

播期对直播高粱生长发育及产量的影响*

周 瑜, 黄 娟, 吴 毓, 李泽碧, 张亚勤, 奚 江, 张晓春**

(重庆市农业科学院 特色作物研究所, 重庆 402160)

摘要:【目的】高粱是中国白酒的主要原料, 其产量受生育期生态条件的影响很大, 直播是轻简化栽培趋势下的必然选择, 探讨直播条件下播期对不同高粱品种生长发育及产量的影响, 为西南地区直播高粱高产、高效生产提供依据。【方法】以 5 个西南地区主栽高粱品种为材料, 设置 5 个播期, 研究了播期对直播高粱出苗率、生育期、光合性能和产量及其构成因素的影响, 并分析其与气象因子的关系。【结果】播期对高粱生长发育及产量形成均有显著的影响, 品种间变化趋势相似, 但变异程度存在差异。随着播期的推迟, 高粱出苗率显著增加, 生育期缩短, 主要表现在播种—抽穗的生育日数明显缩短。抽穗期顶三叶 SPAD 值和叶面积指数(LAI)均呈先上升后下降的趋势。结实率、千粒重、穗粒重和产量均随播期的推迟而降低。高粱出苗率与播种后 7 d 均温、有效积温和降雨量呈极显著正相关; 生育期和产量与抽穗前和全生育期均温呈极显著负相关。【结论】较迟播而言, 早播高粱生育期延长, 产量较高, 但出苗率低。西南地区直播高粱的适宜播期为 4 月 15 日—5 月 2 日。

关键词: 播期; 直播高粱; 生长发育; 产量

中图分类号: S 352.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X(2019)03-0384-09

Effects of Sowing Date on the Growth and Yield of Direct Seeding Sorghum of Different Varieties

ZHOU Yu, HUANG Juan, WU Yu, LI Zebi, ZHANG Yaqin, XI Jiang, ZHANG Xiaochun

(Institute of Characteristic Crops Research, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 402160, China)

Abstract: [Purpose] Sorghum is the main raw material of Chinese liquor, the yield of which is affected by ecological condition of growth period greatly. Direct seeding, one of most important simplified cultivation ways is more and more popular. This study was conducted to elucidate the effect of sowing date on growth and grain yield of direct seeding sorghum, expecting to provide a reference for high-efficient production of direct seeding sorghum in the Southwest China. [Method] Five sorghum varieties mainly grown in Southwest China were used as materials, and five sowing dates were designed. The emergence rate, growth stage, photosynthetic characteristics and yield were measured and the correlation between these characters above and ecological factors was analyzed. [Result] Sowing date had a significant effect on the growth and yield of sorghum, with similar trend but different extent of variation among cultivars. Along with the delay of sowing date, the emergence rate of direct seeding sorghum increased significantly, and the growth stage shortened, primarily causing by the

收稿日期: 2017-12-15

修回日期: 2018-03-11

网络出版时间: 2019-03-16

*基金项目: 重庆市科研机构绩效激励引导专项(cstc2018jxjl80008); 重庆市社会民生科技创新专项(cstc2017shms-xdny80034); 永川区自然科学基金(Ycstc, 2017nc1001)。

作者简介: 周瑜(1987—), 女, 重庆市人, 博士, 助理研究员, 主要从事高粱高效轻简栽培研究。

E-mail: xinganmermer@163.com

**通信作者 Corresponding author: 张晓春(1967—), 男, 重庆人, 硕士, 研究员, 主要从事作物栽培和特色作物育种研究。E-mail: 1546688922@qq.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201712025](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201712025)



lessening of days between sowing and heading. The SPAD of top three leaves and LAI in heading stage both increased firstly and then declined. The seed setting rate, 1 000-grain weight, grain weight per ear and yield all decreased with the delay of sowing date. There were highly significant positive correlations between emergence rate and average temperature, effective accumulative temperature and rainfall of 7 days after sowing. The growth stage and yield of sorghum had highly significant negative correlations with average temperature of the period before heading and the whole growth stage.

[**Conclusion**] Compared with sowing late, sowing early had the advantages of longer growth stage, higher yield, but the disadvantage of lower emergence rate. The suitable sowing date was recommended between April 15th and May 2nd for direct seeding sorghum in Southwest China.

Keywords: sowing date; direct seeding sorghum; growth; yield

高粱[*Sorghum bicolor* (L.) Moench]是面积仅次于小麦、玉米、水稻、大麦的第五大谷类作物, 中国高粱种植面积约 62 万 hm^2 , 居世界第 6 位 (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>, 2017)。高粱是酿造白酒的主要原料, 而西南地区是酿酒糯高粱的主产区和优势产区。传统高粱生产多采用育苗移栽的种植方式, 工序烦琐、劳动量大、效率低, 因而直播渐渐成为高粱栽培的发展趋势。而直播高粱播种过早会由于气温过低影响出苗和苗期生长发育, 推迟播期则可能在开花或灌浆期遭遇高温热害, 影响结实, 最终导致产量损失。生育期间的光、温和水等生态因子与作物生长发育密切相关, 播期可适当调节光、温因子^[1], 改善群体生育期环境条件, 影响作物生长发育、光合性能、产量、品质和病害发生^[2-6]。山西高粱生育期积温、降水量随播期的推迟而减少, 产量与积温和降水量呈正相关^[7]。南非地区的高粱通过降低叶片数、郁闭度、叶绿素含量和气孔导度以及加快生育进程以适应迟播(1月26日)导致的降水不足^[8]。新疆玛纳斯地区甜高粱叶片叶绿素含量、净光合速率在不同播期之间均存在显著差异, 温度是影响甜高粱糖分积累过程的关键气象因子^[9]。随播期延后, 叶绿素含量呈下降趋势, 叶面积指数呈上升趋势, 单株干物质积累量随之增加^[10]。不同高粱品种在不同地区的适宜播期不同, 红缨子在贵州的适宜播期为4月15日前后^[11], 山西中部地区夏播高粱晋杂30号适宜播期为6月15—30日^[12]。适时晚播(沈阳地区在5月10—20日)可提高高粱籽粒总淀粉、支链淀粉含量和支链/直链淀粉比值, 改善品质^[13]。辽甜1号和辽甜3号在南宁地区的适宜播期是4月下旬, 能获得较高的茎秆和籽粒产量, 茎秆汁液

锤度也较高^[14]。美国得克萨斯州高粱4月15日播种的霜霉病发病率较3月8日播种低且籽粒产量更高^[15]。然而, 以往研究多以单一高粱品种或同一类型的不同品种为研究对象, 缺乏多个品种间的比较研究, 且针对直播高粱尚无系统研究, 报道较少。因此, 本研究通过对不同品种高粱的分期播种试验, 分析不同播期下高粱生长发育和产量的变化规律, 以期西南地区高粱直播高产、高效生产提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 供试地点与品种

试验于2017年在重庆市永川区卫星湖街道南华村重庆市农业科学院渝西作物试验站(N29.52°、E107.64°, 海拔298 m)实施, 供试土壤为紫色土, 耕层土壤pH为5.6, 有机质含量22.3 g/kg, 全氮1.31 g/kg, 速效氮119.0 mg/kg, 速效磷25.0 mg/kg, 速效钾74.7 mg/kg。

选用西南地区主栽酿酒糯高粱品种5个, 包括2个常规种: 国窖红1号、红青壳(分别由四川省农科院水稻高粱研究所和贵州省仁怀市聚农科技发展有限公司提供), 3个杂交种: 川糯梁1号、泸糯8号(四川省农科院水稻高粱研究所提供)和晋渝糯3号(重庆市农业科学院特色作物研究所提供)。

1.2 试验设计

试验设置5个播期, 分别为03-17、04-15、05-02、05-15和05-27, 采用裂区设计, 以播期为主区, 品种为副区, 3次重复, 共计75个小区。行长5 m, 行距0.5 m, 小区面积15 m^2 (5 m×3 m), 种植密度为7 000株/667 m^2 。穴播, 播后苗前进行封闭除草, 3~4叶期间苗, 5~6叶期定

苗, 每穴留苗 2 株。中间 1 行定量播种, 每穴播 20 粒, 调查出苗率。基施复合肥 $[m(N):m(P):m(K)=15:15:15]$ $50\text{ kg}/667\text{ m}^2$, 拔节期追施尿素 $12\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 。田间管理按高产栽培要求进行。

1.3 测定项目与方法

(1) 3~4 叶期间苗前调查出苗率。

出苗率=苗数/20×100%。

(2) 生育进程、生育日数按照《高粱种质资源描述规范和数据标准》^[16]进行调查分析。

(3) 抽穗期选择晴朗、无风的天气, 每小区选 5 株有代表性、长势一致的植株, 采用日本 Konica Minolta 公司生产的 SPAD-502 Plus 便携式叶绿素计, 测定顶三叶 (旗叶、倒 2 叶和倒 3 叶) 叶片的 SPAD 值, 测定时选取叶片的上、中、下 3 个部位, 然后计算平均值。取 3 株测量叶面积。单叶面积=长×宽×0.75;

叶面积指数 (LAI)=单株叶面积×单位土地面积株数/单位土地面积。

(4) 花后 10~15 d 取穗上、中、下部籽粒各 100 粒, 计算结实率。

结实率=上中下部灌浆籽粒总数/300×100%。

(5) 成熟期选取长势均匀的 10 株, 测定穗粒重、千粒重, 每小区收获后风干脱粒, 测定折算实产。

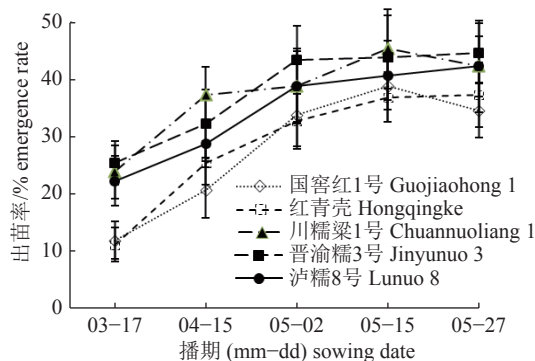
(6) 日最高温、日最低温、日均温度、日降雨量和日照时间等气象数据由重庆市农业科学院自动气象站提供。

采用 Microsoft Excel 2010 整理数据, SPSS 19.0 软件进行统计分析, 用 Duncan 法进行多重比较 ($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 播期对直播高粱出苗的影响

高粱出苗率在品种和播期间的差异极显著 ($P<0.01$), 且品种和播期的互作效应也达极显著水平 ($P<0.01$)。出苗率随播期的推迟而增加 (图 1), 国窖红 1 号、红青壳和川糯梁 1 号在 05-15 播种的出苗率最高, 显著高于在 03-17、04-15 和 05-02 播种 ($P<0.05$); 晋渝糯 3 号和泸糯 8 号在 05-27 播种的出苗率最高, 显著高于 03-17 和 04-15 播种 ($P<0.05$)。常规种的出苗能力较弱, 在所有的播期下出苗率均低于杂交种。



注: 误差线为标准差, 下同。

Note: The error bars are standard deviations, the same as below.

图 1 播期对不同高粱品种出苗率的影响

Fig. 1 Effects of sowing date on the emergence rate of different sorghum varieties

2.2 播期对直播高粱生长发育的影响

2.2.1 播期对直播高粱生育期的影响

随着播期的推迟, 高粱生育期呈缩短趋势 (表 1), 03-17 播种生育期最长, 随播期推迟依次递减, 05-27 播种生育期最短。其中红青壳生育期下降幅度最大, 达 34 d; 其次为国窖红 1 号和泸糯 8 号, 下降幅度均为 31 d; 晋渝糯 3 号下降幅度最小, 为 28 d。生育期随播期的推迟而缩短主要表现在营养生长阶段和营养生长与生殖生长并进阶段缩短, 播期为 05-27 播种到抽穗阶段的时间比播期 03-17 缩短 23 d (晋渝糯 3 号)~30 d (国窖红 1 号、泸糯 8 号)。抽穗至成熟阶段长短随播期变化没有明显规律, 泸糯 8 号 (0~2 d) 和国窖红 1 号 (0~4 d) 变化范围较小, 其他 3 个品种变化范围为 3~14 d。

2.2.2 播期对高粱功能叶片光合性能的影响

抽穗期高粱顶三叶叶绿素相对值 (SPAD) 在品种和播期间的差异极显著 ($P<0.01$), 且品种和播期的互作效应也达极显著水平 ($P<0.01$); 叶面积指数 (LAI) 在品种和播期间存在极显著差异 ($P<0.01$), 但品种和播期的互作效应不显著。抽穗期顶三叶 SPAD 值随播期的推迟呈先上升后下降的趋势 (图 2), 除红青壳在 05-27 播种的 SPAD 值最小外, 其余 4 个品种均在 03-17 播种最小; 国窖红 1 号和川糯梁 1 号在 05-02 播种的 SPAD 达到最大值, 红青壳在 04-15 播种达到最大值, 而晋渝糯 3 号和泸糯 8 号 SPAD 最大值出现在播期 05-15。常规种 SPAD 值在播期间波动较大, 变异系数 (CV) 分别为 7.44% (国窖红 1 号) 和 5.91%

(红青壳), 杂交种 SPAD 值在播期间变异相对较小, CV 分别为 3.48% (川糯梁 1 号)、2.33% (晋渝糯 3 号) 和 3.96% (泸糯 8 号)。

抽穗期 LAI 随播期的推迟也呈先上升后下降

表 1 不同播期处理高粱的生育进程

Tab. 1 The growing process of sorghum under different treatments

品种 varieties	播期 sowing date	生育进程 growing process (mm-dd)		各生育阶段时间/d growth period		
		抽穗期 heading	成熟期 maturity	播种—抽穗 sowing-heading	抽穗—成熟 heading-maturity	生育日数 growth stage
国窖红 1 号 Guojiaohong 1	03-17	06-21	07-28	96	37	133
	04-15	07-15	08-17	91	33	124
	05-02	07-16	08-22	75	37	112
	05-15	07-26	08-30	72	35	107
	05-27	08-01	09-06	66	36	102
红青壳 Hongqingke	03-17	06-20	08-04	95	45	140
	04-15	07-14	08-21	90	38	128
	05-02	07-25	08-29	84	35	119
	05-15	08-01	09-01	78	31	109
	05-27	08-05	09-10	70	36	106
川糯梁 1 号 Chuannuoliang 1	03-17	06-08	07-20	83	42	125
	04-15	07-10	08-09	86	30	116
	05-02	07-12	08-16	71	35	106
	05-15	07-21	08-23	67	33	100
	05-27	07-22	08-30	56	39	95
晋渝糯 3 号 Jinyunuo 3	03-17	06-16	07-23	91	37	128
	04-15	07-13	08-15	89	33	122
	05-02	07-21	08-20	80	30	110
	05-15	07-29	08-27	75	29	104
	05-27	08-03	09-04	68	32	100
泸糯 8 号 Lunuo 8	03-17	06-19	07-27	94	38	132
	04-15	07-15	08-20	91	36	127
	05-02	07-18	08-25	77	38	115
	05-15	07-26	08-31	72	36	108
	05-27	07-30	09-05	64	37	101

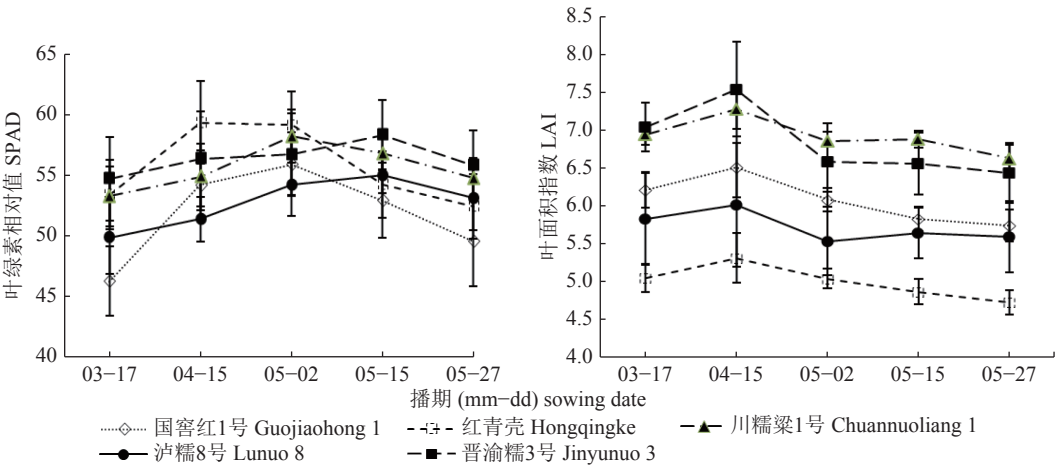


图 2 播期对不同高粱品种光合性能的影响

Fig. 2 Effects of sowing date on the photosynthetic characteristics of different sorghum varieties

的趋势,所有的品种均在播期。04-15 达到最大值,播期。05-27 的 LAI 最小。除泸糯 8 号外,其余品种抽穗期 LAI 在播期间的差异显著 ($P<0.05$)。

2.3 播期对直播高粱产量及产量构成因素的影响

方差分析结果表明:高粱结实率、千粒重、穗粒重和产量均极显著受品种和播期的影响 ($P<0.01$),且除千粒重外,其余各性状的品种与播期的互作效应也均达极显著 ($P<0.01$) 或显著水平 ($P<0.05$)。高粱产量及其构成因素随播期推迟,呈逐渐下降的趋势,但不同品种的变化程度不同 (表 2)。结实率变异程度最大的是国窖红

1 号, CV 为 11.99%, 其次为泸糯 8 号, CV 为 9.52%; 千粒重变异程度最大的是红青壳, CV 为 11.17%, 其次为国窖红 1 号, CV 为 8.57%; 穗粒重变异程度最大的是川糯梁 1 号, CV 为 15.08%, 其次为晋渝糯 3 号, CV 为 13.49%; 产量变异程度最大的是川糯梁 1 号, CV 为 13.39%, 其次为红青壳, CV 为 12.25%。常规种穗粒重在播期间变化幅度较小,杂交种各播期间的结实率和千粒重变异程度较小。国窖红 1 号前 4 个播期的产量均无显著差异,受播期的影响最小;晋渝糯 3 号产量及其构成因素在播期间的变异范围较小,在

表 2 播期对直播高粱产量及其构成因素的影响 (mean±SD)

Tab. 2 Effect of sowing date on the yield and components of direct seeding sorghum

品种 varieties	播期 sowing date	结实率/% seed setting rate	千粒重/g 1 000-grain weight	穗粒重/g grain weight per ear	产量/kg yield
国窖红 1 号 Guojiaohong 1	03-17	96.8±1.32 a	18.96±0.69 a	60.48±4.88 a	372.99±23.03 a
	04-15	86.3±2.16 b	18.61±0.74 a	58.68±3.78 a	363.35±26.15 a
	05-02	85.3±2.16 b	17.79±1.16 ab	56.70±3.74 a	364.31±15.89 a
	05-15	74.1±3.60 c	16.86±0.91 b	54.74±3.66 a	347.63±19.73 a
	05-27	72.5±3.21 c	15.23±0.55 c	47.74±2.76 b	307.51±10.61 b
	CV/%	11.99	8.57	8.85	7.42
红青壳 Hongqingke	03-17	95.6±2.22 a	20.46±0.83 a	34.70±3.72 a	256.32±19.62 a
	04-15	86.5±1.96 c	18.20±0.53 b	33.40±2.72 a	248.58±9.07 a
	05-02	90.1±2.33 b	17.90±0.77 b	33.76±2.42 a	233.62±12.32 ab
	05-15	77.1±5.74 e	16.07±0.28 c	29.84±2.59 ab	214.28±15.71 b
	05-27	82.1±2.33 d	15.48±0.35 c	27.86±2.37 b	187.08±14.71 c
	CV/%	8.26	11.17	9.15	12.25
川糯梁 1 号 Chuannuoliang 1	03-17	96.9±1.37 a	27.13±0.34 a	67.38±2.57 a	451.69±20.38 a
	04-15	87.2±3.16 b	25.80±0.62 b	64.62±5.04 a	436.38±28.02 ab
	05-02	85.2±3.08 c	24.66±0.29 c	52.44±5.24 b	400.45±20.42 bc
	05-15	78.0±2.50 c	23.46±0.41 d	46.88±4.49 b	321.61±22.42 d
	05-27	77.5±2.27 c	22.05±0.78 e	54.20±2.70 b	365.69±19.90 c
	CV/%	9.34	8.04	15.08	13.39
晋渝糯 3 号 Jinyunuo 3	03-17	96.5±1.35 a	29.30±0.80 a	65.88±4.36 a	467.09±28.84 a
	04-15	86.4±1.51 b	28.33±0.52 ab	66.14±3.97 a	454.08±19.25 ab
	05-02	86.0±2.40 b	27.35±0.85 b	59.28±4.13 a	414.96±14.18 bc
	05-15	78.3±2.00 c	27.14±0.64 b	52.16±3.44 b	374.84±23.02 c
	05-27	79.1±2.38 c	25.43±0.57 c	48.76±2.74 b	382.80±28.79 c
	CV/%	8.59	5.25	13.49	9.86
泸糯 8 号 Lunuo 8	03-17	97.3±1.38 a	26.40±0.59 a	64.27±2.71 a	443.22±17.35 a
	04-15	86.5±1.58 b	25.28±0.86 a	61.12±7.71 ab	427.84±26.15 a
	05-02	85.3±2.95 b	23.67±0.57 b	60.38±5.69 ab	429.66±32.63 a
	05-15	78.4±2.17 c	23.22±0.67 b	54.03±4.16 bc	373.85±24.39 b
	05-27	77.0±1.70 c	22.86±0.58 b	48.09±2.57 c	333.32±13.86 b
	CV/%	9.52	6.18	11.25	11.57

注: 同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Note: Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

播期间能保持较稳定的产量; 川糯梁 1 号受播期的影响最大, 对生态因子的反应最为敏感。

2.4 高粱产量性能指标与生态因子的相关分析

温度和水是影响高粱出苗的决定性因素, 将出苗率与播后 7 d 的均温、最高温、最低温、有效积温和降雨量进行相关分析, 结果发现: 高粱出苗率与播种后 7 d 均温 ($r=0.800$, $P<0.01$)、有效积温 ($r=0.799$, $P<0.01$) 和降雨量 ($r=0.723$, $P<0.01$) 均呈极显著正相关。

对抽穗前、抽穗后和全生育期的均温、有效积温、降雨量和日照时间分别与高粱产量性能构成指标进行相关分析 (表 3)。结果表明: 高粱生育日数与抽穗前均温 ($r=-0.872$, $P<0.01$) 和全生育期均温 ($r=-0.860$, $P<0.01$) 存在极显著负相关关系, 相关程度较高; 与抽穗后日照时间 ($r=0.508$, $P<0.01$) 呈极显著正相关。拔节到抽穗是高粱生长发育最旺盛的阶段, 温度偏高生长加快, 使高粱播种到抽穗的天数减少, 整个生育期缩短。高粱是短日照作物, 日照时间延长, 会延长生育期。

抽穗期高粱顶三叶 SPAD 与抽穗前均温 ($r=0.549$, $P<0.01$) 和全生育期均温 ($r=0.581$, $P<0.01$) 呈极显著正相关; LAI 与全生育期降水量呈

显著负相关 ($r=-0.403$, $P<0.05$)。

高粱结实率与抽穗前均温 ($r=-0.931$, $P<0.01$)、抽穗前有效积温 ($r=-0.397$, $P<0.05$)、抽穗后均温 ($r=-0.444$, $P<0.05$) 和全生育期均温 ($r=-0.929$, $P<0.01$) 存在极显著或显著的负相关关系, 与抽穗后日照时间呈显著正相关 ($r=0.421$, $P<0.05$)。进一步将结实率与开花期气候条件进行相关分析, 结果显示: 高粱结实率与开花期最高温 ($r=-0.819$, $P<0.01$)、最低温 ($r=-0.531$, $P<0.01$)、均温 ($r=-0.699$, $P<0.01$) 和有效积温 ($r=-0.698$, $P<0.01$) 均存在极显著负相关关系。穗粒重与抽穗前均温 ($r=-0.455$, $P<0.05$)、全生育期均温 ($r=-0.434$, $P<0.05$)、全生育期有效积温 ($r=-0.467$, $P<0.05$) 和全生育期降雨 ($r=-0.397$, $P<0.05$) 呈显著负相关。产量与抽穗前均温 ($r=-0.435$, $P<0.05$)、全生育期均温 ($r=-0.408$, $P<0.05$)、全生育期有效积温 ($r=-0.464$, $P<0.05$) 和全生育期降雨 ($r=-0.425$, $P<0.05$) 呈显著负相关。

3 讨论

3.1 播期对直播高粱出苗的影响

高粱在种子萌发和萌发后对低温的耐受能力较弱^[7], 早春播种经常遭遇低温, 导致出苗率低

表 3 高粱产量性能指标与生态因子间的相关分析

Tab. 3 Correlation coefficients between the yield performance equation parameters and the ecological factors

生育阶段 growing phase	生态因子资源 ecological factor resources	生育日数 growth stage	SPAD	LAI	结实率 seed setting rate	千粒重 1 000-grain weight	穗粒重 grain weight per ear	产量 yield
抽穗前 before heading	均温 mean temperature	-0.872**	0.549**	-0.289	-0.931**	-0.372	-0.455*	-0.435*
	有效积温 effective accumulated temperature	-0.110	0.154	-0.395	-0.397*	-0.340	-0.366	-0.381
	降雨量 rainfall	0.130	-0.129	-0.053	-0.118	-0.092	0.007	-0.028
	日照时间 sunshine	0.175	-0.035	-0.340	-0.117	-0.232	-0.223	-0.250
抽穗后 after heading	均温 mean temperature	-0.288	0.200	0.106	-0.444*	-0.085	-0.083	-0.067
	有效积温 effective accumulated temperature	0.275	0.147	0.146	0.144	0.004	-0.138	-0.106
	降雨量 rainfall	-0.056	0.200	-0.132	0.078	-0.053	-0.145	-0.141
	日照时间 sunshine	0.508**	-0.043	0.238	0.421*	0.127	0.027	0.049
全生育期 the whole growth stage	均温 mean temperature	-0.860**	0.581**	-0.213	-0.929**	-0.338	-0.434*	-0.408*
	有效积温 effective accumulated temperature	0.075	0.259	-0.300	-0.296	-0.346	-0.467*	-0.464*
	降雨量 rainfall	0.186	0.029	-0.403*	-0.040	-0.326	-0.397*	-0.425*
	日照时间 sunshine	0.262	-0.056	-0.346	0.061	-0.207	-0.290	-0.281

注/Note: * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

或“粉种”、霉烂,造成高粱减产^[18]。有关高粱出苗的研究均针对北方种植区,南方地区由于气温较高,直播高粱早春播种出苗率低的问题未得到重视。重庆地区 5 月中下旬播种高粱,其出苗率显著高于 3 月中旬到 4 月中旬。高粱种子胚轴伸长潜力大小是出苗率高低的决定因素,一般温度越高,上胚轴伸长长度越长^[19]。本试验中杂交种的出苗能力显著高于常规种,一方面由于杂交种籽粒比常规种大,种子活力较高^[20],另一方面由于不同基因型高粱胚轴伸长潜力大小存在差异,具体原因有待进一步研究。

3.2 播期对直播高粱生长发育的影响

播期变化,使高粱不同生育阶段所处的气象条件不同,从而影响高粱生育进程。本研究结果显示:随着播期的推迟,直播高粱的生育期明显缩短,生育期长短与抽穗前均温和全生育期均温存在极显著负相关关系。播期推迟,气温升高,高粱生长发育快。不同播期夏高粱生育期差异显著,随着播期的推迟,夏高粱全生育期明显缩短^[21]。不同播期造成的温度差异主要影响高粱生长前期,而对高粱后期生长的影响不大,表现在播种—抽穗的生育日数明显缩短,而抽穗—成熟的天数变化不大,张效梅^[22]也得出相似结论,甜高粱受播期影响的生育期差异也表现出类似的规律^[23]。播期推迟导致玉米生育期缩短的原因主要是出苗—吐丝的历期缩短明显^[24],而抽雄—完熟所需日期变化不大^[25]。

叶片叶绿素含量是反映生理活性变化的重要指标之一,直接影响光合速率和光合产物形成。顶三叶是灌浆期的主要光合器官,其叶绿素含量对产量形成至关重要^[26]。本研究中,在试验播期范围内,抽穗期顶三叶 SPAD 值随播期的推迟先上升后下降,除红青壳在 05-27 播种的 SPAD 值最小外,其余 4 个品种均为 03-17 播种最小。分析其原因可能是由于早播生育前期温度低,生长较慢^[27],而后 SPAD 下降可能与降雨增多、太阳辐射不足有关。

叶面积的大小及其动态直接影响作物群体的净光合速率,进而影响产量。较大的叶面积指数(LAI)能够保证有较大的光能截获量,但光截获率过高,尤其是在生育后期,将削弱中下部叶片对光能的吸收,降低群体光合能力^[28]。本研究中,随着播期的推迟,LAI 呈先上升后下降的趋

势,播期为 04-15 的 LAI 最大。合理的 LAI 能够保证获得较高的产量。开花前较高的叶面积指数为干物质积累提供了保障,有利于籽粒产量的形成^[29]。叶片伸出、延展和最终叶面积均受播期影响^[30]。张效梅^[22]发现:随着播期推迟,叶片数和叶面积呈规律性递减。高粱适当早播,生育期延长,叶片数增多,功能叶片数相应也增多,并且维持时间长,光合物质产量增加。

3.3 播期对直播高粱产量的影响

不同播期使作物各生育时期处于不同的光照、热量和降水等生态条件下,影响作物的生长发育和产量形成。春大麦晚播营养生长阶段和籽粒灌浆期缩短,导致粒重和单株穗数降低,产量减少^[31]。高粱品种晋杂 23 号和晋中 405 在山西 5 月 2 日播种的产量显著高于 5 月 12 日播种^[32]。针对西南地区前期低温阴雨,后期高温伏旱的气候特征,王天聆等^[11]认为红缨子在贵州的适宜播期可安排在 4 月 15 日前后,推迟播期高粱单穗粒重、千粒重和产量都下降。本研究结果显示:直播高粱产量及其构成因素随播期的推迟而降低,与前人研究结果一致。

高粱和玉米一样是喜温作物,温度是影响其生长发育的重要生态因子,温度影响作物生育期,从而影响光有效辐射截获率和生长发育,最终影响产量^[33]。生育期有效积温是影响玉米产量最主要的生态因子,在生产上可通过适期早播延长玉米的生育周期,增加玉米的有效积温,从而达到提高玉米产量的目的^[4]。雨养旱地春玉米产量与播种时土壤含水率、吐丝前降雨量、吐丝后有效积温和吐丝后日照时间呈显著正相关^[34]。李绍长等^[35]认为播期主要是通过灌浆期温度和灌浆持续期来影响玉米粒重。而本研究结果表明:直播高粱产量与抽穗前均温、全生育期均温、全生育期有效积温和全生育期降雨呈显著负相关,与前人研究结果不一致的原因可能与试验所在的生态区和播期设置不同有关。本试验随播期的推迟,有效积温和降雨量增加,但产量降低,可能由于积温和降水量的利用率减少^[7],且迟播高粱各生育阶段日均温较高,昼夜温差小,不利于光合产物的积累。随播期的推迟,各类型水稻品种的温光利用率均呈显著或极显著的下降趋势^[36]。

水稻抽穗期高温会降低每穗粒数、结实率和千粒重^[37],玉米灌浆期受高温胁迫会减少穗粒数

并降低粒重^[38-39]。本试验中, 除第1播期03-17外, 其他4个播期高粱在开花期均会遇到39℃以上的高温, 导致结实率下降; 而所有的播期在灌浆期的最高温均超过39℃, 推测迟播高粱穗粒重、千粒重下降不是由于灌浆期高温所致。穗粒重和产量与全生育期降雨量呈显著负相关。玉米拔节至大喇叭口期降雨影响叶面积大小, 开花期降雨过多导致低温寡照, 影响玉米的受精授粉与结实^[40]。此外, 降水过多日照不足, 群体湿度大易发生病害, 土壤通气性差, 对产量形成不利^[41]。气温、日照和降水在高粱生长发育的全生育期和各生育阶段有密切关系, 且三者的影响既连续又有明显的阶段性, 单个气候生态因子影响高粱产量的关键时期以及三者如何互作影响高粱生长发育有待进一步研究。

播期对作物产量有显著影响, 调整播期可以改善生育期环境条件, 增加干物质积累量, 改善叶面积指数、群体透光率和光合速率, 增加穗粒数和千粒重, 进而提高产量, 此外, 环境条件的改变, 也会影响籽粒品质。研究表明: 环境对高粱籽粒淀粉热力学特性的影响大于基因型^[42]。降水、日照与高粱籽粒单宁含量呈显著负相关^[43]。灌浆期日均温对高粱籽粒淀粉的积累有重要影响^[13]。播期对糯玉米籽粒产量与淀粉热力学特性存在显著影响^[44]。推迟播期使大麦生育后期处于较高温度下, 籽粒蛋白质含量增加, 品质下降^[45]。而NASS等^[46]的研究结果显示: 春季迟播小麦、燕麦和大麦的蛋白质含量相对较低。糯高粱是酿造白酒的重要原料, 其品质对酒质和出酒率均有直接影响^[47], 酿酒用高粱要求有较高的淀粉和单宁含量, 较低的蛋白质和脂肪含量^[48]。因此, 探索通过农艺措施提高糯高粱产量和品质, 对酿酒高粱产业的发展具有重要意义^[49], 适宜的播期有利于高粱的生长发育, 增加干物质积累, 提高产量、改善品质。

4 结论

随着播期推迟, 直播高粱生育期缩短, 产量及其构成因素下降, 变化程度在不同的品种间表现差异。较迟播而言, 早播高粱生育期延长, 尤其是营养生长和营养生长与生殖生长并进阶段时长增加, 积温和降水利用率增高, 光合能力较强。但过早播种(3月17)直播高粱出苗率过低。重庆

地区直播高粱适宜播期为4月15日—5月2日。

[参考文献]

- [1] 刘培利, 东先旺, 辛淑亮, 等. 高产夏玉米与播期的关系[J]. 玉米科学, 1993(1): 23. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6486.2007.04.009.
- [2] 李经成. 能源型甜高粱品种糖分积累、适播期及性状间相关性研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [3] 肖尧, 熊敏, 丁成龙, 等. 播期对高产春玉米产量及光合特性的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2014(2): 65. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6486.2007.04.009.
- [4] 李向岭, 李从锋, 侯玉虹, 等. 不同播期夏玉米产量性能动态指标及其生态效应[J]. 中国农业科学, 2011, 45(6): 1074. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2012.06.005.
- [5] 姚义, 霍中洋, 张洪程, 等. 播期对麦茬直播粳稻产量及品质的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(15): 3098. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2011.15.004.
- [6] BLANDINO M, REYNERI A, VANARA F. Effect of sowing time on toxigenic fungal infection and mycotoxin contamination of maize kernels[J]. Journal of Phytopathology, 2009, 157: 7. DOI: 10.1111/j.1439-0434.2008.01431.x.
- [7] 赵建武, 白文斌, 刘贵锋, 等. 不同播期、积温、降水量对高粱农艺性状形成及产量的影响[J]. 农学报, 2014, 4(4): 1. DOI: 10.3969/j.issn.1007-7774.2014.04.001.
- [8] HADEBE S T, MABHAUDHI T, MODI A T. Water use of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in response to varying planting dates evaluated under rainfed conditions[J]. Water SA, 2017, 43(1): 91. DOI: 10.4314/wsa.v43i1.12.
- [9] 吉春容, 邹陈, 范子昂, 等. 甜高粱不同播期下光合特性的变化及其与气象因子的关系[J]. 中国农学通报, 2013, 29(33): 135. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6850.2013.33.024.
- [10] 王聪. 播期与肥密对高粱产量及品质的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2015.
- [11] 王天聆, 喻盛莲, 万俊英, 等. 不同播种期对高粱红缨子生育和产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2012(6): 12. DOI: 10.3969/j.issn.1008-2239.2012.06.006.
- [12] 杨琳, 崔福柱, 段永红, 等. 不同播期对夏播高粱生育期及产量的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2017, 37(1): 7. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8151.2017.01.002.
- [13] 李超, 肖木辑, 周宇飞, 等. 不同播期对高粱子粒淀粉含量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(6): 708. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1700.2009.06.014.
- [14] 李经成, 宋炫旻, 榻维言, 等. 能源型甜高粱分期播种试验初报[J]. 热带作物学报, 2012, 33(3): 412. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2012.03.004.
- [15] TULEEN D M, FREDERIKSEN R A, VUDHIVANICH P. Cultural practices and the incidence of sorghum downy mildew in grain sorghum[J]. Phytopathology, 1980, 70(905): 8. DOI: 10.1094/Phyto-70-905.
- [16] 陆平. 高粱种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [17] BEKELE W A, FIEDLER K, SHIRINGANI A A, et al. Unravelling the genetic complexity of sorghum seedling

- development under low-temperature conditions[J]. *Plant Cell and Environment*, 2014, 37(3): 707. DOI: [10.1111/pce.12189](#).
- [18] 成慧娟, 严福忠, 马尚耀, 等. 影响高粱种子出苗率下降的原因及预防措施[J]. *内蒙古农业科技*, 2011(4): 112. DOI: [10.3969/j.issn.1007-0907.2011.04.065](#).
- [19] 庾正平, 任建华. 高粱出苗能力的遗传研究[J]. *华北农学报*, 1986, 1(4): 43.
- [20] 赵增煜, 吕繁德. 种子籽粒大小对活力影响的研究(初报)[J]. *种子*, 1983, 2(2): 22.
- [21] 张恩艳. 播期、密度对夏播高粱生长发育及产量的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015.
- [22] 张效梅. 播期对高粱生长发育及产量结构的影响[J]. *山西农业科学*, 1984(z1): 17.
- [23] 董世磊, 曹禹, 孙娜, 等. 不同播期、种植密度对新高粱 3 号产量的影响[J]. *辽宁农业科学*, 2013(6): 22.
- [24] CIRILO A G, ANDRADE F H. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning[J]. *Crop Science*, 1994, 34(4): 1039. DOI: [10.2135/cropsci1994.0011183x003400040037x](#).
- [25] 李文科, 薛庆禹, 王靖, 等. 播期对吉林春玉米生长发育及产量形成的影响[J]. *玉米科学*, 2013(5): 81. DOI: [10.3969/j.issn.1005-0906.2013.05.016](#).
- [26] 王义芹, 杨兴洪, 李滨, 等. 小麦叶面积及光合速率与产量关系的研究[J]. *华北农学报*, 2008, 23(z2): 10.
- [27] 周绍东, 周宇飞, 黄瑞冬. 播种期对各生育时期甜高粱叶片性状的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2005, 36(3): 340. DOI: [10.3969/j.issn.1000-1700.2005.03.021](#).
- [28] 徐恒永, 赵君实. 高产冬小麦的冠层光合能力及不同器官的贡献[J]. *作物学报*, 1995, 21(2): 204. DOI: [10.3321/j.issn:0496-3490.1995.02.013](#).
- [29] 朱元刚, 董树亭, 张吉旺, 等. 种植方式对夏玉米光合生产特征和光温资源利用的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(6): 1417.
- [30] KIRBY E J M, APPELEYARD M, FELLOWES G. Effect of sowing date on the temperature response of leaf emergence and leaf size in barley[J]. *Plant, Cell & Environment*, 1982, 5(6): 477. DOI: [10.1111/1365-3040.ep11611839](#).
- [31] JUSKIW P E, HELM J H. Barley response to seeding date in central Alberta[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2003, 83(2): 275. DOI: [10.4141/p02-049](#).
- [32] 曹雄, 梁晓红, 黄敏佳, 等. 不同栽培措施对高粱产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(3): 126.
- [33] ALLISON J S, DAYNARD T B. Effect of change in time of flowering, induced by altering photoperiod or temperature, on attributes related to yield in maize[J]. *Crop Science*, 1979, 19(1): 1. DOI: [10.2135/cropsci1979.0011183X001900010001x](#).
- [34] 路海东, 薛吉全, 郝引川, 等. 播期对雨养旱地春玉米生长发育及水分利用的影响[J]. *作物学报*, 2015, 41(12): 1906. DOI: [10.3724/SP.J.1006.2015.01906](#).
- [35] 李绍长, 白萍, 吕新, 等. 不同生态区及播期对玉米籽粒灌浆的影响[J]. *作物学报*, 2003, 29(5): 775. DOI: [10.3321/j.issn:0496-3490.2003.05.025](#).
- [36] 姚义, 霍中洋, 张洪程, 等. 不同生态区播期对直播稻生育期及温光利用的影响[J]. *中国农业科学*, 2011, 45(4): 633. DOI: [10.3864/j.issn.0578-1752.2012.04.004](#).
- [37] 谢晓金, 李秉柏, 李映雪, 等. 抽穗期高温胁迫对水稻产量构成要素和品质的影响[J]. *中国农业气象*, 2010, 31(3): 411. DOI: [10.3969/j.issn.1000-6362.2010.03.016](#).
- [38] RATTALINO EDREIRA J I, BUDAKLI CARPICI E, SAMMARRO D. Heat stress effects around flowering on kernel set of temperate and tropical maize hybrids[J]. *Field Crops Research*, 2011, 123(2): 62. DOI: [10.1016/j.fcr.2011.04.015](#).
- [39] WILHELM E P, MULLEN R E, KEELING P L, et al. Heat stress during grain filling in maize: effects on kernel growth and metabolism[J]. *Crop Science*, 1999, 39(6): 1733. DOI: [10.2135/cropsci1999.3961733x](#).
- [40] 刘明, 陶洪斌, 王璞, 等. 播期对春玉米生长发育与产量形成的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(1): 18. DOI: [10.3724/SP.J.1011.2009.00018](#).
- [41] 李潮海, 苏新宏, 谢瑞芝, 等. 超高产栽培条件下夏玉米产量与气候生态条件关系研究[J]. *中国农业科学*, 2001, 34(3): 311. DOI: [10.3321/j.issn:0578-1752.2001.03.015](#).
- [42] BETA T, CORKE H. Genetic and environmental variation in sorghum starch properties[J]. *Journal of Cereal Science*, 2001, 34(3): 261. DOI: [10.1006/jcsc.2000.0379](#).
- [43] 陈娟, 罗宇翔, 穆彪, 等. 茅台酒用高粱产量品质与气象因子研究[J]. *高原山地气象研究*, 2012, 32(1): 73. DOI: [10.3969/j.issn.1674-2184.2012.01.012](#).
- [44] 唐塘, 陆大雷, 赵浚宇, 等. 播期对糯玉米籽粒产量和淀粉热力学特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(8): 11. DOI: [10.3969/j.issn.1003-0174.2012.08.003](#).
- [45] O'DONOVAN J T, TURKINGTON T K, EDNEY M J, et al. Effect of seeding date and seeding rate on malting barley production in western Canada[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2012, 92(2): 321. DOI: [10.4141/cjps2011-130](#).
- [46] NASS H G, JOHNSTON H W, MACLEOD J A, et al. Effect of seeding date, seed treatment and foliar sprays on yield and other agronomic characters of wheat, oats and barley[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1975, 55(1): 41. DOI: [10.4141/cjps75-005](#).
- [47] 刘涵, 敖宗华, 王明, 等. 酿酒高粱的研究进展[J]. *酿酒科技*, 2016(6): 105. DOI: [10.13746/j.njkj.2015490](#).
- [48] 张文毅, 赵金林. 我国高粱生产的发展趋向[J]. *辽宁农业科学*, 1985(5): 3.
- [49] WANG C, ZHOU L B, ZHANG G B, et al. Optimal fertilization for high yield and good quality of waxy sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench)[J]. *Field Crops Research*, 2017, 203: 1. DOI: [10.1016/j.fcr.2016.12.009](#).

责任编辑: 何承刚