

李 健,张媛媛,张 敏,等. 基于主成分分析方法的蓝莓矿质营养吸收综合评价[J]. 江苏农业科学,2020,48(1):139-142.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.01.025

# 基于主成分分析方法的蓝莓矿质营养吸收综合评价

李 健<sup>1</sup>,张媛媛<sup>1</sup>,张 敏<sup>1</sup>,吴 林<sup>2</sup>,廖昌义<sup>1</sup>,徐德冰<sup>2</sup>

(1. 吉林农业大学信息技术学院,吉林长春 130118; 2. 吉林农业大学园艺学院,吉林长春 130118)

**摘要:**以湖南省汨罗市 6 种主栽蓝莓品种的叶片和土壤中矿物质营养含量为主要研究对象,利用主成分分析法对蓝莓中矿物质营养吸收情况进行了综合评价。结果表明,6 个蓝莓品种对矿质营养的吸收均有所不同,其中 Zn 元素与其他矿质营养的吸收均出现拮抗现象,经主成分分析得出前 3 个主成分累计贡献率达 93.202 8%,并得出主成分的表达式,证明 Ca、Fe、Mn、Cu 为主要特征性元素,而雷戈西、都克、蓝丰 3 个品种综合得分依次为 1.707 3、0.718 5、-0.107 2,表明这 3 个蓝莓品种对矿质营养的吸收较好,与实际检测结果相吻合,从而表明构建的主成分分析综合评价模型科学合理,评价方法可行。

**关键词:**蓝莓;矿质营养;主成分分析;综合评价

**中图分类号:** S663.901 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)01-0139-04

蓝莓(blueberry),学名越橘,杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(*Vaccinium* spp.)小浆果类果树。蓝莓的果实中含有大量的抗氧化活性物质,如花青素、叶黄素等<sup>[1]</sup>。目前,我国蓝莓产业在产业发展、栽培技术、发酵技术等方面有较多的研究。如阳翠等针对蓝莓栽培技术研究了不同营养的土壤配方与肥料配比对蓝莓生长的影响<sup>[2]</sup>;黄学虹着重研究区域性蓝莓产业的发展现状<sup>[3]</sup>;刘鑫等重点探索蓝莓酵素的最佳发酵工艺条件及其方案优化<sup>[4]</sup>;谢国芳等从采前喷施糖醋螯合钙的角度对蓝莓的外观以及品质进行了研究<sup>[5]</sup>;龚辉从超声处理技术的角度探索其对蓝莓花色苷稳定性的影响<sup>[6]</sup>。但目前从数学角度进行综合评价的研究尚未开展,因此本研究着重研究蓝莓对土壤中矿质营养吸收的综合评价,以为后续蓝莓中矿质营养研究提出新的方法。本研究利用主成分分析方法对 6 个蓝莓品种土壤和叶片中的矿质营养情况建立主成分综合评价

模型,筛选出影响蓝莓对土壤的矿质营养吸收状况表现显著的元素,并就对矿质营养的吸收情况进行综合评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料选取

采样地点位于湖南省汨罗市蓝莓试验种植基地,试验时间为 2016 年 3 月至 2018 年 1 月,6 个试验蓝莓品种分别是北陆(Northland)、蓝丰(Bluecrop)、都克(Duke)、雷戈西(Legacy)、密斯蒂(Misty)和奥尼尔(O'Neal),树势较好,无病虫害,常规统一管护。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 样本调查方法** 土壤采样采用不锈钢或非金属取样工具(因为土壤中必定含有微量元素),采集 0~20 cm 的耕作层土壤,去除石砾、残存物等多余杂质,随后装入规定的样品包装袋并粘贴标签<sup>[7]</sup>。叶片采样时利用对角线五点采样法采集,每个品种的无病虫害植株各 30 株,从每个植株上的不同位置选取完好无损叶片 40 张,装入规定的样品包装袋并粘贴标签<sup>[8]</sup>。最终对选取的土壤和叶片样本进行元素测定<sup>[9-10]</sup>,并计算蓝莓对矿质营养吸收的情况。

**1.2.2 统计方法** 本研究基于主成分分析方法,应用 Matlab 2014b 对采集的土壤和蓝莓的相关数据进行数据处理以及统计分析。

收稿日期:2018-11-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:41601454);吉林省科技发展计划(编号:20150204058NY、20160519014JH);吉林省长春市科技计划(编号:14NK027)。

作者简介:李 健(1981—),男,吉林长春人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事生物信息学、物联网方面的研究。E-mail:liemperor@163.com。

通信作者:吴 林,硕士,教授,硕士生导师,主要从事蓝莓等小浆果品种选育、栽培生理和产业经济方面的研究。E-mail:310710966@qq.com。

2 结果与分析

2.1 主成分分析方法

2.1.1 数据选取 本研究通过样本调查方法选取不同品种的蓝莓对土壤中矿质营养的吸收情况的数据,并建立矿质营养元素集:

$$U = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)。$$

表 1 6 个蓝莓品种土壤中各矿质营养含量分析结果

品种	含量(mg/g)								
	N	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Cu	Zn
奥尼尔	0.135 1	0.022 4	0.427 1	0.057 0	21.013 5	1 790.071 2	208.354 8	12.196 2	10.475 5
都克	0.156 8	0.010 6	0.373 8	0.064 9	19.662 0	1 757.469 6	126.732 5	8.004 1	9.459 8
雷戈西	0.159 5	0.015 7	0.232 9	0.028 9	29.175 2	1 812.460 0	149.418 1	4.298 7	9.545 9
密斯蒂	0.156 5	0.013 9	0.427 5	0.054 7	34.726 2	1 845.899 9	149.678 3	9.030 6	11.524 6
蓝丰	0.128 7	0.012 6	0.396 8	0.051 8	23.167 6	1 709.652 5	170.907 3	11.718 5	12.511 0
北陆	0.189 3	0.014 6	0.203 1	0.052 3	34.000 0	1 869.702 9	130.058 0	10.929 3	10.167 1

表 2 6 个蓝莓品种叶片中各矿质营养含量分析结果

品种	含量(mg/g)								
	N	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Cu	Zn
奥尼尔	2.221 6	0.630 2	0.559 9	0.194 1	0.085 7	65.049 9	134.234 3	8.503 3	22.554 7
都克	1.816 4	0.555 1	0.761 3	0.137 3	0.161 6	159.581 7	240.888 4	13.212 8	15.333 0
雷戈西	2.513 6	0.518 4	0.817 8	0.197 6	0.137 2	135.754 6	273.103 4	8.908 7	8.631 3
密斯蒂	1.643 3	0.466 7	0.374 8	0.121 1	0.101 8	149.808 4	207.756 9	5.581 8	19.607 0
蓝丰	2.044 6	0.562 8	0.439 8	0.222 7	0.131 5	81.485 2	191.531 7	7.696 5	22.431 3
北陆	1.840 2	0.433 7	0.666 4	0.117 3	0.133 3	150.959 5	208.689 1	13.384 2	19.577 3

表 3 6 个品种的蓝莓对矿质营养元素的吸收情况分析结果

品种	含量(mg/g)								
	N	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Cu	Zn
奥尼尔	15.868 4	28.645 8	1.311 3	3.594 4	0.004 1	0.036 3	0.644 3	0.697 0	2.152 2
都克	11.352 4	50.466 5	2.035 6	2.112 9	0.008 2	0.090 8	1.900 8	1.651 6	1.620 8
雷戈西	15.710 3	32.401 5	3.509 7	6.815 3	0.004 7	0.074 9	1.827 8	2.071 8	0.903 8
密斯蒂	10.270 3	33.333 3	0.877 9	2.201 7	0.002 9	0.081 2	1.388 0	0.618 1	1.702 0
蓝丰	15.727 9	43.290 0	1.107 9	4.282 4	0.005 7	0.047 7	1.120 3	0.656 7	1.793 1
北陆	9.685 0	28.913 9	3.282 7	2.256 4	0.003 9	0.080 7	1.604 6	1.224 5	1.925 0

2.1.2 建立模型 进行数据分析时,利用样本数据表示总体,令  $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$ , 将表 1 至表 3 中的数据当作总体样本,对样本进行主成分算法分析,得到各个主成分得分,并计算各个主成分的贡献率之和,若贡献率大于 80% 就可以做到数据降维的作用<sup>[11]</sup>。

2.2 模型求解

为了确定 6 个蓝莓品种对 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 等一些矿质营养的吸收情况,本研究采用主成分分析方法建立主成分综合评价模型,该方法是将多个指标变量变化为数量较少的,并且相互之间没有相关性的综合指标。主成分分析定义公

其中  $x_1 \sim x_9$  为蓝莓对各元素的吸收量,按照指标顺序依次记为 N、K、Ca、Mg、P、Fe、Mn、Cu、Zn 等 9 种元素。其中 6 个蓝莓品种的土壤、叶片中矿质营养数据见表 1、表 2。本研究用某种矿物质的叶片与土壤中该矿物质含量数据的比值作为蓝莓对土壤该矿物质吸收状况的衡量,进而得到 6 个品种的蓝莓对矿质营养元素的吸收情况,数据如表 3 所示。

式如下<sup>[12]</sup>:

设样品的数量为  $n$ , 每个样品可以进行观测  $p$  个指标:  $X_1, X_2, \cdots, X_p$ , 从而给出原始数据的初始矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{np} \end{bmatrix}。$$
 (1)

式中:  $X_1 = (X_{1i}, X_{2i}, \cdots, X_{ni}), i = 1, 2, \cdots, p$ 。利用初始矩阵  $X$  的  $p$  个指标  $X_1, X_2, \cdots, X_p$ , 进行线性组合, 得到:

$$\begin{cases} Y_1 = a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + \cdots + a_{p1}X_p \\ Y_2 = a_{12}X_1 + a_{22}X_2 + \cdots + a_{p2}X_p \\ \vdots \\ Y_p = a_{1p}X_1 + a_{2p}X_2 + \cdots + a_{pp}X_p \end{cases} \quad (2)$$

式中： $i=1,2,\cdots,p$ ,  $X_i$  是  $n$  维向量,所以  $Y_i$  也是  $n$  维向量。

利用主成分分析法对湖南省汨罗市不同蓝莓品种对矿质营养吸收情况的相关数据应用 Matlab 软件进行统计分析,并依次得到相关系数矩阵数据所对应的特征值、贡献率及累计贡献率<sup>[13]</sup>。从表 4 中可以发现,蓝莓对矿质营养的吸收中前 3 个特征值的贡献率为 93.208 0%,符合主成分分析法贡献率累加和 >80% 的要求,因此对于其主成分而言,蓝莓对矿质营养的吸收情况只需 3 个主成分便可以表现出蓝莓对 9 种矿质营养吸收情况的特征<sup>[14-15]</sup>。通过主成分分析可以得到蓝莓中各个元素与相应主成分的相关系数表。

表 4 蓝莓样本相关系数矩阵数据的特征值、贡献率及累计贡献率分析结果

特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
4.023 0	44.699 7	44.699 7
2.544 6	28.273 0	72.972 7
1.821 2	20.235 3	93.208 0
0.541 3	6.014 1	99.222 1
0.070 0	0.777 9	100.000 0
0.000 0	0.000 0	
0.000 0	0.000 0	
0.000 0	0.000 0	
0.000 0	0.000 0	

由表 5 可以得出前 3 个主成分的表达式如下：

$$Y_1 = -0.114\ 8x_1 + 0.171\ 3x_2 + 0.365\ 0x_3 + 0.130\ 2x_4 + 0.234\ 8x_5 + 0.392\ 8x_6 + 0.479\ 4x_7 + 0.462\ 6x_8 - 0.396\ 1x_9; Y_2 = 0.536\ 3x_1 - 0.244\ 1x_2 + 0.188\ 1x_3 + 0.594\ 5x_4 - 0.137\ 8x_5 - 0.337\ 7x_6 - 0.145\ 3x_7 + 0.167\ 9x_8 - 0.285\ 6x_9; Y_3 = 0.341\ 8x_1 + 0.622\ 9x_2 - 0.304\ 4x_3 + 0.063\ 7x_4 + 0.599\ 1x_5 - 0.190\ 0x_6 - 0.058\ 2x_7 - 0.003\ 0x_8 + 0.005\ 2x_9。$$

第 1 主成分 ( $Y_1$ ) 主要反映了蓝莓对土壤中的矿质营养元素 Ca、Fe、Mn、Cu 等的矿质营养吸收起到促进作用,而 N、Zn 对蓝莓其他矿质营养吸收起到拮抗作用。同理,第 2 主成分 ( $Y_2$ ) 主要反映了蓝莓对土壤中矿质营养元素 N、Mg 吸收状况,以及其对蓝莓吸收矿物质元素 K、P、Fe、Mn、Zn 等起到拮抗作用。第 3 主成分 ( $Y_3$ ) 主要反映了蓝莓对土壤中 N、K、P 元素吸收的促进作用。综合评价模型为： $Z = 0.447\ 0Y_1 + 0.282\ 7Y_2 + 0.202\ 3Y_3$ 。

表 5 蓝莓中各个元素与相应主成分的相关系数

矿物质元素	主成分		
	1	2	3
N	-0.114 8	0.536 3	0.341 8
K	0.171 3	-0.244 1	0.622 9
Ca	0.365 0	0.188 1	-0.304 4
Mg	0.130 2	0.594 5	0.063 7
P	0.234 8	-0.137 8	0.599 1
Fe	0.389 2	-0.337 7	-0.190 0
Mn	0.479 4	-0.145 3	-0.058 2
Cu	0.462 6	0.167 9	-0.003 0
Zn	-0.396 1	-0.285 6	0.005 2

从表 6 可以看出雷戈西、都克、蓝丰蒂的综合得分依次为 1.707 3、0.718 5、-0.107 2,位列前 3,由此说明这 3 个蓝莓品种对矿质营养的吸收较好。

表 6 主成分得分及排名

品种	第 1 主成分得分	第 2 主成分得分	第 3 主成分得分	综合得分	排名
奥尼尔	-2.732 6	0.970 3	0.091 3	-0.928 6	5
都克	1.998 3	-1.738 0	1.564 8	0.718 5	2
雷戈西	2.468 2	2.453 5	-0.443 2	1.707 3	1
密斯蒂	-0.886 3	-1.259 7	-1.015 9	-0.957 9	6
蓝丰	-1.265 8	0.516 2	1.544 9	-0.107 2	3
北陆	0.418 2	-0.942 2	-1.741 8	-0.431 9	4

3 结论

本研究基于主成分分析法、应用 Matlab 软件对采集的数据进行分析处理,得到蓝莓对土壤中矿质营养吸收情况的评价。结果表明,6 个蓝莓品

种对矿质营养的吸收表现出明显差异。雷戈西和都克 2 个品种的蓝莓对土壤中矿物质营养吸收的最好,且确认其以 Ca、P、Fe、Mn、Cu 为主要特征性元素。密斯蒂和奥尼尔两个品种的蓝莓对土壤的矿质营养吸收情况较为不好。从第 1 主成分看出,N、

Zn 元素对其他蓝莓矿质营养的吸收起到一定的拮抗作用,尤其 Zn 元素对其他元素的拮抗作用更为明显,从原始数据也可以看出奥尼尔品种蓝莓对 N、Zn 元素吸收较多,从而影响了整体吸收率,使蓝莓对矿质营养的吸收下降。因此,在今后蓝莓施肥过程中,应少施含 N、Zn 元素的肥料,避免大量混施,减少拮抗作用效果。同时,在蓝莓种植选址过程中,应充分考虑气候条件,针对土壤中 N、Zn 元素含量较多的区域,优先推荐雷戈西、都克、蓝丰和北陆等品种,避免种植奥尼尔和密斯蒂 2 个品种。综上所述,该评价方法评价结果与实际相符合,初步验证了该方法的科学合理性,今后将进一步对该评价模型进行优化,为蓝莓产业精准施肥、优化品种的选择奠定理论基础。

#### 参考文献:

- [1] 吴 林. 中国蓝莓 35 年——科学研究与产业发展[J]. 吉林农业大学学报,2016,38(1):1-11.
- [2] 阳 翠,董顺文,陈昌琳,等. 盆栽蓝莓栽培技术研究[J]. 现代农业科技,2018(8):70-71,76.
- [3] 黄学虹. 南陵县蓝莓产业发展情况调研[J]. 现代农业科技,2018(8):108-109.
- [4] 刘 鑫,朱 丹,牛广财,等. 蓝莓酵素发酵工艺优化[J]. 中国酿造,2018(3):171-175.

(上接第 138 页)

- [6] 李华锋,滕 杰,杨家干,等. 连南栽培型古茶树资源叶片表型性状遗传多样性及聚类分析[J]. 中国农学通报,2016,32(36):109-114.
- [7] 江新风,李文金,杨普香. 江西省茶树种质资源研究进展[J]. 蚕桑茶叶通讯,2016(5):29-31.
- [8] 陈 亮,杨亚军,虞富莲. 茶树种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2005:7-64.
- [9] Liang W Y, Chen W J, Wu L F, et al. Quality evaluation and chemical markers screening of *Salvia miltiorrhiza* Bge. (Danshen) based on HPLC fingerprints and HPLC-MS<sup>n</sup> coupled with chemometrics[J]. *Molecules*,2017,22(3):478.
- [10] Jiang Y Y, Zhong G C, Wang L, et al. The use of principal component analyses and hierarchical cluster analyses in the quality evaluation of *Salvia miltiorrhiza* Bunge[J]. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*,2014,6(4):445-451.
- [11] Han Z C, Pan X J, An H M, et al. Genetic diversity of local persimmon in Guizhou based on phenotypic traits[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*,2014,34(6):1152-1163.
- [12] Last L, Luescher G, Widmer F, et al. Indicators for genetic and phenotypic diversity of *Dactylis glomerata* in Swiss permanent

- [5] 谢国芳,杨飞艳,陈欢欢,等. 采前喷施糖醋螯合钙对蓝莓外观及品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2018,44(2):167-170.
- [6] 龚 辉. 超声处理对蓝莓花色苷稳定性的影响[D]. 杭州:浙江大学,2018.
- [7] 冉隆俊. 夏萝卜施沼肥试验效果探讨[J]. 农业科技与信息,2010(13):35.
- [8] 白永超,卫旭芳,陈 露,等. 笃斯越橘果实、叶片矿质元素和土壤肥力因子与果实品质的多元分析[J]. 中国农业科学,2018,51(1):170-181.
- [9] 胡忠全,俞宵丽. 光谱在土壤元素测定中的应用[J]. 工业,2015(20):59-60.
- [10] 赵东兴,李 春,李 芹,等. 微波消解-原子吸收分光光度法测定沉香叶中的矿物元素[J]. 微量元素与健康研究,2016,33(6):26-29.
- [11] 林海明,杜子芳. 主成分分析综合评价应该注意的问题[J]. 统计研究,2013,30(8):25-31.
- [12] 张 朋,张静佳,杨玉良,等. 12 种饮用干花中微量元素主成分的分析[J]. 武汉工程大学学报,2015,37(10):1-4.
- [13] 多本加. 四种补益药中微量元素含量的主成分分析[J]. 武汉工程大学学报,2015,37(7):30-33.
- [14] 匡立学,聂继云,李志霞,等. 不同苹果品种果实矿质元素含量的因子分析和聚类分析[J]. 中国农业科学,2017,50(14):2807-2815.
- [15] 杨春宁,孙志蓉,曲继旭,等. 基于主成分分析的天麻矿质元素综合评价研究[J]. 中医药导报,2016,22(20):52-54,61.

- grassland[J]. *Ecological Indicators*,2014,38(3):181-191.
- [13] Wang X, Wang X A, Zhu Y Y, et al. Phenotypic diversity in artificial sapling populations of *Pinus tabulaeformis* in Ziuling Mountain[J]. *Chinese Journal of Ecology*,2015,34(11):3050-3056.
- [14] Nguyen H P, Pongnak W, Soyong K, et al. Diversity of tea (*Camellia sinensis*) grown in Vietnam based on morphological characteristics and inter-primer binding sites (iPBS) marker[J]. *International Journal of Agriculture and Biology*,2016,18(2):385-392.
- [15] 乔婷婷. 茶树资源遗传多样性及其表型性状关联 EST-SSR 位点的初步鉴定[D]. 杭州:中国农业科学院,2010.
- [16] 蒋会兵,田易萍,陈林波,等. 云南茶树地方品种农艺性状与品质性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(4):634-640.
- [17] 王小萍,唐晓波,王迎春,等. 52 份茶树资源生化组分的表型多样性分析[J]. 茶叶科学,2012,32(2):129-134.
- [18] 李 瑞,肖 斌,宋红霞,等. 50 份茶树种质资源农艺性状及其聚类分析[J]. 西北农业学报,2011,20(10):107-111.
- [19] 王新超,陈 亮,杨亚军. 广西茶树资源生化成分多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2010,11(3):309-314,319.