

· 研究报告 ·

气象因子对宁夏枸杞果实生长及多糖含量的影响

齐国亮[†], 苏雪玲[†], 郑国琦^{*}, 杨涓, 包晗, 王俊

宁夏大学生命科学学院, 银川 750021

摘要 选取宁夏枸杞(*Lycium barbarum*)主产区银川、白银和德令哈三地5年生宁杞1号为实验材料, 探讨各地枸杞果实(横径、纵径和百粒重)生长及多糖含量与主要气象因子之间的关系, 并建立回归模型。结果表明: 三地果实生长类型均属双“S”型, 即包括第1次快速生长期、缓慢生长期和第2次快速生长期; 各产区宁夏枸杞的果实不同生长期的发育时间和整个生长期的时间均存在差异。三产地枸杞果实的发育过程中, 多糖含量始终呈现银川>白银>德令哈的趋势。多糖含量随枸杞果实发育成熟度的增加而升高, 表现为缓慢升高和快速升高2个阶段。平均气温和平均昼夜温差是影响枸杞果实生长发育的主导气象因子。枸杞果实的整个发育过程中, 银川地区枸杞果实的横、纵径和百粒重的增长首先随平均气温的升高而增加, 分别达到23.71°C、23.93°C和23.55°C时最大, 之后随着温度的增加而减小; 白银地区枸杞果实横、纵径和百粒重一直随平均气温的增加而增加, 到温度分别为22.99°C、22.16°C和21.35°C时接近最大; 德令哈枸杞果实横、纵径和百粒重一直随平均气温的增加而增加, 直到平均温度分别为19.55°C、21.01°C和20.64°C时接近最大。

关键词 宁夏枸杞, 气象因子, 果实生长, 枸杞多糖

齐国亮, 苏雪玲, 郑国琦, 杨涓, 包晗, 王俊 (2016). 气象因子对宁夏枸杞果实生长及多糖含量的影响. 植物学报 51, 311–321.

宁夏枸杞(*Lycium barbarum*)隶属茄科枸杞属, 为多年生落叶灌木, 是我国名贵的中药材和重要经济作物之一, 在我国西北地区普遍栽培种植(陈彦虎等, 2012)。枸杞果实的生长发育过程是枸杞外观品质及产量形成的关键因素。枸杞多糖是枸杞果实中主要的药用成分, 在促进免疫、抗衰老、抗肿瘤、清除自由基、抗疲劳、抗辐射、保肝以及生殖功能的保护和改善等方面表现出巨大的应用潜力(董静洲等, 2008)。大量研究表明, 气象因子影响农作物及中药材的分布、生长发育、产量及品质, 适宜的生态环境才能生产出优质高产的农产品及中药材(Yokoya et al., 1999; Gayler et al., 2004; 谢彩香等, 2011; Wang et al., 2012)。因此, 探索宁夏枸杞果实生长发育过程及药用成分多糖与气象因子之间的关系、优化枸杞生长环境条件对增加枸杞产量和品质以及提高生产效益具有重要意义。

关于气象因子对宁夏枸杞果实生长的影响已有研究。魏玉清等(2007)的研究表明, 环境是引起宁杞1

号果实性状发生变化的主要因素。李剑萍等(2004)对宁夏枸杞外观品质指标与气象环境因子关系的研究表明, 果实形成期平均气温小于18°C时, 随气温的升高, 百粒重增大, 且当平均气温在18–20°C时百粒重最大, 此后百粒重随平均气温的增加而减小。尽管国内外关于枸杞多糖的研究很多, 但对于枸杞多糖与气象因子的关系报道则相对较少。张晓煜等(2003)研究发现, 枸杞成熟前1个月的平均相对湿度与枸杞多糖含量呈正相关, 温度与枸杞多糖含量的关系则不明显。有研究表明, 不同等级的枸杞果实多糖含量与百粒重有密切关系, 即果实百粒重越大, 多糖含量越高, 药材品质越好(黄洪林等, 1996; 陈珺等, 2009), 但也有研究显示, 百粒重大的枸杞果实多糖含量反而低(刘万仓等, 2011; 张磊等, 2012)。

综上, 以往的研究主要集中在探讨单一生态区内常规气象因子对枸杞果实生长与品质的影响, 以及探索不同生态区间常规气象因子与成熟枸杞果实外观品质的关系, 对不同生态区之间气象因子对枸杞果实

收稿日期: 2015-03-06; 接受日期: 2015-09-30

基金项目: 国家自然科学基金(No.81360639; No.81160517)和国家科技支撑计划(No.2013BAC02B03-02)

[†] 共同第一作者。

^{*} 通讯作者。E-mail: zhengguoqi1977@163.com

生长及多糖含量影响比较的研究报道较少。本研究旨在探讨不同生态条件下(银川、白银和德令哈)枸杞果实生长及其药用成分多糖与气象因子之间的关系,寻找影响枸杞果实生长及多糖含量的关键气象因子,为指导宁夏枸杞产业的生产实践提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

选取我国北方普遍种植的宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)品种5年生宁杞1号为材料,于2014年5月至7月中旬进行实验。

1.2 实验方法

分别在宁夏银川(南梁农场)、甘肃白银(王家山镇)和青海德令哈(怀头他拉镇)枸杞种植地设立3个实验样点。各样地土壤状况良好(表1),严格控制三产地灌水量和灌水时间、施肥种类、施肥量和施肥时间,确保三地宁夏枸杞果实生长发育过程中水肥用量和用法一致,其它管理各地均按照常规方式进行。银川、白银和德令哈三个地理生态区的海拔分别为1 110 m、1 806 m和2 988 m;年均降水量分别为186.7 mm、193.5 mm和181.8 mm。

确定各样点枸杞七寸枝开花期,银川为6月2日,

白银为6月12日,德令哈为6月21日。采用定点定株法,分别在各样点选取30株枸杞,于各样点七寸枝开花之日,用毛线标记同一天盛开的花朵(花瓣紫堇色,花药坚挺,白色、未开裂),各样点分别标记5 000朵;从枸杞开花至枸杞果实成熟,银川和白银每4天采集果实进行测定(杨晓婉等, 2014),由于德令哈地区枸杞果实生长速度慢,生长周期长,每8天采果测定指标。

1.2.1 不同生长期果实横、纵径及单粒重的测定

随机选取100粒枸杞果实,用精度为0.01 mm的游标卡尺测定果实横、纵径。

随机选取100粒枸杞果实,用精度为0.001 g的电子天平测定单粒枸杞的果实鲜重。

1.2.2 果实多糖含量的测定

枸杞果实多糖含量采用苯酚-硫酸法进行测定(张艳等, 2014)。

1.2.3 气象数据采集及处理

利用JL-18型空气温度、光照强度和湿度自动记录仪采集各样点气象数据,每2小时自动记录1次并保存数据。以每天7:00–19:00为白天,20:00至次日6:00为夜晚,将数据进一步细化。从枸杞开花后至果实成熟,每隔4天,统计枸杞果实各生长时期的平均气温、白

表1 银川、白银和德令哈三地土壤条件

Table 1 The soil conditions of Yinchuan, Baiyin and Delingha

The soil conditions	0–20 (cm)			20–40 (cm)		
	Yinchuan	Baiyin	Delingha	Yinchuan	Baiyin	Delingha
pH	8.22	8.70	8.70	8.22	8.40	8.77
Total salt (g·kg ⁻¹)	0.59	0.48	1.44	0.65	0.46	3.68
Organic matter (g·kg ⁻¹)	32.0	12.6	10.8	25.30	9.92	9.75
Hydrolyzable nitrogen (mg·kg ⁻¹)	198	114	108	171	51	123
Quick-acting potassium (mg·kg ⁻¹)	640	375	139	585	339	182
Available phosphorus (mg·kg ⁻¹)	555	351	298	297	106	266
HCO ₃ ⁻ (g·kg ⁻¹)	0.09	0.06	0.06	0.09	0.05	0.18
Cl ⁻ (g·kg ⁻¹)	0.09	0.11	0.18	0.08	0.06	0.18
SO ₄ ²⁻ (g·kg ⁻¹)	0.21	0.19	1.08	0.19	0.19	2.254
Ca ²⁺ (g·kg ⁻¹)	0.02	0.02	0.12	0.02	0.02	0.08
Mg ²⁺ (g·kg ⁻¹)	0.03	0.02	0.21	0.03	0.02	0.22
K ⁺ (g·kg ⁻¹)	0.006	0.005	0.007	0.007	0.005	0.056
Na ⁺ (g·kg ⁻¹)	0.14	0.14	0.12	0.002	0.110	0.788

日均温、夜晚均温、平均温差、平均空气相对湿度及平均光照强度。

1.3 数据处理

用Excel 2007及SPSS 19.0软件处理实验数据。

2 结果与讨论

2.1 果实生长过程中形态指标的变化

从宁夏枸杞花后果实形态指标的变化情况(图1A-C)可知, 银川、白银和德令哈三地枸杞生长期分别为34天、40天和52天。各地宁夏枸杞果实发育可分为3个明显的阶段, 即第1次快速生长期(银川, 花后0-8天; 白银, 花后0-12天; 德令哈, 花后0-16天)、缓慢生长期(银川, 花后8-24天; 白银, 花后12-28天; 德令哈, 花后16-32天)和第2次快速生长期(银川, 花后24-34天; 白银, 花后28-40天; 德令哈, 花后32-52天)。其中, 三产区枸杞果实发育均以第2个快速生长期为果实增长的主要时期。在第1次快速生长期, 银川、白银和德令哈三产区枸杞果实横径平均日增长值分别为0.38、0.30和0.26 mm·d⁻¹; 纵径平均日增长值分别为1.08、0.98和0.90 mm·d⁻¹; 百粒重平均日增长值分别为1.2、1.14和1.08 g·d⁻¹。缓慢生长期, 银川、白银和德令哈三产区枸杞果实横径平均日增长值分别为0.09、0.08、0.05 mm·d⁻¹; 纵径平均日增长值分别为0.18、0.14和0.11 mm·d⁻¹; 百粒重平均日增长值分别为0.59、0.57和0.50 g·d⁻¹。在第2次快速生长期, 银川、白银和德令哈三产区枸杞果实横径平均日增长值分别为0.54、0.50和0.41 mm·d⁻¹; 纵径平均日增长值分别为0.79、0.60和0.50 mm·d⁻¹; 百粒重日增长值分别为6.56、5.78和5.32 g·d⁻¹。

2.2 果实多糖含量变化

分别对银川、白银和德令哈三产地宁夏枸杞不同发育时期的枸杞多糖含量进行测定(图2), 结果表明, 在整个发育过程中, 三产地的枸杞果实多糖含量均呈现出逐渐增加的趋势, 并且三产地枸杞多糖含量始终为银川>白银>德令哈。各地枸杞果实多糖含量的变化可分为2个阶段, 即缓慢增加阶段与快速增加阶段。其中银川地区枸杞多糖含量在花后0-24天缓慢增加, 花后24-35天快速增加。白银产区枸杞多糖含量在0-28

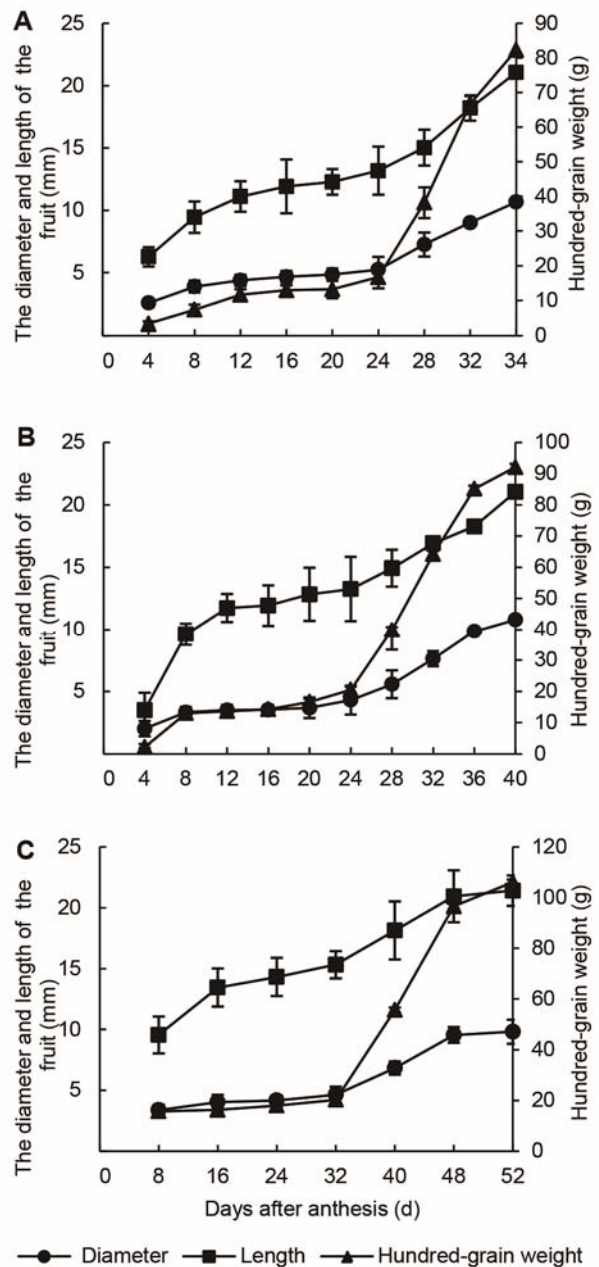


图1 宁夏枸杞果实发育过程中形态指标的变化

(A) 银川; (B) 白银; (C) 德令哈

Figure 1 Changes of fruit shape index of different development stage in *Lycium barbarum*

(A) Yinchuan; (B) Baiyin; (C) Delingha

天缓慢增加, 花后28-40天快速增加。德令哈产区枸杞多糖在花后0-32天缓慢增加, 花后32-52天快速增加。与图1比较可知, 枸杞多糖的积累与粒重的增加

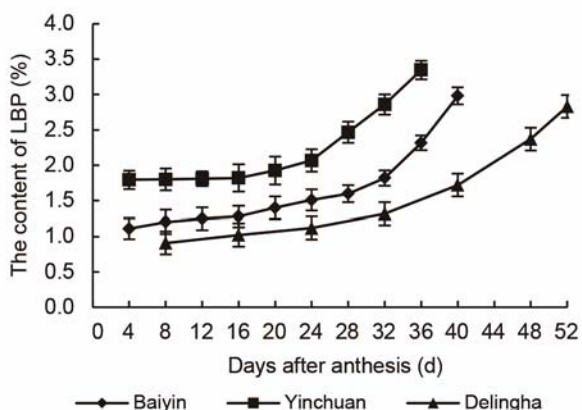


图2 银川、白银和德令哈三地枸杞不同发育时期的多糖含量

Figure 2 *Lycium barbarum* polysacchande (LBP) content of different development stage in Yinchuan, Baiyin and Delingha

基本处于同一时期。

2.3 果实生长过程中各气象因子的变化

在枸杞果实的整个生长期,三产区平均气温均呈现出波动式缓慢上升的趋势。德令哈地区平均气温上升 6.58°C (图3A1),白银平均温度升高 3.24°C (图3B1),银川平均温度上升 2.37°C (图3C1)。各产区白天和夜晚的平均气温变化趋势基本一致,不同的是,白天气温比夜晚上升幅度大,导致温差增大。整个实验过程中,三产地平均空气湿度均呈现出总体降低的趋势,而光照强度却逐渐增加(图3A2, B2, C2)。银川枸杞果实成熟天数为34天,整个过程中平均温度、平均温差、平均空气湿度和平均光强分别为 22.69°C 、 7.94°C 、 63.46% 和 $344.16 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。白银枸杞果实成熟天数为40天,整个过程中平均温度、平均温差、平均空气湿度和平均光强分别为 19.53°C 、 7.34°C 、 57.63% 和 $358.92 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。德令哈枸杞果实成熟天数为52天,整个过程中平均温度、平均温差、平均空气湿度和平均光强分别为 17.34°C 、 6.59°C 、 53.83% 和 $442.08 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

2.4 果实外观形态及多糖含量与气象因子的关系

2.4.1 气象因子与果实外观形态及多糖含量间的关系

从表2可知,银川地区对枸杞果实横、纵径及百粒重影响最大的正因子是平均温差,相关系数分别为

0.716、0.746和0.690,均达显著水平($P<0.05$);其次为平均温度,相关系数分别为0.655、0.695和0.692,均达显著水平($P<0.05$)。对果实外观形态有负影响的气象因子是平均空气相对湿度和平均光照。白银地区对果实横、纵径以及百粒重影响最大的正因子是平均温差,相关系数分别为0.888、0.862和0.887,均达极显著水平($P<0.01$);其次是平均气温,相关系数分别为0.757、0.830和0.749,对果实纵径的影响极显著($P<0.01$);最后是白天平均气温,相关系数分别为0.577、0.634和0.563,对白银枸杞纵径的影响达显著水平($P<0.05$)。对果实外观形态有负影响的气象因子是夜晚平均气温和平均空气相对湿度。德令哈地区对枸杞果实外观形态影响较大的正因子是平均气温、白天平均气温以及平均温差,均达显著或极显著水平($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。对果实外观形态有负影响的气象因子是平均空气相对湿度,与枸杞果实横、纵径及百粒重的相关系数分别为 -0.694 、 -0.747 和 -0.665 。

银川地区枸杞果实多糖含量与平均气温、白天平均气温、平均温差、平均相对空气湿度和平均光照强度均呈正相关,与夜晚平均温度呈负相关;其中,枸杞多糖含量与平均温差呈极显著正相关($P<0.01$)。白银产区枸杞果实多糖含量除了与平均空气相对湿度呈负相关外,与其它气象指标均呈正相关,其中枸杞多糖含量与平均温差呈极显著正相关($P<0.01$),与平均光照呈显著正相关($P<0.05$)。德令哈产区枸杞果实多糖含量变化除与平均空气相对湿度呈负相关外,与其余气象因子均呈正相关。其中,枸杞多糖含量与平均温度呈显著正相关($P<0.05$),与平均温差呈极显著正相关($P<0.01$)。

2.4.2 关键气象因子与果实外观形态的关系

将上文得出的环境因子与枸杞外观形态间的相关系数进行比较,相关系数越大,说明该因子对果实外观形态的影响越显著,则该因子就是影响果实外观形态的关键气象因子,反之亦然(程智慧等, 2011)。因此,与枸杞外观形态整体呈显著或极显著($P<0.05$ 或 $P<0.01$)相关的气象因子为影响枸杞外观形态的关键气象因子。枸杞果实整个发育过程中,银川地区枸杞果实横、纵径和百粒重的增长首先随着平均气温的升高而增加(图4A1),直到分别达到 23.71°C 、 23.93°C 和 23.55°C 时最大,随后随着温度的增加而减小;白

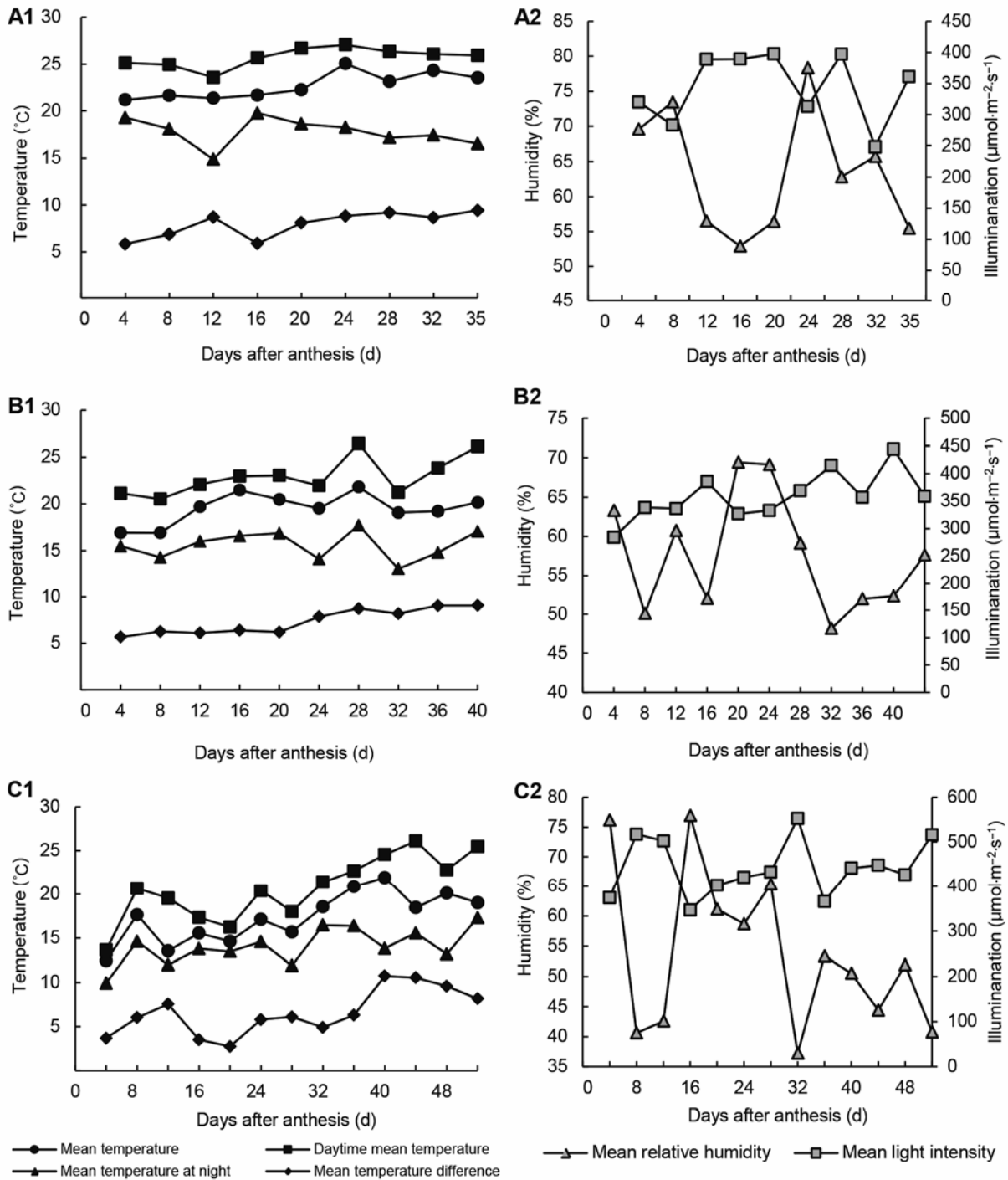


图3 枸杞果实发育过程中主要气象因子的动态变化
(A1), (A2) 银川; (B1), (B2) 白银; (C1), (C2) 德令哈

Figure 3 Dynamic changes of main climatic factors during fruit developing process of *Lycium barbarum*
(A1), (A2) Yinchuan; (B1), (B2) Baiyin; (C1), (C2) Delingha

银地区枸杞果实横、纵径和百粒重一直随平均气温的增加而增加, 到温度分别为22.99°C、22.16°C和

21.35°C时接近最大(图4B1); 德令哈枸杞果实横、纵径和百粒重一直随着平均气温的增加而增加, 直到平

表2 枸杞外观形态指标及多糖含量与气象因子的相关性分析**Table 2** The relationship between fruit shape index and the content of *Lycium barbarum* polysaccharides (LBP) and climatic factors during the development of *Lycium barbarum*

Regions	Shape index and the content of LBP	Climatic factors					
		X1	X2	X3	X4	X5	X6
Yinchuan	Diameter	0.655*	0.362	-0.413	0.716*	-0.274	-0.089
	Length	0.695*	0.408	-0.409	0.746*	-0.308	-0.028
	Hundred-grain weight	0.692*	0.290	-0.392	0.690*	-0.247	-0.180
	LBP	0.646	0.642	-0.107	0.893**	0.135	0.309
Baiyin	Diameter	0.757*	0.577	-0.023	0.888**	-0.503	0.228
	Length	0.830**	0.634*	-0.077	0.862**	-0.383	0.517
	Hundred-grain weight	0.749*	0.563	-0.041	0.887**	-0.524	0.208
	LBP	0.532	0.556	0.134	0.856**	-0.360	0.757*
Delingha	Diameter	0.814*	0.943**	0.702	0.880**	-0.694	0.407
	Length	0.877**	0.955**	0.743	0.930**	-0.747	0.418
	Hundred-grain weight	0.774*	0.912**	0.744	0.856*	-0.665	0.404
	LBP	0.608	0.675*	0.407	0.836**	-0.375	0.401

* 表示相关性达显著水平($P<0.05$); ** 表示相关性达极显著水平($P<0.01$)。X1: 平均气温; X2: 白天平均气温; X3: 夜晚平均气温; X4: 平均温差; X5: 平均空气相对湿度; X6: 平均光强; LBP: 枸杞多糖

* Represents significant differences at $P<0.05$; ** Represents significant differences at $P<0.01$. X1: Mean temperature; X2: Day-time mean temperature; X3: Mean temperature at night; X4: Mean temperature difference; X5: Mean relative humidity; X6: Mean light intensity; LBP: Polysaccharides of *Lycium barbarum*

均温度分别为19.55°C、21.01°C和20.64°C时接近最大(图4C1)。银川和德令哈地区,枸杞果实外观形态均随着平均昼夜温差的增加而增加(图4A2, C2),白银和德令哈地区枸杞果实随白天平均气温的增加而一直增加(图4B2, C3)。因此,平均温度和平均温差为银川、白银和德令哈三地影响枸杞果实外观形态的主导气象因子。

2.5 果实外观品质及多糖含量与各气象因子的回归分析

宁夏枸杞果实外观形态受多种气象因子的综合影响,当气象因子之间高度相互依赖时就会给回归系数带来不合理的影响。因此,需要应用逐步回归的方法,从诸多气象因子中挑出对枸杞外观形态贡献大的变量,并且在相应观测数据上建立最优的回归方程。表3为银川、白银和德令哈三产地6种气象因子与果实外观形态及枸杞多糖含量间的回归分析。从回归方程来看,所有气象因子与外观形态方程的回归系数都大于0.9,方差分析F值均达显著水平($P<0.05$),因此均可以用于相应地区枸杞外观形态生长发育的分析和预测。其中,银川地区枸杞的横、纵径和百粒重,白银

地区的横径和百粒重,以及德令哈地区的横径均受相应地区的平均气温、平均温差、平均空气相对湿度以及平均光照的综合影响。白银地区的果实纵径受平均气温、白天平均气温、平均空气相对湿度以及平均光照的综合影响。德令哈的果实纵径受白天平均气温、夜晚平均气温、平均温差以及平均光照强度的综合影响。德令哈的果实百粒重受平均气温、白天平均气温、夜晚平均气温以及平均光照强度的综合影响。从回归方程可知,银川、白银和德令哈三地枸杞多糖含量主要受平均温差的影响。

2.6 讨论

宁夏银川地处黄土高原边缘,北部及东部地区临近腾格里沙漠和毛乌苏沙漠,主要气候特点为昼夜温差大、雨雪稀少、蒸发强烈、气候干燥和风大沙多,银川年平均气温8.5°C,年平均日照时数2 800–3 000小时,年平均降雨量200 mm,呈现典型的温带大陆性气候特征(刘玉兰等, 2012)。白银市位于甘肃中部,地处黄土高原与青藏高原的过渡地带,年平均气温6–9°C,年降雨量180–450 mm,属东南季风气候西北部边缘区,年蒸发量达1 500–1 600 mm,是平均

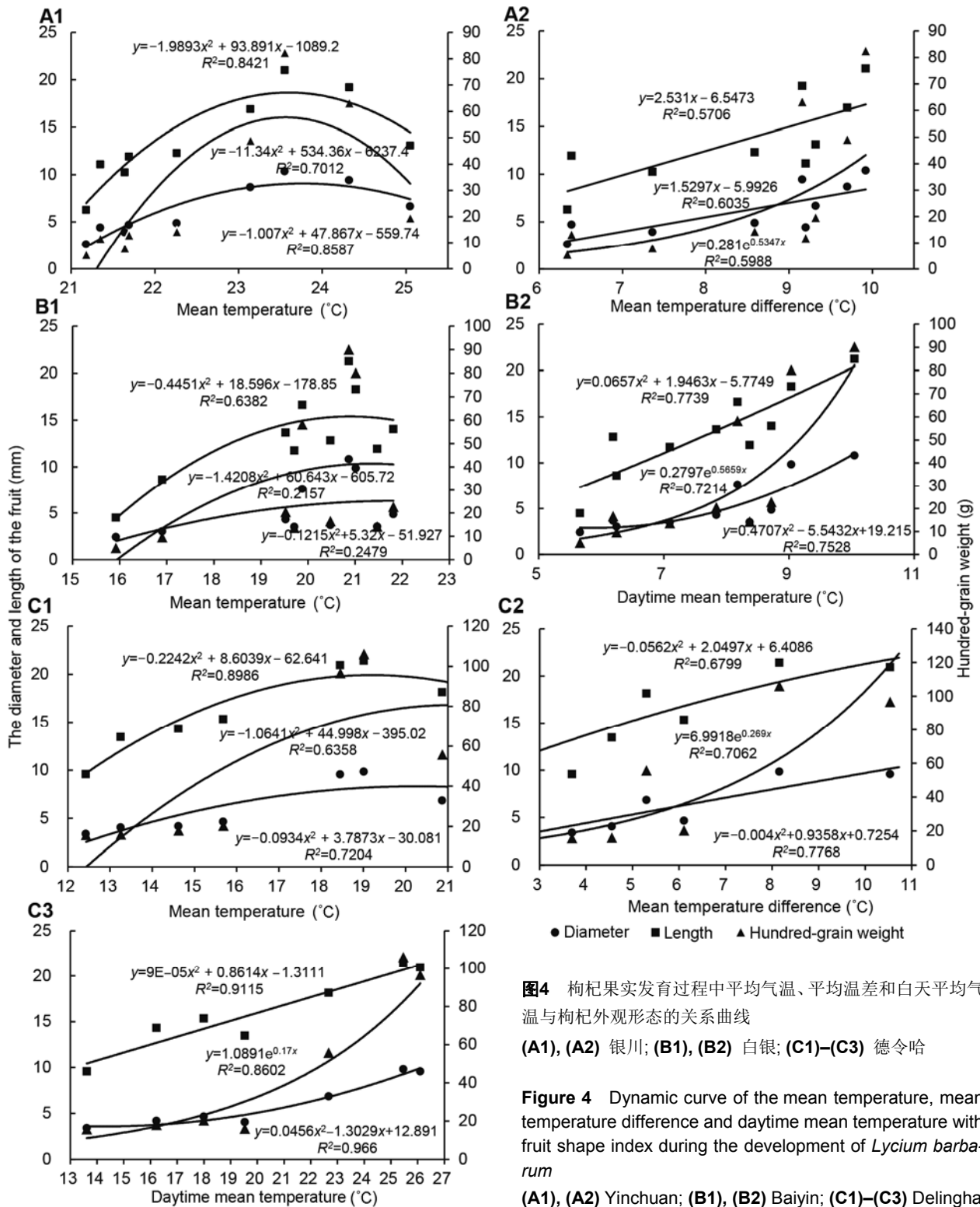


图4 枸杞果实发育过程中平均气温、平均温差和白天平均气温与枸杞外观形态的关系曲线

(A1), (A2) 银川; (B1), (B2) 白银; (C1)–(C3) 德令哈

Figure 4 Dynamic curve of the mean temperature, mean temperature difference and daytime mean temperature with fruit shape index during the development of *Lycium barbarum*

(A1), (A2) Yinchuan; (B1), (B2) Baiyin; (C1)–(C3) Delingha

降水量的4.5倍。全市地形地貌复杂, 北部濒临腾格里沙漠, 深居内陆, 远离海洋, 也呈典型温带大陆性气候特征(陈少勇等, 2011)。青海德令哈地处青藏高原,

日照充足, 具有高寒缺氧、空气干燥、少雨多风和年内四季不分的特点(黄磊和邵雪梅, 2005)。德令哈的气候状况与其它2个地区存在较大差异, 表现为海拔

表3 枸杞果实发育过程中外观形态指标及多糖含量与气象因子的回归分析**Table 3** The regression analysis between fruit shape index and the content of LBP and climatic factors during the development of *Lycium barbarum*

Regions	Shape index	Regression equation	R	F	P
Yinchuan	Diameter	$Y1 = -20.784 + 1.554X1 + 0.827X4 - 0.124X5 - 0.378X6$	0.975	19.076	0.007
	Length	$Y2 = -34.404 + 2.636X1 + 1.525X4 - 0.211X5 - 0.584X6$	0.982	26.335	0.004
	Hundred-grain weight	$Y3 = -181.977 + 15.35X1 + 8.31X4 - 1.575X5 - 5.417X6$	0.943	8.017	0.034
	LBP	$Y = -4.864 + 0.316X4$	0.849	15.546	0.008
Baiyin	Diameter	$Y1 = -10.098 + 1.567X1 + 1.566X4 - 0.143X5 - 1.057X6$	0.955	8.324	0.021
	Length	$Y2 = -11.212 + 3.611X1 - 1.257X3 - 0.172X5 - 1.067X6$	0.962	15.519	0.028
	Hundred-grain weight	$Y3 = -133.108 + 17.868X1 + 17.803X4 - 1.735X5 - 13.435X6$	0.918	6.672	0.031
	LBP	$Y = -0.179 + 0.384X4$	0.856	21.874	0.002
Delingha	Diameter	$Y1 = -29.834 + 0.795X1 + 0.952X4 - 0.186X5 + 0.179X6$	0.902	5.331	0.045
	Length	$Y2 = -21.145 + 0.852X2 + 0.259X3 + 1.262X4 - 1.067X6$	0.952	12.168	0.009
	Hundred-grain weight	$Y3 = -107.216 + 21.099X1 - 9.432X2 - 8.523X3 + 11.502X6$	0.904	5.602	0.043
	LBP	$Y = -0.504 + 0.28X4$	0.836	18.563	0.003

X1–X6同表2。LBP: 枸杞多糖 X1–X6 see Table 2. LBP: Polysaccharides of *Lycium barbarum*

最高且年日照时数最长, 而年均湿度、年降水量和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温和年均温等指标最低, 为典型的高原大陆气候。本文采集银川、白银和德令哈三样点枸杞果实发育过程中的气象数据, 显示在本实验全过程中, 银川、白银和德令哈三地区平均气温分别为 22.69°C 、 19.53°C 和 17.34°C , 平均气温呈现银川>白银>德令哈的趋势。三地平均空气湿度分别为 63.46% 、 57.63% 和 53.83% , 也呈现出银川>白银>德令哈的趋势。三地平均光照强度分别为 344.16 、 358.92 和 $442.08 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 呈现出银川<白银<德令哈的趋势。

从果实体积和重量增长的曲线看, 果实增长曲线大体分为2种, 即单“S”型曲线和双“S”型曲线。枸杞果实的生长发育曲线与桃(*Amygdalus persica*)、杏(*Armeniaca vulgaris*)、樱桃(*Cerasus pseudo-cerasus*)和葡萄(*Vitis vinifera*)等果实完全相似, 生长类型均属双“S”型, 即可分为第1次快速生长期、缓慢生长期和第2次快速生长期3个阶段, 且枸杞果实体积的增长以第2次快速增长期为主(冯美等, 2005;

杨晓婉等, 2013)。本文的研究结果表明, 银川、白银和德令哈三地枸杞果实生长均呈现双“S”型曲线, 三产区枸杞果实横、纵径和百粒重均在第2次快速生长期期间增长速度最快, 与前人的研究相符; 但三地区各生长期所需时间不同, 表现为第1次快速生长期, 银川、白银和德令哈分别为花后0–8天、0–12天和0–16天; 缓慢生长期分别为花后8–24天、12–28天和16–32天; 第2次快速生长期分别为花后24–34天、28–40天和32–52天。三产地宁夏枸杞果实整个生长期发育时间也不同, 银川为34天, 白银为40天, 德令哈为52天。一般认为, 在6–9月宁夏枸杞果实生长期, 平均温度越高, 果实生长期就越短, 其原因可能是高温停止了花蕾的分化, 促使果实生长加速, 营养生长和生殖生长时间缩短, 短期内果实大量成熟, 甚至果实在不该成熟的时候逼熟(陈彦虎等, 2012)。本实验中, 银川、白银和德令哈三地平均气温为银川>白银>德令哈, 这可能是三产地枸杞果实横径、纵径和百粒重的生长速度都呈现为银川>白银>德令哈变化趋势的主要原因。赵玉萍等(2010)在研究不同温度

对温室番茄(*Lycopersicon esculentum*)生长发育及产量的影响时,发现温度越高番茄果实前期发育越快,成熟期越提前。姚珊等(2014)研究发现,花后高温处理显著降低了春小麦(*Triticum aestivum*)的籽粒活力,且高温处理越早籽粒活力所受影响越大,这与本研究结果相符。

张宁等(2006)研究表明,枸杞多糖含量在枸杞果实发育前期含量较低,于花后27天迅速增加,到成熟时达最大值。张磊等(2012)的研究结果表明,宁夏、甘肃和新疆栽培的枸杞果实药用成分多糖含量相对最高,青海和河北产的枸杞果实多糖含量最低。不同等级的枸杞果实多糖含量与百粒重大小具有密切关系,即果实百粒重越大,多糖含量越高,药材品质越好(黄洪林等, 1996; 陈珺等, 2009; 叶玉娣, 2009);但刘万仓等(2011)的研究结果却恰好相反,百粒重大的枸杞果实多糖含量反而低。本研究表明,银川、白银和德令哈三地枸杞多糖含量呈现递减趋势,银川产区枸杞果实在花后0–24天多糖含量缓慢增加,花后24–35天快速增加。白银产区枸杞多糖含量在0–28天缓慢增加,花后28–40天快速增加。德令哈产区枸杞多糖在花后0–32天缓慢增加,花后32–52天快速增加。果实生长发育过程中,宁夏枸杞果实内枸杞多糖含量随果实的发育成熟度而增加。

李剑萍等(2004)研究认为,枸杞果实发育期间,采摘前40天平均气温与采摘前35天平均空气相对湿度是影响枸杞果实百粒重的主要气象条件。刘静等(2004)研究发现,枸杞夏果的幼果期不耐高温。张磊等(2014)指出,枸杞夏果(6月下旬至7月下旬)果实发育的最适温度为20–25°C,光照条件低和空气湿度大都不利于枸杞果实生长。本研究表明,平均温度和平均温差是影响银川、白银和德令哈三地的主要气象因子。枸杞果实整个发育过程中,银川地区平均温度最高,为21.18–25.05°C,枸杞果实横、纵径和百粒重的增长首先随着平均气温的升高而增加,直到分别达到23.71°C、23.93°C和23.55°C时最大,随后随着温度的增加而减小;白银地区平均温度次之,范围在15.93–21.83°C,枸杞果实横、纵径和百粒重一直随平均气温的增加而增加,到温度分别为22.99°C、22.16°C和21.35°C时接近最大;德令哈地区平均温度最低,范围在12.43–21.91°C之间,枸杞果实横、纵径和百粒重一直随着平均气温的增加而增加,直到平

均温度分别为19.55°C、21.01°C和20.64°C时接近最大。平均温度过高不利于枸杞果实的生长,可能是由于气温过高导致枸杞气孔关闭、气孔导度下降、光合速率下降、干物质合成减少及果实中水分和干物质的运输受阻,枸杞果实生长发育减慢(李剑萍等, 2004)。

昼夜温差可以显著影响设施作物甜椒(*Capsicum annuum*)、黄瓜(*Cucumis sativus*)和番茄的株高、茎粗、叶面积及干物质的积累与分配(Patil and Moe, 2009; Inthichack et al., 2013; 杨再强等, 2013)。三地区昼夜温差在枸杞果实整个生长发育过程中均呈现增加的趋势,枸杞果实的生长均随着昼夜温差的增加而加快。毛丽萍等(2012)研究发现,适当加大昼夜温差,能显著降低光合作用的非气孔因素限制,促进光合作用并能增加单叶面积和单位面积叶绿素含量以及番茄的物质积累。付三雄等(2014)研究表明,较大的温差利于油菜(*Brassica napus*)种子油分的积累。张晓煜等(2003)研究表明,平均日较差影响枸杞多糖含量。杨文君等(2014)对柴达木不同采样批次的枸杞果实内枸杞多糖含量的测定表明,柴达木枸杞的多糖含量以第2采摘期(9月中下旬)最高,其次为第3采摘期(10月中下旬),第1采摘期(8月中下旬)最低。出现这种现象的原因可能与该地区8–10月平均温差逐渐增大有关。本研究表明,平均昼夜温差是影响枸杞多糖含量的主要气象因子,在整个枸杞果实生长过程中,银川、白银和德令哈三产区平均温差分别由青果期的5.84°C、5.66°C和3.70°C曲折上升到成熟期的9.42°C、9.05°C和8.16°C,三地日平均温差的平均值分别为7.94°C、7.34°C和6.59°C,温差平均值呈现出银川>白银>德令哈的趋势。果实发育过程中,三地区枸杞多糖含量也由青果期的1.79%、1.11%和0.91%分别上升至成熟期的3.35%、2.98%和2.83%,三地多糖含量亦呈现出银川>白银>德令哈的变化趋势。由此可知,枸杞果实生长过程中,枸杞多糖的含量随平均温差的增加而增加。

气象因子对枸杞果实生长的影响是相互响应且相互制约的。本研究对影响枸杞果实生长发育的6种气象因子的综合影响进行了比较研究,建立了关键气象因子对枸杞果实外观形态影响的回归模型,分析了6种气象因子间及6个气象因子与枸杞果实增长的关系。结果表明,银川地区枸杞的横、纵径和百粒重,白

银地区的横径和百粒重以及德令哈地区的横径均受相应地区的平均气温、平均温差、平均空气相对湿度以及平均光照的综合影响。白银枸杞果实纵径受平均气温、白天平均气温、平均空气相对湿度以及平均光照的综合影响。德令哈纵径受白天平均气温、夜晚平均气温、平均温差以及平均空气相对湿度的综合影响。德令哈百粒重受平均气温、白天平均气温、夜晚平均气温以及平均空气相对湿度的综合影响。就气象因子对枸杞果实的生长发育影响而言,各气象因子间具有一定的依赖性。

参考文献

- 陈琨,沈富荣,刘静 (2009). 枸杞气象研究进展. 宁夏农林科技 **6**, 76–79.
- 陈少勇,韩通,乔立 (2011). 白银市降水气候资源评估. 干旱区资源与环境 **25**, 79–85.
- 陈彦虎,顾宁,刘静,金伟平 (2012). 宁夏石嘴山市枸杞产量与气象条件的关系. 安徽农业科学 **40**, 13508–13511.
- 程智慧,陈学进,赖琳玲,滕林 (2011). 设施番茄果实生长与环境因子的关系. 生态学报 **31**, 742–748.
- 董静洲,杨俊军,王璞 (2008). 我国枸杞属物种资源及国内外研究进展. 中国中药杂志 **33**, 2020–2027.
- 冯美,张宁,宋长冰 (2005). 宁夏枸杞果实生长发育初探. 种子 **24**, 63–65.
- 付三雄,李成磊,尼玛卓玛,唐林,戚存扣 (2014). 气象因子对油菜种子中油分积累的影响. 植物学报 **49**, 41–48.
- 黄洪林,余日跃,黄名阳 (1996). 商品枸杞多糖含量的比较. 基层中药杂志 **10**, 31–32.
- 黄磊,邵雪梅 (2005). 青海德令哈地区近400年来的降水量变化与太阳活动. 第四纪研究 **25**, 184–192.
- 李剑萍,张学艺,刘静 (2004). 枸杞外观品质与气象条件的关系. 气象 **30**, 51–54.
- 刘静,张晓煜,杨有林,马力文,张学艺,叶殿秀 (2004). 枸杞产量与气象条件的关系研究. 中国农业气象 **25**, 17–21.
- 刘万仓,孙磊,乔善义,王英华,王金辉 (2011). 不同产地枸杞药材中多糖的含量测定. 国际药学研究杂志 **38**, 229–231.
- 刘玉兰,梁培,刘娟,桑建人 (2012). 1961–2008年银川市灰霾天气的气候特征. 辽宁气象 **28**, 55–58.
- 毛丽萍,李亚灵,赵军良,张剑国,巫东堂 (2012). 昼夜温差对番茄幼苗光合特性和物质积累的影响. 华北农学报 **27**, 128–133.
- 魏玉清,许兴,王璞 (2007). 不同地区主要栽培宁夏枸杞品种的RAPD分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版) **35**(1), 91–95.
- 谢彩香,索风梅,贾光林,宋经元,黄林芳,陈士林 (2011). 人参皂苷与生态因子的相关性. 生态学报 **31**, 7551–7563.
- 杨文君,肖明,吕新,迟德钊 (2014). 不同采摘期对柴达木枸杞外观形状及活性成分影响. 农产品加工(学刊) **8**, 50–52.
- 杨晓婉,郑国琦,许兴,胡美娟,封美琦 (2013). 宁夏枸杞果实生长发育期内源激素变化及关系研究. 西北植物学报 **33**, 116–122.
- 杨晓婉,郑国琦,杨涓,许兴,卢迪,杨乐 (2014). 宁夏枸杞果实内源激素的变化及其与细胞壁成分和相关酶的关系. 植物学报 **49**, 30–40.
- 杨再强,朱凯,彭晓丹,赵翔,王学林,孙擎 (2013). 昼夜温差对设施番茄叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响. 生态学杂志 **32**, 3199–3196.
- 姚珊,康建宏,王学龙,陈建涛,倪欢,李春艳 (2013). 花后不同时段高温对春小麦籽粒活力的影响. 西北农业学报 **22**, 41–47.
- 叶玉娣 (2009). 不同等级枸杞中枸杞多糖的含量测定与比较. 浙江中医杂志 **44**, 921–922.
- 张磊,段晓凤,李红英,杜宏娟,韩颖娟 (2014). 宁夏枸杞生长的气象条件分析及管理措施. 北方果树 **4**, 16–19.
- 张磊,郑国琦,滕迎凤,王俊 (2012). 不同产地宁夏枸杞果实品质比较研究. 西北药学杂志 **27**, 195–197.
- 张宁,冯美,宋长冰 (2006). 枸杞果实发育模式及营养物质含量变化研究. 干旱地区农业研究 **24**, 104–107.
- 张晓煜,刘静,袁海燕,张学艺 (2003). 枸杞多糖与土壤养分、气象条件的量化关系研究. 干旱地区农业研究 **21**, 43–47.
- 张艳,程淑华,伊倩如,李润怀,耿力成,李艳萍,冯建华,张运迪,何仲文 (2014). 枸杞. 中华人民共和国国家标准 (GB/T18672-2014). 北京: 中国标准出版社. pp. 1–6.
- 赵玉萍,邹志荣,白鹏威,任雷,李鹏飞 (2010). 不同温度对温室番茄生长发育及产量的影响. 西北农业学报 **19**, 133–137.
- Gayler S, Leser C, Priesack E, Treutter D (2004). Modelling the effect of environmental factors on the “trade-off” between growth and defensive compounds in young apple trees. *Trees* **18**, 363–371.
- Inthichack P, Nishimura Y, Fukumoto Y (2013). Diurnal temperature alternations on plant growth and mineral

absorption in eggplant, sweet pepper, and tomato. *Hort Environ Biotechnol* **54**, 37–43.

Patil GG, Moe R (2009). Involvement of phytochrome B in DIF mediated growth in cucumber. *Sci Hortic-Amsterdam* **122**, 164–170.

Wang ZR, Yang GJ, Yi SH, Chen SY, Wu Z, Guan JY, Zhao CC, Zhao QD, Ye BS (2012). Effects of environ-

mental factors on the distribution of plant communities in a semi-arid region of the Qinghai-Tibet Plateau. *Ecol Rel* **27**, 667–675.

Yokoya NS, Kakita H, Obika H, Kitamura T (1999). Effects of environmental factors and plant growth regulators on growth of the red alga *Gracilaria vermiculophylla* from Shikoku Island, Japan. *Hydrobiologia* **398**, 339–347.

Effect of Meteorological Factor on Fruit Growth and Accumulation of Polysaccharides in *Lycium barbarum*

Guoliang Qi[†], Xueling Su[†], Guoqi Zheng^{*}, Juan Yang, Han Bao, Jun Wang

College of Life Sciences, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

Abstract To explore the relationships between the growth of wolfberry fruit (diameter, length and hundred-grain weight) as well as its polysaccharide content and the main meteorological factors, we chose 5-year-old *Lycium barbarum* Ningqi 1 from 3 main producing areas—Yinchuan, Baiyin and Delingha—as experimental materials and established regression models. The fruit growth curve of *L. barbarum* in the 3 areas belonged to the double “S” curve: the first growth spurt, the slow periods and the second growth spurt. The growth period of wolfberry fruit from different areas in different development stages differed, as did the whole stage. Polysaccharide content in fruits from the 3 areas always showed a trend of Yinchuan>Baiyin>Delingha. The content of polysaccharide increased with development. Polysaccharide content increased in the slow phase and rapid phase. Average temperature and average temperature difference between day and night were the two main meteorological factors affecting the growth and development of wolfberry fruit. During the whole developmental process, growth rate of fruit from Yinchuan area increased first with increasing temperature and peaked at 23.71°C, 23.93°C and 23.55°C in the 3 periods, respectively, then slowed despite increasing temperature. Growth rate of fruit from Baiyin area continually increased with increasing temperature, and peaked at 22.99°C, 22.16°C and 21.35°C, as did the growth rate of fruit from the Delingha area, with peak temperature 19.55°C, 21.01°C and 20.64°C.

Key words *Lycium barbarum*, meteorological factor, fruit growth, *L. barbarum* polysaccharides

Qi GL, Su XL, Zheng GQ, Yang J, Bao H, Wang J (2016). Effect of meteorological factor on fruit growth and accumulation of polysaccharides in *Lycium barbarum*. *Chin Bull Bot* **51**, 311–321.

[†] These authors contributed equally to this paper

^{*} Author for correspondence. E-mail: zhengguoqi1977@163.com