

姜黄根茎中姜黄素类成分含量的产地差异及其与环境因子的 CCA 分析

杨 旭, 杨志玲, 刘若楠, 王 洁

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

摘要: 采用 HPLC 法对产自四川崇州和犍为、广东四会、广西玉林和博白及金秀、云南马关的姜黄 (*Curcuma longa* L.) 根茎中姜黄素类成分含量进行测定, 并利用典范对应分析方法 (CCA) 研究了不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分含量与地理-气候因子及根际土壤养分因子间的相关性。结果表明: 不同产地根际土壤中有有机质、全 N、全 P 和全 K 含量分别为 14.03~32.79、0.39~0.92、0.56~1.55 和 2.29~9.23 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 根际土壤养分含量差异较明显; 姜黄多生长在中性偏酸、水肥性能良好的土壤中。姜黄根茎中姜黄素、去甲氧基姜黄素和双去甲氧基姜黄素含量及姜黄素类成分总含量的平均值分别为 1.53%、0.42%、0.67% 和 2.61%; 不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分含量有显著差异, 且同一产地采自不同采样点及不同采样时间的样品姜黄素类成分的含量也有一定差异。姜黄素类成分总含量以广西博白产姜黄根茎最高 (4.29%)、广东四会产姜黄根茎最低 (1.73%)。CCA 分析结果表明: 在经度、纬度、海拔、年均气温、极端最高温、极端最低温、年降水量、日照时数和无霜期等地理-气候因子中, 年均气温和极端最低温与姜黄素类成分含量极显著正相关; 而在 pH 值及有机质、全 N、全 P、全 K 含量等根际土壤养分因子中, 有机质含量与姜黄素类成分含量极显著正相关。分析结果显示: 影响姜黄根茎中姜黄素类成分含量的主要环境因子是年均气温、极端最低温和根际土壤的有机质含量。

关键词: 姜黄根茎; 姜黄素类成分; 地理-气候因子; 根际土壤; 典范对应分析

中图分类号: R282; S567 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2011)03-0016-08

Location variation of curcuminoids content in *Curcuma longa* rhizome and CCA analysis with environmental factors YANG Xu, YANG Zhi-ling, LIU Ruo-nan, WANG Jie (Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2011, 20(3): 16-23

Abstract: Curcuminoids content in *Curcuma longa* L. rhizome from seven locations, which are Chongzhou and Qianwei of Sichuan, Sihui of Guangdong, Yulin, Bobai and Jinxiu of Guangxi, Maguan of Yunnan, was determined by HPLC. And correlation of curcuminoids content in *C. longa* rhizome from different locations with geography-climate factors and nutrient factors in rhizosphere soil was researched by the canonical correspondence analysis method (CCA). The results show that contents of organic matter, TN, TP and TK in rhizosphere soil of different locations are 14.03-32.79, 0.39-0.92, 0.56-1.55 and 2.29-9.23 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. Variation of nutrient content in rhizosphere soil is more obvious, and *C. longa* always grows in the soil with neutral to slightly acid and good property of water and fertilizer. The average contents of curcumin, demethoxycurcumin, bisdemethoxycurcumin and total curcuminoids in *C. longa* rhizome are 1.53%, 0.42%, 0.67% and 2.61%, respectively. Curcuminoids content in *C. longa* rhizome from different locations has significant difference, and that in different sampling plots and times in the same location also exists certain difference. Total content of curcuminoids in *C. longa* rhizome from Bobai of Guangxi is the highest (4.29%), while that is the lowest (1.73%) from Sihui of Guangdong. The CCA analysis result shows that in geography-climate factors including longitude, latitude, altitude, average annual temperature, the extreme highest and lowest temperatures, annual

收稿日期: 2010-11-04

基金项目: 国家科学技术部公益性林业专项(200704022); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项资金(RISF060708)

作者简介: 杨 旭(1979—), 女, 浙江建德人, 硕士, 助理研究员, 主要从事药用植物资源保护和利用方面的工作。

precipitation, sunshine duration, frost-free days, etc, average annual temperature and the extreme lowest temperature have extremely significant positive correlation with curcuminoids content, and in nutrient factors of rhizosphere soil including pH value, contents of organic matter, TN, TP and TK, organic matter content has an extremely significant positive correlation with curcuminoids content. It is concluded that average annual temperature, the extreme lowest temperature and organic matter content in rhizosphere soil are main environmental factors influencing curcuminoids content in *C. longa* rhizome.

Key words: *Curcuma longa* L. rhizome; curcuminoids; geography-climate factor; rhizosphere soil; canonical correspondence analysis

姜黄(*Curcuma longa* L.)为姜科(Zingiberaceae)植物,其干燥根茎具有行气破血、消积止痛、清心解郁的功效;其中的主要有效成分为姜黄素类化合物,包括姜黄素(curcumin, Cur)、去甲氧基姜黄素(demethoxycurcumin, DMC)和双去甲氧基姜黄素(bisdemethoxycurcumin, BDMC)^[1]。现代药理实验结果表明:姜黄素类化合物是有效的脏器损伤保护剂,对肝、肺、胃损伤具有良好的修复作用^[2-4],可用于治疗肝炎、肺炎、胰腺炎等多种急慢性炎症^[5];还能抑制癌细胞增生和抗艾滋病,有很高的开发潜力^[6-7]。

姜黄主产台湾、福建、广东、广西、云南及西藏等省区,在东亚和东南亚也广泛栽培^[8]。目前规模较大的种植地在四川崇州和犍为一带,广东、广西及云南等地也有零星种植。近年来,由于姜黄的收购价格连年下滑,造成其栽培面积急剧缩小。广泛存在的药材混乱流通现象导致不同产地的姜黄出现成分和活性的差异,而相关标准^[9]对姜黄中姜黄素类成分的含量没有明确要求,不能对姜黄的质量进行有效控制。因此,已有研究者对姜黄中姜黄素类成分的产地差异进行了比较分析^[10-13],但多侧重于含量测定方法的探讨,对不同产地姜黄素类成分的含量仅作描述,且基本未涉及药材品质与环境因子相互关系的研究,只孤立地对化学成分含量的差异进行比较。

作者研究了不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分的含量差异,并运用典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)方法探讨其与气候和土壤因子的相关性,旨在为姜黄生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

分别于2009年1月和2010年1月姜黄的收获季节采集姜黄的新鲜根茎,采样地点包括国产姜黄的主要产地。其中,来源于广西博白和云南马关的姜黄

根茎采于2009年,来源于广西金秀的姜黄根茎采于2010年,来源于其他产地的姜黄根茎均分别采集于2009年和2010年。采集的姜黄根茎由中国林业科学研究院亚热带林业研究所杨志玲副研究员鉴定。产地气候条件数据来源于中国自然资源数据库,采集地自然概况见表1和表2。

1.2 方法

1.2.1 标准曲线绘制 分别取BDMC、DMC和Cur标准品适量,精密称定后加无水乙醇配制成质量浓度200 mg·L⁻¹的对照品储备液。精密量取对照品储备液适量,用无水乙醇配制成质量浓度分别为0.000、

表1 姜黄采样地的地理坐标和海拔
Table 1 Geographic coordinate and altitude of sample plots of *Curcuma longa* L.

样地编号 ¹⁾ No. of plot ¹⁾	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude
1	E30°19'	N103°28'	491
2	E30°20'	N103°33'	534
3	E30°21'	N103°24'	517
4	E29°07'	N103°34'	330
5	E29°16'	N103°26'	391
6	E29°08'	N103°34'	397
7	E23°11'	N112°27'	104
8	E23°08'	N112°11'	17
9	E23°19'	N112°27'	92
10	E22°09'	N109°18'	91
11	E22°19'	N110°04'	78
12	E22°10'	N109°17'	105
13	E22°08'	N109°02'	451
14	E22°11'	N109°24'	187
15	E22°11'	N109°02'	151
16	E23°32'	N110°03'	703
17	E23°31'	N110°02'	536
18	E23°32'	N110°02'	724
19	E22°33'	N104°14'	1 246
20	E22°36'	N104°13'	1 516
21	E22°34'	N104°14'	1 424

¹⁾1-3: 四川崇州 Chongzhou of Sichuan; 4-6: 四川犍为 Qianwei of Sichuan; 7-9: 广东四会 Sihui of Guangdong; 10-12: 广西玉林 Yulin of Guangxi; 13-15: 广西博白 Bobai of Guangxi; 16-18: 广西金秀 Jinxiu of Guangxi; 19-21: 云南马关 Maguan of Yunnan.

表 2 姜黄产地的气候概况

Table 2 Climatic status of locations of *Curcuma longa* L.

产地 Location	年均气温/℃ Average annual temperature	极端最高温/℃ Extreme highest temperature	极端最低温/℃ Extreme lowest temperature	年降水量/mm Annual precipitation	日照时数/h Sunshine duration	无霜期/d Frost-free days
四川崇州 Chongzhou of Sichuan	15.9	39.0	-2.9	1 100	1 161.5	285
四川犍为 Qianwei of Sichuan	17.2	39.3	-2.6	1 150	1 025.0	333
广东四会 Sihui of Guangdong	21.3	38.5	-1.2	1 831	1 702.3	340
广西玉林 Yulin of Guangxi	21.7	38.4	-0.2	1 592	1 718.3	341
广西博白 Bobai of Guangxi	21.9	38.2	-0.2	1 756	1 778.3	351
广西金秀 Jinxiu of Guangxi	17.9	33.7	-5.0	1 676	1 084.6	352
云南马关 Maguan of Yunnan	16.9	32.2	-4.0	1 345	1 804.0	280

4.000、8.000、12.000、16.000、20.000 和 40.000 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的对照品溶液。使用 W2695 (Alliance 系统) 高效液相色谱仪(美国 Waters 公司)进行 HPLC 分析。色谱条件参照文献[9]。分别精密吸取不同质量浓度的对照品溶液 5 μL 进样,于波长 430 nm 处检测。以对照品溶液的质量浓度为自变量 x 、峰面积为因变量 y ,绘制标准曲线。BDMC 的线性回归方程为: $y_1 = 13\ 060x_1 - 4\ 391.3, r = 0.999\ 1$;DMC 的线性回归方程为: $y_2 = 45\ 946x_2 - 16\ 358, r = 0.999\ 6$;Cur 的线性回归方程为: $y_3 = 28\ 472x_3 - 9\ 583.2, r = 0.999\ 5$ 。各标准品的线性范围均为 0 ~ 40 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

1.2.2 样品溶液制备及测定 姜黄根茎于 60 $^{\circ}\text{C}$ 低温烘干,粉碎后过 100 目筛、备用。准确称取粉末样品 0.2 g,每一采样地称取 3 份,分别加入甲醇 50 mL,混匀后于 70 $^{\circ}\text{C}$ 水浴加热回流提取 30 min,冷却后过滤,滤液用甲醇定容至 100 mL。分别取 5 mL 样品溶液,于 12 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 10 min,取上清液待测。按照标准曲线的测定方法进行 HPLC 分析,采用外标一点法^[9]计算样品中 BDMC、DMC 和 Cur 的含量。

1.2.3 方法学考察 精密吸取上述混合对照品溶液 5 μL ,按照上述色谱条件进行 HPLC 分析,连续进样 6 次。BDMC、DMC 和 Cur 的 RSD 值分别为 0.7%、0.7% 和 0.3%,表明仪器精密度良好。

分别精密称取同一供试样品溶液 5 μL ,按照上述色谱条件于 0、2、4、6、8、12 和 24 h 进样测定,BDMC、DMC 和 Cur 的 RSD 值分别为 0.58%、0.76% 和 0.54%,表明供试样品溶液在 24 h 内基本稳定。

取同一产地姜黄样品 6 份,分别按照样品溶液的制备方法以及上述色谱条件进行测定,BDMC、DMC 和 Cur 的平均含量分别为 0.98%、0.27% 和 1.31%,RSD 值分别为 2.00%、0.95% 和 1.38%,表明该方法重复性良好。

称定 BDMC、DMC 和 Cur 含量已知的姜黄粉末样品 5 份,精密加入一定量的对照品,按样品溶液的制备方法以及上述色谱条件进行测定。BDMC、DMC 和 Cur 的平均回收率分别为 95.8%、96.8% 和 97.1%,RSD 值分别为 1.7%、2.2% 和 1.8%。

1.2.4 姜黄根际土壤营养元素测定 分别按照中华人民共和国林业行业标准 LY/T 1238—1999^{[14]114-115}、LY/T 1228—1999^{[14]75-78}、LY/T 1232—1999^{[14]88-90}、LY/T 1234—1999^{[14]96-98} 和 LY/T 1237—1999^{[14]106-108} 测定土壤的 pH 值及土壤中全 N、全 P、全 K 和有机质的含量。

1.3 数据分析

采用 SPSS 12.0 软件对不同产地姜黄中姜黄素类成分的含量进行方差分析,运用 Canoco 4.5 软件对不同产地姜黄中姜黄素类成分含量与产地的地理-气候、土壤因子进行典范对应分析。

2 结果和分析

2.1 不同产地姜黄根际土壤中养分含量的比较

不同产地姜黄根际土壤中有有机质、全 N、全 P、全 K 含量以及土壤 pH 值的分析结果见表 3。由表 3 可知:姜黄多生长在中性偏酸性的土壤中,土壤水肥性能良好,土壤养分含量高于李隆云等^[15]划分的适宜或较适宜于姜黄生长土壤的标准。

不同产地姜黄根际土壤的性质差异较明显。有机质含量为 14.03 ~ 32.79 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中,广西博白和玉林的土壤有机质含量均在 32 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,且显著高于其他产地($P < 0.05$);广东四会的土壤有机质含量最低,仅为 14.03 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。全 N 含量为 0.39 ~ 0.92 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中,广西博白和玉林及广东四会的土壤全 N 含量较高,四川崇州和犍为的土壤全 N 含量较

低。全P含量为0.56~1.55 g·kg⁻¹,其中,四川崇州和犍为的土壤全P含量较高,显著高于其他产地;而广东四会的土壤全P含量最低。全K含量为2.29~9.23 g·kg⁻¹,其中,四川崇州的土壤全K含量最高,且显著高于其他产地;广西玉林和云南马关的土壤全

K含量较低,并显著低于其他产地。

2.2 不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分含量的比较

姜黄素类成分含量是姜黄质量的主要评价指标。对不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分的含量进行分析,结果见表4。

表3 不同产地姜黄根际土壤养分因子的比较($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 3 Comparison of nutrient factors in rhizosphere soil of different locations of *Curcuma longa* L. ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

产地 Location	pH值 pH value	含量/g·kg ⁻¹		Content	
		有机质 Organic matter	全N TN	全P TP	全K TK
四川崇州 Chongzhou of Sichuan	7.40±0.20a	21.56±1.82bc	0.39±0.07b	1.49±0.10a	9.23±0.42a
四川犍为 Qianwei of Sichuan	6.67±0.16b	23.94±3.49b	0.46±0.13b	1.55±0.17a	7.49±0.34b
广东四会 Sihui of Guangdong	5.84±0.11c	14.03±0.93d	0.79±0.16a	0.56±0.13c	4.05±0.89c
广西玉林 Yulin of Guangxi	7.55±0.13a	32.67±3.76a	0.80±0.17a	0.95±0.22b	2.29±0.25d
广西博白 Bobai of Guangxi	5.47±0.28d	32.79±7.59a	0.92±0.12a	0.78±0.11bc	4.42±0.41c
广西金秀 Jinxiu of Guangxi	5.83±0.19c	17.80±2.04cd	0.65±0.14ab	0.86±0.13bc	4.14±0.27c
云南马关 Maguan of Yunnan	5.26±0.04d	22.85±1.59bc	0.67±0.06ab	0.73±0.03bc	2.91±0.23d
平均 Average	6.29	23.66	0.67	0.99	4.93

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

表4 不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分含量的比较($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 4 Comparison of curcuminoids content in rhizome of *Curcuma longa* L. from different locations ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

产地 Location	含量/%			Content
	Cur	DMC	BDMC	Total
四川崇州 Chongzhou of Sichuan	1.08±0.08d	0.20±0.03d	0.76±0.05b	2.04±0.15d
四川犍为 Qianwei of Sichuan	1.31±0.08c	0.27±0.04c	0.98±0.08a	2.56±0.13c
广东四会 Sihui of Guangdong	0.91±0.06e	0.20±0.03d	0.62±0.00c	1.73±0.06e
广西玉林 Yulin of Guangxi	2.26±0.07b	0.64±0.08b	0.45±0.05d	3.33±0.12b
广西博白 Bobai of Guangxi	2.93±0.04a	1.08±0.05a	0.27±0.05e	4.29±0.06a
广西金秀 Jinxiu of Guangxi	1.11±0.07d	0.26±0.03c	0.63±0.06c	2.00±0.16d
云南马关 Maguan of Yunnan	1.11±0.07d	0.28±0.01c	0.96±0.00a	2.35±0.11c
平均 Average	1.53	0.42	0.67	2.61

¹⁾ Cur: 姜黄素 Curcumin; DMC: 去甲氧基姜黄素 Demethoxycurcumin; BDMC: 双去甲氧基姜黄素 Bisdemethoxycurcumin. 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

由表4可知:不同产地姜黄根茎中姜黄素(Cur)的平均含量为1.53%。其中,产自广西博白的样品中Cur的平均含量最高,达到2.93%,显著高于其他产地($P<0.05$),但该产地的供试样品仅为2010年采集;来源于广西玉林的2009年采集的样品中Cur含量为3.07%,而2010年采集的样品中Cur含量仅为1.45%,变异较大;来源于广东四会的样品中Cur含量最低,仅为0.91%,显著低于其他产地。

不同产地姜黄根茎中去甲氧基姜黄素(DMC)的平均含量为0.42%。其中,产自广西博白的样品中DMC含量最高(1.08%),显著高于其他产地;产自广

西玉林的样品中DMC含量也较高(0.64%);而来源于四川崇州和广东四会的样品中DMC含量最低(0.20%)。

不同产地姜黄根茎中双去甲氧基姜黄素(BDMC)的平均含量为0.67%。其中,来源于四川犍为和云南马关的样品中BDMC含量较高,显著高于其他产地;而来源于广西博白的样品中BDMC含量最低,仅为0.27%,显著低于其他产地。

不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分的总含量平均为2.61%,以产自广西博白的样品最高,达到4.29%,显著高于其他产地;来源于广西玉林的2009

年采集的样品中姜黄素类成分的总含量为4.49%，而2010年采集的样品仅为2.16%，说明该产地姜黄根茎中姜黄素类成分的总含量存在不稳定性；而来源于道地产地四川崇州和犍为的样品中姜黄素类成分的总含量居中，2009年和2010年各成分含量极接近，质量较为稳定；来源于广东四会的样品中姜黄素类成分的总含量最低，仅为1.73%，显著低于其他产地。

2.3 环境因子对姜黄根茎中姜黄素类成分含量的影响

典范对应分析(CCA)是基于对应分析发展而来的一种排序方法,该方法将对应分析与多元回归分析相结合,可直观地给出多变量间的相互作用关系。对不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分含量-环境因子矩阵(包括地理-气候因子及根际土壤养分因子)进行CCA排序,分析姜黄根茎中姜黄素类成分含量与环境因子的关系,结果见表5和表6;不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分含量与地理-气候因子以及根际土壤养

分因子的双轴排序图见图1和图2。

地理-气候因子前2个排序轴的特征值分别占总特征值的96.4%和1.8%,姜黄根茎中姜黄素类成分含量与地理-气候因子前2个排序轴的相关系数分别为0.999和0.961(表5),姜黄根茎中姜黄素类成分含量的前2个排序轴的相关系数为0.005,地理-气候因子前2个排序轴的相关系数为0.000。2个排序轴与地理-气候因子的线性结合程度较好,反映了姜黄根茎中姜黄素类成分含量与地理-气候因子间的关系,排序结果具有可靠性^[16]。

由表5可以看出:年均气温和极端最低温与第1排序轴呈极显著正相关($P<0.01$),纬度、年降水量、日照时数及无霜期与第1排序轴呈显著正相关($P<0.05$),而经度和海拔与第1排序轴呈显著负相关,极端最高温与第1排序轴呈不显著的正相关。海拔、年降水量及日照时数与第2排序轴呈正相关,而其他地理-气候因子与第2排序轴均呈不显著的负相关。

表5 不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分含量与地理-气候因子的CCA分析结果¹⁾

Table 5 Result of CCA analysis of curcuminoids content in rhizome of *Curcuma longa* L. from different locations with geography-climate factors¹⁾

排序轴 Axis	相关系数 Correlation coefficient									EV	R	CP
	Long	Lat	Alt	Ta	Pa	Th	Tl	S	Df			
1	-0.59 *	0.56 *	-0.54 *	0.85 **	0.64 *	0.33	0.79 **	0.56 *	0.64 *	0.054	0.999	98.1
2	-0.28	-0.12	0.54	-0.06	0.12	-0.46	-0.17	0.33	-0.16	0.001	0.961	99.5

¹⁾ Long: 经度 Longitude; Lat: 纬度 Latitude; Alt: 海拔 Altitude; Ta: 年均气温 Average annual temperature; Pa: 年降水量 Average precipitation; Th: 极端最高温 Extreme highest temperature; Tl: 极端最低温 Extreme lowest temperature; S: 日照时数 Sunshine duration; Df: 无霜期 Frost-free days; EV: 特征值 Eigen-value; R: 姜黄素类成分含量与地理-气候因子的相关系数 Correlation coefficient between curcuminoids content and geography-climate factors; CP: 姜黄素类成分含量变化的累积比率 Cumulative percentage of curcuminoids content variance. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$.

表6 不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分含量与根际土壤养分因子的CAA分析结果¹⁾

Table 6 Result of CCA analysis of curcuminoids content in rhizome of *Curcuma longa* L. from different locations with nutrient factors in rhizosphere soil¹⁾

排序轴 Axis	相关系数 Correlation coefficient					EV	R	CP
	pH	OM	TN	TP	TK			
1	-0.04	0.81 **	0.11	-0.34	-0.41	0.049	0.944	87.5
2	0.79 *	0.02	-0.27	0.26	0.06	0.001	0.828	88.1

¹⁾ pH: pH值 pH value; OM: 有机质含量 Content of organic matter; TN: 全N含量 Content of total nitrogen; TP: 全P含量 Content of total phosphorus; TK: 全K含量 Content of total potassium; EV: 特征值 Eigen-value; R: 姜黄素类成分含量与根际土壤养分因子的相关系数 Correlation coefficient between curcuminoids content and nutrient factors in rhizosphere soil; CP: 姜黄素类成分含量变化的累积比率 Cumulative percentage of curcuminoids content variance. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$.

根际土壤养分因子与前2个排序轴的特征值分别占总特征值的89.1%和1.8%,姜黄根茎中姜黄素类成分含量与根际土壤养分因子前2个排序轴的相关系数分别为0.944和0.828(表6),姜黄根茎中姜黄素类成分含量的前2个排序轴的相关系数为

0.008,根际土壤养分因子的前2个排序轴的相关系数为0.000。2个排序轴与根际土壤养分因子的线性结合程度较好,反应了姜黄根茎中姜黄素类成分含量与根际土壤养分因子间的关系,排序结果可靠^[16]。

由表6可以看出:土壤有机质含量与第1排序轴

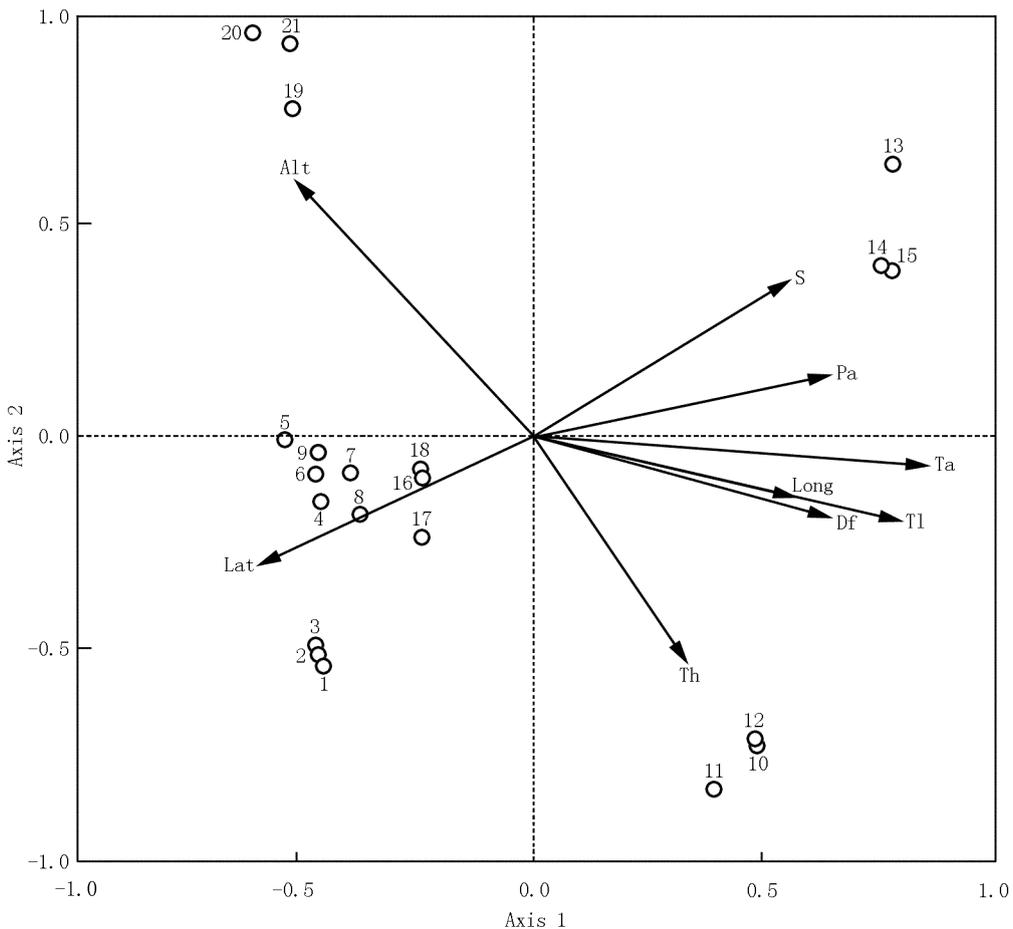
呈极显著正相关,土壤全 N 含量与第 1 排序轴呈不显著的正相关,而土壤 pH 值、全 P 和全 K 含量与第 1 排序轴呈不显著的负相关;土壤 pH 值与第 2 排序轴呈显著正相关,土壤有机质、全 P 和全 K 含量与第 2 排序轴呈不显著的正相关,而土壤全 N 含量与第 2 排序轴呈不显著的负相关。

从图 1 可以看出:第 1 排序轴与年均气温、极端最低温的相关性较大,与第 1 排序轴显著相关的因子有经度、纬度、海拔、年降水量、无霜期和日照时数等;而第 2 排序轴与各地理-气候因子均无显著的相关关系。从图 2 可以看出:第 1 排序轴与土壤有机质含量呈极显著的正相关,第 2 排序轴与土壤 pH 值呈极显著正相关。因此,基于第 1 排序轴特征贡献率极高,

年均气温和极端最低温是影响姜黄根茎中姜黄素类成分含量的主要地理-气候因子,而有机质含量是影响其含量的主要土壤养分因子。

3 讨 论

姜黄根茎中姜黄素类成分为多基因控制的数量性状,极易受自然条件的影响。由于长期适应原产地的气候特点,原产地不同的姜黄形成了各自固有的遗传性(基因型)^[17]。历史上姜黄的道地产区在四川的崇州、双流及犍为一带,但本研究结果则显示产自四川崇州和犍为的姜黄根茎中姜黄素类成分含量并不是最高,推测其原因可能是长期连作造成的种质退化



1-3: 四川崇州 Chongzhou of Sichuan; 4-6: 四川犍为 Qianwei of Sichuan; 7-9: 广东四会 Sihui of Guangdong; 10-12: 广西玉林 Yulin of Guangxi; 13-15: 广西博白 Bobai of Guangxi; 16-18: 广西金秀 Jinxiu of Guangxi; 19-21: 云南马关 Maguan of Yunnan. Long: 经度 Longitude; Lat: 纬度 Latitude; Alt: 海拔 Altitude; Ta: 年均气温 Average annual temperature; Pa: 年降水量 Average precipitation; Th: 极端最高温 Extreme highest temperature; Tl: 极端最低温 Extreme lowest temperature; S: 日照时数 Sunshine duration; Df: 无霜期 Frost-free days.

图 1 不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分含量与地理-气候因子的双轴排序图
 Fig. 1 Ordination biplot diagram of curcuminoids content in rhizome of *Curcuma longa* L. from different locations with geography-climate factors

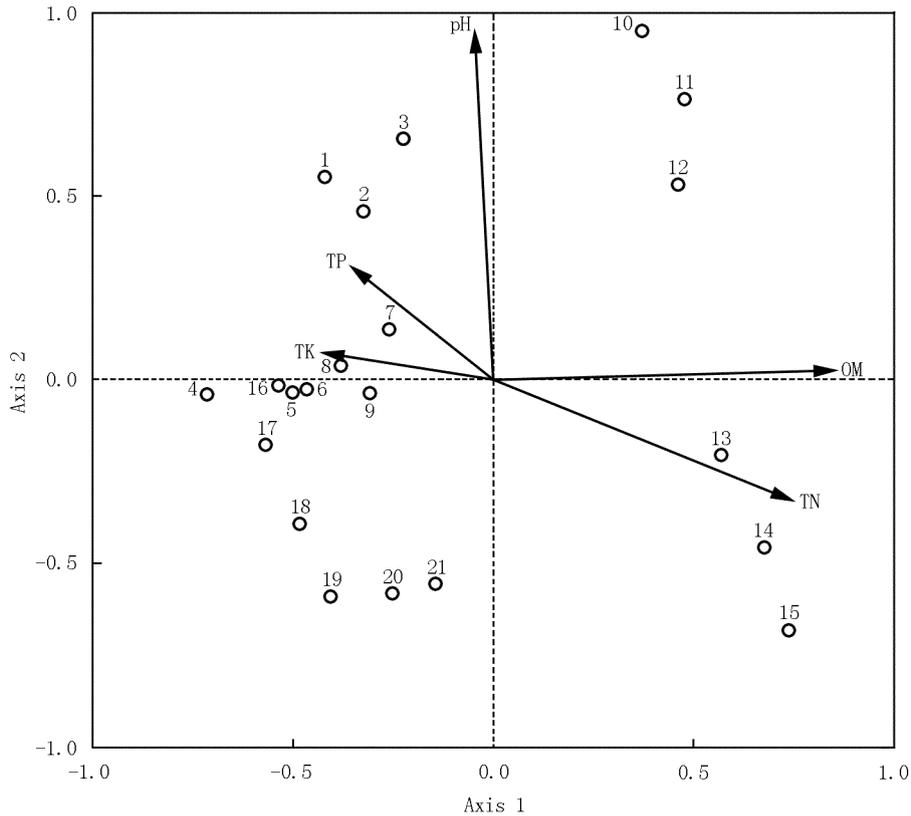


图 2 不同产地姜黄根茎中姜黄素类成分含量与根际土壤养分因子的双轴排序图
 Fig. 2 Ordination biplot diagram of curcuminoids content in rhizome of *Curcuma longa* L. from different locations with nutrient factors in rhizosphere soil

1-3: 四川崇州 Chongzhou of Sichuan; 4-6: 四川犍为 Qianwei of Sichuan; 7-9: 广东四会 Sihui of Guangdong; 10-12: 广西玉林 Yulin of Guangxi; 13-15: 广西博白 Bobai of Guangxi; 16-18: 广西金秀 Jinxiu of Guangxi; 19-21: 云南马关 Maguan of Yunnan. pH: pH 值 pH value; OM: 有机质含量 Content of organic matter; TN: 全 N 含量 Content of total nitrogen; TP: 全 P 含量 Content of total phosphorus; TK: 全 K 含量 Content of total potassium.

或土壤地力衰竭。由文献[10-13]可见,广西产姜黄中有效成分含量的分析结果存在较大的差异,说明该产地姜黄中姜黄素类成分较不稳定;而作者在本研究中对来源于广西玉林采自 2009 年和 2010 年的姜黄根茎中姜黄素类成分含量进行了分析,也得出相似的结果。在广西玉林,姜黄多为农户零星种植,缺少大面积、有规模的计划种植,且姜黄栽培以种质保存为主要目的,姜黄生长的土壤条件存在较大差异,均导致姜黄类成分含量的不稳定。

典范对应分析(CCA)将植物种类和样方的排序与多个环境因子变量的作用以多元回归的方式一一对应,使植物分布特性与环境因子的关系更为直观地表现在排序图中,目前这一方法不仅广泛应用于生态学研究,在中药资源生态学的研究中也得到一定的应用^[18]。因而,作者应用 CCA 方法,对影响姜黄中姜黄

素类成分含量的环境因子进行分析,结果表明:年均气温、极端最低温和土壤有机质含量是影响姜黄根茎中姜黄素类化合物含量的主要环境因子。

次生代谢产物对生长环境的依赖性非常强,川贝母(*Fritillaria cirrhosa* D. Don)适应冷凉的高海拔气候,鳞茎中总生物碱含量随气温的升高而降低^[19]。泽泻(*Alisma plantago-aquatica* L.)生长于温和气候环境中,在平均温度 18 °C ~ 24 °C 的条件下 2,3-乙酰泽泻醇含量最高^[20]。姜黄长期生长在低海拔地区,适应炎热的气候条件,因此温度成为其体内次生代谢产物合成的关键环境因子;姜黄素类成分含量与年均气温呈极显著正相关,即随气温的升高而增加。

大量研究表明:环境胁迫会造成植物体内次生代谢产物含量的变化,这种变化的诱导机制还不明确,但轻度胁迫能促进植物体内次生代谢产物的积

累。高温和K胁迫能导致苍术 [*Atractylodes lancea* (Thunb.) DC.] 体内苍术素含量的增加^[21];而在整个生长过程中,轻度干旱胁迫可使苍术根茎挥发油中5种主要成分的含量提高^[22]。轻度水分胁迫能提高万寿菊 (*Tagetes erecta* L.) 中酚类成分的含量^[23];遮阳处理对银杏 (*Ginkgo biloba* L.) 槲皮素含量的提高有促进作用^[24];感染真菌病害后,苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 体内的异黄酮类成分显著增加^[25]。姜黄根茎中姜黄素类成分含量与极端最低温呈极显著正相关,低温逆境的胁迫可能是造成其含量增加的重要因素。但若环境胁迫影响植物生长和存活时,植物则只能以生长为目的而相应减少次生代谢产物的合成^[26]。

姜黄根茎中姜黄素类成分的含量与土壤有机质含量呈极显著正相关。土壤有机质是植物养分的主要来源,有机质含量可影响植物有效成分的含量^[27-28],因此,在保持土壤养分均衡的条件下,增施有机肥、改善土壤品质,对于确保药材姜黄的品质具有重要意义。

致谢: 本实验室硕士研究生甘光标和舒泉参与了采样工作,特此致谢!

参考文献:

- [1] 肖小河,苏仲武,乔传卓,等. 姜黄属药用植物研究进展[J]. 中草药, 1997, 28(2): 114-119.
- [2] 刘永刚,陈厚昌,蒋毅萍. 姜黄素对小鼠实验性肝损伤的保护作用[J]. 中国中药杂志, 2003, 28(8): 756-758, 793.
- [3] 朱瑞芳,周敏,何建林,等. 姜黄素对大鼠油酸型急性肺损伤的保护作用[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(17): 2141-2145.
- [4] 梅雪婷,许东晖,王胜,等. 姜黄素固体分散体对大鼠胃溃疡的疗效研究[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(22): 2920-2923.
- [5] Ukil A, Maity S, Karmaker S, et al. Curcumin, the major component of food flavour turmeric, reduces mucosal injury in trinitrobenzene sulphonic acid-induced colitis[J]. British Journal of Pharmacology, 2003, 139(2): 209-218.
- [6] Collett G P, Campbell F C. Curcumin induces c-jun N-terminal kinase-dependent apoptosis in HCT116 human colon cancer cells[J]. Carcinogenesis, 2004, 25(11): 2183-2189.
- [7] 黄燕芬,洪行球. 二脱甲基姜黄素抗肿瘤作用研究[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(15): 1909-1911.
- [8] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第十六卷第二分册[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 63.
- [9] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2010年版(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 247.
- [10] 李明,周欣,赵超,等. HPLC同时测定姜黄中3种姜黄

- 素的含量[J]. 药物分析杂志, 2008, 28(11): 1810-1814.
- [11] 陈晋红,李伟荣,刘大伟,等. 姜黄药材中有效成分含量测定[J]. 中药新药与临床药理, 2009, 20(3): 253-256.
- [12] 赵欣,袁丹,孔令锋,等. 国产姜黄药材质量的比较研究[J]. 沈阳药科大学学报, 2006, 23(4): 224-228.
- [13] 陈晋红. 不同产地姜黄药材质量比较研究[D]. 广州: 广州中医药大学临床药理研究所, 2009: 15-19.
- [14] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准——森林土壤分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [15] 李隆云,张艳,宋红. 姜黄生长土壤的适宜性研究[J]. 中国中药杂志, 1999, 24(12): 718-721.
- [16] 栾青杉,孙军,宋书群,等. 长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析[J]. 植物生态学报, 2007, 31(3): 445-450.
- [17] 李隆云,付善全,秦松云. 生育期、贮藏期和产地品种对姜黄品质的影响[J]. 中国中药杂志, 1999, 24(10): 589-590.
- [18] 孙宇章,郭兰萍,黄璐琦,等. 茅山地区苍术居群植物分布与环境关系的典范对应分析[J]. 湖南中医药大学学报, 2007, 27(S1): 218-221.
- [19] 黎开强,吴卫,郑有良,等. 温度对川贝母生理指标、鳞茎产量及总生物碱含量的影响[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(16): 1948-1951.
- [20] 褚必海,毛善国,丁小余,等. 泽泻有效成分与生态因子的关系[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2007, 30(2): 98-103.
- [21] 郭兰萍,黄璐琦,阎洪,等. 基于地理信息系统的苍术道地药材气候生态特征研究[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(8): 565-569.
- [22] 顾永华,冯煦,夏冰. 水分胁迫对茅苍术根茎生长及挥发油含量的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(3): 23-27.
- [23] Tang C S, Cai W F, Kohl K, et al. Plant stress and allelopathy [M] // Inderjit, Dakshini K M M, Einhellig F A. Allelopathy: Organisms, Processes, and Applications (ACS Symposium Series: Vol. 582). Washington D C: American Chemical Society, 1994: 142-157.
- [24] 何丙辉,钟章成. 不同环境胁迫下银杏构件种群药用成分变化的研究[J]. 西南农业大学学报, 2003, 25(1): 7-10.
- [25] Deavours B E, Dixon R A. Metabolic engineering of isoflavonoid biosynthesis in alfalfa[J]. Plant Physiology, 2005, 138(4): 2245-2259.
- [26] 孔垂华,徐涛,胡飞,等. 环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 849-854.
- [27] 马云桐,万德光,黄清龙. 不同土壤因子与虎杖主要成分的相关性分析[J]. 时珍国医国药, 2009, 20(6): 1520-1522.
- [28] 牛艳,许兴,魏玉清,等. 土壤生态因子与宁夏枸杞中甜菜碱含量变化的关系[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 221-223, 231.

(责任编辑:张明霞)