

新疆不同产地甜菜块根中元素含量的主成分和聚类分析

贾雪峰¹, 朱思明², 王强³, 龙为², 张新林²

(1. 新疆农垦科学院农产品加工研究所, 新疆石河子 832000) (2. 华南理工大学轻工化工研究所, 广东广州 510640) (3. 重庆第二师范学院生物与化学工程系, 重庆 400067)

摘要: 综合比较、评价新疆不同产区甜菜的质量。通过对新疆 5 大产区甜菜块根品质相关的元素 (K、Na、B、N、P、Mg、Fe、Ca、Zn、Mn、Cu) 的测定, 以上述 11 个成分的含量为指标, 运用相关性、主成分 (PCA) 和聚类分析 (CA) 法对不同产地的 34 个甜菜进行综合质量评价研究。结果表明, 不同产地甜菜中元素含量有明显差异, K、Na、B、N、P、Mg、Fe、Ca、Zn、Mn、Cu 的平均含量分别为: 2821.1、710.0、19.8、4855.2、736.9、2362.1、58.7、2590.1、58.7、602.0、18.7 mg/kg; 主成分分析得出一个 3 因子模型, 解释了试验数据的 79.45%; 第 1、2 主成分的方差累积贡献率达 67.23%; PCA 和 CA 分析将 34 个甜菜样品划分为 5 类, 在一定程度上体现了甜菜样品的亲缘关系和地域分布特征。通过测定若干元素含量数据, 利用 PCA 和 CA 清晰地揭示了新疆甜菜不同产地的规律性和差异性。

关键词: 甜菜; 产地; 元素; 主成分分析; 聚类分析

文章编号: 1673-9078(2015)7-302-308

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.047

Principal Component Analysis and Cluster Analysis of the Elements in Sugar Beet Roots of Different Geographical Origins in Xinjiang

JIA XUE-feng¹, ZHU SI-ming², WANG Qiang³, LONG Wei², ZHANG Xin-lin²

(1. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Xinjiang Academy of Agricultural And Reclamation Science, Shihezi 832000, China) (2. Research Institute of Light Industry & Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China) (3. Department of Biological and Chemical Engineering, Chongqing University of Education, Chongqing 400067, China)

Abstract: The quality of sugar beet roots from different geographical regions in Xinjiang was comprehensively evaluated. The content of 11 elements (potassium, sodium, boron, nitrogen, phosphorous, magnesium, iron, calcium, zinc, manganese, and copper) in 34 sugar beet root samples collected from five major production regions in Xinjiang were determined and used as indicators to comprehensively evaluate quality by principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA). There were significant differences among the element content between sugar beet roots from different geographical regions. The average content of potassium, sodium, boron, nitrogen, phosphorous, magnesium, iron, calcium, zinc, manganese, and copper in sugar beet roots were 2821.1, 710.0, 19.8, 4855.2, 736.9, 2362.1, 58.7, 2590.1, 58.7, 602.0, and 18.7 mg/kg, respectively. A three-factor model was obtained from the PCA and accounted for 79.45% of the total variance. The cumulative contribution of the first and second components to the total variance was 67.23%. The 34 sugar beet root samples were classified into five groups by PCA and CA, reflecting genetic relationship and geographical distribution of sugar beet root samples to some extent. Based on the content of several elements, the overall pattern and differences among sugar beet roots from different geographical origins in Xinjiang were clearly revealed by PCA and CA.

Key words: sugar beet roots; geographical origins; elements; principal component analysis; cluster analysis

收稿日期: 2014-09-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1203183); 华南理工大学中央高校基本科研业务费专项基金资助项目 (2014ZZ0050); 广东省农业领域科技计划项目 (2013B020310006)

作者简介: 贾雪峰 (1979-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向为农产品精深加工; 通讯作者: 朱思明 (1976-), 男, 博士, 先上岗研究员

甜菜是我国乃至世界上重要糖料作物之一,白糖总产量的 26%源自甜菜。中国甜菜产地主要集中在新疆、黑龙江和内蒙古等地,其中新疆是中国最大的甜菜糖生产省区,甜菜糖产量占全国的 60%以上。而甜菜营养物质、加工品质和利用价值不仅与品种有关,还受当地气候、土壤等特殊地理因素的影响^[1-2]。与其他作物相比,甜菜需要更多的常量和微量元素来维持其正常的生命活动,元素对甜菜块根增长和含糖率变化具有显著影响。甜菜品质取决于其含糖量和包括 Na、N、K 等在内的若干化学特性^[3-4]。

产地溯源技术是建立食品及其原料质量安全追溯制度的重要组成部分,也是保障食品质量安全的有效手段。譬如,通过物理学、化学和生物学方法,分析有机组成、挥发性成分、同位素含量与比率、DNA 图谱等特征成分或指标,结合化学计量学研究,建立起能区分农产品产地来源的特征指纹图谱^[5-9]。文献调研表明,植物的元素组成反映了土壤中的生物可利用和可流动性营养物质组成,由于元素的可利用性取决于土壤 pH、湿度、多孔性等土壤参数,从而使得植物产品的元素组成可作为特有指标,能表征其产地来源^[9-11]。因此,元素和化学成分含量分析,与化学计量学分析相结合,可以更加全面地反映植物食品原料的种类、区域气候、产地环境、农业耕种条件等,因而更能有效区分食品及其原料的来源^[12-14]。

采用主成分和聚类分析法对新疆不同产地甜菜的元素含量信息进行化学模式识别研究,溯源甜菜产地,以保障糖品质量和指导甜菜糖生产,相关内容的报道还少见。主成分分析是有监督的模式识别方法中一种最基本的多元统计分析方法,其将多个指标转变为少数几个综合指标,用少数几个综合指标来反映大量原始指标的主要信息,以起到降维作用,使问题简化,并对降维后的特征向量进行线性分类,最后在 PCA 分析的散点图上显示样品之间的整体品质差异。主成分分析采用标准化处理的数据作为 PCA 的分析对象,具有计算速度快和表征结果简洁明了等优点。聚类分析则是一种无监督的模式识别方法,其同样将特征元素的标准化处理结果以欧氏距离(Euclidean Distance)为度量准则,以离差平方和法(Ward's Method)为组群合并依据,是一种理想的、研究数据分类的多变量统计技术^[15-16]。

本研究旨在通过测定新疆不同产地甜菜资源中 K、Na、B、N、P、Mg、Fe、Ca、Zn、Mn、Cu 的含量,对实验数据应用主成分分析(PCA)和聚类分析(CA)进行研究,以期对甜菜资源的品质评价和分类提供依据,同时也为甜菜资源的产业链开发和土

壤肥力控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

甜菜采集信息见表 1。

混合多元标准溶液(K、Na、B、P、Mg、Fe、Ca、Zn、Mn、Cu),北京博德恒悦科贸有限公司提供;其它化学试剂均为国产分析纯;双蒸水和其它溶液均自行配制。

DHG-9035A 型电热恒温鼓风干燥箱,上海齐欣科学仪器有限公司生产;IRIS/AP 型电感耦合等离子体原子发射光谱仪,由美国 Thermo Jarrell Ash 公司生产。

1.2 方法

1.2.1 测定甜菜块根中全氮含量

甜菜块根采收后进行切削,去除青顶和尾根,选取新鲜、无机械伤、大小一致的甜菜块根进行测定。采用凯氏定氮法测定甜菜块根中全氮含量。

1.2.2 测定甜菜块根中元素 K、Na、B、P、Mg、Fe、Ca、Zn、Mn、Cu 含量

(1) 预处理

实验过程中所用玻璃器皿均用 1% 稀硝酸浸泡 24 h,以便除去杂质干扰,然后用蒸馏水冲洗,再用去离子水冲洗 2~3 遍,烘干备用。收集的甜菜原料块根于 50 °C 烘箱中烘干至恒重(24 h),粉碎,过 40 目筛后置干燥器中备用。精确称取甜菜块根样品 0.500 g 于 50 mL 锥形瓶中,加入 HNO₃-HClO₄(4:1, V/V)8 mL,封口浸泡过夜,加热回流消化至无色透明或略带黄色后近干,冷却后转移至 50 mL 的容量瓶中,用纯水定容,备用。每个甜菜块根样品湿法消解三次。

(2) 测定方法

仪器工作参数:检测器 CID 的低波段(<265 nm),积分时间 15 s;高波段(>265 nm),积分时间 5 s;进样蠕动泵转速:100 r/min;进样雾化器氩气压力:28 psi;辅助气流量 0.2 L/min;高频发生器功率 1500 W;样品冲洗时间 5 s;测定波长范围:193.696~766.490 nm。

1.2.3 多元数据分析(MVA)

每个甜菜块根样品湿法消解三次,测定每个样品中 N、K、Ca、Mg、P、Na、Mn、Fe、Zn、B 等元素的含量,取平均值(n=3)。对实验数据采用 XLSTAT 分析软件(ADDINSOFT, 2008)进行相关性、主成分及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 新疆甜菜资源中 11 种元素含量的测定结果分析

通过理化测定分析,表 1 显示了新疆不同产地的 34 种甜菜资源中 11 种元素的含量、变化范围、平均值和标准差。以各元素的平均值来看,甜菜块根中

11 种元素的含量顺序为: N>K>Ca>Mg>P>Na>Mn>Fe>Zn>B>Cu。

表 1 还说明不同产地对甜菜块根元素影响较大。甜菜资源中成分的含量变化的可能原因在于产地环境、采收时间等因素的影响,而理化成分的变化对甜菜品质性状具有显著影响^[1~4]。此外,表 1 全面分析了甜菜的元素浓度,为甜菜提取及其产品开发选择合适的原材料提供基础和数据。

表 1 不同产地甜菜块根中常量和微量元素含量 (n=3) (mg/kg)

Table 1 Content of common and trace elements in sugar beet roots from different geographical regions (n = 3) (mg/kg)

no.	产地	K±SD	Na±SD	B±SD	N±SD	P±SD	Mg±SD
1		1987.7±10.5	613.4±4.3	13.0±0.3	4169.3±20.8	557.2±3.8	3236.7±20.3
2		2086.8±12.2	574.9±3.1	15.3±0.5	4151.7±19.9	625.5±4.0	2920.0±17.7
3		2128.0±14.5	588.3±3.4	13.7±0.4	4394.0±30.7	543.4±3.6	2997.8±24.5
4	库尔	2256.4±18.0	610.8±3.8	13.4±0.3	4354.4±24.8	561.0±4.1	2947.0±20.5
5	勒	2258.7±23.6	697.0±10.2	14.8±0.5	4737.8±40.2	633.2±7.5	3678.1±35.0
6		1987.4±10.2	642.7±5.1	14.5±0.3	3954.0±15.8	595.7±2.5	2781.0±15.6
7		2338.5±24.3	646.5±6.4	15.0±0.4	4828.6±58.6	597.1±4.0	3294.3±27.8
8		2520.0±34.5	682.2±7.9	15.0±0.5	4863.1±56.0	626.5±5.8	3291.3±29.7
9		3104.7±34.1	743.9±5.1	18.5±0.6	4341.6±58.3	825.7±5.9	2124.8±27.2
10		2836.4±18.0	719.8±4.6	19.1±0.7	4337.0±44.7	825.7±7.3	1793.4±12.2
11		3036.3±26.3	776.4±9.5	18.0±0.5	4439.9±45.3	834.2±10.0	1897.3±15.0
12	乌苏	2966.7±19.3	764.8±7.4	17.4±0.7	5381.0±64.7	743.0±5.3	1700.3±10.8
13	昌吉	3024.5±11.1	719.0±4.3	18.9±0.8	2753.4±45.5	651.6±3.7	2101.1±18.7
14		3027.6±13.8	743.1±5.9	19.8±0.7	3140.7±60.2	869.0±12.2	1768.2±10.2
15		2696.8±9.1	662.3±5.0	19.3±0.6	4194.9±61.7	827.3±9.6	1679.4±9.7
16		3027.8±18.1	722.4±6.1	19.7±0.7	2903.3±51.8	799.5±6.3	1926.5±19.7
17		2717.4±21.2	689.2±6.1	17.8±0.8	4591.4±37.6	989.3±13.2	2650.6±26.9
18		2730.5±26.9	737.7±8.1	16.2±0.6	5040.3±46.6	673.6±7.1	2404.6±28.9
19	喀什	2480.1±13.1	755.1±9.6	18.5±0.7	6168.1±72.4	755.0±8.5	2565.2±25.8
20		2663.0±16.2	707.0±7.9	14.2±0.4	5912.0±44.5	788.1±12.6	2766.4±28.2
21		2754.3±40.1	741.4±9.4	16.8±0.5	5404.2±61.1	731.1±9.6	3009.9±24.6
22		3432.1±29.9	729.6±8.1	26.6±0.8	5781.1±47.9	850.5±12.9	2606.5±22.4
23		2965.7±21.1	704.5±5.5	26.7±0.9	6188.0±55.6	799.5±11.6	2368.0±20.0
24		3216.8±28.3	659.6±4.2	24.8±0.6	5202.7±33.9	762.8±7.2	2568.0±28.0
25	伊犁	3059.1±26.2	900.7±18.2	25.7±0.7	5006.4±29.8	688.2±6.0	2393.7±25.7
26		2868.2±15.3	847.0±15.5	25.5±0.8	6176.4±38.0	786.1±8.9	2411.3±24.2
27		2964.3±17.7	831.3±10.7	25.4±0.8	5432.1±39.3	588.2±6.5	1959.9±25.8
28		2754.3±13.4	719.5±8.6	25.4±0.6	5461.6±46.8	810.2±11.9	2969.4±27.4
29		3529.4±32.4	661.3±9.8	26.6±0.9	6722.9±65.8	684.0±7.2	1659.5±22.7
30		3209.4±13.9	690.3±7.0	22.4±0.5	4756.2±30.3	861.8±11.5	1525.3±10.1
31	塔城	3408.3±31.1	733.0±7.3	23.8±0.8	5050.9±35.7	896.4±13.4	1619.8±16.3
32		3336.7±18.2	717.6±6.9	23.3±0.6	4950.3±25.5	692.7±9.7	1585.8±10.6

转下页

接上页

33		3370.4±26.5	725.7±7.6	24.1±0.9	5390.0±46.3	747.3±12.0	1601.9±12.6
34		3173.5±11.2	682.9±5.4	22.4±0.7	4897.2±37.4	833.0±10.8	1508.3±9.3
no.	产地	Fe±SD	Ca±SD	Zn±SD	Mn±SD	Cu±SD	
1		59.2±0.9	1879.3±7.6	48.0±0.7	671.5±6.6	14.4±0.3	
2		54.3±0.7	2066.4±16.9	43.4±0.6	646.1±4.7	14.4±0.3	
3		56.6±1.0	1901.4±8.8	50.8±0.9	778.8±8.5	15.2±0.4	
4	库尔	58.5±0.8	1752.8±6.6	49.0±0.8	655.5±5.6	14.6±0.3	
5	勒	67.3±1.3	2135.6±16.0	54.6±1.0	763.0±4.2	16.4±0.6	
6		51.7±0.5	1968.0±12.9	41.3±0.7	615.3±4.2	13.7±0.3	
7		62.2±1.0	2089.5±12.7	55.8±1.5	855.8±5.1	15.8±0.6	
8		65.3±1.2	1957.6±10.4	54.7±1.3	732.0±8.1	16.3±0.6	
9		69.3±1.4	2773.6±10.4	61.2±1.1	560.8±4.7	17.5±0.7	
10		60.9±0.7	2780.5±16.9	57.6±0.7	517.5±4.1	15.7±0.4	
11		63.8±1.2	2616.8±7.5	61.6±0.8	525.5±4.4	17.1±0.5	
12	乌苏	74.7±1.5	2506.6±6.6	63.2±0.9	573.4±6.8	16.5±0.5	
13	昌吉	60.8±0.7	2713.2±8.7	65.9±1.1	551.3±3.6	16.6±0.7	
14		61.0±1.0	2889.1±17.1	58.6±0.6	541.2±2.9	16.0±0.6	
15		56.4±0.7	2773.8±12.9	59.0±0.6	473.4±3.8	14.6±0.4	
16		60.1±0.8	2811.8±12.3	60.7±0.8	579.5±8.9	16.1±0.7	
17		63.8±0.8	2134.4±13.8	56.8±0.7	710.8±7.0	16.5±0.6	
18		68.4±1.1	2278.6±16.4	55.5±1.0	655.2±9.3	16.2±0.5	
19	喀什	73.1±1.2	2043.6±9.7	67.6±1.8	673.8±6.2	17.3±0.5	
20		64.7±0.9	2084.0±10.6	61.7±1.4	553.8±7.5	16.7±0.8	
21		74.2±1.5	2393.1±17.1	61.6±1.0	683.9±8.7	18.3±0.7	
22		55.0±1.3	3053.8±20.7	65.0±1.1	565.7±7.4	29.3±0.9	
23		57.8±1.7	3231.8±21.2	52.1±0.7	519.2±6.0	29.2±0.8	
24		49.0±0.8	3059.9±16.4	60.8±1.1	567.5±9.5	27.5±0.5	
25	伊犁	38.0±0.7	2500.1±12.7	59.2±0.7	520.9±6.9	24.8±0.7	
26		50.6±0.8	2611.2±16.8	64.4±0.8	538.0±8.2	26.7±0.8	
27		49.4±0.7	2602.0±14.4	52.6±0.6	555.0±6.2	27.8±0.6	
28		52.1±1.1	3089.2±17.1	61.7±1.0	773.3±8.3	26.7±0.4	
29		43.5±1.0	3026.8±10.3	54.4±1.2	471.3±6.4	30.6±0.9	
30		53.4±0.9	3178.7±13.7	65.0±1.3	511.5±5.1	15.0±0.3	
31		56.7±1.5	3375.6±17.0	69.0±1.5	543.2±5.2	16.5±0.9	
32	塔城	55.5±0.9	3304.7±18.0	68.3±1.0	535.0±5.8	16.2±0.6	
33		56.1±1.2	3338.2±16.2	69.0±1.4	540.7±6.0	15.8±0.5	
34		52.8±0.8	3143.1±11.1	64.7±1.9	507.5±4.7	14.6±0.3	

2.2 相关性分析

所有元素的相关性分析如表 2 所示, 相关系数绝对值从 0 到 1, 表示元素之间的相关性由弱到强。结果表明, 元素 P、Zn 与其他元素都具有正相关性, 除了 Mg 和 Mn; K、Na、B、Ca、Cu 与其他元素都具有正相关性, 除了 Mg、Fe 和 Mn; N 与其他元素

都具有正相关性, 除了 Fe 和 Mn; Mg 与其他元素都具有负相关性, 除了 N、Fe 和 Mn; Fe 与其他元素都具有负相关性, 除了 P、Mg、Zn 和 Mn; Mn 与其他元素都具有负相关性, 除了 Mg 和 Fe; 按照 Gong 等^[17]的相关性分类方法, 同一类型中的元素显著正相关。所以, 不同产地甜菜的元素可以分为 6 类, I 类包括 P 和 Zn, II 类包括 K、Na、B、Ca 和 Cu, III~VI

类分别包括 N、Mg、Fe 和 Mn。

表 2 甜菜块根中常量和微量元素含量的相关性矩阵

Table 2 Correlation matrix for the contents of common and trace elements in sugar beet roots

元素	K	Na	B	N	P	Mg	Fe	Ca	Zn	Mn	Cu
K	1										
Na	0.500	1									
B	0.796	0.513	1								
N	0.263	0.257	0.453	1							
P	0.591	0.324	0.435	0.089	1						
Mg	-0.754	-0.340	-0.534	0.033	-0.505	1					
Fe	-0.256	-0.056	-0.593	-0.113	0.090	0.212	1				
Ca	0.874	0.311	0.828	0.171	0.581	-0.733	-0.346	1			
Zn	0.725	0.516	0.479	0.211	0.589	-0.522	0.141	0.625	1		
Mn	-0.679	-0.369	-0.559	-0.068	-0.425	0.824	0.363	-0.632	-0.344	1	
Cu	0.448	0.397	0.764	0.617	0.110	-0.022	-0.489	0.390	0.089	-0.227	1

注：加粗表示较高相关性（相关性大于 0.7）。

2.3 主成分和聚类分析甜菜块根中 11 种元素含量

表 3 描述了主成分分析初始解对原有变量总体描述情况。从表 3 中可以看到所提取的主成分 (PCs) 的特征值和累计方差贡献率，总方差的 79.45% 的贡献来自前 3 个 PCs；一般情况下，按照“Kaiser 准则”，将特征值小于 1 的 PCs 予以放弃，只保留特征值大

于 1 的 PCs^[18]，即一个 3 因子模型解释了试验数据的 79.45%。前 3 个旋转提取成分的载荷因子如表 4 所示，每一列载荷值都是各个变量与主成分的相关系数，可以反映各指标对主成分贡献的大小，符号表示各指标对改变主成分值的增减效果。PC1 与 K、Na、B、P、Ca、Zn、Cu 具有很好的正相关性；PC2 与 N 和 Cu 具有很好的正相关性，而与 Fe 具有很好的负相关性；PC3 仅与 N 和 Fe 具有很好的正相关性。

表 3 主成分分析的特征值和累积方差贡献率

Table 3 Eigenvalues and cumulative variance contribution estimated by a principal component analysis

主成分	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
特征值	5.462	1.933	1.344	0.697	0.526	0.447	0.271	0.147	0.096	0.061
方差贡献率/%	49.657	17.577	12.217	6.332	4.782	4.065	2.462	1.337	0.877	0.554
累积方差贡献率/%	49.657	67.234	79.450	85.782	90.565	94.63	97.092	98.429	99.307	99.86

表 4 前 3 个旋转提取成分 PCs 载荷因子

Table 4 First three loading factors extracted by PCA with varimax rotation

元素	K	Na	B	N	P	Mg	Fe	Ca	Zn	Mn	Cu
PC1	0.941	0.592	0.904	0.352	0.635	-0.77	-0.383	0.897	0.691	-0.752	0.542
PC2	-0.113	0.041	0.363	0.583	-0.416	0.420	-0.569	-0.103	-0.392	0.174	0.762
PC3	0.024	0.396	-0.047	0.507	0.229	0.320	0.625	-0.147	0.430	0.393	0.143

注：加粗表示较高得分（其绝对值大于 0.500）。

采用统计分析软件 XLSTAT 计算 34 个甜菜样品的 PCs 值，分别以 PC1 为 X 轴、PC2 为 Y 轴，将 34 个样品点分别标入坐标系中，即得到 PCs 得分的二维散点图（图 1）。由图 1 可见，每个点都是由原 11 维空间的样品点降维映射而来，反映了 34 个样品的分类情况，PCA 可以明显将新疆甜菜五大产区分开。图中每一个圈代表这种样品的整体特性，不同样品的类间

品质差异可以通过主成分得分图上的间隔距离表征，两类样品的间隔越远说明其品质特性差别越大。CA 将甜菜样品分为 5 类，CA 显示了与 PCA 相似的结果，如图 2 所示。聚类分析结果在一定程度上反映了元素在甜菜资源不同品种之间存在较大遗传差异，植物的化学成分与植物的亲缘关系之间有着一定的联系，亲缘关系相近的种类往往含有相同的化学成分。同时实

验发现, 元素组成能够提供地域来源独特的标识, 成为食品及其原料产地较好的溯源指标; 根据不同元素的不同特征, 对于来自不同地区的食品及其原料进行判别是非常可行的。

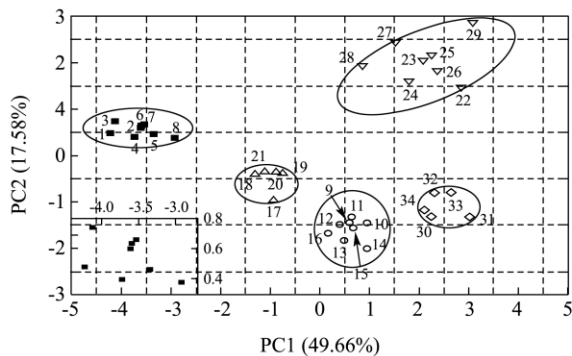


图1 5个不同产地的34个甜菜块根元素含量数据的主成分分析的PC1/PC2二维散点图

Fig.1 Two-dimensional scatter diagram of PC1 and PC2 in the PCA of the element content data for 34 sugar beet roots from five different geographical regions

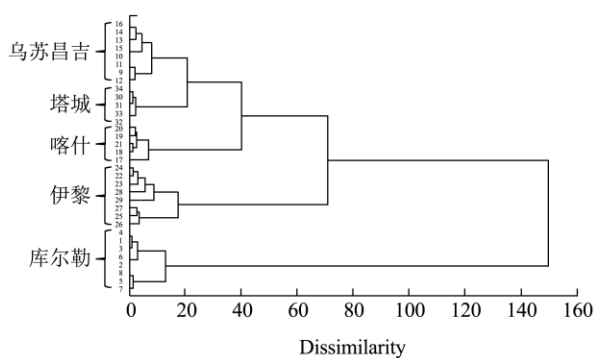


图2 不同产地甜菜块根元素含量数据的聚类分析树状图

Fig.2 Dendrogram of a cluster analysis of the element content data for sugar beet roots from different geographical regions

注: 样品序号和名称见表1, 其中: ■: 库尔勒; ○: 乌苏昌吉; △: 喀什; ▽: 伊犁; ◆: 塔城。

3 结论

3.1 不同产地甜菜中元素含量有明显差异, K、Na、B、N、P、Mg、Fe、Ca、Zn、Mn 和 Cu 的平均含量分别为: 2821.1、710.0、19.8、4855.2、736.9、2362.1、58.7、2590.1、58.7、602.0 和 18.7 mg/kg; 甜菜资源中成分的含量变化的可能原因存在于产地环境、采收时间等因素的影响。

3.2 分析了新疆不同产地甜菜的元素组成, 运用主成分分析和聚类分析对 34 个不同产地甜菜进行分析评价, 促进了甜菜资源开发利用及品质评价; 通过不同产地甜菜品质性状的主成分分析, 将 11 项甜菜主要营养品质性状转化为前 3 个主成分。这 3 个主成分提供

了原性状 79.45% 的信息, 可以作为甜菜品质性状的综合指标。通过前 3 个主成分分析得出, 甜菜 K、Na、B、P、Mg、Ca、Zn、Mn、Cu 含量首先综合反映其品质状况, 其次为 N 和 Fe。

3.3 以元素含量为指标采用聚类分析对新疆甜菜样品进行分类, 可将新疆甜菜五大产区区分开来, 在一定程度上体现了甜菜资源的区域性, 同时也为甜菜资源的产业链开发及其资源利用提供参考。

参考文献

- [1] Lafta A M, Fugate K K. Dehydration accelerates respiration in postharvest sugarbeet roots [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 54: 32-37
- [2] Jansen R, Burba M. Progress in sugar beet quality by breeding [J]. 64th Congress, Institut International de Recherches Betteravières, Bruges, Belgium, 26-27 June 2001, pp. 195-204
- [3] Beek M A V, Huijbregts A W M. Internal quality aspects of sugar beet [J]. *Proceedings (Fertiliser Society), For Sugar Beet Research*, 1986, 252: 20-22
- [4] Patras A, Brunton N P, Downey G, et al. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on in vitro antioxidant activity [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011, 24:250-256
- [5] Bong Y S, Shin W J, Gautam M K, et al. Determining the geographical origin of Chinese cabbages using multi-element composition and strontium isotope ratio analyses [J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(4): 2666-2674
- [6] Luyckx D, Ruth S M. An overview of analytical methods for determining the geographical origin of food products [J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(2): 897-911
- [7] Lopez-cortes I, Salazar-Garcia D C, Malheiro R, et al. Chemometrics as a tool to discriminate geographical origin of *Cyperus esculentus* L. based on chemical composition [J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 51: 19-25
- [8] 张晓焱, 苏学素, 焦必宁, 等. 农产品产地溯源技术研究进展 [J]. *食品科学*, 2011, 31(3): 271-278
ZHANG Xiao-yan, SU Xue-su, JIAO Bi-ning, et al. Research Progress in Methods for Geographical Origin Traceability of Agricultural Products [J]. *Food Science*, 2011, 31(3): 271-278
- [9] Şerife T. Determination of trace elements in commonly consumed medicinal herbs by ICP-MS and multivariate analysis [J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(4): 2504-2508

- [10] Kelly S, Heaton K, Hoogewerff J. Tracing the geographical origin of food: The application of multi-element and multi-isotope analysis [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2005, 16(12): 555-567
- [11] Nikkarinen M, Mertanen E. Impact of geological origin on trace element composition of edible mushrooms [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2004, 17(3-4): 301-310
- [12] 焦阳,尹海波,张乐,等.基于ICP-MS对不同产地小根蒜无机元素的主成分分析和聚类分析[J].*药物分析杂志*,2011, 31(11):2063-2066
JIAO Yang, YIN Hai-bo, ZHANG Le, et al. Principal Component Analysis and Cluster Analysis of Inorganic Elements Based on ICP-MS in *Allium Macrostemon* from Different Areas [J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2011, 31(11): 2063-2066.
- [13] 沈晓盛,李彦霖,张海燕,等.南极磷虾中氟与矿质元素的分布特征及其相关性分析[J].*现代食品科技*,2013,29 (9) :2279-2284
SHEN Xiao-sheng, LI Yan-lin, ZHANG Hai-yan, et al. Distribution and Relationship of Fluoride and Mineral Elements in Antarctic Krill [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29 (9) : 2279-2284
- [14] Kelly S, Baxter M, Chapman S, et al. The application of isotopic and elemental analysis to determine the geographical origin of premium long grain rice [J]. *European Food Resource and Technology*, 2002, 214(1): 72-78
- [15] Dursun I, Tugrul K M, Dursun E. Some physical properties of sugarbeet seed [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2007, 43: 149-155
- [16] Gong S, Luo L, Gong W, et al. Multivariate analyses of element concentrations revealed the groupings of propolis from different regions in China [J]. *Food Chemistry*, 2012, 134: 583-588
- [17] Shin E, Craft B D, Pegg R B, et al. Chemometric approach to fatty acid profiles in Runner-type peanut cultivars by principal component analysis (PCA) [J]. *Food Chemistry*, 2010, 119: 1262-1270
- [18] Kaiser H F. The application of electronic computers to factor analysis [J]. *Educational and Psychological Measurement*, 1960, 20: 141-151