

生态因子与化学成分相关联的药用和食用枸杞子适宜生产区划研究

卢有媛^{1,2}, 郭盛^{1*}, 严辉¹, 张芳¹, 王汉卿², 晋玲³, 段金赓^{1*}

(1. 南京中医药大学江苏省中药资源产业化过程协同创新中心/中药资源产业化与方剂创新药物国家地方联合工程研究中心/国家中医药管理局中药资源循环利用重点研究室, 江苏南京 210023; 2. 宁夏医科大学药学院, 宁夏银川 750021; 3. 甘肃中医药大学药学院, 甘肃兰州 730000)

摘要: 枸杞子为药食同源之品, 区分其药用和食用生产适宜区域, 有利于其栽培生产的科学布局。本研究采用 Maxent 模型研究宁夏枸杞生态适宜区, 并基于化学成分综合作用, 采用 GIS 技术, 结合文献统计分析及化学计量学等手段, 研究药用枸杞子和食用枸杞子适宜生产区。研究结果显示, 宁夏枸杞生态适宜区主要分布在我国西北部; 药用枸杞子生产适宜区主要集中在宁夏, 甘肃白银、酒泉和张掖地区及内蒙古西部部分地区, 均为枸杞子药材的传统产区, 与枸杞子药用古以甘州产质佳, 今以宁夏中宁产为道地相一致; 食用枸杞子生产适宜区主要分布在青海西北部、甘肃酒泉和张掖地区及新疆阿克苏和克孜勒苏柯尔克孜州地区, 该产区枸杞子果型指数较大, 果实中果糖和葡萄糖含量高, 满足食用产品的商品属性。研究结果为基于利用途径的差异化实现宁夏枸杞分区布局发展奠定了基础。

关键词: 药用枸杞子; 食用枸杞子; 适宜生产区划; 综合评价

中图分类号: R931 文献标识码: A 文章编号: 0513-4870(2020)10-2466-12

Regionalization of production of medicinal and edible fruit of *Lycium barbarum* associated with ecological factors and chemical constituents

LU You-yuan^{1,2}, GUO Sheng^{1*}, YAN Hui¹, ZHANG Fang¹, WANG Han-qing², JIN Ling³, DUAN Jin-ao^{1*}

(1. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization, State Administration of Traditional Chinese Medicine Key Laboratory of Chinese Medicinal Resources Recycling Utilization, National and Local Collaborative Engineering Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization and Formulae Innovative Medicine, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China; 2. School of Pharmacy, Ningxia Medical University, Yinchuan 750021, China; 3. School of Pharmacy, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The fruit of *Lycium barbarum* L. (FLB) is a food and medicinal herb. Identifying suitable production regions for this plant would be beneficial to its cultivation and production. In this study, the Maxent model was used to identify ecologically suitable regions for the growth of *L. barbarum* L. In addition, based on its chemical composition, the suitable regions for production were identified by literature analysis and chemometrics. The results show that suitable regions for *L. barbarum* L. culture are mainly distributed in the northwest of China; suitable regions for the production of medicinal FLB were mainly concentrated in the district of Ningxia, Baiyin, Jiuquan and Zhangye of Gansu, and parts district in west of Inner Mongolia. All are the traditional production regions for FLB, which is consistent with the good quality of FLB produced in Ganzhou in ancient times, and the genuine medicinal materials of FLB produced in Zhongning of Ningxia today. The suitable regions for edible FLB were mainly distributed in northwest of Qinghai, Jiuquan and Zhangye of Gansu, as well as Aksu and Kizi sukirgiz of

收稿日期: 2020-04-28; 修回日期: 2020-05-20.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (81773837, 81873189); 宁夏科技重点研发计划 (东西部合作项目 2017BY079).

*通讯作者 E-mail: guosheng@njucm.edu.cn; dja@njucm.edu.cn

DOI: 10.16438/j.0513-4870.2020-0572

Xinjiang. The fruit type index of FLB in these regions is large, and the content of fructose and glucose in the fruit is high, which satisfies the edible commodity property. The study results lay a foundation for realizing the regional distribution and development of *L. barbarum* based on its different uses.

Key words: medicinal fruit of *Lycium barbarum*; edible fruit of *Lycium barbarum*; production suitability regionalization; comprehensive evaluation

枸杞子为茄科植物宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L. 的干燥成熟果实, 作为药用始载于《神农本草经》, 具有滋补肝肾、益精明目功效。宁夏枸杞原产于我国北部, 内蒙古、甘肃、宁夏和新疆等地有野生^[1]。随着市场对枸杞子需求量的增加, 宁夏枸杞栽培区域逐渐扩大, 由本草记载之传统栽培区甘州、灵州、九原等地扩展为宁夏全省、甘肃中部和西北部、内蒙古西部、青海西部和新疆西北部六大主产区, 在满足市场需求的同时成为西部经济欠发达地区脱贫扶困的支柱产业^[2]。但是, 截止目前唯有宁夏中宁所产枸杞子获得道地药材认可。“诸药所生, 皆有其境”强调了生态环境对药材生长的影响, 盲目引种、扩种在影响中药材生产合理布局的同时也会削弱其道地性^[3]。宁夏枸杞种植区生态条件差异较大, 且不同生态条件下枸杞子果实形态差异较大, 青海产枸杞子呈现为长果型; 甘肃白银、宁夏和内蒙古产枸杞子呈纺锤形; 新疆和甘肃酒泉产枸杞子呈类球形^[4,5]。此外, 课题组前期研究结果显示, 不同产地枸杞子中化学成分组成及含量存在差异。枸杞子为药食同源之品, 化学成分的综合作用最终表现为品质差异及药用和食用功能取向差异。基于所含化学成分的差异, 宁夏枸杞不同生态适宜区生产的枸杞子可能具有不同的用途, 如药用、食用, 或二者兼用, 但未见相关研究报道。因此选择适宜的栽培生产区域, 并基于其化学成分的组成及含量差异, 研究其药用和食用生产适宜区, 在满足经济发展的同时可以实现其资源价值的最大化。

中药生态区划通过研究药用动植物生态特征及其与自然条件的关系, 揭示其生境自然条件空间规律, 并基于自然条件空间分布规律实现生态适宜性区域划分, 为中药资源合理开发利用提供依据^[6,7]。生态位模型是实现中药生态区划的常用手段, 其基于物种自身特定的小生境, 采用数据建模方法归纳出生境特点并将其映射到目标区域, 最终获得该物种的生态分布区^[8]。ENFA、CLIMEX、BIOCLIM、DOMAIN、GARP 和 MaxEnt 为常用的生态位模型。其次, 中国中医科学院中药研究所自主研发的全球药用植物适宜产区分析系统 (geographic information system for global medicinal plants, GMPGIS) 也被用于药用植物生态适宜区预

测^[9]。其中, MaxEnt 通过已知分布信息寻找最大熵估计物种分布, 对未知分布信息不做假设、不持偏见, 预测结果准确度较高, 模拟精度高, 被广泛用于动植物潜在适宜区预测^[10-12]。基于化学成分含量与环境因子的关系模型, 结合化学计量学和 GIS 软件, 可以综合评价中药材中化学成分分布特征, 研究其品质或生产区划^[13-15]。

本研究以宁夏枸杞 *L. barbarum* L. 的干燥成熟果实为研究对象, 基于我国枸杞子主产区 94 批次样本实际分布信息和 55 个环境因子数据, 通过 Maxent 模型预测其在我国的生态适宜区, 探寻影响其生长的生态因子; 并通过多糖、单/寡糖、氨基酸、核苷和碱基、类胡萝卜素等 47 个化学成分含量与相关环境因子的数学模型、文献统计分析及化学计量学等手段, 结合 GIS 技术, 在展示不同产地枸杞子中化学成分特征的基础上体现药用和食用功能差异, 进而区分药用枸杞子和食用枸杞子适宜生产区, 为实现其资源价值最大化和合理利用提供参考依据。

材料与方法

样品收集 课题组于 2017 年 7~8 月从宁夏、甘肃、青海、内蒙古、新疆 5 个产区采集枸杞子样品 94 份, 并记录经纬度及生境信息。样本经南京中医药大学段金廛教授鉴定为宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L. 的干燥成熟果实, 样品采集地分布信息见表 1。

生态因子数据获取 生态因子数据来源于“中药资源空间信息网络数据库”, 包含 43 个气候类型数据 (12 个月的降水量和平均气温、19 个综合气候因子)、8 个土壤类型数据 (土壤 pH、阳离子交换能力、含沙量、含黏土量、土壤亚类、有效水含量等级、土壤质地分类、有机碳含量)、3 个地形数据 (海拔、坡度、坡向) 和植被类型。气候类型数据根据 1950~2000 年间的气象观测数据插值而成, 土壤类型数据根据第二次全国土地调查提供的《1:100 万中华人民共和国土壤图》制成, 植被类型以中国科学院植物研究所的《中华人民共和国植被图 (1:100 万)》中的植被亚类数据制成。

宁夏枸杞生态适宜区预测 基于 94 个采样点信息及 55 个生态因子数据, 利用最大熵模型 (Maxent) 预

Table 1 The distribution information of *Lycium barbarum*

No.	Producing area	Longitude	Latitude	Altitude/m	No.	Producing area	Longitude	Latitude	Altitude/m
1	Huinong, Ningxia	106.80°	39.06°	1 093	48	Jinta, Gansu	99.51°	40.31°	1 104
2	Huinong, Ningxia	106.61°	39.08°	1 054	49	Jinta, Gansu	98.73°	40.18°	1 189
3	Huinong, Ningxia	106.53°	39.01°	1 054	50	Yumen, Gansu	97.86°	40.21°	1 212
4	Huinong, Ningxia	106.59°	39.06°	1 054	51	Yumen, Gansu	97.39°	39.97°	1 657
5	Xixia, Ningxia	106.20°	38.66°	1 078	52	Guazhou, Gansu	96.14°	40.53°	1 188
6	Xixia, Ningxia	106.20°	38.66°	1 079	53	Guazhou, Gansu	96.51°	40.53°	1 198
7	Xixia, Ningxia	106.14°	38.64°	1 074	54	Guazhou, Gansu	96.51°	40.53°	1 198
8	Xixia, Ningxia	106.10°	38.64°	1 082	55	Guazhou, Gansu	95.71°	40.06°	1 534
9	Xixia, Ningxia	106.10°	38.64°	1 082	56	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.07°	40.63°	1 017
10	Hongsipu, Ningxia	105.97°	37.40°	1 272	57	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.07°	40.63°	1 017
11	Hongsipu, Ningxia	105.95°	37.40°	1 330	58	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.07°	40.62°	1 015
12	Litong, Ningxia	106.26°	37.78°	1 136	59	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.07°	40.62°	1 015
13	Zhongning, Ningxia	105.62°	37.50°	1 188	60	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.07°	40.62°	1 015
14	Zhongning, Ningxia	105.93°	37.46°	1 260	61	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.07°	40.61°	1 014
15	Zhongning, Ningxia	105.93°	37.46°	1 260	62	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.08°	40.60°	1 016
16	Zhongning, Ningxia	105.72°	37.48°	1 200	63	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.08°	40.63°	1 015
17	Zhongning, Ningxia	105.72°	37.48°	1 200	64	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.08°	40.63°	1 016
18	Zhongning, Ningxia	105.72°	37.48°	1 200	65	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.14°	40.59°	1 015
19	Zhongning, Ningxia	105.72°	37.48°	1 200	66	Wulateqianqi, Inner Mongolia	109.14°	40.59°	1 015
20	Zhongning, Ningxia	105.68°	37.30°	1 174	67	Wuyuani, Inner Mongolia	108.24°	41.18°	1 023
21	Zhongning, Ningxia	105.68°	37.30°	1 174	68	Wuyuani, Inner Mongolia	108.24°	41.18°	1 023
22	Zhongning, Ningxia	105.99°	37.27°	1 223	69	Wuyuani, Inner Mongolia	108.24°	41.18°	1 023
23	Zhongning, Ningxia	105.63°	37.38°	1 213	70	Wuyuani, Inner Mongolia	108.20°	41.16°	1 023
24	Zhongning, Ningxia	105.63°	37.29°	1 312	71	Hangjinhouqi, Inner Mongolia	106.99°	40.96°	1 035
25	Zhongning, Ningxia	105.57°	37.31°	1 347	72	Hangjinhouqi, Inner Mongolia	106.99°	40.96°	1 035
26	Shapotou, Ningxia	105.13°	37.54°	1 189	73	Hangjinhouqi, Inner Mongolia	106.98°	40.95°	1 036
27	Shapotou, Ningxia	105.43°	37.51°	1 179	74	Hangjinhouqi, Inner Mongolia	106.96°	40.93°	1 036
28	Shapotou, Ningxia	105.40°	37.54°	1 170	75	Geermu, Qinghai	94.78°	36.44°	2 754
29	Yuanzhou, Ningxia	106.16°	36.40°	1 496	76	Geermu, Qinghai	94.81°	36.44°	2 778
30	Yuanzhou, Ningxia	106.16°	36.45°	1 525	77	Geermu, Qinghai	95.75°	36.44°	3 178
31	Yuanzhou, Ningxia	106.10°	36.37°	1 517	78	Dulan, Qinghai	96.42°	36.45°	2 718
32	Jingyuan, Gansu	105.27°	36.85°	1 757	79	Dulan, Qinghai	96.40°	36.45°	2 696
33	Jingyuan, Gansu	105.16°	36.93°	1 679	80	Delingha, Qinghai	97.42°	37.24°	2 862
34	Jingyuan, Gansu	105.16°	36.93°	1 679	81	Delingha, Qinghai	96.74°	37.35°	2 817
35	Jingyuan, Gansu	105.02°	37.00°	1 630	82	Delingha, Qinghai	96.72°	37.32°	2 810
36	Jingyuan, Gansu	105.02°	37.00°	1 630	83	Delingha, Qinghai	97.16°	37.30°	2 815
37	Jingyuan, Gansu	104.86°	37.03°	1 595	84	Wulan, Qinghai	98.35°	36.96°	2 924
38	Jingyuan, Gansu	104.86°	37.03°	1 595	85	Jinghe, Xingjiang	82.65°	44.54°	332
39	Jingtai, Gansu	94.78°	36.44°	2 754	86	Jinghe, Xingjiang	82.60°	44.60°	295
40	Gulang, Gansu	103.51°	37.54°	1 716	87	Jinghe, Xingjiang	82.70°	44.56°	308
41	Gulang, Gansu	103.51°	37.54°	1 716	88	Jinghe, Xingjiang	82.63°	44.62°	301
42	Gulang, Gansu	103.46°	37.48°	1 835	89	Jinghe, Xingjiang	82.75°	44.54°	316
43	Gulang, Gansu	103.40°	37.54°	1 817	90	Jinghe, Xingjiang	82.68°	44.56°	312
44	Ganzhou, Gansu	100.60°	38.87°	1 469	91	Jinghe, Xingjiang	82.65°	44.57°	305
45	Ganzhou, Gansu	100.60°	38.87°	1 469	92	Jinghe, Xingjiang	82.62°	44.58°	303
46	Linze, Gansu	100.28°	39.31°	1 379	93	Jinghe, Xingjiang	82.64°	44.59°	293
47	Jinta, Gansu	99.49°	40.29°	1 128	94	Jinghe, Xingjiang	82.73°	44.52°	325

测枸杞子生长分布区,采用ROC曲线评价模型预测结果,基于响应曲线评价生态因子适宜值范围,以采样点生态适宜度最小值划分枸杞子生态适宜区和不适宜区。参照文献^[16]方法研究枸杞子生态适宜分布区。

化学成分含量测定 基于课题组前期研究^[17]报道及研究结果测定中性多糖、酸性多糖、类胡萝卜素类、总黄酮、总酚、氨基酸类、核苷酸和碱基类、单/寡糖类、

蛋白质等含量。

化学成分与环境因子关系模型 基于采样点生态因子值和化学成分含量数据,应用R语言对化学成分含量和生态因子进行相关性分析,选取相关系数 $P < 0.001$ 的生态因子进行逐步回归分析,构建化学成分与环境因子的关系模型。

化学成分含量空间分布 基于化学成分与环境因

子的关系模型, 结合 GIS 空间运算及制图功能, 剔除生态适宜分布预测中不适宜分布区, 获得枸杞子中单个化学成分的含量空间分布图。

药用成分界定及权重系数 查阅关于枸杞子药理活性报道的文献, 其研究对象涉及到化学成分、提取部位和全果三大类。研究对象为化学成分即认为该成分为枸杞子中的活性成分; 研究对象为提取部位的依据提取溶剂分为水提液和醇提液两大类, 水提液具有活性则认为枸杞子中可溶于水的成分均为其活性成分, 具体包括糖类、氨基酸类、蛋白质类、核苷和碱基类、甜菜碱; 醇提液具有活性则认为总黄酮、总酚、类胡萝卜素类和甜菜碱为其活性成分; 研究对象为全果的则认为所有化学成分均为其活性成分。

基于中外文数据库, 共计查阅 355 篇 (中文 89 篇, 英文 266 篇) 关于枸杞子药理活性报道的文献。参照药用成分界定原则, 首先统计各成分在药理研究报道中出现的频率 (f_i , i 代表各化学成分, 如中性多糖、酸性多糖、总酚、总黄酮等); 其次, 依据其发表杂志的影响因子 (X_{i1} 、 X_{i2} 、…… X_{in} , 中文文献以“中国知网”公布的影响因子为依据), 统计各化学成分药理研究报道影响因子总值:

$$\sum_{k=1}^n X_i = X_{i1} + X_{i2} + X_{i3} + \dots + X_{in} \quad (1)$$

计算各化学成分在枸杞子总药理研究报道中的影响因子比率:

$$R_i = X_i / \sum_{k=1}^n X_i \quad (2)$$

各化学成分药理活性的权重系数:

$$W_i = f_i \times R_i \quad (3)$$

食用成分界定及权重系数 枸杞子通常以全果形式食用, 故认为枸杞子中的所有成分均为其食用成分。各化学成分对枸杞子的食用价值并不相同, 因此基于测定化学成分在枸杞子中的含量, 采用 PLS-DA 进行变量重要性投影 (VIP) 分析各化学成分对样本的影响度和解释能力, 将各成分的 VIP 值作为其食用成分权重系数。

药用和食用枸杞子生产适宜区划 分别基于药用和食用成分权重系数和化学成分含量空间分布, 结合 GIS 空间运算及制图, 并参照运算后的适宜度值分别划分药用和食用枸杞子生产适宜区。

结果与讨论

1 宁夏枸杞生态适宜区预测

1.1 Maxent 模型预测评价 Maxent 模型具有以 ROC 曲线下面积检验预测结果的功能, 即 AUC 值评价预测

结果的精度。AUC 介于 0~1 之间, <0.6 代表模型预测失败, 值越大则模型精度越高^[18]。基于 94 批次宁夏枸杞分布信息及相应的生态因子, 采用 Maxent 模型预测其分布区适宜度值, 结果显示: 模型预测结果准确度和可信度较高 (测试集 AUC 为 0.994 9, 训练集 AUC 值为 0.992 6), 可以用于宁夏枸杞生态适宜分布区研究。

1.2 影响宁夏枸杞生长的主要生态因子适宜范围 模型第一次运算时输入 55 个生态因子数据 (43 种气候数据、8 种土壤数据、3 个地形数据和植被类型数据), 每次弃去贡献率为 0 的生态因子, 经 8 次运算后余 19 个具有贡献率的生态因子, 其中海拔、温度季节性变化标准差、土壤类型和植被类型的累计贡献率达 69.5%, 为影响宁夏枸杞生态适宜区分布的主要生态因子。依据各生态因子响应曲线可知 (图 1), 海拔在 0~6 000 m 的范围均有响应, 但以 1 000~3 000 m 响应值较高, 因此认为海拔 1 000~3 000 m 时更适宜宁夏枸杞分布; 温度季节性变化标准差的适宜值范围为 8~14; 土壤类型以筒育钙积土和耕作人为土响应值较高, 普通栗钙土和盐积冲击土次之, 耕作人为土是由于长期栽培人工改造而成, 筒育钙积土多出现在降水不足、干旱和风沙侵蚀比较严重的区域, 均与宁夏枸杞生长土地相一致。植被类型中以一年一熟粮食作物及耐寒经济作物、落叶果园响应值最高, 与宁夏枸杞现主要以栽培为主相一致; 温带丛生禾草、典型草原, 高寒禾草、苔草草原和温带盐生矮半灌木荒漠次之, 其与宁夏枸杞现在生产区域植被类型基本吻合。

1.3 宁夏枸杞生态适宜区分布 基于 Maxent 预测结果, 采用 GIS 技术获得宁夏枸杞在我国的生态适宜分布区, 结果显示, 宁夏枸杞生态适宜区主要分布在我国西北部, 以宁夏、甘肃和新疆分布区域较广。生态适宜区包括宁夏河套平原, 甘肃祁连山北麓的酒泉和张掖地区及河套平原的靖远地区, 新疆塔里木盆地北部博尔塔拉、伊犁、阿克苏、克孜勒苏柯尔克孜地区, 青海西蒙古自治州和内蒙古巴彦淖尔市阴山山脉以南的河套平原区。其次, 陕西西北部也有生态适宜区分布, 西藏、山西有零星分布。研究结果与宁夏枸杞实际产区、《中国植物志》记载及王汉卿等^[14]研究结果基本一致。李静等^[15]研究结果显示, 辽宁及吉林地区有低适宜度宁夏枸杞分布区, 而本研究结果中该地区不适宜宁夏枸杞种植, 其可能原因为本研究以采样点最低适宜值 (0.084 5) 为下限, 认为低于该适宜值的区域为不适宜区。由于样点分布主要集中在主产区, 其适宜度会相对较高, 且辽宁及吉林地区没有样点分布, 因此可能会忽略适宜度值低于 0.084 5 但宁夏枸杞可以生长的区域。余意等^[19]研究结果显示, 宁夏枸杞在甘肃的生态

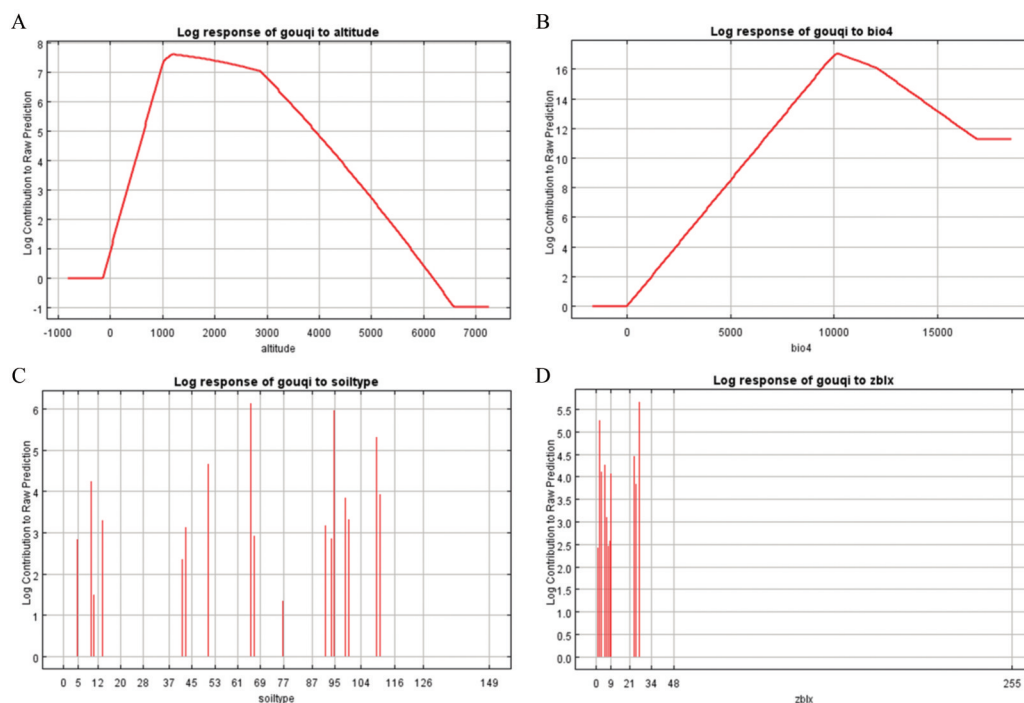


Figure 1 Response curve of ecological factors for *L. barbarum* (A: Altitude; B: Standard deviation of seasonal variations in temperature; C: Soil type; D: Vegetation form)

适宜性较低, 与本研究结果相反, 也与其生长实际情况不一致, 可能与研究手段及选择的生态因子有关。

2 化学成分与环境因子的关联分析及其含量空间分布

基于前期研究结果, 测定的47个化学成分含量结果见图2。利用R语言分析47个化学成分与51个环境因子的相关关系, 相关系数热图显示(图3), 多数化学成分与最湿月降水、最湿季降水、最暖季降水、最冷季最低温、最冷季平均温、最干季平均温、1~2月均温、8~10月降水量、等温性、季节降水量和气温相关系数较高, 提示多数化学成分的积累同时受降水和气温因素影响。此外, 最冷季降水、最干月降水、最干季降水、1~4月降水、相对湿度和海拔与葡萄糖、果糖和蔗糖含量相关系数较高, 提示单/寡糖类成分积累与降水量密切相关。取相关系数 $P < 0.001$ 的生态因子与药用成分含量进行逐步回归分析, 构建各化学成分与环境因子的关系模型, 见表2。各回归方程校正决定系数(校正 R^2)均大于0.3, F 检验 $P < 0.01$, 回归系数 t 检验 $P < 0.05$, 表明47个化学成分与环境因子的回归方程均达显著水平, 可以用于各成分的含量预测。

依据表2中化学成分与环境因子的关系模型, 通过GIS空间运算后制图, 获得各成分含量空间分布图。对比各产区枸杞子化学成分特征与其含量空间分布图, 结果显示, 各成分含量空间分布与其实际情况吻

合, 可以用于药用和食用适宜生产区划研究。

3 药用枸杞子适宜生产区划

由于缺乏具体的临床数据, 且目前药用成分的界定并没有较为客观、明确的研究方法, 而文献报道在一定程度上可以为相关研究的开展提供参考依据。因此, 本研究暂且只能以文献报道为依据, 认为具有药理活性报道的成分或部位可以作为其药用成分或部位, 依据此原则确定各成分的药用比例, 并综合考虑各成分的药用比例和杂志影响力两个因素确定药用成分权重。研究中对于药用成分及其权重的界定存在一定的局限性, 但是为了课题的开展, 暂且只能采取该研究方法, 并期待更为客观的评价方法。

参照文献报道, 综合考虑各成分药理活性报道频率和发表杂志影响因子比率, 最终确定各类化学成分在枸杞子药理作用中的权重系数(图4)。由图可知, 药用成分中中性多糖和酸性多糖所占权重比较高, 分别占26.4%和24.5%, 与枸杞子药理研究侧重于多糖类成分相一致^[20, 21]。因此, 多糖类含量为影响药用适宜区划主要指标。环境因子与化学成分相关性分析结果表明(图3), 降水量和气温与多糖类相关系数较高, 为影响药用枸杞子适宜生产区的主要生态因子。生长季(7~10月)降水量增加和休眠期(11月~次年3月)温度升高均可以促进多糖类成分积累。

基于各成分空间分布及其药用权重, 通过GIS进

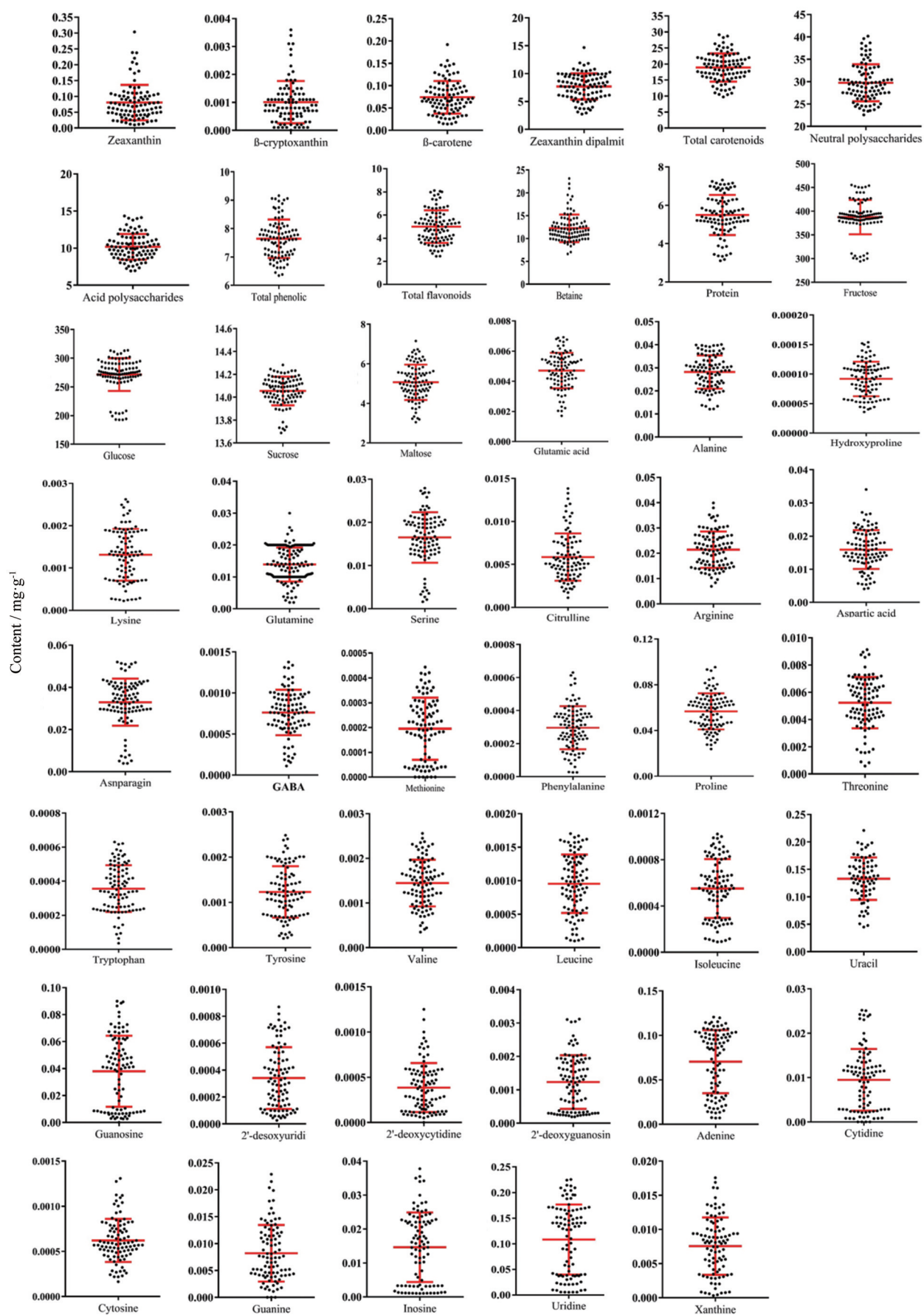


Figure 2 The content of chemicals composition in fruit of *L. barbarum*. The red lines mean Mean ± SD

Continued				
No.	Component	Regression equation	P values	Adjust R ²
y ₆	Neutral polysaccharides	$y_6 = 80.159\ 32 - 0.355\ 79x_6 - 0.707\ 18x_{20} - 1.414\ 06x_{23} - 1.219\ 59x_{27} + 1.082\ 78x_{35} - 0.894\ 85x_{36} + 1.325\ 43x_{41} - 0.283\ 31x_{42} + 0.359\ 26x_{48}$	6.78E-12	0.562 2
y ₇	Acid polysaccharides	$y_7 = 9.148\ 24 + 0.135\ 99x_{18} + 0.101\ 36x_{19} - 0.083\ 09x_{43}$	1.37E-09	0.369 2
y ₈	Total phenolic	$y_8 = 6.845\ 64 + 0.412\ 99x_{25} + 0.291\ 96x_{26} + 0.365\ 91x_{36} - 1.018\ 24x_{41} - 0.042\ 45x_{42}$	2.39E-10	0.463 3
y ₉	Total flavonoids	$y_9 = -5.465\ 896 - 0.112\ 732x_7 + 0.003\ 628x_8 - 1.827\ 112x_{12} - 1.139\ 439x_{23} - 0.344\ 761x_{18} + 0.477\ 422x_{19} + 0.231\ 034x_{25} + 0.220\ 894x_{26} + 1.245\ 965x_{40} - 0.292\ 422x_{41} - 0.199\ 244x_{42} + 0.230\ 241x_{43} - 0.718\ 579x_{48}$	5.53E-06	0.679 8
y ₁₀	Betaine	$y_{10} = 18.748\ 48 - 0.055\ 38x_6 - 0.965\ 68x_{12} - 3.270\ 28x_{23} - 2.288\ 40x_{13} + 1.876\ 48x_{37}$	6.23E-11	0.551 7
y ₁₁	Protein	$y_{11} = -2.621\ 256\ 1 + 0.137\ 250\ 5x_7 - 0.002\ 735x_8 + 0.363\ 642x_{30} + 0.289\ 77x_{31} + 0.103\ 814\ 6x_{33} - 0.603\ 991\ 1x_{44} - 0.172\ 843\ 1x_{45}$	2.41E-11	0.491 8
y ₁₂	Fructose	$y_{12} = 331.3 - 0.003\ 527x_1 + 0.104\ 8x_2 + 0.026\ 91x_4 - 4.621x_7 + 2.637x_9 + 2.738x_{31} - 2.956x_{37} + 0.359x_{38} + 9.471x_{39} - 2.398x_{41} - 2.405x_{42} + 2.582x_{47}$	<2.2E-16	0.985 2
y ₁₃	Glucose	$y_{13} = 451.622\ 46 - 0.010\ 031x_1 + 0.056\ 359x_2 + 0.050\ 514x_4 + 0.528\ 615x_6 - 0.974\ 702x_7 - 0.077\ 919x_8 + 1.242\ 797x_9 + 4.221\ 319x_{14} - 4.653\ 498x_{22} - 3.008\ 636x_{25} + 3.558\ 910x_{30} - 1.117\ 499x_{32} - 2.156\ 630x_{34} - 2.201\ 215x_{37} - 0.111\ 315x_{38} + 3.097\ 005x_{47}$	<2.2E-16	0.981 7
y ₁₄	Sucrose	$y_{14} = 12.44 + 0.000\ 384\ 2x_2 - 0.002\ 907x_6 + 0.009\ 014x_7 + 0.066\ 31x_{15} - 0.092\ 68x_{22} + 0.010\ 16x_{26} + 0.023\ 99x_{33} - 0.022\ 72x_{34} - 0.035\ 47x_{37} + 0.010\ 29x_{44} - 0.022\ 89x_{45}$	<2.2E-16	0.809 3
y ₁₅	Maltose	$y_{15} = 3.036\ 29 + 0.202\ 90x_{26} + 0.081\ 58x_{36} - 0.258\ 88x_{41}$	<2.2E-16	0.613 6
y ₁₆	Glutamic acid	$y_{16} = 451.987\ 96 - 9.318\ 31x_5 - 0.498\ 64x_7 - 17.700\ 01x_{12} - 13.213\ 23x_{24} + 2.786\ 72x_{25} + 1.906\ 54x_{26} + 5.687\ 64x_{37} - 1.443\ 30x_{41} - 2.832\ 14x_{42}$	<2.2E-16	0.719 8
y ₁₇	Alanine	$y_{17} = -423.856\ 98 + 26.857\ 13x_5 + 0.212\ 76x_8 - 51.525\ 47x_{24} + 11.245\ 34x_{25} - 5.608\ 01x_{27} - 10.490\ 46x_{34} + 10.288\ 42x_{35}$	<2.2E-16	0.855 6
y ₁₈	Hydroxyproline	$y_{18} = -6.030\ 169\ 2 + 0.036\ 182\ 2x_7 - 0.000\ 568\ 1x_8 + 0.096\ 650x_{16} - 0.019\ 082\ 9x_{18} + 0.097\ 936\ 2x_{19} - 0.039\ 236\ 1x_{20} + 0.312\ 212x_{24} + 0.032\ 922\ 7x_{26} - 0.071\ 307\ 9x_{27} + 0.040\ 639\ 2x_{34} - 0.038\ 425\ 1x_{35} + 0.053\ 350\ 2x_{37} + 0.035\ 562\ 7x_{42} - 0.093\ 847\ 6x_{48}$	<2.2E-16	0.861 2
y ₁₉	Lysine	$y_{19} = 20.108\ 32 - 0.197\ 22x_7 + 5.885\ 1x_{13} + 1.262\ 33x_{19} - 3.793\ 31x_{24} + 0.537\ 49x_{25} + 0.573\ 24x_{26} + 0.908\ 34x_{35} - 1.167\ 98x_{36} - 3.026\ 31x_{37} - 0.168\ 3x_{38} + 4.957\ 43x_{39} - 0.630\ 26x_{42} - 0.747\ 16x_{43} + 0.909\ 26x_{46} - 1.832\ 64x_{48}$	<2.2E-16	0.936 6
y ₂₀	Glutamine	$y_{20} = -735.988\ 81 + 0.161\ 58x_4 + 2.600\ 1x_6 + 8.238\ 66x_7 - 3.494\ 74x_9 + 8.011x_{14} - 23.680\ 29x_{31} + 9.341\ 62x_{42} + 18.614\ 86x_{44}$	<2.2E-16	0.822 5
y ₂₁	Serine	$y_{21} = -135\ 0 + 0.179\ 7x_4 + 21.31x_5 + 1.773x_6 + 14.66x_7 - 0.257\ 2x_8 - 14.68x_9 - 5.298x_{28} + 11.11x_{30} - 26.18x_{31} + 6.816x_{42} + 18.64x_{44}$	<2.2E-16	0.915
y ₂₂	Citrulline	$y_{22} = 250.578\ 16 + 0.078\ 67x_4 - 11.436\ 93x_5 + 1.639\ 03x_7 - 18.405\ 28x_{13} + 2.465\ 04x_{20} - 50.008\ 1x_{24} + 4.063\ 76x_{25} + 18.846\ 5x_{39}$	<2.2E-16	0.675 4
y ₂₃	Arginine	$y_{23} = 172.876 + 11.109x_{20} + 41.535x_{37} - 136.286x_{39} + 10.375x_{43} - 12.332x_{46}$	2.92E-15	0.594 2
y ₂₄	Aspartic acid	$y_{24} = 303.294\ 2 + 0.958\ 6x_6 + 10.431\ 5x_{14} - 43.932x_{24} + 8.628x_{25} + 5.3407x_{27} - 9.505\ 3x_{37} - 10.432\ 2x_{41}$	<2.2E-16	0.692 8
y ₂₅	Asnparagin	$y_{25} = -114\ 7 + 0.139\ 6x_8 - 24.19x_{12} + 27.27x_{14} - 13.51x_{19} + 5.198x_{20} - 59.59x_{23} + 36.62x_{25} - 2.339x_{38} - 23.72x_{41} - 8.57x_{42} + 5.091x_{43}$	<2.2E-16	0.900 1
y ₂₆	GABA	$y_{26} = -38.648\ 896 + 0.008\ 729x_4 - 0.572\ 554x_5 - 0.035\ 023x_8 + 0.023\ 51x_{11} - 1.344\ 205x_{13} - 1.090\ 986x_{23} + 0.511\ 728x_{26} - 0.186\ 655x_{28} + 0.934\ 137x_{30} + 0.703\ 033x_{32} + 1.301\ 243x_{37} - 1.600\ 242x_{41} - 0.170\ 576x_{42} - 0.028\ 769x_{43}$	<2.2E-16	0.872 6
y ₂₇	Methionine	$y_{27} = 16.494\ 370\ 3 - 0.001\ 626\ 4x_8 - 0.856\ 271\ 9x_{12} - 1.090\ 167\ 4x_{24} + 0.099\ 139x_{26} + 0.173\ 756\ 8x_{35} - 0.230\ 753\ 3x_{36} + 1.426\ 185\ 6x_{37} - 1.051\ 769\ 9x_{40}$	<2.2E-16	0.733 5
y ₂₈	Phenylalanine	$y_{28} = 5.000\ 61 - 0.319\ 43x_5 - 1.634\ 13x_{12} - 0.037\ 86x_{20} + 0.238\ 42x_{25} - 0.067\ 76x_{36} + 1.070\ 14x_{37} - 0.149\ 5x_{42}$	7.78E-13	0.550 3
y ₂₉	Proline	$y_{29} = 777.673 + 20.533x_9 + 131.606x_{12} - 91.966x_{12} + 22.328x_{26} - 8.06x_{27} + 30.316x_{36} - 59.162x_{41} + 23.529x_{42}$	<2.2E-16	0.718 5
y ₃₀	Threonine	$y_{30} = 109.297 + 0.922\ 5x_6 + 2.323\ 5x_7 - 1.922\ 5x_9 - 15.749\ 6x_{12} - 0.7854x_{19} - 15.232\ 8x_{23} + 3.168\ 2x_{25} + 4.016\ 6x_{30} - 5.296\ 6x_{31} - 1.562\ 9x_{33} + 13.231\ 9x_{37}$	<2.2E-16	0.724 8
y ₃₁	Tryptophan	$y_{31} = 32.329\ 597\ 6 - 0.463\ 908\ 2x_5 - 0.001\ 012\ 6x_8 + 0.212\ 903\ 4x_{25} - 0.216\ 249\ 8x_{41} + 0.096\ 804\ 4x_{43} - 0.134\ 250\ 6x_{46} + 0.094\ 003\ 2x_{48}$	4.91E-13	0.562 1
y ₃₂	Tyrosine	$y_{32} = 13.299\ 08 - 0.988\ 41x_{12} + 1.461\ 21x_{25} + 0.343\ 09x_{27} - 1.731\ 78x_{41}$	<2.2E-16	0.657 8
y ₃₃	Valine	$y_{33} = 109.359\ 554 - 0.006\ 006x_8 - 0.209\ 613x_{20} + 0.680\ 462x_{25} + 0.456\ 238x_{35} - 0.643\ 298x_{37} - 1.491\ 717x_{41} + 0.414\ 893x_{42}$	<2.2E-16	0.685 3
y ₃₄	Leucine	$y_{34} = 101.636\ 07 - 0.132\ 167x_6 - 0.501\ 552x_7 + 0.010\ 507x_8 - 0.026\ 243x_{11} + 0.506\ 04x_{19} + 0.299\ 252x_{20} - 6.126\ 133x_{24} + 0.700\ 453x_{26} + 0.288\ 294x_{35} - 0.702\ 286x_{42} - 0.215\ 384x_{46}$	<2.2E-16	0.811 6

Continued

No.	Component	Regression equation	P values	Adjust R ²
y ₃₅	Isoleucine	$y_{35} = 4.432 25 - 1.599 46x_{12} - 0.056 32x_{19} - 1.485 8x_{23} + 0.347 16x_{25} - 0.163 21x_{27} + 0.259 38x_{35} - 0.267 02x_{36} + 1.195 04x_{37} - 0.116 87x_{42}$	<2.2E-16	0.818 7
y ₃₆	Uracil	$y_{36} = -101.7 - 0.277 6x_6 + 0.017 41x_8 - 5.021x_{12} - 0.882 4x_{20} - 6.71x_{23} + 9.05x_{24} + 1.816x_{25} - 0.996 5x_{27} - 1.006x_{34} + 1.484x_{35} - 0.710 8x_{36} + 3.518x_{40} - 0.685 1x_{42} + 0.554 4x_{46} - 0.968 4x_{48}$	<2.2E-16	0.735 2
y ₃₇	Guanosine	$y_{37} = -81.83 + 0.161 9x_7 + 0.003 023x_8 - 4.04x_{12} + 0.832 9x_{16} - 2.658x_{23} + 5.169x_{24} + 0.898 8x_{25} - 0.508x_{27} + 2.37x_{37} - 0.483 8x_{41} + 0.662 6x_{43} - 0.774 1x_{46}$	<2.2E-16	0.878 3
y ₃₈	2'-Desoxyuridine	$y_{38} = 0.053 18 - 0.001 203x_6 - 0.001 739x_7 + 0.000 076 53x_8 + 0.005 061x_{16} + 0.005 785x_{19} - 0.003 084x_{27} + 0.000 350 3x_{38} + 0.007 261x_{41} - 0.003 963x_{42} + 0.004 664x_{43} - 0.007 38x_{46}$	<2.2E-16	0.751 1
y ₃₉	2'-Deoxycytidine	$y_{39} = 0.069 995 4 + 0.000 824 6x_7 - 0.004 275 6x_{20} + 0.006 985 4x_{22} + 0.009 380 1x_{25} + 0.005 608 4x_{26} - 0.003 676 2x_{34} + 0.004 022 9x_{35} + 0.006 909 3x_{36} - 0.003 602 6x_{40} - 0.021 448 7x_{41} + 0.000 936 2x_{46}$	<2.2E-16	0.767 7
y ₄₀	2'-Deoxyguanosine	$y_{40} = -0.650 9 + 0.000 016 86x_1 + 0.021 95x_{16} + 0.039 39x_{19} - 0.043 48x_{23} + 0.002 003x_{25} + 0.040 04x_{40} + 0.015 81x_{43} - 0.027 01x_{46} - 0.019 01x_{48}$	<2.2E-16	0.787 8
y ₄₁	Adenine	$y_{41} = 28.072 181 + 0.003 168x_8 - 1.733 71x_{12} - 0.253 376x_{20} - 0.870 28x_{23} + 0.536 413x_{25} - 0.248 485x_{27} - 0.417 505x_{34} + 0.751 187x_{35} - 0.522 496x_{36} + 3.312 867x_{39} + 0.035 772x_{43}$	<2.2E-16	0.908 8
y ₄₂	Cytidine	$y_{42} = 2.274 595 7 - 0.045 453 1x_6 - 0.053 297 9x_7 + 0.003 281 7x_8 - 0.089 267 2x_{20} + 0.124 383 6x_{25} + 0.150 313x_{26} - 0.162 468 3x_{27} - 0.102 764 7x_{34} + 0.166 437 3x_{35} - 0.140 708 4x_{42} + 0.024 054 8x_{46}$	<2.2E-16	0.712
y ₄₃	Cytosine	$y_{43} = 0.141 7 - 0.000 004 229x_8 - 0.001 149x_{10} - 0.016 76x_{12} + 0.003 532x_{40}$	2.00E-13	0.519 8
y ₄₄	Guanine	$y_{44} = 0.284 629 3 - 0.129 538 4x_7 + 0.004 199 8x_8 + 0.105 825 5x_{19} - 0.466 135 4x_{24} + 0.183 057 6x_{25} + 0.081 846 1x_{26} + 0.096 525 2x_{40} + 0.136 679 7x_{46} - 0.181 945 6x_{48}$	<2.2E-16	0.723 9
y ₄₅	Inosine	$y_{45} = 4.704 38 - 0.296 88x_{12} - 0.058 27x_{20} + 0.040 74x_{25} - 0.068 65x_{34} + 0.160 25x_{35} - 0.097 9x_{36} + 0.049 84x_{46} - 0.086 65x_{48}$	<2.2E-16	0.806 5
y ₄₆	Uridine	$y_{46} = -119.957 21 + 0.025 89x_8 + 0.044 4x_{11} + 4.936 59x_{13} - 0.755 37x_{20} - 1.784 76x_{23} + 9.883 52x_{24} + 2.160 31x_{25} - 1.035 52x_{27} - 1.694 44x_{34} + 1.702 59x_{35} - 0.439 67x_{36} - 0.709 75x_{42} + 0.220 06x_{43} - 0.565 66x_{48}$	<2.2E-16	0.886 9
y ₄₇	Xanthine	$y_{47} = 5.499 942 - 0.023 861x_6 - 0.004 526x_{11} - 0.239 788x_{12} - 0.073 482x_{21} + 0.0518 2x_{26} - 0.093 824x_{27} - 0.027 254x_{34} + 0.138 456x_{35} - 0.074 182x_{36} + 0.014 472x_{46}$	<2.2E-16	0.732

行空间运算,利用采样点药用适宜度值的正态分布曲线,划分我国药用枸杞子适宜生态区划。结果显示,药用枸杞子适宜区主要集中在宁夏河套平原、甘肃河套平原的白银地区及祁连山北部的张掖和酒泉地区;其次,内蒙古鄂尔多斯高原与贺兰山相接处的部分地区适宜度较高;次适宜区主要集中在青海海西蒙古族藏族自治州、甘肃河西走廊中部的武威地区和内蒙古巴彦淖尔市阴山山脉以南的河套平原区。此外,新疆克孜勒苏柯尔克孜州地区产的枸杞子药用适宜度较高,阿克苏地区产的枸杞子药用适宜度与青海产枸杞子一致。

唐《千金翼方》^[22]云:“甘州者为真,叶厚大者是。大体出河西诸郡,其次江池间圩埂上者。”提出了枸杞子以甘州者为真的说法,并指出了枸杞子的产地为甘州及河西诸郡。甘州即今甘肃省张掖市,河西则泛指黄河以西之地,汉、唐时多指今甘肃、青海两省黄河以西的地区,即今河西走廊和湟水流域^[23]。宋代《梦溪笔谈》^[24]中记载:“枸杞,陕西极边生者,……根皮如厚朴,甘美异于他处。”依据宋朝疆域图及其边疆层级体系^[25]认为,陕西极边指今河西走廊区域及宁夏兴庆以南区域。明代《本草品汇精要》^[26]云:“[道地]陕西甘州茂

州”。甘州指今甘肃省张掖市,曾隶属陕西;茂州指今四川北川、汶川及茂县等地。《本草纲目》^[27]记载:“今陕之兰州、灵州、九原以西枸杞,并是大树,河西及甘州者,异于他处者。”灵州即今宁夏吴忠市境内,九原指包头市九原区。至民国,《增订伪药条辨》^[28]记载:“以陕西甘州所产者为胜,……宁夏产者,颗大色红有蒂,略次。……甘肃镇番(今甘肃民勤)长城边出者,粒细红圆活,味亦甘,此货过霉天即发黑,甚难久藏,略次。”综上可知,枸杞子传统产区为甘州(甘肃张掖一带)、灵州(宁夏吴忠一带)、九原以西(内蒙古乌拉特前旗一带),并以甘肃张掖、宁夏等地产者为佳。药用适宜区划研究结果显示,药用枸杞子适宜区主要分布在宁夏、甘肃白银、酒泉和张掖等地区,均为枸杞子的传统产区,与枸杞子药用古以甘州产质佳,今以宁夏中宁产为道地相一致。

4 食用枸杞子适宜生产区划

目前,对于食用成分没有明确的界定,且枸杞子多以全果食用,而全果中包含了所有的化学成分。因此,本研究暂且只能认为其所有成分均可作为食用成分。枸杞子中化学成分变量重要性投影分析结果显示(图5),果糖和葡萄糖所占权重系数较高,分别占9.4%和

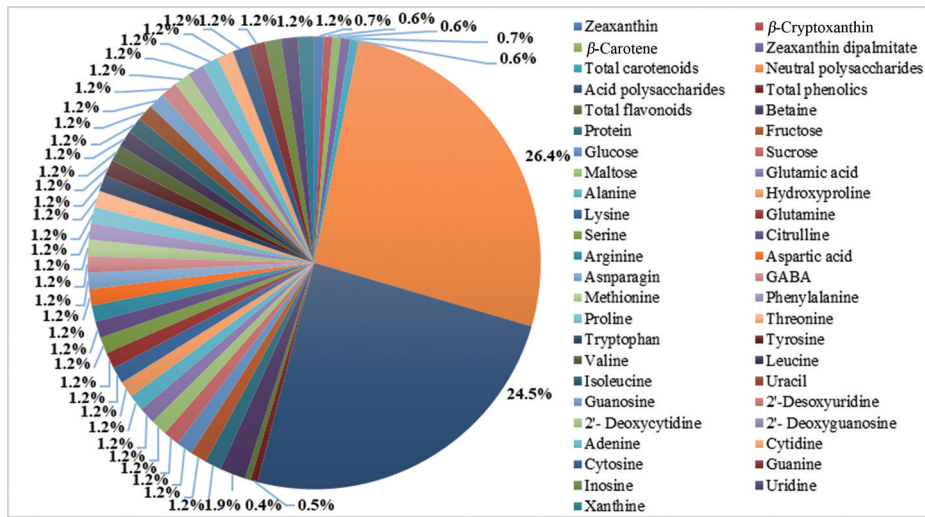
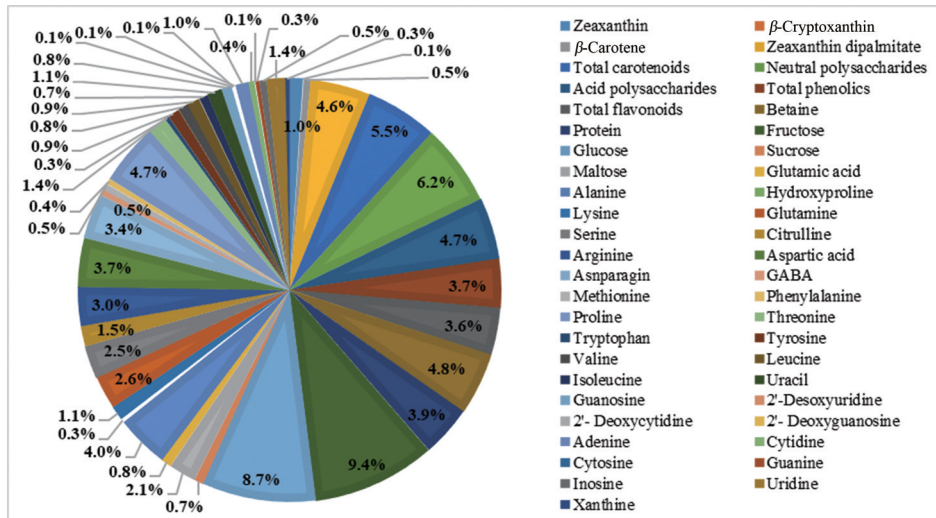


Figure 4 Weight analysis for medicinal components in fruit of *L. barbarum*



结论

中药材生产受自身特性、生态环境和社会因素的综合影响,呈现明显的地域性。中药材的区域分布及其自然环境条件是开展中药材种植的重要依据^[29]。中药材种植在关注产量的同时,更应注重其品质^[30]。研究过程中综合考虑宁夏枸杞种植区的生态环境,预测其生态适宜分布区,结果显示:海拔、温度季节性变化标准差、土壤和植被类型为影响宁夏枸杞分布的主要生态因子;其生态适宜区主要分布在我国西北地区。在此基础上,基于生态适宜区范围,综合考虑不同产地94批次枸杞子中47种化学成分分布特征,研究药用和食用枸杞子生产适宜区。研究结果显示,多糖为影响枸杞子药用品质的主要活性成分,其含量与降水量和气温相关系数较高;药用枸杞子适宜生产区主要分布在宁夏及甘肃白银、酒泉和张掖地区,均为枸杞子的传统产区。果糖和葡萄糖为影响枸杞子食用品质的主要化学成分,其含量与海拔、辐射强度、日照时数及气温和降水的相关系数均较高;食用枸杞子适宜生产区主要分布在青海及甘肃酒泉和张掖地区,以及新疆阿克苏及克孜勒苏柯尔克孜州地区,该产区枸杞子果型指数较大,果实中果糖和葡萄糖含量高,满足食用的商品属性。研究结果在揭示枸杞子生产区生态特征的同时厘清了不同产区枸杞子质量特征。依据其药食两用特性,基于各产区化学成分特征,区分其药用和食用功能取向,并进行合理生产布局,服务于枸杞子资源价值的最大化和产业高质量发展。

作者贡献: 段金廛和郭盛负责文章的选题和思路的提出;郭盛和卢有媛负责整个实验的设计、实施、文章撰写和修改;严辉、张芳、王汉卿和晋玲参与样本采集、数据分析和文章撰写。

利益冲突: 本文无利益冲突。

References

- [1] China Flora Editorial Commission. Flora of China (中国植物志) [M]. Beijing: Science Press, 1978, 67: 13.
- [2] Xu CQ, Liu S, Xu R, et al. Investigation of production status in major wolfberry producing areas of China and some suggestion [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2014, 39: 1979-1984.
- [3] Chen SL, Suo FM, Han JP, et al. Analysis on ecological suitability and regionalization of traditional Chinese medicinal materials [J]. Chin Tradit Herb Drug (中草药), 2007, 38: 7-13.
- [4] Zhang L, Zheng GQ, Teng YF, et al. Comparison research on fruit quality of *Lycium barbarum* L. in different regions [J]. Northwest Pharm J (西北药学杂志), 2012, 27: 11-13.
- [5] Zhang TT, Hou FJ, Li Y, et al. Identification of micro-characters of wolfberry from different regions [J]. J Chin Med Mater (中药材), 2016, 39: 1010-1013.
- [6] Zhang XB, Guo LP, Huang LQ, et al. Progress of Chinese material medical regionalization [J]. Chin J Agric Res Region Plan (中国农业资源与区划), 2010, 31: 64-69.
- [7] Lu YY, Guo S, Yan H, et al. Ecology suitability study of *Trollius chinensis* [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2018, 43: 3658-3661.
- [8] Peterson AT. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models [J]. Biodivers Inform, 2006, 3: 59-72.
- [9] Xu R, Wu J, Dong L, et al. Analysis of global ecology of *Acanthopanax senticosus* in suitability and quality [J]. Acta Pharm Sin (药学报), 2018, 53: 313-320.
- [10] Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. Ecol Model, 2006, 190: 231-259.
- [11] Qiao HJ, Hu JH, Huang JH. Theoretical basis, future directions, and challenges for ecological niche models [J]. Sci China: Life Sci (中国科学: 生命科学), 2013, 43: 915-927.
- [12] Zhang Q, Zeng F, Zhang D, et al. Ecology suitability regions and ecological characteristic of *Panax notoginseng* (Burk.) F.H.Chen based on maximum entropy model [J]. Acta Pharm Sin (药学报), 2016, 51: 1629-1637.
- [13] Lu YY, Zhang XB, Yang YM, et al. Quality regionalization study on *Gentianae Macrophyllae Radix* [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2016, 41: 3132-3138.
- [14] Wang HQ, Wang Q, Ma L, et al. Production regionalization study of *Lycii Fructus* [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2016, 41: 3127-3131.
- [15] Li J, Yu Y, Guo LP, et al. Study on quality regionalization of *Lycii Fructus* [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2019, 44: 1156-1163.
- [16] Lu YY, Yang YM, Ma XH, et al. Ecology suitability study of Chinese material medica *Gentianae Macrophyllae Radix* [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2016, 41: 3176-3180.
- [17] Lu Y, Guo S, Zhang F, et al. Comparison of functional components and antioxidant activity of *Lycium barbarum* L. fruits from different regions in China [J]. Molecules, 2019, 24: 2228.
- [18] Wang YS, Xie BY, Wan FH, et al. Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models [J]. Biodivers Sci (生物多样性), 2007, 15: 41-48.
- [19] Yu Y, Li J, Zhang XB. Research on suitable distribution *Ninxia wolfberry* based on remote sensing and GIS [J]. World Chin Med (世界中医药), 2018, 13: 225-229.
- [20] Zhang F, Guo S, Qian DW. Research progress on extraction, purification, and molecular structural elucidation of active polysaccharide from *Lycii Fructus* and analysis on its industrial development status and prospect [J]. Chin Tradit Herb Drug (中草药),

- 2017, 48: 424-432.
- [21] Zhang F, Guo S, Qian DW. Resources industrialization channels and strategies of active polysaccharide from Lycii Fructus based on analysis of domestic and foreign intellectual properties [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2016, 41: 4285-4291.
- [22] Sun SM. Gold Wing Party (千金翼方) [M]. Dalian: Liaoning Science and Technology Press, 1997.
- [23] Qian D, Huang LQ, Qiu L, et al. Literature research on nature and flavor changes of Fructus Lycii [J]. China J Tradit Chin Med Pharm (中华中医药杂志), 2016, 31: 1539-1542.
- [24] Shen K. Dream Pool Essays (梦溪笔谈) [M]. Sichuan: Bashu Publishing House, 1995.
- [25] Zheng T, Zhang W. The edge, the frontier and the suburb: the three hierarchies of the northwest border-land in the northwest Song dynasty [J]. China's bord Hist Geogr Stud (中国边疆史地研究), 2012, 22: 14-20.
- [26] Liu WT. Bencao Pinhui Jingao (本草品汇精要) [M]. Beijing: People's Sanitary Publishing Press, 1982.
- [27] Li SZ. Compendium of Materia Medica (本草纲目) [M]. Jinling Hu Chenglong Engraving, 1596.
- [28] Zheng XY. Update of Pseudo-Drugs (增订伪药条辨) [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1959.
- [29] Kang CZ, Lv CG, Huang LQ, et al. Patten of ecological planning for Chinese material medica based on regional distribution [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2020, 45: 1982-1989.
- [30] Guo LP, Wang TL, Yang WZ, et al. Ecological agriculture: future of agriculture for Chinese material medica [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2017, 42: 231-238.