

# 商陆水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量变异规律与优良种源筛选

周恺麟<sup>1,2</sup>, 吕伟旗<sup>2</sup>, 汤晟凌<sup>2\*</sup>

(1. 浙江中医药大学, 杭州 311400; 2. 丽水市人民医院, 浙江 丽水 323000)

**[摘要]** **目的:**为商陆种质资源利用与优良品种选育提供依据。**方法:**收集全国主分布区商陆野生种质资源23份,考察其经纬度、海拔、农艺性状,用热浸法测定块根水溶性浸出物含量,用HPLC-ELSD法测定块根商陆皂苷甲含量,用DPS 6.55、Excel 2003软件进行单因素方差分析、相关性分析、主成分分析与聚类分析。**结果:**商陆不同种源间农艺性状存在显著差异( $P < 0.05$ ),其中福建、广西种源生长势好,植株高大,茎粗,叶片大而多狭长,块根产量高;不同种源间水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量也存在显著差异( $P < 0.05$ ),2个成分变异规律相似,与种源地、经纬度、海拔、农艺性状存在相关性,其中陕西、浙江种源含量较高;与株高、茎粗、叶片长、叶片宽、叶柄长、块根纵径、块根横径、块根产量呈负相关关系,与根形指数、纬度、海拔呈正相关关系,与叶形指数、经度相关性较低;12个生长与成分性状指标可简化为5个主成分,累计贡献率达93.6119%;23个种源可划分为5类。**结论:**高纬度、高海拔种植商陆有利于块根中水溶性浸出物与商陆皂苷甲含量积累;共筛选出5个农艺性状优良种源与4个高成分含量优良种源,可作为高产、优质商陆品种选育备选种质。

**[关键词]** 商陆; 水溶性浸出物; 商陆皂苷甲; 变异规律; 农艺性状; 优良种源

**[中图分类号]** R282; R931; P968; R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2018)04-0044-07

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.2018040044

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20171125.1444.006.html>

**[网络出版时间]** 2017-11-25 14:44

## Variation Patterns of Contents of Water-soluble Extractives and Esculentoside A and Selection of Superior Germplasms in *Phytolacca acinosa*

ZHOU Kai-lin<sup>1,2</sup>, LYU Wei-qi<sup>2</sup>, TANG Cheng-ling<sup>2\*</sup>

(1. Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 311400, China;

2. Lishui People's Hospital, Lishui 323000, China)

**[Abstract]** **Objective:** To provide basis for utilizing germplasm resources and selecting superior varieties of *Phytolacca acinosa*. **Method:** Twenty-three wild germplasm resources of *P. acinosa* from the main distribution areas of China were collected, and their longitude, latitude and agronomic traits were studied. Contents of water-soluble extractives and esculentoside A were determined by hot dipping and HPLC-ELSD methods respectively. The data obtained were analyzed with DPS 6.55 and Excel 2003 software by ANOVA and UPGMA methods. **Result:** There were significant differences in agronomic traits among different germplasms of *P. acinosa* ( $P < 0.05$ ). Plants from Fujian and Guangxi showed superior agronomic characters and higher earthnut production. Moreover, there were significant differences in contents of water-soluble extractives and esculentoside A ( $P < 0.05$ ), and plants from Shaanxi and Zhejiang were higher than others. The contents had a negative correlation with height of plant, diameter of stem, length and width of leaves, length of stipe, vertical and horizontal diameter of earthnut, production of earthnut, a positive correlation with earthnut index, latitude and altitude, and no significant correlation with leaf index and longitude. **Conclusion:** Plantation of *P. acinosa* in high-latitude and high-altitude

**[收稿日期]** 20170824(012)

**[基金项目]** 浙江省重点科技创新团队项目(2012CXTD11)

**[第一作者]** 周恺麟,药师,硕士,从事中药资源收集与药效成分含量测定研究,E-mail:zhoukailin1989@126.com

**[通信作者]** \*汤晟凌,副主任药师,从事中药成分分析与质量控制研究,Tel: 0578-2292510,E-mail:tangchenlin2004@126.com

areas can enhance the accumulation of water-soluble extractives and esculentoside A. Five germplasms with superior agronomic traits and four germplasms with higher contents of water-soluble extractives and esculentoside A are selected, which could be alternative high-yield and high-quality germplasms of *P. acinosa*.

[Key words] *Phytolacca acinosa*; water-soluble extractive; esculentoside A; variation pattern; agronomic trait; superior germplasm

商陆系商陆科多年生草本植物,主要分布于我国江西、湖南、湖北、浙江、广西、福建、陕西等省,干燥块根入药,是 2015 年版《中国药典》收录的 2 种商陆药材之一,性苦、寒、微毒,归肺、脾、肾、大肠经,具有逐水消肿、通利二便、解毒散结的功效,主治水肿胀满、二便不通、痈肿疮毒等<sup>[1-2]</sup>。现代化学与药理学研究表明商陆块根中含有三萜皂苷类、黄酮类、酚酸类、甾醇类以及多糖类等多种成分<sup>[3-6]</sup>,具有抗菌、抗病毒、抗炎、利尿、保护肾损伤、抗肿瘤、增强免疫等多重功效,临床主要用于治疗血小板减少性紫癜、急慢性肾炎、肾水肿、银屑病、慢性气管炎等<sup>[7-10]</sup>。目前对商陆报道研究主要集中在栽培技术、生物学特性、药材鉴定、化学成分提取分离、药理活性、生理生化等方面,鲜有的资源质量评价也仅局限于少数产地<sup>[2]</sup>,系统的全国主分布区商陆野生种质资源收集与评价未见报道<sup>[3,11-14]</sup>。水溶性浸出物、商陆皂苷甲为 2015 年版《中国药典》规定的商陆药材主要活性成分<sup>[1]</sup>,因此,本实验以水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量为主要指标成分,在全国 9 省 23 个野生商陆种质资源收集的基础上,进行不同种源间生境因子、农艺性状、成分含量考察,并进行相关性分析、主成分分析、聚类分析与优良种源筛选,以期对商陆种质资源利用与品种选育提供依据。

### 1 材料

2012 年 11 月至 2013 年 1 月,收集陕西、浙江、湖南、湖北、山东、广西等 9 省 23 份野生商陆种子,春化处理于 2013 年 2 月底统一播种,苗高 6 ~ 8 cm 时移栽至中药材种质资源保护圃。原植物由汤晟凌副主任药师鉴定为商陆科植物商陆(3 年生) *Phytolacca acinosa*,详见表 1。

Milli-Q Academic 型超纯水仪(美国 Millipore 公司),ME802E 型电子天平(瑞士梅特勒托利多公司),Hitachi-7110 型高效液相色谱仪(日本 Hitachi 公司),Altech 2000ES ELSD 型检测器(美国 Altech 公司),FRQ-1002T 型超声波清洗机(杭州法兰特超声波科技有限公司),DGG-9070 型电热恒温鼓风干燥器(上海森信试验仪器有限公司),JK-WB-2A 型数显恒温水浴锅(上海精学科学仪器有限公司),

表 1 供试商陆种源信息

Table 1 Provenances of *Phytolacca Radix*

种源	经度/°	纬度/°	海拔/m	生长环境
陕西凤县	106.93	34.24	1 569	阔叶林
陕西太白	107.76	33.95	2 593	沟谷
陕西杨凌	108.08	34.27	460	阔叶林
浙江庆元	119.22	27.74	1 344	山坡林下
浙江景宁	119.51	27.88	528	向阳山坡
浙江临安	119.04	30.13	201	林缘路旁
浙江富阳	119.95	29.92	125	林下
浙江莲都	119.80	28.19	790	阔叶林
浙江余姚	121.32	30.06	220	沟谷
山东蒙阴	117.97	35.55	320	沟谷
山东青州	118.35	36.48	405	阔叶林
湖北蔡甸	113.92	30.47	138	林缘路旁
湖北兴山	110.74	31.34	245	林下
湖南平江	113.77	28.46	1 162	山坡林下
湖南临湘	113.41	29.22	64	向阳山坡
安徽潜山	116.58	30.63	128	阔叶林
安徽霍山	116.50	31.39	117	林下
江西婺源	117.78	29.50	566	山坡
江西弋阳	117.40	28.68	399	林缘路旁
福建罗源	119.45	26.47	410	公路边
福建闽侯	119.15	26.27	773	沟谷
广西阳朔	110.58	24.96	328	阔叶林
广西兴安	110.42	25.68	445	山坡林下

FS-30C 型超微粉碎机(云南雷迈机械设备有限公司),SHB-2IIIA 型循环水真空泵(临海市永昊真空设备有限公司);商陆皂苷甲对照品(上海源叶生物科技有限公司,批号 B21143,供含量测定用);色谱级甲醇(百灵威科技有限公司,批号 122729);水为蒸馏水,其他试剂均为分析纯。

### 2 方法

2.1 农艺性状考察 2016 年 7 月进行地上部农艺性状考察,每个种源随机选取 20 个单株,用卷尺测量株高,用直尺测量叶片中脉长度(叶片长),叶片宽,用游标卡尺测量叶柄长、茎粗,计算叶形指数 =

叶长/叶宽;2016 年 10 月进行地下部农艺性状考察,采收地下 3 年生块根,洗净,用直尺测量块根纵径,用游标卡尺测量块根横径,计算根形指数 = 块根纵径/块根横径;测量后切块,60 °C 烘箱烘至恒重,用电子天平称量块根干重,即为块根产量;称重后粉碎,过 60 目筛,待用。

**2.2 水溶性浸出物含量测定** 取样品粉末 2 g,加入蒸馏水 200 mL,室温静置 60 min,沸水浴回流提取 80 min,趁热过滤,加水定容置 250 mL 量瓶,精密吸取 25 mL,置干燥至恒重的蒸发皿(质量  $a$ )中,在水浴上蒸干后,于 105 °C 干燥 3 h,置干燥器中冷却至室温,迅速精密称定质量( $b$ ),计算样品水溶性浸出物含量 =  $[(b - a) \times 10/2] \times 100\%$ 。

### 2.3 商陆皂苷甲含量测定

**2.3.1 色谱条件** Diamonsil  $C_{18}$  色谱柱(4.6 mm  $\times$  250 mm, 5  $\mu$ m);流动相甲醇-0.2% 乙酸水(75:25),流速 1.0 mL  $\cdot$  min<sup>-1</sup>,柱温 25 °C,进样量 20  $\mu$ L,ELSD 漂移管温度 75 °C,载气流速 2.0 L  $\cdot$  min<sup>-1</sup>。

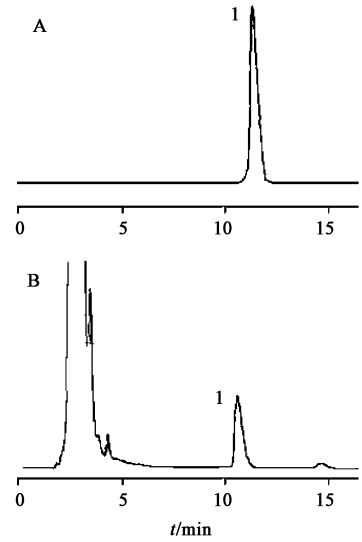
**2.3.2 线性关系考察** 精密量取含商陆皂苷甲 0.5 g  $\cdot$  L<sup>-1</sup> 的对照品溶液 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2 mL 至 10 mL 量瓶,用甲醇定容至刻度,按 2.3.1 项下色谱条件测定,以峰面积  $Y$  为纵坐标,质量浓度  $X$  为横坐标,绘制商陆皂苷甲线性方程,  $Y = 1.5896X + 20.7110$  ( $r = 0.9998$ ),线性范围为 5.0 ~ 160.0 mg  $\cdot$  L<sup>-1</sup>。

**2.3.3 供试品溶液制备与含量测定** 精密称取商陆块根粉末 0.3 g 至圆底烧瓶,加入 50% 乙醇 25 mL,封口,称定质量,室温下超声(功率 500 W,频率 40 kHz)30 min,补足减失质量,0.45  $\mu$ m 微孔滤膜过滤,即得供试品溶液。按 2.3.1 项下色谱条件测定商陆皂苷甲含量,HPLC 色谱见图 1。

**2.3.4 稳定性试验** 随机取陕西太白样品,按 2.3.3 项下方法制备供试品溶液,室温避光保存,按 2.3.1 项下色谱条件分别于 0, 2, 4, 8, 16, 24, 48 h 进样,测得该样品商陆皂苷甲含量 RSD 1.3%,表明样品溶液在室温避光保存 48 h 内稳定。

**2.3.5 精密度试验** 取商陆皂苷甲对照品溶液,按 2.3.1 项下色谱条件下连续进样 6 次,得对照品溶液商陆皂苷甲峰面积 RSD 0.3%,表明仪器精密度良好。

**2.3.6 重复性试验** 随机取浙江庆元样品 6 份,按 2.3.3 项下方法制备供试品溶液,按 2.3.1 项下色谱条件测定,得到样品商陆皂苷甲平均质量分数为 2.774 2 mg  $\cdot$  g<sup>-1</sup>,RSD 1.6%,表明方法重复性良好。



A. 对照品;B. 样品;1. 商陆皂苷甲

图 1 商陆 HPLC 色谱

Fig. 1 HPLC chromatograms of Phytolaccae Radix

**2.3.7 加样回收率试验** 将已知商陆皂苷甲含量的山东青州样品,按 2.3.3 项下方法制备供试品溶液,配制成低、中、高 3 个浓度梯度,按 2.3.1 项下色谱条件测定商陆皂苷甲含量。计算加样回收率,平均加样回收率与 RSD 见表 2。

表 2 黄芪甲苷的加样回收率试验

Table 2 Results of recovery tests of esculentoside A

称样量 /g	样品中量 /mg	加入量 /mg	测得量 /mg	回收率 /%	平均回收率 /%	RSD /%
0.120 0	0.279 3	0.240 1	0.519 9	100.21	100.46	1.3
0.120 3	0.280 0	0.240 5	0.523 6	101.29		
0.120 2	0.279 8	0.240 3	0.517 8	99.06		
0.150 3	0.349 8	0.300 2	0.655 8	101.93		
0.150 1	0.349 3	0.300 1	0.646 3	98.95		
0.150 1	0.349 3	0.300 4	0.645 5	98.59		
0.180 2	0.419 4	0.360 1	0.788 4	102.47		
0.180 1	0.419 2	0.360 2	0.788 1	102.43		

**2.3.8 数据处理与分析** 用 DPS 6.55 与 Excel 2003 软件处理数据,采用单因素 ANOVA 分析,聚类分析采用类平均法。

## 3 结果与分析

**3.1 种源间农艺性状、水溶性浸出物与商陆皂苷甲含量比较** 供试商陆种源间农艺性状存在显著性差异( $P < 0.05$ ),其中广西兴安种源株高、叶片长、叶片宽、叶柄长指标最高,分别为 1.53 m, 26.75, 10.84, 2.53 cm;福建闽侯种源叶形指数、块根横径、

块根产量指标最高,分别为 2.63,3.83 cm,3.56 g; 广西阳朔种源茎最粗为 2.10 cm,浙江余姚种源叶片多宽钝,叶形指数最低为 1.78;福建罗源种源块根纵径最大达 23.64 cm,陕西凤县根形指数指标最高为 7.81,湖北兴山根形指数指标最低为 4.45。供试种源间水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量也存在显

著差异( $P < 0.05$ ),其中陕西太白种源块根水溶性浸出物质量分数为最高,达到了 20.63%,安徽霍山种源水溶性浸出物质量分数最低仅为 12.53%;陕西凤县种源块根商陆皂苷甲质量分数最高为 2.873 6  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,而广西兴安种源商陆皂苷甲质量分数最低仅为 1.955 4  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,详见表 3。

表 3 商陆不同种源间农艺性状、水溶性浸出物与商陆皂苷甲含量比较( $\bar{x} \pm s, n = 20$ )

Table 3 Comparison of agronomic traits, water-soluble extractives and esculentoside A contents among germplasm of *Phytolacca Radix* ( $\bar{x} \pm s, n = 20$ )

种源	株高/m	茎粗/cm	叶片长/cm	叶片宽/cm	叶形指数	叶柄长/cm
陕西凤县	0.95 ± 0.21	1.08 ± 0.14	15.31 ± 3.20	7.84 ± 1.52	1.95 ± 0.34	1.63 ± 0.32
陕西太白	0.86 ± 0.18	1.10 ± 0.24	16.87 ± 3.17	7.50 ± 1.56	2.25 ± 0.42	1.53 ± 0.34
陕西杨凌	1.24 ± 0.16	1.39 ± 0.12	24.16 ± 4.29	9.61 ± 2.01	2.51 ± 0.51	1.86 ± 0.25
浙江庆元	1.26 ± 0.21	1.75 ± 0.24	23.75 ± 3.46	9.37 ± 2.15	2.53 ± 0.36	2.13 ± 0.34
浙江景宁	1.32 ± 0.12	1.67 ± 0.27	22.19 ± 5.16	8.88 ± 1.67	2.50 ± 0.64	1.99 ± 0.42
浙江临安	1.34 ± 0.19	1.84 ± 0.26	21.48 ± 4.67	9.07 ± 1.38	2.37 ± 0.34	2.26 ± 0.35
浙江富阳	1.18 ± 0.23	1.54 ± 0.12	19.14 ± 3.58	7.81 ± 1.48	2.45 ± 0.45	2.37 ± 0.51
浙江莲都	1.24 ± 0.22	1.60 ± 0.18	16.45 ± 3.16	7.75 ± 1.34	2.12 ± 0.22	1.79 ± 0.36
浙江余姚	1.30 ± 0.12	1.24 ± 0.23	15.73 ± 2.01	8.84 ± 2.31	1.78 ± 0.43	1.98 ± 0.38
山东蒙阴	1.11 ± 0.24	1.24 ± 0.21	14.57 ± 3.24	7.69 ± 2.64	1.89 ± 0.31	1.87 ± 0.41
山东青州	1.27 ± 0.12	1.18 ± 0.24	17.84 ± 2.16	9.07 ± 1.69	1.97 ± 0.22	1.72 ± 0.33
湖北蔡甸	1.28 ± 0.34	1.48 ± 0.22	18.48 ± 3.78	8.83 ± 2.14	2.09 ± 0.28	1.76 ± 0.31
湖北兴山	1.37 ± 0.24	1.37 ± 0.20	16.49 ± 2.46	8.49 ± 1.49	1.94 ± 0.31	1.86 ± 0.38
湖南平江	0.97 ± 0.29	1.24 ± 0.18	16.52 ± 3.21	7.01 ± 2.14	2.36 ± 0.24	2.13 ± 0.45
湖南临湘	1.24 ± 0.37	1.42 ± 0.34	16.47 ± 4.26	7.96 ± 2.43	2.07 ± 0.35	2.14 ± 0.42
安徽潜山	1.14 ± 0.25	1.37 ± 0.37	18.49 ± 3.18	8.64 ± 2.65	2.14 ± 0.44	1.96 ± 0.36
安徽霍山	1.20 ± 0.21	1.29 ± 0.32	16.71 ± 4.26	8.10 ± 3.12	2.06 ± 0.43	1.81 ± 0.38
江西婺源	1.37 ± 0.19	1.45 ± 0.36	18.49 ± 3.15	8.67 ± 1.65	2.13 ± 0.23	2.29 ± 0.47
江西弋阳	1.20 ± 0.28	1.41 ± 0.24	22.51 ± 4.23	8.84 ± 2.68	2.55 ± 0.45	2.37 ± 0.51
福建罗源	1.47 ± 0.36	1.89 ± 0.26	24.16 ± 6.31	9.37 ± 2.49	2.58 ± 0.57	2.52 ± 0.56
福建闽侯	1.34 ± 0.34	1.94 ± 0.26	24.78 ± 4.67	9.41 ± 2.61	2.63 ± 0.65	2.37 ± 0.58
广西阳朔	1.48 ± 0.42	2.10 ± 0.23	25.48 ± 5.46	9.87 ± 2.32	2.58 ± 0.52	2.48 ± 0.53
广西兴安	1.53 ± 0.38	1.98 ± 0.21	26.75 ± 5.64	10.84 ± 2.33	2.47 ± 0.37	2.53 ± 0.37

种源	块根纵径/cm	块根横径/cm	根形指数	块根产量/g	水溶性浸出物/%	商陆皂苷甲/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$
陕西凤县	16.24 ± 3.81	2.08 ± 0.42	7.81 ± 1.89	1.69 ± 0.34	19.86 ± 4.56	2.873 6 ± 0.524 1
陕西太白	15.79 ± 3.45	2.10 ± 0.38	7.52 ± 1.64	1.65 ± 0.38	20.63 ± 5.20	2.763 1 ± 0.552 1
陕西杨凌	16.48 ± 4.20	2.87 ± 0.37	5.74 ± 1.84	1.98 ± 0.54	17.65 ± 3.84	2.514 8 ± 0.463 2
浙江庆元	18.79 ± 4.10	3.04 ± 0.66	6.18 ± 1.35	2.37 ± 0.34	18.68 ± 4.13	2.774 2 ± 0.425 8
浙江景宁	17.96 ± 3.85	3.64 ± 0.67	4.93 ± 1.20	2.85 ± 0.46	17.69 ± 5.12	2.651 8 ± 0.364 1
浙江临安	20.47 ± 4.51	3.85 ± 0.68	5.32 ± 1.41	2.89 ± 0.68	18.03 ± 3.58	2.598 7 ± 0.521 1
浙江富阳	18.42 ± 3.62	3.49 ± 0.61	5.28 ± 1.12	2.79 ± 0.87	16.84 ± 4.31	2.645 8 ± 0.634 4
浙江莲都	19.86 ± 3.75	3.37 ± 0.58	5.89 ± 1.21	2.83 ± 0.77	17.96 ± 3.59	2.374 9 ± 0.532 4
浙江余姚	18.33 ± 3.49	3.78 ± 0.45	4.85 ± 1.30	2.73 ± 0.85	18.01 ± 4.67	2.579 2 ± 0.574 2
山东蒙阴	17.37 ± 3.05	2.95 ± 0.61	5.89 ± 1.33	2.07 ± 0.54	16.56 ± 4.25	2.231 4 ± 0.316 4
山东青州	16.85 ± 4.26	3.34 ± 0.34	5.04 ± 1.42	2.80 ± 0.65	16.27 ± 3.59	2.327 4 ± 0.462 2

续表 3

种源	块根纵径 /cm	块根横径 /cm	根形指数	块根产量 /g	水溶性浸出物 /%	商陆皂苷甲 /mg·g <sup>-1</sup>
湖北蔡甸	15.36 ± 3.79	3.27 ± 0.57	4.70 ± 1.20	2.53 ± 0.45	13.48 ± 2.68	2.174 2 ± 0.412 4
湖北兴山	16.47 ± 4.63	3.70 ± 0.69	4.45 ± 1.24	2.83 ± 0.54	12.87 ± 3.54	2.174 4 ± 0.352 1
湖南平江	18.34 ± 3.78	3.27 ± 0.75	5.61 ± 1.34	2.56 ± 0.71	17.69 ± 4.13	2.301 4 ± 0.452 1
湖南临湘	16.49 ± 3.45	3.46 ± 0.65	4.77 ± 1.16	2.79 ± 0.68	16.49 ± 2.98	2.178 5 ± 0.356 4
安徽潜山	17.53 ± 3.26	2.86 ± 0.54	6.13 ± 1.34	2.46 ± 0.53	13.47 ± 3.16	1.985 1 ± 0.399 8
安徽霍山	18.57 ± 4.16	2.95 ± 0.65	6.29 ± 1.26	2.65 ± 0.59	12.53 ± 2.98	2.285 3 ± 0.451 5
江西婺源	19.85 ± 4.52	3.04 ± 0.84	6.53 ± 1.33	2.87 ± 0.55	17.67 ± 3.47	2.024 3 ± 0.541 2
江西弋阳	16.48 ± 4.53	2.67 ± 0.56	6.17 ± 1.37	2.14 ± 0.42	15.96 ± 3.15	2.014 4 ± 0.441 2
福建罗源	23.64 ± 3.46	3.51 ± 0.77	6.74 ± 1.43	3.38 ± 0.61	14.56 ± 3.64	2.145 7 ± 0.327 7
福建闽侯	20.67 ± 4.56	3.83 ± 0.95	5.40 ± 1.36	3.56 ± 0.4	14.38 ± 3.28	2.095 3 ± 0.425 5
广西阳朔	21.68 ± 3.67	3.75 ± 0.75	5.78 ± 1.24	3.39 ± 0.64	14.67 ± 3.22	2.014 2 ± 0.442 1
广西兴安	22.34 ± 3.16	3.86 ± 0.68	5.79 ± 1.53	3.37 ± 0.67	15.59 ± 3.16	1.955 4 ± 0.341 4

**3.2 相关性分析** 块根水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量与种源生境因子、农艺性状间存在相关性,且呈现出相似规律,与株高、茎粗、叶片长、叶片宽、叶柄长、块根纵径、块根横径、块根产量呈负相关关系,与根形指数、纬度、海拔呈正相关关系,而与叶形指数、经度相关性较低,详见表 4。

**3.3 主成分分析与优良种源筛选** 12 个性状指标可简化为 5 个主成分,累计贡献率 93.611 9%。第 1 主成分特征根值 6.529 7,贡献率 54.414 1%,其中除根形指数外,地上部、地下部农艺性状特征根值均为较大正值,对第 1 主成分贡献率较大,而水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量为负值;第 2 主成分特征根值为 2.233 8,贡献率为 18.615 1%,其中叶片长、叶形指数、根形指数、水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量为较大正值,对该主成分贡献率较大,构成主要变异来源;第 3 主成分特征根值为 1.036 8,贡献率为 8.640 3%,其中块根横径、水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量为较大正值,构成主要变异来源;第 4 主成分特征根值为 0.824 8,贡献率为 6.873 3%,其中块根纵径、根形指数、块根产量为较大正值,对该主成分贡献率较大;第 5 主成分特征根值为 0.608 3,贡献率为 5.069 1%,叶片宽、根形指数为较大正值,构成变异主要来源,详见表 5。以第 1 主成分  $Y_{(i,1)}$  或第 2 主成分  $Y_{(i,2)}$  值 > 1.0 为入选标准,共筛选出 9 个优良种源,分别为广西兴安、广西阳朔、福建闽侯、福建罗源、浙江临安 5 个农艺性状优良种源,表现出植株高、叶片大、块根粗壮、生长势好,陕西太白、浙江庆元、陕西凤县、陕西杨凌 4 个高成分含量优良种源,其水溶性浸出物与商陆皂苷甲含量高,详见表 3,6。

**3.4 聚类分析** 以入选的 5 个主成分为评价指标,

采用类平均法(UPGMA)对 23 个供试商陆种源进行聚类分析,根据欧式距离  $D^2 = 5.53$  可分为 5 大类群(图 2)。类群 I 共 2 个种源,分别为陕西凤县与陕西太白,该类群植株矮、茎细、叶片小而宽钝、叶柄短、块根多狭长,产量低,但水溶性浸出物与商陆皂苷甲含量高;类群 II 共 9 个种源,分别为浙江临安、浙江富阳、江西婺源、浙江莲都、湖南平江、浙江余姚、山东蒙阴、山东青州、湖南临湘,该类群植株叶片中等大小,多宽钝、茎粗中等、多数叶柄较长、块根多宽厚,产量较高,水溶性浸出物与商陆皂苷甲含量较高;类群 III 共 4 个种源,分别为湖北蔡甸、湖北兴山、安徽潜山、安徽霍山种源,该类群植株中等高度或偏矮、茎较细、叶片小而多宽钝、叶柄短、块根产量中等,其中湖北种源块根多宽厚,安徽种源块根多狭长,该类群水溶性浸出物与商陆皂苷甲含量较低;类群 IV 共 4 个种源,分别为陕西杨凌、江西弋阳、浙江庆元、浙江景宁,该类群植株中等高度、茎较粗、叶片大而狭长、叶柄中等长度、块根宽厚或狭长,产量较低,除江西弋阳种源外,水溶性浸出物与商陆皂苷甲含量较高;类群 V 共 4 个种源,分别为福建罗源、福建闽侯、广西阳朔、广西兴安,该类群植株生长势好、植株高大、茎粗、叶片大而多狭长、块根产量高,但水溶性浸出物与商陆皂苷甲含量低。

#### 4 结论与讨论

本实验考察了超声提取时间(20,30,40 min),乙醇体积分数(40%,50%,60%,70%),流动相(甲醇-0.2%乙酸水、甲醇-0.4%磷酸水、乙腈-0.2%乙酸水)对商陆块根中商陆皂苷甲含量的影响,表明商陆皂苷甲在室温 50% 乙醇超声 30 min 即可提取完全,在流动相甲醇-0.2% 乙酸水(75:25)等度洗

表 4 商陆块根水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量与生境因子、农艺性状间相关性分析

Table 4 Correlation analysis between water-soluble extractives, esculentoside A contents and agronomic traits and habitat factors of *Phytolacca Radix*

	株高	茎粗	叶片长	叶片宽	叶形指数	叶柄长	块根纵径	块根横径	根形指数	块根产量	经度	纬度	海拔	水溶性浸出物含量	商陆皂苷甲含量
株高	1.000														
茎粗	0.770	1.000													
叶片长	0.629	0.827	1.000												
叶片宽	0.799	0.697	0.842	1.000											
叶形指数	0.308	0.711	0.871	0.472	1.000										
叶柄长	0.638	0.768	0.689	0.519	0.661	1.000									
块根纵径	0.653	0.795	0.589	0.507	0.493	0.744	1.000								
块根横径	0.778	0.662	0.372	0.462	0.205	0.567	0.566	1.000							
根形指数	-0.444	-0.180	-0.012	-0.170	0.107	-0.128	0.099	-0.752	1.000						
块根产量	0.819	0.768	0.488	0.519	0.338	0.690	0.771	0.875	-0.448	1.000					
经度	0.278	0.216	0.008 2	-0.009	0.033	0.296	0.316	0.428	-0.321	0.392	1.000				
纬度	-0.583	-0.811	-0.615	-0.424	-0.622	-0.777	-0.702	-0.575	0.145	-0.715	-0.246	1.000			
海拔	-0.610	-0.264	-0.101	-0.305	0.099	-0.368	-0.173	-0.602	0.658	-0.494	-0.398	0.169	1.000		
水溶性浸出物	-0.483	-0.274	-0.165	-0.289	-0.009	-0.242	-0.170	-0.391	0.396	-0.501	-0.103	0.245	0.671	1.000	
商陆皂苷甲	-0.498	-0.321	-0.242	-0.330	-0.093	-0.471	-0.319	-0.328	0.221	-0.518	-0.042	0.376	0.524	0.727	1.000

表 5 入选主成分的特征根值、贡献率、累计贡献率与特征向量

Table 5 Eigenvalues, contribution rates, accumulative contribution rates and characteristic vector of five principal components

项目	分量来源	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$
特征根值	-	6.529 7	2.233 8	1.036 8	0.824 8	0.608 3
贡献率/%	-	54.414 1	18.615 1	8.640 3	6.873 3	5.069 1
累计贡献率/%	-	54.414 1	73.029 2	81.669 5	88.542 8	93.611 9
主成分特征向量	株高	0.352 0	-0.131 8	0.052 6	-0.103 7	0.372 6
	茎粗	0.360 6	0.156 5	0.073 2	0.025 8	-0.025 6
	叶片长	0.312 8	0.321 3	-0.120 5	-0.363 2	-0.036 8
	叶片宽	0.303 9	0.105 3	-0.125 4	-0.471 3	0.485 8
	叶形指数	0.237 6	0.421 2	-0.065 4	-0.182 3	-0.521 8
	叶柄长	0.325 2	0.141 1	-0.048 7	0.249 0	-0.355 5
	块根纵径	0.308 6	0.178 8	0.074 7	0.541 4	0.243 0
	块根横径	0.309 7	-0.278 3	0.420 5	0.047 0	-0.075 8
	根形指数	-0.140 1	0.486 0	-0.378 3	0.385 1	0.336 1
	块根产量	0.347 2	-0.171 7	0.136 0	0.298 7	0.026 2
	水溶性浸出物	-0.182 6	0.404 1	0.454 1	-0.007 1	-0.024 1
	商陆皂苷甲	-0.170 4	0.328 9	0.636 2	-0.080 3	0.213 1

脱, ELSD 漂移管温度 75 ℃, 载气流速 2.0 L·min<sup>-1</sup> 的条件下出峰效果较好, 保留时间为 11.32 min, 理论板数 > 3 000, 分离度 > 2.5。

不同商陆种源间农艺性状、水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量均存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量均达到 2015 年版《中国药典》规定的不低于 10.0%, 1.500 0 mg·g<sup>-1</sup> 的标准, 表明我国商陆主分布区种质资源农艺性状、水溶性

浸出物、商陆皂苷甲含量遗传多样性丰富, 块根有效成分含量较高, 为优良品种选育提供了良好的备选种质。聚类分析显示, 23 个商陆种源可划分为 5 个类群, 其中类群 I 与类群 II 种源块根中水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量较高, 类群 V 植株生长势好、植株高大、茎粗、叶片大而多狭长、块根产量高。

商陆水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量与种源、经纬度、海拔、农艺性状间存在相关性, 且变异规律相

表 6 优良商陆种源的 5 个主成分值

Table 6 Five principal components of superior provenances of *Phytolacca Radix*

种源	$Y_{(i,1)}$	$Y_{(i,2)}$	$Y_{(i,3)}$	$Y_{(i,4)}$
广西兴安	5.046 1	0.600 7	-0.717 6	-0.183 9
广西阳朔	4.579 5	0.523 3	-0.707 0	0.210 0
福建闽侯	3.836 5	0.096 2	-0.323 8	0.134 3
福建罗源	3.698 3	0.984 8	-0.034 4	1.386 2
浙江临安	1.862 9	0.671 9	1.682 4	0.086 0
陕西太白	-5.285 3	2.493 5	-0.170 6	-0.016 5
浙江庆元	0.467 8	2.442 0	0.765 7	-0.945 5
陕西凤县	-5.263 1	2.060 3	-0.117 3	0.429 5
陕西杨凌	-0.612 2	1.444 3	-0.271 5	-2.303 8

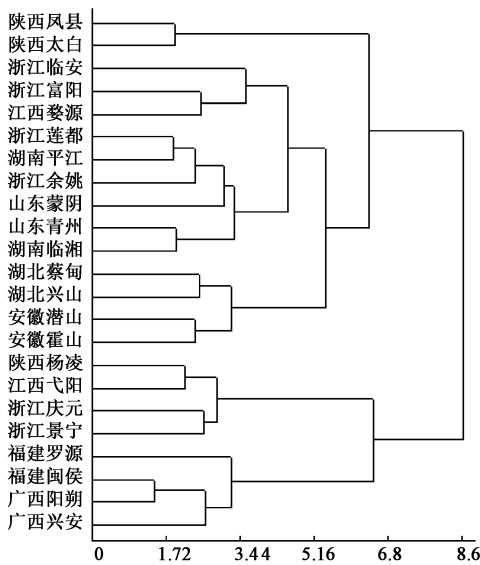


图 2 商陆种源聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis diagram of *Phytolacca Radix*

似,其中陕西、浙江种源含量较高,山东、湖南、江西种源次之,湖北、安徽、福建、广西种源较低;水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量与株高、茎粗、叶片长、叶片宽、叶柄长、块根纵径、块根横径、块根产量呈负相关关系,与根形指数、纬度、海拔间呈正相关关系,而与叶形指数、经度相关性较低,结果提示高纬度、高海拔种植商陆有利于块根中水溶性浸出物与商陆皂苷甲含量积累。供试商陆种质为野生种子收集后,统一栽培于种质资源圃进行性状考察,栽培环境与管理措施一致,我们认为种源地经纬度、海拔等生境因子是导致商陆种质资源地理隔离,进而影响商陆农艺性状与有效成分含量积累的主要因素之一。

供试 12 个生长与成分性状可简化为 5 个主成分,累计贡献率达 93.611 9%,第 1 主成分主要变异来源为生长性状指标,第 2 主成分主要变异来源为块根成分含量指标。以第 1 主成分  $Y_{(i,1)}$  或第 2 主成分

$Y_{(i,2)}$  值 > 1.0 为入选标准,共筛选出 9 个优良商陆种源,分别为广西兴安、广西阳朔、福建闽侯、福建罗源、浙江临安 5 个农艺性状优良种源,表现出植株高、叶片大、块根粗壮、生长势好,陕西太白、浙江庆元、陕西凤县、陕西杨凌 4 个高成分含量优良种源,其块根较狭长,水溶性浸出物、商陆皂苷甲含量较高。本实验筛选出的优良种源可作为商陆优良品种选育的备选种质,优先进行人工繁育与栽培技术研究。

[参考文献]

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:324-325.
- [2] 裴莉昕,纪宝玉,陈随清,等. 河南不同产地商陆药材质量分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2017,23(2): 48-52.
- [3] 王鹏程,王秋红,赵珊,等. 商陆化学成分及药理作用和临床应用研究进展[J]. 中草药,2014,45(18): 2722-2731.
- [4] 王著禄,易杨华. 中药商陆有效成分的研究—II. 商陆皂甙戊、己的分离与鉴定[J]. 药学学报,1984,doi: 10.16438/j.0513-4870.1984.11.005.
- [5] 赖道万. 商陆总皂苷及其总苷元的化学成分研究[D]. 西安:西北大学,2008.
- [6] 朱育晓. 药用植物商陆组织培养及其次生代谢产物的研究[D]. 太原:山西大学,2003.
- [7] 肖振宇,张俊平,陆峰,等. 商陆皂苷甲对细胞间粘附的影响[J]. 药学学报,2003,38(10):728-730.
- [8] 李一飞,姚广涛. 商陆药理作用及毒性研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志,2011,17(13):248-251.
- [9] 郑钦岳,王慧峰,郑向民,等. 商陆皂苷甲对兔滑膜细胞产生 IL-1 和 TNF 的影响[J]. 第二军医大学学报, 2001, 22(5):425-426.
- [10] 鞠佃文,郑钦岳. 商陆皂苷甲对大鼠 Heymann 肾炎的治疗作用及对细胞因子的影响[J]. 药学学报,1999, 34(1):9-12.
- [11] 孟祥龙,张朔生,孙珊珊. 不同蒸制方法及蒸制时间对商陆中商陆皂苷甲含量动态变化影响的研究[J]. 药物分析杂志,2012,32(11):1968-1971.
- [12] 余德,吴德峰,郑真珠. 商陆的利用及其栽培技术[J]. 福建农业科技,2010(4):85-86.
- [13] 周国海,杨美霞,于华忠,等. 商陆生物学特性的初步研究[J]. 中国野生植物资源,2004,23(4):37-40.
- [14] 赵会君. 商陆富集重金属的分子和生理机制研究[D]. 北京:中国科学院大学,2012.

[责任编辑 顾雪竹]