу деградацију ћелијских протеина.

Боровница је богата антоцијанима и показала је антиканцерогену, антиинфламаторну, антиоксидативну, антидијабетичку активност и тако даље **(Valentová et al., 2007; Chu et al., 2011; Bayazid et al., 2021)**. Антоцијани су пријављени као биолошки најактивнија једињења у боровници **(Popović et al., 2016)**. BЕ богат антоцијанима показао је снажне антиоксидативне и антиинфламаторне активности **(Bayazid et al., 2021)**.

Антоцијани поседују антиоксидативна својства и у великој су корелацији са антиоксидативном и антиинфламаторном активношћу **(Chu et al., 2011)**.

ROS се јавља прекомерно због дисбаланса метаболизма, недостатка природних антиоксиданата као што су антоцијани, флавоноиди и полифеноли, који ометају формирање ROS, играју кључну улогу у напредовању многих болести **(Mojica et al., 2015)**.

Екстракт боровнице показује велику антиоксидативну способност у спречавању инхибиције оксидације линолне киселине. Антиоксидативни тестови ,,ин витро,, могу се користити као метода која процењује пероксидацију липида и која мери способност уклањања слободних радикала. Стопа инхибиције BE (2 mg/ml) у пероксидацији липида била је 89,0%, а аскорбинске киселине (2 mg/ml) 97,7% у 88 h **(Bayazid et al., 2021)**.

Антиоксиданси су неопходни за превенцију и заштиту од деловања нестабилних слободних радикала, који узрокују оштећења различитих биомолекула у телу и доводе до рака, срчаних болести и многих повезаних здравствених проблема **(Bayazid et al., 2021)**. Исхрана богата антиоксидансима може бити ефикасан начин за смањење учесталости ових болести, јер антиоксиданси могу да блокирају напад слободних радикала **(Ciulca et al., 2021)**. Природне антиоксиданте преферирају потрошачи, јер су безбедни у поређењу са синтетичким антиоксидансима **(Li et al., 2009)**. С обзиром на то да већина природних антиоксиданата има реактивне атоме водоника који делују као редуктори, DPPH процедура је добра процена стандардног профила антиоксиданса **(Szerlauth et al., 2019)**.

Такође, чајеви од листова боровнице традиционално се употребљавају у европским земљама у превенцији дијабетеса, као и код болести уринарног тракта због својих адстрингентних и антисептичких својстава. Антибактеријске, антиинфламаторне, хипогликемијске и хиполипидемијске активности су такође повезане са листовима боровнице **(Ieri et al., 2013)**.

Продукција антоцијана у боровницама контролише неколико транскрипционих фактора који утичу на однос ди- и три-супституисаних антоцијана, кроз механизам регулације ензима флавоноид-3'-хидроксилазе (F3'H) и флавоноида-3', 5'-хидроксилаза (F3', 5'H). Биосинтеза ди-супституисаних на антоцијане утиче активност ензима F3'H, који је одговоран за хидроксилацију прекурсора дихидрокемферола на 3' позицији прстена В. Ова ензимска активност изазива повећану биосинтезу ди-супституисаних деривата цијанидина и пеонидина.

Активација ензима F3', 5'H фаворизује синтезу три-супституисаних деривата јер долази до хидроксилације прстена В на C-3' и C-5' атому, што повећава биосинтезу делфинидина, а касније и његових метилованих деривата малвидина и петунидина. Такође је закључено да код боровнице (род *Vaccinium*) повећање надморске висине повећава акумулацију три-супституисаних деривата антоцијана, а тиме и активност ензима F3', 5'H **(Zoratti et al., 2015)**. Што се тиче биосинтезе антоцијана воће се може категорисати у три категорије: 1) на оне које имају антоцијане у кожи и у месу, затим 2) на оне које садрже антоцијане само у месу и 3) на оне које акумулирају антоцијане у својој кожи само као светлосни стимуланс-одговор.

# 4. РАДНА ХИПОТЕЗА

**Основна хипотеза**

Пошло се од претпоставке да ће дивља боровница пореклом са различитих локалитета у еколошким условима северне Црне Горе (надморска висина, експозиција терена, температура ваздуха, UV радијација) испољити различит потенцијал родности, квалитета и биолошке вредности бобица.

Сходно томе постављена је основна хипотеза да ће различити еколошки услови у испитиваним локалитетима северне Црне Горе утицати на формирање биљака различитог фотосинтетског и биолошког потенцијала, па се са разлогом очекују значајне разлике у крупноћи и биолошкој вредности плода код тридесет испитиваних популација самоникле дивље боровнице.

**Изведене хипотезе**

Прва потхипотеза – очекује се значајан утицај фактора спољашње средине различитих локалитета на испољавање и варирање крупноће плода и биолошке вредности код испитиваних самониклих популација дивље боровнице.

Друга потхипотеза – очекује се да ће се одређене популације боровнице издвојити по крупноћи и биолошкој вредности плода, односно да ће у неповољним условима засене и слабије UV радијације остварити мању крупноћу и нижу биолошку вредност плода боровнице.

Трећа потхипотеза – очекује се варијабилност испитиваних популација боровнице у погледу садржаја појединачних антоцијанидина (Cy, Dp, Pt, Pn и Mv).

# 5. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

Истраживања су изведена у три фазе: сакупљање узорака плодова дивље боровнице са 30 локалитета северне Црне Горе; лабораторијска оцена продуктивних особина и биолошке вредности плода самоникле боровнице; статистичка обрада добијених података.

**5.1. Биљни материјал**

Потпуно зрели и неоштећени плодови дивље боровнице (*Vaccinium myrtillus* L., Ericaceae) почетком августа 2019. године сакупљани су на 30 локалитета (по шест локалитета) из сваког од пет различитих региона северне Црне Горе (Бијело Поље, Мојковац, Беране, Андријевица и Рожаје). Сваки локалитет карактерисао је назив, шифра акронима, датум сакупљања, GPS кординате географске ширине, надморска висина, интензитет UV сунчевог зрачења и експозиција станишта.



Слика 6.Карта локалитета са којих су узорковани плодови популација дивље боровнице у северној Црној Гори (називи локалитета дати су у табели 1.)

Табела 1. Популације дивље боровнице

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Рб** | **Регион** | **Локалитет/Популација** | **Н. висина**  **(m)** | **Г. ширина** | **Г. дужина** | **UV рад.**  **(W/m2)** | **Експозиција** |
| 1 | Бијело Поље | Жуте косе (ZK\*) | 715 | 43º 02′36″N | 19°29′63″E | 0,093 | NE/SW\* |
| 2 |  | Сљемена (SL\*) | 1.050 | 43º 04′45″N | 19°33′01″E | 0,030 | S\* |
| 3 |  | Ковран (KO) | 1.060 | 43º 11′01″N | 19°39′58″E | 0,366 | N/NE |
| 4 |  | Горња Корита (GK) | 1.350 | 43º 00′42″N | 19°33′23″E | 0,388 | N/NW |
| 5 |  | Марков Камен (MK) | 1.450 | 43º 07′34″N | 19°31′59″E | 0,368 | S/SE |
| 6 |  | Крље (KR) | 1.650 | 42º 55′17″N | 19°40′19″E | 0,434 | N/NE |
|  | **Просек** |  | **1.212** |  |  | **0,280** |  |
| 7 | Мојковац | Подбишће (PO) | 1.128 | 42º 56’32″N | 19°43′11″E | 0,370 | N/NW |
| 8 |  | Вечериновац (VE) | 1.330 | 42º 56’63″N | 19°40′00″E | 0,410 | N/NW |
| 9 |  | Меки До (MD) | 1.542 | 43º 02’86″N | 19°56′49″E | 0,410 | N/NE |
| 10 |  | Жарски Катун (ZA) | 1.669 | 42º 55′99″N | 19°34′20″E | 0,420 | N |
| 11 |  | Жарска Чука (ZC) | 1.675 | 42º 55′41″N | 19°50′49″E | 0,480 | N |
| 12 |  | Рабренов До (RD) | 1.699 | 42º 56′41″N | 19°35′27″E | 0,450 | N/NE |
|  | **Просек** |  | **1507** |  |  | **0,423** |  |
| 13 | Беране | Црни Врх (CV) | 1.104 | 42º 51′34″N | 19°44′10″E | 0,262 | N/NW |
| 14 |  | Кордељ (KD) | 1.530 | 42º 53′33″N | 19°44′60″E | 0,401 | NW |
| 15 |  | Рутовка (RU\*) | 1.600 | 42º 53′32″N | 19°44′18″E | 0,380 | E\* |
| 16 |  | Кулапића поток (KP) | 1.633 | 42º 53′88″N | 19°43′03″E | 0,424 | NE |
| 17 |  | Шишка (SI) | 1.681 | 42º 53′41″N | 19°40′35″E | 0,435 | N |
| 18 |  | Јабланов До (JD) | 1.807 | 42º 54′05″N | 19°48′94″E | 0,438 | SE |
|  | **Просек** |  | **1.559** |  |  | **0,390** |  |
| 19 | Андријевица | Вељи Поток (VP\*) | 1.037 | 42º 43′13″N | 19°41′37″E | 0,004 | S\* |
| 20 |  | Поток Студеница (PS\*) | 1.400 | 42º 42′25″N | 19°37′31″E | 0,060 | SE\* |
| 21 |  | Царев Лаз (CL) | 1.623 | 42º 49′28″N | 19°48′56″E | 0,381 | N |
| 22 |  | Слатински Катун (SK) | 1.685 | 42º 46′10″N | 19°53′53″E | 0,424 | NE |
| 23 |  | Лушки Катун (LK) | 1.708 | 42º 40′43″N | 19°44′34″E | 0,448 | N |
| 24 |  | Буљићи (BU) | 1.820 | 42º 41′26″N | 19°53′24″E | 0,470 | NE |
|  | **Просек** |  | **1.546** |  |  | **0,298** |  |
| 25 | Рожаје | Главица (GL) | 1.189 | 42º 53′32″N | 20°07′49″E | 0,378 | N/NE |
| 26 |  | Калаче (KA\*) | 1.332 | 42º 52′14″N | 20°08′51″E | 0,016 | E\* |
| 27 |  | Букељ (BK) | 1.405 | 42º 75′55″N | 20°10′20″E | 0,396 | N |
| 28 |  | Брекњача (BR\*) | 1.455 | 42º 48′21″N | 20°08′50″E | 0,084 | E/SE\* |
| 29 |  | Турјак (TU) | 1.503 | 42º 51′47″N | 20°03′34″E | 0,458 | S/SW |
| 30 |  | Банџов (BA) | 1.590 | 42º 46′51″N | 20°04′58″E | 0,447 | NE |
|  | **Просек** |  | **1.412** |  |  | **0,297** |  |

a Знак звездица (\*) пред локалитета означава популацију која расте у сенци;

**5.2. Методе рада**

У самом извођењу експерименталних истраживања везаних за утврђивање утицаја еколошких фактора северне Црне Горе на продуктивност и биолошку вредност испитиваних популација самоникле боровнице коришћене су следеће методе:

- анализа метеоролошких услова на испитиваним локалитетима за време истраживања;

- лабораторијске анализе хемијских особина земљишта;

- метод узорковања (из природног станишта популација дивље боровнице);

- математичко-статистички методи обраде експерименталних података и анализе и оцене резултата рада.

Метод узорковања састојао се у узимању (ручно) по 4 х 50 плодова (укупно 200 плодова) са сваког испитиваног локалитета методом случајног узорка и послужио је за утврђивање продуктивних особина код свих испитиваних самониклих популација дивље боровнице. Бобице су ручно бране, паковане у врећице и чуване у фрижидеру (приближно ±7ºС) током транспорта. У лабораторијским условима одређене су продуктивне особине испитиваних узорака, након чега су узорци воћа чувани на -20ºС до хемијске анализе.

За спровођење ових истраживања утврђивани су следећи параметри:

**1. Продуктивне особине испитиваних популација дивље боровнице**:

- Ширина плода дивље боровнице (mm)

- Просечна маса плода дивље боровнице (g)

У лабораторијским условима на прикупљеним плодовима са сваког испитиваног локалитета извршено је утврђивање ширине плода (mm) и висине плода (mm) помоћу шублера и просечне масе плода (g) на прецизној ваги (Слике 7. и 8.).

 

Слика 7. Мерење ширине плода Слика 8. Мерење масе плода

(Извор: ауторска фотографија) (Извор: ауторска фотографија)

**2. Хемијска особине** **испитиваних популација дивље боровнице**:

1. Садржај укупних фенола,

2. Садржај укупних антоцијана,

3. Садржај појединачних антоцијанидина: цијанидина, делфинидина, петунидина, пеонидина и малвидина;

Непосредно пре извођења хемијских анализа, самлевено и хомогенизовано је по 50 g одмрзнутих узорака боровнице са сваког локалитета.

Садржај укупних фенола (TPC) је одређен спектрофотометријски по методи Folin-Ciocalteu. По 5 g хомогенизованог свежег узорка из сваке испитиване популације је екстраховано у метанолу 30 min у ултразвучном купатилу. Као стандард коришћена је гална киселина и резултати су изражени као милиграм еквивалента галне киселине по граму свеже масе узорка (mg GAE/100g FW). Садржај укупних антоцијанина (TA) је одређен спектрофотометријски по методи описаној у Ph. Eur. 9.0 (Pharmacopoea Europea 9.0, 2019). По 5 g хомогенизованог свежег узорка од сваке популације боровнице је екстраховано у метанолу. Проценат антоцијана је изражен у односу на цијанидин-3-глукозид хлорид (cyanidin 3-glucoside chloride), који је коришћен као стандард.

Садржај појединачних антоцијанидина: цијанидина, делфинидина, петунидина, пеонидина и малвидина је одређен методом течне хроматографије високих перформанси (HPLC) на инструменту Agilent 1200 RR HPLC-DAD уз коришћење колоне Lichrospher RP-18 (250 × 4 mm i.d., 5 µm). По 5 g хомогенизованог узорка од сваке популације боровнице екстраховано је у смеши метанола и воде уз додоатак 2М хлороводоничне киселине. Екстракти су затим пребачени у тефлонскевијале и подвргнути хидролизи на 90°C у трајању од 60 min у циљу ослобађања агликонских форми. Након хидролизе, екстракти су охлађени и профилтрирани кроз филтер пречника пора 45 µm у HPLC вијале запремине 2 ml. Мобилна фаза се састојала од растварача А: 1% раствор фосфорне киселине у води и растварача В: ацетонитрил. Елуирање је извршено у градијенту, а резултати изражени као mg сваког појединачног антоцијана по граму свеже масе узорка. Упоредо је извршена идентификација узорака и танкослојном хроматографијом високих перформанси (HPТLC) на апарату CAMAG HPTLC са Linomat 5 апликатором на таласној дужини од 366 nm. Хемијске анализе квалитета и биолошке вредности бобица дивље боровнице извршене су у Институту за проучавање лековитог биља „др Јосиф Панчић“ у Београду.

**3. Мерење параметара испитиваних локалитета:**

* UV радијација на сваком локалитету мерена је помоћу (UV LIGHT METER) Модел: YK-35UV
* Надморска висина и ширина сваког локалитета утврђивана помоћу GPS уређаја

модел : Garmin eTrex 10.

 ******

Слика 9. UV light meter (модел: YK-35UV) Слика 10. GPS уређај (Garmin eTrex 10)

(Извор: ауторска фотографија) (Извор: ауторска фотографија)

### 5.3. Статистичка анализа података

За обраду резултата истраживања проучаваних особина коришћене суследеће статистичке методе:

1. Дескриптивна статистика: аритметичка средина и стандарна девијација.

- Аритметичка средина: =

- Варијанса: S2=

- Стандардна девијација: S = =

Где је N - број јединица посматрања, S - стандарна девијација а - аритметичка средина.

2. Једнофакторијална анализа варијансе - ANOVA, где је статистичка значајност између испитиваних популација утврђена помоћу LSD теста и то на два нивоа значајности (5% и 1%) **Hadživuković S.(1991)***.*

3. Pearson-ove корелације између испитиваних својстава чија је значајност утврђена применом t-теста.

4. Анализа главних компоненти (*Principal component analysis - PCA*), извршена је на основу поређења факторских ефеката. Добијени експериментални подаци су обрађени коришћењем бесплатног софтверског пакета, R-Statistics and Minitab Version 16.1.0. **(Minitab Statistical Software, 2011; R Core Team, 2018)**.

**5.4. Климатски услови у периоду прикуљања плодова дивље боровнице**

Северна Црна Гора представља изразито брдско-планинско подручје. Географски положај и удаљеност од мора утичу да долине река до 900 m надморске висине имају карактер умерено континенталане климе (жупска), чије су одлике хладна зима и доста топла и сува лета. Предео побрђа, падина изнад речних долина и котлине, па и висоравни до око 1.300 m надморске висине, карактерише једна прелазна варијанта континенталне климе, која је модификована под утицајаем планинске климе. Изнад 1.300 m надморске висине влада планинска и високо планинска клима **(Balijagić, 2008)**.

У котлинама северне Црне Горе лети температуре ваздуха могу достићи до 35°C, а зими температура се може спустити до -30°C.

Највише годишњих падавина је током октобра и новембра када почиње падати снег, који представља трећину свих падавина. У планинским подручјима снег достиже висину и од 2 до 3 m. Крајем марта преовлађују ветрови који изазивају нагло топљење снега.

У табели 2. приказане су просечне месечне температуре (°C) ваздуха и количина и распоред падавина (mm) у пет испитиваних региона северне Црне Горе. Најниже просечне температуре ваздуха забележене су у региону Рожаје (8,86°C) и региону Андријевица са (10,31°C). На остала три региона просечна температура ваздуха кретала се од 11,03°C до 11,74°. Током сваког месеца у регионима Рожаје и Андријевица утврђена је просечно нижа месечна температура ваздуха у односу на остала три испитивана региона.

Највеће просечне месечне температуре ваздуха у свим испитиваним регионима забележене су у месецу августу као што је и очекивано. У месецу августу у региону Мојковца забележена је највећа просечна месечна температура ваздуха 22,4°C, следи Бијело Поље са 21,7°C, затим Беране са 21,5°C, Андријевица са 19,6°C, док је најнижа просечна месечна температура 18,8°C утврђена у месецу августу у региону Рожаје.

Између испитиваних региона северне Црне Горе није било значајних разлика у просечним месечним температурама ваздуха током вегетационог периода (април-септембар) боровнице. Просечне месечне температуре ваздуха са порастом надморске висине су се смањивале.

Табела 2. Метеоролошки услови током 2019. године у испитиваним регионима

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Регион** | **Месец** | | | | | | | | | | | | **Просек** |
| **I** | **II** | **III** | **IV** | **V** | **VI** | **VII** | **VIII** | **IX** | **X** | **XI** | **XII** |
| **Средње месечне температуре ваздуха (°C)** | | | | | | | | | | | |
| Бијело Поље | -1,2 | 2,9 | 7,0 | 11,8 | 13,2 | 20,6 | 20,5 | 21,7 | 17,6 | 12,5 | 9,7 | 3,2 | 11,03 |
| Мојковац | -1,8 | 3,1 | 7,3 | 11,9 | 13,8 | 20,8 | 19,6 | 22,4 | 16,8 | 12,8 | 9,6 | 2,8 | 11,74 |
| Беране | -1,1 | 2,8 | 7,5 | 11,6 | 12,8 | 20,4 | 20,0 | 21,5 | 16,8 | 11,6 | 9,1 | 2,9 | 11,33 |
| Андријевица | -1,5 | 1,5 | 6,3 | 10,2 | 11,2 | 18,7 | 18,9 | 19,6 | 15,6 | 11,2 | 9,1 | 2,9 | 10,31 |
| Рожаје | -2,9 | -0,1 | 4,0 | 8,2 | 10,3 | 17,8 | 17,7 | 18,8 | 14,3 | 9,9 | 7,4 | 0,9 | 8,86 |
|  | **Количина и распоред падавина (mm)** | | | | | | | | | | | | **Укупно** |
| Бијело Поље | 71,9 | 60,2 | 13,6 | 44,0 | 66,5 | 125,1 | 97,7 | 21,6 | 10,9 | 45,4 | 142,3 | 73,8 | 773,0 |
| Мојковац | 75,3 | 52,5 | 19,5 | 48,9 | 64,5 | 141,2 | 112,5 | 22,2 | 9,5 | 41,8 | 158,8 | 78,8 | 825,5 |
| Беране | 99,9 | 67,7 | 37,1 | 57,2 | 87,2 | 88,7 | 111,8 | 22,7 | 27,4 | 25,8 | 127,3 | 59,8 | 812,6 |
| Андријевица | 100,0 | 76,0 | 24,2 | 75,6 | 138,4 | 92,4 | 95,7 | 59,6 | 44,8 | 45,8 | 215,6 | 99,4 | 1067,5 |
| Рожаје | 97,6 | 69,3 | 41,2 | 61,7 | 98,7 | 126,1 | 159,1 | 25,9 | 73,5 | 25,1 | 126,1 | 77,0 | 981,3 |

Из наведених података (Табела 2.) види се да је највећа годишња количина падавина 1.067 (mm) забележена у региону Андријевица, следи регион Рожаје са 981,3 mm водених талога, док је најнижа годишња количина 773,0 mm падавина утврђена у региону Бијелог Поља. У регионима Мојковац и Беране укупна годишња сума падавина била 825,5 mm, односно 812,6 mm воденог талога.

Посматрано за вегетациони период дивље боровнице од априла до септембра у регионима Бијелог Поља, Мојковца и Андијевица најнижа количина падавина утврђена у месецу септембру. У регионима Беране и Рожаје најнижа количина падавина констатована је у месецу августу (Табела 2., Граф. 3. и 5.).

Граф. 1. Климадијаграм po Walter-u за регион Бијело Поље у 2019. години

Приказ просечних месечних температура ваздуха (°C) и количине падавина (mm) по месецима у региону Бијелог Поља дат је у графикону 1. Током вегетационог периода (април-септембар) у регионима Бијело Поље и Мојковац у јуну месецу забележене су максималне количине падавина 125,1 mm (Граф. 1.), односно 141,2 mm (Граф. 2.), у поеђењу са осталим месецима.

Граф. 2. Климадијаграм po Walter-u за регион Мојковац у 2019. години

У региону Бијелог Поља забележен је један релативно сушни период током августа и септембра месеца, када је за 60 дана пало само 32,5 mm водених талога (Табела 2., Граф. 1.).

Приказ просечних месечних температура ваздуха (°C) и количине падавина (mm) по месецима у региону Мојковац дат је у графикону 2. У региону Мојковац забележен је један релативно сушни период током августа и септембра месеца када је за 60 дана пало само 31,7 mm водених талога (Табела 2., Граф. 2.). У месецу септембру у региону Мојковац забележена је најнижа количина падавина од 9,5 mm.

Граф. 3. Климадијаграм po Walter-u за регион Беране у 2019. години

Приказ просечних месечних температура ваздуха (°C) и количине падавина (mm) по месецима у региону Беране дат је у графикону 3. У регионима Беране (Граф. 3.) и Рожаје (Граф. 5.) током вегетационог периода дивље боровнице максималне количине падавина констатоване су у јулу 111,8 mm, односно 159,1 mm. Током августа и септембра у региону Беране констатован је један релативно сушни период када је за 60 дана пало само 50,1 mm водених талога (Табела 2. и Граф. 3.).

Граф. 4. Климадијаграм po Walter-u за регион Андријевица у 2019. години

Приказ просечних месечних температура ваздуха (°C) и количине падавина (mm) по месецима у региону Андријевица дат је у графикону 4. Максимална количина падавина 138,4 mm водених талога пала је у месецу мају у региону Андријевица.

Граф. 5. Климадијаграм po Walter-u за регион Рожаје у 2019. години

Приказ просечних месечних температура ваздуха (°C) и количине падавина (mm) по месецима у региону Рожаје дат је у графикону 5.

На основу просечних месечних температура ваздуха и распореда падавина током вегетацине сезоне (април-септембар) у испитиваним регионима, можемо констатовати да је дивља боровница имала оптималне услове за раст и развиће.

**5.5. Особине земљишта**

Педолошке одлике земљишта северне Црне Горе директно су одређене следећим факторима: климом, рељефом, литолошким саставом, надморском висином, биљним покривачем и др. Сви ови фактори су веома ограничавајући за квалитет земљишта, тако да у укупном бонитету цео простор се налази у IV и V класи, а налазе се наблажим облицима рељефа. На стрмијем рељефу и на већој надморској висини преовлађују земљишта V, VI и VII, ређе VIII класе.

Смеђе кисело земљиште је доминантно у северној Црној Гори, њихов површински хоризонт је дубине 15-30 cm, тамно смеђе или мрке боје, растресит, махом мрвичасте структуре и иловастог састава. Дубљи слојеви су смеђе или рудо смеђе боје, са обично више скелета и мање хумуса.

Дубина земљишта је различита зависно од рељефа, односно места налажења. Смеђа кисела земљишта имају добре физичке особине, али у хемијском погледу су јако изражене киселости (pH 4-5) и са ниским степеном засићености адсорптивног комплекса базним катјонима (веома често само до 10%). По правилу су сиромашна у фосфору, док су калијумом боље обезбеђена.

Табела 3. Агрохемијска анализа земљишта по испитиваним локалитетима

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Регион** | **Локалитет** | **pH у** | | **Хумус (%)** |
| **H2O** | **nKCl** |
| Бијело Поље | ZK\* | 4,62 | 4,17 | 13,70 |
| SL\* | 5,01 | 4,52 | 8,50 |
| KO | 5,12 | 4,75 | 10,93 |
| GK | 4,15 | 3,65 | 9,58 |
| MK | 6,54 | 5,02 | 4,15 |
| KR | 4,47 | 3,96 | 15,12 |
| **Просек** | | **4,985** | **4,345** | **10,33** |
| Мојковац | PO | 4,80 | 4,29 | 7,56 |
| VE | 4,69 | 3,73 | 10,08 |
| MD | 4,92 | 4,17 | 11,96 |
| ZA | 4,48 | 3,95 | 9,55 |
| ZC | 6,20 | 4,89 | 2,54 |
| RD | 5,03 | 4,46 | 9,25 |
| **Просек** | | **5,02** | **4,248** | **8,49** |
| Беране | CV | 5,27 | 4,82 | 7,86 |
| KO | 4,31 | 3,82 | 5,26 |
| RU\* | 5,45 | 4,94 | 10,95 |
| KP | 4,52 | 3,96 | 8,96 |
| SI | 4,77 | 4,36 | 7,58 |
| JD | 4,55 | 3,91 | 4,35 |
| **Просек** | | **4,812** | **4,302** | **7,493** |
| Андријевица | VP\* | 4,58 | 4,09 | 15,65 |
| PS\* | 6,14 | 5,74 | 8,82 |
| CL | 5,01 | 4,54 | 13,50 |
| SK | 4,30 | 3,84 | 12,55 |
| LK | 4,58 | 4,06 | 9,80 |
| BU | 5,30 | 4,92 | 10,25 |
| **Просек** | | **4,985** | **4,532** | **11,762** |
| Рожаје | GL | 4,63 | 4,14 | 10,95 |
| KA\* | 5,44 | 4,95 | 7,65 |
| BK | 5,54 | 5,12 | 9,09 |
| BR\* | 4,97 | 4,57 | 7,32 |
| TU | 6,85 | 5,80 | 2,68 |
| BA | 4,68 | 4,16 | 4,62 |
| **Просек** | | **5,352** | **4,79** | **7,052** |

Терен северне Црне Горе на коме се налазе смеђа кисела земљишта обилује разноврсним рељефним облицима на којима се и земљишта доста разликују. На блажим облицима рељефа земљишта су дубља, па су им физичке особине повољније.

Приликом бербе плодова дивље боровнице узет је узорак земљишта из површинског слоја 0-30 cm за агрохемијску анализу. Агрохемијска анализа земљишта извршена је на Биотехничком факултету у Подгорици.

Земљиште на свим локалитетима је припадало типу дистричног камбисола (смеђе кисело земљиште). Дубина земљишта на свим испитиваним локалитетима била је од (40-70 cm), лакшег су механичког састава, што ова земљишта карактерише високом аерацијом и добром пропустљивошћу за воду. Из података у табели 3. може се видети да је земљиште према садржају хумуса на локалитетима Жарска Чука (ZC) у региону Мојковац и Турјак (TU) у региону Рожаје средње обезбеђено, док је на свим осталим локалитетима високо обезбеђено хумусом. По хемијским особинама земљиштa на свим испитиваним локацијама су била изразито кисела до благо кисела. Интервал варирања pH вредности у H2O кретао се од 4,15 до 6,85, а у nKCl од 3,65 до 5,80. Високом ацидитету земљишта доприноси планинска клима и посебно четинарска вегетација.

На основу приказаних података у табели 3. може се констатовати да су земљишта на испитиваним локалитетима пружила оптималне услове за раст и развиће дивље боровнице, с обзиром да боровница расте самоникло на овим теренима.

# 

# 6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

**6.1. Продуктивне особине**

Принос сваке биљне врсте је најзначајнија квантитативна карактеристика, која је јако варијабилна и подложна је великом утицају еколошких фактора. Од продуктивних особина дивље боровнице оцењиване су следеће: ширина плода, висина плода и маса плода.

## 6.1.1. Ширина плода дивље боровнице (mm)

Анализа просечне ширине плода дивље боровнице у 2019. години (Табела 4.) показала је врло значајне разлике под утицајем еколошких услова (фактор A).

Просечна ширина бобице за све испитиване локалитете била је 8,41 mm. Посматрано по регионима највећа просечна ширина бобице од 8,58 mm забележена је у региону Бијелог Поља, затим са 8,57 mm следе Мојковац и Андријевица, док је најмања 8,15 mm просечна ширина плода установљена у региону Рожаје.

Из резултата мерења приказаних у табели 4. види се да су највећу просечну ширину плода од 8,9 mm дивље боровнице оствариле популације пореклом са локалитета Жуте косе (ZK\*), Подбишће (PО) и Вељи Поток (VP) у регионима Бијелог Поља, Мојковца и Андријевице, док је најмања вредност ширине плода дивље боровнице од 7,7 mm утврђена код популације пореклом са локалитета Брекњача (BR\*) у региону Рожаје (Табела 4. и Граф. 6.).

Упоређујући испитиване самоникле популације дивље боровнице (Табела 4. и Граф. 6.) констатована је веома значајно већа просечна ширина плода код популација дивље боровнице пореклом са локалитета Жуте косе (ZK\*), Подбишће (PО) и Вељи Поток (VP\*), у поређењу са свим осталим популацијама, осим популација са локалитета (MK), (KR), (ZC) и (LK). Између популација (ZK\*), (PО), (VP\*), (MK), (KR), (ZC) и (LK) нису установљене значајне разлике у просечној ширини плода.

Табела 4. Просечна ширина плода (mm) популација дивље боровнице по регионима и локалитетима

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Регион** | **Популација** | | **Просечна ширина плода (mm)** |
|
| Бијело Поље | ZK\* | | 8,9 |
| SL\* | | 8,5 |
| KO | | 8,5 |
| GK | | 8,2 |
| MK | | 8,7 |
| KR | | 8,7 |
| **Просек** | | | **8,58** |
| Мојковац | PO | | 8,9 |
| VE | | 8,5 |
| MD | | 8,5 |
| ZA | | 8,4 |
| ZC | | 8,7 |
| RD | | 8,4 |
| **Просек** | | | **8,57** |
| Беране | CV | | 8,1 |
| KD | | 8,3 |
| RU\* | | 8,0 |
| KP | | 8,3 |
| SI | | 8,4 |
| JD | | 8,1 |
| **Просек** | | | **8,20** |
| Андријевица | VP\* | | 8,9 |
| PS\* | | 8,5 |
| CL | | 8,5 |
| SK | | 8,4 |
| LK | | 8,7 |
| BU | | 8,4 |
| **Просек** | | | **8,57** |
| Рожаје | GL | | 8,2 |
| KA\* | | 8,3 |
| BK | | 7,8 |
| BR\* | | 7,7 |
| TU | | 8,4 |
| BA | | 8,5 |
| **Просек** | | | **8,15** |
| **Укупан просек** | | | **8,41** |
|  | | **A** | |
| **F** | | **3,26\*\*** | |
| **LSD0,05** | | **0,272** | |
| **LSD0,01** | | **0,373** | |

Граф. 6. Просечна ширина плода (mm) популација дивље боровнице по локалитетима

Код популација дивље боровнице пореклом са локалитетат Букељ (BK) и Брекњача (BR\*) утврђена је веома значајно мања просечна ширина плода дивље боровнице, у односу на просечну ширину плода забележену код свих осталих испитиваних популација (Табела 4. и Граф. 6.).

## 6.1.2. Висина плода дивље боровнице (mm)

Анализа просечне висине плода дивље боровнице у 2019. години (Табела 5.) показала је врло значајне разлике под утицајем еколошких услова (фактор A).

Просечна висина бобице за све испитиване локалитете била је 7,51 mm. Посматрано по регионима највећа просечна висина бобице од 7,63 mm забележена је у региону Бијелог Поља, затим са 7,62 mm следе Мојковац и Андријевица, док је најмања просечна висина плода (7,15 mm) установљена у региону Беране (Табела 5.).

Највећа висина плода 7,9 mm дивље боровнице забележена је на локалитету Турјак (TU) у региону Рожаје, док је најмања вредност висине плода дивље боровнице 6,8 mm утврђена на локалитетима Црни Врх (CV) и Рутовка (RU\*) у региону Беране (Табела 5. и Граф. 7.).

Упоређујући испитиване самоникле популације дивље боровнице (Табела 5.) констатована је веома значајно већа просечна висина плода код популације пореклом са локалитета Турјак (TU), у поређењу са висином плода забележеном код популација пореклом са локалитета (GL), (KА\*), (BK), (BR\*), (SK), (RU\*), (KP), (SI), (JD), (CV), (ZA) и (GK).

Табела 5. Просечна висина плода (mm) популација дивље боровнице по регионима и

локалитетима

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Регион** | **Популација** | **Просечна висина плода (mm)** |
|
| Бијело Поље | ZK\* | 7,7 |
| SL\* | 7,6 |
| KO | 7,6 |
| GK | 7,5 |
| MK | 7,7 |
| KR | 7,7 |
| **Просек** | | **7,63** |
| Мојковац | PO | 7,7 |
| VE | 7,6 |
| MD | 7,6 |
| ZA | 7,5 |
| ZC | 7,7 |
| RD | 7,6 |
| **Просек** | | **7,62** |
| Беране | CV | 6,8 |
| KD | 7,6 |
| RU\* | 6,8 |
| KP | 7,2 |
| SI | 7,2 |
| JD | 7,3 |
| **Просек** | | **7,15** |
| Андријевица | VP\* | 7,7 |
| PS\* | 7,6 |
| CL | 7,6 |
| SK | 7,5 |
| LK | 7,7 |
| BU | 7,6 |
| **Просек** | | **7,62** |
| Рожаје | GL | 7,5 |
| KA\* | 7,5 |
| BK | 7,4 |
| BR\* | 7,1 |
| TU | 7,9 |
| BA | 7,8 |
| **Просек** | | **7,53** |
| **Укупан просек** | | **7,51** |
|  | **A** | |
| **F** | **2,42\*\*** | |
| **LSD0,05** | **0,225** | |
| **LSD0,01** | **0,309** | |

Граф. 7. Просечна висина плода (mm) популација дивље боровнице по локалитетима

Код популација дивље боровнице пореклом са локалитетат Црни Врх (CV) и Рутовка (RU\*) утврђена је веома значајно мања просечна висина плода дивље боровнице, у односу на просечну висину плода забележену код свих осталих популација (Табела 5. и Граф. 7.).

## 6.1.3. Маса плода дивље боровнице (g)

Анализа просечне масе плода дивље боровнице у 2019. години (Табела 6.) показала је врло значајне разлике под утицајем еколошких услова (фактор A).

Просечна маса бобице за све испитиване локалитете била је 0,347 g. Упоређујући регионе, највећа просечна маса плода од 0,378 g дивље боровнице утврђена је у Мојковцу, следи регион Бијелог Поља са 0,357 g, затим са 0,350 g Андријевица, док је најмања 0,312 g просечна маса плода установљена у региону Беране (Табела. 6.).

Посматрано појединачно по испитиваним локалитетима највећа маса плода дивље боровнице од 0,423 g констатована је код популације пореклом са локалитета Меки До (MD) из региона Мојковца, следи са 0,407 g популација пореклом са локалитета Жуте косе (ZK\*) из региона Бијело Поље, затим са 0,395 g популација са локалитета Подбишће (PO) из региона Мојковца, док је најмања вредност масе плода од 0,288 g дивље боровнице утврђена код популације пореклом са локалитета Рутовка (RU\*) из региона Беране (Табела 6. и Граф. 8.).

Табела 6. Просечна маса плода (g) популација дивље боровнице по регионима и локалитетима

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Регион** | **Популација** | | **Просечна маса плода (g)** |
|
| Бијело Поље | ZK\* | | 0,407 |
| SL\* | | 0,370 |
| KO | | 0,325 |
| GK | | 0,325 |
| MK | | 0,357 |
| KR | | 0,357 |
| **Просек** | | | **0,357** |
| Мојковац | PO | | 0,395 |
| VE | | 0,369 |
| MD | | 0,423 |
| ZA | | 0,366 |
| ZC | | 0,357 |
| RD | | 0,356 |
| **Просек** | | | **0,378** |
| Беране | CV | | 0,292 |
| KD | | 0,343 |
| RU\* | | 0,288 |
| KP | | 0,310 |
| SI | | 0,320 |
| JD | | 0,320 |
| **Просек** | | | **0,312** |
| Андријевица | VP\* | | 0,394 |
| PS\* | | 0,370 |
| CL | | 0,325 |
| SK | | 0,325 |
| LK | | 0,357 |
| BU | | 0,330 |
| **Просек** | | | **0,350** |
| Рожаје | GL | | 0,338 |
| KA\* | | 0,353 |
| BK | | 0,324 |
| BR\* | | 0,298 |
| TU | | 0,364 |
| BA | | 0,359 |
| **Просек** | | | **0,339** |
| **Укупан просек** | | | **0,347** |
|  | | **A** | |
| **F** | | **2,23\*\*** | |
| **LSD0,05** | | **0,0323** | |
| **LSD0,01** | | **0,0442** | |

Упоређујући испитиване самоникле популације дивље боровнице (Табела 6.) констатована је веома значајно већа просечна маса плода код популације пореклом са локалитета Меки До (MD), у односу на утврђену просечну масу плода код свих осталих испитиваних популација, осим популација пореклом са локалитета Подбишће (PO) и Вељи Поток (VP\*).

Граф. 8. Просечна маса плода (g) популација дивље боровнице по локалитетима

Веома значајно мања просечна маса плода дивље боровнице утврђена је код популације пореклом са локалитета Рутовка (RU\*), у односу на просечну масу плода констатовану код свих осталих популација, осим популација пореклом са локалитета (KO), (GK), (CV), (KP), (SI), (JD), (CL), (SK), (BU) и (BK) (Табела 6. и Граф. 8.).

**6.2. Хемијске особине**

Испитивање квалитета и биолошке вредности бобица дивље боровнице обухватило је утврђивање садржаја укупних фенола, укупних антоцијана, појединачних антоцијанидина и сумарних група антоцијана.

## 6.2.1. Садржај укупних фенола - TPC (mg GAE/100 g FW)

Феноли представљају секундарне метаболите биљке, које у највећој мери чини хлорогена киселина која игра важну улогу у заштити здравља људи. Првенствено због њихове антиоксидативне активности и широког спектра фармаколошких својстава, укључујући антиканцерско дејство. Међу секундарним метаболитима управо су полифеноли (фенолне киселине, флавоноиди и антоцијани) она једињења које биљка продукује, а помажу јој у одбрани од стресних услова средине, укључујући ултравиолетну радијацију, напад патогена и сличне ситуације.

Фенолна једињења су укључена у одбрану биљке од напада патогена и у избацивање реактивних врста кисеоника (најчешће водоник пероксида - H2O2) из биљних ћелија, који настају као последица стресних услова (абиотичког и биотичког стреса). Фенолне киселине, које настају са другим једињењима, као што су флавоноиди, антоцијани и лигнини кроз фенилпропаноидни пут, такође имају неколико важних улога у исхрани и здрављу људи. Делују против слободних радикала, реактивне врсте кисеоника, за које је познато да су укључени у патогенезу и развој многих дегенеративних болести, као што су кардиоваскуларне болести и канцерска обољења.

Садржај укупних фенола у бобицама испитиваних дивљих боровница кретао се од 370,5 - 899,9 mg GAE/100 g FW. Средње вредности између појединих региона варирају од 554,69 mg GAE/100 g FW (Рожаје) до 660,39 mg GAE/100 g FW (Беране) табела 7.

Упоређујући регионе по просечним вредностима садржаја укупних фенола, највећи садржај TPC од 660,4 mg GAE/100 g FW забележен је у региону Беране, следи регион Бијело Поље са 616,5 mg GAE/100 g FW, затим регион Мојковац са 576 mg GAE/100 g FW, док је најнижи садржај од 554,7 mg GAE/100 g FW укупних фенола установљен у региону Рожаје (Табела 7. и Граф. 9.). Највише вредности укупних фенола у узорцима самоникле дивље боровнице у региону Беране су резултат највеће просечне надморске висине (1.559 m) и високе просечне UV радијације (0,390 W/m2) табела 1.

Посматрано по локалитетима највећи садржај од 890 mg GAE/100 g FW укупних фенола утврђен у узорку бобица пореклом са локалитета Шишка (SI) у региону Беране, док су бобице прикупљене са локалитета Вељи Поток (VP) из региона Андријевица имале најмањи садржај укупних фенола (371 mg GAE/100 g FW) табела 7. и граф. 9.

Највећи садржај укупних фенола установљен је у узорцима испитиваних популација пореклом са локалитета Шишка (SI), Букељ (BK), Крље (KR) и Јабланов До (JD), који се налазе у подручјима са надморском висином преко 1.400 m, условима високе UV радијације преко 0,390 W/m2 и северним експозицијама без засене (Табела 1.).

Табела 7. Садржај укупних полифенола у плоду испитиваних популација дивље боровнице

(mgGAE/100g)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Регион** | **Популација** | **Укупни полифеноли**  **(mgGAE/100g)** | |
|
|  | ZK\* | 638,73 ± 27,22 | b-g |
|  | SL\* | 598,17 ± 35,64 | d-i |
|  | KO | 528,35 ± 40,67 | g-l |
| Бијело Поље | GK | 621,66 ± 23,72 | b-i |
|  | MK | 607,06 ± 47,68 | c-i |
|  | KR | 704,92 ± 23,59 | bcd |
| **Просек** | | **616,48** |  |
|  | PO | 517,82 ± 29,57 | i-l |
|  | VE | 557,75 ± 20,03 | e-k |
|  | MD | 535,66 ± 17,13 | f-l |
| Мојковац | ZA | 594,99 ± 18,47 | d-i |
|  | ZC | 628,60 ± 46,39 | b-i |
|  | RD | 621,00 ± 26,61 | b-i |
| **Просек** | | **575,97** |  |
|  | CV | 428,12 ± 25,18 | lm |
|  | KD | 718,62 ± 64,20 | bc |
|  | RU\* | 624,27 ± 23,03 | b-i |
| Беране | KP | 593,00 ± 21,90 | d-i |
|  | SI | 899,89 ± 37,19 | a |
|  | JD | 698,45 ± 50,57 | bcd |
| **Просек** | | **660.39** |  |
|  | VP\* | 370,51 ± 29,82 | m |
|  | PS\* | 450,24 ± 23,68 | klm |
|  | CL | 642,87 ± 34,00 | b-f |
| Андријевица | SK | 637,37 ± 44,82 | b-h |
|  | LK | 619,73 ± 20,31 | b-i |
|  | BU | 655,61 ± 48,47 | b-e |
| **Просек** | | **562,72** |  |
|  | GL | 439,47 ± 16,45 | lm |
|  | KA\* | 468,76 ± 26,80 | j-m |
|  | BK | 730,91 ± 60,57 | b |
| Рожаје | BR\* | 524,63 ± 45,84 | h-l |
|  | TU | 564,79 ± 26,79 | e-j |
|  | BA | 599,59 ± 27,44 | d-i |
| **Просек** | | **554,69** |  |
| **Укупан просек** | | **594,05** |  |

a, b….различита мала слова показују значај разлику (P ≤ 0.05; Takey′s Multiple Range test) у колони;

Знак звездица (\*) означава да су биљке боровнице расле у засени;

Најнижи садржај укупних фенола установљен је у узорку преклом са локалитета Вељи Поток (VP\*) (370,5 mg GAE/100 g FW) у региону Андријевица на надморској висини испод 1.050 m, на јужној експозицији терена у засени и са UV зрачењем испод 0,004 W/m2 (Табела 1.).

Граф. 9. Садржај укупних фенола (mg GAE/100 g FW) у популацијама дивље боровнице

На основу остварених вредности садржаја укупних фенолних једињења испитивањем тридесет популација дивље боровнице из северне Црне Горе, можемо констатовати да је примећено је значајно повећање количине фенолних једињења у узорцима боровнице које су расле и развијале се на већој надморској висини и директном сунчевом светлу у поређењу са популацијама које су расле и развијале се у сенци, односно под крошњама шума и мањим надморским висинама од 1.150 m.

## 6.2.2. Садржај укупних антоцијана - ТА (mg/100g)

Резултати анализе укупног садржаја антоцијана са тридесет различитих локалитета у пет региона северне Црне Горе приказани су у табели 8 и графикону 10. Варирање између узорака плодова дивље боровнице довеле су до значајних разлика у садржају укупних антоцијана (ТА), како унутар, тако и међу популацијама.

Посматрано по регионима, у просеку највећи садржај укупних антоцијана од 550,07 mg/100g констатован је у региону Мојковац, следи регион Рожаје са 470,65 mg/100g, затим регион Андријевица са 448,92 mg/100g, док је најнижи садржај од 414,31 mg/100g укупних антоцијана забележен у региону Беране. Највише вредности ТА у региону Мојковац су резултат највеће просечне UV радијације од 0,423 W/m2, ниједан локалитет из овог региона није растао у засени и сви усеви су били на северним експозицијама (Табела 1.).

Табела 8. Садржај укупних антоцијана у плоду испитиваних популација дивље боровнице

(mg/100g)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Регион** | **Популација** | **Укупни антоцијани** | |
| **(mg/100g)** | |
|  | ZK\* | 365,65 ± 30,93 | klm |
|  | SL\* | 235,65 ± 16,05 | o |
|  | KO | 400,53 ± 21,48 | i-l |
| Бијело Поље | GK | 485,61 ± 38,84 | e-i |
|  | MK | 506,51 ± 33,62 | d-h |
|  | KR | 555,15 ± 33,37 | b-f |
| **Просек** | | **424,85** |  |
|  | PO | 422,45 ± 25,11 | h-l |
|  | VE | 519,32 ± 33,39 | c-g |
|  | MD | 474,78 ± 26,84 | f-j |
| Мојковац | ZA | 622,88 ± 54,21 | ab |
|  | ZC | 655,53 ± 53,14 | a |
|  | RD | 605,46 ± 49,00 | abc |
| **Просек** | | **550,07** |  |
|  | CV | 296,00 ± 9,82 | mno |
|  | KD | 508,52 ± 31,60 | d-h |
|  | RU\* | 350,79 ± 28,93 | lmn |
| Беране | KP | 410,24 ± 17,72 | i-l |
|  | SI | 452,55 ± 25,84 | g-k |
|  | JD | 467,78 ± 20,54 | f-j |
| **Просек** | | **414,31** |  |
|  | VP\* | 265,19 ± 12,53 | no |
|  | PS\* | 365,85 ± 27,14 | klm |
|  | CL | 490,67 ± 41,52 | e-i |
| Андријевица | SK | 550,86 ± 17,91 | b-f |
|  | LK | 495,66 ± 18,58 | d-i |
|  | BU | 525,29 ± 34,30 | c-g |
| **Просек** | | **448,92** |  |
|  | GL | 300,68 ± 17,16 | mno |
|  | KA\* | 385,84 ± 18,03 | j-m |
|  | BK | 590,85 ± 24,80 | a-d |
| Рожаје | BR\* | 490,42 ± 19,98 | e-i |
|  | TU | 480,73 ± 22,57 | e-j |
|  | BA | 575,36 ± 19,21 | a-e |
| **Просек** | | **470,65** |  |
| **Укупан просек** | | **461,76** |  |

a, b….различита мала слова показују значај разлику (P ≤ 0.05; Takey′s Multiple Range test) у колони;

Знак звездица (\*) означава да су биљке боровнице расле у засени;

Највећи просечни садржај укупних антоцијана у региону Мојковац је резултат највиших остварених вредности ТА на три локалитета из овог региона: Жарска Чука (ZC) (656 mg/100g) Жарски Катун (ZA) (623 mg/100g) и Рабренов До (RD) (605 mg/100g ). На сва три ова локалитета самоникла дивља боровница расла је на надморској висини преко 1.650 m, северним експозицијама терена и са UV зрачењем преко 0,410 W/m2 (Табела 1.).

Граф. 10. Садржај укупних антоцијана (mg/100g) у популацијама дивље боровнице

Најмањи садржај укупних антоцијана забележен је у узорку преклом са локалитета Сљемена (SL\*) (236 mg/100g) у региону Бијело Поље и локалитету Вељи Поток (VP\*) 265 mg/100g, оба локалитета су била на надморској висини испод 1.100 m, на јужним експозицијама терена и са UV зрачењем испод 0,040 W/m2 (Табела 1.).

Дакле, на основу горе наведеног можемо констатовати да су узорци дивље боровнице сакупљени из популација, које су расле на јужним експозицијама остварили знатно нижи садржај ТА, у односу на боровнице пореклом са северних експозиција. Такође, популације самоникле дивље боровнице које су расле и развијале се у засени (означене са \* у Табели 8.) генерално су показале нижи садржај ТА у поређењу са боровницама које су се развијале у сунчаним положајима.

**6.2.3. Садржај појединачних антоцијанидина (mg/100g)**

Резултати анализе пет појединачних антоцијанидина са тридесет различитих локалитета у пет региона северне Црне Горе приказани су у табели 9. и графиконима 11. и 12. Варијације између узорака бобица дивље боровнице довеле су до значајних разлика у садржају појединачних антоцијанидина како унутар, тако и међу популацијама.

Варирање просечних вредности појединачних антоцијанидина потврдиле су разноликост антоцијанских профила дивље боровнице из различитих станишта северне Црне Горе. Утврђено је да је делфинидин најзаступљенији агликон, а затим следи цијанидин. Минималне и максималне вредности за посматране појединачне антоцијанидине кретале су се за делфинидин од 80,1 до 205 mg/100g, цијанидин од 60,4 до 181 mg/100g, петунидин од 50,1 до 121 mg/100g, пеонидин од 10,4 до 85,7 mg/100g и малвидин 40 до 155 mg/100g (Табела 9.).

Највећа просечна вредност од 159 mg/100g Dp (делфинидина) утврђена је у узорцима популација пореклом из региона Мојковац, следи регион Рожаје са 149 mg/100g, затим са 124 mg/100g регион Андријевица, док је најнижа просечна вредност садржаја делфинидина од 117 mg/100g забележена у региону Беране.

Посматрано по локалитетима, највећа количина делфинидина утврђена је у популацији боровнице пореклом са локалитета Жарска Чука (ZC) са 205 mg/100g (регион Мојковац), затим популација са локалитета Букељ (BK) 200 mg/100g (регион Рожаје), следи Жарски Катун (ZА) са 180 mg/100g (регион Мојковац). Ове три популације са преко 180 mg/100g делфинидина знатно су надмашиле остале популације (Табела 9. и Граф. 12). Ова три локалитета налазила су се на подручју са надморском висином преко 1.400 m, северним експозицијама без засене и са UV зрачењем изнад 0,390 W/m2 (Табела 1.).

Највећа остварена вредност од 205,36 mg/100g антоцијанидина делфинидина у узорцима дивље боровнице пореклом са локалитета Жаршка Чука (ZC) у региону Мојковац, била веома значајно већа вредност у односу на 27 популација, осим популација боровнице пореклом са локалитета Жарски Катун (ZA) и Букељ (BK).

Најнижа вредност од 80 mg/100g делфинидина забележена је у узорку пореклом са локалитета Вељи Поток (VP\*) (регион Андријевица) и 86 mg/100g у узорку пореклом салокалитета Сљемена (SL\*) (регион Бијело Поље). На оба локалитета популације самоникле дивље боровнице расле су на јужним странама региона, у сеновитим пределима на надморској висини од око 1.050 m и са веома ниским UV зрачењем до 0,030 W/m2 (Табела 1.).

Највећа просечна вредност од 125 mg/100g садржаја Cy (*цијанидина)* установљена је у узорцима популација пореклом са локалитета Андријевица, следи регион Мојковац са 108 mg/100g, затим са 102 mg/100g региом Беране, док је најнижа просечна вредност садржаја цијанидина од 95 mg/100g констатована у региону Рожаје (Табела 9. и Граф. 11.).

Посматрано по локалитетима, највећа количина цијанидина констатована је у популацији боровнице пореклом са локалитета Крље (KR) са 181 mg/100g (регион Бијело Поље), затим у популацији са локалитета Слатински Катун (SK) 151 mg/100g (регион Андријевица), следе са 150 mg/100g локалитети Буљићи (BU) регион Андријевица и Букељ (BK) (регион Рожаје). Ове четири популације, са преко 150 mg/100g цијанидина имале су значајно већи садржај цијанидина у односу на остале популације.

Табела 9. Садржај појединачних антоцијанидина у плоду испитиваних популација дивље

боровнице (mg/100g)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Популација** | **Делфинидин** | | **Цијанидин** | | **Петунидин** | | **Пеонидин** | | **Малвидин** | |
| **(mg/100g)** | | | | | | | | | |
| ZK\* | 120,88 ± 10,69 | ghi | 107,98 ± 7,09 | def | 51,48 ± 2,28 | i | 12,29 ± 0,57 | j | 92,23 ± 8,09 | f-j |
| SL\* | 85,87 ± 2,70 | jk | 60,42 ± 5,34 | h | 50,32 ± 2,02 | i | 10,43 ± 0,37 | j | 40,03 ± 1,58 | n |
| KO | 135,99 ± 9,43 | e-h | 110,13 ± 6,95 | def | 60,07 ± 2,65 | hi | 30,25 ± 2,10 | hi | 60,86 ± 2,93 | lm |
| GK | 120,47 ± 7,49 | ghi | 125,24 ± 7,66 | cd | 85,29 ± 7,00 | d-g | 36,57 ± 1,96 | gh | 120,33 ± 4,27 | cd |
| MK | 130,00 ± 6,15 | fgh | 125,45 ± 7,69 | cd | 75,75 ± 5,80 | fgh | 50,47 ± 3,08 | def | 110,78 ± 4,75 | def |
| KR | 120,90 ± 8,01 | ghi | 180,66 ± 12,08 | a | 90,97 ± 5,75 | def | 60,37 ± 3,56 | cde | 91,00 ± 3,45 | g-j |
| **Просек** | **119,02** |  | **97,40** |  | **68,98** |  | **33,40** |  | **85,87** |  |
| PO | 120,11 ± 9,24 | ghi | 105,57 ± 8,39 | def | 60,52 ± 2,17 | hi | 85,68 ± 5,89 | a | 75,36 ± 5,45 | jkl |
| VE | 160,90 ± 12,08 | cde | 95,15 ± 6,59 | efg | 50,12 ± 3,99 | i | 75,67 ± 6,43 | ab | 140,19 ± 9,19 | ab |
| MD | 110,83 ± 4,70 | hij | 105,48 ± 7,42 | def | 100,72 ± 8,42 | bcd | 20,26 ± 1,19 | ij | 120,62 ± 3,77 | cd |
| ZA | 180,48 ± 16,09 | abc | 115,50 ± 6,30 | de | 95,80 ± 3,26 | cde | 85,16 ± 6,61 | ab | 145,44 ± 11,16 | ab |
| ZC | 205,36 ± 10,33 | a | 110,03 ± 3,48 | def | 100,00 ± 6,97 | bcd | 80,05 ± 5,77 | ab | 155,35 ± 7,16 | a |
| RD | 175,58 ± 10,50 | bcd | 115,93 ± 8,22 | de | 95,83 ± 4,80 | cde | 75,38 ± 3,39 | b | 135,61 ± 8,42 | bc |
| **Просек** | **158,90** |  | **107,94** |  | **83,83** |  | **70,37** |  | **128,76** |  |
| CV | 110,30 ± 8,52 | hij | 80,27 ± 4,45 | gh | 20,48 ± 1,70 | j | 10,91 ± 0,34 | j | 80,28 ± 3,10 | jk |
| KD | 120,55 ± 5,31 | ghi | 120,09 ± 8,86 | cd | 90,53 ± 8,13 | def | 50,90 ± 2,83 | c-f | 105,92 ± 7,61 | d-h |
| RU\* | 90,28 ± 5,70 | jk | 90,87 ± 3,68 | fg | 50,82 ± 2,16 | i | 30,77 ± 2,70 | gh | 90,12 ± 6,63 | hij |
| KP | 120,79 ± 9,53 | ghi | 90,76 ± 4,36 | fg | 75,13 ± 5,64 | fgh | 35,58 ± 1,97 | gh | 80,62 ± 5,21 | jk |
| SI | 140,80 ± 8,30 | efg | 120,60 ± 7,52 | cd | 110,74 ± 5,40 | abc | 30,39 ± 1,85 | hi | 90,97 ± 3,16 | g-j |
| JD | 120,42 ± 8,66 | ghi | 110,61 ± 4,54 | def | 90,55 ± 7,02 | def | 60,69 ± 3,07 | cd | 85,96 ± 2,91 | ijk |
| **Просек** | **117,19** |  | **102,20** |  | **73,04** |  | **36,54** |  | **88,97** |  |
| VP\* | 80,11 ± 2,68 | k | 60,51 ± 2,85 | h | 60,84 ± 3,95 | hi | 20,41 ± 0,89 | ij | 50,52 ± 1,86 | mn |
| PS\* | 120,41 ± 7,61 | ghi | 110,17 ± 7,52 | def | 70,52 ± 2,74 | gh | 30,17 ± 1,54 | hi | 50,26 ± 4,18 | mn |
| CL | 140,32 ± 6,95 | efg | 140,33 ± 6,52 | bc | 100,63 ± 4,68 | bcd | 50,83 ± 1,74 | c-f | 100,08 ± 8,72 | e-i |
| SK | 160,78 ± 5,48 | cde | 150,83 ± 7,73 | b | 120,93 ± 8,15 | a | 50,05 ± 3,05 | f | 90,64 ± 7,57 | hij |
| LK | 130,50 ± 4,33 | fgh | 140,53 ± 4,35 | bc | 100.14 ± 7,98 | bcd | 40,95 ± 1,82 | fg | 80,53 ± 5,04 | jk |
| BU | 110,34 ± 5,83 | hij | 150,36 ± 8,36 | b | 95,71 ± 7,22 | cde | 50,32 ± 4,15 | ef | 105,43 ± 6,22 | d-h |
| **Просек** | **123,74** |  | **125,46** |  | **91,46** |  | **40,46** |  | **79,58** |  |
| GL | 100,52 ± 5,97 | ijk | 80,87 ± 2,43 | gh | 60,23 ± 3,18 | hi | 20,45 ± 0,93 | ij | 50,61 ± 4,39 | mn |
| KA\* | 135,98 ± 10,74 | e-h | 110,27 ± 5,64 | def | 50,74 ± 4,24 | i | 30,05 ± 2,14 | hi | 70,40 ± 3,07 | kl |
| BK | 200,32 ± 13,36 | ab | 150,30 ± 11,33 | b | 115,64 ± 7,99 | ab | 50,40 ± 3,90 | ef | 105,81 ± 5,74 | d-h |
| BR\* | 170,93 ± 13,72 | cd | 105,64 ± 6,13 | def | 80,96 ± 6,11 | efg | 30,38 ± 2,02 | hi | 115,90 ± 7,57 | de |
| TU | 135,28 ± 10,40 | e-h | 110,72 ± 6,55 | def | 90,15 ± 6,22 | def | 50,39 ± 3,09 | ef | 70,70 ± 3,05 | kl |
| BA | 150,29 ± 8,11 | def | 120,91 ± 5,99 | cd | 110,13 ± 7,84 | abc | 60,83 ± 2,57 | c | 110,12 ± 9,13 | d-g |
| **Просек** | **148,89** |  | **94,67** |  | **84,64** |  | **40,42** |  | **87,26** |  |
| **Укуп. просек** | **133,55** |  | **105,53** |  | **80,39** |  | **44,24** |  | **94,88** |  |

a, b….различита мала слова показују значај разлику (P ≤ 0.05; Takey′s Multiple Range test) у колони; Знак звездица (\*) означава да су биљке боровнице расле у засени;

;

Као и код највишег садржаја делфинидина, иста тенденција је уочена и код највећег садржаја цијанидина, наиме сва четири поменута локалитета налазила су се на подручју са надморском висином преко 1.400 m, северним експозицијама без засене и са UV зрачењем изнад 0,390 W/m2 (Табела 1.).

Најнижа вредност од 60 mg/100g цијанидина утврђена је у узорку пореклом са локалитета Сљемена (SL\*) (регион Бијело Поље) и 61 mg/100g у узорку пореклом са локалитета Вељи Поток (VP\*) (регион Андријевица). У истим популацијама забележен је и најнижи садржај делфинидина. Иста тенденција, када је у питању најнижа вредност делфинидина, запажена је и код најнижег садржаја цијанидина у узорцима испитиваних популација. На оба локалитета популације самоникле дивље боровнице расле су на јужним експозицијама, у сеновитим пределима на надморској висини од око 1050 m са веома ниским UV зрачењем до 0,030 W/m2 (Табела 1.).

Граф. 11. Садржај цијанидина и пеонидина (mg/100g) у популацијама дивље боровнице

Највећа просечна вредност од 70 mg/100g Pn(пеонидина) констатована је у узорцима популација пореклом из региона Мојковац, следе региони Андријевица и Рожаје са по 40 mg/100g, затим са 37 mg/100g регион Беране, док је најнижа просечна вредност садржаја пеонидина од 33 mg/100g забележена у региону Бијело Поље (Табела 9. и Граф. 11.).

Највиша вредност појединачног антоцијанидина Pn од 85,68 mg/100g (Табела 9.), који припада групи ди-супституисаних деривата антоцијана утврђена је у региону Мојковац на локалитету Подбишће (PO), затим следи локалитет Жарски Катун (ZA) са 85,16 mg/100g, затим локалитет Жарска Чука (ZC) са 80,05 mg/100g, што је резултат и највеће у просеку формиране групе ди-супституисаних деривата антоцијана у овом региону од 178,08 mg/100g (Табела 10.).

Значајно је непоменути да се популације боровнице са ова три локалитета налазе на северним експозицијама са UV радијацијом преко 0,370 W/m2 (Табела 1.).

Најнижа вредност од 10 mg/100g пеонидина забележена је у узорку пореклом са локалитета Сљемена (SL\*) (регион Бијело Поље), затим са 11 mg/100g локалитет Црни врх (CV) из региона Беране и са 12 mg/100g локалитет Жуте косе (ZK\*) (регион Бијело Поље). Ниске вредности антоцијанидина пеонидина на ова два локалитетима пореклом из Бијелог Поља последица су тога што су популације самоникле дивље боровнице расле на јужним странама у засени, док су сва три локалитета заузимала подручја са надморским висинама испод 1.110 m и са веома ниским UV зрачењем до 0,270 W/m2 (Табела 1.).

Код популација дивље боровнице из региона Мојковац констатован је значајно већи садржај пеонидина (70,4 mg/100g) у поређењу са другим регионима (Табела 9.).

Просечан садржај Pt (петунидина) за све проучаване регионе био је 80,4 mg/100g. Највећа просечна вредност од 91 mg/100g петунидина установљена је у узорцима популација пореклом из региона Андријевица, следи регион Рожаје са 85 mg/100g, затим са 84 mg/100g регион Мојковац, док је најнижа просечна вредност садржаја петунидина од 69 mg/100g забележена у региону Бијело Поље (Табела 9. и Граф. 12).

Посматрано по локалитетима, највећи садржај петунидина-деривата забележен је у узорцима пореклом са локалитета Слатински катун (SK) (121 mg/100g) регион Андријевица, следи локалитет Букељ (BK) (116 mg/100g) регион Рожаје, Шишка (SI) и Банџов (BA) (111 mg/100g и 110 mg/100g). Све ове популације дивље боровнице налазиле су се на надморској висини већој од 1.400 m и на парцелама оријентисаним северно и североисточно и изложене UV зрачењу од преко 0,395 W/m2.

Најнижа вредност од 20 mg/100g петунидина забележена је у узорку пореклом са локалитета Црни врх (CV) (регион Беране), била је веома значајно нижа у односу на све испитиване локалитете. Као и за предходно поменуте антоцијанидине, ниже вредности петунидина установљене су у узорцима дивље боровнице пореклом са локалитета на јужним експозицијама, у засени, нижим надморским висинама и са нижом UV радијацијом испод 0,270 W/m2 (Табела 1.).

Просечан садржај Mv(малвидина) за све проучаване регионе био је 95 mg/100g. Највећа просечна вредност од 129 mg/100g малвидина остварена је у узорцима популација пореклом из региона Мојковац, следи регион Беране са 89 mg/100g, затим са 87 mg/100g регион Рожаје, док је најнижа просечна вредност садржаја малвидина од 80 mg/100g забележена у региону Андријевица (Табела 9. и Граф. 12.).

Највећи садржај појединачног антоцијанидина малвидина констатован је у популацијама дивље боровнице пореклом из региона Мојковац са локалитета Жаршка Чука (ZC) од 155,35 mg/100g, следи популација Жарски Катун (ZA) са 145,44 mg/100g, затим популација Вечериновац (VE) са 140,19 mg/100g (Табела 9). Ове популације боровнице су расле на сунчаним северним експозицијама и изложене су UV зрачењу већем од 0,410 W/m2, што указује да већи интензитет UV сунчевог зрачења повећава садржај малвидина.

Овако високе вредности садржаја Mv у популацијама боровнице пореклом из региона Мојковац су резултат највеће просечне вредности од 370,42 mg/100g три-супституисаних деривата антоцијана (Табела 10.), као и највеће просечне UV радијације од 0,423 W/m2, у поређењу са осталим регионима (Табела 1.).

Граф. 12. Садржај делфинидина, петунидина и малвидина (mg/100g) у популацијама дивље боровнице

Најнижи садржај Mv од 40,03 mg/100g забележен је у популацији боровнице пореклом са локалитета Сљемена (SL\*) у региону Бијело Поље, што је директна последица ниске 0,030 W/m2 UV радијације на овом локалитету, који се налазио на јужној експозицији и био је у засени (Табела 1.).

Највећи садржај од 120,93 mg/100g (Табела 9. и Граф. 12.) антоцијанидина Pt (петунидина) утврђен је у популацији боровнице пореклом из региона Андријевица на локалитету Слатински Катун (SK), следи популација пореклом са локалитета Букељ (BK) са садржајем од 115,64 mg/100g из региона Рожаје. Затим следе популације боровнице пореклом са локалитета Шишка (SI) са 110,74 mg/100g и популација пореклом са локалитета Банџов (BА) са 110,13 mg/100g. Све наведене популације дивље боровнице са високим садржајем антоцијанидина Pt се налазе на положајима преко 1.400 m надморске висине, и са преко 0,395 W/m2 UV радијацијом и парцеле су биле орјентисане север и северо-исток (Табела 1.).

Најнижи садржај Pt од 20,48 mg/100g установљен је у популацији боровнице пореклом са локалитета Црни Врх (CV) из региона Беране.

## 6.2.4. Садржај ди, три-субституисаних и метоксилованих деривата

## антоцијана (mg/100g)

Највећи садржај од 240,35 mg/100g ди-супституисаних деривата антоцијана забележен је код популације боровнице пореклом са локалитета Крље (KR), чија вредност је била значајно већа у односу на све остале испитиване популације боровнице (Табела 10. и Граф. 13.). Затим следе популације боровнице по заступљености ди-супституисаних група пореклом са локалитета Слатински Катун (SK) са 200,76 mg/100g, затим популација пореклом са локалитета Жарски Катун (ZA) са 200,51mg/100g, Букељ (BK) са 200,26 mg/100g и Буљићи (BU) са 200,13 mg/100g, које су у поређењу са 16 популација боровнице пореклом са локалитета ZK, SL, KO, GK (регион Бијело Поље), MD (регион Мојковац), CV, KO, RU, KP, SI (регион Беране), VP, PS (регион Андријевица), GL, KA, BR и TU (регион Рожаје) оствариле су значајно већи садржај ди-супституисаних деривата антоцијана. Добијене значајне разлике ди-супституисаних деривата између наведених локалитета потврђује и PCA анализа (Слика 13.).

Највећи садржај ди-супституисаних група констатован је у узорцима популацијама дивље боровнице које су водиле порекло са локалитета са надморском висином преко 1.650 m, који су се налазили на северним експозицијама где је UV радијација била преко 0,420 W/m2 (Табела 1.).

Табела 10. Садржај ди-, три-супституисаних и метоксилованих деривата антоцијана у плоду

испитиваних популација дивље боровнице (mg/100g)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | | |
| **Популација** | **Σ Три-супституисани** | | **Σ Ди-супституисани** | | **Σ Метоксиловани** | |
| **(mg/100g)** | | | | | |
| ZK\* | 263,78 ± 18,58 | i-m | 119,63 ± 6,31 | ijk | 155,68 ± 7,35 | jk |
| SL\* | 175,98 ± 8,84 | o | 70,18 ± 2,65 | l | 100,18 ± 3,24 | m |
| KO | 255,64 ± 10,89 | j-m | 140,62 ± 11,91 | e-i | 150,85 ± 7,66 | jkl |
| GK | 325,20 ± 19,98 | d-h | 161,54 ± 8,27 | c-g | 241,14 ± 8,86 | c-g |
| MK | 315,11 ± 19,14 | d-i | 175,51 ± 7,26 | b-e | 235,17 ± 21,05 | d-g |
| KR | 300,50 ± 21,20 | f-j | 240,35 ± 17,47 | a | 240,61 ± 15,87 | c-g |
| **Просек** | **272,70** |  | **151,31** |  | **187,27** |  |
| PO | 255,23 ± 18,12 | j-m | 190,74 ± 14,21 | bc | 220,71 ± 12,94 | fgh |
| VE | 350,57 ± 24,94 | c-f | 170,12 ± 9,01 | b-f | 265,43 ± 11,48 | b-e |
| MD | 330,30 ± 14,13 | d-h | 125,90 ± 10,88 | g-k | 240,64 ± 17,23 | c-g |
| ZA | 420,51 ± 31,28 | ab | 200,51 ± 16,61 | b | 325,07 ± 12,72 | a |
| ZC | 460,56 ± 26,56 | a | 190,97 ± 16,77 | bc | 335,72 ± 28,57 | a |
| RD | 405,34 ± 19,07 | abc | 190,26 ± 6,84 | bc | 305,70 ± 20,32 | ab |
| **Просек** | **370,42** |  | **178,08** |  | **282,21** |  |
| CV | 210,49 ± 10,10 | mno | 90,66 ± 4,43 | kl | 110,75 ± 3,41 | lm |
| KO | 287,11 ± 20,50 | g-k | 150,15 ± 8,40 | d-i | 222,58 ± 12,82 | e-h |
| RU\* | 230,11 ± 9,91 | l-o | 120,67 ± 8,06 | ijk | 170,15 ± 7,00 | ijk |
| KP | 275,54 ± 16,39 | h-l | 125,20 ± 6,54 | h-k | 190,68 ± 14,66 | hij |
| SI | 340,44 ± 11,68 | d-g | 150,05 ± 8,70 | d-i | 230,05 ± 11,93 | d-h |
| JD | 330,41 ± 11,70 | d-h | 175,88 ± 13,70 | b-e | 260,67 ± 13,44 | c-f |
| **Просек** | **279,02** |  | **135,44** |  | **197,48** |  |
| VP\* | 190,81 ± 13,94 | no | 80,25 ± 5,88 | l | 130,75 ± 7,86 | klm |
| PS\* | 240,51 ± 13,66 | k-n | 140,25 ± 4,82 | e-i | 150,40 ± 4,66 | jkl |
| CL | 340,08 ± 14,50 | d-g | 190,94 ± 12,04 | bc | 250,36 ± 17,60 | c-g |
| SK | 370,76 ± 15,88 | bcd | 200,76 ± 14,17 | b | 260,05 ± 10,84 | c-f |
| LK | 310,17 ± 13,53 | e-j | 180,64 ± 12,82 | bcd | 220,32 ± 18,66 | fgh |
| BU | 310,18 ± 16,67 | e-j | 200,13 ± 16,79 | b | 250,99 ± 11,85 | c-g |
| **Просек** | **293,75** |  | **165,50** |  | **210,48** |  |
| GL | 210,57 ± 9,91 | mno | 100,34 ± 5,51 | jkl | 130,06 ± 8,38 | klm |
| KA\* | 255,76 ± 10,39 | j-m | 140,78 ± 10,62 | e-i | 150,94 ± 11,76 | jkl |
| BK | 420,05 ± 24,84 | ab | 200,26 ± 14,79 | b | 270,43 ± 10,91 | bcd |
| BR\* | 365,18 ± 18,96 | b-e | 135,48 ± 9,61 | f-j | 225,76 ± 13,89 | e-h |
| TU | 295,10 ± 12,52 | f-k | 160,70 ± 14,40 | c-h | 210,02 ± 8,19 | ghi |
| BA | 370,73 ± 15,95 | bcd | 180,06 ± 14,89 | bcd | 280,75 ± 18,29 | bc |
| **Просек** | **319,57** |  | **152,94** |  | **211,33** |  |

a, b….различита мала слова показују значај разлику (P ≤ 0.05; Takey′s Multiple Range test) у колони; Знак звездица (\*) означава да су биљке боровнице расле у засени;

Највеће вредности ди-супституисаних група (Табела 10.) остварене код популација боровнице, поклапају се са највећим вредностима антоцијанидина Cy (цијанидина) (Табела 9.), који се добија путем F3′H синтезе.

Најнижи садржај ди-супституисаних деривата антоцијана у плодовима боровнице установљени су у популацијама пореклом са локалитета Сљемена (SL\*) (регин Бијело Поље) са 70,18 mg/100g и код популације Вељи Поток (VP\*) (регион Андријевица) 80,25 mg/100g (табела 10.), обе популације борвница се налазе на јужним експозицијама и расле су у сенци са веома ниском UV радијацијом (Табела 1.), што је имало директну последицу најниже вредности ди-супституисаних група код ових популација. Овакве резултате потврђује и PCA анализа (Слика 13.).

Посматрано појединачно по испитиваним популацијама боровнице забележене најниже вредности ди-супституисаних (Табела 10.) деривата антоцијана се поклапају са најнижим вредностима антоцијанидина Cy (цијанидина) и Pn (пеонидина) (Табела 9.), који се добијају у F3′H путу синтезе.

Поред тога, Mојковачки регион је имао највећи просечни садржај три-субституисаних (3′,5′-супституисаних) деривата антоцијана, са 370 mg/100g, и највиши просечни садржај метоксилованих деривата антоцијана (282 mg/100g) табела 10. Све популације боровнице из овог региона расле су на северним експозицијама и на надморским висинама преко 1400 m, и оствариле су значајно веће нивое метоксилованих деривата антоцијана у поређењу са онима популацијама пореклом на нижим надморских висина испод 1.400 m, као што је приказано на слици 11.

Граф. 13. Садржај ди-, три-супституисаних и метоксилованих деривата (mg/100g) антоцијана

у популацијама дивље боровнице

Највиши просечам садржај од 282,21 mg/100g метоксилованих деривата антоцијана констатован је у региону Мојковац (Табела 10.), што је био резултат највеће остварене просечне UV радијације од 0,423 W/m2. Сви локалитети у овом региону заузимали су северне експозиције и били су директно осунчани (Табела 1.).

Најнижи просечни садржај метоксилованих (Табела 10.) деривата антоцијана (187 mg/100g) констатован је у региону Бијело Поље, где је такође утврђена најнижа просечна надморска висина од 1.212 m и најниже просечно UV зрачење од 0,280 W/m2 (Табела 1.). Поред тога, две популације са овог подручја расле су у засени. У региону Бијелог Поља такође је констатована и најнижа вредност три-субституисаних деривата антоцијана.

## 

Слика 11*.* Утицај надморске висине на садржај сумарних група антоцијана и малвидина

Поред тога, узорци боровнице са неколико локалитета из региона Мојковац показали су значајно већи садржај малвидина, који прелази 130 mg/100g у поређењу са узорцима дивље боровнице пореклом са других истраживаних локација.

На слици 11. можемо видети да концентрација појединачног антоцијанидина малвидина у плоду дивље боровнице расте са повећањем надморске висине.

Највећа просечна вредност од 158,90 mg/100g (Табела 9.) Dp констатована је у региону Мојковац, где је и забележена и највећа просечна синтеза три-супституисаних деривата антоцијана од 370,42 mg/100g (Табела 10.) у узорцима популација дивље боровнице.

Најниже вредности од 80,11 mg/100g садржаја антоцијанидина Dp забележена је на локалитету Вељи Поток (VP\*) из региона Андријевица и локалитету Сљемена (SL\*) 85,87 mg/100g из региона Бијело Поље (Табела 9.) На оба локалитета популације боровница су се развијале на јужним експозицијама и расле су у засени. Такође, на ова два локалитета надморска висина била је око 1.050 m и са врло ниском UV радијацијом до 0,030 W/m2 (Табела 1.). Најниже постигнуте вредности антоцијанидина Dp на ова два локалитета су и директна последица најнижих вредности утврђених три-супституисаних деривата антоцијана (Табела 10.).

## 6.3. Корелациона повезаност испитиваних особина

Коефицијент корелације сагледава међузависност две променљиве. Испитивање оваквих међузависности представља корелациону анализу. Корелације између испитиваних особина је врло важан сегмент анализе и оцењивања резултата истраживања. Корелациона анализа приказује интензитет зависности испитиваних особина. У зависности од степена слагања независних промењивих постоји већа или мања корелација, односно коефицијент корелације **(Hadživuković, 1991)**.

Корелациона анализа урађена је за тридесет испитиваних популација дивље боровнице, при чему су у однос стављане испитиване продуктивне особине и показатељи биолошке вредности бобице. Коефицијенти корелација приказани су у табелама 11. и 12., као и на слици 12.

Из приказаних резултата корелационе анализе и добијених коефицијената корелације (Табела 11. и Слика 12.) забележена је врло висока (p≤0,001) зависности између фактора средине надморске висине и UV радијације (0,64\*\*\*). Између испитиваних продуктивних особина дивље боровнице (ширине плода, висине плода и масе плода) и фактора средине (надморске висине и UV радијације) корелације нису утврђене.

Продуктивна особина бобице ширина плода била је у високој корелацији са висином плода (0,69\*\*\*) и масом плода (0,74\*\*\*). Врло висока кореција (0,74\*\*\*) констатована је између висине плода бобице и масе плода (Табела 11.).

На основу резултата корелационе анализе приказане у табели 12. и слика 12. можемо констатовати да су се корелације испитиваних показатеља кретале од значајних до високо значајних (p≤0,05 до p≤0,001).

Табела 11. Коефицијент корелације испитиваних еколошких услова и особина

продуктивности (n= 30)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Особина/Еколошки фактор** | **Надморска**  **висина** | **UV радијација** | **Ширина плода** | **Висина плода** | **Маса плода** |
| **Надморска висина** | - | 0,64\*\*\* | -0,25 | -0,07 | -0,33 |
| **UV радијација** |  | - | -0,05 | 0,07 | -0,21 |
| **Ширина плода** |  |  | - | 0,69\*\*\* | 0,74\*\*\* |
| **Висина плода** |  |  |  | - | 0,74\*\*\* |
| **Маса плода** |  |  |  |  | - |

Pearson-ov коефицијент корелације: \*\*\* P≤ 0.001, \*\* P≤ 0.01, \* P ≤ 0.05, нивои значајности

Еколошки фактори надморска висина и UV радијација корелирали су (p≤0,05 до p≤0,001) са TPC (0,51\*\*, 0,52\*\*), ТА (0,66\*\*, 0,67\*\*), Cy (0,55\*\*, 0,50\*\*), Pt (0,72\*\*\*, 56\*\*), Pn (0,52\*\*, 61\*\*\*) и Mv (0,37\*, 0,40\*). Надморска висина и UV радијација једино нису корелирали са садржајем Dp у бобицама дивље боровнице.

Табела 12. Коефицијенти корелације испитиваних еколошких услова, особина продуктивности и

биолошке вредности бобице (n= 30)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Особина/Еколошки фактор** | **TPC** | **TA** | **Dp** | **Cy** | **Pt** | **Pn** | **Mv** |
| **Надморска висина** | 0,51\*\* | 0,66\*\* | 0,35 | 0,55\*\* | 0,72\*\*\* | 0,52\*\* | 0,37\* |
| **UV радијација** | 0,52\*\* | 0,67\*\* | 0,33 | 0,50\*\* | 0,56\*\* | 0,61\*\*\* | 0,40\* |
| **Ширина плода** | -0,11 | -0,05 | -0,20 | 0,01 | -0,06 | 0,16 | -0,13 |
| **Висина плода** | -0,04 | 0,28 | 0,11 | 0,26 | 0,31 | 0,34 | -0,02 |
| **Маса плода** | -0,24 | -0,01 | -0,10 | -0,12 | -0,01 | 0,11 | -0,26 |
| **TPC** | - | 0,52\*\* | 0,31 | 0,58\*\*\* | 0,62\*\*\* | 0,27 | 0,39\* |
| **TA** |  | - | 0,80\*\*\* | 0,71\*\*\* | 0,77\*\*\* | 0,79\*\*\* | 0,81\*\*\* |
| **Dp** |  |  | - | 0,41\* | 0,54\*\* | 0,63\*\*\* | 0,65\*\*\* |
| **Cy** |  |  |  | - | 0,69\*\*\* | 0,44\*\* | 0,35 |
| **Pt** |  |  |  |  | - | 0,46\*\* | 0,43\* |
| **Pn** |  |  |  |  |  | - | 0,63\*\*\* |
| **Mv** |  |  |  |  |  |  | - |

Pearson-ov коефицијент корелације: \*\*\* P≤ 0.001, \*\* P≤ 0.01, \* P ≤ 0.05, нивои значајности

Нису утврђене корелације између продуктивних особина (ширине плода, висине плода и масе плода) и показатељи билошке вредности плода боровнице (TPC, ТА, Dp, Cy, Pt, Pn и Mv) табела 12.

Из приказаних резултата корелационе анализе у табели 12 и слика 12. може се констатовати да je TPC у корелативној зависности на нивоу (p≤0,05 до p≤0,001) са ТА (0,52\*\*), Cy (0,58\*\*), Pt (0,62\*\*\*), и Mv (0,39\*). Садржај TPC није био у корелацији са садржајем Dp и Pn у бобицама дивље боровнице. Садржај ТА је врло високо корелирао са свим испитиваним појединачним антоцијанидима (од r = 0,71 до r = 0,81).

## 

Слика 12.Корелациона матрица фактора средине и хемијских једињења боровнице

Између појединачних антоцијанидина констатоване су корелације и кретале су се од значајних до високо значајних (p≤0,05 до p≤0,001). Најјача корелација имеђу појединачних антоцијана (r = 0,69\*\*\*) забележена је између Cy и Pt, затим између Dp и Mv (r = 0,65\*\*\*), затим следе по јачини корелације (r = 0,63\*\*\*) Dp и Pn, односно Pn и Mv. Када су у питању појединачни антоцијанидини, једино нису утврђене значајне корелације између Cy и Mv (Табела 12. и Слика 12.)

**6.4. PCA - мултиваријациона анализа**

Анализа главних компоненти (PCA) је спроведена на популацијама дивље боровнице да би се утврдило потенцијално груписање на основу њихових хемијских профила. Прве две компоненте (PC1 и PC2) слика 13. чиниле су скоро 80% укупне варијансе. PC1 је објашњена са 63%, док је PC2 са 16% укупне варијабилности.



Слика 13**.** PCA анализа подручја сакупљања боровнице према хемијским профилима; BP - Бијело Поље, MK - Мојковац, BR - Беране, AN - Андријевица, RZ - Рожаје; TP - укупни феноли, TA - укупни антоцијани, Dp - делфинидин, Cy - цијанидин, Pt - петунидин, Pn - пеонидин, Mv - малвидин; бројеви локација за прикупљање одговарају бројевима места представљеним у табели 1.

Утврђено је да су појединачна једињења антоцијанидина, као и садржај TPC и TA, негативно повезани са PC1. Ово сугерише да локалитети који се налазе на левој страни графикона (Квадранти I и III) имају већу концентрацију посматраних компоненти. Утврђено је да су узорци боровница пореклом из региона Мојковац најбогатији у компонентама антоцијанидина, са јаким корелацијама са садржајем ТА, делфинидина, пеонидина и малвидина.

Међутим, изузеци су били локалитети Подбишће (PO)и Меки До (MD)из региона Мојковац, који имају слабу позитивну корелацију са PC1. Иако је популација боровнице пореклом са локалитета Подбишће (PO)садржала највише нивое пеонидина (85,7mg/100g) табела 9., количине осталих посматраних једињења биле су средње до ниске.

Услови средине надморска висина преко 1.650 m и UV радијација већа од 0,430 W/m2 и северна експозиција (Табела 1.) на локалитету Шишка (SI) из региона Беране условили су највећу корелацију са TPC, док су слични услови на локалитету Крље (KR) из региона Бијело Поље условили снажну повезаност са садржајем цијанидина и петунидина. Сви локалитети где су популације боровница расле и развијале се у засени осим локалитета Брекњача (BR) из региона Рожаје, налазе се на десној страни графикона, што указује на нижу концентрацију посматраних компоненти (Слика 13.).

Дакле, можемо заључити на основу добијених резултата (PCA) да су узорци дивље боровнице пореклом из региона Мојковац најбогатији у саджају антоцијанских компоненти, док су узорци боровница из осталих региона остварили различите нивое ових компоненти.

# 

# 7. ДИСКУСИЈА

Дивља боровница је лековито воће познато по високом садржају антоцијана, флавоноида, витамина, аскорбинске киселине, каротеноида, токоферола и фенолних киселина. Боровница се дуго користи у оријенталној медицини за превенцију и лечење разних болести, као што су оштрина вида, хипергликемија, дислипидемија, дијабетес, рак, гојазност, упалне и кардиоваскуларне болести **(Bayazid et al., 2021)**. Савремени човек се „плаши“ за своје здравље и из тог разлога последњих 20 година расту потребе за „здравом“ храном. Управо због тога расте потражња за свежим плодовима боровнице на тржишту. Потребни су напори да се идентификују подручја у којима биљке дају велике приносе са високом биолошком вредошћу **(Zoratti et al., 2015)**. Биљке са високом биолошком вредношћу у погледу количине и квалитета плодова могу се идентификовати помоћу различитих особина у корелацији са карактеристикама приноса и квалитета **(Roma** и **Ciulca, 2021)**.

**Roma** и **Ciulca, (2021)** на крају својих истраживања закључују да резултати продуктивних особина указују да је другачија морфолошка архитектура биљака од једне популације боровница до друге, резултат утицаја деловања локалних услова средине.

**Ширина плода дивље боровнице**

Продуктивна особина ширина плода дивље боровнице је у позитивној корелацији са висином биљака, односно у негативној корелацији са повећањем пречника стабљике и броја грана **(Roma** и **Ciulca, 2021)**.

Просечна ширина бобице за све испитиване локалитете била је 8,41 mm (Табела 4.) Посматрано по регионима, просечно највећа просечна ширина бобице од 8,58 mm забележена је у региону Бијело Поље, затим са 8,57 mm следе Мојковац и Андријевица, док је најмања 8,15 mm просечна ширина плода установљена у региону Рожаје. Најнижа просечна ширина плода дивље боровнице забележена у региону Рожаје је последица најниже просечне UV радијације од 0,297 W/m2 (Табела 1.) и најнижег просечног садржаја хумуса 7,052% у земљишту (Табела 3.) забележених у овом региону. Овакви резултати су у складу са истрживањима које наводе **Roma** и **Ciulca, (2021)** да су вредности продуктивних особина дефинисане морфолошком архитектуром биљака од једне популације боровница до друге, која је резултат утицаја деловања локалних услова средине.

Из резултата мерења приказаних у табели 4. види се да су највећу просечну ширину плода од 8,9 mm дивље боровнице оствариле популације пореклом са локалитета Жуте косе (ZK\*), Подбишће (PО) и Вељи Поток (VP\*) у регионима Бијелог Поља, Мојковца и Андријевице, док је најмања вредност ширине плода дивље боровнице 7,7 mm утврђена код популације пореклом са локалитета Брекњача (BR\*) у региону Рожаје (Табела 4. и Граф. 6.).

Највеће забележене вредности ширине плода у популацијама боровнице су пореклом са локалитета Жуте косе (ZK\*) регион Бијело Поље и локалитета Вељи Поток (VP\*) регион Андријевица. На оба локалитета популације боровнице расле су у засени са врло ниском UV радијацијом испод 0,095 W/m2 (Табела 1.), али са високим садржајем хумуса преко 13,50% (Табела 3.). Овакви резултати су у сагласности са истраживањима **Parlane et al. (2006)**, који наводе да подручја са делимичном засеном нуде најоптималније светлосне услове за развој дивље боровнице.

Код узорака боровница са поменута три локалитета Жуте косе (ZK\*), Подбишће (PО) и Вељи Поток (VP\*) утврђена је највећа ширина плода (Табела 4. и Граф. 6.), а на истим узорцима констатована је и највећа маса плода (Табела 6. и Граф. 8.)

У узорку боровнице пореклом са локалитета Брекњача (BR\*) у региону Рожаје (Табела 4. и Граф. 6.) забележена је најнижа ширина плода и такође најмања маса плода (Табела 6. и Граф. 8.).

**Roma** и **Ciulca, (2021)** су у својим истраживањима користећи анализу варијансе вишеструке регресије утврдили да ширина плода има велики и значајан утицај (60,77 %) на масу плода. Даље су утврдили да постоји негативна корелација између облика плода и садржаја растворљиве чврсте материје и масе плода, што указује да је плод са мањим пречником богатији растворљивим чврстим материјама. Такође и **Kalt et al. (2001)** наводе да су ситнији плодови имали већи антиоксидативни капацитет.

**Висина плода дивље боровнице**

Просечна висина бобице за све испитиване локалитете била је 7,51 mm. Посматрано по регионима највећа просечна висина бобице од 7,63 mm забележена је у региону Бијело Пољe, затим са 7,62 mm следе Мојковац и Андријевица, док је најмања (7,15 mm) просечна висина плода установљена у региону Беране (Табela 5.). Остварене вредности висине плода боровнице су у сагласности са резултатима **Roma** и **Ciulca, (2021)**, који наводе да су вредности продуктивних особина резултат утицаја деловања локалних услова средине.

Највећа висина плода дивље боровнице од 7,9 mm забележена је на локалитету Турјак (TU) у региону Рожаје (Табела 5. и Граф. 7.), што је резултат услова средине на овом локалитету. Самоникла дивља боровница расла је на надморској висини преко 1.500 m и са врло високом UV радијацијом преко 0,450 W/m2 (Табела 1.). Овакви резултати су у складу са истраживањима које наводе **Roma** и **Ciulca, (2021)** да су вредности продуктивних особина одређене морфолошком архитектуром биљака, која је дефинисана условима средине. Повећање висине биљака утиче на повећање крупноће плода па самим тим и висине плода, док су повећање пречника стабљике и броја грана негативно утицали на висину плода (**Roma** и **Ciulca, 2021)**.

Најнижа вредност висине плода (Табела 5. и Граф. 7.) дивље боровнице од 6,8 mm установљена је на локалитету Црни Врх (CV) у региону Беране, као последица нешто ниже надморске висине око 1.100 m и UV радијације 0,262 W/m2 (Табела 1.). Најнижа вредност висине плода на локалитету Рутовка (RU\*) у региону Беране последица је услова средине источне експозиције и засене у којима је расла популација боровнице (Табела 1.). Овакви резултати су у сагласности са резултатима **(Roma** и **Ciulca, 2021)**.

Најмање вредности висине плода дивље боровнице од 6,8 mm утврђене су на локалитетима Црни Врх (CV) и Рутовка (RU\*) у региону Беране (Табела 5. и Граф. 7.), а на истим локалитетима забележена је и најнижа маса плода (Табела 6. и Граф. 8.).

**Просечна маса (крупноћа) плода дивље боровнице**

Варијабилност масе плода углавном је последица утицаја висине и ширине плода, и под ниским утицајем од облика и садржаја растворљиве чврсте материје у плодовима. **Roma** и **Ciulca, (2021)** указују на постојање позитивних корелација и статистички значајних односа између ширине и висине плода, са њиховом масом. Даље тврде да повећање висине биљака углавном доводи до повећања масе плода, док су пречник стабљике и број грана негативно утицали на величину плода.

Анализа просечне масе плода дивље боровнице у 2019. години (Табела 6.) показала је врло значајне разлике под утицајем популације (фактор A). Услови средине у којима се популације самониклих боровница развијају одређују морфолошка архитектура биљака од једне популације боровница до друге, која директно дефинише продуктивне особине дивље боровнице **(Roma** и **Ciulca, 2021)**.

Упоређујући регионе, највећа просечна маса плода од 0,378 g дивље боровнице утврђена је у Мојковцу, следи регион Бијелог Поља са 0,357 g, затим са 0,350 g Андријевица, док је најмања (0,312 g) просечна маса плода установљена у региону Беране (Табела. 6.). Највећа просечна маса плода од 0,378 g дивље боровнице утврђена је у региону Мојковац, што је резултат просечно највеће UV радијације 0,423 W/m2 (табела 1.) у овом региону. Овакви резултати су у складу са истраживањима **(Roma** и **Ciulca, 2021)**.

Посматрано појединачно по испитиваним локалитетима највећа маса плода дивље боровнице од 0,423 g констатована је код популације пореклом са локалитета Меки До (MD) из региона Мојковца, следи са 0,407 g популација пореклом са локалитета Жуте косе (ZK\*) из региона Бијело Поље, затим са 0,395 g популација са локалитета Подбишће (PO) из региона Мојковца, док је најмања вредност масе плода од 0,288 g дивље боровнице утврђена код популације пореклом са локалитета Рутовка (RU\*) из региона Беране (Табела 6. и Граф. 8.). Највећа маса плода дивље боровнице од 0,423 g забележена је код популације пореклом са локалитета Меки До (MD) из региона Мојковац, што је резултат високе UV радијације од 0,410 W/m2 (Табела 1.) на овом локалитету.

Популација дивље боровнице пореклом са локалитета Жуте косе (ZK\*) из региона Бијело Поље остварила је другу по вредности просечну масу бобице од 0,407 g, иако се развијала у засени и са веома ниском UV радијацијом испод 0,095 W/m2 и надморском висином од 715 m (Табела 1.). Овакви резултати су у складу са истраживањима **(Parlane et al., 2006; Roma** и **Ciulca, 2021)**, који тврде да еколошки услови станишта дефинишу принос бобица, односно масу плода.

Резултати најниже просечне масе бобице (Табела 6. и Граф. 8.) остварени су на локалитетима Црни Врх (CV) и Рутовка (RU\*), на истим локалитетима утврђена је и најмања просечна висина плода од 6,8 mm (Табела 5. и Граф. 7.). Овакви резултати су у сагласности са резултатима других истраживача **(Parlane et al., 2006; Roma** и **Ciulca, 2021)**.

У својим истраживањима **Roma** и **Ciulca, (2021)** наводе да су користећи анализу варијансе и вишеструке регресије су утврдили да пречник плода има велики и значајан утицај (60,77 %) на масу плода, односно да висина плода утиче са 31,93 % на масу плода. **Kalt et al. (2001)** наводе да су ситнији плодови имали већи антиоксидативни капацитет, док **Manninen** и **Peltola, (2019)** констатују да је антиоксидативни капацитет *Vaccinium* врста у већој корелацији са укупним фенолима него са антоцијанима.

**Укупни полифеноли**

Упоређујући регионе по просечним вредностима садржаја укупних фенола, највећи садржај TPC од 660,4 mg GAE/100 g FW забележен је у региону Беране, следи регион Бијело Поље са 616,5 mg GAE/100 g FW, затим регион Мојковац са 576 mg GAE/100 g FW, док је најнижи садржај од 554,7 mg GAE/100 g FW укупних фенола установљен у региону Рожаје (Табела 7. и Граф. 9.). Највише вредности укупних фенола у узорцима самоникле дивље боровнице у региону Беране су резултат највеће просечне надморске висине (1.559 m) и високе просечне UV радијације од 0,390 W/m2 (Табела 1.). Наши резултати су у сагласности са претходним истраживањима садржаја TPC **(Jaakola et al., 2004; Lätti et al., 2008; Martz et al., 2010)**, који констатују да фактори спољне средине надморска висина, UV радијација и експозиција подручја директно утичу на синтезу секундарних метаболита у плоду дивље боровнице.

Вредности TPC забележене у нашој студији за већину популација су упоредиве са вредностима TPC оставреним у узорцима дивље боровнице из других европских земаља и Турске (Табела 13.).

Посматрано по локалитетима, највећи садржај од 890 mg GAE/100 g FW укупних фенола утврђен у узорку бобица пореклом са локалитета Шишка (SI) (регион Беране), док су бобице прикупљене са локалитета Вељи Поток (VP) (регион Андријевица) имале најмањи садржај од 371 mg GAE/100 g FW укупних фенола (Табела 7. и Граф. 9).

Највећи садржај укупних фенола установљен је у узорцима испитиваних популација пореклом са локалитета Шишка (SI), Букељ (BK), Крље (KR) и Јабланов До (JD), који су се налазили у подручјима са надморском висином преко 1.400 m, условима високе UV радијације преко 0,390 W/m2 и северним експозицијама без засене (Табела 1.).

Табела 13. Поређење садржаја TPC у популацијама дивље боровнице у Европи и Турској

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **TPC,**  **(mg GAE/100 g FW)** | **Регион/Држава** | **Литература** |
| 890 | Serbia | **Šavikin et al., 2009; Šavikin et al., 2014** |
| 524 | Montenegro | **Jovančević et al., 2011** |
| 577-641 | Appennino Modenese, Italy | **Giovanelli and Buratti 2009** |
| 531-647 | Norway | **Rohloff et al., 2015** |
| 498-563 | Coruh, Tureky | **Celik et al., 2017** |
| 640 | Sulechov, Poland | **Ochmian et al., 2009** |
| 803-1040 | Fojnica, Bosnia | **Rimpapa et al., 2007** |
| 893-940 | Velingrad-Troyan, Bulgaria | **Georgieva et al., 2018** |
| 403 | Borja, Bosnia and Herzegovina | **Vučić et al., 2013** |
| 431-455 | Bugojno, Bosnia and Herzegovina | **Aliman et al., 2020** |
| 376-476 | Rakitovo-Yundola, Bulgaria | **Papanov et al., 2021** |
| 392-524 | northeast Montenegro | **Jovančević et al., 2011** |
| 366-457 | Mazovia, Polonia | **Droždž et al., 2017** |
| 387 | Dragacevo, Serbia | **Milivojević et al., 2012** |
| 367-442 | Velka Fatra and Tatra, Slovakia | **Vaneková et al., 2020** |
| 200-215 | northeast Turkey | **Okan et al., 2018** |

Овакви резултати TPC су у складу са претходним резултатима многих аутора **(Jaakola et al., 2004; Hohtola, 2010; Mikulic-Petkovsek et al., 2015; Petreska-Stanoeva et al., 2017)** који тврде да интензитет светлости, фотопериод, температура и надморска висина утичу на биосинтезу секундарних метаболита: антоцијана, катехина, флавонола и хидроксициметне киселине. **Manninen** и **Peltola, (2019)** констатују да је антиоксидативни капацитет *Vaccinium* врста у већој корелацији са укупним фенолима него sа антоцијанима.

**Укупни антоцијани**

Многи аутори у ранијим истраживањима **(Može et al., 2011; Su, 2012; Zoratti et al., 2014a; Petreska-Stanoeva et al., 2017)** констатују да антоцијани представљају главну класу полифенола која карактерише род *Vaccinium*. Највећи садржај ТА у боровницама из нашег истраживања је (655,5 mg/100 g) (Табела 8. и Граф. 10.), био је нижи у поређењу са садржајем ТА у боровницама из Словеније (1210 ± 111 mg/100 g) **(Može et al., 2011)**, али виши у односу на боровнице из Финске (411 mg/100 g) **(Lätti et al., 2008)**.

Познато је још од раније да интензитет светлости, фотопериод, температура и надморска висина утичу на биосинтезу секундарних метаболита: антоцијана, катехина, флавонола и хидроксициметне киселине **(Jaakola et al., 2004; Jaakola** и **Hohtola, 2010; Hohtola, 2010; Mikulic-Petkovsek et al., 2015; Stanoeva et al., 2017; Papanov et al., 2021)**. Овакви наводи су у сагласности са резултатима добијеним у нашим истраживањима.

**Lätti et al. (2008)** у својој студији испитивали 20 популација дивљих боровница широм Финске и открили да бобице пореклом из подручја са јужним експозицијама поседују нижи укупан садржај антоцијана у поређењу са северним експозицијама, што је у сагласности са резултатима из наших истрживањима. Такође, **Akerstrom et al. (2010)** констатују да популације боровнице које расту у северним географским ширинама садрже веће количине флавоноида, посебно антоцијана, у поређењу са популацијама боровнице са јужних географских ширина.

Просечни садржај ТА у нашим истраживањима у хелиофитским стаништима био је већи за 17%, у поређењу са претходним истраживањем **Latti et al. (2008)** у узорцима дивље боровнице у Финској.

Бројна истраживања су се фокусирала на утицај UV зрачења и надморске висине на садржај биоактивних једињења у биљном материјалу. Ови налази могу допринети значају наше студије. Тако су **Martz et al. (2010)** утврдили да већи интензитет светлости има израженији ефекат на стимулисање веће производње фенола, од хемијског састава земљишта.

Такође, **Hokkanen et al. (2009)** и **Martz et al. (2010)** су показали да сунчево зрачење повећава експресију гена за биосинтезу и садржај флавоноида у листовима боровнице. Даље, **Zoratti et al. (2014а)** су открили да квалитет светлости, односно излагање биљака боровнице монохроматским таласним дужинама спектра видљиве светлости, чак и у кратком периоду током зрења плодова, доводи до значајног повећања садржаја антоцијана у зрелим плодовима.

Слично нашим резултатима, **Vanekova et al. (2020)** наводе истражујући дивље боровнице у Словачкој да су популације боровнице које су расле и развијале се на природним травнатим равницама и чистинама, које карактерише више сунчеве светлости, показале је много већи садржај антоцијана у поређењу са онима које су расле на густим, сеновитим и ветровитим пропланцима.

Посматрано по регионима, у просеку највећи садржај укупних антоцијана од 550,07 mg/100g констатован је у региону Мојковац, следи регион Рожаје са 470,65 mg/100g, затим регион Андријевица са 448,92 mg/100g, док је најнижи садржај 414,31 mg/100g укупних антоцијана забележен у региону Беране (Табела 8. и Граф. 10.). Највећи просечни садржај укупних антоцијана у региону Мојковац је резултат највиших остварених вредности ТА на три локалитета из овог региона: Жарска Чука (ZC) (656 mg/100g) Жарски Катун (ZA) (623 mg/100g) и Рабренов До (RD) (605 mg/100g ). На сва три ова локалитета смоникла дивља боровница расла је на надморској висини преко 1.650 m, северним експозицијама терена и са преко 0,410 W/m2 UV зрачењем (Табела 1.). Овакви резултати су у складу са ранијим истраживањима **(Taulavuori et al., 2010; Zoratti et al., 2014а)** који наводе да дивље боровнице које расту на северним географским ширинама где летње ноћи карактерише дуг сумрак са високим односом плаве и дуготаласне црвене светлости. Услови северног светла подстичу акумулацију антоцијана у плодовима боровнице већ у раним фазама сазревања плодова.

Најмањи садржај укупних антоцијана забележен је у узорку преклом са локалитета Сљемена (SL\*) (236 mg/100g) у региону Бијело Поље и локалитета Вељи Поток (VP\*) 265 mg/100g (Табела 8 и Граф. 10.). Оба локалитета су била на надморској висини испод 1.100 m, на јужним експозицијама терена и са испод 0,040 W/m2 UV зрачењем (Табела 1.). Овакви резултати су у сагласности са резултатима других аутора **(Taulavuori et al., 2010; Zoratti et al., 2014а; Zeng et al., 2020)**, који наводе да надморска висина и услови средине утичу на акумулацију секундарних метаболита.

Неколико других студија **(Rieger et al., 2008; Zoratti et al., 2014b; Zoratti et al., 2015b; Ciulca et al., 2021)** открило је интеракцију између генотипа и животне средине у акумулацији фенолних једињења у природним популацијама боровнице у различитим европским земљама, која су у складу са налазима из нашег истраживања.

Дакле, на основу горе наведеног можемо констатовати да су узорци дивље боровнице сакупљени из популација, које су расле на јужним експозицијама остварили су знатно нижи садржај ТА, у односу на боровнице пореклом са северних експозиција. Такође, популације самоникле дивље боровнице које су расле и развијале у засени (означене са \* у Табели 8.) генерално су показале нижи садржај ТА у поређењу са боровницама које се развијале у сунчаним положајима.

**Појединачни антоцијанидини**

Варирање просечних вредности појединачних антоцијанидина потврдиле су разноликост антоцијанских профила дивље боровнице из различитих станишта северне Црне Горе. Утврђено је да је делфинидин најзаступљенији агликон, а затим следи цијанидин. Наши резултати су у сагласности са резултатима других аутора **(Latti et al., 2008; Esquivel-Alvarado et al., 2020)**.

Минималне и максималне вредности за посматране појединачне антоцијанидине кретале су се за делфинидин од 80,1 до 205 mg/100g, цијанидин од 60,4 до 181 mg/100g, петунидин од 50,1 до 121 mg/100g, пеонидин од 10,4 до 85,7 mg/100g и малвидин 40 до 155 mg/100g (Табела 9.).

Промене у биохемијском саставу бобица популација дивљих боровница из различитих подручја су потврђене у истраживањима других аутора **(Akerstrom et al., 2010; Jovančević et al., 2011; Giordani et al., 2018)** и резултат су кумулативних ефеката интеракције генотипа и еколошких услова средине.

Садржај пет појединачних антоцијанидина испитаних у овој студији је упоредив са претходним истраживањем **Latti et al. (2008)** о популацијама дивље боровнице у Финској. Садржај делфинидина био је приближно исти, док је садржај цијанидина мањи за 11 %, у односу на вредности наведене у Финској. Просечни садржај малвидина, пеонидина и петунидина на северу Црне Горе већи је за 31-41 %, у поређењу са резултатима у Финској.

Највећа просечна вредност од 159 mg/100g **делфинидина** утврђена у узорцима популација пореклом из региона Мојковац (Табела 9.) је резултат положаја, односно северних експозиција свих локалитета, просечне надморске висисне преко 1.500 m и високе просечне UV радијације 0,423 W/m2 (Табела 1.). Овакви резултати су у сагласности са истраживанњима многих аутора **(Lätti et al., 2008; Hokkanen et al., 2009; Martz et al., 2010; Jovančević et al., 2011; Mikulic-Petkovsek et al., 2014; Zoratti et al., 2014a; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022)**, који тврде да су квалитет и интензитет сунчевог зрачења, надморска висина, експозиција положаја популација боровнице су кључни фактори синтезе полифенола.

Посматрано по локалитетима, највећа количина делфинидина утврђена је у популацији боровнице пореклом са локалитета Жарска Чука (ZC) са 205 mg/100g (регион Мојковац), затим у популацији са локалитета Букељ (BK) 200 mg/100g (регио Рожаје), следи Жарски Катун (ZА) са 180 mg/100g (регион Мојковац). Ове три популације са садржајем преко 180 mg/100g делфинидина знатно су надмашиле остале популације. Највећа остварена вредност од 205,36 mg/100g антоцијанидина делфинидина у узорцима дивље боровнице пореклом са локалитета Жаршка Чука (ZC) у региону Мојковац, била је веома значајно већа у односу на 27 популација, осим популација боровнице пореклом са локалитета Жарски Катун (ZA) и Букељ (BK). Сва три локалитета налазила су се на подручју са надморском висином преко 1.400 m, северним експозицијама без засене и са UV зрачењем изнад 0,390 W/m2 (Табела 1.). Наши резултати су у складу са резултатима других истраживача **(Zoratti et al., 2014a; Ouzounis et al., 2015; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Abeysinghe et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022)**, који наводе да је светлост један од главних фактора животне средине који контролишу сазревање воћа и биосинтезу антоцијана. Такође је познато да одређене таласне дужине из опсега фотосинтетског активног зрачења (PAR) позитивно утичу и мењају метаболизам флавоноида **(Liu et al., 2018)**.

Најниже вредности од 80 mg/100g делфинидина забележене су у узорку пореклом са локалитета Вељи Поток (VP\*) (регион Андријевица) и 86 mg/100g у узорку пореклом салокалитета Сљемена (SL\*) (регион Бијело Поље). На оба локалитета популације самоникле дивље боровнице расле су на јужним странама региона, у сеновитим пределима на надморској висини од око 1050 m са веома ниским UV зрачењем до 0,030 W/m2 (Табела 1.). Овако ниске вредности делфинидина на ова два локалитета су очекиване и у сагласности су са резултатима многих аутора **(Hokkanen et al., 2009; Jovančević et al., 2011; Mikulic-Petkovsek et al., 2014; Zoratti et al., 2014a; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022)**, који тврде да се значајно ниже вредности садржаја фенолних једињења и антиоксидативни капацитет јављају у плоду боровница које расту и развијају се у засени.

Највећа просечна вредност од 125 mg/100g садржаја **цијанидина** установљена је у узорцима популација пореклом са локалитета Андријевица, следи регион Мојковац са 108 mg/100g, затим са 102 mg/100g региом Беране, док је најнижа просечна вредност садржаја цијанидина од 95 mg/100g констатована у региону Рожаје (Табела 9.).

Посматрано по локалитетима највећа количина цијанидина констатована је у популацији боровнице пореклом са локалитета Крље (KR) са 181 mg/100g (регион Бијело Поље), затим популација са локалитета Слатински Катун (SK) 151 mg/100g (регион Андријевица), следе са 150 mg/100g локалитети Буљићи (BU) регион Андријевица и Букељ (BK) (регион Рожаје). Ове четири популације, са преко 150 mg/100g цијанидина значајно су имале већи садржај цијанидина у односу на остале популације. Као и код највишег садржаја делфинидина, иста тенденција је уочена и код највећег садржаја цијанидина, наиме сва четири поменута локалитета налазила су се на подручју са надморском висином преко 1.400 m, северним експозицијама без засене и са високим UV зрачењем изнад 0,390 W/m2 (Табела 1.). Овакви резултати су усагласности са резултатима многих аутора **(Zoratti et al., 2014a; Ouzounis et al., 2015; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Abeysinghe et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022)**, који наводе да интензитет светлости на осунчаним местима и надморска висина стимулишу експресију гена за биосинтезу флавоноида у плоду дивље боровнице.

Најниже вредности од 60 mg/100g цијанидина утврђене су у узорку пореклом са локалитета Сљемена (SL\*) (регион Бијело Поље) и 61 mg/100g у узорку пореклом салокалитета Вељи Поток (VP\*) (регион Андријевица). У истим популацијама забележен је и најнижи садржај делфинидина. Иста тенденција када је у питању најнижа вредност делфинидина, запажена је и код најнижег садржаја цијанидина у узорцима испитиваних популација. На оба локалитета популације самоникле дивље боровнице расле су на јужним експозицијама, у сеновитим пределима на надморској висини од око 1.050 m и са веома ниским UV зрачењем до 0,030 W/m2 (Табела 1.). Добијени резултати су у складу са истраживањима других аутора **(Hokkanen et al., 2009; Jovančević et al., 2011; Mikulic-Petkovsek et al., 2014; Zoratti et al., 2014a; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022)**, који наводе да су популације боровнице које су расле на јужним експозицијама, у засени садржале мање количине флавоноида, посебно антоцијана, у поређењу са боровницама са северних експозиција и под директним сунчевим зрачењем.

Највећа просечна вредност од 70 mg/100g **пеонидина** констатована је у узорцима популација пореклом из региона Мојковац, следе региони Андријевица и Рожаје са по 40 mg/100g, затим са 37 mg/100g регион Беране, док је најнижа просечна вредност садржаја пеонидина од 33 mg/100g забележена у региону Бијело Поље (Табела 9. и Граф. 11.). Највећа просечна вредност од 70 mg/100g делфинидина утврђена је у узорцима популација пореклом из региона Мојковац (Табела 9.) је резултат положаја, односно северних експозиција свих локалитета, просечне надморске висисне преко 1.500 m и високе просечне UV радијације 0,423 W/m2 (Табела 1.). Овакви резултати су у сагласности са истраживанњима многих аутора **(Lätti et al., 2008; Hokkanen et al., 2009; Martz et al., 2010; Jovančević et al., 2011; Mikulic-Petkovsek et al., 2014; Zoratti et al., 2014a; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022)**, који тврде да су квалитет и интензитет сунчевог зрачења, надморска висина, експозиција положаја популација боровнице кључни фактори синтезе секундарних метаболита. Код популација дивље боровнице из региона Мојковац констатован је значајно већи садржај пеонидина (70,4 mg/100g) у поређењу са другим регионима (Табела 9.).

Највиша вредност појединачног антоцијанидина пеонидина од 85,68 mg/100g (Табела 9. и Граф. 11.), који припада групи ди-супституисаних деривата антоцијана утврђена је у региону Мојковац на локалитету Подбишће (PO), затим следи локалитет Жарски Катун (ZA) са 85,16 mg/100g, затим локалитет Жарска Чука (ZC) са 80,05 mg/100g, што је и резултат и највеће у просеку формиране групе ди-супституисаних деривата антоцијана у овом региону од 178,08 mg/100g (Табела 10.). Значајно је непоменути да се популације боровнице са ова три локалитета налазе на северним експозицијама са UV радијацијом преко 0,370 W/m2 (Табела 1.).

Најнижа вредност од 10 mg/100g пеонидина забележена је у узорку пореклом са локалитета Сљемена (SL\*) (регион Бијело Поље), затим са 11 mg/100g са локалитета Црни врх (CV) из региона Беране и са 12 mg/100g са локалитета Жуте косе (ZK\*) (регион Бијело Поље). Ниске вредности антоцијанидина пеонидина на овим локалитетима пореклом из Бијелог Поља, последица су тога што су популације самоникле дивље боровнице расле на јужним странама у засени, док су сва три локалитета заузимала подручја са надморским висинама испод 1.110 m и са веома ниским UV зрачењем до 0,270 W/m2 (Табела 1.). Што је у сагласности са ранијим истраживањима многих аутора **(Lätti et al., 2008; Zoratti et al., 2014a; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022)**, који тврде да се значајно ниже вредности садржаја фенолних једињења налазе у плоду боровница које расту и развијају се у засени.

Просечан садржај **петунидина** за све проучаване регионе био је 80,4 mg/100g. Највећа просечна вредност од 91 mg/100g петунидина установљена је у узорцима популација пореклом из региона Андријевица, следи регион Рожаје са 85 mg/100g, затим са 84 mg/100g регион Мојковац, док је најнижа просечна вредност садржаја петунидина од 69 mg/100g забележена у региону Бијело Поље (Табела 9. и Граф. 12.).

Посматрано по локалитетима, највећи садржај петунидина забележен је у узорку популације боровнице са локалитета Слатински Катун (SK) (121 mg/100g) регион Андријевица, следи популација пореклом са локалитета Букељ (BK) (116 mg/100g) регион Рожаје, затим популације пореклом са локалитета Шишка (SI) и Банџов (BА) са 111 mg/100g и 110 mg/100g. Све ове популације дивље боровнице налазиле су се на надморској висини већој од 1.400 m и на парцелама оријентисаним северно и североисточно и изложене UV зрачењу од преко 0,395 W/m2. Овакви резултати су у сагласности са истраживанњима многих аутора **(Lätti et al., 2008; Hokkanen et al., 2009; Martz et al., 2010; Jovančević et al., 2011; Mikulic-Petkovsek et al., 2014; Zoratti et al., 2014a; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022)**, који тврде да еколошки услови локалитета дефинишу морфолошку архитектуру биљака боровнице од које зависи развој секундарних метаболита. Слично мишљење деле и **Ouzounis et al. (2015)** и **Abeysinghe et al. (2019)** да је светлост један од главних фактора животне средине који контролишу сазревање воћа и биосинтезу антоцијана.

Најнижа вредност од 20 mg/100g петунидина забележена је у узорку пореклом са локалитета Црни врх (CV) (регион Беране), била је веома значајно нижа у односу на све испитиване локалитете. Као и за предходно поменуте антоцијанидине ниже вредности петунидина установљене су у узорцима дивље боровнице пореклом са локалитета на јужним експозицијама, у засени, нижим надморским висинама и са нижом UV радијацијом испод 0,270 W/m2 (Табела 1.). Наши резултати су у сагласности са резултатима других аутора **(Hokkanen et al., 2009; Jovančević et al., 2011; Mikulic-Petkovsek et al., 2014; Zoratti et al., 2014a; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022).**

Просечан садржај **малвидина** за све проучаване регионе био је 95 mg/100g. Највећа просечна вредност од 129 mg/100g малвидина остварена је у узорцима популација пореклом из региона Мојковац, следи регион Беране са 89 mg/100g, затим са 87 mg/100g регион Рожаје, док је најнижа просечна вредност садржаја малвидина од 80 mg/100g забележена у региону Андријевица (Табела 9. и Граф. 12.). Код популација дивље боровнице из региона Мојковац констатован је значајно већи просечни садржај малвидина (128,8 mg/100g) у поређењу са другим регионима (Табела 9.). Највећи садржај појединачног антоцијанидина Mv (малвидина) констатован је у узорцима популација дивље боровнице пореклом из региона Мојковац са локалитета Жаршка Чука (ZC) од 155,35 mg/100g, следи популација Жарски Катун (ZA) са 145,44 mg/100g, затим популација Вечериновац (VE) са 140,19 mg/100g (табела 9). Ове популације боровнице су расле на сунчаним северним експозицијама и изложене су UV зрачењу већем од 0,410 W/m2, што указује да већи интензитет UV А сунчевог зрачења повећава садржај малвидина. Овако високе вредности садржаја Mv у популацијама боровнице пореклом из региона Мојковац су резултат највеће просечне вредности од 370,42 mg/100g три-супституисаних деривата антоцијана (Табела 10.), као и највеће просечне UV радијације од 0,423 W/m2, у поређењу са осталим регионима (Табела 1.). Овакви резултати су у сагласности са резултатима многих аутора (**Lätti et al., 2008; Hokkanen et al., 2009; Martz et al., 2010; Jovančević et al., 2011; Mikulic-Petkovsek et al., 2014; Zoratti et al., 2014a; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022)**.

Најнижи садржај Mv од 40,03 mg/100g забележен је у популацији боровнице пореклом са локалитета Сљемена (SL\*) у региону Бијело Поље, што је директна последица ниске 0,030 W/m2 UV радијације на овом локалитету, који се налазио на јужној експозицији и био је у засени (Табела 1.). Квалитет сунчевогзрачења је један од кључних фактора синтезе полифенола, а познато је да повећава експресију гена за биосинтезу флавоноида и садржај флавоноида у листовима боровнице **(Martz et al., 2010; Hokkanen et al., 2009)**.

Повећање надморске висине повезано са прогресивним смањењем температуре и повећаним интензитетом светлости, има позитиван утицај на акумулацију антоцијана **(Zoratti et al., 2015)**.

**Антоцијанске групе**

Резултат нашег истраживања о већој продукцији ди-супституисаних антоцијана у популацијама боровнице пореклом са локација са надморском висином преко 1.650 m, и UV зрачењем преко 0,420 W/m2, је у сагласности са истраживањима **Taulavuori et al. (2010)** и **Zoratti et al. (2014a)**, који тврде да дуги сумрак и високи односи плаве и дуготаласне црвене светлости промовишу акумулацију антоцијана у боровници. То доводи до значајних квалитативних и квантитативних промена у садржају антоцијана у зрелим плодовима боровнице које расту у областима оваквих карактеристика.

С друге стране, добијени најнижи резултати садржаја ди-супституисаних група код популација које су расле и развијале се на јужним експозицијама и у сенци у нашим истраживањима, су у складу са ранијим резултатима **Jaakola et al. (2004), Latti et al. (2008)** и **Martz et al. (2010)**, који су такође, приметили значајно смањење садржаја фенолних једињења у плодовима боровнице које расту под крошњама шуме у поређењу са онима које се развијају под директном сунчевом светлошћу.

Одређивање концентрације метоксилованих и ди- и три-супституисаних антоцијана је важно јер ниво хидроксилације/метоксилације генерално утиче на боју једињења као и на стабилност молекула. Повећана хидроксилација повећава плаветнило антоцијана и смањује његову стабилност, док повећана метоксилација, с друге стране, повећава црвенило антоцијана и молекуларну стабилност **(Francavilla** и **Joye, 2020)**.

Резултати истраживања **Koss-Mikołajczyk** и **Bartoszek (2023)** показали су снажну везу између структуре и биолошке активности проучаваних антоцијана. Број и положај хидроксилних и метокси група у структури антоцијана снажно је утицао на боју антоцијана, али пре свега на њихову антиоксидативну и биолошку активност. Они су показали да што је више хидроксилних група у (В) прстену, то је већа антиоксидативна активност испитиваног једињења. Заменом хидроксилне групе метокси групом, смањује се антиоксидативна активност антоцијана. Иста студија истражује цитотоксичност антоцијанина.

Верује се да присуство супституената на позицијама 3′, 4′ и 5′ утиче на цитотоксичност антоцијана. Три-супституисани антоцијанидини, као што су делфинидин, петунидин и малвидин, показали су највећу способност да инхибирају раст ћелија. Цитотоксични ефекат се повећава са сваком следећом додатом метокси групом. Испоставило се да је малвидин најцитотоксичније једињење међу испитиваном групом антоцијана **(Koss-Mikołajczyk** и **Bartoszek, 2023)**.

Штавише, метилација такође побољшава ниво транспорта антоцијана кроз ћелије цревног тракта **(Liu et al., 2022)**. На основу налаза наших истраживања о концентрацији ди-супституисаних, три-супституисаних и метоксилованих антоцијана у различитим регионима Црне Горе, у комбинацији са увидима из ранијих студија, можемо предвидети антиоксидативну активност и цитотоксичност боровнице са појединачних локалитета. Ове вредне информације могу пружити основу за превентивну употребу боровница.

**Корелациона повезаност испитиваних особина**

Корелационом анализом утврђенo је да је продуктивна особина бобице ширина плода била у високој корелацији са висином плода (0,69\*\*\*) и масом плода (0,74\*\*\*). Врло висока кореција (0,74\*\*\*) констатована је између висине плода бобице и масе плода (Табела 11.). Овакви резултати су у складу са резлтатима **(Roma** и **Ciulca, 2021)**, који указују на постојање високо позитивне корелације имеђу ширине и висине плода са масом плода.

Нису утврђене корелације између продуктивних особина (ширине плода, висине плода и масе плода) и показатеља билошке вредности плода боровнице (TPC, ТА, Dp, Cy, Pt, Pn и Mv) табела 12. Добијени резултати су у сагласности са истраживањима **Roma** и **Ciulca (2021)**, који су утврдили негативну корелацију између облика плода и садржаја растворљиве чврсте материје са масом плода, што указује да је плод са мањим пречником богатији растворљивим чврстим материјама. Такође, у ранијим истраживањима **Kalt et al. (2001)** наводе да су ситнији плодови имали већи антиоксидативни капацитет.

На основу резултата корелационе анализе приказане у табели 12. и на слици 12. можемо констатовати да су се корелације испитиваних показатеља кретале од значајних до високо значајних (p≤0,05 до p≤0,001). Еколошки фактори, надморска висина и UV радијација корелирали (p≤0,05 до p≤0,001) су са TPC (0,51\*\*, 0,52\*\*), ТА (0,66\*\*, 0,67\*\*), Cy (0,55\*\*, 0,50\*\*), Pt (0,72\*\*\*, 56\*\*), Pn (0,52\*\*, 61\*\*\*) и Mv (0,37\*, 0,40\*). Добијени резултати у овом истраживању су такође у складу са истраживањима многих аутора **(Rieger et al., 2008; Jovančević et al., 2011; Zoratti et al., 2015; Ciulcaet al., 2021)** који наводе утицај интеракције генотип-еколошки услови у акумулацији фенолних једињења, посебно антоцијана, која је откривена у природним популацијама боровнице из различитих европских земаља. Такође, **Ciulcaet al. (2021)** констатује ниске вредности херитабилности у ширем смислу, повезане са чињеницом да је генотипска варијанса била значајно нижа од осталих варијанси, испитивањем шест популација боровнице из Румуније, констатује се да су на садржај полифенола и антиоксидативну активност у великој мери утицали фактори средине.

**Mengist et al. (2020)** су у свом опсежном проучавању велике колекције од 100 тетраплоидних боровница, утврдили умерену до високу херитабилност у широком смислу за све метаболите антоцијана и ниску херитабилност за флаваноле, флавоноле и фенолне киселине. Такође, **Connor et al. (2002)** у својим истраживањима наслеђивања биолошке вредности плода код дивље боровнице констатовали су херитабилност за антиоксидативну активност (43%), укупне феноле (46%) и садржај укупних антоцијана (56%). Утврђене веће вредности херитабилности код гајених боровница у поређењу са резултатима код популација дивље боровнице, вероватно су последица много веће варијације фактора средине у природним условима станишта. Многи истраживачи **(Riegeret al., 2008; Jovančević et al., 2011; Zoratti et al., 2015)** из различитих европских земаља су у својим истраживањима утврдили утицај интеракције генотип-средина на акумулацију фенолних једињења, посебно антоцијана у природним популацијама боровнице.

**PCA - мултиваријациона анализа**

PCA анализа је драгоцен алат за обраду великог броја варијабли у мањи скуп композитних варијабли (главних компоненти), нудећи сажето објашњење варијабилности података. Може открити скривене везе и међузависности унутар података. PCA анализа потврђује налазе ове студије који сугеришу да су популације на јужним странама, у сенци, забележиле најмањи садржај ди-супституисаних група.

Наши резултати су у складу са резултатима ранијих студија (**Jaakola et al., 2004; Latti et al., 2008; Martz et al., 2010)**, који су приметили значајно смањење садржаја фенолних једињења у плодовима боровнице које расту и развијају се под крошњама шума у поређењу са популацијама боровнице које се развијају под директном сунчевом светлошћу **(Miao et al., 2016; Ma et al., 2019; Vanekova et al., 2020)**. PCA такође показује да су боровнице из Мојковачког региона најбогатије у антоцијанским компонентама, док боровнице из осталих региона имају различите нивое ових компоненти. Свих шест локалитета из региона Мојковац налазили су се на северним експозицијама, просечне надморске висине преко 1.500 m и са високим просечним UV зрачењем од 0,423 W/m2 (Табела 1.). Овакви услови сердине, односно таласне дужине из опсега фотосинтетског активног зрачења (PAR) позитивно утичу и мењају метаболизам флавоноида **(Liu et al., 2018)**. Раније је утврђено да квалитет и интензитет светлости утиче на биосинтезу флавоноида и акумулацију антоцијана у плодовима гајених воћарских биљних врста **(Mikulic-Petkovsek et al., 2014; Zoratti et al., 2014a; Miao et al., 2016; Liu et al., 2018; Ma et al., 2019; Vanekova et al., 2020; Samkumar et al., 2022)**.

# 8. ЗАКЉУЧАК

На основу добијених резултата продуктивности и биолошког квалитета различитих популација дивље боровнице у еколошким условима северне Црне Горе можемо извести следеће закључке:

1. Еколошки услови северне Црне Горе по испитиваним регионима нису сезначајно разликовали по просечним месечним температурама ваздуха и по количуни падавина у сезони развоја популација дивље боровнице, тако да су биљке расле и развијале се у оптималним условима. Утврђене разлике метеоролошких прилика нису биле значајне и одражавале су услове који су одређени и диктирани принципом ,,термичког градијента,, са порастом надморске висине. Оваква ситуација када су у питању климаске прилике у испитиваним регионима била је и очекивана собзиром да популације дивље боровнице расту самоникло на подручју северне Црне Горе.

2. Еколошки услови средине су врло значајно утицали на продуктивну особину ширину плода испитиваних популација дивље самоникле боровнице. Просечна ширина бобице за све испитиване локалитете била је 8,41 mm. Посматрано по регионима просечно највећа ширина бобице од 8,58 mm утврђена је код популација пореклом из региона Бијелог Поља, затим са 8,57 mm следе Мојковац и Андријевица, док је најмања 8,15 mm просечна ширина плода установљена код популација из региона Рожаје. Најнижа просечна ширина плода дивље боровнице забележена у региону Рожаје је последица најниже просечне UV радијације од 0,297 W/m2 и најнижег просечног садржаја хумуса 7,052% у земљишту забележене у овом региону.

3. Продуктивна особина ширина плода значајно је варирала под утицајен различитих еколошких услова средине. Највећу просечну ширину плода од 8,9 mm дивље боровнице оствариле су популације пореклом са локалитета Жуте косе (ZK\*), Подбишће (PO) и Вељи Поток (VP\*) у регионима Бијело Поље, Мојковац и Андријевица, док је најмања вредност ширине плода дивље боровнице од 7,7 mm утврђена код популације пореклом са локалитета Брекњача (BR\*) у региону Рожаје.

Код узорака боровница са поменута три локалитета Жуте косе (ZK\*), Подбишће (PО) и Вељи Поток (VP\*) утврђена је највећа ширина плода и констатована је највећа маса плода. У узорку боровнице пореклом са локалитета Брекњача (BR\*) у региону Рожаје забележена је најнижа ширина плода и такође најмања маса плода. Овакав однос продуктивних особина ширине плода и масе плода потврђен је и високом корелацијом између ова два показатеља.

4. Посматрајући утицај еколошких услова средине на просечну висину плода дивље боровнице, забележене су врло значајне разлике под утицајем овог фактора. Просечна висина бобице за све испитиване локалитете била је 7,51 mm. Посматрано по регионима, највећа просечна висина бобице од 7,63 mm забележена је у региону Бијелог Поља, затим са 7,62 mm следе Мојковац и Андријевица, док је најмања (7,15 mm) просечна висина плода установљена у региону Беране.

Највећа висина плода 7,9 mm дивље боровнице забележена је на локалитетима Турјак (TU) у региону Рожаје, док је најмања вредност висине плода дивље боровнице 6,8 mm утврђена на локалитетима Црни Врх (CV) и Рутовка (RU\*) у региону Беране. Највећа висина плода забележена на локалитету Турјак (TU) у региону Рожаје, представља директан резултат услова средине, јер је популација боровнице расла на надморској висини преко 1.500 m и са врло високом UV радијацијом преко 0,440 W/m2.

Најнижа вредност висине плода дивље боровнице од 6,8 mm установљена је на локалитету Црни Врх (CV) у региону Беране, као последица нешто ниже надморске висине око 1.100 m и релативно ниске UV радијације 0,262 W/m2. Најнижа вредност висине плода на локалитету Рутовка (RU\*) у региону Беране последица је услова средине источне експозиције и засене у којима је расла популација боровнице. На истим локалитетима Црни Врх (CV) и Рутовка (RU\*) у региону Беране где је констатована најнижа висина плода установљена је и најмања маса плода. Овакви резултати су очекивани, јер је између ове две продуктивне особине констатована врло висока корелација.

5. Анализа просечне масе плода дивље боровнице у 2019. години показала је врло значајне разлике под утицајем еколошких услова средине (фактор A). Просечна маса бобице за све испитиване локалитете била је 0,347 g. Упоређујући регионе, највећа просечна маса плода (0,378 g) дивље боровнице утврђена је у региону Мојковац, следи регион Бијело Поље са 0,357 g, затим са 0,350 g Андријевица, док је најмања 0,312 g просечна маса плода установљена у региону Беране. Највећа просечна маса плода дивље боровнице утврђена у региону Мојковац (0,378 g), је резултат просечно највеће UV радијације 0,423 W/m2 у овом региону.

Посматрано појединачно по испитиваним локалитетима, највећа маса плода дивље боровнице од 0,423 g констатована је код популације пореклом са локалитета Меки До (MD) из региона Мојковца, следи са 0,407 g популација пореклом са локалитета Жуте косе (ZK\*) из региона Бијело Поље, затим са 0,395 g популација са локалитета Подбишће (PO) из региона Мојковца, док је најмања вредност масе плода од 0,288 g дивље боровнице утврђена код популације пореклом са локалитета Рутовка (RU\*) из региона Беране. Највећа маса плода дивље боровнице од 0,423 g забележена је код популације пореклом са локалитета Меки До (MD) из региона Мојковац, резултат је високе UV радијације од 0,410 W/m2 на овом локалитету.

Резултати најмање просечне масе бобице остварени су на локалитетима Црни Врх (CV) и Рутовка (RU\*), на истим локалитетима утврђена је и најнижа просечна висина плода од 6,8 mm.

6. Садржај укупних фенола у бобицама испитиваних дивљих боровница кретао се од 370,5 - 899,9 mg GAE/100 g FW. Средње вредности између појединих региона варирале су од 554,69 mg GAE/100 g FW (Рожаје) до 660,39 mg GAE/100 g FW (Беране). Упоређујући регионе по просечним вредностима садржаја укупних фенола, највећи садржај TPC од 660,4 mg GAE/100 g FW забележен је у региону Беране, следи регион Бијело Поље са 616,5 mg GAE/100 g FW, затим регион Мојковац са 576 mg GAE/100 g FW, док је најнижи садржај од 554,7 mg GAE/100 g FW укупних фенола установљен у региону Рожаје. Највише вредности укупних фенола у узорцима самоникле дивље боровнице у региону Беране су резултат највеће просечне надморске висине (1.559 m) и високе просечне UV радијације (0,390 W/m2).

Посматрано по локалитетима, највећи садржај укупних фенола (890 mg GAE/100 g FW) утврђен је у узорку бобица пореклом са локалитета Шишка (SI) регион Беране, док је код популације пореклом са локалитета Вељи Поток (VP) регион Андријевица констатован најмањи садржај укупних фенола (371 mg GAE/100 g FW).

Највећи садржај укупних фенола установљен је код испитиваних популација пореклом са локалитета Шишка (SI), Букељ (BK), Крље (KR) и Јабланов До (JD), који су се налазили у подручјима са надморском висином преко 1.400 m, условима високе UV радијације преко 0,390 W/m2 и северним експозицијама без засене. Овакви резултати су очекивани, јер је познато да повећање интензитета светлости позитивно утиче на акумулацију секундарних метаболита, односно фенола у плоду боровнице.

На основу остварених вредности садржаја укупних фенолних једињења, испитивањем тридесет популација дивље боровнице из северне Црне Горе, можемо констатовати да је примећено значајно повећање количине фенолних једињења у узорцима боровнице које су расле и развијале се на већој надморској висини и условима директне сунчеве светлости, у поређењу са популацијама које су расле и развијале се у сенци, односно под крошњама шума и мањим надморским висинама од 1.150 m.

7. Посматрано по регионима у просеку највећи садржај укупних антоцијана од 550,07 mg/100g констатован је у региону Мојковац, следи регион Рожаје са 470,65 mg/100g, затим регион Андријевица са 448,92 mg/100g, док је најнижи садржај од 414,31 mg/100g укупних антоцијана забележен у региону Беране. Највише вредности ТА у региону Мојковац су резултат највеће просечне UV радијације (0,423 W/m2), ниједан локалитет из овог региона није растао у засени и сви усеви су били на северним експозицијама. Највећи просечни садржај укупних антоцијана у региону Мојковац је резултат највиших остварених вредности ТА на три локалитета из овог региона: Жарска Чука (ZC) (656 mg/100g) Жарски Катун (ZA) (623 mg/100g) и Рабренов До (RD) (605 mg/100g ). Овакви резултати су очекивани, јер је на сва три ова локалитета смоникла дивља боровница расла на надморској висини преко 1.650 m, северним експозицијама терена и са UV зрачењем преко 0,410 W/m2.

Најмањи садржај укупних антоцијана забележен је у узорку преклом са локалитета Сљемена (SL\*) (236 mg/100g) у региону Бијело Поље и локалитета Вељи Поток (VP\*) (265 mg/100g) у регионуАндријевица. Оба локалитета су била на надморској висини испод 1.100 m, на јужним експозицијама терена и са веома ниским 0,040 W/m2 UV зрачењем.

Дакле, на основу горе наведеног можемо констатовати да су узорци дивље боровнице сакупљени из популација, које су расле на јужним експозицијама остварили знатно нижи садржај ТА, у односу на боровнице пореклом са северних експозиција. Такође, популације самоникле дивље боровнице које су расле и развијале се у засени генерално су показале нижи садржај ТА у поређењу са боровницама које су се развијале у oсунчаним положајима.

8. Садржај појединачног антоцијанидинана делфинидина значајно је варирао под утицајем различитих еколошких услова средине. Највећа просечна вредност од 159 mg/100g делфинидина утврђена је у узорцима популација пореклом из региона Мојковац, следи регион Рожаје са 149 mg/100g, затим са 124 mg/100g регион Андријевица, док је најнижа просечна вредност садржаја делфинидина од 117 mg/100g забележена у региону Беране.

Посматрано по локалитетима, највећа количина делфинидина утврђена је у популацији боровнице пореклом са локалитета Жарска Чука (ZC) са 205 mg/100g (регион Мојковац), затим популација са локалитета Букељ (BK) 200 mg/100g (регио Рожаје), следи Жарски Катун (ZА) са 180 mg/100g (регион Мојковац). Ове три популације са преко 180 mg/100g делфинидина знатно су надмашиле остале популације. Сва три локалитета налазила су се на подручју са надморском висином преко 1.400 m, северним експозицијама без засене и са UV зрачењем изнад 0,390 W/m2. Највећа остварена вредност од 205,36 mg/100g антоцијана делфинидина у зорцина дивље боровнице пореклом са локалитету Жаршка Чука (ZC) у региону Мојковац, била је значајно већа у односу на 27 популација, осим популација боровнице пореклом са локалитета Жарски Катун (ZA) и Букељ (BK).

Најнижа вредност од 80 mg/100g делфинидина забележена је у узорку пореклом са локалитета Вељи Поток (VP\*) (регион Андријевица) и 86 mg/100g у узорку пореклом салокалитета Сљемена (SL\*) (регион Бијело Поље). На оба локалитета популације самоникле дивље боровнице расле су на јужним странама региона, у сеновитим пределима на надморској висини од око 1050 m са веома ниским UV зрачењем до 0,030 W/m2.

9. Као и код садржаја делфинидина у плоду боровнице, садржај цијанидина веома је значајно варирао под утицајем различитих еколошких услова северне Црне Горе. Највећа просечна вредност од 125 mg/100g садржаја цијанидина установљена је у узорцима популација пореклом са локалитета Андријевица, следи регион Мојковац са 108 mg/100g, затим са 102 mg/100g регион Беране, док је најнижа просечна вредност садржаја цијанидина од 95 mg/100g констатована у региону Рожаје.

Посматрано по локалитетима, највећа количина цијанидина констатована је у популацији боровнице пореклом са локалитета Крље (KR) са 181 mg/100g (регион Бијело Поље), затим популација са локалитета Слатински Катун (SK) 151 mg/100g (регион Андријевица), следе са 150 mg/100g локалитети Буљићи (BU) регион Андријевица и Букељ (BK) (регион Рожаје). Ове четири популације са преко 150 mg/100g цијанидина имале су значајно већи садржај цијанидина у односу на остале популације. Као и код највишег садржаја делфинидина, иста тенденција је уочена и код највећег садржаја цијанидина, наиме сва четири поменута локалитета налазила су се на подручју са надморском висином преко 1.400 m, северним експозицијама без засене и са UV зрачењем изнад 0,390 W/m2.

Најнижа вредност од 60 mg/100g цијанидина утврђена је у узорку пореклом са локалитета Сљемена (SL\*) (регион Бијело Поље) и 61 mg/100g у узорку пореклом салокалитета Вељи Поток (VP\*) (регион Андријевица). Код истих популација забележен је и најнижи садржај делфинидина. Иста тенденција, када је у питању најнижа вредност делфинидина, запажена је и код најнижег садржаја цијанидина у узорцима испитиваних популација. На оба локалитета, популације самоникле дивље боровнице расле су на јужним експозицијама, у сеновитим пределима, на надморској висини од око 1.050 m са веома ниским UV зрачењем до 0,030 W/m2.

10. Испитивани еколошки фактори значајно су утицали на садржај појединачног антоцијана петунидина у плоду дивље боровнице. Просечан садржај петунидина за све проучаване регионе био је 80,4 mg/100g. Највећа просечна вредност од 91 mg/100g петунидина установљена је у узорцима популација пореклом из региона Андријевица, следи регион Рожаје са 85 mg/100g, затим са 84 mg/100g регион Мојковац, док је најнижа просечна вредност садржаја петунидина од 69 mg/100g забележена у региону Бијело Поље.

Посматрано по локалитетима, највећи садржај петунидина забележен је у узорцима са локација Слатински Катун (SK) (121 mg/100g) регион Андријевица, с леди локалитет Букељ (BK) (116 mg/100g) регион Рожаје, Шишка (SI) и Банџов (BA) (111 mg/100g и 110 mg/100g). Све ове популације дивље боровнице налазиле су се на надморској висини већoј од 1.400 m и на парцелама оријентисаним северно и североисточно и изложене UV зрачењу од преко 0,395 W/m2.

Најнижа вредност од 20 mg/100g петунидина забележена је у узорку пореклом са локалитета Црни врх (CV) (регион Беране). Констатована вредност била је значајно нижа у односу на све испитиване локалитете. Као и за претходно поменуте антоцијанидине ниже вредности антоцијана петунидина установљене су у узорцима дивље боровнице пореклом са локалитета на јужним експозицијама, у засени, нижим надморским висинама и са нижом UV радијацијом испод 0,270 W/m2.

11. Највећа просечна вредност од 70 mg/100g пеонидина констатована је у узорцима популација пореклом из региона Мојковац, следе региони Андријевица и Рожаје, са по 40 mg/100g, затим са 37 mg/100g регион Беране, док је најнижа просечна вредност садржаја пеонидина од 33 mg/100g забележена у региону Бијело Поље. Мојковачки регион је показао значајно већи садржај пеонидина (70,4 mg/100g) у поређењу са другим регионима.

Највиша вредност појединачног антоцијана пеонидина од 85,68 mg/100g, који припада групи ди-супституисаних деривата антоцијана утврђена је у региону Мојковац на локалитету Подбишће (PO), затим следи локалитет Жарски Катун (ZA) са 85,16 mg/100g, затим локалитет Жарска Чука (ZC) са 80,05 mg/100g, што је и резултат и највеће у просеку формиране групе ди-субституисаних деривата антоцијана у овом региону од 178,08 mg/100g. Значајно је непоменути да се популације боровнице са ова три локалитета налазе на северним експозицијама са UV радијацијом преко 0,370 W/m2.

Најниже вредности од 10 mg/100g пеонидина забележена је у узорку пореклом са локалитета Сљемена (SL\*) (регион Бијело Поље), затим са 11 mg/100g следи локалитет Црни врх (CV) из региона Беране и са 12 mg/100g локалитет Жуте косе (ZK\*) (регион Бијело Поље). Ниске вредности антоцијанидина пеонидина на ова два локалитетима пореклом из Бијелог Поља последица су тога што су популације самоникле дивље боровнице расле на јужним странама у засени, док су сва три локалитета заузимала подручја са надморским висинама испод 1.110 m и са ниским UV зрачењем до 0,270 W/m2.

12. Просечан садржај малвидина за све проучаване регионе био је 95 mg/100g. Највећа просечна вредност од 129 mg/100g малвидина остварена је у узорцима популација пореклом из региона Мојковац, следи регион Беране са 89 mg/100g, затим са 87 mg/100g регион Рожаје, док је најнижа просечна вредност садржаја малвидина од 80 mg/100g забележена у региону Андријевица. Највећи садржај појединачног антоцијанидина Mv констатован је у популацијама дивље боровнице пореклом из региона Мојковац са локалитета Жаршка Чука (ZC) од 155,35 mg/100g, следи популација Жарски Катун (ZA) са 145,44 mg/100g, затим популација Вечериновац (VE) са 140,19 mg/100g. Ове популације боровнице су расле на сунчаним северним експозицијама и изложене су UV зрачењу већем од 0,410 W/m2, што указује да већи интензитет UV А сунчевог зрачења повећава садржај малвидина. Овако високе вредности садржаја Mv у популацијама боровнице пореклом из региона Мојковац су резултат највеће просечне вредности од 370,42 mg/100g три-супституисаних деривата антоцијана, као и највеће просечне UV радијације од 0,423 W/m2, у поређењу са осталим регионима.

Најнижи садржај Mv од 40,03 mg/100g забележен је у популацији боровнице пореклом са локалитета Сљемена (SL) у региону Бијело Поље, што је директна последица ниске 0,030 W/m2 UV радијације на овом локалитету, који се налазио на јужној експозицији и био је у засени.

13. У регину Мојковац остварен је просечно значајно већи садржај ди-супституисаних деривата антоцијана, у односу на све остале испитиване регионе. Највећи садржај ди-супституисаних група констатован је код узорака популација дивље боровнице које су водиле порекло са локалитета са надморском висином преко 1.650 m и које су се налазиле на северним експозицијама где је UV радијација била преко 0,420 W/m2.

Најнижи садржај ди-супституисаних деривата антоцијана у плодовима боровнице установљен је у популацијама пореклом са локалитета Сљемена (SL\*) (регин Бијело Поље) са 70,18 mg/100g и код популације Вељи Поток (VP\*) (регион Андријевица) 80,25 mg/100g. Обе популације боровница су се налазиле на јужним експозицијама и расле су у сенци са веома ниском UV радијацијом, што је имало директну последицу најниже вредности ди-супституисаних група код ових популација. Овакви резултати су и очекивани што потврђује и PCA-мултиваријациона анализа.

Најниже вредности ди-супституисаних деривата антоцијана забележене по испитиваним популацијама боровнице се поклапају са најнижим вредностима антоцијанидина цијанидина и пеонидина, који се добијају у F3′H путу синтезе.

14. У узорцима пореклом из региона Мојковац, устанољен је просечно значајно већи садржај три-супституисаних (3′,5′-супституисаних) деривата антоцијана и значајно већи просечни садржај метоксилованих деривата антоцијана у поређењу са свим осталим испитиваним регионима. Све популације боровнице из региона Мојковац биле су на северним експозицијама и на положајима са надморским висинама преко 1.400 m, и оствариле су значајно веће нивое метоксилованих деривата антоцијана у поређењу са онима популацијама, које су пореклом са нижих надморских висина испод 1.400 m.

15. Према очекивању, највиши просечан садржај од 282,21 mg/100g метоксилованих деривата антоцијана констатован је код популација боровнице пореклом из региона Мојковац, што је резултат највеће остварене просечне UV радијације од 0,423 W/m2. Сви локалитети у овом региону заузимали су северне експозиције и били су директно осунчани.

Најнижи просечни садржај метоксилованих деривата антоцијана (187 mg/100g) констатован је у региону Бијело Поље са најнижом просечном надморском висином од 1.212 m и најнижим просечним UV зрачењем од 0,280 W/m2. Поред тога, две популације са овог подручја расле су у засени. Овај регион је такође имао најниже вредности три-супституисаних деривата антоцијана.

Утврђено је да су узорци 30 популација дивље самоникле боровнице из 5 региона северне Црне Горе високе биолошке вредности, односно одличног квалитета на основу прописаних критеријума за садржај антоцијана у Европској фармакопеји. Ово истраживање сугерише да фактори животне средине, као што су надморска висина, сунчева светлост, UV зрачење, дневне температуре и топографија, утичу на крупноћу прода и синтезу и акумулацију антоцијана у плоду боровнице.

Вредности продуктивних особина, као и синтеза секундарних метаболита, директно су дефинисане морфолошком архитектуром биљака самоникле дивље боровнице, која је резултат утицаја деловања локалних услова средине.

Утврђено је постојање значајних варијација у садржају антоцијана унутар и између популација, што указује на разлике у сировом материјалу узорака дивље боровнице. Констатовано је да су узорци популација боровнице пореклом са јужних подручја остварили значајно ниже вредности TPC и TA, у поређењу са узорцима пореклом из северних региона. И поред тога што је одличан извор здравих фитохемикалија, овај ресурс је недовољно искоришћен.

Такође је забележена висока позитивна корелација између садржаја антоцијана, надморске висине и UV зрачења, са три-супституисаним, ди-супституисаним и метоксилованим дериватима чији садржај се повећава са надморском висином, заједно са садржајем малвидина. У поређењу са другим европским земљама, боровнице из овог региона су богатије три-субституисаним и метоксилованим дериватима, посебно садржајем малвидина, који се сматра драгоценим за здравље.

Мојковачки регион се посебно истиче, где су на већим надморским висинама преко 1.600 m и са високим UV зрачењем, код узорака дивље боровнице констатоване највеће вредности ди-, три-супституисаних и метоксилованих деривата антоцијана, као и антоцијанидина делфинидина, пеонидина и малвидина, што указује да је микробиом утицао на акумулацију фенолних фитокемикалија у плоду боровнице. Упркос томе што је одличан извор здравих фитокемикалија, овај ресурс је недовољно искоришћен.

Ова студија је имала за циљ да истражи потенцијал популација боровнице на северу Црне Горе и укаже на велики значај природних ресурса као потенцијалних могућности за побољшање економског статуса руралних подручја у источној Европи. Штавише, у светлу недавних истраживања о високој цитотоксичној ефикасности малвидина за ћелије рака дебелог црева, боровнице са овог подручја могле би да се користе у превенцији рака дебелог црева, који је у порасту у земљама Западног Балкана, али и у остатку Европе.

# 9. LITERATURA

Abeysinghe S. K., Greer D. H., Rogiers S. Y. (2019): The effect of light intensity and temperature on berry growth and sugar accumulation in *Vitis vinifera* “Shiraz” under vineyard conditions. *Vitis* 58, 7–16.

Adams D.O. (2006): Phenolics and ripening in grape berries. *Am J Enol Vitic*. **57**:249-256.

Akagić A., Oras A.V., Žuljević S.O., Spaho N., Drkenda P., Bijedić A., Memić S., Hudina M. (2020): Geographic Variability of Sugars and Organic Acids in Selected Wild Fruit Species. *Foods* **9** : 462.

Åkerström A., Forsum Å., Rumpunen K., Jäderlund A., Bång U. (2009): Effects of Sampling Time and Nitrogen Fertilization on Anthocyanidin Levels in Vaccinium myrtillus Fruits. J. Agric. Food Chem. 57, 3340–3345.

Akerström A., Jaakola L., Bång U., Jäderlund A. (2010): Effects of latitude-related factors and geographical origin on anthocyanidin concentrations in fruits of *Vaccinium myrtillus* L. (bilberries). *J Agric Food Chem*. **58**(22):11939-11945.

Aliman J., Michalak I., Bušatlić E., Aliman L., Kulina M., Radović M., Hasanbegović J. (2020): Study of the physicochemical properties of highbush blueberry and wild bilberry fruit in central Bosnia. *Turk. J. Agric. For.***44**:156-168.

Arakawa O. (1988): Photo regulation of anthocyanin synthesis in apple fruit under UV-B and red light. *Plant Cell Physiol.* 29, 1385–1389.

Bayazid A.B., Chun E.M., Al Mijan M., Park S.H., Moon S.K., Lim O.B. (2021): Anthocyanins profiling of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) extract that elucidates antioxidant and anti-inflammatory effects, *Food Agric Immunol* **32**(1): 713-726.

Balijagić J. (2008): Ljekovite biljke planine Bjelasice–korišćenje i zaštita. *Magistarski rad*, PMF – Podgorica, Crna Gora.

Boulanger-Lapointe N., Järvinen A., Rartanen R., Hermann M.T. (2017): Climate and herbivore

influence on *Vaccinium myrtillus* over the last 40 years in northwest Lapland, Finland.

Ecosphere 8(1): e01654;

Bunea A., Rugina O.D., Pintea M.A., Sconta Z., Bunea I.C., Socaciu C. (2011): Comparative polyphenolic content and antioxidant activities of some wild and cultivated blueberries from Romania. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca* **39**:70-76.

Valentova K., Ulrichova J., Cvak L., Šimanek V. (2007): Cytoprotective effect of a bilberry extract against oxidative damage of rat hepatocytes. *Food Chem*. **101**(3):912-917.

Vaneková Z., Vanek M., Škvarenina J., Nagy M. (2020): The Influence of Local Habitat and Microclimate on the Levels of Secondary Metabolites in Slovak Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Fruits. *Plants* (Basel). **9**(4):436.

Vilkickyte G. and Raudone L. (2021): Phenological and Geographical Effects on Phenolic and Triterpenoid Content in Vaccinium vitis-idaea L. Leaves. *Plants* **10**:1986.

Vučić D.M., Petković M.R., Rodić-Gabovac B.B., Stefanović O.D., Vasić S.M., Čomić L.R. (2013): Antibacterial and antioxidant activities of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in vitro. *Afr. J. Microbiol. Res.***7**:5130-5136.

Wagner H. and Bladt S. (1996): *Plant drug analysis: a thin layer chromatography atlas*, 2nd edn. Springer, Berlin, Heidelberg.

Wang S.Y., Jiao H. (2000): Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry and

strawberry varies with cultivar and developmental stage. J Agric Food Chem 48:140-146;

Wang, L.; Su, S.; Wu, J.; Du, H.; Li, S.; Huo, J.; Zhang, Y.; Wanga, L. Variation of Anthocyanins and Flavonols in Vaccinium uliginosum Berry in Lesser Khingan Mountains and Its Antioxidant Activity. Food Chemistry 2014, 160, 357–364.

Wu M., Si M., Li X., Song L., Liu J., Zhai R. (2019): PbCOP1.1 contributes to the negative regulation of anthocyanin biosynthesis in pear. *Plan. Theory* 8, 1–12.

Gamfeldt L., Snall T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P. (2013): Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. Nat. Commun. 4 1340 p. 7;

Georgieva M., Mihalev K., Yoncheva N., Giovanelli G. (2018): Antioxidant capacity and anthocyanin composition of Bulgarian bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruits. *MOJ Food Process. Technol.* **6**:181-184.

Gibson L., Rupasinghe H.P.V., Forney C.F., Eaton L. (2013): Characterization of Changes in Polyphenols, Antioxidant Capacity and Physico-Chemical Parameters during Lowbush Blueberry Fruit Ripening. *Antioxidants*, **2**:216-229.

Giovanelli G. and Buratti S. (2009): Comparison of polyphenolic composition and antioxidant activity of wild Italian blueberries and some cultivated varieties. *Food Chem*. **112**:903-908.

Giordani E., Biricolti S., Ancillotti C., Petrucci W.A., Gori M., Calistri E., Orlandini S., Furlanetto S., Del Bubba M. (2018): Genetic diversity and changes in phenolic contents and antiradical activity of *Vaccinium myrtillus* berries from its southernmost growing area in Italy. *Genet Resour Crop Evol.* **65**:1173–1186.

Guevara-Teran M., Padilla-Arias K., Beltran-Novoa A., Gonzalez-Paramas A.M., Giampieri F., Battino M., Vasquez-Castillo W., Fernandez-Soto P., Tejera E., Alvarez-Suarez J.M. (2022): Influence of altitudes and development stages on the chemical composition, antioxidant, and antimicrobial capacity of the wild Andean blueberry (*Vaccinium floribundum* Kunth). Molecules 27, 7525.

Dare A. P., Günther C. S., Grey A. C., Guo G., Demarais N. J., Cordiner S. (2022): Resolving the developmental distribution patterns of polyphenols and related primary metabolites in bilberry (*Vaccinium myrtillus*) fruit. *Food Chem.* 374:131703.

Dai J. and Mumper R.J. (2010): Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules***15**:7313-7352.

de Pascual-Teresa S., Moreno D.A. and García-Viguera C. (2010): Flavanols and anthocyanins in cardiovascular health: a review of current evidence. *Int J Mol Sci*. **11**(4):1679-1703.

Droždž P., Šežiene V. and Pyrzynska K. (2017): Phytochemical Properties and Antioxidant Activities of Extracts from Wild Blueberries and Lingonberries. *Plant Foods Hum. Nutr.***72**:360-364.

Eichholz I., Huyskens-Keil L.W., Kroh S.R. (2011): Phenolic compounds, pectin and antioxidant activity in blueberries (Vaccinium corymbosum L.) influenced by boron and mulch cover. J. Appl. Bot. Food Qual. 84, 26–32.

Eldegard K., Scholten J., Stokland J.N., Granhus A., Lie M. (2019): The influence of stand density on

bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) cover depends on stand age, solar irradiation, and tree

species composition. Forest Ecology and Management 432: 582‒590;

Esquivel-Alvarado D., Mun˜oz-Arrieta R., Alfaro-Viquez E., Madrigal-Carballo S., Krueger C.G., Reed J.D. (2020): Composition of anthocyanins and proanthocyanidins in three tropical *Vaccinium* species from Costa Rica. J. Agric. Food Chem. 68, 2872–2879.

Zeng Q., Dong G., Tian L., Wu H., Ren Y., Tamir G., Huang W., Yu H. (2020): High altitude is beneficial for antioxidant components and sweetness accumulation of rabbiteye blueberry. Front. Plant Sci. 11, 573531.

Zifkin M., Jin A., Ozga J. A., Irina Zaharia L., Schernthaner J. P., Gesell A. (2012): Gene expression and metabolite profiling of developing highbush blueberry fruit indicates transcriptional regulation of flavonoid metabolism and activation of abscisic acid metabolism. *Plant Physiol.* 158, 200–224.

Zoratti L., Karppinen K., Luengo Escobar A., Häggman H., Jaakola L. (2014a): Light-controlled flavonoid biosynthesis in fruits. *Front Plant Sci*. **5**:534.

Zoratti L., Sarala M., Carvalho E., Karppinen K., Martens S., Giongo L. (2014b): Monochromatic light increases anthocyanin content during fruit development in bilberry. *BMC Plant Biol.***14**:1-10.

Zoratti L., Jaakola L., Haggman H., Giongo L. (2015b): Modification of sunlight radiation through colored photo-selective nets affects anthocyanin profile in *Vaccinium* spp. berries. *PLoS One* **10**(8):e0135935.

Zoratti L., Palmieri L., Jaakola L., Haggman H. (2015): Genetic diversity and population structure of an important wild berry crop. AoB PLANTS 7: plv117.

Zoratti L., Jaakola L., Häggman H., Giongo L. (2015a): Anthocyanin Profile in Berries of Wild and Cultivated *Vaccinium* spp. along Altitudinal Gradients in the Alps. *J Agric Food Chem*. **63**(39):8641-8650.

Zorzi, M., Gai, F., Medana, C., Aigotti, R., Morello, S., and Peiretti, P. G. (2020). Bioactive compounds and antioxidant capacity of small berries. *Foods* 9, 1–13.

Zorenc Z., Veberic R., Stampar F., Koron D., Mikulic-Petkovsek M. (2016): White versus blue: Does the wild 'albino' bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) differ in fruit quality compared to the blue one? *Food Chem*. **211**:876-882.

Zorenc Z., Veberic R. and Mikulic-Petkovsek M. (2018): Are Processed Bilberry Products a Good Source of Phenolics? *J. Food Sci.***83**:1856-1861.

Zhai R., Liu X. T., Feng W. T., Chen S. S., Xu L. F., Wang Z. G. (2014) Different biosynthesis patterns among flavonoid 3-glycosides with distinct effects on accumulation of other flavonoid metabolites in pears (*Pyrus bretschneideri* rehd.). *PLoS One* 9:e91945.

Zhang Y., Hu W., Peng X., Sun B., Wang X., Tang H. (2018a): Characterization of anthocyanin and proanthocyanidin biosynthesis in two strawberry genotypes during fruit development in response to different light qualities. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 186, 225–231.

Zhang Y., Jiang L., Li Y., Chen Q., Ye Y., Zhang Y. (2018b). Effect of red and blue light on anthocyanin accumulation and differential gene expression in strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Molecules* 23, 1–17.

Zhou Y., and Singh B. R. (2002): Red light stimulates flowering and anthocyanin biosynthesis in American cranberry. *Plant Growth Regul.* 38, 165–171.

Ieri F., Martini S., Innocenti M., Mulinacci N. (2013): Phenolic Distribution in Liquid Preparations of Vaccinium myrtillus L. and Vaccinium vitis Idaea L. Phytochemical Analysis 2013, 24, 467−475.

Ihalainen M., Pukkala T., Saastamoinen O., (2005): Regional expert models for bilberry and cowberry

yields in Finland. Boreal Envir. Res. 10, 145–158;

Jaakola L., Maatta K., Pirttila A.M., Torronen R., Karenlampi S., Hohtola A. (2002): Expression of genes involved in anthocyanin biosynthesis in relation to anthocyanin, proanthocyanidin, and ﬂavonol levels during bilberry fruit development. *Plant Physiol.* **130**:729-739.

Jaakola L., Määttä-Riihinen K., Kärenlampi S., Hohtola A. (2004): Activation of flavonoid biosynthesis by solar radiation in bilberry ( *Vaccinium myrtillus* L) leaves. *Planta*. **218**(5):721-728.

Jaakola L. and Hohtola A. (2010): Effect of latitude on flavonoid biosynthesis in plants. *Plant Cell Env.***33**:1239-1247.

Jang Y.P., Sparrow J.R., Zhou J., Nakanishi K. (2005): Anthocyanins protect against A2E hotooxidation and membrane permeabilization in retinal pigment epithelial cells. *Photochem. Photobiol.***81**:529-536.

Jiménez-Moreno N., Volpe F., Moler J.A., Esparza I., Ancín-Azpilicueta C. (2019): Impact of Extraction Conditions on the Phenolic Composition and Antioxidant Capacity of Grape Stem Extracts. *Antioxidants (Basel)*. **8**(12):597.

Jovančević M., Balijagić J., Menković N., Šavikin K., Zdunić G., Janković T. (2011): Analysis of phenolic compounds in wild populations of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) from Montenegro. *J. Med. Plant Res*. **5**:910-914.

Youdim K.A., Mcdonald J., Kalt W., Joseph J.A. (2002): Potential role of dietary ﬂavonoids in reducing microvascular endothelium vulnerability to oxidative and inﬂammatory insults. *J. Nutr. Biochem*. **13**:282-288.

Kalt W., Mcdonald J.E., Ricker R.D. an,d Lu X. (2001): Anthocyanin content and proﬁle within and among blueberry species. *Can. J. Plant Sci.***79**: 617-623.

Karagiannis, E., Michailidis, M., Tanou, G., Scossa, F., Sarrou, E., Stamatakis, G., Samiotaki, M., Martens, S., Fernie, A.R., Molassiotis, A., 2020. Decoding altitude- activated regulatory mechanisms occurring during apple peel ripening. Hortic. Res. 2020 (7), 120.

Karppinen K., Zoratti L., Nguyenquynh N., Haggman H., Jaakola L. (2016): On the developmental and environmental regulation of secondary metabolism in Vaccinium spp. berries. *Front. Plant Sci*. **7**:655.

Karcheva-Bahchevanska D.P., Lukova P.K., Nikolova M.M., Mladenov R.D., Iliev I.N. (2017): Effect of Extracts of Bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.) on Amyloglucosidase and α-Glucosidase Activity. *Folia Med (Plovdiv)* **59**(2):197-202.

Kahkonen M.P., Hopia A.I., Heinonen M. (2001): Berry Phenolics and Their Antioxidant Activity. *J. Agric. Food Chem*. **49**:4076-4082.

Kokalj D., Zlatić E., Cigić B., Vidrih R. (2019): Postharvest light-emitting diode irradiation of sweet cherries (*Prunus avium* L.) promotes accumulation of anthocyanins. *Postharvest Biol. Technol.* 148, 192–199.

Kondratyuk T.P. and Pezzuto J.M. (2004): Natural product polyphenols of relevance to human health. *Pharm Biol*. **42**:46-63.

Koss-Mikołajczyk I. and Bartoszek A. (2023): Relationship between chemical structure and biological activity evaluated *in vitro* for six anthocyanidins most commonly occurring in edible plants. Molecules 28 (16), 6156.

Khattab R., Brooks M.S.L., Ghanem A. (2016): Phenolic Analyses of Haskap Berries (*Lonicera caerulea* L.): Spectrophotometry versus High Performance Liquid Chromatography. International Journal of Food Properties 2016, 19, 1708–1725.

Khoo H.E., Azlan A., Tang S.T., Lim S.M. (2017): Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food Nutr Res* **61**(1):1361779.

Lätti A.K., Riihinen K.R., Kainulainen P.S. (2008): Analysis of anthocyanin variation in wild populations of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finland. *J Agric Food Chem.***56**(1):190-196.

Liang Y., Kang C., Kaiser E., Kuang Y., Yang Q., Li, T. (2021): Red/blue light ratios induce morphology and physiology alterations differently in cucumber and tomato. *Sci. Hortic.* 281:109995.

Lillo C., Lea U.S., Ruoff P. (2008): Nutrient depletion as a key factor for manipulating gene expression and product formation in different branches of the flavonoid pathway. *Plant Cell Env*. **31**:587-601.

Li W., Hydamaka A.W., Lowry L., Beta T. (2009): Comparison of antioxidant capacity and phenolic compounds of berries, chokecherry and seabuckthorn. Open Life Sci. **2009**, 4, 499–506.

Li Y., Kong D., Fu Y., Sussman M.R., Wu H. (2020): The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiol. Biochem.***148**:80-89.

Liang Y., Kang C., Kaiser E., Kuang Y., Yang Q., Li T. (2021): Red/blue light ratios induce morphology and physiology alterations differently in cucumber and tomato. *Sci. Hortic.* 281:109995.

Liu Y., Fang S., Yang W., Shang X., Fu X. (2018): Light quality affects flavonoid production and related gene expression in *Cyclocarya paliurus*. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 179, 66–73.

Liu Y., Lin J., Cheng T., Liu Y., Han F. (2022): Methylation, hydroxylation, glycosylation and acylation affect the transport of wine anthocyanins in Caco-2 cells. Foods 11, 3793.

Lobiuc A., Vasilache V., Pintilie O., Stoleru T., Burducea M., Oroian M. (2017): Blue and red LED illumination improves growth and bioactive compounds contents in acyanic and cyanic *Ocimum basilicum* L. Microgreens. *Molecules* 22:2111.

Lu Y., Bu Y., Hao S., Wang Y., Zhang J., Tian J. (2017): MYBs affect the variation in the ratio of anthocyanin and flavanol in fruit peel and flesh in response to shade. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 168, 40–49.

Ma Z. H., Li, W. F., Mao J., Li W., Zuo C. W., Zhao X. (2019): Synthesis of light-inducible and light-independent anthocyanins regulated by specific genes in grape “Marselan” (*V. Vinifera* L.). *Peer J* 2019, 1–24. doi: 10.7717/peerj.6521

Ma Y., Ma X., Gao X., Wu W., Zhou B. (2021a): Light induced regulation pathway of anthocyanin biosynthesis in plants. *Int. J. Mol. Sci.* 22:11116.

Ma A., Wang D., Lu H., Wang H., Qin Y., Hu G., (2021b): LcCOP1 and LcHY5 control the suppression and induction of anthocyanin accumulation in bagging and debagging litchi fruit pericarp. *Sci. Hortic.* 287:110281.

Manninen O. and Peltola R. (2019): Continuous picking may increase bilberry yields. Silva Fennica, 53 (3) article id 10043. p 13;

Martz F., Jaakola L., Julkunen-Tiitto R., Stark S. (2010): Phenolic composition and antioxidant capacity of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) leaves in Northern Europe following foliar development and along environmental gradients. *J Chem Ecol*. **36**(9):1017-1028.

Martinić E., Kojić M. (1998): *Samonikle vrste voćaka Srbije.* Institit za istraživanja u poljoprivredi „Srbija”, Beograd.

Mengist M.F., Grace M., Xiong J., Kay C.D., Bassil N., Hummer K., Ferruzzi M.G., Lila M.A., Iorizzo M. (2020):Diversity in Metabolites and Fruit Quality Traits in Blueberry Enables Ploidy and Species Differentiation and Establishes a Strategy for Future Genetic Studies. Front. Plant Sci. 11, 370.

Miao L., Zhang Y., Yang X., Xiao J., Zhang H., Zhang Z. (2016): Colored light-quality selective plastic films affect anthocyanin content, enzyme activities, and the expression of flavonoid genes in strawberry (*Fragaria × ananassa*) fruit. *Food Chem.* 207, 93–100.

Miyake S., Takahashi N., Sasaki M., Kobayashi S., Tsubota K., Ozawa Y. (2011): Vision preservation during retinal inflammation by anthocyanin-rich bilberry extract: Cellular and molecular mechanism. *Lab. Investig*. **92**:102-109.

Mikulic-Petkovsek M., Schmitzer V., Slatnar A., Stampar F., Veberic R. (2012): Composition of sugars, organic acids, and total phenolics in 25 wild or cultivated berry species. *J Food Sci*. 77(10):C1064-1070.

Mikulic-Petkovsek M., Schmitzer V., Slatnar A., Stampar F., Veberic R. (2015): A comparison of fruit quality parameters of wild bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) growing at different locations. *J Sci Food Agric*. **95**(4):776-785.

Milbury P.E., Graf B., Curran-Celentano J.M., Blumberg J.B. (2007): Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) anthocyanins modulate heme oxygenase-1 and glutathione S-transferase-pi expression in ARPE-19 cells. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. **48**(5):2343-2349.

Milivojević J., Maksimović V., Dragišić-Maksimović J., Radivojević D., Poledica M., Ercisli S. (2012): A comparison of major tasteand health-related compounds of Vaccinium berries. *Turk. J. Biol*. **36**:738-745.

Minitab Statistical Software, Version 16.1.0. [Online] State College, Pennsylvania, USA (2011), Available: https://www.minitab.com/en-us

Može Š., Polak T., Gašperlin L., Koron D., Vanzo A., Poklar U.N., Abram V. (2011): Phenolics in Slovenian Bilberries (Vaccinium myrtillus L.) and Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *J. Agric. Food Chem*. **59**:6998-7004.

Mojica L., Meyer A., Berhow M.A., De Meija E.G. (2015): Bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) have similar high antioxidant capacity, in vitro inhibition of α-amylase and α-glucosidase while diverse phenolic composition and concentration. *Food Res Int* **69**:38-48.

Muller D., Schantz M., Richling E. (2012): High Performance Liquid Chromatography Analysis of Anthocyanins in Bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.), Blueberries (Vaccinium corymbosum L.), and Corresponding Juices. *J. Food Sci*. **77:**C340-C345.

Muth E.R., Laurent J.M., Jasper P. (2000): The effect of bilberry nutritional supplementation on night visual acuity and contrast sensitivity. *Altern. Med. ReV*. **5**:164-173.

Ngcobo B. L., Bertling I., Clulow A. D. (2020): Preharvest illumination of cherry tomato reduces ripening period, enhances fruit carotenoid concentration and overall fruit quality. *J. Hortic Sci. Biotech.* 95, 617–627.

Ness A.R., Powles J.W. (1997): Fruit and Vegetables, and Cardiovascular Disease: A Review. International Journal of Epidemiology 1997, 26, 1–13.

Nestby R., Percival D., Martinussen I., Opstad N., Rohloff J. (2011): The european blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and the potential for cultivation. A review. *Eur. J. Plant Sci. Biotech.***5**:5-16.

Nielsen A., Totland Ø., Ohlson M. (2007): The effect of forest management operations on population

performance of *Vaccinium myrtillus* on a landscape scale. Bas. and App. Ecol.8(3):231– 241;

Nowak D., Goslinski M., Wojtowicz E. (2016): Comparative Analysis of the Antioxidant Capacity of Selected Fruit Juices and Nectars: Chokeberry Juice as a Rich Source of Polyphenols. *Int J Food Prop*. **19**:1317-1324.

Okan O.T., Deniz I., Yayli N., Sat I.G., Öz M., Serdar G.H. (2018): Antioxidant Activity, Sugar Content and Phenolic Profiling of Blueberries Cultivars: A Comprehensive Comparison. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, **46**:639-652.

Ouzounis T., Rosenqvist E., Ottosen C. O. (2015): Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism: A review. *HortScience* 50, 1128–1135.

Oh H. D., Yu D. J., Chung S. W., Chea S., Lee, H. J. (2018): Abscisic acid stimulates anthocyanin accumulation in ‘Jersey’ highbush blueberry fruits during ripening. *Food Chem.* 244, 403–407.

Ochmian I., Oszmianski J., Skupien K. (2009): Chemical composition, phenolics and firmness of small black fruits. *J. Appl. Bot. Food Qual*. **83**:64-69.

Panjai L., Noga G., Hunsche M., Fiebig A. (2019): Optimal red light irradiation time to increase health-promoting compounds in tomato fruit postharvest. *Sci. Hortic.* 251, 189–196.

Papanov S.I., Petkova E.G., Ivanov I.G. (2021): Polyphenols Content and Antioxidant Activity of Bilberry Juice Obtained from Different Altitude Samples. *J. Pharm. Res. Int.* 33:218-223.

Parlane S., Summers R.W., Cowie N.R., van Gardingen P.R. (2006): Management proposals for bilberry in Scots pine woodland. For. Ecol. Manage. 222, 272–278;

Petreska-Stanoeva J-, Stefova M., Baceva Andonovska K., Vankova A., Stafilov T. (2017): Phenolics and mineral content in bilberry and bog bilberry from Macedonia, *Int. J. Food Prop*.**20**:S863-S883.

Pires T.C.S.P., Caleja C., Santos-Buelga C., Barros L., Ferreira I.C. (2020): *Vaccinium myrtillus* L. Fruits as a Novel Source of Phenolic Compounds with Health Benefits and Industrial Applications - A Review. *Curr. Pharm. Des***26**: 1917-1928.

Popović D., Đukić D., Katić V., Jović Z., Jović M., Lalić J., Sokolović D. (2016): Antioxidant and proapoptotic effects of anthocyanins from bilberry extract in rats exposed to hepatotoxic effects of carbon tetrachloride. *Life Sci*. **157**:168-177.

Prior R.L., Cao G., Martin A., Sofic E., McEwen J., Obrien C., Lischner N., Ehlenfeldt M., Kalt W., Krewer G., Mainland C.M. (1988): Antioxidant Capacity as Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity, and Variety of Vaccinium Species. Journal of Agricultural and Food Chemistry 1998, 46, 2686–2693.

Puupponen-Pimia R., Nohynek L., Meier C., Kahkonen M., Heinonen M., Hopia A., Oksman-Caldentey K.M. (2001): Antimicrobial Properties of Phenolic Compounds from Berries. *J. Appl. Microbiol*. **90**:494-507.

Rimpapa Z., Toromanović J., Tahirović I., Šapčanin A., Sofić E. (2007): Total content of phenols and anthocyanins in edible fruits from Bosnia. *Bosn. J. Basic Med. Sci.***2**:119-122.

R Core Team R (2018): A Language and Environment for Statistical Computing (Version 3.4.4. [Online] R Foundation for Statistical Computing Vienna, Available:https://www.R-project.org

Rieger G., Muller M., Guttenberger H., Bucar F. (2008): Influence of Altitudinal Variation on the Content of Phenolic Compounds in Wild Populations of Calluna vulgaris, Sambucus nigra, and *Vaccinium myrtillus*. *J. Agric. Food Chem.***56**:9080-9086.

Roma G., Ciulca S. (2021): Analysis of the Relationships Between Some Plant and Fruit Traits in

Bilberry (*V*. *myrtillus* L.). Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology, Vol. 25(2),

32-37.

Rohloff J., Uleberg E., Nes A., Krogstad T., Nestby R., Martinussen I. (2015): Nutritional Composition Of Bilberries (*V. myrtillus* L.) From Forest Fields In Norway -Effects Of Geographic Origin, Climate, Fertilization And Soil Properties. J*. App. Bot. Food Qual.***88**:274-287.

Samkumar A. (2021): Effect of light quality on the biosynthesis of flavonoids and sugars in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). Available at: <https://munin.uit.no/handle/10037/23030>

Samkumar A., Jones D., Karppinen K., Dare A. P., Sipari N., Espley R. V. (2021): Red and blue light treatments of ripening bilberry fruits reveal differences in signaling through ABA regulated anthocyanin biosynthesis. *Plant Cell Environ.* 44, 3227-3245.

Samkumar A., Karppinen K., McGhie T.K., Espley R.V., Martinussen I., Jaakola L. (2022): Flavonoid biosynthesis is differentially altered in detached and attached ripening bilberries in response to spectral light quality. *Front Plant Sci*. *13*:969934.

Savikin K., Zdunić G., Janković T., Tasić S., Menković N., Stević T., Dјordević B. (2009): Phenolic content and radical scavenging capacity of berries and related jams from certificated area in Serbia. *Plant Foods Hum Nutr*. **64**(3):212-217.

Szajdek A. and Borowska E.J. (2008): Bioactive Compounds and Health-promoting Properties of Berry Fruits: A Review. *Plant Foods Hum Nutr.* **63**:147-156.

Szerlauth A., Muráth S., Viski S., Szilagyi I. (2019): Radical scavenging activity of plant extracts from improved processing. Heliyon **2019**, 5, e02763.

Silva T. D., Batista D. S., Fortini E. A., Castro K. M., Felipe S., Fernandes A. M. (2020): Blue and red light affects morphogenesis and 20-hydroxyecdisone content of *in vitro Pfaffia glomerata* accessions. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 203:111761.

Singh H., Lily M.K., Dangwal K. (2017): Viburnum Mullaha D.DON Fruit (Indian Cranberry): A Potential Source of Polyphenol with Rich Antioxidant, Anti-elastase, Anti-collagenase and Anti-tyrosinase Activities. *Int. J. Food Prop.* **20**(8):1729-1739.

Skrede G., Martinsen B.K., Wold A.B., Birkeland S.E., Aaby K. (2012): Variation in quality parameters between and within 14 Nordic tree fruit and berry species. Acta Agric Scand B 2012, 62:193–208.

Stanoeva J.P., M. Stefova, K. Baceva Andonovska, A. Vankova, T. Stafilov (2017): Phenolics and mineral content in bilberry and bog bilberry from Macedonia, International Journal of Food Properties, 20:sup1, S863-S883,

Steinmetz K.A., Potter J.D. (1996): Vegetables, Fruit, and Cancer Prevention: A Review. Journal of the American Dietetic Association, 96, 1027–1039.

Steyn W.J. (2009): Prevalence and functions of anthocyanins in fruits. In Anthocyanins: Biosynthesis, Functions, and Applications. Edited by Winefield C, Davies K, Gould K. New York: Springer; 2009:85–105.

Stefanesku R.E., Esianu S., Laczko-Zold E., Mare A., Tudor B., Dogaru M.T. (2017): Short Period Storage Impact on Bioactive Constituents from Bilberries and Blueberries. *Acta Med. Marisiensis* **63**:87-90.

Sun C., Wu Z., Wang Z., Zhang H. (2015): Effect of Ethanol/Water Solvents on Phenolic Profiles and Antioxidant Properties of Beijing Propolis Extracts. *Evid Based Complement Alternat Med*. 595393, 1-9.

Su Z. (2012): Anthocyanins and Flavonoids of *Vaccinium* L. *Pharm. Crop.***3**:7-37.

Scalzo J., Stevenson D., Hedderley D. (2015): Polyphenol compounds and other quality traits in blueberry cultivars. *J. Berry Res*. **5**:117-130.

Šavikin K., Zdunić G., Janković T., Tasić S., Menković N., Stević T., Đorđević B. (2009): Phenolic content and radical scavenging capacity of berries and related jams from certificated area in Serbia. Plant Foods for Human Nutrition, 64(3), 212-217.

Šavikin K., Zdunić G., Janković T., Gođevac D., Stanojković T., Pljevljakušić D. (2014): Berry Fruit Teas: Phenolic Composition and Cytotoxic Activity. Food Research International, 62, 677-683.

Šaponjac V.T., Čanadanović-Brunet J., Ćetković, G., Djilas, S.; Četojevoć-Simin D. (2015): Dried bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) extract fractions as antioxidants and cancer cell growth inhibitors. LWT—Food Sci. Technol., 61, 615–621.

Taulavuori K., Sarala M., Taulavuori E. (2010): Growth Responses of Trees to Arctic Light Environment in Progress in Botany, vol 71, ed by Lüttge U, Beyschlag W, Büdel B and Francis D. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 157-168.

Uleberg E., Rohloff J., Jaakola L., Trôst K., Junttila O., Häggman H., Martinussen I. (2012): Effects of temperature and photoperiod on yield and chemical composition of northern and southern clones of bilberry (*Vaccinium myrtillus* l.). *J. Agric. Food Chem*. **60**(42):10406-10414.

Upton R. (2001): Bilberry Fruit Vaccinium myrtillus L. Standards of Analysis, Quality Control, and Therapeutics; American Herbal Pharmacopoeia and Therapeutic Compendium: Santa Cruz, CA, USA, 2001.

Ferlemi A.V. and Lamari F.N. (2016): Berry Leaves: An Alternative Source of Bioactive Natural Products of Nutritional and Medicinal Value. *Antioxidants* **5(2)**: 17.

Fernández-Calvo I.C. and Obeso J.R. (2004): Growth, nutrient content, fruit production and herbivory in bilberry *Vaccinium myrtillus* L. along an altitudinal gradient. Forestry 77(3): 213–223;

Francavilla A. and Joye I.J. (2020): Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. Nutrients 12 (10), 2922.

Hadživuković, S. (1991): Statistički metodi s primenom u poljoprivrednim ibiološkim istraživanjima. Institut za ekonomiku poljoprivrede i sociologiju sela, *Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu*.

Häkkinen, S. H., Kärenlampi, S. O., Heinonen, I. M., Mykkänen, H. M., and Törronen, A. R. (1999). Content of the flavonols quercetin, myricetin, and kaempferol in 25 edible berries. *J. Agric. Food Chem.* 47, 2274–2279.

Häkkinen S. H., Kärenlampi S. O., Heinonen I. M., Mykkänen H. M., Törronen A. R. (1999): Content of the flavonols quercetin, myricetin, and kaempferol in 25 edible berries. *J. Agric. Food Chem.* 47, 2274–2279.

Häkkinen S.H. and Törrönen A.R. (2000): Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: Influence of cultivar, cultivation site and technique. Food Res. Int. **2000**, 33, 517–524.

Hariram N.S. and Won Park S. (2013): Edible Berries: Review on Bioactive Components and Their Effect on Human Health. *J. Nutr*. **30**:134-144.

Hedwall P.O., Brunet J., Nordin A., Bergh J. (2013): Changes in the abundance of keystone forest

floor species in response to changes of forest structure. Journal of Vegetation Science 24(2):

296–306;

Hokkanen J., Mattila S., Jaakola L., Pirttilä A.M., Tolonen A. (2009): Identification of phenolic compounds from lingonberry (Vaccinium vitis-idaea L.), bilberry (Vaccinium myrtillus L.) and hybrid bilberry (*Vaccinium x intermedium* Ruthe L.) leaves. *J Agric Food Chem*. **57**(20):9437-9447.

Hohtola A. (2007): Northern Plants as a Source of Bioactive Products, in *Physiology of Northern Plants under Changing Environment,* ed by Taulavuori E and Tauravuori K. Research Signpost Publisher, India, pp 291-307.

Hohtola A. (2010). Bioactive compounds from northern plants. Advances in experimental medicine and biology, 698, 99–109.

Xu F., Cao S., Shi L., Chen W., Su X., Yang Z. (2014): Blue light irradiation affects anthocyanin content and enzyme activities involved in postharvest strawberry fruit. *J. Agric. Food Chem.* 62, 4778–4783.

Canter P.H. and Ernst E. (2004): Anthocyanosides of Vaccinium myrtillus (bilberry) for night vision-a systematic review of placebo-controlled trials. *Surv Ophthalmol*. **49**(1):38-50.

Celik F., Bozhuyuk M.R., Ercisli S., Gundogdu M. (2017): Physicochemical and Bioactive Characteristics of Wild Grown Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Genotypes from Northeastern Turkey. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca.***46**:128-133.

Ciulca S. (2006): Metodologii de experimentare în agricultură şi biologie. Ed. Agroprint, Timişoara;

Ciulca S., Roma G., Alexa E., Radulov I., Cocan I., Madosa E., Ciulca A. (2021): Variation of Polyphenol Content and Antioxidant Activity in Some Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Populations from Romania. *Agronomy* 11(12): 2557.

Colak N., Torun H., Gruz J., Strnad M., Subrtova M., Inceer H., Ayaz F.A. (2016): Comparison of Phenolics and Phenolic Acid Profiles in Conjunction with Oxygen Radical Absorbing Capacity (ORAC) in Berries of Vaccinium arctostaphylos L. and V. myrtillus L. Polish. *JFNS*, **66**:85-91.

Colak N., Torun H., Gruz J., Strnad M., Hermosin-Gutierrez I., Hayirlioglu-Ayaz S., Ayaz F.A. (2016a): Bog Bilberry Phenolics, Antioxidant Capacity and Nutrient Profile. *Food Chem*. **201**:339-349.

Connor A.M., Luby J.J., Tong C.B., Finn C.E., Hancock J.F. (2002): Genotypic and Environmental Variation in Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, and Anthocyanin Content among Blueberry Cultivars. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 127, 89–97.

Chu W.K., Cheung S.C., Lau R.A., Benzie I.F. (2011): Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.), in *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects*, ed. by Benzie IF and Galor SW. Taylor & Francis Publishers, pp. 55-71.

Cocan I., Alexa E., Danciu C., Radulov I., Galuscan A., Obistioiu D., Morvay A.A., Sumalan R.M., Poiana M.A., Pop G., Dehelean C.A. (2018): Phytochemical screening and biological activity of *Lamiaceae* family plant extracts. *Exp Ther Med*. **15**(2):1863-1870.

Cocetta G., Karppinen K., Suokas M., Hohtola A., Häggman H., Spinardi A., Mignani I., Jaakola L. (2012): Ascorbic acid metabolism during bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruit development. *J Plant Physiol*. **169**(11):1059-1065.

Šavikin K., Zdunić G., Janković T., Gođevac D., Stanojković T., Pljevljakušić D. (2014): Berry Fruit Teas: Phenolic Composition and Cytotoxic Activity. *Food Res. Int.***62**:677-683.

Šaponjac V.T., Čadanović-Brunet J., Ćetković G., Đilas S., Četojević-Simin D. (2015): Dried bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) extract fractions as antioxidants and cancer cell growth inhibitors. *LWT-Food Sci. Technol*. **61**:615-621.

# СПИСАК ТАБЕЛА

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **ТАБЕЛА** | **НАСЛОВ ТАБЕЛЕ** | **СТРАНА** | |
| **Табела 1.** | Популације дивље боровнице | | 38 |
| **Табела 2.** | Метеоролошки услови током 2019. године у испитиваним регионима | | 43 |
| **Табела 3.** | Агрохемијска анализа земљишта по испитиваним локалитетима | | 47 |
| **Табела 4.** | Просечна ширина плода (mm) популација дивље боровнице по регионима и локалитетима | | 50 |
| **Табела 5.** | Просечна висина плода (mm) популација дивље боровнице по регионима и локалитетима | | 52 |
| **Табела 6.** | Просечна маса плода (g) популација дивље боровнице по регионима и локалитетима | | 54 |
| **Табела 7.** | Садржај укупних полифенола у плоду испитиваних популација дивље боровнице (mgGAE/100g) | | 57 |
| **Табела 8.** | Садржај укупних антоцијанина у плоду испитиваних популација дивље боровнице (mg/100g) | | 59 |
| **Табела 9.** | Садржај појединачнин антоцијанидина у плоду испитиваних популација дивље боровнице (mg/100g) | | 62 |
| **Табела 10.** | Садржај ди-, три-субституисаних и метоксилованих деривата антоцијана у плоду испитиваних популација дивље боровнице (mg/100g) | | 67 |
| **Табела 11.** | Коефицијент корелације испитиваних еколошких услова и особина продуктивности (n= 30) | | 71 |
| **Табела 12.** | Коефицијенти корелације испитиваних еколошких услова, особина продуктивности и биолошке вредности бобице (n= 30) | | 71 |
| **Табела 13.** | Поређење садржаја TPC у популацијама дивље боровнице у Европи и Турској | | 80 |

# СПИСАК СЛИКА

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **СЛИКА** | **НАСЛОВ СЛИКЕ** | **СТРАНА** | |
| **Слика 1.** | Структурна формула антоцијана (Lätti et al., 2008) | | 16 |
| **Слика 2.** | Изглед ризома дивље боровнице (Извор: https://www.inaturalist.org/taxa) | | 22 |
| **Слика 3.** | Изглед цвета дивље боровнице  (Извор: https://www.inaturalist.org/taxa) | | 22 |
| **Слика 4.** | Изглед плода дивље боровнице (Извор: <https://www.inaturalist.org/taxa>) | | 23 |
| **Слика 5.** | Попречни пресек плода (Извор: https://www.inaturalist.org/taxa) | | 23 |
| **Слика 6.** | Карта локалитета са којих су узорковани плодови популација дивље боровнице у северној Црној Гори (називи локалитета дати су у табели 1.) | | 37 |
| **Слика 7.** | Мерење ширине плода (Извор: ауторска фотографија, 2019.) | | 39 |
| **Слика 8.** | Мерење масе плода (Извор: ауторска фотографија, 2019.) | | 39 |
| **Слика 9.** | UV light meter (модел: YK-35UV) Извор: ауторска фотографија, 2019. | | 41 |
| **Слика 10.** | GPS уређај Garmin eTrex 10 (Извор: ауторска фотографија, 2019.) | | 41 |
| **Слика 11.** | Утицај надморске висине на садржај сумарних група антоцијана и малвидина | | 69 |
| **Слика 12.** | Корелациона матрица фактора средине и хемијских једињења боровнице | | 72 |
| **Слика 13.** | PCA анализа подручја сакупљања боровнице према хемијским профилима; BP - Бијело Поље, MK - Мојковац, BR - Беране, AN - Андријевица, RZ - Рожаје; TP - укупни феноли, TA - укупни антоцијани, Dp - делфинидин, Cy - цијанидин, Pt - петунидин, Pn - пеонидин, Mv - малвидин; бројеви локација за прикупљање одговарају бројевима места представљеним у табели 1. | | 73 |

# ПРИЛОЗИ

**Пролог 1**

**Изјава о ауторству**

Потписан Ирфан Мујановић

Број индекса: **8001/17**

**Изјављујем**

да је докторска дисертација под насловом:

**Варијабилност крупноће плода, садржаја и профила антоцијанског састава код различитих популација боровнице *(Vaccinium myrtillus l.)* у зависности од еколошких услова северне Црне Горе**, резултат сопственог истраживачког рада и да предложена докторска дисертација у целини, ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа, да су резултати коректно наведени и да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

У Бачкој Тополи, **Потпис докторанда**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Прилог 2**

**Изјава о истоветности шампане и електронске верзије докторске дисертације**

Име и презиме аутора: **Ирфан Мујановић**

Број индекса: **8001/17**

Студијски програм: **Биофарминг**

Наслов докторске дисертације: **„ Варијабилност крупноће плода, садржаја и профила антоцијанског састава код различитих популација боровнице *(Vaccinium myrtillus l.)* у зависности од еколошких услова северне Црне Горе“.**

Ментор: **Проф. др Горица Цвијановић**

Потписан **Ирфан Мујановић**

Изјављујем да је штампана верзија моје докторске дисертације истоветна електронској верзији, коју сам предао за објављивање на порталу Мегатренд универзитета у Београду.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним станицама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и публикацијама Мегатренд универзитета.

У Бачкој Тополи, **Потпис докторанда**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

# БИОГРАФИЈА

Ирфан Мујановић је рођен 21.08.1983. године у Бијелом Пољу, општина Бијело Поље, Црна Гора. Завршава основну школу „Марко Миљанов“ и средњу стручну школу „Школски центар“. Биотехнички факултет у Бијелом Пољу, смер Континентално воћарство уписао је 2007. године, који је завршио 2010. године. Након завршене три године добио је диплому - степен BACHELOR of Agriculture (BApp) Биотехничком факултету, Универзитета у Црној Гори. Школске 2010/11. године завршио је Специјалистичке студије у Бијелом Пољу - Биотехничком факултету СПЕЦИЈАЛИСТЕ пољопривреде (Спец.Сци)

Од августа месеца 2012. годинедо августа 2013. године обавио је приправнички стаж на Биотехничком факултету у Бијелом Пољу,гд‌је је и сада радно ангажован.

Дипломске академске студије-мастер, на Факултету за биофарминг у Бачкој Тополи, уписао је школске 2013/2014. године,а завршио је школске 2015. године, одбраном теме : Проучавање приноса и квалитета невена **(*Calendula oficinalis* L.)** у зависности од густине биљака и еколошких услова. Докторске академске студије, на Факултету за Биофарминг у Бачкој Тополи, уписао је 2017 године.

Коаутор је више научних радова, који сусаопштени на међународној научној конференцији. У току докторских академских студија објавио је научни рада на СЦИ листи (Сциенце Цитатион Index), у часопису у категорији (М21).

Mujanović, Irfan., Balijagić, J., Bajagić,M., Poštić,D., Đurović,S.(2024): Variations in polyphenol content and anthocyanin composition in bilberry populations (*Vaccinium myrtillus* L.) due to environmental factors.

Balijagić, Jasmina., Radanović, D., Crnobarac, J., Zečević, Veselinka, Dozet, Gordana, Mujanović, I. and Jovančević, M. (2014): Weight of Root of Annual and Biennial Seedlings of Gentian (*Gentiana lutea* L.) Grown in Natural Conditions in the North of Montenegro. 7th CMAPSEEC (Conference on Medicinal and Aromatic Plants of Southeast European Countres).

Iryna Smetanska, Jasmina Balijagić, Larisa Rener, Irfan Mujanović (2018): Content of natural pigments in fruit seeds. International GEA (Geo Eco-Eco Agro) Conference 1-3 November 2018, Podgorica Montenegro. Book of Abstracts 48.

Jovancevic М., Prenkić R., Odalović A., Arslanović Sanida, Vreva M., Mujanović I., Balijagic Jasmina (2014): Morphological and Technological Characteristics of Wild Blueberry Fruit (*Vaccinium myrtilus* L.). 8th CMAPSEEC (Conference on Medicinal and Aromatic Plants of Southeast European Countres).

Balijagić Jasmina, Crnobarac J., Jovančević M., Mujanović I. (2018) The effect of variety and plant density on pot marigold flower yield (*Calendula officinalis* L.) in agro-ecological conditions of Bijelo Polje.