

## 播期对滇西北冬播藜麦农艺性状和产量的影响

杨文高 袁文珏 李兆光 和桂青 和琼姬 王蕊 李燕 叶磊 侯志江

(云南省农业科学院高山经济植物研究所, 674100, 云南丽江)

**摘要** 以 17 份藜麦优选品系资源为试验材料, 设置 2022 年 11 月 10 日 (T1)、2022 年 12 月 15 日 (T2) 和 2023 年 1 月 5 日 (T3) 3 个播期, 分析播期对藜麦农艺性状及产量的影响。结果表明, 随着播期的推迟, 平均生育期由 191.7 d (T1) 缩短至 148.1 d (T3), 晚播较早播生育期缩短 44.0 d。T3 处理下藜麦的平均株高最高, 千粒重则最低; T2 处理下平均茎粗、有效分枝数和单株产量表现均为最高; T1 处理下平均主穗长最短。相关性分析显示, 藜麦单株产量与茎粗、有效分枝数和千粒重均呈极显著正相关。双因素方差分析显示, 藜麦株高、主穗长、千粒重和生育期受播期的影响最强, 而有效分枝数和单株产量仅受品系、品系与播期交互作用的影响显著。综上, 在滇西北金沙江低热河谷区冬播藜麦的最适播期为 12 月中旬 (T2), 该播期下品系 Q201909、Q201807 和 Q201913 的农艺性状和产量综合表现最好, 适宜在云南低热河谷区及类似气候区域冬季推广种植。

**关键词** 藜麦; 冬播; 云南; 农艺性状; 产量

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd.) 是藜科藜属一年生草本植物, 原产于南美洲安第斯高原地区, 是当地印加人的传统粮食作物, 已有近 5000 年的种植历史<sup>[1-2]</sup>。藜麦富含蛋白质、赖氨酸、不饱和脂肪酸、维生素和矿质元素等多种营养成分, 被联合国粮农组织推荐为最适宜人类食用的全营养食品, 并将 2013 年定为“国际藜麦年”<sup>[3-4]</sup>。藜麦可在寒冷、干旱、贫瘠和盐碱等多种严酷生境中生长, 并表现出良好的适应性, 因而在全世界范围内被广泛引种栽培<sup>[5-6]</sup>。20 世纪 90 年代, 贡布扎西等<sup>[7]</sup>率先在西藏开展国外藜麦种质资源的引种栽培试验, 但受产量低和病害多等因素影响未能大面积推广种植, 此后, 我国藜麦产业发展一度停滞。自 2011 年起, 山西、宁夏、青海、甘肃和河北等省区陆续从国外引进藜麦种质资源<sup>[8]</sup>, 诸多学者<sup>[9-11]</sup>主要从品种选育、播期筛选、生物学特性和营养品质等方面开展相关研究, 正式开启了我国藜麦种植规模化 and 商业化研发的新局面。

在高海拔产区, 藜麦通常于夏季 6-7 月种植, 10 月后成熟, 但成熟期若遇连续阴雨天气易出现穗发芽现象, 导致籽粒营养品质下降<sup>[12-13]</sup>。此外, 夏季雨热同期, 高温高湿的环境极易诱发褐腐病、霜霉病和叶斑病等病害, 其次, 夏季大风、暴雨和冰

雹等极端天气易造成植株倒伏, 进而导致藜麦大面积减产<sup>[14-15]</sup>。鉴于此, 将低海拔产区的播期推迟至秋末冬初的 11-12 月, 使藜麦于次年 3-5 月成熟收获, 与高海拔地区形成反季种植模式, 可使藜麦整个生育期充分利用相对适宜的水热条件, 幼苗生长健壮、抗倒伏能力强, 生育期得以延长, 成熟期可有效避免穗发芽问题<sup>[16]</sup>, 同时减少病虫害的发生, 有利于生产出真正无污染的有机产品, 促进产业发展<sup>[17]</sup>。然而, 目前我国藜麦的主要栽培区域多集中于西北干旱区及西南部分高海拔地区<sup>[18-21]</sup>, 受生产条件和环境因素的制约, 关于藜麦冬季栽培的生产技术及应用研究鲜有报道。

云南省地处低纬高原, 区域立体气候特征显著, 常年光热充足, 年均温差较小, 全省多数地区作物生长季可实现一年两熟, 具备开展作物错季栽培的理想自然条件<sup>[22-23]</sup>。丽江市位于滇西北金沙江上游段, 其沿江两岸分布着肥沃的冲积型沙地, 即俗称的“江边坝子”, 是该区域重要的粮食产区。当前, 为积极响应党和国家严守耕地红线与保障粮食安全的战略部署, 有效缓解人均耕地资源紧张的状况<sup>[24]</sup>, 同时, 为加速建设云南省高原现代农业产业的发展目标, 实现世界一流“绿色食品牌”的战略定位, 在滇西北地区开展冬季特色作物高效

作者简介: 杨文高, 主要从事高山退化生态恢复、高山经济作物栽培研究, E-mail: jingwuque@163.com

侯志江为通信作者, 主要从事高山经济作物栽培研究, E-mail: houzhijiang123@126.com

基金项目: 云南省重大科技专项与重点研发计划 (202202AE090020); 云南省科技厅科技计划项目基础研究计划专项项目 (202101BC070003-51); 高山农业科技创新及成果转化专项经费项目 (云财农〔2024〕8号)

收稿日期: 2024-10-28; 修回日期: 2024-12-09; 网络出版日期: 2025-04-09

栽培生产及应用研究具有重要意义。本研究利用滇西北金沙江低热河谷区夏作后的冬闲田,通过设置不同播期开展种植试验,探索藜麦在该地区适宜的冬季播种时间,以期实现滇西北高海拔冷凉区夏播秋收—金沙江低热河谷区冬播春收的周年栽培模式,为促进滇西北地区藜麦产业化发展提供科学的

技术指导和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选用 17 份藜麦品系资源为供试材料,由云南省农业科学院高山经济植物研究所提供(表 1)。

表 1 供试藜麦品系信息  
Table 1 Information of quinoa lines tested

序号 Code	品系 Line	籽粒颜色 Grain color	茎秆颜色 Stem color	穗部颜色 Panicle color	其他性状 Other characteristics
1	Q1	白色	绿色	绿色	-
2	Q2	白色	绿色	绿色	主穗集中呈球状
3	Q4	红色	红色	红色	-
4	Q5	红色	浅红色	浅红色	-
5	Q6	红色	绿色	红色	-
6	Q7	黑色	绿色	红色	-
7	Q8	黑色	绿色	红色	穗型呈棒状
8	Q9	黑色	绿色	绿色	分枝较多
9	Q201802	白色	绿色	绿色	-
10	Q201807	红色	红色	红色	-
11	Q201808	红色	红色	红色	叶片红色
12	Q201833	白色	浅红色	绿色	穗型蓬松
13	Q201843	红色	浅红色	红色	穗型呈梭状
14	Q201904	红色	浅红色	红色	主穗较紧凑
15	Q201909	白色	浅红色	绿色	分枝较多
16	Q201913	白色	绿色	绿色	抗病
17	Q202020	黑色	浅红色	红色	-

### 1.2 试验地概况

试验于云南省丽江市玉龙纳西族自治县巨甸镇(27.30° N, 99.65° E)进行,该地海拔 1878.74 m,最高月均温度 21.1 °C,最低月均温度 6.8 °C,年

均温度 15.0 °C; 年均相对湿度 63%, 年降水量 767.5 mm, 6-9 月为雨季, 降水量占全年的 82% 以上(图 1); 太阳辐射较强, 年日照时长在 2500 h 以上。土质为沙壤土, 0~20 cm 土层土壤有机质含

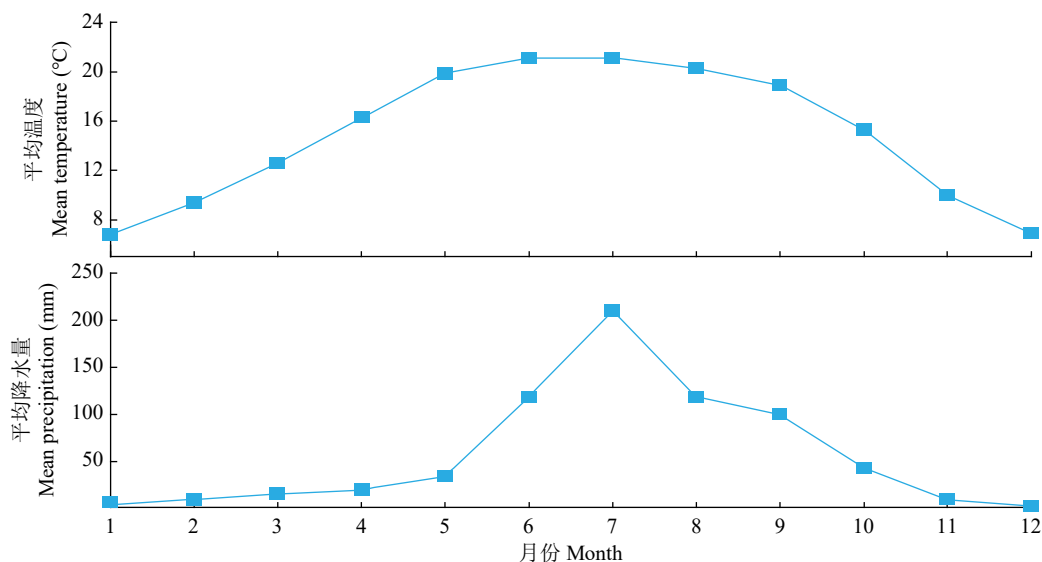


图 1 试验地平均温度和降水量  
Fig.1 Average temperature and precipitation in the test site

量 35.66 g/kg、全氮 2.86 g/kg、全磷 1.47 g/kg、全钾 9.13 g/kg、速效氮 0.35 mg/kg、速效磷 30.62 mg/kg、速效钾 100.68 mg/kg、含水率 26.86%、pH 6.7。

### 1.3 试验方法

设置 3 个播期，分别为 2022 年 11 月 10 日播种、2023 年 5 月 17-24 日收获 (T1)；2022 年 12 月 15 日播种、2023 年 5 月 28 日-6 月 11 日收获 (T2)；2023 年 1 月 5 日播种、2023 年 5 月 31 日-6 月 11 日收获 (T3)。试验地前茬作物为水稻，10 月中旬收割水稻，开始精细旋耕和平整土地，并施复合肥 (N:P:K=15:15:15) 375 kg/hm<sup>2</sup> 作为底肥。共计 51 个试验小区，各小区面积 20 m<sup>2</sup>，小区中间设置 1 m 的隔离间距，选用覆膜穴播，每穴点播 3 粒种子，播种深度 2 cm，株距 30 cm，行距为 40 cm，4 至 6 叶期间苗，每穴留苗 1 株。生长期定期浇水、培土，及时除草并防治病虫害。

### 1.4 测定指标与方法

藜麦出苗后，以试验小区内每个藜麦品系中 50% 植株达到某一生育期作为判定依据，观察并记录其生育进程和性状变化。于藜麦成熟期，随机选择 5 株长势良好且无病害的植株，参照翟西均<sup>[25]</sup> 的藜麦农艺性状记载标准，分别测定株高、茎粗、有效分枝数和主穗长。随后整株取样，将收获的藜麦单株置于细尼龙网袋中，于通风干燥处自然晒干，脱壳后过筛，获得干净无杂质的藜麦种子，用电子天平称取种子质量，计算单株产量和千粒重。

### 1.5 数据处理

采用 SPSS 22.0 软件对数据进行统计分析，采用 Origin 8.5 软件作图。采用双因素方差分析法分析播期和品系及二者交互作用对藜麦农艺性状和

产量指标的影响。采用单因素方差分析法检验不同播期藜麦品系农艺性状和产量指标的差异，若方差齐性，用最小显著差异 (LSD) 法进行显著性多重比较；若方差非齐性，则用 Tamhane's T2 法进行多重比较。运用 Pearson 相关分析法分析藜麦农艺性状指标与单株产量、千粒重之间的相关性。

参照王艳青等<sup>[26]</sup>的方法计算各农艺性状指标的隶属函数值，以平均隶属函数值的大小排序为依据，对不同播期藜麦品系进行综合评价： $Z_{(ij)}=(X_{ij}-X_{jmin})/(X_{jmax}-X_{jmin})$ ，式中， $Z_{(ij)}$  为第  $i$  个藜麦品系第  $j$  个指标的隶属函数值， $X_{ij}$  为第  $i$  个藜麦品系第  $j$  个指标的测定值， $X_{jmin}$  和  $X_{jmax}$  分别为第  $j$  个指标的最小和最大测定值。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同播期藜麦品系的农艺性状和产量特征

由表 2 和图 2 可知，T1 处理不同藜麦品系的平均株高在 68.00~124.20 cm，平均茎粗在 10.07~15.14 mm，平均主穗长在 15.40~31.60 cm，平均有效分枝数在 6.08~20.40，平均单株产量在 7.30~53.89 g，平均千粒重在 1.62~4.16 g，生育期在 189~196 d。T2 处理不同藜麦品系的平均株高在 106.80~171.00 cm，平均茎粗在 10.88~18.07 mm，平均主穗长在 17.00~45.40 cm，平均有效分枝数在 6.80~16.60，平均单株产量在 18.25~47.49 g，平均千粒重在 2.18~4.11 g，生育期在 165~178 d。T3 处理不同藜麦品系的平均株高在 111.80~176.40 cm，平均茎粗在 11.99~16.98 mm，平均主穗长在 17.00~39.40 cm，平均有效分枝数在 6.80~14.60，平均单株产量在 8.79~50.68 g，平均千粒重在 1.62~3.76 g，

表 2 不同播期藜麦品系的农艺性状  
Table 2 Agronomic traits of quinoa lines at different sowing dates

处理 Treatment	品系 Line	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (mm)	主穗长 Main panicle length (cm)	有效分枝数 Number of effective branches
T1	Q1	71.80±6.46b	11.35±0.80b	24.80±3.56c	7.20±1.48b
	Q2	68.00±13.23b	12.41±2.02b	18.00±8.18a	8.20±3.03b
	Q4	91.40±5.98b	10.94±1.27b	26.00±2.74b	7.80±1.30b
	Q5	96.80±7.36b	15.14±1.42a	20.40±2.07b	10.60±1.67a
	Q6	85.60±14.59b	11.87±1.34ab	18.20±2.86b	9.40±2.07a
	Q7	69.00±12.94c	12.53±1.70b	20.80±3.35b	11.80±2.59a
	Q8	89.80±16.72b	12.58±1.51b	22.20±3.96b	20.60±6.43a
	Q9	103.40±8.68b	14.37±1.62b	31.60±4.39a	12.40±2.88ab
	Q201802	73.20±6.02b	13.50±0.68a	27.60±5.68a	11.60±1.82a
	Q201807	87.80±2.86c	10.24±0.98c	19.60±2.97b	6.80±0.84b

续表 2 Table 2 (continued)

处理 Treatment	品系 Line	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (mm)	主穗长 Main panicle length (cm)	有效分枝数 Number of effective branches
T2	Q201808	92.20±9.39c	10.07±1.25b	20.40±2.88b	7.80±3.11a
	Q201833	87.00±11.92c	11.92±1.34b	26.20±3.11b	9.00±2.35b
	Q201843	78.60±7.70c	11.17±0.86c	21.40±3.91b	8.40±1.95c
	Q201904	71.00±5.83c	10.40±1.94b	16.00±2.74b	10.20±1.48b
	Q201909	81.80±8.93c	10.25±1.08c	15.40±4.34b	7.40±1.82b
	Q201913	89.60±8.79c	12.61±1.32b	27.00±4.58a	13.00±4.30a
	Q202020	124.20±19.32b	12.00±1.94b	30.20±5.81a	8.60±3.36a
	Q1	171.00±13.91a	15.34±2.56a	45.40±8.62a	10.40±2.41a
	Q2	106.80±8.52a	15.12±1.74a	18.60±3.58a	13.00±3.08a
	Q4	132.00±6.12a	12.15±1.56ab	19.80±3.70c	10.40±2.30a
	Q5	121.00±18.45a	12.09±1.46b	20.60±4.51b	6.80±2.28b
	Q6	116.60±5.55a	10.88±0.65b	17.00±3.54b	11.80±1.92a
	Q7	141.60±10.92b	14.92±1.13a	31.20±3.49a	13.20±3.19a
	Q8	133.80±13.55a	15.40±1.67a	31.80±5.45a	14.60±2.07b
	Q9	142.20±13.99a	17.12±1.06a	31.20±4.15a	15.20±3.27a
	Q201802	146.60±10.29a	13.67±3.30a	29.40±3.05a	14.40±4.72a
	Q201807	136.60±15.88b	16.60±2.14a	25.80±4.55a	15.00±2.74a
	Q201808	129.60±16.01b	13.54±2.42a	24.80±3.35a	9.20±4.97a
	Q201833	106.40±13.99b	12.41±1.66b	23.80±1.92b	10.80±1.64b
	T3	Q201843	139.60±5.41b	16.15±1.38a	22.00±2.24b
Q201904		114.80±7.98b	14.98±1.38a	24.20±3.49a	13.40±3.21a
Q201909		130.60±11.55b	17.14±1.59a	23.00±4.85a	16.60±7.09a
Q201913		134.00±14.54b	18.07±4.94a	29.60±4.04a	14.00±3.54a
Q202020		146.20±13.76a	13.21±1.25ab	22.40±2.41b	10.80±2.78a
Q1		176.40±3.85a	13.59±0.92ab	32.40±1.52b	7.40±2.07b
Q2		111.80±11.54a	12.02±0.70b	17.00±6.25a	6.80±1.92b
Q4		136.80±5.89a	13.50±1.10a	32.20±3.19a	9.60±1.52ab
Q5		134.80±12.27a	15.02±1.03a	27.20±3.27a	7.80±2.17ab
Q6		128.60±15.57a	12.47±1.15a	25.60±2.97a	9.60±1.82a
Q7		158.40±12.18a	14.44±1.12a	32.60±6.03a	12.00±2.74a
Q8		141.60±10.11a	13.17±0.92b	25.80±3.70ab	8.40±0.89c
Q9		153.60±7.44a	11.99±1.03c	29.80±2.28a	9.80±0.84b
Q201802		150.40±11.35a	12.29±1.77a	30.20±2.17a	10.20±3.27a
Q201807		159.00±5.96a	12.37±0.96b	21.20±3.27ab	8.80±1.30b
Q201808		151.80±16.41a	14.48±1.30a	20.60±2.88b	10.40±2.30a
Q201833		173.00±2.65a	15.93±1.50a	33.40±5.64a	14.60±2.07a
Q201843		167.60±6.03a	13.33±0.70b	39.40±4.88a	11.80±2.39b
Q201904		154.20±5.45a	15.34±2.27a	22.80±2.78a	13.20±1.30a
Q201909		160.00±9.41a	13.52±1.15b	28.00±1.87a	13.00±2.92ab
Q201913	159.20±14.79a	16.98±0.98a	24.80±4.87a	13.80±1.64a	
Q202020	147.40±13.32a	14.76±0.89a	26.80±4.32ab	10.40±1.14a	

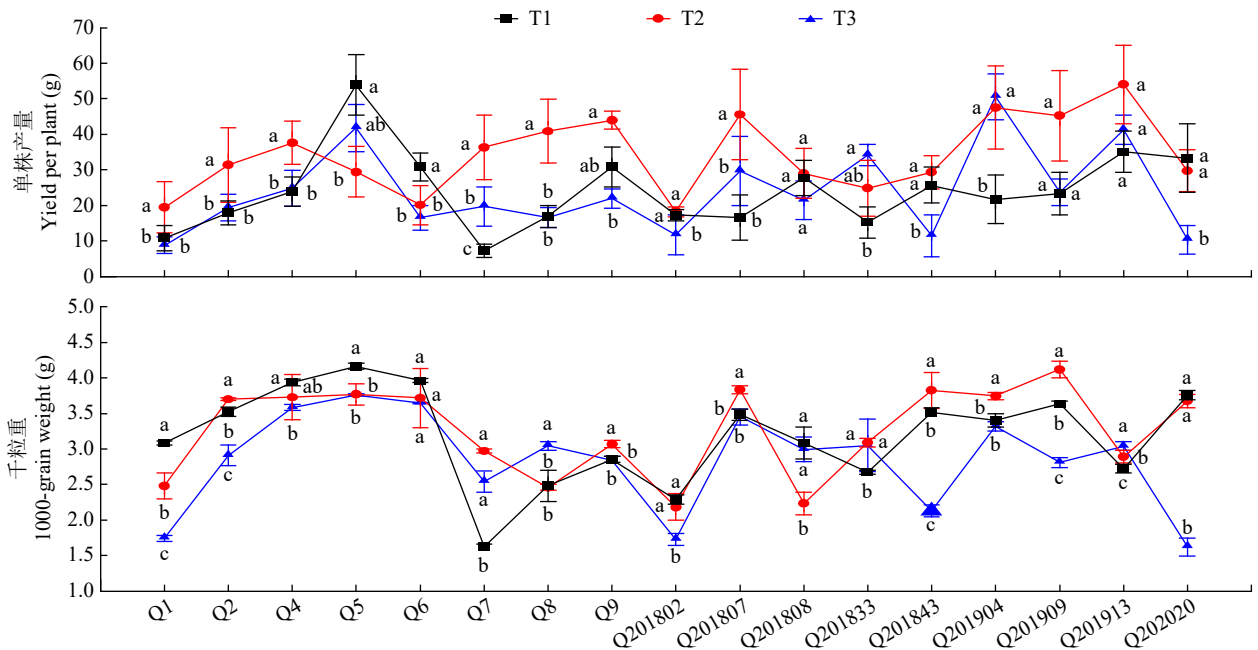
不同小写字母表示同种品系在不同播期之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate that the same line has significant differences among different sowing dates ( $P < 0.05$ ).

生育期在 165~178 d。

随着播期的延后, 藜麦株高呈显著升高的趋势, 株高依次为  $T1 < T2 < T3$ , 其中  $T3$  处理的株高显著大于  $T1$  处理。 $T2$  处理平均千粒重显著大于  $T3$  和  $T1$  处理。相对而言, 17 份藜麦品系中除  $Q2$ 、 $Q9$ 、 $Q201802$ 、 $Q201913$  和  $Q202020$  外, 其

余品系在  $T3$  和  $T2$  处理下平均主穗长均显著大于  $T1$  处理。同样,  $T3$  和  $T2$  处理的平均茎粗显著大于  $T1$  处理。 $T2$  处理中除  $Q5$ 、 $Q8$  和  $Q201833$  外, 其余品系的平均有效分枝数均显著大于  $T1$  和  $T3$  处理。 $T2$  处理平均单株产量整体显著高于  $T3$  和  $T1$  处理。总体而言,  $T3$  处理平均株高显著大于  $T1$



不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。  
Different lowercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

图 2 不同播期藜麦品系的单株产量和千粒重  
Fig.2 Yield per plant and 1000-grain weight of quinoa line at different sowing dates

和 T2 处理，相反，T3 处理平均生育期和千粒重显著小于 T1 和 T2 处理；T2 处理平均茎粗、有效分枝数和单株产量显著高于 T3 和 T1 处理；T1 处理平均主穗长显著小于 T3 和 T2 处理。

### 2.2 不同播期藜麦品系性状指标的描述性统计

由表 3 可知，T1 处理下藜麦各性状指标的变异系数在 1.73%~61.39%，T2 处理在 2.51%~47.07%，T3 处理在 1.72%~59.38%。其中，单株产

表 3 不同播期藜麦品系性状指标的统计分析  
Table 3 Statistical analysis of traits of quinoa lines at different sowing dates

处理 Treatment	性状 Trait	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.	最小值 Min.	极差 Range	变异系数 CV (%)	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis
T1	株高	85.95	16.91	158.00	50.00	108.00	19.68	0.96	2.78
	茎粗	11.96	1.90	17.31	7.54	9.77	15.89	0.33	-0.20
	主穗长	22.69	6.04	40.00	11.00	29.00	26.61	0.36	0.11
	有效分枝数	10.05	4.12	30.00	3.00	27.00	40.98	1.98	6.58
	单株产量	24.02	14.74	94.03	5.15	88.88	61.39	2.24	7.33
	千粒重	3.18	0.67	4.20	1.56	2.64	20.93	-0.62	-0.22
	生育期	191.65	3.31	196.00	189.00	7.00	1.73	0.52	-1.69
T2	株高	132.32	19.30	195.00	89.00	106.00	14.59	0.33	0.43
	茎粗	14.64	2.77	23.29	9.84	13.45	18.90	0.57	0.67
	主穗长	25.92	7.64	54.00	12.00	42.00	29.46	1.33	3.01
	有效分枝数	12.61	3.94	29.00	4.00	25.00	31.27	0.77	2.80
	单株产量	34.30	16.15	93.85	8.18	85.67	47.07	1.37	2.53
	千粒重	3.26	0.64	4.30	2.00	2.30	19.50	-0.41	-1.11
	生育期	169.35	4.25	178.00	165.00	13.00	2.51	0.60	-0.42
T3	株高	150.86	18.57	182.00	102.00	80.00	12.31	-0.59	-0.01
	茎粗	13.84	1.79	18.02	10.46	7.56	12.90	0.33	-0.54
	主穗长	27.64	6.47	45.00	10.00	35.00	23.40	0.10	0.56
	有效分枝数	10.45	2.89	17.00	5.00	12.00	27.69	0.26	-0.36
	单株产量	23.79	14.13	77.01	3.46	73.55	59.38	1.22	1.60
	千粒重	2.83	0.68	3.78	0.86	2.92	23.99	-0.68	-0.30
	生育期	148.06	2.55	158.00	147.00	11.00	1.72	3.59	11.76

量、有效分枝数和主穗长的变异系数在 T1、T2 和 T3 处理下均为最大，生育期变异系数均为最小。从 T1、T2 和 T3 处理各项指标的平均值而言，平均株高、平均生育期和平均单株产量的变化相对较大，而平均主穗长、平均茎粗、平均有效分枝数和平均千粒重的变化相对较小。

### 2.3 不同播期藜麦品系的综合评价

由表 4 可知，17 份藜麦品系资源在 T1 处理下的平均隶属函数值排序为 Q5>Q9>Q202020>Q201913>Q8>Q4>Q6>Q201802>Q201833>Q201843>Q201808>Q2>Q1>Q201807>

Q201909>Q201904>Q7，其中 Q5、Q9 和 Q202020 的平均隶属函数值较高，生长综合表现最好；T2 处理下排序为 Q201909>Q201807>Q201913>Q9>Q201843>Q201904>Q1>Q7>Q8>Q202020>Q2>Q4>Q201802>Q5>Q201808>Q6>Q201833，其中 Q201909、Q201807 和 Q201913 的生长综合表现最好；T3 处理下排序为 Q201833>Q201913>Q201904>Q5>Q7>Q201909>Q201843>Q4>Q201808>Q201807>Q9>Q6>Q8>Q1>Q202020>Q201802>Q2，其中 Q201833、Q201913 和 Q201904 的生长综合表现

表 4 不同播期藜麦品系各性状的隶属函数值与综合评价

Table 4 Membership function values and comprehensive evaluation of different traits of quinoa lines at different sowing dates

处理 Treatment	品系 Line	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主穗长 Main panicle length	有效分枝数 Number of effective branches	单株产量 Yield per plant	千粒重 1000-grain weight	平均值 Mean	排序 Order
T1	Q1	0.068	0.252	0.580	0.029	0.076	0.575	0.263	13
	Q2	0.000	0.462	0.160	0.101	0.228	0.748	0.283	12
	Q4	0.416	0.172	0.654	0.072	0.355	0.909	0.430	6
	Q5	0.512	1.000	0.309	0.275	1.000	1.000	0.683	1
	Q6	0.313	0.355	0.173	0.188	0.505	0.921	0.409	7
	Q7	0.018	0.485	0.333	0.362	0.000	0.000	0.200	17
	Q8	0.388	0.495	0.420	1.000	0.206	0.339	0.474	5
	Q9	0.630	0.848	1.000	0.406	0.504	0.484	0.645	2
	Q201802	0.093	0.677	0.753	0.348	0.214	0.264	0.391	8
	Q201807	0.352	0.034	0.259	0.000	0.199	0.732	0.263	14
	Q201808	0.431	0.000	0.309	0.072	0.439	0.575	0.304	11
	Q201833	0.338	0.365	0.667	0.159	0.171	0.413	0.352	9
	Q201843	0.189	0.217	0.370	0.116	0.395	0.744	0.338	10
	Q201904	0.053	0.065	0.037	0.246	0.310	0.701	0.235	16
	Q201909	0.246	0.036	0.000	0.043	0.343	0.791	0.243	15
	Q201913	0.384	0.501	0.716	0.449	0.596	0.433	0.513	4
	Q202020	1.000	0.381	0.914	0.130	0.558	0.839	0.637	3
T2	Q1	1.000	0.621	1.000	0.367	0.036	0.155	0.530	7
	Q2	0.006	0.590	0.056	0.633	0.368	0.785	0.407	11
	Q4	0.396	0.177	0.099	0.367	0.542	0.800	0.397	12
	Q5	0.226	0.169	0.127	0.000	0.314	0.822	0.276	14
	Q6	0.158	0.000	0.000	0.510	0.053	0.794	0.253	16
	Q7	0.545	0.561	0.500	0.653	0.507	0.409	0.529	8
	Q8	0.424	0.629	0.521	0.796	0.633	0.143	0.524	9
	Q9	0.554	0.867	0.500	0.857	0.718	0.459	0.659	4
	Q201802	0.622	0.388	0.437	0.776	0.000	0.001	0.371	13
	Q201807	0.467	0.796	0.310	0.837	0.764	0.855	0.672	2
	Q201808	0.359	0.369	0.275	0.245	0.301	0.027	0.263	15
	Q201833	0.000	0.213	0.239	0.408	0.184	0.469	0.252	17
	Q201843	0.514	0.733	0.176	0.816	0.311	0.850	0.567	5
	Q201904	0.130	0.571	0.254	0.673	0.817	0.808	0.542	6
	Q201909	0.375	0.870	0.211	1.000	0.755	1.002	0.702	1
	Q201913	0.427	1.000	0.444	0.735	1.000	0.368	0.662	3
	Q202020	0.616	0.324	0.190	0.408	0.321	0.773	0.439	10

续表 4 Table 4 (continued)

处理 Treatment	品系 Line	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主穗长 Main panicle length	有效分枝数 Number of effective branches	单株产量 Yield per plant	千粒重 1000-grain weight	平均值 Mean	排序 Order
T3	Q1	1.000	0.322	0.688	0.077	0.000	0.056	0.357	14
	Q2	0.000	0.007	0.000	0.000	0.255	0.602	0.144	17
	Q4	0.387	0.303	0.679	0.359	0.382	0.917	0.505	8
	Q5	0.356	0.606	0.455	0.128	0.787	1.000	0.556	4
	Q6	0.260	0.097	0.384	0.359	0.186	0.947	0.372	12
	Q7	0.721	0.490	0.696	0.667	0.262	0.429	0.544	5
	Q8	0.461	0.236	0.393	0.205	0.186	0.664	0.357	13
	Q9	0.647	0.000	0.571	0.385	0.316	0.567	0.414	11
	Q201802	0.598	0.061	0.589	0.436	0.071	0.049	0.300	16
	Q201807	0.731	0.076	0.188	0.256	0.499	0.855	0.434	10
	Q201808	0.619	0.500	0.161	0.462	0.304	0.641	0.448	9
	Q201833	0.947	0.790	0.732	1.000	0.607	0.667	0.791	1
	Q201843	0.864	0.268	1.000	0.641	0.063	0.237	0.512	7
	Q201904	0.656	0.671	0.259	0.821	1.000	0.793	0.700	3
	Q201909	0.746	0.306	0.491	0.795	0.355	0.554	0.541	6
	Q201913	0.734	1.000	0.348	0.897	0.775	0.662	0.736	2
Q202020	0.551	0.555	0.438	0.462	0.038	0.000	0.340	15	

最好。

#### 2.4 藜麦农艺性状和产量指标的相关性

由表 5 可知，藜麦株高与茎粗、主穗长和有效

分枝数均呈极显著正相关，与千粒重和生育期呈极显著负相关。茎粗与主穗长、有效分枝数和单株产量均呈极显著正相关，与生育期呈极显著负相关。

表 5 藜麦农艺性状和产量指标的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between agronomic traits and yield indexes of quinoa

性状 Trait	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主穗长 Main panicle length	有效分枝数 Number of effective branches	单株产量 Yield per plant	千粒重 1000-grain weight
茎粗 Stem diameter	0.490**					
主穗长 Main panicle length	0.545**	0.350**				
有效分枝数 Number of effective branches	0.229**	0.512**	0.243**			
单株产量 Yield per plant	0.108	0.395**	0.022	0.279**		
千粒重 1000-grain weight	-0.211**	-0.030	-0.383**	-0.079	0.405**	
生育期 Growth period	-0.769**	-0.306**	-0.213**	-0.054	-0.044	0.096

“\*\*”表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

“\*\*\*” indicates extremely significant difference ( $P < 0.01$ ).

主穗长与有效分枝数呈极显著正相关，与千粒重和生育期呈极显著负相关。单株产量与有效分枝数和千粒重均呈极显著正相关。

#### 2.5 藜麦农艺性状和产量指标的双因素方差分析

由表 6 可知，藜麦株高、主穗长、千粒重和生育期受播期的影响最强，其次为品系差异，最后为播期与品系交互作用，且三者的影响均达极显著水平。藜麦茎粗受播期、品系、播期与品系交互作用影响显著，而有效分枝数和单株产量仅受品系、

表 6 藜麦农艺性状和产量指标的变异来源分析

Table 6 Analysis on variation sources of agronomic traits and yield indexes of quinoa

因素 Factor	项目 Item	df	F	P
品系 Line	株高	16	4.93	<0.001
	茎粗	16	2.36	0.003
	主穗长	16	3.92	<0.001
	有效分枝数	16	5.01	<0.001
	单株产量	16	2.28	0.004
	千粒重	16	21.36	<0.001
	生育期	16	23.09	<0.001

续表 6 Table 6 (continued)

因素 Factor	项目 Item	df	F	P
播期 Sowing date	株高	1	818.86	<0.001
	茎粗	1	32.57	<0.001
	主穗长	1	39.34	<0.001
	有效分枝数	1	0.66	0.418
	单株产量	1	0.01	0.912
	千粒重	1	53.91	<0.001
	生育期	1	32 201.74	<0.001
播期与品系交互作用 Interaction between sowing date and line	株高	16	5.79	<0.001
	茎粗	16	2.39	0.003
	主穗长	16	3.23	<0.001
	有效分枝数	16	4.03	<0.001
	单株产量	16	2.48	0.002
	千粒重	16	14.98	<0.001
	生育期	16	12.84	<0.001

品系和播期之间交互作用影响显著。

### 3 讨论

适宜的播期是保障作物正常生长发育、实现高产稳产的关键因素<sup>[27]</sup>。藜麦作为典型的短生命周期作物，具有喜冷凉和耐旱的特性，其生育期为 90~220 d，主要受播种时间及生长环境影响<sup>[28-30]</sup>。本研究表明，在滇西北金沙江低热河谷区的冬季，17 份供试藜麦品系于不同播期种植均能正常生长、开花并成熟结实，但在相同栽培条件下，不同播期下藜麦的生长周期存在明显差异。随着冬季播期推迟，平均生育期缩短，这与任永峰等<sup>[19]</sup>在内蒙古阴山北麓区夏季不同藜麦播期试验的研究结果基本一致，可能与不同播期下藜麦生长过程中环境温度的变异密切相关。

株高和茎粗是衡量植物营养生长状况及生物量的关键农艺性状，主穗长、有效分枝数和千粒重则是构成作物产量的重要指标<sup>[31-32]</sup>。本研究发现，T3 处理下藜麦的平均株高显著高于 T1 和 T2 处理，而 T1 处理的平均主穗长显著低于 T3 和 T2 处理。这可能与 T1 处理下藜麦幼苗生长时遭遇试验区冬季早霜有关，低温导致 T1 处理藜麦主穗受霜冻萎蔫、植株矮化，成熟期无明显主穗，结实率低，单株产量较差。综合分析，T2 处理藜麦的单株产量表现最优。研究<sup>[33]</sup>表明，受不同播期光照时长、温度（有效积温量和低温）及光合效率等综合生长因素差异的影响，藜麦幼苗期易受低温霜冻危害，同时，干热气候也会影响开花期授粉质量及灌浆期籽粒发育过程。此外，气温是藜麦繁殖生长期（灌

浆期和成熟期）籽粒中主要化合物合成及微量元素吸收利用的关键影响因素<sup>[34]</sup>，高温会抑制植物体内类黄酮、可溶性蛋白质和维生素 E 等重要营养成分的合成与积累效率<sup>[35]</sup>。因此，在藜麦冬季种植时，应根据区域气候差异合理安排播期，田间管理需重点关注幼苗期和显穗期低温霜冻的胁迫影响。

### 4 结论

17 份参试藜麦品系在滇西北金沙江低热河谷区冬季种植均可正常生长发育并成熟，初步筛选出该区域冬季适宜的播期为 12 月中旬，综合表现相对较好的藜麦品系为 Q201909、Q201807 和 Q201913。

#### 参考文献

- [1] Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(15): 2541-2547.
- [2] Gómez C A M, Iafelice G, Lavini A, et al. Phenolic compounds and saponins in quinoa samples (*Chenopodium quinoa* Willd.) grown under different saline and nonsaline irrigation regimens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(18): 4620-4627.
- [3] 任永峰. 内蒙古阴山北麓藜麦生长发育、水肥利用和产量形成特性研究. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [4] Pathan S, Siddiqui R A. Nutritional composition and bioactive components in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) greens: a review. *Nutrients*, 2022, 14(3): 558.
- [5] 魏玉明, 杨发荣, 刘文瑜, 等. 藜麦不同生育期营养物质积累与分配规律. *草业科学*, 2018, 35(7): 1720-1727.
- [6] Sadaqat S S, Shi L X, Li Z J, et al. Yield, agronomic and forage quality traits of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes in Northeast China. *Agronomy*, 2020, 10(12): 1908.
- [7] 贡布扎西, 旺姆, 张崇玺, 等. 南美藜在西藏的生物学特性研究. *西北农业学报*, 1994, 3(4): 81-86.
- [8] 石振兴, 杨修仕, 么杨, 等. 60 份国内外藜麦材料子粒的品质性状分析. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(1): 88-93.
- [9] 杨发荣, 黄杰, 魏玉明, 等. 藜麦生物学特性及应用. *草业科学*, 2017, 34(3): 607-613.
- [10] Tan M, Temel S. Performance of some quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in different climate conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 2018, 23(2): 180-186.
- [11] 徐天才, 和桂青, 李兆光, 等. 不同海拔藜麦的营养成分差异性研究. *中国农学通报*, 2017, 33(17): 129-133.
- [12] Jacobsen S E. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 2003, 19(1/2): 167-177.
- [13] 杨招娣, 郭凤根, 王仕玉, 等. 植物生长抑制剂对藜麦农艺性状和穗发芽抗性的影响. *中国农业科技导报*, 2024, 26(5): 44-51.
- [14] 魏志敏, 李顺国, 和剑涵, 等. 藜麦规模化发展现状及建议. *世界热带农业信息*, 2021(2): 56-57.

- [15] 贡布扎西, 旺姆, 张崇玺, 等. 南美藜在西藏的生物学特性表现. 西南农业学报, 1994, 7(3): 54-62.
- [16] 王倩朝, 张慧, 刘永江, 等. 播期对藜麦主要农艺及品质性状的影响. 云南农业大学学报(自然科学), 2020, 35(5): 737-742.
- [17] 张新民, 吾其木·吐孙, 麦提江·居麦. 藜麦高产栽培技术. 农村科技, 2020(2): 13-14.
- [18] 黄杰, 李敏权, 潘发明, 等. 不同播期对藜麦农艺性状及品质的影响. 灌溉排水学报, 2015, 34(增1): 259-261.
- [19] 任永峰, 梅丽, 杨亚东, 等. 播期对藜麦农艺性状及产量的影响. 中国生态农业学报, 2018, 26(5): 643-656.
- [20] 陈奕浪, 范道付, 吴应齐, 等. 播期对藜麦农艺性状及产量的影响. 浙江农业科学, 2021, 62(8): 1492-1496.
- [21] 刘俊娜, 孔治有, 张平, 等. 不同播期藜麦主要营养及抗氧化成分分析. 江苏农业学报, 2020, 36(5): 1082-1087.
- [22] 张晓玲, 袁加红, 何丽, 等. 云南省高海拔低温干旱山区藜麦种植技术探讨. 安徽农业科学, 2018, 46(30): 45-46, 50.
- [23] 刘正杰, 李玉平, 张盟, 等. 云南省藜麦引进栽培及产业发展现状研究. 现代农业科技, 2021(10): 4-9.
- [24] 郑晓明, 杨庆文. 中国农业生物多样性保护进展概述. 生物多样性, 2021, 29(2): 167-176.
- [25] 翟西均. 藜麦品种区域试验记载项目与标准. 中国种业, 2016(5): 25-26.
- [26] 王艳青, 卢文洁, 李春花, 等. 10 个藜麦新品系主要农艺性状分析与综合评价. 南方农业学报, 2019, 50(3): 540-545.
- [27] 张永泽, 王瑞刚, 王艺媚, 等. 播期和施氮量对中籼杂交稻群体质量、产量及氮素吸收利用的影响. 河南农业科学, 2024, 53(4): 37-46.
- [28] 阿图尔·博汗格瓦, 希尔皮·斯利瓦斯塔瓦. 藜麦生产与应用. 北京: 科学出版社, 2014.
- [29] 任贵兴, 杨修仕, 么杨. 中国藜麦产业现状. 作物杂志, 2015(5): 1-5.
- [30] 李兆光, 杨文高, 和桂青, 等. 滇西北藜麦氮磷钾生态化学计量特征的物候期动态. 植物生态学报, 2023, 47(5): 724-732.
- [31] 张燕红, 郭占斌, 刘瑞香. 50 份藜麦种质资源农艺性状的综合分析与评价. 中国农业科技导报, 2024, 26(6): 45-54.
- [32] 刘敏国, 王士嘉, 陆姣云, 等. 河西走廊藜麦 C、N、P 生态化学计量学特征对物候期的响应. 干旱区研究, 2018, 35(1): 192-198.
- [33] 梅丽, 郭自军, 王立臣, 等. 15 份藜麦资源在北京地区的生态适应性评价. 中国农业大学学报, 2019, 24(9): 27-36.
- [34] 王艳青, 李春花, 卢文洁, 等. 135 份国外藜麦种质主要农艺性状的遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2018, 19(5): 887-894.
- [35] 常丽, 周昕, 汪贵斌. 温度和干旱胁迫对银杏叶代谢物含量的影响. 林业科技开发, 2013, 27(6): 52-55.

## Effects of Winter Sowing Date on Agronomic Traits and Yield of Quinoa in Northwestern Yunnan, China

Yang Wengao, Yuan Wenjue, Li Zhaoguang, He Guiqing,  
He Qiongji, Wang Rui, Li Yan, Ye Lei, Hou Zhijiang

(Institute of Alpine Economic Plants, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Lijiang 674100, Yunnan, China)

**Abstract** This study used 17 selected quinoa lines as experimental materials and established three sowing dates: November 10, 2022 (T1), December 15, 2022 (T2), and January 5, 2023 (T3), to analyze the effects of sowing date on quinoa agronomic traits and yield. The results showed that delaying the sowing date shortened the average growth period from 191.7 d (T1) to 148.1 d (T3), a reduction of 44.0 d for late sowing compared to early sowing. Under T3 treatment, quinoa exhibited the highest average plant height but the lowest 1000-grain weight. Under T2 treatment, the average stem diameter, number of effective branches, and yield per plant were all the highest. Under T1 treatment, the average main panicle length was the shortest. Correlation analysis showed that the yield per plant had a highly significantly positive correlation with stem diameter, number of effective branches, and 1000-grain weight. Two-way ANOVA showed that plant height, main panicle length, 1000-grain weight, and growth period were most strongly affected by sowing date. In contrast, number of effective branches and yield per plant were only significantly affected by the line and the interaction between line and sowing date. In conclusion, the most suitable winter sowing date for quinoa in the low-heat valley area of the Jinsha River in northwest Yunnan is mid-December (T2). Under this sowing date, lines Q201909, Q201807, and Q201913 exhibited the best comprehensive performance in agronomic traits and yield, making them suitable for winter cultivation in the low-heat valley areas of Yunnan and similar climatic regions.

**Key words** Quinoa; Winter sowing; Yunnan; Agronomic traits; Yield