

孟然, 张晓东, 杨雅华, 等. 基于多元统计分析的曹妃甸区 24 份盐地碱蓬成分指标综合评价 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(15): 78–84. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120135

MENG Ran, ZHANG Xiaodong, YANG Yahua, et al. Comprehensive Evaluation of Component Indexes of 24 Samples of *Suaeda salsa* in Caofeidian District Based on Multivariate Statistical Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(15): 78–84. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120135

· 研究与探讨 ·

基于多元统计分析的曹妃甸区 24 份盐地碱蓬成分指标综合评价

孟 然, 张晓东, 杨雅华, 王秀萍, 薛志忠*

(河北省农林科学院滨海农业研究所, 唐山市植物耐盐研究重点实验室, 河北唐山 063200)

摘要:目的: 以来自唐山市曹妃甸不同区域盐地碱蓬为研究对象, 探究土壤盐分、速效养分与品质之间的关系, 对盐地碱蓬成分指标进行综合评价。方法: 通过测定水分、抗坏血酸、蛋白质、氨基酸、亚硝酸盐、总黄酮含量, 进行了相关性分析、主成分分析以及聚类分析。结果: 不同区域盐地碱蓬成分指标存在明显差异, 其中亚硝酸盐含量差异最大, 变异系数大于 50%, 水分含量差异最小, 变异系数仅为 1.83%。主成分分析结果表明抗坏血酸、黄酮和氨基酸含量是影响碱蓬品质的核心指标。系统聚类结果可知, 曹妃甸 8 个区域盐地碱蓬可划分为 3 类, 其中南堡区、一场及七场的盐地碱蓬品质较好, 二场的盐地碱蓬品质最差。结合土壤盐分和速效养分结果分析, 表明土壤盐分、速效钾含量高, 能够显著提升盐地碱蓬蛋白质和亚硝酸盐含量, 但抑制了总黄酮含量的积累。结论: 建议盐地碱蓬栽培发展中着重关注土壤盐分和速效养分含量, 本试验可为曹妃甸区盐地碱蓬质量评价提供可靠的分析方法与参考依据。

关键词: 盐地碱蓬, 成分评价, 主成分分析, 聚类分析, 不同区域

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)15-0078-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120135

Comprehensive Evaluation of Component Indexes of 24 Samples of *Suaeda salsa* in Caofeidian District Based on Multivariate Statistical Analysis

MENG Ran, ZHANG Xiaodong, YANG Yahua, WANG Xiuping, XUE Zhizhong*

(Binhai Agricultural Research Institute of Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Tangshan Key Laboratory of Plant Salt-Tolerance Research, Tangshan 063200, China)

Abstract: Objective: Taking *Suaeda salsa* from different areas of Caofeidian in Tangshan City as the research object to explore the relationship between soil salinity, available nutrients and quality, and evaluate the composition indexes of *Suaeda salsa* comprehensively. Methods: By measuring the content of water, ascorbic acid, protein, amino acid, nitrite, total flavonoids, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis were performed. Results: There were significant differences in the compositional indicators of *Suaeda salsa* in different regions. Among them, the content of nitrite had the largest difference, with a coefficient of variation greater than 50%, and the difference in content of water was the smallest, with a coefficient of variation of only 1.83%. The results of principal component analysis showed that the content of ascorbic acid, flavonoids and amino acids were the core indicators that affect the quality of *Suaeda salsa*. Combined with the results of hierarchical clustering, the 8 regions of *Suaeda salsa* in Caofeidian could be divided into 3 categories. Among them, the quality of *Suaeda salsa* in Nanpu District, No. 1 and No. 7 fields was better, and the quality of *Suaeda salsa* in No. 2 field was the worst. Combined with the analysis of the results of soil salt and available nutrients, it showed that the

收稿日期: 2020-12-16

基金项目: 河北省三三三人才工程 (A202002019); 唐山市科技计划项目 (19150250E); 河北省农林科学院创新工程人才专项 (2020R1601)。

作者简介: 孟然 (1993-), 女, 硕士, 研究实习员, 研究方向: 耐盐功能植物加工研究, E-mail: yoki_meng@163.com。

* 通信作者: 薛志忠 (1983-), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工研究, E-mail: nksxzz@163.com。

content of soil salt and available potassium were high, which could significantly increase the content of protein and nitrite of *Suaeda salsa*, but inhibited the accumulation of total flavonoids. Conclusion: It is suggest that the development of *Suaeda salsa* should pay more attention to content of soil salinity and available nutrient, and this research providing a reliable analysis method and reference basis for the quality evaluation of *Suaeda salsa* in Caofeidian district.

Key words: *Suaeda salsa*; component evaluation; principal component analysis; cluster analysis; different regions

土壤盐渍化是农业发展面临的重要问题之一,会导致土壤质地粘重、透气性不良,表层积盐重、上层高矿化度地下水积累多、心底土盐分含量高,全盐含量常在 0.4%~1.8%, pH 常在 7~8 之间^[1-2]。唐山市地处渤海之滨,南部沿海拥有近 1100 km² 的滩涂及盐碱地,而曹妃甸区是唐山市境内盐碱地程度较高、盐渍化区域较集中的滨海地区,全区境内 80% 的土地为盐碱土壤,在我国盐碱地中具有代表性。

盐地碱蓬(*Suaeda salsa*(L.)Pall.)俗名黄须菜,为藜科碱蓬属一年生草本盐生植物,对盐碱地区的土壤、气候等环境条件具有很强的适应性,是盐碱地的典型指示植物^[3],在曹妃甸区野生资源丰富。盐地碱蓬幼芽茎叶鲜嫩可食用,富含维生素、蛋白质、氨基酸等营养物质,其中维生素尤以抗坏血酸含量最为突出,最高可达到 86.00 mg/100 g^[4],与蔬菜中含量较高的辣椒几乎相当;蛋白质与膳食纤维含量共同占干物质总量的 30% 以上^[5];氨基酸含量丰富,种类齐全,必需氨基酸构成合理^[6],是一种极具营养价值的野菜,被誉为“菜中灵芝”^[7]。此外,还含黄酮类、萜类、多酚类、多糖类物质等^[8],具有降血糖、降血脂、抗肿瘤、抗氧化、免疫调节的作用^[9-11]。

亚硝酸盐超标已经成为影响食品安全的重要原因之一,由于生长环境的特殊性,盐地碱蓬等野菜中亚硝酸盐含量为一项重要监测指标。现有文献多记载山东盐城、东营及山西汾河滩地区碱蓬亚硝酸盐情况,不同地区碱蓬亚硝酸盐含量存在较大差异,部分亚硝酸盐含量超过了联合国粮食农业组织/世界卫生组织规定和中国食品安全国家标准^[12],而关于河北地区唐山一带碱蓬鲜有报道。随着对盐地碱蓬作为优质的蔬菜、经济作物和具有医疗保健价值属性的充分认识,碱蓬资源的开发引起人们的重视,但缺少对于唐山曹妃甸地区盐地碱蓬成分指标评价较为系统的研究。

据此,本研究以曹妃甸内不同区域的盐地碱蓬为研究对象,对其水分、抗坏血酸、蛋白质、氨基酸、总黄酮、亚硝酸盐含量进行检测,利用相关性分析、主成分分析以及聚类分析方法,对盐地碱蓬成分指标进行综合评价,拟筛选出综合评价不同地区盐地碱蓬品质的指标,并探究了土壤盐分、速效养分与品质之间的关系,以期曹妃甸区盐地碱蓬质量评价提供可靠的分析方法与参考依据,也为进一步加工发展与综合利用提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

样本 采集于唐山市曹妃甸区不同采样点,共

24 份材料于 2020 年 6 月统一采集,经河北省农林科学院王秀萍研究员鉴定为藜科碱蓬属盐地碱蓬(*Suaeda salsa*);芦丁标准品(货号:R189033,纯度 95%)阿拉丁公司;磷酸、甲醇 色谱纯, Fisher Chemical 公司;无水乙醇、草酸、抗坏血酸、碳酸氢钠、2,6-二氯酚靛酚等 分析纯,天津市恒兴化学试剂制造有限公司;氨基酸含量检测试剂盒(货号:BC1570)、亚硝酸盐含量测定试剂盒(货号:BC1490)、双缩脲法蛋白质含量检测试剂盒(货号:BC3180)北京 Solaibio 科技有限公司;纯净水 屈臣氏。

AP124W 电子天平 岛津公司;JT-1027HTD 机械超声波清洗机 深圳市洁拓超声波清洗设备有限公司;D-37520 osterode 台式高速冷冻离心机 德国 Biofagestratos 公司;TU-1810 紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;HH-6 数显恒温水浴锅 上海力辰邦仪器科技有限公司;SCIENTZ-48 组织研磨机 宁波新芝生物科技股份有限公司;1200 型高效液相色谱仪 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的采集方法 为避免工厂污染的影响,选取曹妃甸区内盐地碱蓬生长密集区,从不同区域的野外盐碱荒地随机进行盐地碱蓬采样,共获得 24 份样本,分别来自于唐山市曹妃甸区一场、二场、七场、十一场、柳赞镇、南堡区、大学城、工业区,具体采样地的地理坐标及采收日期见表 1。

选择生长状态良好、无机械损伤绿色表型的盐地碱蓬植株,将样本装入牛皮纸袋,编号,每个样点采集样本 3 份。将每一份盐地碱蓬样本分成两部分,一部分留用鲜样待测,一部分用流动水洗去表面泥沙,再用蒸馏水冲洗 3~4 次,于 60 °C 烘干 12 h 后粉碎过 0.15 mm 孔径筛,粉末备用。

在所取植株近根处采用取土器垂直取 20 cm 深度的耕层土壤,每个样点采集样本 3 份,混匀后用四分法留取 1 kg 土样,装袋带回,经 60 °C 烘干 12 h 后过 1 mm 和 0.25 mm 孔径筛备用。

1.2.2 不同区域盐地碱蓬品质指标测定

1.2.2.1 基本营养成分的测定 水分、抗坏血酸、蛋白质、氨基酸含量采用鲜样测定,水分含量的测定参照 GB5009.3—2010 食品中水分的测定-直接干燥法^[13]。抗坏血酸含量的测定参照 GB 5009.86-2016《食品安全国家标准-抗坏血酸的测定》^[14]。

蛋白质含量测定采用试剂盒法,蛋白质(mg/g 鲜重)=C 标准管/(A 标准管-A 空白管)×(A 测定管-A 空白管)×V 样总/W。其中,C 标准管:5 mg/mL;

表1 盐地碱蓬采样地点及时间

Table 1 Sampling location and time of *Suaeda salsa*

序号	采样地点	经度	纬度	采收日期
S1-1S1-2S1-3	一场	118°34'22"E118°34'22"E118°33'55"E	39°13'35"N39°13'44"N39°13'42"N	6月16日
S2-1S2-2S2-3	二场	118°27'19"E118°27'41"E118°27'23"E	39°17'37"N39°17'34"N39°17'38"N	6月18日
S3-1S3-2S3-3	七场	118°21'26"E118°20'25"E118°20'18"E	39°10'35"N39°10'3"N39°11'12"N	6月16日
S4-1S4-2S4-3	十一场	118°17'4"E118°16'59"E118°13'50"E	39°18'31"N39°18'31"N39°18'32"N	6月16日
S5-1S5-2S5-3	柳赞镇	118°38'4"E118°38'46"E118°39'32"E	39°12'27"N39°13'25"N39°13'25"N	6月16日
S6-1S6-2S6-3	南堡区	118°13'50"E118°12'48"E118°12'29"E	39°15'3"N39°13'55"N39°13'46"N	6月17日
S7-1S7-2S7-3	大学城	118°31'50"E118°31'45"E118°31'46"E	39°11'25"N39°11'38"N39°11'50"N	6月17日
S8-1S8-2S8-3	工业区	118°28'16"E118°29'7"E118°30'24"E	39°2'30"N39°0'53"N38°59'40"N	6月17日

A 标准管: 标准管的吸光值; A 空白管: 空白管的吸光值; V 样总: 样本总体积, 1 mL; W: 样本质量, g。

氨基酸含量测定采用试剂盒法, 氨基酸含量 ($\mu\text{mol/g}$ 质量)=[C 标准管 \times V 标准管 \times Δ A 测定管/ Δ A 标准管] \times (V 样总/V 样)/W。其中, C 标准管: 标准品浓度, 10 $\mu\text{mol/mL}$; V 标准管: 反应体系中加入标准品体积, 0.05 mL; V 样总: 样本总体积, 1 mL; V 样: 反应体系中加入样本体积, 0.05 mL; W: 样本质量, g。

1.2.2.2 总黄酮含量的测定 采用超声波辅助甲醇提取法提取盐地碱蓬总黄酮^[15], 取一定质量碱蓬茎叶粉末, 采用纤维素酶与果胶酶于 60 °C 水浴复合酶解 30 min, 用 70% 甲醇溶液调整至料液比 1:100, 于 60 °C 超声 120 min, 转速 8000 r/min 离心 15 min 后取上清液。利用一次性注射器和 0.45 μm 针头式过滤器将最终提取液注入至进样瓶中备用, 待进样检测。参考郭丽霞等^[16] 的高效液相色谱法, 以芦丁标准品制作标准曲线, 以峰面积定量, 通过回归方程对样品中的总黄酮进行定量分析。回归方程为 $y=15467x+1.9$ ($R^2=0.997$), 其中 y 是总峰面积, x 是样品中总黄酮浓度(以芦丁计), mg/mL 。

HPLC 条件: 色谱柱: Dikma C_{18} 柱 (4.6 mm \times 250 nm, 5 μm); 流动相: A(体积分数 0.2% 的磷酸水溶液): B(甲醇)=50:50; 检测波长: 350 nm; 柱温: 30 °C; 流速: 1 mL/min; 进样量: 10 μL 。流动相均经真空泵过滤除杂和超声清洗机脱气。

1.2.2.3 亚硝酸盐含量的测定 亚硝酸盐含量使用鲜样测定, 测定方法采用试剂盒法, 亚硝酸盐含量 ($\mu\text{mol/g}$ 鲜重)= $0.12\times[(A \text{ 样品}-A \text{ 空白})/(A \text{ 标准}-A \text{ 空白})]/W$ 。其中, A 样品: 测定管的吸光值; A 空白: 空白管的吸光值; A 标准: 标准管的吸光值; W: 样本质量, g。

1.2.3 不同区域盐地碱蓬土壤成分测定 参照《土壤农化分析》^[17] 及《土壤学实验指导》^[18] 的方法, 采用碱解扩散法、碳酸氢钠法和醋酸铵法分别测定土壤速效氮、速效磷和速效钾含量。

1.3 数据处理

遵循平行重复原则, 所有试验均重复 3 次, 数据以平均值 \pm 标准差表示。采用 SPSS 23.0 统计软件进

行描述性分析, 分析各指标的均值、极值、标准差和变异系数, 并进行单因素 ANOVA 方差分析, 运用 Duncan 检验法对成分指标、土壤盐分及速效养分含量分别进行显著性评价; 采用双变量 Pearson 相关分析法对成分指标之间、与土壤盐分及速效养分之间的相关性进行分析; 同样采用 SPSS 对品质指标进行主成分分析, 以特征值大于 1 为标准, 以每个主成分分别对应的方差贡献率占累积方差贡献率的比例作为权重^[19], 构建碱蓬品质的评价函数; 采用组间平均数联结法, 根据平方欧式距离, 对不同区域盐地碱蓬进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同区域盐地碱蓬成分指标分析

为探究盐地碱蓬成分指标的产地差异, 测定了不同区域样本中的水分、氨基酸、蛋白质、抗坏血酸、亚硝酸盐以及黄酮含量(表 2), 不同区域盐地碱蓬的成分指标之间变异系数不同, 说明成分指标之间呈现不同的差异性, 亚硝酸盐含量差异最大, 水分含量差异最小。南堡区水分、蛋白质及亚硝酸盐含量均为最高值, 其中南堡区、工业区盐地碱蓬中蛋白质含量分别为 16.315 和 14.825 mg/g , 显著高于其他区域 ($P<0.05$), 二场盐地碱蓬蛋白质含量最低, 为 4.999 mg/g , 较其他组差异显著 ($P<0.05$); 二场、工业区盐地碱蓬抗坏血酸含量分别为 4.565 和 4.034 $\text{mg}/100 \text{g}$, 显著高于其他区域 ($P<0.05$), 且二者具显著差异 ($P<0.05$), 从报道的文献来看, 盐地碱蓬抗坏血酸含量从 0.55 到 86.00 $\text{mg}/100 \text{g}$ 不等^[4,20], 本研究中抗坏血酸含量与文献中试验结果有所差异, 其原因可能是采样时间、采样部位或采样地点不同从而展现出不同的规律; 南堡区盐地碱蓬中亚硝酸盐含量为 5.885 $\mu\text{g/g}$, 显著高于其他区域 ($P<0.05$), 根据国家食品安全标准(GB 2762—2017), 蔬菜及其加工制品中亚硝酸盐含量应该在 20 mg/kg ^[12] 范围以内, 所有采集区域样本均未超标。不同区域盐地碱蓬中水分、氨基酸、黄酮含量无显著差异 ($P>0.05$)。

2.2 不同区域土壤盐分及速效养分含量分析

如表 3 所示, 土壤速效氮含量变异系数最大, 为 65.328%, 说明不同区域土壤速效氮含量差异大。其中柳赞镇土壤的速效氮含量达到 54.250 mg/kg , 显著

表 2 不同区域盐地碱蓬成分指标分析(n=3)

Table 2 Analysis of component indexes of *Suaeda salsa* from different regions (n=3)

产地	水分含量 (%)	氨基酸含量 (μmol/g鲜重)	蛋白质含量 (mg/g鲜重)	抗坏血酸含量 (mg/100 g鲜重)	亚硝酸盐含量 (μg/g鲜重)	黄酮含量 (%)
一场	81.227±3.565 ^a	110.979±25.643 ^a	11.206±1.227 ^b	3.397±0.184 ^{cd}	3.934±0.903 ^b	1.669±0.145 ^a
二场	77.856±1.863 ^a	99.459±21.014 ^a	4.999±0.891 ^c	4.565±0.184 ^a	2.419±0.644 ^{bcd}	2.870±0.871 ^a
七场	79.729±2.339 ^a	99.075±38.752 ^a	10.558±0.701 ^b	3.503±0.318 ^c	3.433±0.919 ^{bc}	1.692±0.321 ^a
十一场	81.699±3.374 ^a	92.446±11.253 ^a	10.131±2.297 ^b	2.866±0 ^e	1.835±0.301 ^d	2.596±0.989 ^a
柳赞镇	78.996±1.667 ^a	103.599±16.430 ^a	11.554±1.233 ^b	3.609±0.184 ^c	3.494±0.754 ^{bc}	2.313±0.439 ^a
南堡区	81.846±0.662 ^a	99.170±19.984 ^a	16.315±2.753 ^a	3.079±0.184 ^{de}	5.885±1.146 ^a	1.711±0.616 ^a
大学城	80.135±1.955 ^a	82.042±12.426 ^a	11.334±2.247 ^b	3.503±0.318 ^c	0.935±0.731 ^d	2.881±0.436 ^a
工业区	78.772±1.217 ^a	68.499±25.398 ^a	14.825±0.662 ^a	4.034±0.184 ^b	2.152±0.967 ^{cd}	2.583±0.944 ^a
极差	3.989	42.481	11.316	1.699	4.950	1.212
均值	80.033	94.409	11.368	3.570	3.011	2.289
变异系数CV(%)	1.829	14.195	29.627	14.907	50.688	23.018

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); 表3同。

表 3 不同区域土壤盐分及速效养分含量分析(n=3)

Table 3 Analysis of soil salt content and available nutrient content in different regions (n=3)

产地	土壤盐分(%)	速效钾(mg/kg)	速效氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)
一场	0.973±0.154 ^b	214.541±20.801 ^b	16.625±1.591 ^{bc}	25.989±3.991 ^{ab}
二场	0.328±0.214 ^b	125.081±25.913 ^{cd}	19.250±0.000 ^{bc}	27.026±2.775 ^a
七场	1.138±0.417 ^b	65.236±26.548 ^d	14.250±3.606 ^c	15.092±2.546 ^{de}
十一场	0.457±0.208 ^b	117.047±41.462 ^{cd}	20.417±2.517 ^b	14.541±1.170 ^c
柳赞镇	1.425±0.641 ^{ab}	312.643±46.167 ^b	54.250±2.475 ^a	22.489±2.725 ^{abc}
南堡区	2.360±0.619 ^a	408.051±53.796 ^a	15.750±3.905 ^{bc}	21.669±3.713 ^{bc}
大学城	0.963±0.549 ^b	262.451±38.928 ^b	14.000±1.414 ^c	19.890±1.516 ^{cd}
工业区	0.865±1.126 ^b	170.973±14.407 ^c	13.125±1.237 ^c	13.622±3.261 ^e
极差	2.032	342.815	41.125	13.404
均值	1.064	209.503	20.958	20.040
变异系数CV(%)	59.280	54.381	65.328	25.915

高于其他区域($P<0.05$); 南堡区土壤盐分量最高, 达 2.360%, 除柳赞镇以外, 较其他区域差异显著($P<0.05$); 此外, 南堡区速效钾含量也具有最高值, 为 408.051 mg/kg, 显著高于其他区域($P<0.05$), 七场土壤速效钾含量显著低于其他区域($P<0.05$); 二场土壤中速效磷含量最高, 除一场、柳赞镇以外, 较其他区域差异显著($P<0.05$)。

2.3 盐地碱蓬成分指标与土壤盐分及速效养分相关性分析

相关性分析结果如表 4 所示, 蛋白质含量与土壤盐分呈极显著正相关($P<0.01$), 与土壤速效钾含量呈极显著正相关($P<0.01$), 表明土壤盐分及速效钾的变化显著影响蛋白质的变化, 进而影响盐地碱蓬的营养品质。有研究表明, 在一定范围内, 随土壤盐分的增加, 翅碱蓬叶片中可溶性蛋白的含量整体呈上升趋势^[21], 与本试验结果一致。有学者认为, 在一定浓度盐胁迫处理下, 碱蓬植物为了自我保护和抗盐, 细胞中蛋白质合成代谢增强, 参与渗透调节^[22]。而钾能提高植物光合作用效率, 促进碳水化合物形成、转运和贮藏, 促进氮的吸收, 加速蛋白质的合成^[23]。

亚硝酸盐与土壤盐分呈显著正相关($P<0.05$), 与

表 4 盐地碱蓬成分指标与土壤盐分及速效养分的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of component indexes with content of soil salt and quick-acting nutrients of *Suaeda salsa*

成分指标	土壤盐分	速效钾	速效氮	速效磷
水分	0.13	0.226	0.304	-0.233
氨基酸	-0.134	0.162	-0.094	0.270
蛋白质	0.631**	0.549**	-0.259	-0.251
抗坏血酸	-0.269	-0.261	-0.331	0.258
亚硝酸盐	0.493*	0.468*	-0.369	0.305
黄酮	-0.622**	-0.186	-0.046	-0.129

注: *表示水平上(双侧)显著相关($P<0.05$), **表示水平上(双侧)极显著相关($P<0.01$)。表5同。

土壤速效钾含量呈显著正相关($P<0.05$), 由此可知, 一定程度的盐胁迫促进了盐地碱蓬中蛋白质和亚硝酸盐含量的增加, 与表 2、表 3 结果相对应, 表明土壤盐分及速效钾的变化同样显著影响亚硝酸盐含量, 进而影响盐地碱蓬的安全品质。

总黄酮含量与土壤盐分呈极显著负相关($P<0.01$), 表明土壤盐分的变化显著影响总黄酮含量的变化。黄酮类物质属于次生代谢产物, 在中等盐度胁迫下, 有助于植物体内次生代谢产物积累^[24]。但本研

究结果显示土壤盐分阻碍了黄酮含量的积累, 尽管不同植物中, 报道结果并不一致, 这可能与不同植物黄酮含量差异及对环境响应不同造成的, 尚需更多研究数据支持。

2.4 盐地碱蓬成分指标之间的相关性分析

盐地碱蓬成分指标间存在相互依存和制约的关系, 多样本两指标之间系数绝对值越大, 则这两指标之间的联系越紧密^[25]。由表5可知, 抗坏血酸与水分含量呈极显著负相关($P < 0.01$), 与蛋白质呈显著负相关($P < 0.05$), 表明抗坏血酸的变化显著影响水分及蛋白质的变化, 进而影响盐地碱蓬的营养品质; 黄酮含量与亚硝酸盐含量则呈显著负相关($P < 0.05$), 表明亚硝酸盐含量的变化影响了黄酮含量, 进而影响盐地碱蓬的功效品质; 其他指标间相关性不显著($P > 0.05$)。综上所述, 盐地碱蓬6个品质指标相互间具有一定的相关性, 但是所统计的原始数据反映的信息存在重叠。由此进一步采取主成分分析法对6项品质指标简化, 提高盐地碱蓬品质评价的分析效率, 同时有利于提高统计信息的准确性。

表5 盐地碱蓬成分指标之间的相关性分析
Table 5 Correlation analysis of component indexes of *Suaeda salsa*

成分指标	水分	氨基酸	蛋白质	抗坏血酸	亚硝酸盐	黄酮
水分	1.000					
氨基酸	0.173	1.000				
蛋白质	0.173	-0.108	1.000			
抗坏血酸	-0.588**	-0.102	-0.429*	1.000		
亚硝酸盐	0.122	0.329	0.344	-0.226	1.000	
黄酮	-0.05	0.048	-0.263	0.27	-0.465*	1.000

2.5 盐地碱蓬成分指标的主成分分析及综合评价

对来自24份盐地碱蓬样本中的成分指标含量进行主成分分析, 得出主成分的特征值、贡献率、主成分载荷矩阵及特征向量矩阵等。由表6可知, 共提取到两个特征值大于1的主成分, 贡献率分别为54.427%和25.292%, 累积贡献率为79.719%, 表明这两个主成分可以基本反映本试验测定的所有成分指标的信息。各主成分特征值、对原始性状载荷及对表型的贡献率如表6所示。

表6 总方差解释
Table 6 Explanation of total variance

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积(%)	总计	方差百分比	累积(%)
1	3.266	54.427	54.427	3.266	54.427	54.427
2	1.518	25.292	79.719	1.518	25.292	79.719
3	0.932	15.534	95.253			
4	0.166	2.774	98.026			
5	0.083	1.387	99.413			
6	0.035	0.587	100.000			

载荷值反映了各品质指标对主成分矩阵中的权重, 数值绝对值的大小反映了原始变量对于因子影响

的强度, 正负反映了方向^[26]。图1、表7显示了主成分分析载荷值的分布, 水分、抗坏血酸、亚硝酸盐和黄酮在第一主成分上有较高载荷, 说明第一主成分主要反映了这些元素的信息, 其中水分、亚硝酸盐在第一主成分上呈正向分布, 载荷值分别为0.821和0.794, 抗坏血酸和黄酮呈负向分布, 载荷值分别为-0.781和-0.866。可见, 负向作用大于正向作用。且抗坏血酸含量与水分、蛋白质, 黄酮与亚硝酸盐均呈显著相关性(表5), 故选择抗坏血酸和黄酮为第一主成分的代表指标。氨基酸、蛋白质在第二主成分上有较高载荷, 其中氨基酸呈正向分布, 载荷值为0.801, 蛋白质呈负向分布, 载荷值-0.610。可见, 正向作用大于负向作用, 故选择氨基酸作为第二主成分的代表指标。最终确定抗坏血酸、黄酮和氨基酸作为不同区域盐地碱蓬品质评价的核心指标。

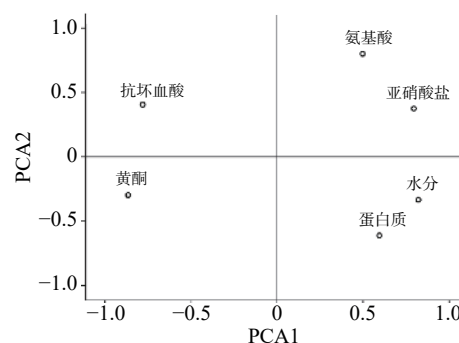


图1 主成分分析荷载图

Fig.1 load diagram of PCA results

表7 主成分载荷矩阵

Table 7 Principal component loading matrix

成分	主成分1	主成分2
水分	0.821	-0.333
氨基酸	0.497	0.801
蛋白质	0.594	-0.610
抗坏血酸	-0.781	0.406
亚硝酸盐	0.794	0.375
黄酮	-0.866	-0.297

为了消除不同单位及数据量纲的影响, 对品质指标原始数据进行标准化处理, 采用 F_1 和 F_2 两个新变量来代替原来的6个变量, 得出以下主成分表达式:

$$F_1 = 0.45 X_1 + 0.28 X_2 + 0.33 X_3 - 0.43 X_4 + 0.44 X_5 - 0.48 X_6$$

$$F_2 = -0.27 X_1 + 0.65 X_2 - 0.50 X_3 + 0.33 X_4 + 0.30 X_5 - 0.24 X_6$$

其中, F_1 和 F_2 为2个主成分, $X_1 \sim X_6$ 为6个品质指标含量经标准化后的数据。

以每个主成分分别对应的方差贡献率占累积方差贡献率的比例作为权重, 计算综合评价得分 $F_{综}$ 。

$$F_{综} = 0.684 F_1 + 0.317 F_2$$

根据综合评价模型计算不同区域盐地碱蓬的得分并进行排序, 如表8所示, 总得分越高表明该地区

盐地碱蓬的综合品质越好,8 个区域盐地碱蓬中,排名前三的样本编号依次为 S6、S1、S3,说明南堡区、一场及七场的盐地碱蓬品质表现好,但南堡区盐地碱蓬样本检测出亚硝酸盐含量超过国家标准(小于 4 mg/kg)^[12],S2 即二场盐地碱蓬主成分综合得分最低,品质表现最差。

表 8 主成分综合得分和排序
Table 8 Comprehensive scores and ranking of principal components

序号	F ₁	F ₂	F _综	排名
S1	1.67	0.96	1.44	2
S2	-2.69	1.83	-1.26	6
S3	0.64	0.72	0.67	3
S4	0.3	-1.03	-0.12	5
S5	-0.02	0.72	0.21	4
S6	2.89	-0.31	1.88	1
S7	-1.31	-1.33	-1.32	7
S8	-1.48	-1.55	-1.5	8

注: S1-一场, S2-二场, S3-七场, S4-十一场, S5-柳赞镇, S6-南堡区, S7-大学城, S8-工业区, 图2同。

2.6 盐地碱蓬成分指标的聚类分析

盐地碱蓬各成分指标数据较为离散,不易直观地进行相近程度的比较。聚类分析可同时对大量性状进行综合考察^[27]。利用系统聚类法对不同区域盐地碱蓬进行聚类分析,构建树系图(图 2),将样本划为不同类群进行评价。由图可知,在平方欧式距离 15 处可将 24 份样本分为三类:第一类为 S1、S3、S5、S6,第二类为 S4、S7、S8,第三类为 S2。从总体数据来看,不同地区样品间具有一定差异,其中 S2 与其他样品差异较大,距离为 25 时就可以归为不同的类型;在距离为 1 时所有样本完全分离,说明虽然 24 份碱蓬样本来自于不同区域,但仍有较强相似性。结合主成分分析综合得分和排名可知,第一类的品质为优,第二类的品质为一般,第三类的品质为差,即一场、七场、柳赞镇和南堡区的盐地碱蓬品质较好,二场的盐地碱蓬品质最差,聚类分析结果与主成分分析结果基本一致,表明聚类分析和主成分分析均可用来分析盐地碱蓬的成分指标,综合评价不同区域盐地碱蓬品质优劣。研究结果与刘丙花^[27]和李跃红^[28]等采用两种方法分别对不同品种蓝莓品质分析和不同产地红心猕猴桃品质的评判结果一致。

3 结论

不同区域盐地碱蓬品质存在明显差异,亚硝酸盐含量差异最大,水分含量差异最小。采用主成分分析对 8 个区域盐地碱蓬 6 个品质性状进行主成分分析研究,提取前 2 个主成分,累积贡献率达到 79.72%,筛选出抗坏血酸、黄酮和氨基酸含量 3 个核心指标。结合系统聚类结果可知,南堡区、一场及七场的盐地碱蓬品质较好,二场的盐地碱蓬品质最差,综合运用主成分分析和聚类分析方法可以简化盐地碱蓬成分评价指标,有助于优良品质特性的盐地碱蓬

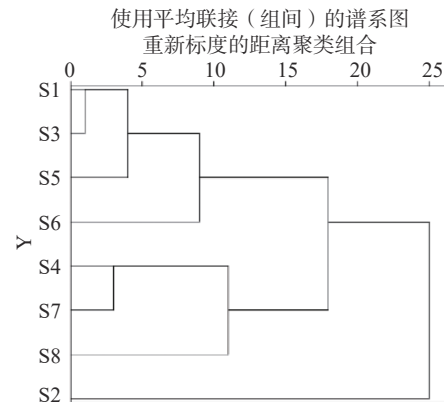


图 2 不同地区盐地碱蓬的聚类分析图

Fig.2 Cluster analysis diagram of *Suaeda salsa* from different producing areas

的评价与筛选。结合土壤盐分和速效养分结果分析,表明土壤盐分、速效钾含量高,能够显著提升盐地碱蓬蛋白质和亚硝酸盐含量,但抑制了总黄酮含量的积累,建议盐地碱蓬栽培发展中着重关注土壤盐分和速效养分含量。本试验对于人工质控栽培盐地碱蓬提供依据,可为盐地碱蓬的质量评价提供可靠的分析方法与参考依据,为进一步的综合开发利用和产业发展提供数据支持。但盐地碱蓬品质差异还可能与多糖、脂质、膳食纤维含量或者其他无机离子等因素有关,在后续的研究中需要加入更多的评价指标,以期更好地为盐地碱蓬品质筛选提供理论指导。

参考文献

- [1] 张逢春,李丹,张立新.唐山滨海盐碱地绿化植物配置[J].现代园艺,2017(14): 159.
- [2] 潘冬梅,袁卫国,杜金城,等.唐山市唐海县滨海盐碱地绿化技术研究[J].安徽农业科学,2010,38(10): 5229-5231.
- [3] Song J, Wang B S. Using euhalophytes to understand salt tolerance and to develop saline agriculture: *Suaeda salsa* as a promising model[J]. Annals of Botany, 2015, 115(3): 541.
- [4] 罗光宏,陈叶.甘肃河西沙区野生可食植物及利用价值[J].甘肃农业科技,2001(12): 41-44.
- [5] 付建鑫,张桂香,张炳文,等.碱蓬的营养价值及开发利用[J].中国食物与营养,2019,25(4): 59-63.
- [6] Mohammed H A. The valuable impacts of halophytic genus *Suaeda*; nutritional, chemical, and biological values[J]. Medicinal Chemistry, 2020, 16(8): 1044-1057.
- [7] 丁海荣,洪立洲,杨智青,等.盐生植物碱蓬及其研究进展[J].江西农业学报,2008,20(8): 35-37, 40.
- [8] 郭琳琳,范小振,李煦,等.盐地碱蓬有效成分提取方法及工艺研究进展[J].食品工业科技,2018,39(4): 324-328, 336.
- [9] 公衍玲,刘菲,金宏.响应面试验优化盐地碱蓬总黄酮乙醇萃取工艺及其抗氧化、降糖、降脂活性(英文)[J].食品科学,2016,37(8): 1-7.
- [10] Liu X X, Han G Y, Guo B, et al. Purification of an acidic polysaccharide from *Suaeda salsa* plant and its anti-tumor activity by activating mitochondrial pathway in MCF-7 cells[J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 215: 99-107.

- [11] Wang Q, Zhou D, Chen Y, et al. Flavonoids from *Suaeda salsa* II. Isolation, structural determination, and antioxidant activity[J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2018, 54(2): 1-2.
- [12] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [13] 卫生部食品卫生监督检验所. GB5009.3-2010 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [14] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.86-2016 食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [15] Guo L, Liu C. Extraction and antioxidant activity of ultrasonic-assisted flavonoids from *Suaeda salsa*[C]//*Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publications Ltd, 2012, 140: 343-349.
- [16] 郭丽霞, 宁寰宇, 曹苇, 等. RP-HPLC 法同时测定翅碱蓬中四种黄酮化合物的含量[J]. *海洋科学*, 2020, 44(4): 111-115.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社. 2004: 5-125.
- [18] 张锡洲, 李廷轩, 蔡艳, 等. 土壤学实验指导[M]. 四川: 四川农业大学出版社. 2004.
- [19] 王亚盟, 郭家平, 刘洁, 等. 不同产地黑果枸杞中主要矿质元素含量比较及主成分分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(11): 233-239. DOI: [10.13386/j.issn1002-0306.2020070308](https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070308).
- [20] 张玲. 河北滨海地区白刺及碱蓬属盐生植物营养成分分析[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
- [21] 夏宁, 孟茹, 魏海峰, 等. 土壤盐分对翅碱蓬生长的影响[J]. *环境生态学*, 2020, 2(1): 52-56.
- [22] 段德玉, 刘小京, 李存桢, 等. N 素营养对 NaCl 胁迫下盐地碱蓬幼苗生长及渗透调节物质变化的影响[J]. *草业学报*, 2005, 14(1): 63-68.
- [23] 聂金城, 郭庆梅, 王真真, 等. 施肥与中药材质量相关性研究概况[J]. *辽宁中医杂志*, 2014, 41(1): 186-188.
- [24] Nidhal, Salem, Kamel, et al. Effect of salinity on plant growth and biological activities of *carthamus tinctorius* L. extracts at two flowering stages[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2014, 36(2): 433-445.
- [25] 丛嘉昕, 宋江峰, 李大婧, 等. 基于多元统计分析的冻干草莓果粉品质评价因子筛选[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(11): 28-34, 38.
- [26] 卢冉, 王炳智, 田英姿. 不同品种杏仁氨基酸组成分析及综合评价[J/OL]. *食品科学*: 1-11[2020-12-13]. DOI: [10.7506/spkx1002-6630-20200817-223](https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20200817-223).
- [27] 刘丙花, 孙锐, 王开芳, 等. 不同蓝莓品种果实品质比较与综合评价[J]. *食品科学*, 2019, 40(1): 70-76.
- [28] 李跃红, 冉茂乾, 徐孟怀, 等. 不同产地红心猕猴桃品质的主成分及聚类分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(10): 222-228.