

丹参品质与主导气候因子的灰色关联度分析

李倩¹, 梁宗锁^{1,*}, 董娟娥¹, 付亮亮², 蒋传中²

(1. 西北农林科技大学 生命科学学院, 杨凌 712100; 2. 陕西天士力植物药业有限公司, 商洛 726000)

摘要: 气候因子对丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge)生长及有效成分含量有重要影响,为科学选择人工种植基地,需要明确影响丹参品质的主导气候因子。研究了丹参在商洛6个不同地区的生长量及有效成分含量差异,并应用灰色关联度分析了其与气候因子的关系,结果表明:6地区丹参有效成分含量均达到药典要求,但品质存在显著差异。年日照和年均降水量是影响丹参根系生长量的主导因子;无霜期与年极高温度是影响丹参素含量的主导因子;7月份均温、年均温度、年极高温度是影响丹参酮IIA含量的主导因子;年日照、无霜期是影响丹酚酸B含量的主导因子。以上几个指标可以作为选择丹参适生基地的参考指标,为科学合理的选择丹参规范化种植基地,保证中成药生产原料质量提供参考。

关键词: 丹参;生长量;有效成分;气候因子;灰色关联度

Grey correlation for main climatic factors and quality of Danshen (*Salvia miltiorrhiza* Bunge)

LI Qian¹, LIANG Zongsuo^{1,*}, DONG Juane¹, FU Liangliang², JIANG Chuanzhong²

1 Northwest A&F University, Yangling 712100, China

2 TSLY Plant Pharmaceutical Co. Ltd., Shangzhou 726000, China

Abstract: Climatic factors are principal for *Salvia miltiorrhiza* Bunge cultivation in terms of growth and activity of pharmacological compounds. This study was aimed at finding the leading climatic factors affecting *Salvia miltiorrhiza* Bunge production. Growth and active compounds of *Salvia miltiorrhiza* Bunge in 6 different areas were investigated and the grey correlation degrees with climatic factors were calculated. Our results have shown that: the compound concentrations of *Salvia miltiorrhiza* Bunge in 6 different areas have significant differences although all of them could meet the requirements of Chinese Pharmacopoeia. The leading climatic factors that affected growth were annual sunshine hours and rainfall. Meanwhile, the major climatic factors that influenced Danshensu concentration were frost free periods and annual highest temperature; the major climatic factors that influenced tanshinon IIA concentration were July average temperature, annual average temperature and annual highest temperature; Annual sunshine hours and frost free periods were leading factors for salvianolic acid B. This research could provide theoretical basis for the production of high quality *Salvia miltiorrhiza* Bunge, also for optimizing herb production and regulating herb quality.

Key Words: *Salvia miltiorrhiza* Bunge; growth; activity compounds; climatic factor; grey correlation degree

药用植物的生长发育、产品器官形成以及有效成分的合成积累与环境因子关系密切,温度、光照、水分等气候因子作为主要的环境因子^[1-2]通过单一或相互作用影响着药用植物的品质^[3-4]。通常在种源明确的前提下,人工种植药材的成功与否取决于其对环境因子的要求能否满足。

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge)是我国传统常用中药材,在其道地主产区商洛,经过多年的研究和实践,

基金项目:国家“十一五”科技支撑资助项目(2007BAD79B06和2008BAD98B08)

收稿日期:2009-03-25; 修订日期:2009-05-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liangzs@ms.iswc.ac.cn

对丹参的生物学特性^[5-7]、生长规律^[8-12]已有系统的认识,形成了科学合理的规范化栽培技术体系^[13],并已于2003年通过国家认证。但在近年的生产中发现,气候因子多变,地形地貌复杂,使不同批次药材质量差异较大。丹参质量的稳定均一性差对工业化生产造成一定的困难,因此,明确道地产区哪些气候因子起主导作用,以此为指导选择高产优质的丹参规范化种植基地,从而生产出符合工业化制药需求的质量稳定的中药材是亟待解决的问题。

为解决这一问题,本文应用生态学、统计学方法研究了丹参在商洛地区6个不同产区生长及有效成分含量差异,通过分析其与气候因子之间的灰色关联度,明确影响丹参生长及有效成分含量的主导气候因子,其研究结果对高品质丹参基地选择有重要意义,并为应用现代生态学理论科学合理的选择中药材丹参规范化生产区域,保证中成药生产原料质量以及中药材按需生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域自然概况及气候因子获得

商洛地处我国中纬度偏南地带,位于陕西东部秦岭南麓,东经108°34′至111°1′,北纬33°2′至34°24′之间。该区地理分布在北亚热带和暖温带交界区域,水平方向上具有两个气候带过渡性特征,南部属北亚热带气候,北部属暖温带气候。区内山大沟深,谷壑纵横,峰峦叠障,地形复杂,垂直高度差异较大,具有明显的山地立体气候特点,各地光、热和水气候资源有明显的差异,分布极不平衡。

本研究样地分别设在已有大面积规范化种植基地的商南、山阳、丹凤、柞水、商州和洛南,样地经纬度及海拔见表1。虽然各样地经度及纬度差异不大,但海拔高度明显变化(500—1600m),各样地间立地环境差异显著,年均温度、1月份均温、7月份均温、年积温($\geq 10^{\circ}\text{C}$)、无霜期、年极高温、年极低温度、年日照和年降水量9个气候因子都有很大差异。各气候因子数据通过统计各样地气象记录及临近的气象观测站点2004—2007年观测记录平均值获得。

1.2 丹参生长量及有效成分含量测定

2004—2007年在陕西省商洛地区进行系统试验研究,所用品种为商洛当地多年优选的紫花丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge)。每年3月份将种苗采挖后分别移栽于商南、山阳、丹凤、柞水、商州、洛南6个地区的试验基地,所有基地严格按照丹参生产SOP进行田间管理。于当年11月份采挖丹参,每样地随机选取发育正常、无病虫害的植株5株测定根长、分根数、根直径、根鲜重;丹参根系置于烘箱中在80℃下完全烘干,称量干重后送样至陕西天士力植物药有限

公司检测丹参素、丹参酮IIA及丹酚酸B含量。丹参素含量按天士力企业内部方法测定,丹参酮IIA及丹酚酸B含量按《中华人民共和国药典》(2005年版)^[14]方法测定。

丹参酮IIA用高效液相色谱法测定。取样品粉末(过三号筛)精密称定0.3g,置具塞锥形瓶中,准确加入甲醇50mL,称定重量,加热回流1h,放冷,再称定重量,用甲醇补足减失的重量,摇匀,过滤,取滤液用于含量测定。以十八烷基硅烷键合硅胶为填充剂;以甲醇-水(75:25)为流动相;检测波长为270nm。

丹酚酸B用高效液相色谱法测定。取样品粉末(过3号筛)精密称定0.2g,置具塞锥形瓶中,精密加入75%甲醇50mL,称定重量,加热回流1h,取出,放冷,再称定重量,用75%甲醇补足减失的重量,摇匀,过滤,取滤液用于含量测定,以十八烷基硅烷键合硅胶为填充剂;以甲醇-乙腈-甲酸-水(30:10:1:59)为流动相;检测波长为286nm。

1.3 数据处理

应用SPSS 11.0进行方差分析及LSD检验($P < 0.05$),并应用DPS 2000软件分别进行了气候因子与丹

表1 各样地经纬度及海拔

Table 1 Different geography of six sample plots

样地 Sample plots	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude/m
商南 Shan Nan	33°25′	110°70′	500
山阳 Shan Yang	33°30′	110°05′	720
丹凤 Dan Feng	33°35′	110°15′	600
柞水 Zha Shui	33°43′	109°33′	1600
商州 Shang Zhou	33°60′	109°60′	720
洛南 Luo Nan	34°05′	110°30′	815

参根系生长量之间灰色关联分析以及气候因子与丹参根系有效成分含量之间的灰色关联分析。

2 结果与分析

2.1 商洛地区气候因子

根据 2004—2007 年的气象资料统计平均值,商洛不同地区各气候因子差异见表 2。该区各样地间气候条件差异明显,年均温度相差 3.1 ℃,1 月份均温相差 3.5 ℃,7 月份均温相差 2.1 ℃,年积温相差 473 ℃,无霜期相差 17 d,年极高温相差 3.9 ℃,年极低温度相差 6.2 ℃,年日照时数相差 184 h,年均降雨量相差 120 mm。样地之间相互比较呈现如下特点:商南高温多雨,无霜期长但日照时数较少;山阳年极高温较高,降雨量中等偏少,无霜期适中,年日照时数长;丹凤年极高温最高,1 月均温、7 月均温、年积温、年极低温度均较高,降雨量少,属高温少雨气候,无霜期及年日照时数适中;柞水温度较低,降雨量较少,无霜期短,年日照时数适中;商州温度适中,降雨量中等偏少,无霜期长,日照时数长;洛南温度最低,降雨量适中,无霜期短,日照时数较长。

表 2 商洛地区各样地气候因子
Table 2 Climatic factors in different sample plots

项目 Item	商南 Shan Nan	山阳 Shan Yang	丹凤 Dan Feng	柞水 Zha Shui	商州 Shang Zhou	洛南 Luo Nan
年均温度/℃ Annual average temperature	14.1 A	12.9 A,B	13.9 A,B	12.6 B	12.9 A,B	11.0 B
1 月份均温/℃ January average temperature	1.5 A	0.0 A,B	1.3 A	1.1 A,B	-0.1 A,B	-2.0 B
7 月份均温/℃ July average temperature	26.5 A	25.6 A,B	26.2 A	23.4 B	25.1 A,B	23.4 B
年积温(≥10℃) Effective accumulated temperature	4839 A	4081 A,B	4358 A	3430 B	3994 A,B	3366 B
年极高温/℃ Annual highest temperature	40.5 A	39.8 A	40.8 A	36.9 B	39.8 A,B	37.1 A,B
年极低温度/℃ Annual lowest temperature	-11.8 A	-14.5 A,B	-13.4 A	-13.9 A	-14.8 A,B	-18.0 B
年均降水量/mm Annual average rainfall	841 A	747 A,B	721 B	743 B	754 A,B	795 A,B
无霜期/d Frost free periods	217 A	206 A,B	213 A,B	200 B	210 A,B	200 B
年日照/h Annual sunshine hours	1961 B	2143 A	2093 A,B	2049 A,B	2145 A	2075 A,B

表中显示数据为该地区 2004—2007 年观测结果平均值,数字后的字母表示 LSD 多重比较显著性结果, $P<0.05$

2.2 商洛各地丹参生长量及有效成分含量

根据 2004—2007 年取样结果统计平均值,商洛地区 6 样地丹参生长量及有效成分含量差异见表 3。

《中华人民共和国药典》^[14](2005 年版)中规定丹参的有效成分检测指标为丹参酮ⅡA 含量不低于 2%,丹酚酸 B 含量不低于 3%。本研究结果表明,所研究 6 地区丹参有效成分含量均符合药典要求,但不同环境下丹参根系生长及有效成分含量差异显著:根系侧根最多为商州,最少为商南,相差 4.9;根长最大为商州,最小为商南,相差 5.85 cm;主根直径最大为商州,最小为山阳,相差 0.35 cm;根鲜重最大为商州,最小为丹凤,相差 39.49 g;干重最大为山阳,最小为丹凤,相差 14.1 g;丹参素含量最高为丹凤,最低为柞水,相差 1.46%;丹参酮ⅡA 含量最高为丹凤,最低为洛南,相差 0.14%;丹酚酸 B 含量最高为丹凤,最低为柞水,相差 4.95%。

在评价丹参品质时除考虑丹参产量外,各有效成分含量也是重要因素。由于丹参根系中丹参酮ⅡA 主要在根系表皮中累积,其含量与根直径的大小呈负相关^[9],根系侧根多,根长大而根直径小,即在一定程度上增加了根系的表皮面积,从而使丹参酮ⅡA 含量增加;而丹参素、丹酚酸类成分却在全根中均有分布,特别是木质部与韧皮部中含量较高。因此就同一生境丹参而言,直径小、侧根多的丹参含酮类成分较高,而直径大的丹

参含酚酸类成分高,工业生产中常根据不同的需求来选择丹参药材。

表 3 丹参生长量及有效成分含量差异

Table 3 Growth and concentration of activity compounds of *Salvia miltiorrhiza* Bunge roots in different sample plots

项目 Item	商南 Shan Nan	山阳 Shan Yang	丹凤 Dan Feng	柞水 Zha Shui	商州 Shang Zhou	洛南 Luo Nan
分根数 Roots number	5.20 B	9.40 A	7.80 A,B	8.40 A	10.10 A	9.40 A
根长 Roots length/cm	26.90 B	29.80 A,B	28.70 A,B	31.30 A	32.75 A	31.80 A
根直径 Roots diameter/cm	1.09 A	0.76 B	0.91 A,B	1.01 A	1.10 A	1.04 A
根鲜重 Roots fresh weight/g	69.73 A	52.76 A,B	49.81 B	51.69 B	89.30 A	62.91 A,B
根干重 Roots dry weight/g	23.68 A,B	27.59 A	13.49 B	17.86 A,B	27.33 A	25.52 A
丹参素 Danshensu/%	1.59 A,B	1.62 A,B	2.67 A	1.21 B	2.10 A	1.72 A,B
丹参酮 IIA/Tanshinon IIA/%	0.23 A,B	0.28 A,B	0.36 A	0.24 A,B	0.23 A,B	0.22 B
丹酚酸 B/Salvianolic acid B/%	6.00 B	6.73 A,B	10.89 A	5.94 B	9.33 A,B	7.52 A,B

表中显示数据为该地区 2004—2007 年取样结果平均值,数字后的字母表示 LSD 多重比较显著性结果, $P < 0.05$

2.3 气候因子与丹参根系生长量灰色关联分析

根据气候因子与丹参生长量进行灰色关联分析,其灰色关联度计算结果见表 4。

表 4 气候因子与丹参生长量灰色关联度

Table 4 Grey correlation degrees between climatic factors and growth of *Salvia miltiorrhiza* Bunge roots

	分根数 Roots number	根长/cm Roots length	根直径/cm Roots diameter	根鲜重/g Roots fresh weight	根干重/g Roots dry weight
年均温度/℃ Annual average temperature	0.6092	0.5719	0.5792	0.5679	0.5512
1 月份均温/℃ January average temperature	0.5743	0.6254	0.5959	0.5484	0.5020
7 月份均温/℃ July average temperature	0.6051	0.5244	0.5427	0.5638	0.5997
年积温($\geq 10^{\circ}\text{C}$) Effective accumulated temperature	0.5926	0.5470	0.5319	0.5760	0.5827
无霜期/d Frost free periods	0.5849	0.5800	0.5625	0.6058	0.5847
年极高温/℃ Annual highest temperature	0.6150	0.5398	0.5816	0.5853	0.6224
年极低温度/℃ Annual lowest temperature	0.6157	0.6100	0.6081	0.5395	0.5149
年日照/h Annual sunshine hours	0.8443	0.7217	0.6121	0.6337	0.6998
年均降水量/mm Annual average rainfall	0.6624	0.6483	0.6814	0.7031	0.6685

由于所选丹参生长量指标基本可以反应丹参个体根系生长情况,因此可以利用灰色关联度值来评价各气候因子对丹参根系生长的影响。结果显示各气候因子与丹参根系生长之间的灰色关联度表现出一定的规律:

各气候因子对丹参根系分根数影响依次为年日照 > 年降水量 > 年极低温度 > 年极高温 > 年均温度 > 7 月份均温 > 年积温 > 无霜期 > 1 月份均温;

各气候因子对丹参根系长度影响依次为年日照 > 年降水量 > 1 月均温 > 年极低温度 > 无霜期 > 年均温度 > 年积温 > 年极高温 > 7 月份均温;

各气候因子对丹参最大根直径影响依次为年降水量 > 年日照 > 年极低温度 > 1 月份均温 > 年极高温 > 年均温度 > 无霜期 > 7 月份均温 > 年积温;

各气候因子对丹参根鲜重影响依次为年降水量 > 年日照 > 无霜期 > 年极高温 > 年积温 > 年均温度 > 7

月份均温 > 1 月份均温 > 年极低温度;

各气候因子对丹参根干重影响依次为年日照 > 年降水量 > 年极高温度 > 7 月份均温 > 无霜期 > 年积温 > 年均温度 > 年极低温度 > 1 月份均温。

气候因子与丹参根系生长量的关联值均较高,说明这些气候因子与丹参根系的生长关系密切,其中年日照时数是影响商洛地区丹参根系生长的主导气候因子,降雨量和年极高温度是影响丹参生长量的重要因子。

所选 6 样地之间年日照时数相差 184h,丹参属喜光植物,其生长发育需要充足的光能,日照时数长,光合作用强,有利于有机物的合成累积。各地区降雨量相差 120mm,且呈现年内分布不均的特点,对丹参生长造成影响。丹参适生温度为 20—25℃,当温度过高时生长受阻,因此高温是制约丹参生长的重要因子。

2.4 气候因子与丹参根系有效成分含量灰色关联分析

根据气候因子与丹参根系有效成分进行灰色关联分析,计算结果见表 5。

表 5 气候因子与丹参有效成分灰色关联度

Table 5 Grey correlation degrees between climatic factors and concentration of activity compounds in <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bunge roots			
项目 Item	丹参素/% Danshensu	丹参酮 IIA/% Tanshinon IIA	丹酚酸 B/% Salvianolic acid B
年均温度 Annual average temperature/℃	0.6427	0.6875	0.6075
1 月份均温 January average temperature/℃	0.6152	0.6358	0.5722
7 月份均温 July average temperature/℃	0.6987	0.6897	0.6235
年积温(≥10℃) Effective accumulated temperature	0.6764	0.6690	0.6321
无霜期 Frost free periods/d	0.7443	0.6333	0.6822
年极高温度 Annual highest temperature/℃	0.7275	0.6860	0.6491
年极低温度 Annual lowest temperature/℃	0.5957	0.6381	0.5560
年日照 Annual sunshine hours/h	0.6642	0.6465	0.7049
年均降水量 Annual average rainfall/mm	0.6270	0.6027	0.6163

由于丹参素、丹参酮 IIA 和丹酚酸 B 是丹参主要的药用成分,本文以此评价各气候因子对丹参根系有效成分含量的影响。结果显示出一定的规律:

各气候因子对丹参根系丹参素含量影响依次为:无霜期 > 年极高温度 > 7 月份均温 > 年积温 > 年日照 > 年均温度 > 年降水量 > 1 月份均温 > 年极低温度

各气候因子对丹参酮 IIA 含量影响依次为:7 月份均温 > 年均温度 > 年极高温度 > 年积温 > 年日照 > 年极低温度 > 1 月份均温 > 无霜期 > 年降水量

各气候因子对丹酚酸 B 含量影响依次为:年日照 > 无霜期 > 年极高温度 > 年积温 > 7 月均温 > 年降水量 > 年均温度 > 1 月份均温 > 年极低温度

分析结果显示关联值较高,说明这些气候因子与丹参根系的有效成分含量关系密切。其中无霜期与年极高温度是影响丹参素含量的主导因子,灰色关联度分别达 0.7443 和 0.7275;7 月份均温、年均温度、年极高温度是影响丹参酮 IIA 含量的主导因子,灰色关联度分别达 0.6897、0.6875 和 0.6860;年日照和无霜期是影响丹酚酸 B 含量的主导因子,其灰色关联度分别为 0.7049 和 0.6822。无霜期是影响丹参根系丹参素及丹酚酸 B 的重要因子,除无霜期外,丹参根系有效成分含量主要受温度因子的影响,且高温的影响要显著大于低温。可见相对于越冬温度,生长季温度对丹参根系有效成分含量的影响更大。

3 讨论与结论

丹参的生长及有效成分含量与气候因子之间关系密切,然而由于地理现象与问题的复杂以及人们认知水平的限制,许多因素之间的关系是灰色的,很难用简单的统计方法分析各因子间的主次关系。而灰色关联分析是以分析系统中主行为因子与相关行为因子的关系的密切程度,从而判断引起该系统发展的主要因素和次要因素为主要内容的,它以系统内各因子间的关联系数和灰色关联度作为依据,比较灰色关联度的大小来确

定主要因素和次要因素。作为一种系统分析技术,是对系统动态过程发展态势的定量比较分析技术,适用于部分信息已知、部分信息未知的不确定性系统,在分析植物与环境的关系时结论比较可靠而且基本能够反应客观实际情况^[15-16],符合本研究要求。

分析结果显示各气候因子与丹参根系生长量之间灰色关联系数在 0.5020—0.8443 之间,表明所选各气候因子与丹参根系生长联系密切。其中年日照时数与丹参根系分根数、根长以及根系干重灰色关联度最大,分别达 0.8443、0.7217、0.6998。药用植物体内有机物的形成和转化有赖于光合作用,日照时间反映了植物直接获得光能的量,丹参为喜光植物,其生长发育需要有充足的光能,在生长期,合成干物质积累与日照成正比,日照时数长,光合作用强,有利于有机物的合成,才能积累大量的光合产物,干物质重,从而增加根长及分根数。

年均降水量与丹参根系鲜重及最大根直径灰色关联度最大,分别达 0.7031、0.6814。降水量是商洛地区水资源的主要定量指标,它是土壤蒸发和植物蒸腾作用的主要源泉,充足的水分供给是丹参维持正常生长发育和生理活动的重要保障。已有研究表明:丹参耗水量表现为前、后期少,中期多的规律,5 月中旬以前和 9 月中旬以后耗水量较少,6—8 月份为丹参耗水高峰期^[12]。而商洛各地区呈现降雨量分布不均及降雨时间分布不均,对丹参生长造成影响,在生产中应注意根据品质需求来选择栽培基地。降水量对于根干重、分根数及根长的灰色关联度不如光照,这是因为丹参干物质的积累主要决定于光合,就此地区而言,当光照条件一定时,增加水分并不能增加分根数或根长,也不能提高产量,只能增加根系鲜重及根系直径。

各气候因子与丹参根系有效成分含量之间的灰色关联度在 0.5560—0.7443 之间,表明所选各气候因子与丹参根系有效成分合成累积关系密切。其中与丹参素含量灰色关联度最大的气候因子为无霜期、年极高温、7 月均温,其灰色关联度分别达 0.7443、0.7275、0.6987。与丹参酮 IIA 含量灰色关联度最大的气候因子为 7 月均温、年均温度、年极高温,其灰色关联度分别达 0.6897、0.6875 和 0.6860。而对丹酚酸 B 含量影响最大的气候因子为年日照、无霜期,其灰色关联度分别达 0.7049、0.6822。无霜期为植物将热能转换成物质的积累期日数,可表示植物生长期的长短,是影响丹参根系丹参素及丹酚酸 B 的重要因子。丹参有效成分含量与年极高温、7 月份均温与灰色关联度较高而与 1 月份均温、年极低温灰色关联度相对较小(0.6152、0.5957),可见除无霜期外,丹参根系有效成分含量主要受温度因子的影响,且高温的影响要显著大于低温。

因此,就该区而言,年日照时数与降水量是保证丹参高产的两个重要因子,无霜期与年极高温是影响丹参素含量的主导因子;7 月均温、年均温度、年极高温是影响丹参酮 IIA 含量的主导因子;年日照、无霜期是影响丹酚酸 B 含量的主导因子。商州、山阳和洛南的丹参干重最大,其气候因子均呈现年日照时数长,降雨量中等偏少的特点。从有效成分上看,山阳产丹参根系中丹参酮 IIA 含量高于商州和洛南,而该区 7 月均温,年均温及年极高温均高于其它两地;商南降雨量最为充足,但受其日照时数的限制,产量受到影响。在取样时我们发现柞水的丹参叶片出现紫化现象,可能由于该区海拔较高(1600m),受紫外辐射强,从而影响丹参的生长;丹凤的丹参在 7、8 月时死苗现象严重,可能是由于该区降雨量少,入夏后温度过高所致。然而各气候因子的单一及综合影响规律还有待于进一步研究。

综上所述:商洛地区位于秦岭山麓,立地条件差异明显,各地气候差异明显,光、温、水分布极不平衡,成倍的水热条件差异制约着各地区丹参的生产力(产量和质量)水平,在选择丹参种植基地时应充分考虑各地区生态环境的差异。就本地区而言,生产基地应有充足的日照及适度的降雨以保证丹参的高产,在此基础上,需生产丹参酮 IIA 成分含量高的丹参应选择生长适温范围内温度较高地区,需生产丹酚酸 B 成分含量高的丹参应选择无霜期较长,降雨相对较少的地区。

References:

- [1] Mao F, Lu Z G, Zhang J H, Hou Y Y. Relations between AVHRR NDVI and climate factors in Northern Tibet in recent 20 years. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3198-3205.
- [2] Shi J F, Liu Y, Cai Q F, Yi L. A case study of physiological characteristics of statistical correlation between *Pinus tabulaeformis* tree-ring widths

- and climatic factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 26(3): 697-705.
- [3] Huang L Q, Guo L P. Secondary metabolites accumulating and geoherb formation under environmental stress. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2007, 32(4): 277-280.
- [4] Cao H L, Cao G F, Wei J H, Yang C M, Li M J. Effects of genetical and environmental factors on medicinal plant quality. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2007, 38(5): 785-788.
- [5] Liu W T, Liang Z S, Jiang C Z, He W J. Study on Characteristics of Reproductive Biology of *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Research and Practice of Chinese Medicines*, 2004 18(5): 17-20.
- [6] Sun Q, Liu W T, Liang Z S, Li X L. Study on the character of absorbing water and the germinative condition of *Salvia miltiorrhiza* Bunge seeds. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*. 2003, 23 (9): 1518-1521.
- [7] Sun Q, Liang Z S, Li S J, Liu W T, Li X L, Jiang C Z, Wang J M, Wei X R. Study on configuration fabric and germinative conditions of *salvia miltiorrhiza* seeds. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2004, 29(10): 934-938.
- [8] Sun Q, Liang Z S, Wang W L, Han J P, Wang J M, Wei X R, Liu W T. The growth of *Salvia miltiorrhiza* seedling and root system following transplantation. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2005, 30(1): 23-27.
- [9] Han J P, Liang Z S. Regulation of *Salvia miltiorrhiza* growth and *Salvia miltiorrhiza* Bunge su and tanshion II. A accumulation under nitrogen and phosphorus. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2005, 36(5): 756-759.
- [10] Han J P, Liang Z S, Zhang W S. Effect of microelement on growth and active ingredient of *Salvia miltiorrhiza* Bge. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2005, 11(4): 560-563.
- [11] Wang W L, Liang Z S, Sun Q, Han J P, Wang J M, Jiang C Z. NP fertilization recommendation of danshen by quadratic best design. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(3): 218-221.
- [12] Gao Y, Liang Z S, Liu Y. Study on water consumption characteristics and water use efficiency of *Salvia miltiorrhiza* in different soil water. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2004, 24(12): 2221-2227.
- [13] Jiang C Z, Wei X R, Liang Z S. Standard operating procedure of Danshen. *Research & Information of Traditional Chinese Medicine*, 2004, 6(5): 16-24.
- [14] Chinese Pharmacopoeia. Vol II. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 52-53.
- [15] Liu Y C, Li Y X, Su J, Du D L. Multivariate analysis of the ecological factors and the modular structure of *gordonia acuminata* young tree population in mountain Jinyun, Sichuan, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(4): 338-347.
- [16] Wang J L, Chang T J, Cheng H H, Fang H L, Luan Y F, He Y, Da C Z G, Li P. Analysis of grey relatedness between the modular structure of wild *Brassica juncea* population in Tibet and the environmental factors. *Ecologic Science*, 2006, 25(6): 507-511.

参考文献:

- [1] 毛飞, 卢志光, 张佳华, 侯英雨. 近 20 年藏北地区 AVHRR NDVI 与气候因子的关系. *生态学报*, 2007, 27(8): 3198-3205.
- [2] 史江峰, 刘禹, 蔡秋芳, 易亮. 油松 (*Pinus tabulaeformis*) 树轮宽度与气候因子统计相关的生理机制——以贺兰山地区为例. *生态学报*, 2007, 26(3): 697-705.
- [3] 黄璐琦, 郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成. *中国中药杂志*, 2007, 32(4): 277-280.
- [4] 曹海禄, 曹国番, 魏建和, 杨成民, 李梅君. 遗传和环境因子对药用植物品质的影响. *中草药*, 2007, 38(5): 785-788.
- [5] 刘文婷, 梁宗锁, 蒋传中, 何蔚娟. 丹参生殖生物学特性研究. *现代中药研究与实践*, 2004, 18(5): 17-20.
- [6] 孙群, 刘文婷, 梁宗锁, 李晓莉. 丹参种子的吸水特性及发芽条件研究. *西北植物学报*, 2003, 23(9): 1518-1521.
- [7] 孙群, 梁宗锁, 李绍军, 刘文婷, 李晓莉, 蒋传中, 王敬民, 卫新荣. 丹参种子形态结构与吸水萌发特性. *中国中药杂志*, 2004, 29(10): 934-938.
- [8] 孙群, 梁宗锁, 王渭玲, 韩建萍, 王敬民, 卫新荣, 刘文婷. 丹参移栽后苗系与根系的生长关系. *中国中药杂志*, 2005, 30(1): 23-27.
- [9] 韩建萍, 梁宗锁. 氮、磷对丹参生长及丹参素和丹参酮 II. A 积累规律研究. *中草药*, 2005, 36(5): 756-759.
- [10] 韩建萍, 梁宗锁, 张文生. 微量元素对丹参生长发育及有效成分的影响. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(4): 560-563.
- [11] 王渭玲, 梁宗锁, 孙群, 韩建萍, 王敬民, 蒋传忠. 不同氮磷施用量对丹参产量及有效成分的影响. *中国农学通报*, 2005, 21(3): 218-221.
- [12] 高扬, 梁宗锁, 刘燕. 不同土壤水分条件下丹参耗水特征与水分利用率的研究. *西北植物学报*, 2004, 24(12): 2221-2227.
- [13] 蒋传中, 卫新荣, 梁宗锁. 丹参标准化生产技术规程(SOP). *中药研究与信息*, 2004, 6(5): 16-24.
- [14] 国家药典委员会编, 中华人民共和国药典(2005 年版). 北京: 化学工业出版社, 2005: 52-53.
- [15] 刘玉成, 黎云祥, 苏杰, 杜道林. 缙云山大头茶幼苗种群构件结构及与环境因子的多元分析. *植物生态学报*, 1996, 20(4): 338-347.
- [16] 王建林, 常天军, 成海宏, 方华丽, 栾运芳, 何燕, 大次卓嘎, 李鹏. 西藏野生芥菜型油菜构件种群相互关系及其与气候因素的灰色关联度分析. *生态科学*, 2006, 25(6): 507-511.