

**STRUCTURA ȘI DISTRIBUȚIA
OLIGOMERILOR TANINULUI
HIDROLIZABIL DIN SPECIA LEMNOASĂ
TARA (*Caesalpinia spinosa*)**

**STRUCTURE AND OLIGOMERS
DISTRIBUTION OF COMMERCIAL TARA
(*Caesalpinia spinosa*) HYDROLYSABLE
TANNIN**

Samuele GIOVANDO

Dr. - Silva Chimica

Adresa/Address: Via Torre 7, San Michele Mondovi (CN), Italy

Antonio PIZZI*

Prof.Dr. - LERMAB, ENSTIB, University of Lorraine, Epinal, France

Adresa/Address: 27 rue Philippe Seguin, BP 1041, 88051 Epinal cedex 9, France

Tel.: (+33) 329296117. E-mail: antonio.pizzi@enstib.uhp-nancy.fr

Harald PASCH

Prof. - Polymer Research Institute, University of Stellenbosch

Adresa/Address: Stellenbosch, South Africa

Naomi PRETORIUS

Mrs. - Polymer Research Institute, University of Stellenbosch

Adresa/Address: Stellenbosch, South Africa

Rezumat:

Taninul extras cu solvent din specia lemnoasă tara (sortiment comercial) a fost examinat printr-o tehnică de spectroscopie de masă asistată de desorbție/ionizare cu laser (MALDI-TOF) și cromatografie de lichide la presiune ridicată (HPLC). A rezultat că extractul de tara este compus dintr-o serie de oligomeri ai acidului poligalic legați printr-o legătură esterică de acidul quinic. Aceștia constituie oligomerii în proporție ridicată în compoziția taninului. Sunt prezente de asemenea și alte lanțuri de acid poligalic legate de una sau două unități repetate, reprezentate de acidul cafeic și acizii quinic metilat, galic metilat, cafeic metilat. Modul ion negativ MALDI-TOF a arătat că unele reziduuri de carbohidrați ar fi încă prezente, legate de materialul polifenolic al extractului, dar proporția acestora este foarte scăzută, cum era de așteptat la taninul extras cu solvent.

Cuvinte cheie: extract de tara; tanin; taninuri hidrolizabile; structură; lemn; MALDI; HPLC; oligomeri poligalici; acid quinic; *Caesalpinia spinosa*.

INTRODUCERE

Încă de la introducerea sa de către Karas și Hillenkamp în 1987, tehnica de ionizare utilizată în spectroscopia de masă (MALDI) a extins considerabil utilizarea spectroscopiei de masă către studiul moleculelor mari și s-a dovedit a fi o metodă avansată pentru caracterizarea atât a polimerilor sintetici, cât și a celor naturali (Bahr ș.a. 1992, Ehring ș.a. 1992, Danis ș.a. 1992, Danis și Karr 1993, Pasch și Resch 1996, Pasch și Gores 1995).

Abstract:

Solvent extracted commercial Tara tannin extract have been examined by Matrix Assisted Laser Desorption/Ionisation Time-of-Flight (MALDI-TOF) mass spectrometry and by High Pressure Liquid Chromatography (HPLC). The Tara extract has been found to be composed of a series of oligomers of polygallic acid attached by an ester link to one quinic acid. They constitute the oligomers in higher proportion in the extract. Other polygallic chains linked to one only or two repeating units such as caffeic acid and methylated quinic, methylated gallic and methylated caffeic acids are also present. Negative ion mode MALDI-TOF showed that some carbohydrate residues appear to still be present, linked to the polyphenolic material of the extract but their proportion is very low as would be expected of a solvent extracted tannin.

Key words: Tara extract; tannin; hydrolysable tannins; structure; wood; MALDI; HPLC; polygallic oligomers; quinic acid; *Caesalpinia spinosa*.

INTRODUCTION

Since its introduction by Karas and Hillenkamp in 1987, Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization (MALDI) mass spectrometry has greatly expanded the use of mass spectrometry towards large molecules and has revealed itself to be a powerful method for the characterization of both synthetic and natural polymers (Bahr *et al.* 1992, Ehring *et al.* 1992, Danis *et al.* 1992, Danis and Karr 1993, Pasch and Resch 1996, Pasch and Gores 1995). Fragmentation of analyte molecules upon laser irradiation can be

* Autor corespondent / Author to whom all correspondence should be addressed

ionilor s-a adăugat în matrice NaCl (10mg/ml în apă). Soluțiile cu probă și matricea au fost amestecate în proporție de 3 părți soluție de matrice + 3 părți soluție de polimer + 1 parte soluție de NaCl și probe de 0,5 la 1μL din soluția rezultată prin amestecare au fost plasate în ținta MALDI. După evaporarea solventului MALDI a fost introdus în spectrometru. S-a utilizat metoda de pregătire a probei cu picătura uscată.

Pentru a obține masa moleculară a componentelor chimice corespunzătoare maximelor din spectrul de masă înregistrat în modul pozitiv, din valoarea acestor maxime trebuie să fie extrasă valoarea 23Da (1Da = 1,660 538 86 (28) × 10⁻²⁷ kg) corespunzătoare ionilor Na⁺ din matrice

Spectrul obținut și interpretarea rezultatelor sunt prezentate în Fig. 1-3, 6 și Tabelul 1.

Înălțimea maximelor de absorbție din spectrul MALDI-TOF este proporțională cu numărul de molecule care formează acel vârf, de aceea, pentru a caracteriza substanța din punct de vedere cantitativ, cantitatea este multiplicată cu masa moleculară a structurii corespunzătoare.

Cromatografia de lichide la presiune ridicată (HPLC)

HPLC din extractul de țară s-a realizat în următoarele condiții:

- s-a folosit apă ultra-pură (tratăată cu un sistem Millipore Milli-Q sau similar);
- sistem HPLC Waters Alliance;
- Coloana: Merck – LiChroCART 125-4 – Lichrospher 100 RP-18 (5μm);
- Detector: Waters 2996 PDA;
- Faza mobilă:

A: Soluții apoase (NH₄)₂HPO₄ / H₃PO₄.

S-au cântărit la o balanță analitică 5.765g de H₃PO₄ și 6.603g de (NH₄)₂HPO₄ într-un pahar de măsură de 100 ml și s-a umplut cu apă. Soluția a fost ulterior diluată 1:100 cu apă (10ml de soluție concentrată la 1000ml într-un balon cotat).

B: Acetonitril – grad de puritate HPLC

C: Acetonitril / Apă 1:1

500 ml de apă la 1000 ml soluție acetonitril, preparată în balon cotat

- eliberare solvent: Waters 2695.

- Eluție (procedeu chimic de eliberare a unei substanțe de pe absorbantul său prin spălare): vezi Tabelul 1.

enhancement of ion formation NaCl was added to the matrix (10mg/ml in water). The solutions of the sample and the matrix were mixed in the proportions 3 parts matrix solution + 3 parts polymer solution + 1 part NaCl solution and 0.5 to 1μL of the resulting solution mix were placed on the MALDI target. After evaporation of the solvent the MALDI target was introduced into the spectrometer. Dry droplet sample preparation method was used.

To each peak value in the resulting positive mode spectrum must be subtracted of 23Da of the Na⁺ of the matrix to obtain the molecular weight of the chemical species of the peak.

The Spectrum obtained and the interpretation of the peaks are shown in Figs. 1-3, 6 and in Table 1.

The height of a MALDI-TOF peak is proportional to the numbers of molecules giving that peak, therefore, in order to characterize the substance quantitatively, the amount is multiplied by the molecular weight of the corresponding structure.

High Pressure Liquid Chromatography (HPLC)

HPLC of țara extract was done under the following conditions:

- ultrapure water was used (treated with Millipore Milli-Q system or similar);
- HPLC system Waters Alliance;
- Column: Merck – LiChroCART 125-4 – Lichrospher 100 RP-18 (5μm);
- Detector: Waters 2996 PDA;
- Mobile phase:

A: Aqueous solution (NH₄)₂HPO₄ / H₃PO₄.

Using an analytical balance weight exactly 5.765 g of H₃PO₄ and 6.603g of (NH₄)₂HPO₄ in a 100 ml glass measuring flask and fill with water. Solution is further diluted 1:100 with water (10 ml of concentrated solution to 1000 ml in volumetric flask).

B: Acetonitrile HPLC grade

C: Acetonitrile / Water 1:1

500 ml of water to 1000 ml acetonitrile solution in volumetric flask

- Solvent delivery: Waters 2695.

- Elution: see Table 1.

Tabelul 1/ Table 1

	TIMP/TIME ⁽¹⁾	DEBIT/FLOW ⁽²⁾	% A	% B	% C	% D	CURV
1		1,00	95	5	0	0	
2	25	1,00	35	65	0	0	7

(1) minutes - (2) mL/min

- Gestionare date : Waters – Empower 2.

- Data handling: Waters – Empower 2.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

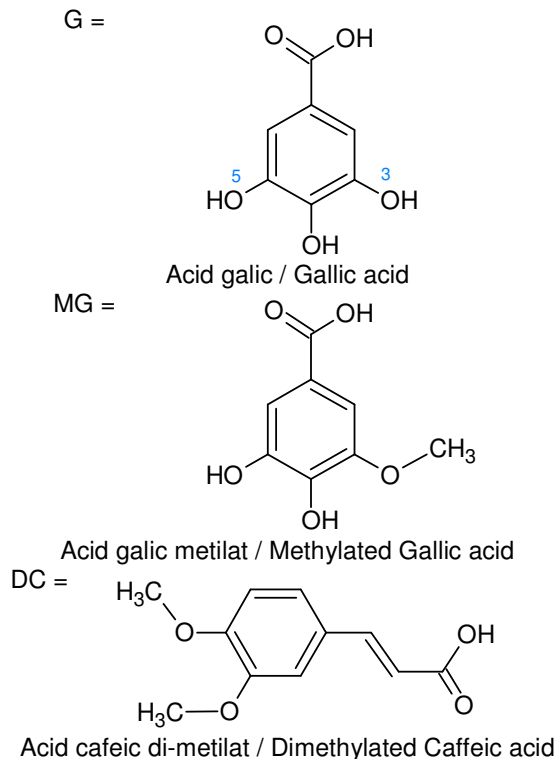
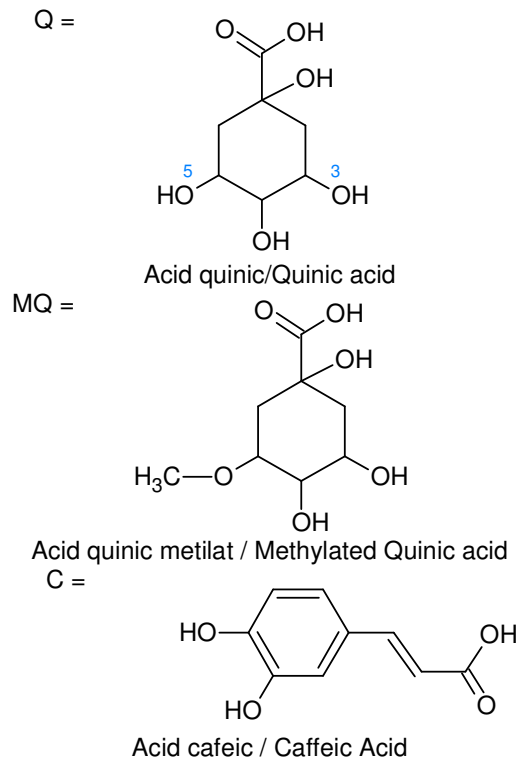
Înălțimea vârfului spectrului MALDI-TOF este proporțională cu numărul de molecule care determină acel vârf, prin urmare, pentru a cuantifica

RESULTS AND DISCUSSION

The height of a MALDI-TOF peak is proportional to the numbers of molecules giving that peak, therefore, in order to quantify the polymeric

fracția polimerică prin masă, intensitatea relativă a vârfului trebuie să fie multiplicată de masa moleculară a structurii corespunzătoare. Se cunosc un număr de monomeri diferiți care fac parte din structura extractului de tara. Aceștia sunt:

fraction by weight, the peak relative intensity has to be multiplied by the molecular weight of the corresponding structure. A number of different monomers are known to take part in the structure of Tara extract. These are:



Moleculele de acid quinic și galic sau structurile metilate sunt legate între ele printr-o grupare esterică formată între gruparea acidă a acidului galic și gruparea alcoolică a acidului quinic. Același tip de legătură se formează între gruparea acidă a acidului cafeic și gruparea alcool a acidului quinic (ca și la acidul clorogenic) sau structurile metilate corespunzătoare.

În secvența moleculelor de acid galic (structuri de acid poligalic), o moleculă este legată de altă moleculă prin gruparea ester dintre gruparea acidă a unuia și gruparea alcool a altui acid galic.

În Fig. 1-3 sunt prezentate spectrele în mod pozitiv MALDI-TOF ale extractului de tara. Se poate observa că în acest tanin hidrolizabil sunt prezente molecule repetate de 152Da de acid galic.

Tabelul 2 indică interpretarea spectrelor MALDI-TOF din extract de tara ce rezultă din Fig. 1-3.

Quinic acid and gallic acid units, or the corresponding methylated structures, are linked together by an ester group between the acid group of the gallic acid and an alcoholic group of the quinic acid. The same type of linkage is formed between the acid group of caffeic acid with an alcohol group of the quinic acid (as in chlorogenic acid) or their correspondent methylated structures.

In the sequences of gallic acid units (polygallic acid structures), one unit is linked with another by an ester group between the acid group of one and the alcoholic group of another gallic acid.

In Fig. 1 to 3 are reported the positive MALDI-TOF spectra of Tara extract. It can be observed that in this hydrolysable tannin repeating units of 152Da (gallic acid unit) are present.

Table 2 shows the interpretation of the MALDI-TOF spectra of Tara extract derived from Figs. 1 to 3.

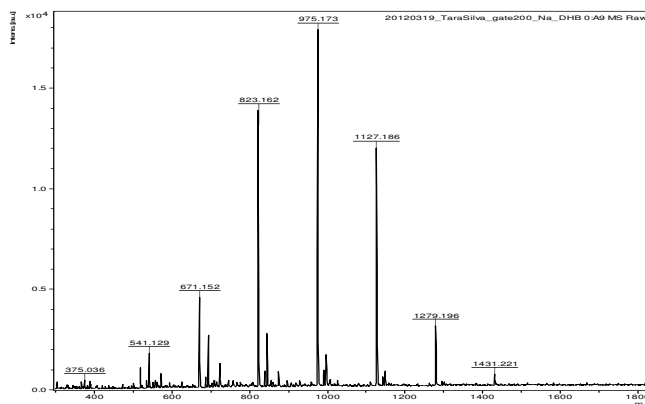


Fig. 1.

Spectrul de masă MALDI-TOF a taninului comercial de tara extras cu solvent (mod pozitiv cu NaCl); domeniul de masă: 300-1850Da / MALDI-TOF (positive mode with NaCl) of solvent-extracted commercial Tara tannin extract; mass range: 300-1850Da.

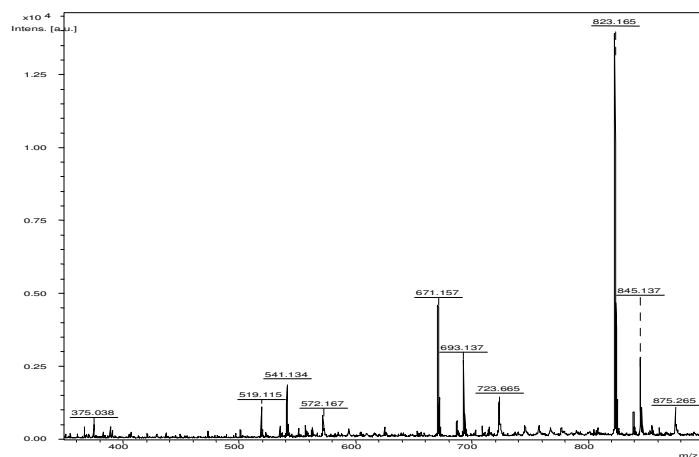


Fig. 2.

Spectrul de masă MALDI-TOF a taninului comercial de tara extras cu solvent (mod pozitiv cu NaCl); detaliu pentru domeniul de masă: 390-900Da / MALDI-TOF (positive mode with NaCl) of solvent-extracted commercial Tara tannin extract; zoomed range: 350-900Da.

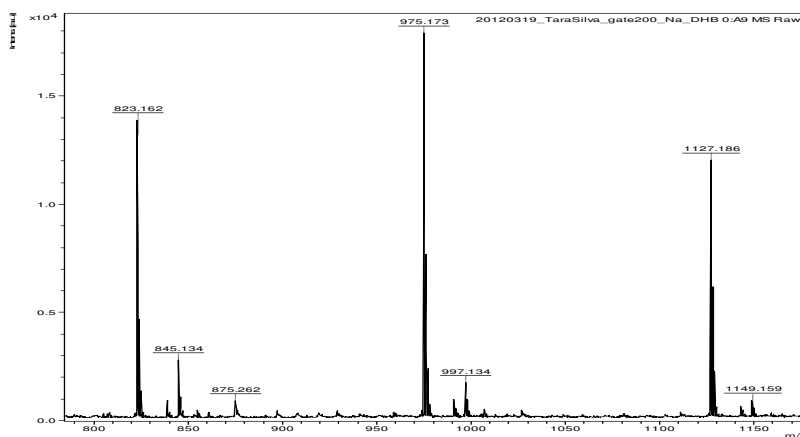


Fig. 3.

Spectrul de masă MALDI-TOF a taninului comercial de tara extras cu solvent (mod pozitiv cu NaCl); detaliu pentru domeniul de masă: 785-1175Da / MALDI-TOF (positive mode with NaCl) of solvent-extracted commercial Tara tannin extract; zoomed range: 785-1175Da.

Tabelul 2 / Table 2

Interpretarea maximelor spectrale ale extractului de tara cu solvent obținute prin metoda MALDI-TOF /
MALDI-TOF peaks interpretation for Tara solvent extract

M+Na+ (exp)	Structura moleculară / Molecular structure	Număr de molecule monomeric/Number of monomeric units	Proporții relative Date primare/Relative Proportions Raw data	Proporții relative % de masă/Relative Proportions % by weight
351,2	G-Q (negative ion mode)	2	2	0,1%
368,7	G-Q (negative ion mode)	2	2	0,1%
375,0	C-Q (Chlorogenic acid)	2	4	0,3%
519,1	Q-G-G	3	9	0,8%
541,1	Q-Q-G	3	15,5	1,5%
572,1	DC-Q-MG	3	6,5	0,7%
671,1	Q-G-G-G	4	40,5	4,8%
685,2	MQ-G-G-G	4	4,5	0,5%
693,1	Q-Q-G-G	4	23	2,8%
723,6	DC-Q-G-MG	4	10,5	1,4%
823,1	Q-G-G-G-G	5	124	18,2%
837,2	MQ-G-G-G-G	5	7	1,0%
845,1	Q-Q-G-G-G	5	24	3,6%
875,2	DC-Q-G-G-MG	5	7	1,1%
975,1	Q-G-G-G-G-G	6	160,5	28,1%
989,2	MQ-G-G-G-G-G	6	7	1,2%
997,1	Q-Q-G-G-G-G	6	14	2,5%
1127,1	Q-G-G-G-G-G-G	7	107	21,7%
1141,2	MQ-G-G-G-G-G-G	7	4	0,8%
1149,1	Q-Q-G-G-G-G-G	7	6,5	1,3%
1279,1	Q-G-G-G-G-G-G-G	8	27	6,2%
1431,2	Q-G-G-G-G-G-G-G-G	9	5	1,3%
			TOTAL	100%

Vârfurile de 519, 671, 823, 975, 1127, 1279 și 1431Da (Tabelul 2) din extractul de tara reprezintă principala serie de structuri care sunt esterii acidului quinic cu incremente de masă de 152Da.

Vârfurile de 541, 693, 845, 997 și 1149Da (Tabelul 2) reprezintă a doua serie de esteri constând din două molecule de acid quinic și o secvență de molecule de acid galic având incremente de masă de 152Da.

Vârfurile de 375, 572, 723 și 875Da (Tabelul 2) aparțin unei alte serii minore în care acidul clorogenic (acid quinic+acid cafeic) este legat de o secvență de molecule de acid galic. Unele molecule sunt parțial metilate.

Vârfurile de 685, 838, 990, 1142 (culoare roz in Tabelul 2) aparțin unei alte serii minore în care o secvență de molecule de acid galic este legată de acid quinic metilat.

Din toate cele de mai sus și incremental evident repetat de 152Da al masei moleculare în seria principală de oligomeri se pare că taninul comercial de tara extras cu solvent conține în principal taninuri hidrolizabile compuse din galotaninuri, în care structura acidului poligalic este esterificată în acid quinic (Fig. 4).

The peaks at m/z of 519, 671, 823, 975, 1127, 1279 and 1431Da (Table 2) in the Tara extract represent the main series of structures that are esters of quinic acid with the mass increments of 152Da.

The peaks at m/z of 541, 693, 845, 997 and 1149Da (Table 2) represent a second series of esters consisting of two quinic acid units and a sequence of gallic acid units having a mass increment of 152Da.

The peaks at m/z of 375, 572, 723 and 875Da (Table 2) belong to another minor series where a chlorogenic acid (quinic acid + caffeic acid) is linked with a sequence of gallic acid units. Some units are partially methylated.

The peaks at m/z of 685, 838, 990, 1142 (pink series in Table 2) belong to another minor series where the sequence of gallic acid units is linked with a methylated quinic acid.

From all the above and the evident 152Da repeating jump in molecular weight in the main series of oligomers it appeared that solvent extracted commercial Tara tannin contains mainly hydrolysable tannins composed by gallotannins, where a polygallic acid structure is esterified on quinic acid (Fig. 4).

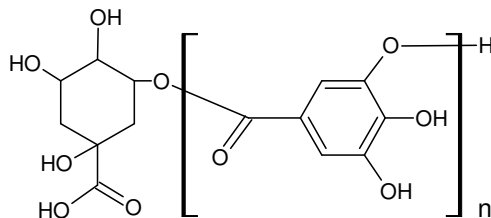


Fig. 4.

Structura principală a galotaninurilor prezente în taninul de tara / Main structure of gallotannins present in Tara tannin.

Prin urmare, cel mai înalt vârf (maxim) spectral detectat în extractul comercial corespunde unei serii de structuri prezentate în Fig. 5, respectiv o succesiune de molecule de acid galic, unde n din Fig. 4 poate varia de la 0 la 8. În loc de acid quinic pot fi de asemenea alte molecule de monomer, dintre celelalte indicate mai sus, la care aceste lanțuri de acid poligalic pot fi atașate prin legături esterice.

Thus the highest peaks detected in the commercial extract corresponds to the series of structures shown in Fig. 5, namely a sequence of gallic acid units, where n of Fig. 4 can vary from 0 to 8. Instead of quinic acid, there can also be other monomeric units among the other indicated above on which these polygallic acid chains can be attached by ester linkages.

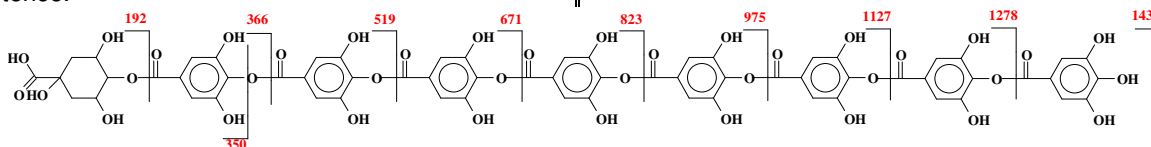


Fig. 5.

Serie de oligomeri reprezentând cele mai înalte vârfuri și masele moleculare corespunzătoare în taninul comercial de tara extras cu solvent. Secvența moleculelor de acid galic, unde n poate varia de la 0 la 8, poate fi legată de alte molecule de monomer în loc de acid quinic, similar structurii din figură corespunzătoare principalei serii de oligomeri / Series of oligomers representing the highest peaks and their respective molecular weights in solvent extracted commercial Tara tannin extract. The sequence of gallic acid units, where n can vary from 0 to 8. can be linked to other monomer units instead than to quinic acid as shown in the figure for the main series of oligomers.

Spectrul în mod ion negative arată cum o serie de carbohidrați pot fi prezenți și legați la fracțiunea polifenolică a extractului. De aceea, din spectrul în mod (Fig. 6) se poate observa o serie de vârfuri minore care corespund aducțiilor carbohidrați - polifenoli. Seria de vârfuri indicând legături cu carbohidrații, este reprezentată prin vârfuri foarte mici. Acest lucru este exemplificat prin vârfurile de 839Da și 855Da. Primul dintre acestea, prezentat mai jos în Fig. 7, spre exemplu, reprezintă aductul sodiului la structura diglucozei la care se leagă un lanț rezidual din trei unități de acid galic, iar al doilea un compus similar, minus o grupare -OH. Cel mai mic dintre vârfuri arată că proporția de carbohidrați în extractul de tara cu solvent este într-adevăr foarte scăzută, cum era de așteptat. Aceleiași serii îi aparține și vârful mai pronunțat 687Da reprezentând o diglucoză legată de două reziduuri de acid galic și 535Da (diglucoza legată la un singur acid galic). Vârfurile de 368Da și 350Da corespund dimerilor acidului quinic și galic (Tabelul 2, Fig. 5) fără carbohidrați atașați. De remarcat este vârful de 700Da care este o unitate Q-G-G-glucoză.

The negative ion spectra defines how some carbohydrates may be present and linked to the polyphenolic fraction of the extract. Thus from the negative spectra (Fig. 6) one can notice a series of minor peaks that correspond to carbohydrates polyphenolic adducts. The series of peaks indicating linking with the carbohydrates is represented by very small peaks. This is exemplified by the peaks at 839Da and 855Da. The first one of this, shown hereunder in Fig. 7 for example, represents the sodium adduct of a diglucose structure to which is linked a three gallic acid residues chain and the second the same minus a -OH group. The smallness of such peaks indicates that the proportion of carbohydrates in tara solvent extract is indeed very low, as would be expected. To the same series belong the more pronounced 687Da peak representing a diglucose linked to two gallic acid residues, the 535Da peaks (a diglucose linked to a single gallic acid). The peaks at 368Da and 350Da correspond to dimers of quinic and gallic acid (Table 2, Fig. 5) without carbohydrates attached. Noticeable are also a peak at 700Da that is a Q-G-G-glucose.

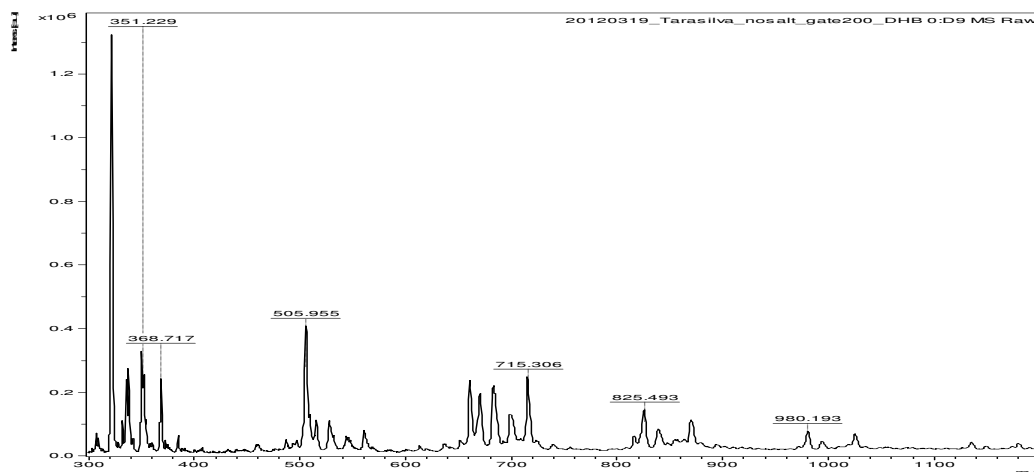


Fig. 6.

Spectrul MALDI-TOF al tandinului comercial de tara extras cu solvent (mod negativ, cu NaCl); domeniul de masă: 300-2000Da / MALDI-TOF of solvent extracted commercial Tara tannin extract (negative mode, with NaCl); mass range: 300-2000Da.

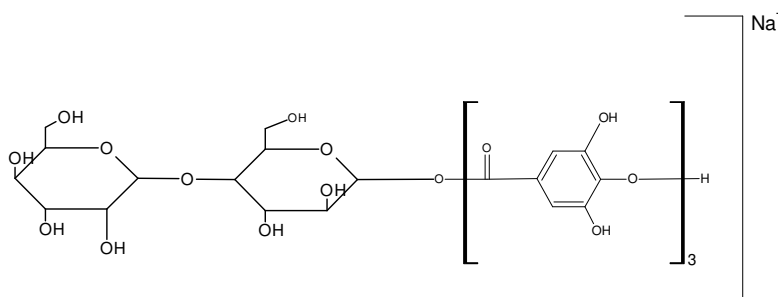


Fig. 7.

Structura propusă pentru trimerul corespunzător vârfului minor 839Da, rezultată prin analiza MALDI-TOF în mod ion negativ a tandinului comercial de tara extras cu solvent / Proposed structure for the trimer at 839Da, minor peak, as postulated from the bulk sample of negative ion MALDI-TOF analysis of solvent extracted commercial Tara tannin extract.

Interesantă este și cromatograma HPLC a tandinului de tara extras cu solvent prezentată în Fig. 8. Vârfulurile ce aparțin acidului galic cu un timp de retenție de 2,2 minute și acidului clorogenic cu un timp de retenție de 1,5 minute sunt clar vizibile. Suprafața picului indică o proporție de 1,6% de acid galic liber și de 0,48% de acid clorogenic liber în compoziția tandinului de tara extras cu solvent. Este interesant de notat că numărul de vârfuri prezente în Fig. 8, aproximativ 20, corespunde unui număr similar de oligomeri identificați prin metoda MALDI-TOF. Cum picurile de absorbție cu arie maximă din cromatograma din Fig. 8 sunt la 10, 13,5 și 15,25 minute ca timp de eluție, se poate presupune că acestea corespund oligomerilor prezenți în proporție mare, identificați prin metoda MALDI-TOF, prin urmare corespunzând valorilor 823Da, 975Da și 1127Da, deși nu s-a putut face o atribuire clară.

Of interest is also the HPLC chromatogram of solvent extracted Tara tannin shown in Fig. 8. The peaks belonging to gallic acid of retention time 2.2 minutes and of chlorogenic acid of retention time 10.6 minutes are clearly visible. The peak areas indicate a proportion of 1.6% of free gallic acid and of 0.48% of free chlorogenic acid as present in solvent extracted Tara tannin. It is of interest to note that the number of peaks present in Fig. 8, approximately 20, correspond to a similar number of oligomers identified by MALDI-TOF. As the peaks of major area in the chromatogram in Fig. 8 are those at 10, 13.5 and 15.25 minutes elution it can be postulated that such peaks correspond to the oligomers present in greater proportion as obtained by MALDI-TOF, thus corresponding to the 823Da, 975Da and 1127Da, although a clear assignment cannot be done.

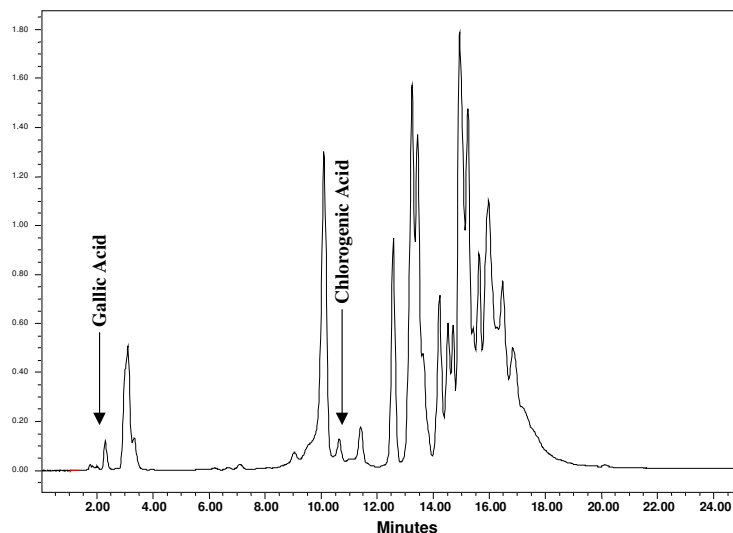


Fig. 8.

Diagrama de eluție HPLC a taninului comercial de tara extras cu solvent. Săgețile indică picurile corespunzătoare monomerilor acidului galic și acidului clorogenic / HPLC elution diagram of solvent extracted commercial Tara tannin extract. Arrows indicate the peaks of the monomers of gallic acid and chlorogenic acid.

CONCLUZII

S-a determinat că taninul comercial de tara extras cu solvent este compus dintr-o serie de oligomeri ai acidului galic atașați prin legătura esterică de acidul quinic. Ei constituie oligomerii cu cea mai mare proporție în extract. Alte lanțuri poligalice legate la una sau două molecule repetate precum acidul cafeic și acidul metil-quinic, metil-galic metil-cafeic sunt de asemenea prezente. Unele reziduuri de carbohidrați apar ca fiind încă prezente, legate de structura polifenolică de bază a extractului, dar proporția lor este foarte scăzută, așa de cum era de așteptat la taninul extras cu solvent.

CONCLUSION

Solvent extracted commercial Tara tannin extract has been found to be composed of a series of oligomers of polygallic acid attached by an ester link to one quinic acid. They constitute the oligomers in higher proportion in the extract. Other polygallic chains linked to one only or two repeating units such as caffeic acid and methylated quinic, methylated gallic and methylated caffeic acids are also present. Some carbohydrate residues appear to still be present, linked to the polyphenolic material of the extract but their proportion is very low as would be expected of a solvent extracted tannin.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- Armitage R, Bayliss GS, Gramshaw JW, Haslam E, Haworth RD, Jones K, Rogers HJ, Searle T (1961) Gallotannins, Part III. The constitution of Chinese, Turkish, Sumach and Tara tannin. J.Chem.Soc. 1842-1853.
- Bahr U, Deppe A, Karas M, Hillenkamp F, Giessmann U (1992) Mass Spectrometry of Synthetic Polymers by UV-Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization. Anal. Chem. 64:2866-2869.
- Danis PO, Karr DE, Mayer F, Holle A, Watson CH (1992) The analysis of water-soluble polymers by matrix-assisted laser desorption time-of-flight mass spectrometry. Org. Mass Spectrom. 27:843-846.
- Danis PO, Karr DE (1993) A facile sample preparation for the analysis of synthetic organic polymers by matrix-assisted laser desorption/ionization. Org. Mass Spectrom. 28:923-925.
- Ehring H, Karas M, Hillenkamp F (1992) Role of photoionization and photochemistry in ionization processes of organic molecules and relevance for matrix-assisted laser desorption/ionization Org. Mass Spectrom. 27:472-480.
- Garro Galves JM, Riedl B, Conner AH (1997) Analytical studies on Tara tannin. Holzforschung, 51:235-240.
- Haslam E (1966) The Chemistry of Vegetable Tannins. Academic Press, London.
- Karas M, Bachmann D, Bahr U, Hillenkamp F (1987) Matrix-assisted ultraviolet laser desorption of non-volatile compounds Int. J. Mass Spectrom. Ion Proc. 78:53-68.

Navarrete P, Pizzi A, Pasch H, Rode K, Delmotte L (2010) MALDI-TOF and ^{13}C NMR characterisation of maritime pine industrial tannin extract, *Ind. Crops Prod.* 32:105-110.

Oo CW, Kassim MJ, Pizzi A (2009) Characterization and performance of *Rhizophora apiculata* mangrove polyflavonoid tannins in the adsorption of copper (II) and lead (II), *Ind. Crops & Prod.* 30:152-161.

Pasch H, Resch M (1996) Polymer Analysis with MALDI-MS. *GIT Fachz. Lab.* 40:90-94.

Pasch H, Gores F (1995) Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Mass Spectrometry of Synthetic Polymers. 2. Analysis of Polymethyl Methacrylate. *Polymer* 36:1999.

Pasch H, Pizzi A, Rode K (2001) MALDI-TOF mass spectrometry of polyflavonoid tannins, *Polymer.* 42:7531-7539.

Pasch H, Pizzi A (2002) On the macromolecular structure of chestnut ellagitannins by MALDI-TOF mass spectrometry, *J.Appl.Polymer Sci.* 85:429-437.

Pizzi A, Pasch H, Rode K, Giovando S (2009) Polymer structure of commercial hydrolysable tannins by MALDI-TOF mass spectrometry, *J.Appl.Polymer Sci.* 113(6):3847-3859.

Yeoh Beng Hoong, Pizzi A, Tahir PMd, Pasch (H 2010) Characterisation of *Acacia mangium* polyflavonoid tannins by MALDI-TOF mass spectrometry and CP-MAS ^{13}C NMR, *Eur.Polymer J.* 46:1268-1277.