

产地绿竹笋品质及土壤养分的主成分与典型相关分析

郑 蓉

(福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012)

摘要: 应用主成分、典型相关分析方法研究了福建和浙江的 12 个产地绿竹 *Dendrocalamopsis oldhami* 的鲜笋质量指标与土壤养分之间的相关性。结果表明: 依据笋品质性状的前 3 个主成分累积方差贡献率达到 84.658%, 可选取前 3 个主成分作为笋品质的综合指标。鲜笋的还原糖、水溶性总糖质量分数最能反映笋营养状况, 其次为水分, 第三为蛋白质与总灰分。笋品质性状与土壤养分指标有着显著典型相关关系, 尤其是第 1 典型变量之间相关系数为 0.999 99, 其相关信息接近占 2 组性状总信息的 100%。来自土壤养分指标的第 1 典型变量中 pH 值、全氮和有机质质量分数对绿竹品质具有较好的预测能力, 而鲜笋的还原糖、水溶性总糖、水分可被对方变量的第 1 典型变量所预测。表 3 参 15

关键词: 经济林学; 绿竹; 土壤养分; 笋品质; 主成分分析; 典型相关分析

中图分类号: S759.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)05-0710-05

Canonical correlation and principal components analysis of different production areas of *Dendrocalamopsis oldhami* with quality indicators of bamboo shoots and its soil nutrients

ZHENG Rong

(Fujian Academy of Forestry Science, Fuzhou 350012, Fujian, China)

Abstract: The analysis of principal components and canonical correlation was applied to study the correlation among quality indicators of bamboo shoots of *Dendrocalamopsis oldhami* and soil nutrients in 12 production areas in both Fujian Province and Zhejiang Province. The results showed that the cumulative variance rate of the first three principal components was 84.658 per cent in the principal component analysis. Therefore, the three principal components could be used as composite indicators which reflected the main quality characters of bamboo shoots. The first three principal components included the contents of reducing sugar and water-soluble total sugar, the second was water, and the third were protein and total ash. The quality characters of bamboo shoots were significantly correlated with soil nutrients, the first canonical correlation coefficient was 0.999 99 with the canonical information accounted for nearly 100 per cent of the total canonical information. The soil affected the quality characters of shoot mainly through its pH value, total nitrogen, and organic matter. The contents of reducing sugar, water-soluble total sugar and water in the shoots were predicated by the first canonical variables. [Ch, 3 tab. 15 ref.]

Key words: cash forestry; *Dendrocalamopsis oldhami*; soil nutrients; bamboo shoot quality; principal component analysis; canonical correlation analysis

由于遗传基因与环境因素的互作性, 定量评价一种植物的某些性状往往较为困难, 环境因子对植物生产力及品质性状影响的定量研究一直是林业工作者研究的热点。国内外大量研究结果指出, 气候和土

收稿日期: 2011-10-30; 修回日期: 2011-11-18

基金项目: 福建省重大科技项目(97-Z-27); 中央财政林业科技推广项目([2010]TK26); 国家林业局南方山地用材林培育重点实验室、福建省森林培育与林产品加工利用重点实验室资助项目

作者简介: 郑蓉, 高级工程师, 博士, 从事竹类研究。E-mail: zhengrongyy@163.com

壤因素是影响作物品质的重要因素^[1-2]。土壤作为生态系统中物质和能量交换的重要场所，植物生长过程所需水分和营养绝大部分是通过根系从土壤中吸收，土壤因子也影响着植物的生长和品质^[3-5]。绿竹 *Dendrocalamopsis oldhami* 是中国南方重要笋用竹种，鲜笋品质优良，深受海内外人士的青睐，绿竹产量和品质与栽培环境条件密切相关，但迄今对于绿竹笋品质与土壤养分状况之间的研究尚缺乏相关报道。为此，本研究结合不同产地绿竹资源调查与分析基础上，应用主成分、典型相关分析方法研究绿竹笋品质综合性状及其与土壤养分的相关性，探讨影响绿竹笋品质的土壤主要养分因子，旨在为绿竹优质高产的土壤培肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究根据绿竹栽培区内主产地(包括福建的福安、尤溪、永泰、永春、漳平、同安、漳州、龙岩，浙江的凤岭、苍南、岱底、龙湖)共 12 个产地调查的原始数据，其中，土壤 pH 值(x_1)，碱解氮(x_2 , $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)，全氮(x_3 , $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)，有效磷(x_4 , $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)，速效钾(x_5 , $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和有机质(x_6 , $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。鲜笋主要质量指标：水解氨基酸总量(y_1 , $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)，还原糖(y_2 , $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)，水溶性总糖(y_3 , $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)，粗蛋白质(y_4 , $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)，水分(y_5 , %)，总灰分(y_6 , %)，粗纤维(y_7 , $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。有关产地概况及取样调查分析方法见文献[6-7]。

1.2 统计分析

1936 年，Hotelling 将复相关分析推广到多个随机变量与多个随机变量之间的相关关系的讨论中，提出了典型相关分析。其基本原理是为研究 2 组变量 x_1, x_2, \dots, x_r 和 y_1, y_2, \dots, y_s 之间的相关关系，分别选取若干有代表性的变量组成有代表性的综合指标。通过研究这 2 组综合指标之间的相关关系，来代替这 2 组变量间的相关关系，这些综合指标即为典型变量。本研究将绿竹 12 个产地土壤养分、鲜笋营养成分的原始数据分成 2 组，土壤养分指标记为 $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)'$ ，鲜笋品质性状记为 $Y = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7)'$ 。首先进行鲜笋品质性状的主成分分析，再开展土壤养分对鲜笋品质影响的典型分析。采用 DPS 6.55 数据处理系统进行主成分与典型相关分析。

2 结果与分析

2.1 绿竹鲜笋品质性状的主成分分析

已有研究表明：绿竹鲜笋主要营养成分之间存在一定的依存或制约关系^[7]，这决定了在笋品质性状分析时存在可能的信息重叠，因此，通过主成分分析的综合指标，首先来评价各产地绿竹笋的综合品质性状。

主成分的特征根和贡献率是选择主成分的依据。将鲜笋的 7 项质量指标转化成 7 个主成分，求算相关矩阵的特征值和贡献率(表 1)。分析结果显示：前 3 个主分量所构成的信息量占总信息量的 84.658%，

表 1 主成分的贡献率及特征向量

Table 1 Contribution rates and eigenvectors of principal components

性状	第 1 主分量	第 2 主分量	第 3 主分量	第 4 主分量	第 5 主分量
氨基酸	-0.329 3	-0.436 2	-0.089 1	0.650 5	0.312 3
还原糖	0.520 4	-0.117 0	0.147 7	0.079 3	0.291 2
水溶性总糖	0.494 5	-0.121 3	-0.071 1	-0.045 8	0.622 7
蛋白质	-0.096 5	-0.507 4	0.677 6	-0.453 6	0.000 0
水分	0.298 2	0.559 6	0.321 9	0.179 1	-0.062 5
总灰分	-0.344 1	0.353 3	0.583 8	0.290 2	0.325 2
粗纤维	-0.399 4	0.293 1	-0.248 5	-0.496 3	0.565 9
特征值	3.276	1.829	0.821	0.570	0.372
方差贡献率/%	46.807	26.122	11.729	8.147	5.309
累计方差贡献率/%	46.807	72.929	84.658	92.805	98.114

前5个主分量占总信息量的98.114%。选择主分量数为5时,计算各养分的特征向量(表1)。第1主分量主要反映了还原糖、水溶性总糖质量分数,它们的权重系数分别为0.5204和0.4945。第2主分量主要反映了水分,系数为0.5596。第3主分量反映是蛋白质与总灰分,系数分别为0.6776和0.5838。第4主分量是氨基酸质量分数,系数为0.6505。第5主分量代表是粗纤维质量分数,系数为0.5659。由此分析,绿竹鲜笋的还原糖、水溶性总糖质量分数最能综合反映出笋营养品质状况,其次为水分、蛋白质、总灰分,然后为氨基酸及粗纤维。

2.2 绿竹笋品质与土壤养分的典型相关分析

首先,将鲜笋品质与土壤养分之间的相关系数矩阵列于表2。从表2可知:土壤养分指标和笋品质性状的相关系数在-0.688至0.631,大部分指标间属中等正相关或负相关。 x_1 (pH值)与 y_2 (还原糖), y_3 (水溶性总糖), y_6 (总灰分), y_7 (粗纤维)之间的相关性达显著水平,其中, x_1 与 y_2 , y_3 具有正相关,其相关系数分别为0.631和0.576,当土壤pH值升高,鲜笋还原糖、水溶性总糖呈现增高变化,而 x_1 与 y_7 , y_6 呈负相关,其相关系数分别为-0.688和-0.594,即随着土壤pH值升高,鲜笋粗纤维、总灰分呈现降低的趋势; x_5 (速效钾)与 y_7 (粗纤维)也表现出显著负相关,相关系数为-0.603。

表2 土壤养分与笋养分品质的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between soil nutrients and quality characters of bamboo shoot

鲜笋指标	相关系数					
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
y_1	-0.499	0.208	0.301	-0.076	-0.059	0.490
y_2	0.631*	-0.030	0.091	0.277	0.303	-0.095
y_3	0.576*	-0.289	-0.267	-0.007	-0.046	-0.337
y_4	0.076	-0.376	0.436	0.412	0.019	0.281
y_5	0.385	0.109	-0.167	-0.079	0.248	-0.294
y_6	-0.594*	0.113	0.059	-0.145	0.050	0.266
y_7	-0.688**	-0.221	-0.518	-0.498	-0.603*	-0.203

说明:相关系数显著性水平 $r_{0.05}(11)=0.553$, $r_{0.01}(11)=0.684$ 。

其次,对笋品质与土壤养分的2组变量进行典型相关分析,利用卡方检验,可得到5组典型变量相关性,结果列于表3。由表3可得:当取 $\alpha=0.05$,只有第1组典型相关系数达0.01的显著水平,而其他4组典型变量均未达显著性水平,由此对第1对典型变量进行分析,用2组原始指标线性表达典型变量的系数建立的典型模型为:土壤养分指标的第1典型变量 $U_1=0.6670x_1+0.1049x_2-0.2273x_3+0.0160x_4-0.3222x_5+0.6233x_6$;笋营养成分的第1典型变量 $V_1=0.1911y_1-0.3891y_2+0.1930y_3+0.3176y_4+0.4895y_5-0.5345y_6-0.3856y_7$ 。

表3 典型相关系数

Table 3 Canonical correlation coefficients

典型相关系数	卡方值	自由度	显著水平
0.99999	165.78613	42	0.0000
0.99998	42.38153	30	0.0664
0.94646	7.89054	20	0.9926
0.84130	1.68391	12	0.9998
0.51862	0.00000	6	1.0000

由于原始变量的测量单位不一致,如果直接比较可能影响分析效果,考虑使用标准化的典型系数。即用标准化指标线性表达典型变量的系数为 $U_1=0.62897x_1^*-0.14134x_2^*-0.52370x_3^*+0.09684x_4^*-0.07808x_5^*+0.54285x_6^*$, $V_1=-0.06109y_1^*-0.60798y_2^*+0.59086y_3^*+0.27482y_4^*+0.32508y_5^*-0.29459y_6^*-0.09766y_7^*$ 。其中: $x_i^*(i=1,2,3,4,5,6)$, $y_j^*(j=1,2,3,4,5,6,7)$ 为相应的样本标准化变量。

由 U_1 中各标准化典型系数表明，各土壤养分指标对 U_1 的相对作用大小依次为 x_1^* (pH 值) $>$ x_6^* (有机质) $>$ x_3^* (全氮) $>$ x_2^* (水解氮) $>$ x_4^* (有效磷) $>$ x_5^* (速效钾)，其中， x_2^* ， x_3^* ， x_5^* 是负作用，且 x_4^* ， x_5^* 上的系数小于 0.1，作用较小，因此， U_1 近似地看成是 x_1^* (pH 值) 和 x_3^* (全氮) 和 x_6^* (有机质) 的加权差，以 x_1^* 上的权重稍大一些，说明土壤中 pH 值、有机质升高将有利于提高鲜笋的综合品质，但同时全氮的增加会下降鲜笋品质。

由 V_1 中各变量的标准化系数得出，绿竹鲜笋品质指标对 V_1 的相对作用大小依次为 y_2^* (还原糖) $>$ y_3^* (水溶性总糖) $>$ y_5^* (水分) $>$ y_6^* (总灰分) $>$ y_4^* (粗蛋白质) $>$ y_7^* (粗纤维) $>$ y_1^* (水解氨基酸总量)，其中 y_2^* ， y_6^* ， y_7^* 是负作用，且 y_1^* ， y_7^* 系数小于 0.1，作用最小，因此， V_1 近似地看成是 y_2^* (还原糖) 和 y_3^* (水溶性总糖)， y_5^* (水分) 的加权差，由于 x_1^* 与 y_2^* 相关系数为正值，而 y_2^* 典型变量的系数为负值，表明 y_2^* 为一个抑制变量。由此说明，在一定范围内提高土壤中 pH 值、有机质质量分数，不仅对提高鲜笋中水溶性总糖有明显的作用，而且可适当增加水分，但会引起还原糖的下降。

综上所述，典型相关系数平方(0.999 9)表明：第 1 典型变量之间的共享方差为接近 100.0%。即土壤养分指标与笋品质之间 1 对典型相关系数达 1% 显著水平，其中来自土壤养分指标的第 1 典型变量 U_1 的 x_1^* (pH 值)、 x_3^* (全氮) 和 x_6^* (有机质) 具有较好的预测能力，但只有笋主要养分指标中的 y_2^* (还原糖)， y_3^* (水溶性总糖)， y_5^* (水分) 可被对方变量的第 1 典型变量 V_1 所预测，因此，这些指标可分别作为今后不同产地绿竹土壤养分与笋品质关系分析的显著性指标。

3 讨论与小结

研究认为：在气候因素相似的情况下，土壤类型、质地和肥力水平等就成为决定作物品质优劣的重要因素，并且土壤因子也影响加工品质，最终决定其产品的用途^[8-10]。由于受到水分与极端气温的影响，绿竹目前主要栽培产区处于亚热带南部与南亚热带地区，气候环境条件大致相似，但在红壤、砂壤土等不同土壤上栽培的绿竹，其鲜笋产量与品质都存在一些差异^[7]。

本研究表明：通过绿竹鲜笋品质性状的主成分分析，将 6 项笋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 84.568% 的信息，可以作为鲜笋品质性状的综合指标。通过前 3 个主分量分析得出，绿竹鲜笋还原糖、水溶性总糖首先综合反映了笋营养品质状况，其次为水分，第 3 为蛋白质和总灰分。

通过笋品质性状与土壤养分指标典型相关分析得出，土壤中营养物质的水平在一定程度上影响到竹笋品质的表现。研究表明：土壤养分指标与笋品质性状之间第 1 对典型相关系数达 1% 显著水平，即土壤 pH 值、有机质质量分数对鲜笋品质具有较明显促进作用，土壤全氮则对鲜笋品质具有一定抑制作用。分析其原因，首先，土壤 pH 值对鲜笋品质的影响最大，这是因为它直接影响到土壤养分的有效性，决定多种元素在土壤中的形态与溶解性，而目前人工栽培绿竹林分长期使用化肥引起土壤酸化现象极为普遍，直接影响到土壤肥力状况；其次，土壤有机质对改善鲜笋品质方面也有良好作用，这与有机质是土壤硫、钙、铁、镁以及微量元素的重要来源有关^[11-12]，并且有机质对果实品质方面有改善作用^[13]；但是，在土壤养分水平较高的情况下，全氮、碱解氮的提高将不利于鲜笋品质的改善。有研究指出：过量的氮会减少植株光合产物的的分配量，降低脱落酸和吲哚乙酸的比值，加大蔗糖代谢相关酶的活性，最终造成果实含糖量的减少^[14]。施氮量过多，也会引起小麦 *Triticum aestivum* 等作物氮素的积累，并使籽粒产量和籽粒蛋白质含量降低^[15]。因此，在绿竹林地施用氮肥应注意其负面效应，避免过量施用氮肥，造成不必要的浪费和影响。土壤养分对笋品质的作用效应主要表现为对鲜笋中还原糖、水溶性总糖与水分的影响。在一定范围内，改善栽培土壤相关性状(pH 值、有机质)将利于提高鲜笋中水溶性总糖与水分，但可能对还原糖下降也有明显作用。

在当今竹林栽培正处于传统施肥技术向现代化施肥技术的转变阶段，开展绿竹专用复合肥的研制，探索因地制宜的施肥技术和配方比例，对促进绿竹生长，提高产量和品质具有重要作用。今后将进一步开展定量相关分析，研究高品质绿竹鲜笋的最适栽培土壤 pH 值、土壤有机质和全氮的质量分数。

参考文献:

- [1] 胡昌浩. 玉米栽培生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 51 - 130.
- [2] GRAYBOSCH R A. Genotypic and environmental modification of hard red winterwheat flour protein composition in relation to end-use quality [J]. *Crop Sci*, 1996, **36**: 296 - 300.
- [3] 刘占峰, 傅伯杰, 刘国华, 等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. 生态学报, 2006, **26** (3): 901 - 913.
LIU Zhanfeng, FU Bojie, LIU Guohua, *et al.* Soil quality concept, indicators and its assessment [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26** (3): 901 - 913.
- [4] 洪伟, 林存炎, 吴承祯, 等. 毛竹笋品质的区域分异性分析[J]. 福建林学院学报, 2007, **27** (4): 289 - 293.
HONG Wei, LIN Cunyan, WU Chengzhen, *et al.* Analysis of the regions variation for nutrition quality of the *Phyllostachys heterocyclus* var. *pubescens* bamboo shoots [J]. *J Fujian Coll For*, 2007, **27** (4): 289 - 293.
- [5] 涂常青, 王开峰, 温欣荣, 等. 沙田柚主产区土壤养分状况与果实品质关系初探[J]. 中国生态农业学报, 2009, **17** (6): 1128 - 1131.
TU Changqing, WANG Kaifeng, WEN Xinrong, *et al.* Relationship between soil nutrient and shatianyou fruit quality in its main production areas [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2009, **17** (6): 1128 - 1131.
- [6] 郑蓉. 绿竹不同产地土壤养分含量的综合分析[J]. 西南林学院学报, 2009, **29** (5): 46 - 50.
ZHENG Rong. Integrated analysis of soil nutrient contents from different production areas of *Dendrocalamopsis oldhami* [J]. *J Southwest For Coll*, 2009, **29** (5): 46 - 50.
- [7] 郑蓉, 郑维鹏, 方伟, 等. 绿竹笋形态性状与营养成分的产地差异分析[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27** (6): 845 - 850.
ZHENG Rong, ZHENG Weipeng, FANG Wei, *et al.* Diversity of shapes and nutrients in bamboo shoot of *Dendrocalamopsis oldhami* among different production areas [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27** (6): 845 - 850.
- [8] 汪芝寿, 曹承富, 孔令聪. 施肥对土壤肥力和作物产量及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 1995, **23** (3): 240 - 242.
WANG Zhishou, CAO Chengfu, KONG Lingcong. Effects of fertilizing on soil fertility and yield and quality of crop [J]. *J Anhui Agric Sci*, 1995, **23** (3): 240 - 242.
- [9] 雷振生, 吴政卿, 田云峰, 等. 生态环境变异对优质强筋小麦品质性状的影响[J]. 华北农学报, 2005, **20** (3): 1 - 4.
LEI Zhensheng, WU Zhenqing, TIAN Yunfeng, *et al.* Effects of environmental variations to main quality characters of the strong gluten wheat [J]. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2005, **20** (3): 1 - 4.
- [10] 黄勇, 杨清华, 李潮海, 等. 不同质地土壤对高油玉米产量和品质的影响[J]. 玉米科学, 2006, **14** (2): 127 - 129.
HUANG Yong, YANG Qinghua, LI Chaohai, *et al.* Effects of different soil texture on the yield and quality of high-oil corn [J]. *J Maize Sci*, 2006, **14** (2): 127 - 129.
- [11] 罗汝英. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 41 - 62.
- [12] 潘开文, 刘照光. 用关联度和聚类分析法研究连香树人工群落与环境的关系[J]. 应用生态学报, 2001, **12** (2): 161 - 167.
PAN Kaiwen, LIU Zhaoguang. Grey correlation and cluster analysis on relationship between *Cercidiphyllum japonicum* community and its environment [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12** (2): 161 - 167.
- [13] 刘松忠, 张强, 赵昌杰, 等. 果园土壤有机质对土壤特性与果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, **38** (36): 21104 - 21106.
LIU Songzhong, ZHANG Qiang, ZHAO Changjie, *et al.* Effect of soil organic matter on soil characteristics and fruit quality in orchard [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2010, **38** (36): 21104 - 21106.
- [14] 赵智中, 张上隆, 刘拴桃, 等. 高氮处理对温州蜜柑果实糖积累的影响[J]. 核农学报, 2003, **17** (2): 119 - 122.
ZHAO Zhizhong, ZHANG Shanglong, LIU Shuantao, *et al.* Effects of extra nitrogenous fertilizer on sugar accumulation in juice sacs of *Satsuma mandarin* fruit [J]. *Acta Agric Nucl Sin*, 2003, **17** (2): 119 - 122.
- [15] 赵俊晔, 于振文. 不同土壤肥力条件下施氮量对小麦氮肥利用和土壤硝态氮含量的影响[J]. 生态学报, 2006, **26** (3): 815 - 822.
ZHAO Junye, YU Zhenwen. Effects of nitrogen rate on nitrogen fertilizer use of winter wheat and content of soil nitrate-N under different fertility condition [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26** (3): 815 - 822.