

VPLIV VREMENSKIH DEJAVNIKOV NA VSEBNOST ALFA-KISLIN V STORŽKIH HMELJA

Martin PAVLOVIČ¹, Viljem PAVLOVIČ², Boštjan NAGLIČ³ in Barbara ČEH⁴

Izvirni znanstveni članek / original scientific article

Prispelo / received: 25. 10. 2020

Sprejeto / accepted: 30. 11. 2020

Izveček

V članku je analizirana povezava med štirimi podnebnimi spremenljivkami in vsebnostjo alfa-kislin v storžkih sorte hmelja Aurora, najbolj razširjene sorte v slovenski pridelavi, v obdobju 1994–2019. Z analizo Pearsonovih korelacijskih koeficientov in uporabo faktorske analize podatkov, razčlenjenih po koledarskih tednih rastnega cikla, so definirana obdobja, ko so spremembe parametrov temperature, padavin, sončnega sevanja in relativne vlažnosti najmočnejše statistično povezane s končno vsebnostjo alfa-kislina v storžkih.

Ključne besede: alfa-kislina; vremenski atributi; cv. Aurora; napovedovanje; kakovost hmelja

THE IMPACT OF WEATHER CONDITIONS ON HOP ALPHA-ACID CONTENT

Abstract

The paper analyses the correlation between changes in four climatic variables and alpha-acid production for the hop variety Aurora (Super Styrian Aurora), the most widely-planted variety in the Slovenian production during 1994–2019. By analyzing Pearson correlation coefficients and using factor analysis of data broken down by calendar month and week of the growing cycle, it determines the specific times of the year when changes to temperature, rainfall, sunshine and relative humidity are most strongly correlated to changes in alpha-acid production at harvest.

Key words: alpha-acids; weather attributes; cv. Aurora; forecasting; hop quality

¹ Prof. dr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije in Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede Univerze v Mariboru, e-pošta: martin.pavlovic@ihps.si

² Dr., Šolski center Slovenske Konjice-Zreče, viljem.pavlovic@guest.arnes.si

³ Dr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, e-pošta: bostjan.naglic@ihps.si

⁴ Dr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, e-pošta: barbara.ceh@ihps.si

1 UVOD

Smole in eterična olja so glavni sestavni deli lupulinskih žlez ženskih socvetij (storžkov) hmelja (*Humulus lupulus* L.). Del mehkih smol so hmeljne kisline, sestavljene iz dveh kemično podobnih skupin spojin, alfa-kislin ali humulonov in beta-kislin ali lupulonov. Poleg grenčic doprinesejo alfa-kisline tudi k mikrobiološki stabilnosti piva in krepijo stabilnost pene (Moir, 2000; Steenackers in sod., 2015). Tvorba alfa-kislin pri hmelju poteka od začetka nastajanja storžkov. Razvoj v dvotedenskem obdobju pred obiranjem pa je najpomembnejši, saj v tem času nastane 90 % alfa-kislin (Hecht in sod., 2004). Vsebnost alfa-kislin je genetska lastnost hmelja in je med 2–21% mase suhega storžka. Na njihovo količino pomembno vplivajo tudi vremenske razmere v rastni sezoni (Donner in sod., 2020). Te v vegetacijskem obdobju hmelja močneje vplivajo na kopičenje alfa-kislin v tehnološki zrelosti kot razmere v tleh (Srečec in sod., 2013). Vsebnost alfa-kislin je pomembna sestavina pri določanju pivovarske in posledično tržne vrednosti hmelja. S širjenjem javnih in zasebnih programov žlahtnjenja hmelja je od 90-tih let prejšnjega stoletja dalje eden glavnih ciljev osredotočen na povečanje vsebnosti alfa-kislin.

Kljub svetovnem trendu rasti uporabe kapljičnega namakanja prevladujoči delež hmeljišč v Evropi še vedno nima sistematičnega namakanja. Suša in neredne padavine povzročajo zmanjšano biosintezo in vigor rastlin hmelja, kar povzroči manjšo tvorbo alfa-kislin (De Keukeleire in sod., 2007). S študijem vpliva vremenskih razmer na vsebnost alfa-kislin v rastni sezoni pri sorti Aurora v Sloveniji so ugotovili obratno korelacijo med povprečnimi dnevnimi temperaturami in proizvodnjo alfa-kislin ($r = -0,39$, $P < 0,05$) in močno pozitivno korelacijo med skupnimi padavinami in proizvodnjo alfa-kislin ($r = 0,46$, $P < 0,05$) (Srečec in sod., 2008). Nekatere tuje raziskave kažejo, da julijske temperature zraka najbolj vplivajo na razvoj alfa-kislin (Kučera in Krofta, 2009). Ugotovljeno je bilo, da so padavine v mesecih maju, juniju in juliju ključne za razvoj alfa-kislin. V avgustu, v zadnjem mesecu pred obiranjem, pa niso bile več signifikantne. Ti rezultati ne veljajo enako za vsa hmeljarska območja, kar nakazuje podobna raziskava na več sortah na Češkem (Donner in sod., 2020).

Cilj te raziskave je bil ugotoviti vpliv vremenskih razmer v celotni rastni sezoni na vsebnost alfa-kislin v hmeljevih storžkih pri sorti Aurora, v letu 2020 najbolj razširjeni sorti (558 ha, 38 %) v Sloveniji, s preučitvijo podatkov v časovnem obdobju 1994–2019.

2 MATERIALI IN METODE

2.1 Vsebnost alfa-kislin v storžkih

Uporabili smo rezultate laboratorijskih analiz vsebnosti alfa-kislin za sorto Aurora, ki so bile narejene na Inštitutu za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS) od leta 1994 do 2019. Vsebnosti so bile izmerjene na vzorcih posušenih storžkov z uporabo standardizirane konduktometrične metode ekstrakcije hmelja (Analytica EBC 2000; Košir in Livk, 2019). Opravili smo Levenov test enake variance med povprečnimi vrednostmi vsebnosti alfa-kislin v storžkih s treh območij v severovzhodni Sloveniji (Celje, 46°15', 15°15', 244 m; Šmartno pri Slovenj Gradcu, 46°29', 15°7', 455 m; Maribor 46°33', 15°38', 269 m). Rezultati kažejo ocenjeno povprečno vsebnost alfa-kislin za celotno območje pridelave hmelja v Sloveniji.

2.2 Sorta Aurora

Sorta Aurora je srednje zgodnja sorta hmelja, diploidni hibrid med nemško sorto Northern Brewer in TG 77 neznanega izvora. Sorto z intenzivno in prijetno aromo hmelja so vzgajali v 70-tih letih prejšnjega stoletja na IHPS v Žalcu. Vsebuje med 7,2–12,6 % alfa-kislin.

2.3 Meteorološki podatki

Zbrali smo podatke od 1. januarja 1994 do 31. decembra 2019 s treh meteoroloških postaj na omenjenih območjih, ki so v analizo dale več kot 300.000 podatkovnih točk. Razpoložljivi vremenski podatki so zajemali dnevne padavine (mm; t.j. L/m²), povprečne dnevne temperature (°C), skupne sončne ure (h) in povprečno dnevno relativno vlažnost (%). Razlike v teh vremenskih podatkih se med temi tremi postajami niso statistično značilno razlikovale in nobena postaja ni imela stalno višjih podatkovnih vrednosti kot katera koli druga.

2.4 Vremenski atributi

Preučevali smo vpliv korelacije med vsoto temperatur (T), številom sončnih ur (S), skupno količino padavin (R) in povprečno relativno vlažnostjo (RH) ter vsebnostjo alfa-kislin v storžkih hmelja. Iz pridobljenih meteoroloških podatkov smo tedensko izračunavali povprečne vrednosti spremenljivk od aprila do avgusta. Od začetka rasti rastlin (14. teden v letu), do začetka obiranja (34. teden v letu). Vrednosti za vsak meteorološki atribut (A) smo izračunali po naslednjem obrazcu:

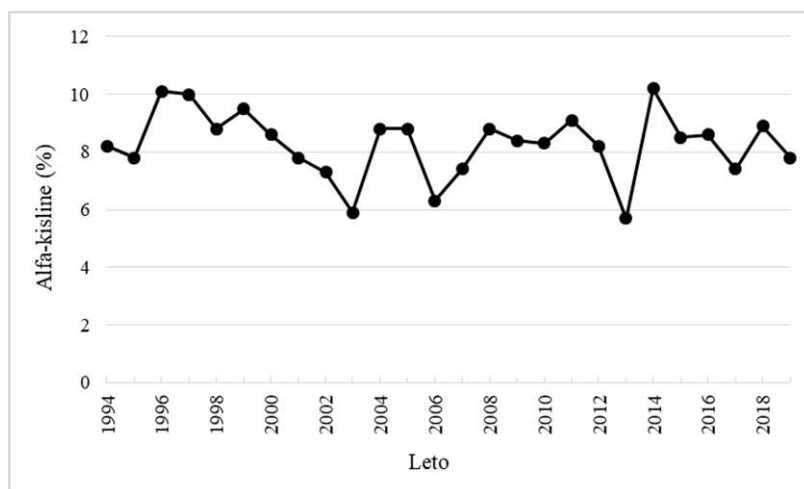
$$A_{ab} = \sum_{w=a}^b pw \quad (1)$$

$$a = 26 + z - k; b = 29 + z; k = 1, 2, \dots, 12; z = 0, 1, \dots, 5$$

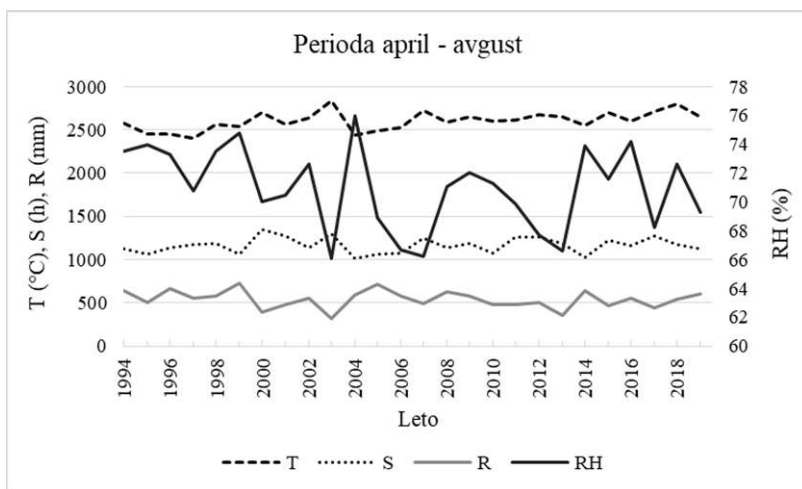
kjer A ustreza prej omenjenim spremenljivkam (T, R, S in RH) in kjer pw predstavlja tedenske podatke parametra. Pw smo izračunali na podlagi dnevnih meteoroloških podatkov, pridobljenih iz arhivov Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). V zgornji formuli predstavlja **a** spodnjo mejo časovnega intervala, **b** pa zgornjo mejo intervala, za katerega smo izračunali vrednosti. Za merjenje korelacije med dvema spremenljivkama smo uporabili Pearsonov korelacijski koeficient.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

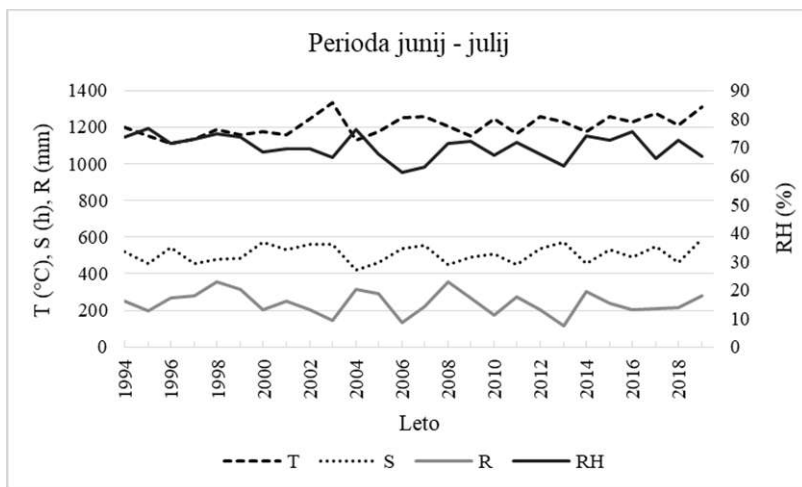
Rezultati študije so prikazani za različne tedenske intervale. Razkrite so najbolj kritične faze rasti in razvoja hmelja za vsako uporabljeno metodo, kjer T, R, S in RH prikazujejo njihov pomemben vpliv na vsebnost alfa-kislin ter posredno na pivovarsko kakovost in tržno vrednost hmelja. Na sliki 1 prikazujemo podatke o povprečnih vsebnostih alfa-kislin v hmelju pri sorti Aurora v obravnavnem obdobju. Na slikah 2 in 3 so prikazani podatki, zbrani med letoma 1994 in 2019 s treh meteoroloških postaj, ki pokrivajo celotno območje pridelave hmelja v Sloveniji. Na sliki 2 so prikazane skupne povprečne vrednosti spremenljivk T, R, S in RH za celotno rastno dobo in na sliki 3 vrednosti samo za junij in julij.



Slika 1: Povprečne vsebnosti alfa-kislin v hmelju (v %) pri sorti Aurora v obdobju 1994–2019



Slika 2: Meteorološki podatki za obdobje april – avgust s treh postaj med letoma 1994 in 2019 - skupne povprečne vrednosti T (temperatura (°C)), S (sončno sevanje (h)), R (padavine (mm)), RH (relativna zračna vlaga (%))



Slika 3: Meteorološki podatki za obdobje junij–julij s treh postaj med letoma 1994 in 2019 - skupne povprečne vrednosti T (temperatura (°C)), S (sončno sevanje (h)), R (padavine (mm)), RH (relativna zračna vlaga (%))

Pearsonovi koeficienti korelacije za spremenljivke T, S, R in RH glede na tvorbo alfa-kislin so bili izračunani za tedenske intervale za obdobje med letoma 1994 in 2019. Analiza podatkov je pokazala največjo negativno korelacijo med temperaturo (T) in tvorbo alfa-kislin (T_{2530} , $r = -0,78$, $P < 0,01$) v intervalu med 25. in 30. tednom. Spremenljivka T_{2530} predstavlja vsoto aktivnih temperatur od 18. junija do

29. julija. V označenih intervalih tednov za spremenljivko temperatura T_{2532} , T_{2732} in T_{2428} se pokaže nižja, a še vedno statistično značilna korelacija (-0,76, -0,64, -0,64; pri $P < 0,01$). Rezultati kažejo, da je temperatura (T) močno povezana s tvorbo alfa-kislin v obdobjih od začetka intenzivne rasti rastlin do konca cvetenja. Vpliv temperature (T) na tvorbo alfa-kislin v avgustu tik pred obiranjem pa je šibek in statistično neznačilen.

V časovnem obdobju med tednoma 25 in 30 je bila večja negativna korelacija med sončnim sevanjem (S) in vsebnostmi alfa-kislin (S_{2530} , $r = -0,81$, $P < 0,01$). To razmerje je dalo največjo negativno korelacijo v tej študiji in velja za obdobje med 18. junijem in 29. julijem. Konča se približno štiri tedne pred začetkom obiranja hmelja. Korelacija med sončnim sevanjem (S) in proizvodnjo alfa-kislin v avgustu je bila statistično neznačilna.

Najvišja pozitivna korelacija padavin (R) v mm (L/m^2) in vsebnostjo alfa-kislin, ki velja za obdobje med 18. junijem in 29. julijem, je dala naslednje rezultate R_{2530} , $r = 0,72$ ($P < 0,01$). Padavine (R) so pokazale najvišjo pozitivno korelacijo z vsebnostjo alfa-kislin. Moč korelacije med padavinami (R) in vsebnostjo alfa-kislin je začela upadati po 29. juliju. V tej pozni fazi so rastline hmelja v celoti zacvetele in razvijale storžke.

Relativna vlažnost (RH) je bila v primerjavi z ostalimi parametri (T, S, R) v najvišji korelaciji z vsebnostjo alfa-kislin RH_{2732} ($r = 0,82$, $P < 0,01$). To je časovno obdobje med 27. in 32. tednom. Gre za čas med 2. julijem in 12. avgustom.

Spremenljivki temperatura (T) in sončno sevanje (S) sta v pretežno negativni korelaciji z vsebnostjo alfa-kislin, medtem ko so padavine (R) in relativna vlažnost (RH) v pozitivni korelaciji. Ti pari parametrov se zrcalijo, pri rezultatih pa je mogoče uporabiti tudi osnovno logiko. Ko imamo več sonca (S), je temperatura (T) v poletnih mesecih praviloma višja. Ko je oblačno, je to znak, da je sončnega obsevanja (S) manj in da je relativna vlažnost (RH) lahko višja. Kasneje je več možnosti za deževje (R), ko je manj sonca (S).

Faktorsko analizo smo uporabili z namenom zmanjšanja velikega števila spremenljivk in grupiranjem le-teh v manjše število obteženih komponent. Poslužili smo se metode glavnih komponent (ang. principal component analysis) ob uporabi ortogonalne (Varimax) preslikave množice podatkov.

Ustreznost izbranih spremenljivk za faktorsko analizo smo preverili s pregledom korelacijske matrike, Bartettovim testom sferičnosti χ^2 (28) = 181.6, $p < 0.001$, pregledom "antiimage" korelacijske matrike, kjer so vse vrednosti diagonal presegale 0,69, s Kaiser-Meyer-Olkinovo mero ustreznosti vzorčenja ($KMO=0,75$), kar je dovolj velika vrednost nad priporočeno vrednostjo 0,5 ter vrednostjo komunalitet za posamezne spremenljivke. Za število glavnih komponent smo se

odločili na osnovi hevrističnega pravila, da naj komponente pojasnijo vsaj 80 % skupne variance. Dobljena matrika po varimax rotaciji je izpostavila 3 komponente.

Značilnost prve komponente je izkazan izrazit vpliv števila ur sončnega obsevanja rastline na razlago variance vsebnosti alfa-kislin. Ta komponenta nam pojasni največji delež variabilnosti (32,4 %). Drugo komponento zaznamujeta temperatura in sočasna količina padavin, kar lahko razložimo z večjo relativno vlažnostjo zraka. Ta komponenta nam pojasni 31,3 % variabilnosti. Tretjo komponento karakterizirata predvsem atributa količine padavin v določenem časovnem obdobju, ki pojasni najmanjši delež (23,7 %) variabilnosti vsebnost alfa-kislin sorte Aurora skozi leta. To lahko razložimo tudi z vse večjim obsegom pojavljanja kapljičnega namakanja hmelja. Poudarimo naj, da količina vode, dodana z namakanjem, ni zajeta v preučevanih atributih.

Rezultati naše raziskave se ujemajo s tistimi na Hrvaškem (Srečec in sod., 2008). Pri sorti Aurora so zaznali negativno korelacijo med naraščajočo vsoto efektivnih temperatur in tvorbo alfa-kislin ($r=-0,39$), medtem ko količine padavin in vsebnost alfa-kislin kažejo pozitivno korelacijo ($r=0,46$). Pri češki sorti Saaz so na vsebnost alfa-kislin vplivale vremenske razmere v časovnem obdobju med junijem in avgustom, torej v razvojnih fazah cvetenja, tvorbe storžkov in zorenja (Kučera in Krofta, 2009). Negativna korelacija med julijskimi temperaturami in vsebnostjo alfa-kislin je najbolj vplivala na njihov model, kar je enako, kot je pokazala naša raziskava ($r=-0,71$). V primerjavi s predhodno študijo (Pavlovič in sod., 2011), ki je zajela podatke med letoma 1994 in 2010, je tokratna (z našimi rezultati v primerjavi z oklepaji) natančneje opredelila najpomembnejša časovna obdobja za vremenske vplive pri tvorbi alfa-kislin. Temperatura je bila najpomembnejša med 24. in 31. tednom (od 25. do 30.), skupna količina padavin in sonca med 25. in 29. tednom (od 25. do 30.) in vlažnost zraka med 28. do 33. tednom (od 27. do 32.). Podobno so Donner in sod. (2020) ugotovili za češke sorte hmelja, pri katerih so imele poletne visoke temperature zraka največji negativni vpliv na tvorbo alfa-kislin. Drugi dejavniki, ki negativno vplivajo na proizvodnjo alfa-kislin, so bile visoke temperature v juliju in avgustu, število dni z najvišjo temperaturo nad 30 °C in vsota temperatur v sezoni. Češka sorta hmelja Agnus je pokazala stabilno vsebnost alfa-kislin, neodvisno od vremena, medtem ko sta bili sorti Saaz in Premiant bolj občutljivi na ta parameter.

4 SKLEPI

Vsebnost alfa-kislin v hmelju je eden najpomembnejših parametrov kakovosti in s tem tržne vrednosti hmelja. Vpliv vremenskih nihanj na proizvodnjo alfa-kislin v hmelju je pomemben in povezan s stopnjami razvoja rastlin, katerih datumi se vsako leto nekoliko spreminjajo zaradi naravnih podnebnih sprememb. Storžki hmelja sorte Aurora se običajno začnejo razvijati v drugi polovici junija (26.

teden), rastlina pa je v polnem razcvetu sredi julija (28. teden). Modeli za vnaprejšnjo napoved vsebnosti alfa-kislin (na podlagi vhodnih podatkov iz najvplivnejših časovnih obdobij v letu, ko vključene vremenske spremenljivke najbolj vplivajo na vsebnost alfa-kislina pri sorti Aurora), bi tako lahko vključevali izbrane najvplivnejše tedenske intervale. Rezultati raziskave kažejo, da trije faktorji pojasnjujejo 87,4 % variance. Prvi faktor (32,4 %) zajema podatke o sončnem sevanju (S), pri čemer ima ta največji vpliv od začetka junija do konca julija. Drugi faktor (31,3 %) zajema tako temperaturne spremenljivke (T) kot spremenljivko, ki zajema padavine (R). Tretji dejavnik (23,7 %) zajema padavine v obdobju od druge polovice maja do sredine avgusta, to je deset dni pred obiranjem sorte Aurora v Sloveniji. Rezultati študije potrjujejo uporabo analiziranih podatkov za nadaljnje raziskave oblikovanja celovitega napovednega modela.

5 VIRI

- Analytica EBC, 2000. European Brewery Convention. Grundwerk: Section 7.4. EBC Analysis Committee, Hans Carl Getraenke Fachverlag, Nuernberg, Germany.
- Donner P., Pokorný J., Ježek J., Krofta K., Patzak J., Pulkrábek J. Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. Plant, Soil and Environment. 2020; 66: 41-46.
- De Keukeleire J., Ooms G., Heyerick A., Roldan-Ruiz I., Van Bockstaele E., De Keukeleire D. Relevance of Organic Farming and Effect of Climatological Conditions on the Formation of Alpha-Acids, Beta-acids, Desmethylxanthohumol, and Xanthohumol in Hop (*Humulus lupulus* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007; 55: 61-66.
- Hecht S., Kammhuber K., Reiner J., Bacher A., Eisenreich W. Biosynthetic experiments with tall plants under field conditions. $^{18}\text{O}_2$ incorporation into humulone from *Humulus lupulus*. Phytochemistry. 2004; 65: 1057-1060.
- Košir, I.J., Livk, J. Hop industry crop Evaluation 2019. IHPS. Žalec, Contract nr.: 2311-09-000136. 2019. 14 p (Slovene).
- Kučera J., Krofta K. Mathematical model for prediction of alpha-acid contents from meteorological data for 'Saaz' aroma variety. Acta Horticulturae. 2009; 848: 131-139.
- Moir M. Hops – a millennium review. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2000; 58: 131-146.
- Pavlovič, M., Čerenak, A., Pavlovič, V., Rozman, Č., Pažek, K., Bohanec, M. Development of DEX-HOP Multi-attribute Decision Model for Preliminary Hop Hybrids Assessment. V: Computers and Electronics in Agriculture. 2011; 75(1): 189.
- Srečec S., Kvaternjak I., Kaučič D., Špoljar A., Erhatic R. Influence of Climatic Conditions on Accumulation of alpha-acids in Hop Cones. Agriculturae Conspectus Scientificus. 2008; 73, 3: 161-166.
- Srečec, S., Čeh, B., Savić Ciler, T., Ferlež Rus, A. Empiric mathematical model for predicting the content of alpha-acids in hop (*Humulus lupulus* L.) cv. Aurora. Springer Plus; 2013, 2: 59.
- Steenackers B., De Cooman L., De Vos D. (2015): Chemical transformations of characteristic hop secondary metabolites in relation to beer properties and the brewing process: a review. Food Chemistry. 2015; 172: 742-756.