

引用格式:刘虎俊,刘筠,刘淑娟,等.石羊河下游白刺的繁殖物候及其结果习性[J].西北植物学报,2024,44(12):1965-1972.[LIU H J, LIU Y, LIU S J, et al. Propagation phenological phase and fruiting habits of the *Nitraria tangutorum* in the lower reaches of Shiyang River[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2024, 44(12): 1965-1972.] DOI:10.7606/j.issn.1000-4025.20220914

# 石羊河下游白刺的繁殖物候及其结果习性

刘虎俊<sup>1</sup>,刘筠<sup>2\*</sup>,刘淑娟<sup>1</sup>,赵鹏<sup>1</sup>,戚福俊<sup>1</sup>,刘开琳<sup>1</sup>

(1 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站,甘肃民勤 733300;2 甘肃农业大学 林学院,兰州 730070)

**摘要** 【目的】结果习性是选育植物良种及其科学管理的基础,调查石羊河下游的白刺,确定其繁殖物候和结果枝特征以及果实性状,为其优良种质选择和栽培管理提供参考。【方法】结合生物生态学调查方法,在野外调查基础上运用物候学和生物学分析方法,统计分析调查区白刺物候及其结果习性。【结果】3年生白刺开始开花结果,当年花芽分化,混合芽在翌年可发育成结果枝,开花结果;营养枝和枝刺都可形成花芽,其中营养枝占比66.67%。结果母枝生长果枝、营养枝、结果枝+营养枝和枝刺,结果枝显著( $P<0.05$ )多于其他类型枝;结果枝数平均占比81.49%;结果枝可分为短果枝(2~6 cm,42.72%),中果枝(6~10 cm,52.43%)和长果枝(10.1~11.6 cm,4.85%)。营养枝和枝刺的果序平均数分别为6.62和6.69个,结果率3个/序的占比分别是56.41%和39.13%,但是二者差异不显著( $P>0.05$ )。白刺果实为长圆形,横径与其性状的关系大于纵径,且显著影响鲜果重。白刺花蕾形成至果实开始脱落的时间为25~40 d。【结论】白刺的花期和果期都随气候变暖有提前和延长趋势,结果母枝是一种复合性枝,枝类型和结果习性受生境影响小于果实性状。

**关键词** 白刺;繁殖物候;结果习性;结果枝;果实性状

中图分类号 Q948 文献标志码 A

## Propagation phenological phase and fruiting habits of the *Nitraria tangutorum* in the lower reaches of Shiyang River

LIU Hujun<sup>1</sup>, LIU Yun<sup>2\*</sup>, LIU Shujuan<sup>1</sup>, ZHAO Peng<sup>1</sup>, QI Fujun<sup>1</sup>, LIU Kailin<sup>1</sup>

(1 Minqin National Study Station for Desert Steppe Ecosystem, Minqin, Gansu 733300, China; 2 College of Forestry, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract** [Objective] Fruiting habits was the basis for the selection of plant varieties and scientific management, and the investigation of *Nitraria tangutorum* in the lower reaches of Shiyang River determined the propagation phenological phase and characteristics of fruit branches, fruit traits, providing a reference for excellent germplasm selection and cultivation management. [Methods] Combined with the biological and ecology survey method, the phenological and biological analysis methods were used to statistically analyze the phenology and fruit habits by the basis of the field investigation in the survey area. [Results] 3-year-old *N. tangutorum* began to flower and bear fruit. The flower buds differentiation in the same year, and the mixed bud would develop a fruit branch in the second year, and flowers and bears fruit. Both of vegetative branches and branches thorn could generate flower buds, of which 66.67% were vegetative branches. It was results that the mother branch grew fruit branches, vegetative branches, fruiting branches + vegetative branches and branches thorn, and the fruiting branches were significantly more than other types of branches ( $P<0.05$ ). The average number of fruiting branches accounted for 81.49%. The fruit bran-

收稿日期:2022-01-10;修改稿收到日期:2024-11-19

基金项目:国家重点研发计划项目“典型区域防护林体系生态质量与防沙治沙功能精准提升近自然营建技术研究与示范”(2022YFF1302505-04);甘肃省重大项目“八步沙及河西走廊典型风沙区退化防风固沙体系修复关键技术研究与示范”(21ZD4FA010)

作者简介:刘虎俊(1965-),男,研究员,主要从事荒漠化防治研究。E-mail:hujunliu66@163.com

\* 通信作者:刘筠,硕士研究生,主要从事林木遗传研究。E-mail:1223318211@qq.com

ches could be divided into short fruit branches (2—6 cm, 42.72%), medium fruit branches (6—10 cm, 52.43%) and long fruit branches (10.1—11.6 cm, 4.85%). The average number of infructescence of vegetative branches and branches thorn was 6.62 and 6.69, respectively and the fruit rate was respectively 56.41% and 39.13% of the 3 fruits, while the difference between the different inflorescences was not significant ( $P > 0.05$ ). The fruit shape of *N. tangutorum* was oblong, and the relationship between the transverse diameter and its traits was greater than the longitudinal diameter, and it significantly affected the weight of the fresh fruit. The period from flower bud to fruit dropping of *N. tangutorum* was about 25—40 d, which flowering and fruit stage with the climate warm of the trend of advance and prolongation. The fruit traits would be affected by the environment. [Conclusion] The flowering and fruiting stages of *N. tangutorum* tended to advance and lengthen with climate warming, and the fruiting mother branch was a composite branch, and the branch type and fruiting were less affected by the habitat than that of fruit index.

**Key words** *Nitraria tangutorum*; reproductive phenology; fruiting habit, fruiting branches; fruit traits

白刺(*Nitraria tangutorum*)属于蒺藜科(Zygophyllaceae)白刺属(*Nitraria* L.)植物,又名唐古特白刺、白茨、酸胖,蒙古语称哈尔黄格,是中国特有种,分布于西藏东北部、甘肃、青海、新疆、内蒙古西部、宁夏西部、陕西北部的湖盆滩地和风沙沿线,是白刺属相对分布较广和适应土壤类型较多的种<sup>[1]</sup>,也是荒漠植被的重要建群种之一,在稳定沙漠、保护绿洲中起重要作用。白刺的染色体倍性研究证明其是白刺属中较为进化的物种,是植物种类分化与进化过程研究的重要材料<sup>[2-3]</sup>,其浆果可食用,也可药用,是荒漠区具有经济开发前景的野生植物资源。白刺果实和种子富含氨基酸、维生素、黄酮、生物碱、矿物质元素等,具有显著的降血糖和降血脂等药效<sup>[4]</sup>。研究白刺生物学特性具有生态保护和经济开发意义。

石羊河下游(民勤)是白刺群落分布典型区,拥有丰富的白刺种质资源,中国分布白刺属7种,在石羊河下游可以找到4种<sup>[5-7]</sup>,形成多种生态适应类型<sup>[7]</sup>,果实株间差异显著,多样性比较丰富,是选择优良特性植株的种源地<sup>[8-10]</sup>。石羊河下游白刺灌丛主要沿绿洲边缘集群分布,不同演化阶段的灌丛沙堆形态变化趋势受表层土壤水分以及风力的相互作用<sup>[11-14]</sup>。无论是白刺个体、种群和群落对地下水位都表现强烈响应,随着环境旱化,白刺群落更具旱生性<sup>[15]</sup>,其幼苗对人工模拟增雨表现出不适应<sup>[16]</sup>,物候期也表现出强烈适应环境变化<sup>[17-19]</sup>。石羊河下游的白刺在沙丘间地、盐碱地和低山地均有分布<sup>[6,8]</sup>,是面积最大的一种天然灌丛,其中以民勤西沙窝绿洲边缘分布较为集中<sup>[20]</sup>。白刺以有性繁殖保持种群稳定和扩大,无性繁殖是其适应环境的重要方式<sup>[21-25]</sup>,天然群体内个体差异显著<sup>[9]</sup>,为其优株选择以及亲本选择提供材料。但是,随着地下水位下降,石羊河下游的白刺群落处于逆行演替,急需科学保护<sup>[24-26]</sup>。结果

习性是植物有性繁殖的重要过程与特征,是选育植物良种和科学管理的基础。目前,白刺的系统发育、植物结构、生态分布、繁殖方法、果实营养成分等方面均有研究报道<sup>[1]</sup>。但是,以往研究主要关注白刺的生态作用及其影响因素,以及果实成分和作用,而对结果习性的研究报道较少。文章以石羊河下游白刺定位观测结果,结合野外调查数据,分析其繁殖物候、果枝类型和果实特征及其相关因素等,以期对白刺良种选择、生态保育和经济开发提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于石羊河下游,东、北、西3面被腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠包围,属于典型的温带大陆性荒漠气候,区域年均气温7.4℃,≥10℃积温为3248.8℃,年均降水量113mm,多集中在7—9月,占全年降雨量的73%,年均蒸发量2644mm,约是降水量的24倍。年平均风速为4m/s左右,以西北风为主,年均沙尘暴时间37d,以春季最多。地带性土壤为灰棕漠土,非地带性土壤为风沙土和草甸土,灌淤土是主要的耕作土壤<sup>[8]</sup>。石羊河下游位于干草原向荒漠过渡区域,不仅有典型的戈壁荒漠成分,也渗入一些草原化荒漠植物种类。天然分布的植物以沙旱生的灌木、小灌木和草本植物为主,一般盖度15%以下<sup>[18]</sup>,西沙窝属于该区绿洲外围白刺集中分布地带。

### 1.2 分析方法

#### 1.2.1 调查方法

在2021年7—9月进行预调查,调查采取访谈和随机样点调查相结合,确定石羊河下游白刺分布区生境类型和优良果实分布情况。在调查过程中选择果实颜色特别、果实较大和结果较多的植株,标定位置和定,以株为单位取果实样,将果实装入密封袋,放入植

物取样恒温箱保存,带回实验室进行果实特征测定。

在 2022 年 7—8 月进行样方调查,参照前 1 年调查结果,以地貌为生境类型分类,选择代表性生境样点调查,主要开展白刺枝的类型和结果习性。此次调查以西沙窝为重点调查区域,分别在西沙窝设置样地 5 个,勤锋南、勤锋北、外西和青土湖分别设置 100 m × 100 m 样地各 2 个,共计 13 个样地,分别选择样株 15 株、5 株、5 株、5 株、4 株,共计调查 34 株的 373 条枝。选择样株标准为结果相对较多、植株(灌丛)大小约为样地平均值、无病虫害、生长势平均的植株。调查样枝则在样株上选择结果平均和最多的枝。调查记录样株的灌丛沙堆高度、冠幅、当年生枝长和类型、结果枝年龄和类型、果序数、每果序的果数;同时以株为单位取果实样,将果实装入密封袋,放入植物取样恒温箱保存,带回实验室,测定果实纵径、果实横径、鲜果重、果核重量、果核纵径和果核横径。

### 1.2.2 观测指标

**物候期:**根据甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站的观测结果统计白刺花蕾、开花、果熟的时间,分析繁殖物候变化。物候期判定标准:花蕾期为花芽开放至花蕾出现;开花期为开花始期至开花盛期;果实期为果实成熟(果实颜色完全变色)始期至果实脱落。

**枝类型:**根据枝的功能和形态分为结果枝、营养枝、结果母枝和枝刺。枝龄的确定从外向内推算,先找到 1 年生枝,依次向树冠内推测,生长 1 年生枝的枝作为 2 年生枝,依次类推,确定枝龄。枝类型定义:结果枝是指结有果实的 1 年生枝;营养枝是指只有叶没有果实的 1 年生枝;果枝+营养枝是指枝上有果也有叶的 1 年生枝;枝刺是指枝的顶端锐尖,枝顶不生长叶的 1 年生枝或 2 年生枝;结果母枝是指生长结果枝及其类型枝的 2 年生枝。

**果实指标观测**包括果序和结果数量,以及结果习性相关指标的分析。白刺是蝎尾状聚伞花序,因而形成果序。果序重是白刺优株选择以及亲本选择的主要依据<sup>[9]</sup>。因此,文章以果序为基本研究对象,观测分析白刺结果习性。果序数量以结果枝为单位进行统计;结果数以果序为单位进行统计;结果率则是每序结果率;最后统计同一结果枝的果序数量以及总结果数。结果数量统计包括成熟果、烂果、瘪果和未成熟果。每株随机选择 20 粒完整成熟的单果,用游标卡尺测量果长、果径,用天平称果重。先统计同一样地单株的果实数值,再计算相同调查区的果实指标,分析比较不同生境的果实特征。

### 1.2.3 分析方法

**物候期:**用 2012—2021 年的甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站的观测资料分析繁殖物候,比较前期研究资料<sup>[17]</sup>,确定白刺花蕾、开花和果熟的时期变化趋势,分析物候对区域气候的响应。

**枝的指标统计分析:**以结果母枝为单位,观测记录样枝的结果母枝生长的结果枝、营养枝、枝刺数量和长度,统计分析同一样地不同植株所有样枝的数量。

**果的指标统计分析:**以结果枝为单位,观测统计果序数量,结果数以果序为单位进行统计,计算每序结果率,最后分析比较同一样地的果序数量及结果率。果实的统计分析以同一样地单株的数值为基础,计算相同调查区的果实指标,分析比较不同生境的果实数量统计学特征。

用 Excel 2010 进行数据统计和作图,通过 SPSS 17.0 软件进行 LSD 差异性检验,显著性水平为 0.05。果实指标的相关性为皮尔逊相关性,比较在 0.01 级别(双尾)和 0.05 级别的相关显著性。

$$F = N/R \times 100\% \quad (1)$$

式中: $F$  为每序结果率(%); $N$  为每序果实总数; $R$  为果序数量(个)。

$$C_v = S/M \times 100\% \quad (2)$$

式中: $C_v$  为同一观测数据组的变异系数(%); $S$  为标准偏差; $M$  为平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 繁殖物候期

将白刺的繁殖物候期(2012—2021 年)分为 3 个时期:花蕾期、开花期和果实期(图 1)。从 2012—2021 年的 10 年观测结果可知:白刺花芽开放最早为 4 月 23 日,最晚为 6 月 4 日,花蕾期最长持续时间为 12 d(2019 年)。开花期的持续时间最长,其次为结果期。物候期变化较大的也是开花期(变异系数为 82.98%),果实期的变异系数为 59.21%,花蕾期的变异系数为 45.49%。始花期时间最早为 5 月 4 日,最晚为 6 月 6 日,相差 32 d,开花最长持续时间为 55 d(2020 年)。果实期开始时间最早为 5 月 25 日,最晚为 8 月 8 日,相差 74 d,最长持续时间为 31 d(2012 年和 2013 年)。白刺繁殖期平均时间为 38.8 d,最长持续时间为 67 d(2020 年),最短持续时间为 25 d,相差 42 d。观测的 10 年时间内,白刺繁殖期 25~30 d 的有 4 年,占 40%;36~40 d 的有 3 年时间,占 30%;46 d,52 d 和 67 d 的各有 1 年。由此可以推断,白刺繁殖期为 25~40 d。

## 2.2 结果习性

### 2.2.1 结果母枝及结果枝

白刺开始开花结果的龄期为3年生,花芽属于当年花芽分化,翌年开花结果的类型。花芽在2年生枝上形成,营养枝和枝刺上都可以形成花芽,也有前年的结果枝上再次形成花芽的现象,只是偶见。结果母枝为2年生枝,生长着结果枝、营养枝、果枝+营养枝和枝刺4种类型的枝,是一种复合性枝。结果母枝为营养枝的占比较大,是其他3种枝总数的3.9倍,差异显著( $P < 0.05$ ),见图2。

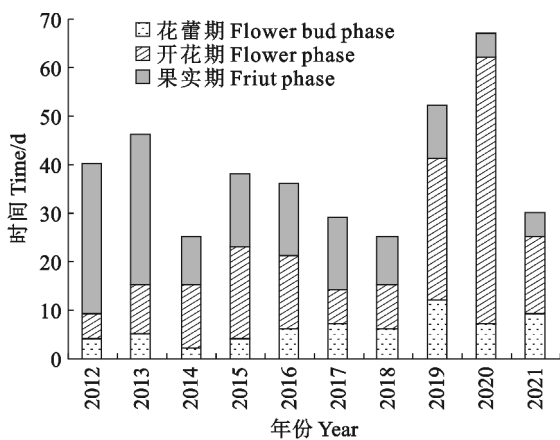
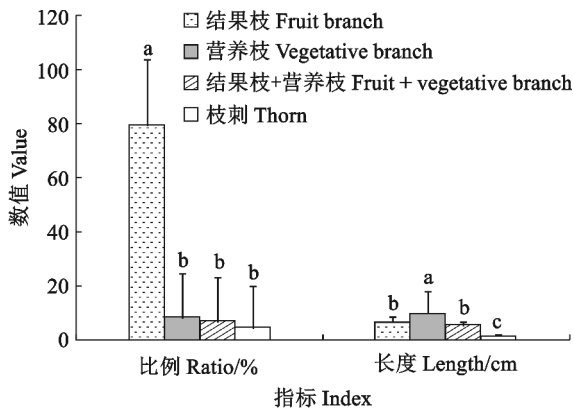


图1 石羊河下游西沙窝白刺开花和结果的物候期  
Fig. 1 The phenological phase of *N. tangutorum* at the Xishawo of lower reaches of Shiyang River



不同小写字母表示同一指标不同枝类型间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

图2 石羊河下游白刺1年生枝类型及其长度比例比较

Different lowercase letters indicate that the same index is significant differences between different branch types ( $P < 0.05$ ). The same as below.

Fig. 2 The types and length ratio of annual branches of *N. tangutorum*

结果枝数量大于营养枝和结果枝+营养枝,变化较大(变异系数为80.47%,营养枝和结果枝+营养枝的变异系数分别为76.12%和61.57%),生长量小于营养枝而大于结果枝+营养枝和枝刺。结果枝的当年生

长量平均为6.73 cm(变异系数为31.35%),营养枝的当年生长量平均为10.09 cm(变异系数为79.09%),结果枝+营养枝的当年生长量平均为5.81 cm(变异系数为25.02%)。结果枝的当年生长量与营养枝的差异显著( $P < 0.05$ ),与结果枝+营养枝的差异不显著( $P > 0.05$ ),与枝刺差异显著( $P < 0.05$ )。结果枝的短果枝(长2~6 cm)的比例为42.72%,中果枝(长6~10 cm)的比例为52.43%,长果枝(长10.1~11.6 cm)只占4.85%,且三者差异显著( $P < 0.05$ ),见图2。

### 2.2.2 果序及结果率

由图3可知,白刺的果序变化小于结果数,营养枝发育的结果枝的结果数多于枝刺结果数,但是二者差异不显著( $P > 0.05$ )。同一结果母枝的平均果序数为6.72个(变异系数为92.13%),平均结果数为10.09个(变异系数达111.68%)。营养枝发育的果枝有果序数量(变异系数为105.39%)变化大于枝刺的(变异系数为60.79%),果序平均数为6.62个,果序数量最多可达38个,最少只有1个。营养枝的平均结果数为19.18个(变异系数为128.48%),最多可达146个,最少只有2个。枝刺的果序平均数为6.69个,最多为15个;枝刺的平均果实数为18.56个(变异系数为62.88%),最多可达40个,最少只有4个,见图3。

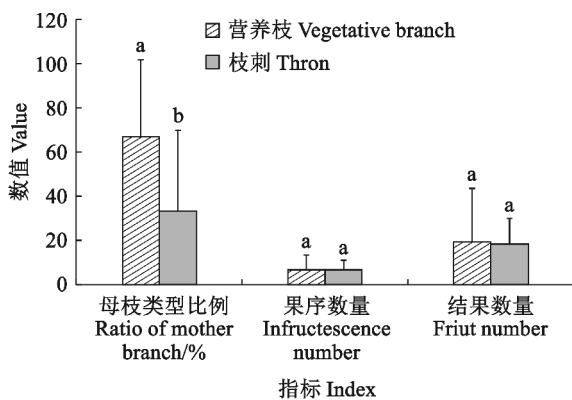


图3 白刺的不同类型枝发育枝类型及其果序和结果数量比较

Fig. 3 The types and number from different mother branches and its infructescence and fruits of *N. tangutorum*

营养枝发育的结果枝的结果率相对枝刺变化较小,但是二者差异不显著( $P > 0.05$ ),结果率1~3个/序的比例较大(图4)。营养枝发育的结果母枝的结果枝每序结果率1~3个的比例为81.94%,其中3个的占比33.34%,2个的占比51.00%,4~6个的占比小于枝刺的结果率,7~10个也相似。枝刺发育的结果母枝的每序结果率1~3个的占7.27%,其中3个的占39.13%,2个的占比47.83%。

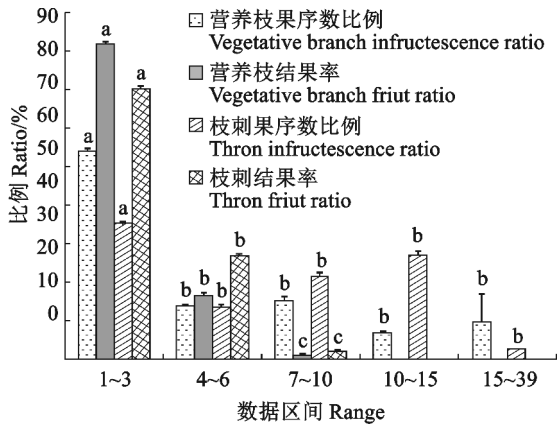


图4 白刺2种结果母枝不同数量级的果序数及结果率比例

Fig. 4 The infructescence and fruit ratio of the two types of mother branches of *N. tangutorum* at different ranges

### 2.2.3 果实性状差异性比较

以单株果实性状指标为统计基数,分析不同生境的样地平均白刺果实性状。由表1可知,西沙窝的纵径和横径数值量大,是外西的1.61倍;勤锋南的

果实纵径和横径均为次之,是外西的1.40倍。果实纵径平均值大小为西沙窝>勤锋南>勤锋北>青土湖>外西。西沙窝、青土湖和外西的纵径和横径均差异性显著( $P < 0.05$ )。5个样地的白刺果形指数都大于1.0,为长圆形,差异性不显著( $P > 0.05$ )。鲜果重大小为勤锋南>西沙窝>勤锋北>青土湖>外西,但是差异不显著( $P > 0.05$ )。勤锋南的白刺果鲜重是外西的2.13倍。不同生境白刺果形状相似,纵径差异大于横径的,鲜果重是流动沙地最小。

### 2.2.4 果实性状指标相关性

以单株果实平均值为基数,比较果实性状指标相关性,果实横径与果实纵径相关性系数最大且显著,果实横径与果核横径呈显著相关(相关性的显著性0.05),果核纵径与果实横径的相关性不显著(表2)。鲜果重相关性显著,且最大的是果实横径,其次是果实纵径,再次为核重和核横径,核纵径与鲜果重的相关性最小。核横径与核重的相关系数较大。白刺果横径与其性状的关系大于纵径,显著影响鲜果重。

表1 石羊河下游不同区域白刺果实性状指标比较

Table 1 The fruit trait compare of *N. tangutorum* at different places of the lower reaches of Shiyang River

| 样地<br>Sample area       | 生境<br>Habitat   | 纵径<br>Longitudinal diameter/cm | 横径<br>Transverse diameter/cm | 果形指数<br>Index of fruit shape | 鲜果重<br>Weight of fresh fruit/g |
|-------------------------|---|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 勤锋南<br>South of Qinfeng | 半流动白刺沙堆<br>Semi-moving sand mound of <i>N. tangutorum</i>         | 0.60±0.15ab                    | 0.51±0.15ab                  | 1.20±0.09a                   | 0.32±0.16a                     |
| 勤锋北<br>North of Qinfeng | 固定白刺沙堆<br>Stable sand mound of <i>N. tangutorum</i>               | 0.57±0.15b                     | 0.47±0.13b                   | 1.21±0.11a                   | 0.27±0.13a                     |
| 西沙窝<br>Xishawo          | 流动沙地+黏土滩地<br>Moving sand land + clay land                         | 0.69±0.16a                     | 0.58±0.10a                   | 1.18±0.13a                   | 0.28±0.06a                     |
| 青土湖<br>Qintu Lake       | 流动沙地+盐碱滩地<br>Moving sand land + saline land                       | 0.56±0.09b                     | 0.47±0.05b                   | 1.19±0.15a                   | 0.24±0.06a                     |
| 外西<br>Waixi             | 活化的流动白刺沙堆<br>Activiting moving sand mound of <i>N. tangutorum</i> | 0.43±0.05c                     | 0.37±0.04c                   | 1.20±0.09a                   | 0.15±0.03a                     |

注:不同小写字母表示同一指标不同样地间差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicate that the same index is significant different between different sample area ( $P < 0.05$ ).

表2 白刺果实性状指标的相关系数

Table 2 The correlation coefficient of *N. tangutorum* fruits at different places of the lower reaches of Shiyang River

| 指标<br>Index                    | 果实纵径<br>Fruit longitudinal diameter | 果实横径<br>Fruit transverse diameter | 鲜果重<br>Weight of fresh fruit | 核重<br>Seed weight | 核纵径<br>Seed longitudinal diameter | 核横径<br>Seed transverse diameter |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 纵径 Fruit longitudinal diameter | 1.000                               | 0.917**                           | 0.783**                      | 0.536**           | 0.476*                            | 0.540**                         |
| 横径 Fruit transverse diameter   |                                     | 1.000                             | 0.843**                      | 0.472*            | 0.347                             | 0.494*                          |
| 鲜果重 Weight of fresh fruit      |                                     |                                   | 1.000                        | 0.631**           | 0.459*                            | 0.577**                         |
| 核重 Seed weight                 |                                     |                                   |                              | 1.000             | 0.879**                           | 0.909**                         |
| 核纵径 Seed longitudinal diameter |                                     |                                   |                              |                   | 1.000                             | 0.702**                         |
| 核横径 Seed transverse diameter   |                                     |                                   |                              |                   |                                   | 1.000                           |

注:\*为0.05相关性显著,\*\*为0.01相关性显著。

Note: \* means significant correlation in 0.05, \*\* means significant correlation in 0.01.

### 3 讨论

植物物候是指示气候与自然环境变化的重要指标<sup>[27]</sup>,不仅是植物自身的生理表象,也是植物对外部生境、气候、水文条件的综合反映<sup>[27-28]</sup>。物候期可为制定人工栽培管理模式提供准确的信息参考。在石羊河下游,白刺繁殖期的物候在不同年份的变化幅度差异明显,比较2012—2021年和1990—2007年<sup>[17]</sup>的白刺物候期,始花期提早了8 d,开花期的持续时间也增加了;果熟期也提早了53 d,果熟期的持续时间平均增加了约2倍。白刺繁殖期平均时间为38.8 d,最长持续时间为67 d(2020年),白刺繁殖期25~30 d的占40%。全球气候变暖使植物开始和结束生长的时期发生相应变化,这种变化的时间长度在不同物种和不同地区间是不同的,但变化倾向相同<sup>[27-28]</sup>,白刺繁殖期响应气候变暖,较以往时期提早和延长。白刺开花期的持续时间最长,其次为结果期,花期和果期都随气候变暖有提前和延长趋势。

果树枝条类型及特点是科学制定果树栽培管理技术措施的基础,果树的枝条类型依据功能分为营养枝、结果枝、结果母枝等,依据枝条的年龄分为新梢、1年生枝、2年生枝和多年生枝<sup>[29]</sup>。参考果树枝的分类模式,将白刺的枝分为营养枝、结果枝、结果母枝和枝刺。结果母枝生长着结果枝、营养枝、结果枝+营养枝和枝刺4种类型的枝。白刺顶芽为花芽,开花模式是在新梢上开花结果,为1年生结果枝。这与桃、杏、李、樱桃等核果类果树的花芽不同,与葡萄、苹果和梨等果树相似,结果枝从母枝的混合花蕾长出。白刺的营养枝和枝刺都可以形成花芽,也偶见前年的结果枝上再次形成花芽的现象。根据果枝长度可分为长果枝、中果枝和短果枝3种类型<sup>[29]</sup>。参考这种分类方法,将白刺的果枝也分为短果枝(长2~6 cm)、中果枝(长6~10 cm)和长果枝(长10.1~11.6 cm),其中短果枝的比例相对较大。白刺结果枝当年生长量小于营养枝,这与其适应干旱环境的生殖分配模式相关<sup>[30-31]</sup>。营养枝的结果率相对枝刺较大,变化也比较大。白刺结果母枝是一种复合性枝,其结果枝显著多于其他类型枝,营养枝和枝刺都发育结果枝。

果实性状是资源分析鉴定的首选方式,是资源合理开发应用的重要依据<sup>[32]</sup>。白刺果实性状的变异较其营养器官的变异更为丰富和剧烈,这些变异

类型是经济性状选择和定向培育的宝贵种质资源<sup>[33]</sup>。白刺是蝎尾状聚伞花序,因而形成果序。果序作为果用型白刺优株选择以及亲本选择的主要依据<sup>[9]</sup>。在白刺天然群体内,果序性状差异极为显著<sup>[9]</sup>,但本观测研究的不同地貌类型白刺的果序数量差异不显著,营养枝和枝刺的果序数不同,差异也不显著( $P>0.05$ )。这可能与观测的白刺的生长区域生境因子相关。应用果形指数判定果实形状<sup>[32,34]</sup>,白刺果为长圆形。柴达木盆地不同区域地果实的各性状在居群间表现出较大的差异<sup>[35]</sup>,部分区域的差异不显著,这与本观测研究的白刺果性状差异有相似之处,也说明果实性状受部分环境因子作用显著,还需要进一步研究。但是,两地观测的果形指数都大于1.0,可以确定白刺果形为长圆形。果核性状不是直接的经济性状,但影响果实的出肉率,同时也是果实类型划分的重要特征指标<sup>[35-36]</sup>。白刺果实横径和核横径与其鲜重的相关系数大于纵径。白刺的果核呈吊坠形(酒壶形),重量集中在一侧,因此推断果实横径和核横径对其鲜重的影响较大。石羊河下游的白刺果核吊坠形(酒壶形)与内蒙古西部地区的白刺种子卵形<sup>[37]</sup>有些差异,白刺的果核(种子)存在地域差异。

### 4 结论

在石羊河下游,白刺繁殖期的物候在不同年份的变化幅度差异明显。1990—2021年的白刺始花期和果熟期提早,开花期和果熟期的持续时间增加,最长持续时间为67 d(2020年);开花期的持续时间最长,其次为结果期,花期和果期都随气候变暖有提前和延长趋势。白刺的结果母枝生长着结果枝、营养枝、结果枝+营养枝和枝刺4种类型的枝,是一种复合性枝,结果枝当年生长量小于营养枝。白刺的营养枝和枝刺都可以形成花芽,顶芽为花芽,在1年生新梢上开花结果,为2年生结果母枝,也偶见前年的结果枝上再次形成花芽的现象;结果母枝上结果枝显著多于营养枝、结果枝+营养枝和枝刺,这与其适应干旱环境的生殖分配模式相关。白刺果形为长圆形,果实横径和核横径与其鲜重的相关系数大于纵径;果核呈吊坠形(酒壶形),重量集中在一侧,因此果实横径和核横径对其鲜重的影响较大。在不同地貌类型区,白刺的果序数量差异不显著,营养枝和枝刺的果序数差异也不显著,果核(种子)存在地域差异。

## 参考文献:

- [1] 索有瑞. 柴达木盆地白刺研究与开发[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [2] 杨秀艳, 张华新, 唐欣, 等. 我国白刺植物资源及其开发利用[J]. 世界林业研究, 2013, 26(5): 64-68.  
YANG X Y, ZHANG H X, TANG X, *et al.* *Nitraria* resources in China and their utilization[J]. *World Forestry Research*, 2013, 26(5): 64-68.
- [3] 王镜泉. 国产 5 种白刺的体细胞染色体[J]. 干旱造林研究, 1989(2): 92-96.  
WANG J Q. Somatic cell chromosomes of 5 domestic *Nitraria* [J]. *Arid Afforestation Research*, 1989(2): 92-96.
- [4] 杨仁明, 索有瑞, 王洪伦. 唐古特白刺果实化学成分和功效作用研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(7): 985-989.  
YANG R M, SUO Y R, WANG H L. Studies on chemical constituents and pharmacological effects of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruit[J]. *Natural Product Research and Development*, 2012, 24(7): 985-989.
- [5] 潘晓玲, 沈观冕, 陈鹏. 白刺属植物的分类学及系统学研究[J]. 云南植物研究, 1999, 21(3): 287-295.  
PAN X L, SHEN G M, CHEN P. A preliminary research on taxonomy and systematics of genus *Nitraria* [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1999, 21(3): 287-295.
- [6] 马存世, 李进军, 张有佳, 等. 石羊河下游干旱荒漠区白刺资源特征研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(16): 9060-9062.  
MA C S, LI J J, ZHANG Y J, *et al.* Research on the resources characteristics of *Nitraria* in arid desert area of lower reaches of Shiyang River[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(16): 9060-9062.
- [7] 李进军, 马存世, 张有佳, 等. 民勤连古城自然保护区白刺生长发育影响因素[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(10): 41-43.  
LI J J, MA C S, ZHANG Y J, *et al.* Influencing factors on growth and development of *Nitraria* in Minqin Liangucheng nature reserve[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2010, 38(10): 41-43.
- [8] 高志海, 崔建国, 刘生龙, 等. 白刺不同自由授粉家系的生长变异性研究[J]. 西北植物学报, 1997, 17(6): 45-51.  
GAO Z H, CUI J G, LIU S L, *et al.* The study on the growth of variability of different free pollinated families of *Nitraria tangutorum* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1997, 17(6): 45-51.
- [9] 王尚德, 康向阳. 唐古特白刺单果优株果序性状变异研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(2): 311-315.  
WANG S D, KANG X Y. Studies of the variation of fruiting-cyme characters of *Nitraria tangutorum* plus tree[J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2005, 25(2): 311-315.
- [10] 王尚德. 唐古特白刺优株选择与组织培养研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [11] 杜建会, 严平, 俄有浩. 甘肃民勤不同演化阶段白刺灌丛沙堆分布格局及特征[J]. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1165-1170.  
DU J H, YAN P, E Y H. Distribution patterns and characteristics of *Nitraria tangutorum* nebkha at its different evolution stages in the Minqin County of Gansu Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(8): 1165-1170.
- [12] 杜建会, 严平, 展秀丽, 等. 民勤绿洲白刺灌丛沙堆不同演化阶段表面抗蚀性及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 763-768.  
DU J H, YAN P, ZHAN X L, *et al.* Surface erosion-resistance of *Nitraria tangutorum* nebkhas at different succession stages in Minqin oasis and related affecting factors[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(4): 763-768.
- [13] 杜建会, 严平, 丁连刚, 等. 民勤绿洲不同演化阶段白刺灌丛沙堆表面土壤理化性质研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(2): 248-253.  
DU J H, YAN P, DING L G, *et al.* Soil physical and chemical properties of *Nitraria tangutorum* nebkhas surface at different development stages in Minqin oasis [J]. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(2): 248-253.
- [14] 杜建会, 严平, 俄有浩, 等. 强降雨事件对不同演化阶段白刺灌丛沙堆土壤水分的影响[J]. 水土保持通报, 2007, 27(6): 20-24.  
DU J H, YAN P, E Y H, *et al.* Influence of heavy rain event on soil water content of *Nitraria tangutorum* nebkhas in different succession periods[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2007, 27(6): 20-24.
- [15] 杨自辉, 高志海. 荒漠绿洲边缘降水和地下水对白刺群落消长的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(6): 923-926.  
YANG Z H, GAO Z H. Impact of precipitation and underground water level in the edge of oases on growth and decline of *Nitraria tangutorum* community[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(6): 923-926.
- [16] 李新乐, 李永华, 董雪, 等. 模拟增雨对白刺和油蒿幼苗化学计量特征的影响[J]. 西北植物学报, 2020, 40(4): 688-696.  
LI X L, LI Y H, DONG X, *et al.* Effect of simulated precipitation addition on stoichiometric characteristics of *Nitraria tangutorum* and *Artemisia ordosica* seedling[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, 40(4): 688-696.
- [17] 韩福贵, 赵明, 常兆丰, 等. 民勤荒漠区白刺物候变化特征及影响因素分析[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(6): 1334-1337.  
HAN F G, ZHAO M, CHANG Z F, *et al.* Variation characteristics of phenological calendar of *Nitraria* and influential factors in the sandy area of Minqin[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2010, 49(6): 1334-1337.
- [18] 韩福贵, 徐先英, 尉秋实, 等. 民勤绿洲-荒漠过渡带典型固沙植物生殖物候对气候变化的响应[J]. 中国沙漠, 2015, 35(2): 330-337.  
HAN F G, XU X Y, YU Q S, *et al.* Response of reproductive phenology of typical sand-fixing plants to climate change in the oasis-desert transitional zone in Minqin, Gansu, China [J]. *Journal of Desert Research*, 2015, 35(2): 330-337.
- [19] 杨自辉, 俄有浩. 干旱沙区 46 种木本植物的物候研究: 以民勤沙生植物园栽培植物为例[J]. 西北植物学报, 2000, 20(6): 1102-1109.  
YANG Z H, E Y H. A phenology research on the main xylophyte in arid desert area: A example on cultivated plants of

- Minqin Desert botanical garden[J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2000, 20(6): 1102-1109.
- [20] 常兆丰, 段小峰, 韩福贵, 等. 民勤荒漠区主要植物群落的稳定性及生态效应[J]. 西北植物学报, 2014, 34(12): 2562-2568.  
CHANG Z F, DUAN X F, HAN F G, *et al.* Stability and ecological effect of mainly plant communities in Minqin Desert area[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2014, 34(12): 2562-2568.
- [21] 李炜. 唐古特白刺无性繁殖技术的研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [22] 郭晔红, 蔺海明, 武睿. 唐古特白刺组织培养及其培养基筛选研究[J]. 草业学报, 2009, 18(6): 59-64.  
GUO Y H, LIN H M, WU R. Research on tissue culture and medium of *Nitraria tangutorum*[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(6): 59-64.
- [23] 范小峰, 杨颖丽, 刘秀丽, 等. 唐古特白刺愈伤组织诱导及再生体系的研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2009, 45(2): 74-77.  
FAN X F, YANG Y L, LIU X L, *et al.* Study on callus induction and regeneration of *Nitraria tangutorum* Bobr. [J]. *Journal of Northwest Normal University* (Natural Science), 2009, 45(2): 74-77.
- [24] 曾新德, 孙学刚, 闫好原, 等. 石羊河下游干旱荒漠区植物优先保护级别研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(5): 150-153.  
ZENG X D, SUN X G, YAN H Y, *et al.* Evaluation of conservation priority classes of plant species in the lower reaches of Shiyang River[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2017, 32(5): 150-153.
- [25] 刘建泉. 甘肃民勤西沙窝唐古特白刺群落的生态特性[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(3): 36-40.  
LIU J Q. Ecological characteristics of *Nitraria tangutorum* community in Xishawo, Minqin of Gansu Province[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2002, 11(3): 36-40.
- [26] 赵鹏, 徐先英, 屈建军, 等. 民勤绿洲-荒漠过渡带白刺群落空间分布及其环境解释[J]. 干旱区研究, 2016, 33(5): 1003-1011.  
ZHAO P, XU X Y, QU J J, *et al.* Spatial distribution of *Nitraria tangutorum* communities and its environmental interpretations in the Minqin oasis-desert ecotone[J]. *Arid Zone Research*, 2016, 33(5): 1003-1011.
- [27] 郑景云, 葛全胜, 郝志新. 气候变暖对我国近40年植物物候变化的影响[J]. 科学通报, 2002, 47(20): 1582-1587.  
ZHENG J Y, GE Q S, HAO Z X. Effects of climate warming on plant phenology changes in China in the past 40 years[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(20): 1582-1587.
- [28] 李丹, 韩芳, 陈云云, 等. 气候变化对荒漠区5种主要灌木植物物候的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(8): 1617-1626.  
LI D, HAN F, CHEN Y Y, *et al.* Impacts of climate change on the phenological phases of five main shrub species in the desert region[J]. *Pratacultural Science*, 2017, 34(8): 1617-1626.
- [29] 潘雅文. 浅析果树枝条的类型及影响枝条生长的因素[J]. 果农之友, 2022(6): 68-70.  
PAN Y W. A brief analysis of the types of branches of fruit trees and the factors affecting the growth of branches[J]. *Fruit Growers' Friend*, 2022(6): 68-70.
- [30] 李清河, 辛智鸣, 高婷婷, 等. 荒漠植物白刺属4个物种的生殖分配比较[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5054-5061.  
LI Q H, XIN Z M, GAO T T, *et al.* Reproductive allocation in four desert species of the genus *Nitraria* L. [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 5054-5061.
- [31] 邢磊, 段娜, 李清河, 等. 白刺不同物候期的生物量分配规律[J]. 植物生态学报, 2020, 44(7): 763-771.  
XING L, DUAN N, LI Q H, *et al.* Variation in biomass allocation of *Nitraria tangutorum* during different phenological phases[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2020, 44(7): 763-771.
- [32] 黄爱萍, 陈秀萍, 胡文舜, 等. 龙眼种质资源果实性状多样性分析及其数量分类研究[J]. 果树学报, 2010, 27(6): 938-945.  
HUANG A P, CHEN X P, HU W S, *et al.* Fruit character diversity analysis and numerical classification of Longan (*Dimocarpus*) germplasm resources[J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(6): 938-945.
- [33] 马存世, 李进军, 张有佳, 等. 石羊河下游白刺属植物果实性状特征研究[J]. 甘肃林业科技, 2011, 36(2): 31-33.  
MA C S, LI J J, ZHANG Y J, *et al.* Study on property characteristics of fruit of *Nitraria* plant in the lower reach of Shiyanghe River[J]. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 2011, 36(2): 31-33.
- [34] 魏国芹, 孙玉刚, 安森, 等. 甜樱桃不同品种生长结果习性调查[J]. 北方园艺, 2012(6): 13-15.  
WEI G Q, SUN Y G, AN M, *et al.* Analysis on growth and bearing habits in different sweet cherry cultivars[J]. *Northern Horticulture*, 2012(6): 13-15.
- [35] 吉德娟, 张得芳, 于倩. 柴达木盆地唐古特白刺的表型多样性[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(10): 57-66.  
JI D J, ZHANG D F, YU Q. Phenotypic diversity of *Nitraria tangutorum* Bobr. in Qaidam Basin[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2021, 41(10): 57-66.
- [36] 宋永宏, 杨复康, 李静江, 等. 不同李品种果实外观性状聚类分析[J]. 果树资源学报, 2020, 1(3): 6-9.  
SONG Y H, YANG F K, LI J J, *et al.* Cluster analysis of fruit appearance traits of different plum cultivars[J]. *Journal of Fruit Resources*, 2020, 1(3): 6-9.
- [37] 张晓明, 宛涛, 燕玲, 等. 内蒙古白刺属植物花粉及种子形态特征研究[J]. 中国草地, 2005, 27(2): 31-35.  
ZHANG X M, WAN T, YAN L, *et al.* Pollen and seed morphology on *Nitraria* L. in Inner Mongolia[J]. *Grassland of China*, 2005, 27(2): 31-35.