

不同种源黑果枸杞物候期和生长差异及其与地理-气候因子的相关性分析

刘克彪^a, 郭春秀^b, 张元恺^{b, ①}, 满多清^a, 付贵全^a

(甘肃省治沙研究所: a. 甘肃省沙生植物工程技术研究中心, 甘肃 兰州 730070;

b. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地, 甘肃 武威 733000)

摘要: 以来自新疆、青海、甘肃和宁夏的6个种源黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.)为研究对象,分别在2017年和2018年对民勤地区各种源的物候期和生长差异进行了比较,并对物候期和生长指标与地理-气候因子的相关性进行了分析。结果表明:总体来看,宁夏银川种源的展叶始期、展叶盛期和落叶末期较早,始花期、始果期和盛果期最早,盛花期最晚;青海格尔木种源的展叶始期、展叶盛期和落叶末期较晚;新疆福海种源的始花期、始果期和盛果期最晚,盛花期最早;末花期和末果期在种源间仅相差1 d。方差分析结果表明:除叶厚外,其他生长指标在种源间差异显著或极显著。宁夏银川种源的单株根蘖苗数最少、株高最矮、冠幅最小、单株活枝条质量最小,但枝条死亡率最高;青海格尔木种源的单株根蘖苗数较多,但叶长、叶宽和叶厚最小;新疆博乐种源的株高最高、冠幅最大、单株活枝条质量最大、叶长和叶宽最大,但枝条死亡率最低。青海格尔木和甘肃民勤种源的单株鲜果产量、百粒鲜果质量和干果中原花青素含量较高,而新疆博乐种源这3个指标最低。相关性分析结果表明:除盛花期和末果期外,黑果枸杞叶、花和果实物候期与年均温呈极显著负相关;展叶盛期与年均日照时数呈显著负相关;展叶始期和盛花期与经度、盛果期和单株根蘖苗数与年均降水量、枝条死亡率与年均温以及干果中原花青素含量与海拔和年太阳总辐射呈显著正相关。研究结果显示:不同种源黑果枸杞的物候期和生长存在明显差异,年均温可影响黑果枸杞的物候期,而海拔和年太阳总辐射可影响其干果中原花青素含量。

关键词: 黑果枸杞; 种源; 物候期; 生长; 地理-气候因子; 相关性分析

中图分类号: Q945.3; Q948.11; S567.1*9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)04-0041-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.04.05

Phenophase and growth differences of *Lycium ruthenicum* from different provenances and their correlation analysis with geographical-climatic factors LIU Kebiao^a, GUO Chunxiu^b, ZHANG Yuankai^{b, ①}, MAN Duoqing^a, FU Guiquan^a (Gansu Desert Control Research Institute: a. Gansu Psammophytes Engineering Technology Research Center, Lanzhou 730070, China; b. State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Wuwei 733000, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28(4): 41-48

Abstract: Taking *Lycium ruthenicum* Murr. from six provenances of Xinjiang, Qinghai, Gansu and Ningxia as research objects, phenophase and growth differences of each provenance in Minqin region were compared in 2017 and 2018, respectively, and the correlations of phenophases and growth indexes with geographical-climatic factors were analyzed. The results show that in general, the initial stage of leaf expansion, prime stage of leaf expansion and late stage of fallen leaf of provenance from Yinchuan of Ningxia are early, its initial flowering stage, initial fruit stage and full fruit stage are the earliest, while its full flowering stage is the latest; the initial stage of leaf expansion, prime stage of leaf expansion and late stage of fallen leaf of provenance from Golmud of Qinghai are late; the initial flowering stage, initial

收稿日期: 2019-02-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31560128); 甘肃省中小企业创新基金(1504JKCA032)

作者简介: 刘克彪(1964—),男,甘肃张掖人,本科,高级工程师,主要从事沙旱生植物栽培研究。

①通信作者 E-mail: zyk198@163.com

fruit stage and full fruit stage of provenance from Fuhai of Xinjiang are the latest, while its full flowering stage is the earliest; the differences in the late flowering stage and late fruit stage among provenances are only 1 d. The variance analysis result shows that except for leaf thickness, the differences in other growth indexes among provenances are significant or extremely significant. Number of root seedling per plant of provenance from Yinchuan of Ningxia is the smallest, its plant height is the shortest, its canopy is the smallest, and its mass of living branch per plant is the smallest, but its death rate of branch is the highest; while number of root seedling per plant of provenance from Golmud of Qinghai is large, but its leaf length, leaf width and leaf thickness are the smallest; plant height of provenance from Bole of Xinjiang is the highest, its canopy is the largest, its mass of living branch per plant is the largest, and its leaf length and leaf width are the biggest, but its death rate of branch is the lowest. Fresh fruit yield per plant, 100-grain mass of fresh fruit and content of procyanidin in dry fruit of provenances from Golmud of Qinghai and Minqin of Gansu are high, while these three indexes of provenance from Bole of Xinjiang are the lowest. The correlation analysis result shows that except for full flowering stage and late fruit stage, there are extremely significant negative correlations of leaf, flowering and fruit phenophases of *L. ruthenicum* with annual mean temperature; there is a significant negative correlation of prime stage of leaf expansion with annual mean sunshine hours; there are significant positive correlations of initial stage of leaf expansion and full flowering stage with longitude, full fruit stage and number of root seedling per plant with annual mean precipitation, death rate of branch with annual mean temperature, and content of procyanidin in dry fruit with altitude and annual total solar radiation. It is suggested that there are obvious differences in phenophase and growth of *L. ruthenicum* from different provenances, annual mean temperature can affect phenophase of *L. ruthenicum*, while altitude and annual total solar radiation can affect content of procyanidin in its dry fruit.

Key words: *Lycium ruthenicum* Murr.; provenance; phenophase; growth; geographical-climatic factor; correlation analysis

黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum* Murr.) 隶属于茄科 (Solanaceae) 枸杞属 (*Lycium* Linn.), 为多棘刺灌木, 主要分布于中国的陕西北部、宁夏、甘肃、青海、新疆和西藏, 在中亚、高加索和欧洲亦有分布^[1], 多生长在盐碱荒地、盐化沙地、盐湖岸边、渠路两旁及河滩等各种盐渍化土壤中。研究发现, 原花青素具有抗氧化、预防心血管疾病和癌症等多种生物学功能, 其抗氧化能力是维生素 E 的 50 倍^[2-4]。黑果枸杞是迄今为止发现的原花青素含量 (3.42%) 较高的野生植物之一^[5]。黑果枸杞集经济价值和盐碱地绿化价值于一身, 是优良的耐盐耐旱植物。为了充分利用这一珍贵的种质资源, 近年来, 相关学者对黑果枸杞进行了大量研究^[6-15], 已开发出果汁、复合饮料、泡腾片和果醋等产品, 市场开发前景广阔。

民勤县位于甘肃省河西走廊的东北部, 光照充足、降水稀少、昼夜温差较大。目前, 已经在民勤地区的盐碱地上营造出一定面积的黑果枸杞人工林, 为了筛选出适合在该地区种植的黑果枸杞种源, 对民勤沙生植物园内 6 个种源黑果枸杞叶、花和果实的物候期以及植株生长、叶形态和果实性状的差异进行了比较, 并对上述指标与地理-气候因子的相关性进行了

分析, 以期揭示不同种源黑果枸杞的物候和生长差异, 为黑果枸杞的引种和良种选育提供参考依据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

研究地位于民勤沙生植物园内黑果枸杞种源试验区, 地理位置为北纬 38°34'25"、东经 102°59'05", 海拔 1 378 m。该区域属典型的温带大陆性荒漠气候, 年均温 7.4 °C, 最低温 -34.6 °C, 最高温 38.1 °C, 7 月均温 26.1 °C, 1 月均温 -11.1 °C, ≥ 10 °C 年积温 3 248.8 °C; 年均降水量 110.2 mm, 年蒸发量 2 485 mm; 年均日照时数 2 833.1 h, 年太阳总辐射 6 332 MJ·m⁻²; 干燥度 5.85。该区域以西北风为主, 平均风速 0.8 m·s⁻¹, 最大风速 14.3 m·s⁻¹。实验地为沙丘间低地, 土壤粘性大, 最大冻土层深度 119 cm。

1.2 材料

于 2014 年 7 月至 8 月从新疆福海、新疆博乐、新疆精河、青海格尔木、甘肃民勤和宁夏银川 6 个种源地引进黑果枸杞种子, 各种源地分别属于温带大陆性干旱气候、大陆性干旱半荒漠气候、大陆性干旱荒漠

气候、高原大陆性气候、温带大陆性荒漠气候和中温带大陆性气候。其中,前5个种源为野生种源,最后

1个种源为栽培种源,各种源地的地理-气候因子见表1。

表1 黑果枸杞不同种源地的地理-气候因子

Table 1 Geographical-climatic factors of different provenance localities of *Lycium ruthenicum* Murr.

种源 Provenance	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	年均温/℃ Annual mean temperature	年均降水量/mm Annual mean precipitation	年均日照时数/h Annual mean sunshine hours	年太阳总辐射/(MJ·m ⁻²) Annual total solar radiation
新疆福海 Fuhai of Xinjiang	N47°18'47"	E87°03'54"	567	4.7	121.2	2 908.0	5 600
新疆博乐 Bole of Xinjiang	N44°52'48"	E81°37'38"	510	6.7	181.4	2 815.8	5 590
新疆精河 Jinghe of Xinjiang	N44°39'53"	E81°48'47"	356	7.8	102.4	2 765.0	5 390
青海格尔木 Golmud of Qinghai	N36°25'17"	E94°53'24"	2 755	5.3	42.8	3 061.7	6 987
甘肃民勤 Minqin of Gansu	N38°34'25"	E102°59'05"	1 373	7.4	110.2	2 833.1	6 332
宁夏银川 Yinchuan of Ningxia	N37°41'22"	E106°17'43"	1 112	8.5	201.2	2 900.0	5 878

1.3 研究方法

1.3.1 实验设计 于2015年4月,利用民勤治沙站的智能日光温室培育黑果枸杞容器实生苗;于2016年4月,将实验地划分出8个面积40 m×9 m的小区,为了避免边际效应对实验数据的影响,除去东、西边缘的2个小区,在中间的6个小区内分别种植6个种源黑果枸杞的容器实生苗,株距1.0 m、行距1.5 m,每个小区5行,每行40株,采取常规管护措施。

1.3.2 物候期观测 分别在2017年和2018年选取每个小区内第3行的第15至第19株植株进行物候期观测,视为5个重复。选取植株中部向阳面的1支1年生枝条作为物候期观测标准枝,其中,叶物候期分为展叶始期(根颈部叶片开始展叶的日期)、展叶盛期(枝条1/3处叶片开始展叶的日期)和落叶末期(枝条上最后一叶片凋落的日期);花物候期分为始花期(枝条基部花完全开放的日期)、盛花期(枝条1/3处花完全开放的日期)和末花期(枝条上最后一朵花完全开放的次日日期);以果实变黑、变软作为成熟标准,将果实物候期分为始果期(枝条基部果实成熟的日期)、盛果期(枝条1/3处果实成熟的日期)和末果期(枝条上最后一个果实成熟的次日日期)。

1.3.3 相关指标测定 选取每个小区第3行的第20至第29株植株进行生长指标测定,视为10个重复。于2018年7月16日至9月10日,每隔5 d采集1次成熟果实,共采集12次,并在采集当天用Grows高致精密电子天平(精度0.001 g)称量果实质量,采集的12次果实质量之和即单株鲜果产量。于2018年8月6日采集100粒成熟果实,用电子天平称量百粒鲜果质量,并将果实阴干后采用分光光度法^[16]测

定干果中原花青素含量。于2018年8月22日分别选取植株中部向阳面的1支1年生枝条的全部叶片,用数显游标卡尺(精度0.001 mm)测量每个叶片的长度、宽度和厚度。于2018年10月15日采用钢卷尺(精度0.1 cm)测量植株的株高和冠幅(东西向直径和南北向直径的平均值)。于2018年10月24日(叶片全部凋落)采取破坏性整株平茬取样,用电子天平分别称量单株所有活枝条和死亡枝条的质量,并计算枝条死亡率,计算公式为枝条死亡率=[单株所有死亡枝条质量/(单株所有活枝条质量+单株所有死亡枝条质量)]×100%。于2018年10月25日统计每一植株从水平根上长出的不定芽伸出地面形成的小植株数量,即单株根蘖苗数。

1.4 数据计算与分析

利用EXCEL 2007软件对实验数据进行整理和统计,利用SPSS 22.0统计分析软件对相关数据进行方差分析、显著性检验、多重比较和相关性分析。

2 结果和分析

2.1 不同种源黑果枸杞物候期差异比较

2.1.1 叶物候期差异比较 叶物候期差异比较结果(表2)表明:不同种源黑果枸杞均在2017年4月上旬和2018年4月下旬开始展叶,且其展叶始期在2017年较2018年早18 d;各种源的展叶始期接近,相差3 d,其中,宁夏银川种源的展叶始期最早,而新疆博乐和青海格尔木种源的展叶始期最晚。不同种源黑果枸杞从展叶始期到展叶盛期在2017年和2018年分别需要18~23和11~14 d,且其展叶盛期

在2017年较2018年早9~11 d;各种源的展叶盛期相差5~7 d,其中,新疆精河、甘肃民勤和宁夏银川种源的展叶盛期较早,而青海格尔木种源的展叶盛期较晚。不同种源黑果枸杞落叶末期在2017年和2018年基本一致;各种源的落叶末期相差6~7 d,其中,甘肃民勤和宁夏银川种源的落叶末期较早,而青海格尔木种源的落叶末期最晚。

2.1.2 花物候期差异比较 花物候期差异比较结果(表3)表明:不同种源黑果枸杞均在2017年和2018年6月上旬开始开花,且其始花期在2017年较2018年早1~3 d;各种源的始花期接近,相差2~3 d,总体来看,宁夏银川种源的始花期最早,而新疆福海种源

的始花期最晚。不同种源黑果枸杞从始花期到盛花期在2017年需要7~11 d,在2018年需要7~12 d,且其盛花期在2017年较2018年早1~2 d;各种源的盛花期接近,相差2 d,总体来看,新疆福海种源的盛花期最早,宁夏银川种源的盛花期最晚。不同种源黑果枸杞在9月8日至11日进入末花期,且其末花期在2017年较2018年晚2~3 d;各种源的末花期十分接近,仅相差1 d。

2.1.3 果实物候期差异比较 果实物候期差异比较结果(表4)表明:不同种源黑果枸杞分别在2017年7月中旬和2018年7月下旬开始成熟,且其始果期在2017年较2018年早7~9 d;各种源的始果期接近,相

表2 不同种源黑果枸杞叶物候期差异比较

Table 2 Comparison on difference in leaf phenophase of *Lycium ruthenicum* Murr. from different provenances

种源 Provenance	展叶始期 Initial stage of leaf expansion (MM-DD)		展叶盛期 Prime stage of leaf expansion (MM-DD)		落叶末期 Late stage of fallen leaf (MM-DD)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
新疆福海 Fuhai of Xinjiang	04-06	04-24	04-28	05-07	10-20	10-20
新疆博乐 Bole of Xinjiang	04-07	04-25	04-28	05-07	10-21	10-21
新疆精河 Jinghe of Xinjiang	04-05	04-23	04-23	05-04	10-18	10-19
青海格尔木 Golmud of Qinghai	04-07	04-25	04-30	05-09	10-24	10-23
甘肃民勤 Minqin of Gansu	04-05	04-23	04-25	05-04	10-17	10-17
宁夏银川 Yinchuan of Ningxia	04-04	04-22	04-25	05-04	10-17	10-18

表3 不同种源黑果枸杞花物候期差异比较

Table 3 Comparison on difference in flower phenophase of *Lycium ruthenicum* Murr. from different provenances

种源 Provenance	始花期	Initial flowering stage (MM-DD)	盛花期	Full flowering stage (MM-DD)	末花期	Late flowering stage (MM-DD)
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
新疆福海 Fuhai of Xinjiang	06-07	06-09	06-14	06-16	09-11	09-09
新疆博乐 Bole of Xinjiang	06-06	06-08	06-15	06-16	09-11	09-09
新疆精河 Jinghe of Xinjiang	06-06	06-07	06-15	06-16	09-10	09-08
青海格尔木 Golmud of Qinghai	06-06	06-09	06-15	06-16	09-11	09-09
甘肃民勤 Minqin of Gansu	06-06	06-06	06-15	06-17	09-11	09-08
宁夏银川 Yinchuan of Ningxia	06-05	06-06	06-16	06-18	09-10	09-08

表4 不同种源黑果枸杞果实物候期差异比较

Table 4 Comparison on difference in fruit phenophase of *Lycium ruthenicum* Murr. from different provenances

种源 Provenance	始果期	Initial fruit stage (MM-DD)	盛果期	Full fruit stage (MM-DD)	末果期	Late fruit stage (MM-DD)
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
新疆福海 Fuhai of Xinjiang	07-14	07-23	07-26	07-27	09-24	09-22
新疆博乐 Bole of Xinjiang	07-13	07-22	07-24	07-26	09-24	09-21
新疆精河 Jinghe of Xinjiang	07-13	07-21	07-24	07-26	09-24	09-22
青海格尔木 Golmud of Qinghai	07-14	07-21	07-25	07-27	09-24	09-22
甘肃民勤 Minqin of Gansu	07-13	07-21	07-24	07-26	09-24	09-22
宁夏银川 Yinchuan of Ningxia	07-12	07-20	07-23	07-25	09-25	09-22

差2~3 d,总体来看,宁夏银川种源的始果期最早,新疆福海种源的始果期最晚。不同种源黑果枸杞从始果期到盛果期在2017年需要11~12 d,在2018年需要4~6 d,且其盛果期在2017年较2018年早1~2 d;各种源的盛果期接近,相差2~3 d,总体来看,宁夏银川种源的盛果期最早,新疆福海种源的盛果期最晚。不同种源黑果枸杞均在2017年和2018年9月下旬进入末果期,且其末果期在2017年较2018年晚2~3 d;各种源的末果期十分接近,仅相差1 d。

2.2 不同种源黑果枸杞生长差异比较

2.2.1 植株生长差异比较 方差分析结果表明:黑果枸杞的单株根蘖苗数、株高、冠幅和单株活枝条质量在种源间差异极显著($P<0.01$),其枝条死亡率在种源间差异显著($P<0.05$)。多重比较结果(表5)表明:宁夏银川种源的单株根蘖苗数最少(3.2),且极显著低于其他5个种源,而其他5个种源的单株根蘖

苗数差异不显著。新疆博乐种源的株高(133.6 cm)和冠幅(138.8 cm)最大,宁夏银川种源的株高(65.6 cm)和冠幅(65.3 cm)最小;并且,这2个种源的株高和冠幅与其他4个种源差异极显著,但新疆福海、青海格尔木和甘肃民勤3个种源的株高差异不显著,新疆福海和青海格尔木种源以及新疆精河和甘肃民勤种源的冠幅差异不显著。新疆博乐种源的单株活枝条质量(1557.8 g)最大、枝条死亡率(3.78%)最低,宁夏银川种源的单株活枝条质量(278.2 g)最低、枝条死亡率(13.74%)最高;并且,新疆博乐和宁夏银川种源的单株活枝条质量与其他4个种源差异极显著,新疆精河、青海格尔木和甘肃民勤3个种源的单株活枝条质量差异不显著,而新疆精河、甘肃民勤和宁夏银川3个种源的枝条死亡率差异不显著,但这3个种源的枝条死亡率与新疆福海、新疆博乐和青海格尔木3个种源差异显著。

表5 不同种源黑果枸杞植株生长差异比较($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

Table 5 Comparison on difference in plant growth of *Lycium ruthenicum* Murr. from different provenances ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

种源 Provenance	单株根蘖苗数 Number of root seedling per plant	株高/cm Plant height	冠幅/cm Canopy	单株活枝条质量/g Mass of living branch per plant	枝条死亡率/% Death rate of branch
新疆福海 Fuhai of Xinjiang	5.0±0.3Aa	85.5±4.6Bb	93.8±27.2Bb	521.2±79.2Bb	5.62±0.58Cc
新疆博乐 Bole of Xinjiang	5.8±0.4Aa	133.6±2.9Aa	138.8±16.9Aa	1557.8±121.7Aa	3.78±0.22Dd
新疆精河 Jinghe of Xinjiang	5.4±0.3Aa	75.8±3.2Bc	81.9±26.9Cc	307.6±73.2Bc	11.68±3.89Aa
青海格尔木 Golmud of Qinghai	6.2±0.6Aa	77.6±3.3Bb	85.8±29.3Cc	430.2±36.4Bc	8.86±0.86Bb
甘肃民勤 Minqin of Gansu	6.2±0.6Aa	78.8±3.4Bb	78.2±29.3Dd	347.5±40.4Bc	12.14±1.27Aa
宁夏银川 Yinchuan of Ningxia	3.2±0.2Bb	65.6±3.2Cd	65.3±14.7Dd	278.2±68.6Cd	13.74±3.63Aa

¹⁾ 同列中不同的大写和小写字母分别表示差异极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)。Different capitals and lowercases in the same column indicate the extremely significant ($P<0.01$) and significant ($P<0.05$) differences, respectively.

2.2.2 叶形态差异比较 方差分析结果表明:黑果枸杞的叶长和叶宽在种源间差异极显著,而其叶厚在种源间差异不显著。多重比较结果(表6)表明:新疆博乐种源的叶长(25.26 mm)和叶宽(2.22 mm)最大,而青海格尔木种源的叶长(15.64 mm)和叶宽(1.14 mm)最小。新疆福海、新疆博乐和新疆精河3个种源的叶长和叶宽差异不显著,但这3个种源的叶长和叶宽极显著高于青海格尔木、甘肃民勤和宁夏银川3个种源。6个种源的叶厚比较接近(0.60~0.75 mm),且无显著差异。

2.2.3 果实性状差异比较 方差分析结果表明:黑果枸杞的单株鲜果产量、百粒鲜果质量和干果中原花青素含量在种源间差异极显著。多重比较结果(表6)表明:甘肃民勤种源的单株鲜果产量(532.7 g)和百粒鲜

果质量(125.8 g)最高,青海格尔木种源的单株鲜果产量(516.4 g)和百粒鲜果质量(122.5 g)次之,新疆博乐种源的单株鲜果产量(321.6 g)和百粒鲜果质量(78.5 g)最低。青海格尔木、甘肃民勤和宁夏银川3个种源的单株鲜果产量差异不显著,但这3个种源的单株鲜果产量极显著高于新疆福海、新疆博乐和新疆精河3个种源;青海格尔木和甘肃民勤种源的百粒鲜果质量差异不显著,但这2个种源的百粒鲜果质量极显著高于其他4个种源。青海格尔木种源的干果中原花青素含量($3.3296\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)最高,新疆博乐种源的干果中原花青素含量($1.3535\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)最低;并且,这2个种源的干果中原花青素含量与其他4个种源差异极显著,但新疆精河、甘肃民勤和宁夏银川3个种源的干果中原花青素含量差异均不显著。

表 6 不同种源黑果枸杞叶形态和果实性状差异比较 ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾Table 6 Comparison on differences in leaf morphology and fruit character of *Lycium ruthenicum* Murr. from different provenances ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

种源 Provenance	叶长/mm Leaf length	叶宽/mm Leaf width	叶厚/mm Leaf thickness	单株鲜果产量/g Fresh fruit yield per plant	百粒鲜果质量/g 100-grain mass of fresh fruit	干果中原花青素 含量/(mg·g ⁻¹) Content of procyanidin in dry fruit
新疆福海 Fuhai of Xinjiang	22.39±2.33Aa	2.15±0.10Aa	0.68±0.03Aa	428.4±12.2Bb	113.1±0.3Cc	2.243 8±0.022 4Cc
新疆博乐 Bole of Xinjiang	25.26±0.72Aa	2.22±0.29Aa	0.68±0.05Aa	321.6±7.9Cc	78.5±0.3Dd	1.353 5±0.017 2Dd
新疆精河 Jinghe of Xinjiang	21.56±1.64Aa	1.68±0.13Aa	0.65±0.04Aa	458.3±26.4Bb	111.7±0.2Cc	2.953 6±0.033 7Bb
青海格尔木 Golmud of Qinghai	15.64±0.72Cc	1.14±0.12Bb	0.60±0.03Aa	516.4±13.7Aa	122.5±0.2Aa	3.329 6±0.032 5Aa
甘肃民勤 Minqin of Gansu	16.14±0.75Cc	1.15±0.03Bb	0.61±0.02Aa	532.7±5.8Aa	125.8±0.2Aa	3.045 7±0.045 8Bb
宁夏银川 Yinchuan of Ningxia	19.14±0.76Bb	1.19±0.13Bb	0.75±0.07Aa	483.5±17.2Aa	116.2±0.2Bb	3.033 7±0.021 4Bb

¹⁾ 同列中不同的大写和小写字母分别表示差异极显著 ($P < 0.01$) 和显著 ($P < 0.05$)。Different capitals and lowercases in the same column indicate the extremely significant ($P < 0.01$) and significant ($P < 0.05$) differences, respectively.

2.3 相关性分析

对黑果枸杞的物候期和生长指标与地理-气候因子进行相关性分析,结果见表 7。

由表 7 可以看出:黑果枸杞的展叶始期、展叶盛期、落叶末期、始花期、末花期、始果期和盛果期与年

均温呈极显著 ($P < 0.01$) 负相关,相关系数分别为 -0.753 4、-0.829 5、-0.770 3、-0.869 1、-0.804 7、-0.855 9 和 -0.947 7;黑果枸杞的盛花期与年均温呈极显著正相关,相关系数为 0.747 2;黑果枸杞的展叶盛期与年均日照时数呈显著 ($P < 0.05$) 负相关,相

表 7 黑果枸杞物候期和生长指标与地理-气候因子的相关性分析

Table 7 Analysis on correlations of phenophases and growth indexes of *Lycium ruthenicum* Murr. with geographical-climatic factors

指标 ¹⁾ Index ¹⁾	与各地理-气候因子的相关系数 ²⁾			Correlation coefficient with each geographical-climatic factor ²⁾			
	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude	年均温 Annual mean temperature	年均降水量 Annual mean precipitation	年均日照时数 Annual mean sunshine hours	年太阳总辐射 Annual total solar radiation
S _{L1}	0.212 0	0.558 3*	0.283 7	-0.753 4**	0.396 2	-0.383 2	-0.282 7
S _{L2}	0.045 3	0.215 9	0.461 2	-0.829 5**	0.478 6	-0.539 8*	-0.489 9
S _{L3}	0.038 2	0.408 2	0.496 2	-0.770 3**	0.478 5	-0.424 0	0.425 6
S _{F11}	0.412 9	0.397 4	0.204 5	-0.869 1**	0.449 9	0.278 3	-0.154 1
S _{F12}	0.316 8	0.516 2*	0.131 2	0.747 2**	0.497 2	-0.022 3	0.113 3
S _{F13}	0.188 1	0.296 2	0.265 0	-0.804 7**	0.447 5	0.423 7	-0.335 2
S _{F11}	0.324 6	0.434 0	0.346 4	-0.855 9**	0.430 4	0.444 5	-0.329 6
S _{F12}	0.345 0	0.413 6	0.223 0	-0.947 7**	0.564 1*	0.444 5	-0.227 6
S _{F13}	0.386 3	0.367 2	0.165 0	0.394 2	0.352 8	0.198 9	0.187 3
N	-0.041 3	0.370 5	-0.297 1	0.044 4	0.579 3*	0.046 7	0.383 8
H	-0.488 7	0.410 5	-0.338 6	0.230 0	0.311 6	0.278 8	0.296 0
C	-0.382 4	0.470 4	-0.270 9	0.205 0	0.447 8	0.144 9	0.249 0
M _{LB}	-0.386 2	0.406 0	-0.312 0	0.114 7	0.453 5	0.234 7	0.289 8
R	-0.417 1	0.489 9	-0.201 3	0.507 3*	0.016 5	0.071 8	0.190 9
L	-0.456 1	0.347 2	-0.423 6	0.043 0	0.359 7	0.354 7	0.449 4
W	-0.434 9	0.423 2	-0.408 8	0.384 9	0.301 3	0.395 0	0.112 8
T	-0.166 2	0.142 2	-0.478 1	0.398 7	0.476 8	0.190 3	0.351 0
Y	0.414 8	-0.416 5	0.325 7	0.135 3	0.326 9	0.392 5	0.442 2
M _{FF}	0.361 5	-0.450 4	0.335 9	0.001 0	0.339 7	0.405 2	0.346 7
C _P	0.407 0	0.416 3	0.604 4*	0.213 8	0.326 0	0.392 2	0.574 3*

¹⁾ S_{L1}: 展叶始期 Initial stage of leaf expansion; S_{L2}: 展叶盛期 Prime stage of leaf expansion; S_{L3}: 落叶末期 Late stage of fallen leaf; S_{F11}: 始花期 Initial flowering stage; S_{F12}: 盛花期 Full flowering stage; S_{F13}: 末花期 Late flowering stage; S_{F11}: 始果期 Initial fruit stage; S_{F12}: 盛果期 Full fruit stage; S_{F13}: 末果期 Late fruit stage; N: 单株根蘖苗数 Number of root seedling per plant; H: 株高 Plant height; C: 冠幅 Canopy; M_{LB}: 单株活枝条质量 Mass of live branch per plant; R: 枝条死亡率 Death rate of branch; L: 叶长 Leaf length; W: 叶宽 Leaf width; T: 叶厚 Leaf thickness; Y: 单株鲜果产量 Fresh fruit yield per plant; M_{FF}: 百粒鲜果质量 100-grain mass of fresh fruit; C_P: 干果中的原花青素含量 Content of procyanidin in dry fruit.

²⁾ *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

关系数为-0.539 8;黑果枸杞的展叶始期和盛花期与经度以及其盛果期与年均降水量呈显著正相关,相关系数分别为0.558 3、0.516 2和0.564 1;黑果枸杞各物候期与其他地理-气候因子的相关性不显著。

由表7还可见:黑果枸杞各生长指标与大部分地理-气候因子的相关性不显著,仅单株根蘖苗数与年均降水量、枝条死亡率与年均温以及干果中原花青素含量与海拔和年太阳总辐射呈显著正相关,相关系数分别为0.579 3、0.507 3、0.604 4和0.574 3。

3 讨论和结论

通常情况下,同一生境不同种源植物的物候期存在一定的差异^[17-18],并且,气候因子能够影响植物的物候期^[19-21]。本研究结果表明:在甘肃民勤地区,不同种源黑果枸杞叶、花和果实的物候期存在差异。例如:总体来看,宁夏银川种源的展叶始期、展叶盛期和落叶末期均较早,而青海格尔木种源的展叶始期、展叶盛期和落叶末期较晚;宁夏银川种源的始花期、始果期和盛果期最早,盛花期最晚;新疆福海种源的始花期、始果期和盛果期最晚,盛花期最早;各种源的末花期和末果期十分接近,仅相差1 d。结合宁夏银川的年均温高于青海格尔木的实际情况,认为年均温较高地区种源黑果枸杞的叶物候期早于年均温较低地区种源黑果枸杞。比较发现,各种源黑果枸杞的展叶始期在2017年较2018年早18 d,这可能与甘肃民勤2017年4月均温(12.7℃)高于2018年4月均温(11.7℃),且在2018年4月5日至7日发生低温(-6.2℃~-1.2℃)霜冻有关。相关性分析结果表明:除末果期外,黑果枸杞的叶、花和果实的各物候期(包括展叶始期、展叶盛期、落叶末期、始花期、末花期、始果期和盛果期)与年均温呈极显著负相关,盛花期与年均温呈极显著正相关,各物候期与其他地理-气候因子的相关性基本上不显著。综合分析认为,年均温对黑果枸杞的物候期有极显著影响,可能是影响黑果枸杞物候期差异的主要环境因子^[22]。

植物生长性状能够反映其对光照和空间等资源的利用和适应策略^[23],受到地理位置、生境条件和气候特性等环境因子的综合影响^[24-25]。本研究结果表明:除了叶厚在种源间差异不显著外,黑果枸杞植株生长和叶形态其他指标在种源间差异显著或极显著。宁夏银川种源的单株根蘖苗数最少、植株最矮、冠幅

最小、单株活枝条质量最小,但枝条死亡率最高;青海格尔木种源的单株根蘖苗数较多,但叶片最短、最窄且最薄;新疆博乐种源植株最高、冠幅最大、单株活枝条质量最大、叶片最长且最宽,但枝条死亡率最低。推测造成这些差异的主要原因是不同种源地的环境差异,例如:宁夏银川种源是宁夏枸杞研究所人工选育的栽培种,具有植株矮化、冠幅小、分蘖力弱、枝条更新快等特点;新疆博乐种源生长在农田地埂的防护林下,土壤肥力高,但光照不足,造成植株具有营养生长旺盛、枝条死亡率低和叶片相对较大等特点;青海格尔木和甘肃民勤种源地日照强烈,土壤干旱,导致植株生长缓慢、叶片较小;新疆福海和新疆精河种源生长在湖边和渠边,土壤含盐量高,植株生长受到抑制。

作为经济林树种,优质高产是黑果枸杞栽培的基本要求,但不同种源黑果枸杞果实中原花青素含量存在显著差异^[26]。本研究中,黑果枸杞的单株鲜果产量、百粒鲜果质量和干果中原花青素含量在种源间差异极显著,其中,青海格尔木和甘肃民勤种源上述3个果实性状指标较高,而新疆博乐种源上述3个果实性状指标最低。供试6个种源黑果枸杞干果中原花青素含量由高到低依次为青海格尔木种源、甘肃民勤种源、宁夏银川种源、新疆精河种源、新疆福海种源、新疆博乐种源,与罗华等^[27]的研究结果基本一致。已有研究表明:光对植物原花青素的形成有诱导作用,光照的强度和时间的均可影响原花青素含量^[28-29];并且,海拔越高,太阳辐射越强,越有利于原花青素的合成^[30]。青海格尔木和甘肃民勤种源地的海拔均较高,年太阳总辐射也明显高于其他4个种源地,这很可能是其干果中原花青素含量较高的主要原因。相关性分析结果也表明:黑果枸杞干果中原花青素含量与海拔和年太阳总辐射呈显著正相关。综合上述研究结果,海拔和年太阳总辐射差异可能是造成各种源黑果枸杞干果中原花青素含量差异的主要原因。

综上所述,不同种源黑果枸杞在甘肃民勤地区均能正常生长和开花结实。不同种源黑果枸杞的物候期和生长存在明显差异,新疆博乐种源适合作为立地条件较好区域水土保持林的建群种,青海格尔木、甘肃民勤和宁夏银川种源则适合作为经济林树种;年均温可影响黑果枸杞的物候期,而海拔和年太阳总辐射可影响黑果枸杞干果中原花青素含量。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第六十七卷第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 10.
- [2] BAGCHI D, BAGCHI M, STOHS S J, et al. Free radicals and grape seed proanthocyanidin extract: importance in human health and disease prevention[J]. *Toxicology*, 2000, 148(23): 187-197.
- [3] 王建民, 李早慧. 高效液相法测定视力健咀嚼片中原花青素的含量[J]. *中国医药导刊*, 2012, 14(1): 167-168.
- [4] 陈晨, 赵晓辉, 文怀秀, 等. 黑果枸杞的抗氧化成分分析及抗氧化能力测定[J]. *中国医院药学杂志*, 2011, 31(15): 1305-1306.
- [5] 矫晓丽, 迟晓峰, 董琦, 等. 柴达木野生黑果枸杞营养成分分析[J]. *氨基酸和生物资源*, 2011, 33(3): 60-62.
- [6] 韩飞, 王苗苗, 严欢, 等. 黑果枸杞花色苷微胶囊化研究[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(34): 74-77.
- [7] 冯小雨, 燕雪莹, 张雅洁, 等. 黑果枸杞色素稳定性的研究[J]. *吉林医药学院学报*, 2018, 39(5): 342-345.
- [8] 李淑珍, 李进, 杨志江, 等. 黑果枸杞类黄酮的提取和精制工艺研究[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(8): 82-87.
- [9] 虎娟, 张虹, 蒋清安, 等. 黑果枸杞花青素生物合成关键基因的生物信息学分析与克隆[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(6): 1-11.
- [10] 马得森, 王联星, 史国民, 等. 黑果枸杞 *LTTGI* 基因的克隆及表达分析[J]. *西北植物学报*, 2018, 38(12): 2194-2200.
- [11] 罗君, 彭飞, 王涛, 等. 黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*) 种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应[J]. *中国沙漠*, 2017, 37(2): 261-267.
- [12] 杨志江, 李进, 李淑珍, 等. 不同钠盐胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响[J]. *种子*, 2008, 27(9): 19-22.
- [13] 郭有燕, 聂海松, 余宏远, 等. 不同生境黑果枸杞实生苗生长及土壤养分空间差异的研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(2): 95-101.
- [14] 刘荣丽, 杨海文, 司剑华. 五种生长调节剂对黑果枸杞种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *甘肃农业*, 2011(5): 93-94.
- [15] 阿力同·其米克, 王青锋, 杨春锋, 等. 新疆产药用植物黑果枸杞遗传多样性的 ISSR 分析[J]. *植物科学学报*, 2013, 31(5): 517-524.
- [16] 陈晨, 文怀秀, 赵晓辉, 等. 黑果枸杞色素中原花青素含量测定[J]. *光谱实验室*, 2011, 28(4): 1767-1769.
- [17] 宣继萍, 周志芳, 刘建秀, 等. 结缕草属 (*Zoysia* Willd.) 植物物候期的差异分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2008, 17(3): 53-57.
- [18] 敖妍, 张宁, 赵磊磊, 等. 不同分布区文冠果物候期的差异及其与地理-气候因子和结实性状的相关性[J]. *植物资源与环境学报*, 2017, 26(2): 27-34.
- [19] 徐雨晴, 陆佩玲, 于强. 气候变化对植物物候影响的研究进展[J]. *资源科学*, 2004, 26(1): 129-136.
- [20] 冯雪萍, 刘金福, 何中声, 等. 气候因子对戴云山木本优势科植物花果期物候的影响[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(3): 56-61.
- [21] CHUINE I. Why does phenology drive species distribution? [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 365: 3149-3160.
- [22] HEINRICH B. Flowering phenologies: bog, woodland, and disturbed habitats[J]. *Ecology*, 1979, 57: 890-899.
- [23] 陈玉宝, 王重舒, 高文韬, 等. 北乌头物候及生长节律研究[J]. *吉林农业科技学院学报*, 2014, 23(2): 4-6.
- [24] 王艺, 张蕊, 冯建国, 等. 不同种源南方红豆杉生长差异分析及早期速生优良种源筛选[J]. *植物资源与环境学报*, 2012, 21(4): 41-47.
- [25] 毛伟, 李玉霖, 张铜会, 等. 不同尺度生态学中植物叶性状研究概述[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(1): 33-41.
- [26] 汪洋, 丁龙, 王四清. 不同产地黑果枸杞中原花青素和花青素含量研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(13): 122-126.
- [27] 罗华, 林丽, 晋玲, 等. UV 法测定黑河流域不同产地黑果枸杞中花青素的含量[J]. *现代中药研究与实践*, 2015, 29(3): 24-27.
- [28] 陈梦雨, 黄小丹, 王钊, 等. 植物原花青素的研究进展及其应用现状[J]. *中国食物与营养*, 2018, 24(3): 54-58.
- [29] 陈海军, 刘嘉伟, 单玉梅, 等. 野生黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*) 原花青素与多糖含量的比较[J]. *植物学研究*, 2018, 7(5): 481-489.
- [30] 刘翔. 新疆不同产地黑果枸杞原花青素与花青素含量的比较研究[D]. 石河子: 石河子大学农学院, 2017: 13-26.

(责任编辑: 佟金凤)