

# 基于多元统计法的柽柳枝叶中游离氨基酸品质评价研究

徐珊珊<sup>1</sup>, 史星云<sup>2,3</sup>, 何彩<sup>2\*</sup>, 李强<sup>2</sup>, 刘伟<sup>2</sup>, 赵连鑫<sup>2</sup>

(1. 南浔区双林镇公共事业服务中心, 浙江 湖州 313012; 2. 武威市林业科学研究所, 甘肃 武威 733000; 3. 湖州市农业科学研究院, 浙江 湖州 313000)

**摘要:**【目的】探明和评价柽柳枝叶中游离氨基酸质量状况, 并筛选出优良种质资源。【方法】以12份柽柳嫩枝叶为材料, 采用高效液相色谱检测其氨基酸组分, 通过描述性统计分析、相关性分析、主成分分析和隶属函数值分析等多种统计学方法评价柽柳游离氨基酸质量。【结果】12份柽柳嫩枝叶中均至少含有17种游离氨基酸, 且含有7种必需氨基酸, 总氨基酸含量803.21~1769.06 mg/kg, 平均含量为1196.24 mg/kg。其中必需氨基酸含量143.42~361.61 mg/kg, 平均含量为226.60 mg/kg; 甜味氨基酸含量为481.08~1279.89 mg/kg, 平均值为715.39 mg/kg; 苦味氨基酸含量范围为117.41~341.62 mg/kg, 平均值为181.38 mg/kg; 鲜味氨基酸含量为159.90~374.71 mg/kg, 平均值为242.06 mg/kg; 芳香族氨基酸含量为22.83~118.58 mg/kg, 平均值为48.93 mg/kg; 药用氨基酸含量为315.34~634.78 mg/kg, 平均值为472.81 mg/kg, 支链氨基酸含量为49.40~107.90 mg/kg, 平均值为68.51 mg/kg。相关性分析显示, 有33对氨基酸指标间呈极显著相关( $P<0.01$ ), 17对指标间呈显著相关( $P<0.05$ )。主成分分析显示, 前6个主成分累计贡献率为90.382%。通过隶属函数值法对12份柽柳氨基酸质量进行综合评价, 排名前4位的为长穗柽柳、甘肃柽柳、多枝柽柳和甘蒙柽柳(甘肃), 后4位的为山川柽柳2、中国柽柳、多花柽柳和细穗柽柳, 其他居中。【结论】利用主成分和隶属函数法可以评价不同柽柳间游离氨基酸的综合质量, 其中长穗柽柳、甘肃柽柳、多枝柽柳、甘蒙柽柳(甘肃)等为较优良的种质资源。

**关键词:**柽柳; 游离氨基酸; 主成分; 隶属函数值

**中图分类号:**S793.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)02-0173-09

**DOI:**10.13817/j.cnki.cycp.2024.02.018



柽柳是柽柳科(Tamaricaceae)柽柳属(*Tamarix*)一种多年生灌木或者小乔木类植物, 作为造林绿化的先锋树种, 其在干旱、半干旱以及盐碱等区域发挥着防风固沙、水土保持和维持生态系统稳定等重要作

用, 具有重要的生态和经济价值<sup>[1-3]</sup>。现有大量研究表明, 柽柳中的黄酮、单宁、酚类和生物碱等物质<sup>[4-7]</sup>, 对抗氧化、肝功能保护、消炎抑菌和抗肿瘤等有一定作用<sup>[8-11]</sup>。柽柳在生态防护、保健药品开发以及功能型食品等方面有着广阔的应用前景。

氨基酸在生物体内具有重要的生理生化功能<sup>[12-13]</sup>, 同时, 它也能提高植物抵抗干旱和低温的能力, 比如脯氨酸<sup>[14]</sup>。目前, 关于柽柳的研究主要集中在栽培管理<sup>[15-16]</sup>、耐盐和抗旱等抗逆性<sup>[17-19]</sup>、生态功能<sup>[20-21]</sup>、成分分析<sup>[22-23]</sup>以及药效作用<sup>[3, 24]</sup>等方面, 但对于柽柳游离氨基酸组分研究相对空白。本研究以12份柽柳为材料, 测定其游离氨基酸组分, 采取描述性

收稿日期:2023-04-22; 修回日期:2023-10-31

基金项目:甘肃省青年人才项目(文件号:甘组通字[2023]20号); 中央财政林业科技推广项目([2020]ZYTG09)

作者简介:徐珊珊(1988-), 女, 吉林松原人, 硕士研究生。

E-mail:tetemama2016@163.com

\*通信作者。E-mail:hcyldfcl@163.com

统计分析、相关性分析、主成分分析以及隶属函数分析等进行综合评价,以期为柽柳品种选育、特异种质资源筛选和产品进一步开发利用提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验材料均采自于武威市林业科学研究院柽柳种质资源圃内各柽柳的嫩枝叶(表1),每个种源采集3份样品,液氮研磨后存放在 $-80^{\circ}\text{C}$ 冰箱内,待测。17种氨基酸混合标准品产自sigma公司,浓盐酸、异硫氰酸苯酯、三乙胺、乙腈、醋酸钠等试剂均购自国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 氨基酸测定 样品处理:称取1.0 g左右研磨后样品于10 mL的容量瓶中,加0.02 mol/L的盐酸8 mL,旋涡混匀5 min,超声提取10 min,混匀,定容至10 mL。避光静置2 h,取5.0 mL溶液4 000转离心10 min,准确移取1.0 mL上清液,加入1.0 mL 6%~8%磺基水杨酸,精密加入1.0 mol/L三乙胺乙腈溶液250  $\mu\text{L}$ ,混匀,精密加入0.1 mol/L异硫氰酸苯酯乙腈溶液250  $\mu\text{L}$ ,混匀,室温放置1小时,加2.0 mL正己烷,剧烈振摇,放置10 min,取下层溶液过0.22  $\mu\text{m}$ 的水相滤膜过滤,上机分析。

仪器条件:Agilent 1260高效液相色谱仪,流动相A,0.1 mol/L乙腈;流动相B,乙腈:水=4:1。色谱柱为Agilent C18 ( $4.6\times 250\text{ mm}\times 5\ \mu\text{m}$ ),柱温为 $40^{\circ}\text{C}$ ,检测波长为254 nm。

1.2.2 隶属函数分析 隶属函数值分析参考杨蕾<sup>[25]</sup>和王丽艳<sup>[26]</sup>等方法,首先按(1)式计算出每份柽柳资源的每个主成分的隶属函数值,然后按照(2)式计算出每个主成分的权重,最后根据(3)式计算每份种源

的综合评价,其数值愈高表明该种源氨基酸综合质量越高,反之则相反。

$$U_{ij}=(X_{ij}-X_{j\min})/(X_{j\max}-X_{j\min}) \quad (1)$$

$$W_j=P_j/ \quad (2)$$

$$D=(U_{ij}\cdot W_j) \quad (3)$$

式中: $U_{ij}$ 为第*i*份种源第*j*个主成分得分值的隶属函数值; $X_{ij}$ 为第*i*份种源第*j*个主成分得分值; $X_{j\min}$ 、 $X_{j\max}$ 分别为第*i*份种源第*j*个主成分得分值的最小值、最大值; $W_j$ 为第*j*个主成分在所有主成分中的重要程度即权重; $P_j$ 为各主成分第*j*个主成分的贡献率; $D$ 为第*i*份种源的综合评价。

### 1.3 数据处理

WPS 2021进行数据整理和隶属函数值分析,其中隶属函数值分析参考杨蕾<sup>[25]</sup>和王丽艳等<sup>[26]</sup>方法,并使用SPSS 20.0软件进行数据描述性、相关性和主成分分析等。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同柽柳氨基酸含量分析

由表2可知,柽柳嫩枝叶中脯氨酸平均含量最高,高达448.69 mg/kg;其次为谷氨酸和天门冬氨酸,其含量分别为105.37 mg/kg和100.42 mg/kg;接着为精氨酸和苏氨酸,其含量分别为83.96 mg/kg和76.28 mg/kg;而丝氨酸、组氨酸、丙氨酸和甘氨酸平均含量在41.27~58.77 mg/kg之间;胱氨酸平均含量最低,仅为8.45 mg/kg,其他组分氨基酸平均含量在16.55~36.82 mg/kg之间。17个氨基酸指标中变异系数最大的为酪氨酸,其次为蛋氨酸和组氨酸,接着依次为苏氨酸、精氨酸、天冬氨酸和脯氨酸,较小的为异亮氨酸和丙氨酸,最小的为亮氨酸,变异系数为17.32%;其他氨基酸变异系数居中,在21.61%~34.42%范围内。

表1 试验材料

Table 1 The plant materials used in the present study

编号	名称	拉丁学名	来源地	编号	名称	拉丁学名	来源地
T1	白花柽柳	<i>T. albiflorum</i>	新疆	T7	多枝柽柳	<i>T. ramosissima</i>	新疆
T2	甘肃柽柳	<i>T. gansuensis</i>	新疆	T8	甘蒙柽柳	<i>T. austromogoltca</i>	新疆
T3	细穗柽柳	<i>T. leptostachys</i>	新疆	T9	刚毛柽柳	<i>T. hispida</i>	新疆
T4	山川柽柳1	<i>T. arceuthoides</i>	新疆	T10	长穗柽柳	<i>T. elongate</i>	新疆
T5	多花柽柳	<i>T. hohenackeri</i>	新疆	T11	中国柽柳	<i>T. chinensis</i>	甘肃
T6	山川柽柳2	<i>T. arceuthoides</i>	新疆	T12	甘蒙柽柳	<i>T. austromogoltca</i>	甘肃

表2 柽柳氨基酸组分描述性统计

Table 2 Descriptive statistics on the amino acid composition of tamarisks

氨基酸	最小值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	最大值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	标准差	变异系数/%
天冬氨酸 Asp	36.25	166.21	100.42	41.47	41.29
谷氨酸 Glu	76.25	176.83	105.37	26.36	25.01
胱氨酸 Cys	3.49	14.24	8.45	2.91	34.42
丝氨酸 Ser	40.34	86.66	58.77	12.70	21.61
甘氨酸 Gly	18.46	58.22	41.27	10.96	26.56
组氨酸 His	12.53	174.56	45.99	39.31	85.48
精氨酸 Arg	41.61	229.62	83.96	46.66	55.58
苏氨酸 Thr	25.79	220.26	76.28	48.57	63.67
丙氨酸 Ala	26.97	63.41	44.86	8.40	18.73
脯氨酸 Pro	268.17	936.04	448.69	181.41	40.43
酪氨酸 Tyr	7.56	101.32	32.15	29.44	91.57
缬氨酸 Val	11.98	34.87	18.37	5.39	29.36
蛋氨酸 Met	9.34	102.35	28.86	25.88	89.68
异亮氨酸 Ile	15.64	36.01	22.38	4.12	18.39
亮氨酸 Leu	19.58	39.44	27.65	4.79	17.32
苯丙氨酸 Phe	10.48	29.94	16.55	4.20	25.35
赖氨酸 Lys	14.26	56.34	36.82	12.03	32.66
总氨基酸	803.15	1 769.06	1 196.24	278.37	23.27

由表2和3可知,必需氨基酸含量变化范围143.42~361.61 mg/kg,平均含量为226.80 mg/kg,变异系数为22.29%,苏氨酸和苯丙氨酸分别是必需氨基酸中含量最高和最低的氨基酸;非必需氨基酸含量变化范围628.42~1494.42 mg/kg,平均含量为969.45 mg/kg,变异系数为26.09%;甜味氨基酸含量变化范围481.08~1 279.89 mg/kg,平均含量为715.39 mg/kg,变异系数为32.20%,脯氨酸和甘氨酸分别是甜味氨基酸中含量最高和最低的氨基酸;苦味氨基酸含量变化范围117.41~341.62 mg/kg,平均含量为181.38 mg/kg,变异系数为32.36%,精氨酸和缬氨酸分别是苦味氨基酸中含量最高和最低的氨基酸;鲜味氨基酸含量变化范围159.89~374.72 mg/kg,平均含量为242.06 mg/kg,变异系数为23.49%,天冬氨酸和赖氨酸分别是鲜味氨基酸中含量最高和最低的氨基酸;芳香族氨基酸含量变化范围22.83~118.58 mg/kg,平均含量为48.93 mg/kg,变异系数为59.96%,天冬氨酸和胱氨酸分别是芳香族氨基酸中含量最高和最低的氨基酸;药用氨基酸含量变化范围315.34~634.78 mg/kg,平均含量为472.81 mg/kg,

变异系数为19.61%,谷氨酸和苯丙氨酸分别是药用氨基酸中含量最高和最低的氨基酸;支链氨基酸含量变化范围49.40~107.90 mg/kg,平均含量为68.51 mg/kg,变异系数为19.15%,亮氨酸和缬氨酸分别是支链氨基酸中含量最高和最低的氨基酸。

## 2.2 相关性分析

由图1可以看出,柽柳氨基酸指标间既有正相关关系,也有负相关关系。其中有29对指标间呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),4对指标间呈极显著负相关( $P < 0.01$ );12对指标间呈显著正相关( $P < 0.05$ ),5对指标间呈显著负相关( $P < 0.05$ ),尤其是缬氨酸与亮氨酸、异亮氨酸和苯丙氨酸,异亮氨酸与苯丙氨酸,亮氨酸与苯丙氨酸、赖氨酸,精氨酸与缬氨酸、异亮氨酸和苯丙氨酸,谷氨酸与丝氨酸之间相关系数绝对值均在0.7以上,说明氨基酸指标间有较强的相关性,可以运用主成分分析研究柽柳氨基酸与不同柽柳间的关系。

## 2.3 主成分分析

如表4所示,对12份柽柳的17种氨基酸指标进行主成分分析,依据特征值大于1的原则,共提取了6个

表3 柽柳功能型氨基酸描述性统计

Table 3 Descriptive statistics on the functional amino acid of tamarisks

项目	最小值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	最大值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	标准差	变异系数/%
必需氨基酸	143.42	361.61	226.80	50.55	22.29
非必需氨基酸	628.42	1494.42	969.45	252.91	26.09
甜味氨基酸	481.08	1279.89	715.39	230.32	32.20
苦味氨基酸	117.41	341.62	181.38	58.69	32.36
鲜味氨基酸	159.90	374.71	242.06	56.87	23.49
芳香族氨基酸	22.83	118.58	48.93	29.34	59.96
药用氨基酸	315.34	634.78	472.81	92.72	19.61
支链氨基酸	49.40	107.90	68.51	13.12	19.15

注:必需氨基酸包括赖氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、色氨酸和缬氨酸;药用氨基酸包含谷氨酸、天冬氨酸、精氨酸、甘氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、蛋氨酸、亮氨酸和赖氨酸;甜味氨基酸包括甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、苏氨酸、脯氨酸、组氨酸;苦味氨基酸包括缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸、精氨酸和色氨酸;鲜味氨基酸包括赖氨酸、谷氨酸和天冬氨酸;芳香族氨基酸包括天冬氨酸、酪氨酸和胱氨酸;支链氨基酸包括亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸。

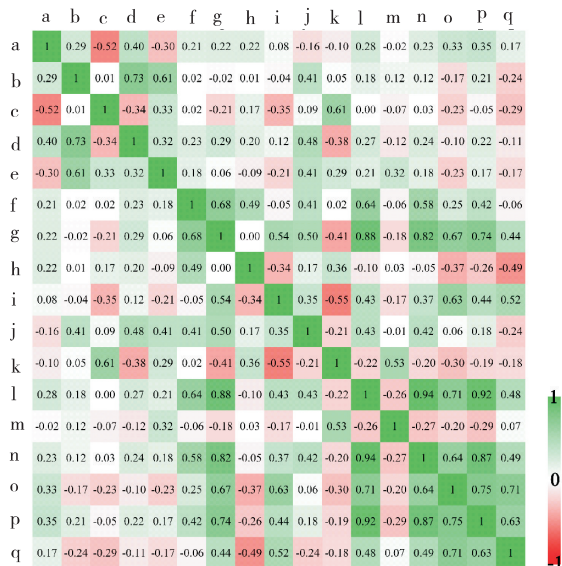


图1 氨基酸指标间相关性分析

Fig. 1 The correlation analysis on the 17 free amino acid indices of tamarisks

注:a 天冬氨酸;b 谷氨酸;c 胱氨酸;d 丝氨酸;e 甘氨酸;f 组氨酸;g 精氨酸;h 苏氨酸;i 丙氨酸;j 脯氨酸;k 酪氨酸;l 缬氨酸;m 蛋氨酸;n 异亮氨酸;o 亮氨酸;p 苯丙氨酸;q 赖氨酸。

主成分,累计方差贡献率为90.380%,反映出了柽柳氨基酸性状的大部分信息。其中,第1主成分的特征值为5.829,方差贡献率34.291%;第2主成分的特征值为3.106,方差贡献率为18.270%,累计方差贡献率为52.560%;第3主成分的特征值为2.091,方差贡献率为12.297%,累计方差贡献率为64.858%;第4主成分的特征值为1.770,方差贡献率为10.414%,累计方差贡献率为75.271%;第5主成分的特征值为1.499,方差贡献率为8.815%,累计方差贡献率为

84.087%;第6主成分的特征值为1.070,方差贡献率为6.293%,累计方差贡献率为90.380%。

表4 各主成分特征值、方差贡献率和累计方差贡献率

Table 4 Eigen value, contribution rate and cumulative contribution rate of four principal component

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	5.829	34.291	34.291
2	3.106	18.270	52.560
3	2.091	12.297	64.858
4	1.770	10.414	75.271
5	1.499	8.815	84.087
6	1.070	6.293	90.380

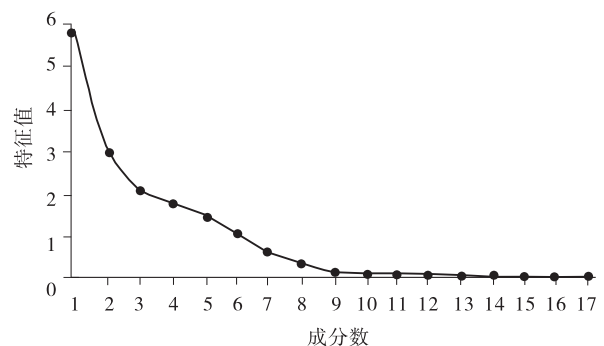


图2 主成分分析碎石图

Fig. 2 The screen plot of principal component analysis

由表5可知,第1主成分中主要包含缬氨酸和苯丙氨酸等代表性指标,可称为必需氨基酸功能因子,反映了原始信息量的34.291%;第2主成分中主要包含甘氨酸和谷氨酸等代表性指标,可称为药用氨基酸功能因子,反映了原始信息量的18.270%;第3主成分中主要包含胱氨酸和丝氨酸等代表性指标,可称为芳

香族氨基酸功能因子,反映了原始信息量的 12.297%;第 4 主成分中主要包含苏氨酸等代表性指标,可称为甜味氨基酸功能因子,反映了原始信息量的 10.414%;第 5 主成分中主要包含天冬氨酸等代表

性指标,可称为鲜味氨基酸功能因子,反映了原始信息量的 8.815%;第 6 主成分中主要包含蛋氨酸等代表性指标,可称为苦味氨基酸功能因子,反映了原始信息量的 6.293%。

表 5 主成分载荷矩阵

Table 5 The principal component load matrix of amino acid indexes of tamarisks

指标	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
天冬氨酸 Asp	0.361	-0.021	-0.469	0.456	0.590	-0.149
谷氨酸 Glu	0.121	0.672	-0.392	-0.410	0.303	-0.246
胱氨酸 Cys	-0.269	0.376	0.721	-0.120	-0.198	-0.330
丝氨酸 Ser	0.343	0.534	-0.700	-0.074	0.026	-0.123
甘氨酸 Gly	0.038	0.722	0.181	-0.545	0.143	0.017
组氨酸 His	0.511	0.492	0.201	0.543	-0.083	0.175
精氨酸 Arg	0.908	0.112	0.083	0.152	-0.151	0.236
苏氨酸 Thr	-0.198	0.506	-0.031	0.747	-0.073	0.079
丙氨酸 Ala	0.635	-0.353	-0.156	-0.287	-0.200	0.300
脯氨酸 Pro	0.398	0.617	-0.102	-0.197	-0.443	0.334
酪氨酸 Tyr	-0.462	0.353	0.586	0.114	0.490	0.030
缬氨酸 Val	0.936	0.208	0.225	0.033	0.032	-0.08
蛋氨酸 Met	-0.310	0.211	0.094	-0.170	0.555	0.699
异亮氨酸 Ile	0.885	0.200	0.264	0.048	-0.001	-0.103
亮氨酸 Leu	0.796	-0.377	0.240	-0.018	0.166	0.046
苯丙氨酸 Phe	0.912	0.032	0.166	-0.065	0.208	-0.247
赖氨酸 Lys	0.610	-0.541	0.185	-0.177	0.326	0.016

由表 6 可以得出,以第 1 主成分得分来看,排名前 5 的依次为长穗怪柳、山川怪柳 1、多枝怪柳、白花怪柳

和山川怪柳 2;以第 2 主成分得分来看,排名前 5 的依次为刚毛怪柳、多枝怪柳、甘蒙怪柳(甘肃)、长穗怪柳

表 6 不同怪柳样品评价综合指标值、权重、隶属函数值以及综合评价

Table 6 The comprehensive index values, weightiness, subordinative functional values and comprehensive evaluation of different tamarisks

编号	综合指标值						隶属函数值						综合评价 D	排序
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	U1	U2	U3	U4	U5	U6		
T1	0.084	0.142	-0.781	-1.037	0.982	2.240	0.418	0.604	0.050	0	1	1	0.455	5
T2	-0.183	0.197	1.480	-0.813	0.714	-0.314	0.259	0.635	1	0.080	0.906	0.398	0.488	2
T3	-0.11	-0.633	0.083	-0.347	-0.841	-0.126	0.303	0.151	0.413	0.247	0.362	0.443	0.296	12
T4	0.391	-0.892	-0.331	0.749	0.348	-0.019	0.601	0	0.239	0.640	0.778	0.468	0.443	6
T5	-0.388	-0.088	0.081	-0.260	-0.542	-0.745	0.137	0.469	0.413	0.278	0.467	0.297	0.301	11
T6	0.073	-0.685	-0.426	0.485	0.104	-0.398	0.412	0.121	0.2	0.546	0.693	0.378	0.365	9
T7	0.133	0.738	-0.901	-0.416	0.945	-2.004	0.447	0.951	0	0.223	0.987	0	0.484	3
T8	-0.233	-0.253	0.717	-0.369	-0.143	0.205	0.230	0.373	0.680	0.240	0.606	0.520	0.378	8
T9	-0.070	0.822	-0.543	-0.048	-1.876	0.423	0.326	1	0.150	0.354	0	0.572	0.427	7
T10	1.060	0.481	0.778	0.500	-0.288	0.252	1	0.801	0.705	0.551	0.556	0.532	0.792	1
T11	-0.138	-0.388	-0.331	-0.198	-0.124	-0.160	0.286	0.294	0.239	0.301	0.613	0.434	0.325	10
T12	-0.618	0.560	0.175	1.753	0.721	0.645	0	0.847	0.452	1	0.909	0.624	0.480	4
指标权重							0.379	0.202	0.136	0.115	0.098	0.070		

和甘肃怪柳;以第3主成分得分来看,排名前5的依次为甘肃怪柳、长穗怪柳、甘蒙怪柳(新疆)、甘蒙怪柳(甘肃)和细穗怪柳;以第4主成分得分来看,排名前5的依次为甘蒙怪柳(甘肃)、山川怪柳1、长穗怪柳、山川怪柳2和刚毛怪柳;以第5主成分得分来看,排名前5的依次为白花怪柳、多枝怪柳、甘蒙怪柳(甘肃)、甘肃怪柳和山川怪柳1;第6主成分得分来看,排名前5的依次为白花怪柳、甘蒙怪柳(甘肃)、刚毛怪柳、长穗怪柳和甘蒙怪柳(新疆)。

#### 2.4 隶属函数分析

利用隶属函数法,对不同怪柳氨基酸6个主成分综合指标值进行隶属函数值计算,由表6可知,12种怪柳样品综合得分从高到底排序为:长穗怪柳、甘肃怪柳、多枝怪柳、甘蒙怪柳(甘肃)、白花怪柳、山川怪柳1、刚毛怪柳、甘蒙怪柳(新疆)、山川怪柳2、中国怪柳、多花怪柳和细穗怪柳。由以上可知,长穗怪柳、甘肃怪柳、多枝怪柳、甘蒙怪柳(甘肃)综合评价 $D$ 值在0.48以上,且高于平均 $D$ 值,氨基酸综合评价好;山川怪柳2、中国怪柳、多花怪柳和细穗怪柳综合评价 $D$ 值在0.38以下,且低于平均 $D$ 值,氨基酸综合评价差;其他居中。

### 3 讨论

怪柳属植物种类繁多,全世界分布约有90种,其中中国共有18种和1个变种。主要分布在亚、欧、非洲等的干旱或半干旱区域、盐碱地带以及滩涂等地<sup>[27-28]</sup>,且大多处于野生生长状态。为了开发利用怪柳野生种质资源,进一步发挥其生态、药用和保健等功能,亟需开展怪柳游离氨基酸品质综合评价,筛选评价的关键指标,建立其综合品质评价模型,为怪柳特异种质资源筛选、品种选育以及产品开发利用提供理论依据。

本研究表明,怪柳嫩枝叶中氨基酸含量变化范围315.34~634.78 mg/kg,平均含量为472.81 mg/kg,12份怪柳嫩枝叶中药用氨基酸占总氨基酸的平均百分比为40.26%,其中占比最高的为山川怪柳2,占比高达46.08%,这充分说明怪柳药用氨基酸含量丰富,具有重要的药用价值和开发前景。谷氨酸是含量最高的药用氨基酸,也是一种鲜味氨基酸,常作为食品鲜味剂应用于食品中<sup>[29]</sup>,同时,在人机体中发挥着重

要作用,比如发挥神经递质作用、维持大脑兴奋性、参与学习与记忆的形成过程等<sup>[30-31]</sup>。研究表明,怪柳嫩枝叶中谷氨酸平均含量为105.37 mg/kg,远高于百合<sup>[32]</sup>、梨<sup>[33]</sup>等,低于荔枝<sup>[34]</sup>、莲藕<sup>[35]</sup>、黄花菜<sup>[36]</sup>等。

前人研究表明,游离氨基酸能呈现出酸、甜、苦、咸、鲜等多种味道,其组分对食品风味品质形成具有重要作用<sup>[37-38]</sup>。本研究结果显示,怪柳嫩枝叶中甜味氨基酸、苦味氨基酸、鲜味氨基酸和芳香族氨基酸平均含量分别为715.39 mg/kg、181.38 mg/kg、242.06 mg/kg和48.93 mg/kg,甜味氨基酸含量最高。刚毛怪柳和长穗怪柳枝叶中甜味氨基酸含量均在1000 mg/kg以上,占氨基酸总量的62%以上,其中刚毛怪柳中甜味氨基酸含量占比高达75.9%;甜味氨基酸中以脯氨酸为主,而它又是含量最高的氨基酸。研究表明,脯氨酸可以提升植物抗胁迫能力<sup>[39]</sup>,而怪柳也多分布在干旱或半干旱区域、盐碱地带以及滩涂等不良环境中,怪柳能在此类区域生长可能与其高含量脯氨酸有关。因此,刚毛柳和长穗怪柳可以作为风味产品开发和高抗逆能力品种选育。

近年来,已有研究采用主成份分析与隶属函数值组合的方法评价了木耳<sup>[40]</sup>、蘑菇<sup>[41]</sup>、小米<sup>[42]</sup>等植物的游离氨基酸质量。本研究通过主成分分析,从怪柳17种氨基酸指标中提取出了6个主成分来避免氨基酸原始指标间的重叠干扰,反映出了怪柳氨基酸性状的大部分信息。采用隶属函数法评价了氨基酸质量优劣,准确反映了不同怪柳间游离氨基酸综合质量的差异性,并科学地评价了12份怪柳种质资源嫩枝叶中游离氨基酸的综合质量。为了深度挖掘怪柳的生态、食品和保健等功能,还需进一步对怪柳中氨基酸形成机制及影响因素进行深入研究,尤其是高脯氨酸种质资源,厘清其形成机制,对于治理荒漠化和盐碱沼泽地具有重要意义。

### 4 结论

基于主成分和隶属函数法可以评价不同怪柳间游离氨基酸的综合质量,其中长穗怪柳、甘肃怪柳、多枝怪柳和甘蒙怪柳(甘肃)4份材料游离氨基酸质量较好,可以作为怪柳新品种选育及新产品开发等重要候选种质资源。本研究结果为今后怪柳新品种选育、游离氨基酸质量评价体系建立及产品进一步开发利用

提供了一定技术依据和理论基础。

#### 参考文献:

- [1] 方欧娅,张永,张启,等. 黄河上游甘蒙柽柳生长对极端旱涝的响应[J]. 植物生态学报,2021,45(6):641—649.
- [2] 李彩霞,兰海燕. 荒漠植物柽柳抗逆机制的研究进展[J]. 生物技术通报,2021,37(5):128—140.
- [3] 王红宝,郑伶俐,丁丁,等. 7种柽柳属植物对NaCl胁迫的生长生理响应与耐盐性差异[J]. 山东农业科学,2022,54(11):31—38.
- [4] Jiao Y K, Yang Y T, Zhou L S, *et al.* Two natural flavonoid substituted polysaccharides from *Tamarix chinensis*: structural characterization and anticomplement activities [J]. *Molecules*, 2022, 27:4532.
- [5] 张秀尧,凌罗庆,王惠康. 西河柳化学成分的研究[J]. 中草药,1991,22(7):299—230.
- [6] Sultanova N, Makhmoo T, Yasin A, *et al.* Isotamarixen—a new antioxidant and prolyl endopeptidase—inhibiting triterpenoid from *Tamarix hispida*[J]. *Planta Med*, 2004; 70: 65—67
- [7] Ren X P, Bao Y J, Zhu Y X, *et al.* Isorhamnetin, hispidulin, and cirsimaritin identified in *Tamarix ramosissima* barks from southern Xinjiang and their antioxidant and antimicrobial activities[J]. *Molecules*, 2019, 24: 390.
- [8] Abouzid S, Sleem A. Hepatoprotective and antioxidant activities of *Tamarix nilotica* flowers[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2011, 49:392—395
- [9] Mahfoudhi A, Salem B, Garrab M, *et al.* Antioxidant and antimicrobial activities of *Tamarix aphylla* (L.) Karst. growing in Tunisia [J]. *Moroccan Journal of Chemistry*, 2016, 4:987—995.
- [10] Iqbal A, Begum N, Rabbi F, *et al.* In-vitro antimicrobial, antioxidant and enzyme inhibitory activities of fixed oil extracted from stem bark of *Tamarix aphylla*[J]. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2022, 56(8):1116—1122.
- [11] 王斌,姜登钊,李国强,等. 柽柳抗肿瘤萜类成分研究[J]. 中草药,2009,40(5):697—701.
- [12] 李强,何彩,史星雲,等. 不同种源黑果枸杞果实游离氨基酸的品质评价[J]. 经济林研究,2023,41(1):26—35.
- [13] 袁娅娟,白小明,朱雅楠,等. 草地早熟禾氮代谢及与根茎扩展的相关性研究[J]. 草原与草坪,2022,42(3): 35—44.
- [14] 张林,陈翔,吴宇,等. 脯氨酸在植物抗逆中的研究进展[J]. 江汉大学学报(自然科学版),2023,51(1):42—51.
- [15] Roy R, Wang J, Mostofa M G, *et al.* Optimal water and fertilizer applications improve growth of *Tamarix chinensis* in a coal mine degraded area under arid conditions[J]. *Physiologia Plantarum*, 2021, 172(2): 371—390.
- [16] 徐高兴,王立,徐先英,等. 民勤绿洲边缘地下水埋深对柽柳灌丛生长及物种多样性的影响[J]. 草原与草坪, 2017, 37(2):49—56.
- [17] Wang W, Wang R, Yuan Y, *et al.* Effects of salt and water stress on plant biomass and photosynthetic characteristics of tamarisk (*Tamarix chinensis* Lour.) seedlings[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2011, 10(78): 17981—17989.
- [18] Sun J, Xia J B, Zhao X M, *et al.* Effects of 1-aminobenzotriazole on the growth and physiological characteristics of *Tamarix chinensis* cuttings under salt stress[J]. *Journal of Forestry Research*, 2020:1—11.
- [19] Wang Y C, Jing J, Zhao X, *et al.* A novel LEA gene from *Tamarix androssowii* confers drought tolerance in transgenic tobacco [J]. *Plant Science*, 2006, 171 (6) : 655—662.
- [20] Han Z W, Yin W, Zhang J Q, *et al.* Active anti-erosion protection strategy in tamarisk (*Tamarix aphylla*) [J]. *Scientific Reports*, 2013, 3:3429.
- [21] Wang J, Li G X, Chen F Y. Eco-environmental effect evaluation of *Tamarix chinensis* forest on coastal saline-alkali land based on RSEI model [J]. *Sensors*, 2022, 22 (13):5052.
- [22] Basas-Jaumandreu J, López J, de las Heras F X C. Resorcinol and m-guaiacol alkylated derivatives and asymmetrical secondary alcohols in the leaves from *Tamarix canariensis*[J]. *Phytochemistry Letters*, 2014, 10:240—248.
- [23] Said S, Noureddine G, Eddine L S, *et al.* Phenolic content, HPLC analysis and antioxidant activity extract from *Tamarix gallica* and *Tamarix articulata* growing in southeast of Algeria [J]. *Research journal of pharmacy and technology*, 2018, 11(9):3826—3832.
- [24] Salissou M, Mahaman Y, Zhu F, *et al.* Methanolic extract of *Tamarix gallica* attenuates hyperhomocysteinemia induced AD-like pathology and cognitive impairments in rats[J]. *Aging*, 2018, 10(11):3229—3248.
- [25] 杨蕾,洪林,刘兆俊,等. 六个金柑品种果实品质与营养综合评价[J]. 浙江农业学报,2022,34(3):534—547.
- [26] 王丽艳,王鑫森,荆瑞勇,等. 不同品种亚麻籽营养成分

- 分析与品质综合评价[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 26—32.
- [27] 张元明, 潘伯荣, 尹林克, 等. 柽柳科(Tamaricaceae)植物的研究历史[J]. 西北植物学报, 2001, 21(4): 796—804.
- [28] 张雅楠, 黄蕾, 张雷, 等. 额济纳湿地多枝柽柳种群的遗传多样性与遗传结构[J]. 西北植物学报, 2021, 41(7): 1148—1157.
- [29] 李学朋, 陈久洲, 张东旭, 等. L-谷氨酸生产关键技术创新与产业化应用[J]. 生物工程学报, 2022, 38(11): 4343—4351.
- [30] Andreas R, Joshua L. Glutamatergic signaling in the central nervous system: ionotropic and metabotropic receptors in concert[J]. *Neuron*, 2018, 98(6): 1080—1098.
- [31] 张帅, 艾静. 谷氨酸功能异常与阿尔茨海默病[J]. 神经药理学报, 2018, 8(6): 9—20.
- [32] 王馨雨, 王蓉蓉, 王婷, 等. 不同品种百合内外鳞片游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 211—220.
- [33] 何子顺, 李芳芳, 张绍铃, 等. 套袋对'库尔勒香梨'果实中游离脂肪酸和游离氨基酸含量的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(7): 804—813.
- [34] 杨苞梅, 姚丽贤, 国彬, 等. 不同品种荔枝果实游离氨基酸分析[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 249—252.
- [35] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 243—250.
- [36] 顾晓敏, 童川, 韩延超, 等. 不同品种莲藕游离氨基酸多样性分析[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 183—189.
- [37] 程远, 万红建, 姚祝平, 等. 不同品种樱桃番茄氨基酸组成及风味分析[J]. 核农学报, 2019, 33(11): 2177—2185.
- [38] 魏光强, 李子怡, 黄艾祥, 等. 基于游离氨基酸、挥发性组分和感官评价的2种酸化技术加工乳饼的滋味特征差异分析[J]. 食品科学, 2021, 42(22): 263—269.
- [39] 商成慧, 周泽宇, 崔文雪, 等. 大豆脯氨酸积累相关基因家族鉴定及干旱胁迫表达分析[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(6): 1793—1806.
- [40] 王丽艳, 王鑫淼, 荆瑞勇, 等. 市售15个产区黑木耳营养品质综合评价[J]. 食品与机械, 2021, 37(5): 227—232.
- [41] 王丽艳, 荆瑞勇, 郭永霞, 等. 基于氨基酸含量的市售14种食用蘑菇的综合评价[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 203—208.
- [42] 孙强, 郭永霞. 12个品种小米氨基酸含量测定及品质综合评价[J]. 食品与机械, 2022, 38(8): 34—39.

## Quality evaluation of free amino acids in branches and leaves of tamarix based on multivariate statistical methods

XU Shan-shan<sup>1</sup>, SHI Xing-yun<sup>2,3</sup>, HE Cai<sup>2\*</sup>, LI Qiang<sup>2</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>, ZHAO Lian-xin<sup>2</sup>

(1. Shuanglin town Public Service Center, Huzhou 313012, Zhejiang, China; 2. Wuwei Academy of Forestry Science, Wuwei 733000, Gansu, China; 3. Huzhou Academy of Agricultural Science, Huzhou 313000, Zhejiang, China)

**Abstract:** **[Objective]** The aim of this paper is to explore and evaluate the quality of free amino acids in branches and leaves of tamarix, and to screen out the excellent germplasm resources. **[Method]** Free amino acid composition in 12 tender branches and leaves of tamarix was measured using high performance liquid chromatography. Systematic evaluations were performed through correlation analysis, principal component analysis and the membership function method. **[Result]** The study revealed that the 12 tamarisks contained more than 17 types of free amino acids, including 7 essential amino acids, with total amino acid concentrations ranging from 863.21~1769.06 mg/kg and average content 1266.79 mg/kg. Various categories of amino acids were identified, including medicinal amino acid, sweet amino acid, bitter amino acid, flavor amino acid, aromatic amino acid and branched amino acid were 143.42~361.61



mg/kg, 315.34~634.78 mg/kg, 481.08~1 279.89 mg/kg, 117.41~341.62 mg/kg, 159.90~374.71 mg/kg, 22.83~118.58 mg/kg, 49.40~107.90 mg/kg, and whose average were 226.80 mg/kg, 472.81 mg/kg, 715.39 mg/kg, 181.38 mg/kg, 242.06 mg/kg, 48.93 mg/kg and 68.51 mg/kg, respectively. Six principal components were constructed by factor loading. The corresponding contribution ratio was 90.38%. Correlation analysis showed that 33 pairs of amino acid indicators showed extremely significant correlation ( $P < 0.01$ ), and 17 pairs of indicators showed significant correlation ( $P < 0.05$ ). Listed by the amino acid quality, the top 4 members were *Tamarix elongate* Ledeb., *Tamarix gansuensis* X. Z. Zhang, *Tamarix ramosissima* Ledeb. and *Tamarix austromogoltca* Nakai (Gansu). The last 4 members were *Tamarix arceuthoides* Bunge (NO. 2), *Tamarix chinensis* Lour., *Tamarix henackeri* Bunge and *Tamarix leptostachys* Bunge. 【Conclusion】 Principal component analysis and the membership function method proved effective for evaluating the comprehensive quality of free amino acids in different tamarix species. *Tamarix elongate* Ledeb., *Tamarix gansuensis* X. Z. Zhang, *Tamarix ramosissima* Ledeb. and *Tamarix austromogoltca* Nakai (Gansu) are recommended as excellent germplasm resources. This study lays a theoretical foundation for further breeding, development and utilization of tamarix species.

**Key words:** tamarisks, free amino acid, principal component, membership function method

(责任编辑 康宇坤)