

厚竹笋营养的地域变异及对生长环境的响应

李苑¹, 张艳华¹, 黎祖尧^{1,2*}, 张雷¹, 孙娅东¹

(1. 江西农业大学林学院, 南昌 330045; 2 江西省竹子种质资源与利用重点实验室, 南昌 330045)

摘要: 为了探索厚竹笋营养的地域变异及对生长环境变化的响应机制, 采用方差分析、Duncan 新复极差和相关系数等方法, 分析了 11 个厚竹种植基地的竹笋营养成分及其与气候、海拔和土壤等环境因子之间相关性。结果表明, 不同产地的厚竹笋总糖、淀粉、粗纤维和维生素 B1 含量差异较大, 蛋白质、单宁和维生素 E 含量差异较小。不同环境因子对厚竹笋营养品质影响程度不同, 降水量、日照时数和海拔高度影响极显著 ($P < 0.01$), 土壤碱解 N、速效 P 和有机质含量及 pH 值影响显著 ($P < 0.05$)。竹笋中不同营养成分对生长环境变化响应程度不同, 粗纤维、蛋白质和总糖响应敏感, 淀粉响应较敏感, 单宁、维生素 B1 和维生素 E 响应不敏感。粗纤维与土壤 pH 值及碱解 N 和有机质含量呈显著正相关, 与海拔高度、3 月份气温和土壤全 N 含量呈显著负相关; 淀粉与降水量呈显著正相关, 与海拔高度呈显著负相关; 单宁与 3 月份气温呈显著正相关, 而与土壤 pH 值呈显著负相关; 总糖则与土壤速效 K 呈显著负相关。

关键词: 厚竹; 竹笋营养; 地域变异; 环境因子; 响应机制

中图分类号: S795

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)01-0064-06

Regional variations of nutrition in *Phyllostachys edulis* 'Pachyloen' bamboo shoots and its response to environmental factors

LI Yuan¹, ZHANG Yanhua¹, LI Zuyao^{1,2}, ZHANG Lei¹, SUN Yadong¹

(1. Forestry College, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045;

2. Jiangxi Provincial Key Laboratory for Bamboo Germplasm Resources and Utilization, Nanchang 330045)

Abstract: In order to study how the nutrition in *P. edulis* 'Pachyloen' bamboo shoots varies with planting locations, as well as the response mechanism to the environment, we used numerous methods, including variance of analysis, Duncan's new multiple range method, and correlation coefficient, to analyze nutrient contents in the bamboo shoots from 11 planting sites and their correlations with the environmental factors, such as climate, altitude, and soil. The results showed that the contents of total sugar, starch, crude fiber, and vitamin B1 in the bamboo shoots from different plantings differed greatly, yet the differences in protein, tannin, and vitamin E were relatively small. The effects of different environmental factors on the nutritional quality of bamboo shoots were different. Precipitation, sunshine duration, and altitude showed very significant influence ($P < 0.01$) on shoot nutrition quality. Alkaline nitrogen, rapidly available P, organic matter, and pH value had significant influence ($P < 0.05$) on shoot nutrition. The nutritional responses in different bamboo shoots to environmental factors were different. The responses of crude fiber, protein, and total sugar to the environmental factors were sensitive; starch was relatively sensitive; yet tannin, vitamin B1, and vitamin E were not sensitive. The content of crude fiber was significantly positively correlated with the soil pH, alkaline hydrolytic nitrogen, and organic matter, while it was significantly negatively correlated with the altitude, temperature in March, and the total nitrogen in the soil. The starch content was significantly positively correlated with precipitation, while it was significantly negatively correlated with the altitude. The tannin content was significantly positively correlated with the temperature in March, while it was significantly negatively correlated with the soil pH. The total sugar content was significantly negatively correlated with the rapidly available K in the soil.

收稿日期: 2017-05-25

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2015BAD04B01)和中央财政林业科技推广示范项目(JXTG(2016)11)共同资助。

作者简介: 李苑, 硕士研究生。E-mail: 252400586@qq.com

* 通信作者: 黎祖尧, 教授。E-mail: jxlizuyao@126.com

Key words: *Phyllostachys edulis* ‘Pachyloen’; bamboo shoots nutrition; regional variation; environmental factors; response mechanism

竹笋营养成分是衡量笋用竹种优良与否的重要指标之一。徐秋芳等^[1]、王国玉等^[2]、杨奕等^[3]和赵景威等^[4]分别对雷竹、斑苦竹、箬竹和箭竹的竹笋营养成分进行了研究,结果显示,不同竹种或品种的竹笋营养成分差异较大。刘跃钧等^[5]和王进等^[6]研究了不同地理种源及引种地和原产地的方竹笋营养成分,郑蓉等^[7]对绿竹笋形态性状与营养成分的产地差异进行了分析,洪伟等^[8]分析了毛竹笋品质的区域分异性,表明同一竹种不同地理种源及原产地和引种地之间的竹笋营养成分有一定差异。徐秋芳等^[1]、林海萍等^[9]和姜培坤等^[10]分析了土壤养分和经营措施对雷竹笋营养品质的影响及雷竹笋重金属含量与施肥的关系,赖俊声等^[11]和张文元等^[12]研究了施肥对毛竹冬笋品质和地上器官的影响,得知土壤条件和施肥等经营措施对竹笋营养成分有显著影响。袁佳丽等^[13]和李黎等^[14]的研究表明,土壤—毛竹—大气之间的水势是驱动毛竹快速生长的关键因素。环境条件是影响植物生长发育和土壤理化性质的重要因素。但是,关于海拔、光照、降水、气温及土壤等环境因子对竹笋营养成分的综合影响及其程度,环境因子是不是造成同一种源地的厚竹在不同产地及种源地和引种地之间竹笋营养品质差异的重要原因,目前尚无定论。

厚竹(*Phyllostachys edulis* ‘Pachyloen’)又名厚皮毛竹、厚壁毛竹,是江西省特有的毛竹优良变异新品种,因其秆壁厚度是等径毛竹的1.8~2.0倍且性状稳定而得名^[15]。关于厚竹的研究,过去主要集中在种质性状^[15]、光合生理^[16-17]、形态解剖^[18-19]、

竹笋营养成分^[20]、竹秆结构性物质^[21-22]、竹材性状^[23]、抗寒性能^[24]和繁育技术^[25]等方面,方楷等^[26]对厚竹原产地与引种地的竹材成分质量进行了比较。研究表明:厚竹抗逆性、光能利用率、N代谢和利用水平均高于毛竹及其他变型;竹笋营养品质好,春笋中的蛋白质、氨基酸、粗纤维、灰分和脂肪等营养物质含量均明显高于毛竹,且竹笋近实心而可食率更高,作为笋用竹种推广前景广阔。厚竹于20世纪80年代发现于江西省万载县林区,1993年引种至江西农业大学竹种园,从2002年开始厚竹区域化试验,先后从江西农业大学竹种园引种至江西省内多个地区及福建、浙江、安徽、湖南和河南等省。本研究拟测定不同引种地的厚竹笋营养成分,并与种源地进行比较,探讨厚竹笋营养品质的地域变异,并研究气候、海拔和土壤等生长环境对竹笋营养品质的影响,旨在为有效推广厚竹这一优良种质资源,定向培育厚竹丰产优质笋用林等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试材采集

采样地点:江西、福建、浙江、安徽、湖南和河南等6省11个厚竹种植基地,各个采样地基本情况如表1。11个采样地中,江西省万载县高村乡严田村为厚竹原产地,天然纯林群落;其余采样地全部为厚竹引种地,人工纯林群落。采样对象:厚竹笋及土壤。采样时间:2016年3月28日至4月10日。

表 1 试验材料采集地情况

Table 1 Distribution of test material acquisition places

编号 Number	样品采集地 Sample collection	海拔/m Altitude	经度 Longitude	纬度 Latitude
1	江西赣州市林业科学研究所(赣州)	100~110	114°58'34.02"E	25°47'28.74"N
2	福建永安市中小径竹科学技术示范园(永安)	195~210	117°21'35.93"E	25°56'39.47"N
3	浙江富阳市渌渚镇莲桥村林场(富阳)	45~55	119°43'22.67"E	29°54'26.47"N
4	安徽黄山市太平镇绿竹山庄(黄山)	300~350	118°01'30.16"E	30°21'18.68"N
5	江西贵溪市鸿塘镇厚竹繁育基地(贵溪)	35~50	117°14'24.26"E	28°17'44.91"N
6	江西南昌县塔城乡磊鑫生态园(塔城)	25~30	116°05'41.23"E	28°30'21.43"N
7	江西南昌市江西农业大学竹种园(农大)	45~50	115°49'42.40"E	28°45'53.01"N
8	江西万载县高村乡严田村(万载)	600~700	114°26'24.78"E	28°06'33.38"N
9	湖南长沙市湖南省林业科学院基地(长沙)	65~75	112°56'0.15"E	28°13'52.99"N
10	湖南益阳市林业科学研究所(益阳)	50~60	112°20'58.02"E	28°33'25.44"N
11	河南信阳市南湾实验林场水上林区(信阳)	135~150	115°06'37.15"E	32°01'7.58"N

为了保证采集的竹笋出土高度基本一致, 采样路线从南往北推进。采样方法: 将每个厚竹种植地分为3个区域(样地), 在每个区域内选择1棵出土30 cm左右、中等大小、生长健壮的竹笋, 将竹笋完整挖出, 测量竹笋的总长度、地径、最大直径; 调查萌发竹笋的竹鞭分布深度、鞭径大小和鞭节长度。在竹笋旁边采集0~40 cm土层混合土壤样品, 将竹笋和土壤样品送回江西农业大学分析。竹笋和土壤样品采集后密封包装并专车运送, 保证2 d内到达江西农业大学, 并立即进行样品预处理。

1.2 竹笋营养成分测定

采用酸水解法测定淀粉^[27], 凯氏定氮法测定蛋白质^[28], 酸水解法测定总糖^[29], 分光光度法测定单宁^[30], 酸碱法测定粗纤维^[31], 液相色谱法测定维生素E (Ve)^[32]和维生素B₁ (V_{b1})^[33]。

1.3 土壤养分测定

将土壤样品风干, 剔除未分解的植物残体, 混

匀后采用四分法对角取样, 一半样品研磨过10目筛, 然后按照国家或行业标准测定土壤养分, 另一半留下备用。凯氏定氮法测定土壤全氮(N)^[34], 碱解扩散法测定土壤碱解N^[34], 钼锑抗比色法测定土壤全磷(P)^[35], 盐酸-硫酸浸提法测定土壤有效磷(P)^[35], 火焰光度法测定土壤速效钾(K)^[36], 重铬酸钾法测定土壤有机质^[37], 电位法测定土壤pH值^[38]。

1.4 数据处理

用Excel2007预处理数据, SPSS19.0统计软件进行统计分析, 用Duncan新复极差法检验差异的显著性, 用回归分析和相关系数法分析竹笋营养与环境因子间的相关性。

2 结果与分析

2.1 厚竹笋营养成分及其空间变异

通过测定和分析, 11个产地的厚竹笋营养成分及其差异性如表2。

表2 不同产地厚竹笋营养成分及其差异性
Table 2 Nutrient content and its variance over shoots from difference habitats

营养成分 Nutrient content	单位 Unit	赣州 Gan zhou	永安 Yong an	富阳 Fu yang	黄山 Huang shan	贵溪 Gui xi	塔城 Ta cheng	江西农大 Jiangxi Agri- cultural University	万载 Wan zai	长沙 Chang sha	益阳 Yi yang	信阳 Xin yang
蛋白质 Protein	%	1.92 ^{abc}	1.24 ^a	2.27 ^{bc}	1.77 ^{abc}	1.57 ^{ab}	1.75 ^{abc}	1.88 ^{abc}	2.01 ^{abc}	1.79 ^{abc}	2.15 ^{bc}	2.42 ^c
单宁 Tannin	%	0.61 ^b	0.37 ^a	0.56 ^b	0.65 ^{bc}	0.58 ^b	0.56 ^b	0.63 ^{bc}	0.75 ^c	0.50 ^b	0.50 ^b	0.56 ^b
淀粉 Starch	%	0.30 ^a	0.35 ^{ab}	0.67 ^{cd}	0.50 ^{bc}	0.30 ^a	0.55 ^{cd}	0.70 ^d	0.37 ^{ab}	0.33 ^{ab}	0.37 ^{ab}	0.30 ^a
总糖 Total sugar	%	0.66 ^a	1.79 ^b	2.49 ^d	2.02 ^{bc}	2.1 ^{bc}	2.08 ^{bc}	3.64 ^f	2.00 ^{bc}	2.25 ^{cd}	2.52 ^{de}	2.81 ^e
粗纤维 Crude fiber	%	0.50 ^{ab}	0.70 ^{cde}	0.85 ^e	0.45 ^{ab}	0.77 ^{de}	0.73 ^{cde}	0.55 ^{abc}	0.40 ^a	0.60 ^{bcd}	0.60 ^{bcd}	0.70 ^{cde}
V _{b1}	mg·100g ⁻¹	0.03 ^{ab}	0.020 ^a	0.04 ^{ab}	0.03 ^{abcd}	0.03 ^{abc}	0.04 ^{abcd}	0.04 ^{bcd}	0.04 ^{cd}	0.04 ^d	0.05 ^{abcd}	0.05 ^{cd}
Ve	mg·100g ⁻¹	2.41 ^{ab}	2.42 ^{ab}	2.29 ^{ab}	2.16 ^a	2.17 ^a	2.56 ^b	2.40 ^{ab}	2.50 ^b	2.51 ^b	2.82 ^c	2.53 ^b

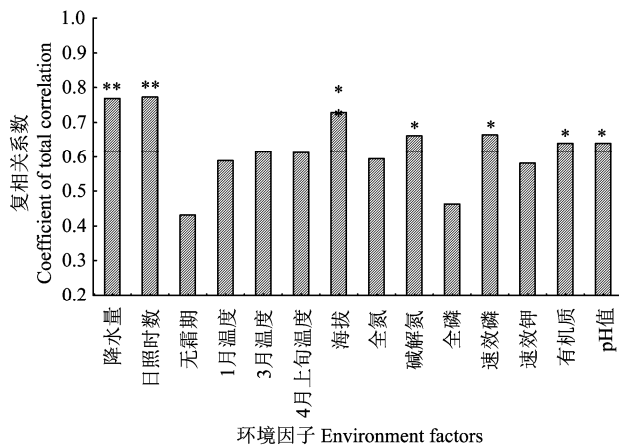
注: 同行中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same row indicate significant differences at 5% level

从表2可知, 厚竹笋中蛋白质含量1.24%~2.42%, 平均1.89%; 信阳最高, 永安最低; 种源地(江西农业大学)与引种地之间差异不显著, 但南北差异较大, 偏北的益阳、信阳和富阳含量显著偏低。单宁含量0.37%~0.75%, 平均0.57%, 原产地(万载)显著偏高; 种源地仅显著高于永安, 与其他引种地间差异不显著。淀粉含量0.30%~0.70%, 平均0.43%; 赣州、贵溪、信阳较低, 与塔城、富阳、黄山和万载之间差异显著; 种源地含量最高, 与塔城、富阳以外的其他引种地间均存在显著差异。总糖含量0.66%~3.64%, 平均2.21%; 产地间差异较大, 种源地显著高于引种地, 赣州显著低于其他10个产地。粗纤维含量0.40%~0.85%, 平均0.62%;

万载最低, 显著低于农大、赣州和黄山以外的其他产地; 富阳最高, 显著高于永安、贵溪、塔城、信阳以外的其他产地。V_{b1}含量0.02~0.05 mg·100g⁻¹, 平均0.04 mg·100g⁻¹; 永安最低, 显著低于农大、万载、长沙和信阳; 长沙最高, 显著高于赣州、永安、富阳和贵溪。Ve含量2.16~2.82 mg·100g⁻¹, 平均2.43 mg·100g⁻¹; 益阳显著高于其他产地, 黄山和贵溪显著低于塔城、万载、长沙、益阳和信阳。

不同产地厚竹笋的营养成分存在差异, 不同的营养成分差异程度不同。天然林群落中竹笋的单宁、V_{b1}和Ve含量偏高, 种源地竹笋中的淀粉和总糖含量显著高于引种地及原产地。以原产地为中心, 往南引种, 竹笋中蛋白质、总糖和V_{b1}含量降低,



图中“*”表示差异性显著 ($P<0.05$); “**”表示差异性极显著 ($P<0.01$); 下同

“*” indicates significant differences ($P<0.05$); “**” indicates very significant differences ($P<0.01$); The same below

图 1 竹笋营养品质与环境因子间的复相关系数

Figure 1 The complex correlation between the nutrient composition of bamboo shoot and environment

粗纤维含量增加, 淀粉和 Ve 含量变化不大; 往北引种, 单宁含量降低, 淀粉含量变化不大, 其他营养成分都有所增加; 往东引种, 蛋白质、淀粉、总糖和粗纤维含量增加, 单宁和 Ve 含量下降, V_{b1} 含

量变化小; 往西引种, 总糖、粗纤维和 Ve 含量明显升高, 单宁含量明显降低。

2.2 环境因子对竹笋营养品质的影响

为了探索环境因子对竹笋营养品质的影响, 将竹笋营养品质 (蛋白质、淀粉、总糖、粗纤维、 V_{b1} 、Ve 和单宁含量) 分别与产地降水量、日照时数、无霜期、海拔、1 月平均气温、3 月平均气温、4 月上旬平均气温、土壤有机质、全 N、碱解 N、全 P、速效 P、速效 K 和 pH 值进行复相关性分析。

结果 (图 1) 表明, 产地年降水量、日照时数和海拔高度与竹笋营养品质的复相关性均达到极显著程度, 土壤碱解 N、速效 P 和有机质含量及 pH 值与竹笋营养品质的复相关性也达到显著水平。产地的无霜期和气温及土壤中全 N、全 P 和速效 K 含量与竹笋营养品质相关性不显著。说明不同的生长环境因子对竹笋营养品质的影响程度不同, 降水量、日照时数和海拔对竹笋品质的影响极为显著, 土壤中碱解 N、速效 P、有机质含量和 pH 值对竹笋营养品质的影响显著, 而无霜期、气温及土壤中全 N、全 P 和速效 K 含量对竹笋营养品质的影响较小。进一步分析竹笋中各种营养成分与环境因子之间的偏相关系数, 结果如表 3。

表 3 环境因子与竹笋营养成分的偏相关系数

Table 3 The partial correlation coefficients of environmental factors and nutritional components of bamboo shoots

环境因子 Environmental factors	蛋白质 Protein	单宁 Tannin	淀粉 Starch	总糖 Total sugar	粗纤维 Crude fiber	V_{b1}	Ve
降水量 Precipitation	-0.422	0.143	0.452*	-0.300	-0.082	-0.381	-0.293
日照时数 Sunshine duration	-0.354	-0.061	-0.324	-0.099	-0.254	0.119	0.377
无霜期 Frost free period	-0.395	0.42	-0.082	-0.145	-0.418	0.018	-0.087
1 月气温 January temperature	0.108	0.076	0.304	0.002	0.335	-0.124	-0.008
3 月气温 March temperature	0.030	0.489*	-0.316	-0.235	-0.685**	0.013	-0.156
4 月上旬气温 Temperature in early April	0.163	-0.048	-0.399	-0.375	0.299	-0.28	0.015
海拔 Above sea level	-0.011	0.086	-0.493*	-0.027	-0.822**	0.318	0.082
全氮 Total nitrogen	0.328	0.009	-0.113	0.149	-0.542*	-0.011	0.408
碱解氮 Alkaline nitrogen	0.285	0.195	0.398	-0.093	0.452*	-0.061	-0.029
全磷 Total phosphorus	-0.397	-0.075	0.023	0.396	-0.014	0.239	-0.126
速效磷 Available phosphorus	0.270	0.069	-0.075	0.090	-0.417	-0.107	-0.123
速效钾 Available potassium	-0.079	0.018	-0.349	-0.501*	0.351	0.087	0.243
有机质 Organic matter	-0.224	0.047	-0.011	-0.247	0.474*	-0.083	-0.276
pH 值 pH value	0.201	-0.514*	0.280	0.436	0.566**	-0.144	-0.068

注: 表中“*”表示差异性显著 ($P<0.05$), “**”表示差异性极显著 ($P<0.01$)。

Note: “*” indicates significant differences ($P<0.05$); “**” indicates very significant differences ($P<0.01$).

由表 3 可知, 同一环境因子对竹笋中不同营养成分的作用及其影响程度不同。降水量主要影响竹笋中的淀粉含量, 降水量越高, 竹笋中的淀粉含量越高。3 月气温与竹笋中单宁含量呈显著正相关,

而与粗纤维含量呈极显著负相关, 说明 3 月气温较高, 竹笋中单宁含量较高, 但粗纤维含量降低。海拔主要影响竹笋中的淀粉和粗纤维含量, 海拔较高, 竹笋中的淀粉和粗纤维含量较低。土壤碱解 N、

全 N 和有机质含量主要影响竹笋的粗纤维含量,土壤碱解 N 和有机质含量越高,全 N 含量越低,竹笋中粗纤维含量越高。土壤速效 K 与竹笋总糖呈显著负相关,说明适当控制土壤中的速效 K 含量,有利于提高竹笋中的总糖含量。土壤 pH 值与竹笋粗纤维含量呈极显著正相关,而与竹笋单宁含量呈显著负相关,说明土壤酸性越强,竹笋中粗纤维含量降低,而单宁含量增加。

2.3 竹笋营养品质对环境因子变化的响应

为了分析竹笋营养品质对生长环境变化的响应,将产地生长环境(降水量、日照时数、无霜期、海拔、1月平均气温、3月平均气温、4月上旬平均气温、土壤有机质、全 N、碱解 N、全 P、速效 P、速效 K 和 pH 值)分别与竹笋中的蛋白质、单宁、淀粉、总糖、粗纤维、V_{b1} 和 Ve 含量进行复相关性分析,结果如图 2。

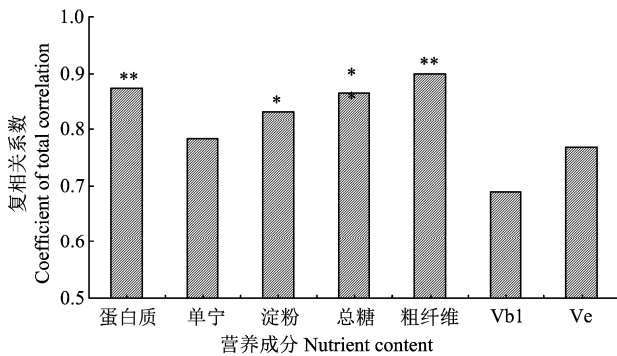


图 2 不同营养成分与生长环境间的复相关系数

Figure 2 The complex correlation coefficient between different nutrient components and growth environment

综合分析图 2 和表 3 可知,竹笋中不同的营养成分对生长环境变化的响应程度不同,蛋白质、总糖和粗纤维对生长环境变化的响应极为敏感,其复相关性均达到了极显著水平;淀粉对生长环境变化的响应也比较敏感,复相关性达到显著水平;单宁、V_{b1} 和 Ve 对生长对环境变化的反应不敏感。同一种营养成分对不同环境因子的响应也不同,粗纤维对海拔、3月气温及土壤 pH 值和有机质、全 N、碱解 N 含量变化响应敏感,淀粉含量因降水量的增加和海拔降低而升高,单宁含量随着 3 月气温的升高和土壤 pH 值的降低而升高,总糖含量则与土壤速效 K 含量呈显著负相关。

3 讨论与结论

不同引种地的厚竹笋营养品质存在较大差异,不同的营养成分差异程度不同,总糖、淀粉、粗纤

维和 V_{b1} 含量差异较大,蛋白质、单宁和 Ve 含量差异较小,但不同引种地之间竹笋营养品质没有系统差异,引种栽培不会对厚竹笋营养品质产生不良影响。原产地竹笋的单宁、V_{b1} 和 Ve 含量相对偏高,种源地竹笋中的淀粉和总糖含量高于引种地,与郑蓉等^[7]关于绿竹的研究结果一致。原因可能是原产地、种源地与其他引种地的环境存在较大差异,原产地是天然林,林下杂草灌木丰富,除信阳外的其他产地全部为人工纯林,林下植被少;经测定,原产地土壤 pH 值仅 4.27,明显低于其他产地,种源地土壤中 N 含量显著高于其他产地,而 P 含量显著低于其他产地。

环境因子对厚竹笋营养品质的影响显著,可能是造成同一竹种不同产地竹笋营养品质差异的重要原因之一。不同的环境因子对竹笋营养品质的影响程度不同,同一环境因子对竹笋不同营养成分的影响及其程度也不同,有提高竹笋营养成分含量的,也有降低竹笋营养成分含量的。产地年降水量、日照时数和海拔是影响竹笋营养品质的主要环境因子。原因是水分在厚竹的光合作用和物质运输中有重要作用,并且还影响厚竹的根系吸收和竹笋的生长速度^[13];光照直接影响竹子的光合作用^[16],日照时间长,厚竹进行光合作用的时间也长,母竹中积累的碳水化合物多,提供给竹笋的养分多,竹笋生长速度快,竹笋中的营养成分含量会相对较低;海拔可能是通过气温、水分和光照的再分配来影响厚竹笋的生长和营养物质的积累。土壤碱解 N、速效 P 和有机质含量及 pH 值的变化也对竹笋的营养品质有显著影响,与林海萍等^[9]和张文元等^[12]对雷竹和毛竹的研究结果一致。

竹笋营养品质对生长环境变化的响应敏感,但不同营养成分对相同环境因子及同一营养成分对不同环境因子的响应机制和响应程度不同,在今后的厚竹笋用林培育中,有可能通过人为改变某些环境因子来定向培育具有特殊营养品质的竹笋。

本研究发现,日照时数和土壤速效 P 含量对竹笋营养品质的综合影响显著,但与竹笋中单一营养成分的偏相关性均不显著;而 3 月气温、土壤全 N 和速效 K 含量对竹笋营养品质的综合影响不显著,但与竹笋中某些营养成分的相关性均达到显著水平。原因可能是竹笋生长及营养物质积累对生长环境的响应是各种环境因子综合影响的结果,环境因子对竹笋生长发育的影响也是综合性的,并且各种环境因子之间还存在有相互协同或拮抗作用,有待深入研究。

参考文献:

- [1] 徐秋芳, 叶正钱, 姜培坤, 等. 雷竹笋营养元素含量及其与土壤养分的关系[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(2): 115-118.
- [2] 王国玉, 马师, 苟光前. 斑苦竹竹笋营养成分的分析[J]. 贵州大学学报, 2014, 31(6): 42-44.
- [3] 杨奕, 董文渊, 邱月群, 等. 箬竹笋生长过程中营养成分的变化[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(1): 80-82.
- [4] 赵景威, 王雨璐, 唐国建, 等. 云龙箭竹和空心箭竹竹笋营养成分[J]. 西部林业科学, 2015, 43(3): 159-163.
- [5] 刘跃钧, 王立平, 傅冰, 等. 合江方竹和刺方竹 13 种不同地理种源方竹笋营养成分研究[J]. 浙江林业科技, 2012, 32(4): 37-42.
- [6] 王进, 戴晓勇, 殷建强, 等. 金佛山方竹原产地与异地种植地竹笋营养成分研究[J]. 贵州林业科技, 2015, 43(3): 19-21.
- [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.
- [8] 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.
- [9] 林海萍, 姜培坤, 范良敏. 不同经营措施对雷竹笋的营养品质效应[J]. 竹子研究汇刊, 2004, 23(1): 21-27.
- [10] 姜培坤, 徐秋芳, 罗煦钦, 等. 雷竹笋重金属含量及其与施肥的关系[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(4): 424-427.
- [11] 赖俊声, 吴大瑜, 杨龙, 等. 竹笋专用肥对毛竹冬笋营养品质的影响[J]. 世界竹藤通讯, 2016(1): 15-20.
- [12] 张文元, 刘顺, 盛可银, 等. 施肥对毛竹地上器官 NPK 含量及养分积累的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(5): 749-755.
- [13] 袁佳丽, 温国胜, 张明如, 等. 毛竹快速生长期的水势变化特征[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(5): 722-728.
- [14] 李黎, 宋帅杰, 方小梅, 等. 高温干旱及复水对毛竹实生苗保护酶和脂质过氧化的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2017, 34(2): 268-275.
- [15] 黎祖尧, 李晓霞. 厚竹种质性状与生理活性研究综述[J]. 经济林研究, 2013, 31(2): 167-170.
- [16] 施建敏, 杨光耀, 杨清培, 等. 厚壁毛竹光合作用对环境因子响应的季节变化[J]. 林业科学研究, 2009, 22(6): 872-877.
- [17] 龙春玲, 刘腾飞, 于芬, 等. 厚壁毛竹与毛竹叶片的光学解剖结构比较分析[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(1): 39-44.
- [18] 许婷婷, 杨光耀, 杨清培, 等. 厚壁毛竹快速高生长期竹秆 ATP 酶超微细胞化学定位[J]. 西北植物学报, 2016, 36(8): 1566-1574.
- [19] 刘腾飞, 杨光耀, 于芬. 厚壁毛竹与毛竹叶表皮微形态特征比较研究[J]. 广西植物, 2015, 35(1): 31-35.
- [20] 杜天真, 杨光耀, 郭起荣, 等. 厚皮毛竹春笋营养成分研究[J]. 江西林业科技, 1997(6): 2-3.
- [21] 方楷, 陈尚研, 杨光耀, 等. 厚壁毛竹结构性成分含量特征[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(5): 929-933.
- [22] 黄兰, 欧阳明, 宋庆妮, 等. 厚壁毛竹材积与地上生物量的垂直分布格局[J]. 江西农业大学学报, 2016, 8(2): 332-337.
- [23] 杨光耀, 郭起荣, 杜天真, 等. 厚皮毛竹竹材冲击韧性研究[J]. 经济林研究, 2000, 18(1): 39-40.
- [24] 李建, 杨清培, 方楷, 等. 厚壁毛竹与毛竹的抗寒生理比较研究[J]. 江西农业大学学报, 2011, 25(3): 537-541.
- [25] 张艳华, 杨光耀, 李晓霞, 等. 水分和覆盖措施及竹鞭性状对厚竹埋鞭育苗的影响[J]. 经济林研究, 2015(4): 140-143.
- [26] 方楷, 杨清培, 郭起荣, 等. 原产地与引种地厚壁毛竹竹材成分质量分数比较[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(4): 595-599.
- [27] 中华人民共和国卫生部. 食品中淀粉的测定: GB/T 5009.9-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [28] 中华人民共和国卫生部. 食品中蛋白质的测定: GB/T 5009.5-2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [29] 中华人民共和国卫生部. 食品中蔗糖的测定: GB/T 5009.8-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [30] 中华人民共和国农业部. 水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定: NY/T 1600-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [31] 中华人民共和国卫生部. 植物类食品中粗纤维的测定: GB/T 5009.10-2003 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [32] 中华人民共和国卫生部. 食品中维生素 E 和维生素 A 的测定: GB/T 5009.82-2003 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [33] 中华人民共和国卫生部. 食品中硫胺素 (维生素 B1) 的测定: GB/T 5009.84-2003 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [34] 国家林业局. 森林土壤氮的测定: LY T 1228-2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [35] 国家林业局. 森林土壤磷的测定: LY T 1232-2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [36] 国家林业局. 森林土壤钾的测定: LY T 1234-2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [37] 国家林业局. 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算: LY-T 1237-1999 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [38] 国家林业局. 森林土壤 pH 值的测定: LY T 1239-1999 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.