

播期和密度对谷子农艺性状及产量的影响

岳忠孝¹, 张瑞栋¹, 杨成元¹, 郭鹏燕¹, 张素梅², 曾 蓉², 岳茂林¹,
王宏富², 冯耐红^{1*}

(1. 山西农业大学经济作物研究所, 山西 汾阳 032200; 2. 山西农业大学农学院, 山西 太谷 030801)

摘 要:为了探讨播期和密度对谷子农艺性状和产量的影响, 试验以农大10号为研究对象, 采用裂区试验设计, 播期为主区, 密度为副区, 研究其对谷子农艺性状和产量的影响。结果表明, 在不同播期和密度处理下, 产量与穗数呈极显著正相关, 相关系数为0.93, 穗数与密度呈极显著正相关, 相关系数为0.54, 穗数随播期的推迟呈下降的趋势, 主要是播期推迟影响植株分蘖, 进而影响植株穗数。因此, 早播和增密有利于提高谷子产量。以产量为目标性状与播期和密度进行回归分析, 回归方程为: $Y = -55\,547.13 + 886.29X_1 + 385.51X_2 - 3.37X_1^2 - 2.86X_2^2 - 1.39X_1X_2$, 对方程求极值得到5月5日播种, 密度控制在37.38万株/hm²时, 产量达到最高为6 558.21 kg/hm²。

关键词:播期; 密度; 分蘖; 穗数; 产量

中图分类号: S515

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)05-0040-06

Effects of Sowing Date and Density on Agronomic Traits and Yield of Millet

YUE Zhongxiao¹, ZHANG Ruidong¹, YANG Chengyuan¹, GUO Pengyan¹, ZHANG Sumei², Zeng Rong²,
YUE Maolin¹, WANG Hongfu², FENG Naihong^{1*}

(1. Institute of Industrial Crops, Shanxi Agricultural University, Fenyang 032200; 2. College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: To explore the effects of sowing date and density on grain yield of millet. This study used Nongda 10 as material and adopt split-plot, the sowing date as the main plot and the plant density as subplot, the effects of sowing date and plant density on agronomy characters and yield components were invested. The results show that: there was a significant post relationship between grain yield and the number of spikes, the correlation coefficient was 0.93. The number of spikes was positively correlated with the plant density, and the correlation of coefficient was 0.54. However, the number of spikes decreased with the delay of sowing date, which mainly affected the tillers and spikes of the plant. Therefore, early sowing and increasing density are beneficial to improve grain yield of millet. The regression equation of yield, sowing time and density was $Y = -55\,547.13 + 886.29X_1 + 385.51X_2 - 3.37X_1^2 - 2.86X_2^2 - 1.39X_1X_2$. Through finding the extreme value of the equation, we found that when sowing on May 5th and plant density was 3.738×10^5 plants/ha, the grain yield of Nongda10 reached the maximum of 6 558.21 kg/ha.

Key words: Sowing date; Plant density; Number of tillers; Number of spikes; Yield

谷子起源于中国, 是传统的优势作物, 具有抗逆性强, 耐贫瘠等特性^[1], 去皮后为小米, 营养丰富, 口感佳, 深受喜爱^[2]。但谷子对光周期和温度的反应较为敏感, 因此谷子品种选育和谷子生产都具有一定的局域性^[3]。播期作为一项重要的农艺栽培措施, 对作物生育期内的光、温、水、气

等气象因子具有重要的调控作用^[4]。研究表明适时播种可以协调穗数、穗粒数和千粒重的矛盾, 为高产打下基础^[5]。播种过早植株出现早衰, 穗粒数减少, 产量下降; 播种过晚穗粒数和千粒重均明显下降, 最终影响谷子产量的形成^[6]。密度也是影响作物群体产量的一个重要栽培因子, 合理的栽培密度可协调个体与群体的矛盾使作物获得高产^[7]。密度与谷子产量密切相关, 高密度群体能够有效增加谷子穗数^[8], 但是高密度的谷子群体也易发生倒伏, 从而影响产量^[9], 研究发现播期和密度对谷子的光合作用具有重要影响^[10]。播

收稿日期: 2020-06-24

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-06-13.5-B9)

作者简介: 岳忠孝(1992-), 女, 研究实习生, 硕士, 主要从事谷子栽培生理与品质改良研究。

通讯作者: 冯耐红, 女, 硕士, 副研究员, E-mail: fnaihong@126.com

期和密度搭配不协调会造成谷子减产。农大10号谷子品种具有分蘖能力强,株型紧凑,产量性状好等特性,在生产中有一定的推广面积^[1]。因此,研究播期和密度对农大10号农艺性状及产量的影响,寻求最佳栽培模式,对生产上发挥品种高产潜力具有重要的理论和现实价值。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

该试验于山西农业大学试验站进行,前茬为玉米,土壤肥力均匀,土壤有机质含量17.9 g/kg、全氮0.93 g/kg、碱解氮71.2 mg/kg、速效磷49 mg/kg、速效

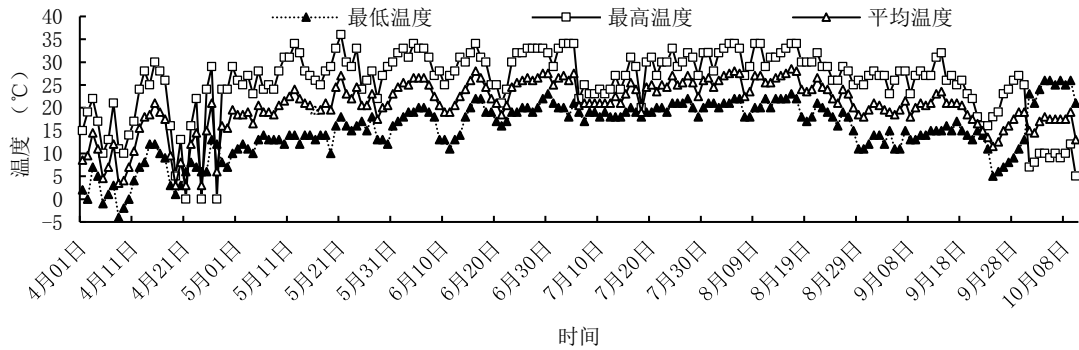


图1 试验期间气温变化

钾95 mg/kg。试验期间的气温变化如图1所示。

1.2 试验设计

试验以农大10号为研究对象,采用裂区设计,播期处理为主区,密度处理为副区。播期设5个梯度,分别为:4月29日(S_1)、5月8日(S_2)、5月18日(S_3)、5月28日(S_4)、6月9日(S_5);密度设6个梯度,分别为:7.5万株/hm²(D_1)、15.0万株/hm²(D_2)、22.5万株/hm²(D_3)、30.0万株/hm²(D_4)、37.5万株/hm²(D_5)、45.0万株/hm²(D_6)。试验共30个处理,3次重复,共计90个小区。每个小区面积为12 m²(3 m×4 m)。试验采用宽窄行种植模式,宽行40 cm、窄行20 cm,南北行种植,三叶期疏苗,五叶期按照设计密度定苗,成熟收获,田间测产,室内考种。

1.3 测定项目

1.3.1 农艺性状测定

在谷子花后10 d测定株高、茎粗,株高和茎粗均以主茎为测定对象,并调查谷子的分蘖数。

1.3.2 产量及产量构成因素的测定

收获前,采用“三点取样法”在小区内取3个

有代表性的1 m²小区调查成穗数,每小区随机选10穗进行室内考种,考种项目包括:穗长、穗宽、每穗的穗码数,单穗穗重、穗粒数和千粒重。每小区统计、计产,最后折算为公顷产量。

1.4 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2007和SAS 8.0对数据进行统计和作图,在相关分析和回归分析中将播种日期与1月1日的差值换算为数字格式,如4月29日对应118。

2 结果与分析

2.1 播期和密度对谷子植株形态指标的影响

从表1可以看出:播期对谷子的茎粗、分蘖数、穗长、穗码数和穗粒重的影响差异均达到极显著水平。密度对茎粗、分蘖数和穗粒重的影响差异达到极显著水平,对穗长影响差异达到显著水平。播期密度互作对茎粗的影响差异达到极显著水平,对穗长的影响差异达到显著水平。说明播期和密度处理显著影响谷子的生长发育。

表1 播期和密度对谷子形态指标的影响

播期	密度	株高(cm)	茎粗(cm)	分蘖数(个)	穗长(cm)	穗宽(cm)	穗码数(个)	穗粒重(g)
S_1	D_1	103.67a	0.909a	3.2a	21.78a	2.654a	131.0a	20.74ab
	D_2	105.67a	0.850ab	2.2ab	22.02a	2.655a	127.8a	22.00a
	D_3	105.83a	0.694bcd	1.4b	20.04ab	2.869a	117.4a	19.46b
	D_4	115.83a	0.716bc	1.6b	21.42ab	2.753a	118.8a	20.35ab
	D_5	105.33a	0.684cd	1.2b	20.10ab	3.049a	108.0a	18.78bc
	D_6	114.50a	0.537d	1.2b	19.38b	2.775a	120.4a	16.46c
S_2	D_1	106.33a	0.763a	3.0a	19.36a	2.903a	113.2a	23.06a
	D_2	105.47a	0.717a	3.2a	20.66a	2.522a	118.0a	18.97b

续表 1

播期	密度	株高(cm)	茎粗(cm)	分蘖数(个)	穗长(cm)	穗宽(cm)	穗码数(个)	穗粒重(g)
S ₂	D ₃	114.33a	0.787a	2.0ab	21.06a	2.649a	116.6a	18.64b
	D ₄	109.00a	0.714a	2.2ab	19.54a	2.676a	125.0a	18.12b
	D ₅	113.00a	0.665a	1.2b	21.30a	2.872a	108.8a	18.11b
	D ₆	112.33a	0.685a	1.0b	20.42a	2.552a	131.4a	17.19b
S ₃	D ₁	96.67a	0.842a	3.4ab	21.30a	2.668a	123.4a	19.75a
	D ₂	112.67a	0.695ab	3.8a	20.38a	2.643a	106.6a	17.1ab
	D ₃	105.67a	0.711ab	1.8c	19.58a	2.548a	112.8a	17.47ab
	D ₄	111.17a	0.558b	2.0bc	20.64a	2.684a	123.0a	16.86ab
S ₄	D ₅	107.00a	0.778a	1.0c	20.66a	2.562a	113.4a	17.16ab
	D ₆	103.17a	0.705ab	1.0c	19.18a	2.671a	108.6a	15.14b
	D ₁	99.67a	0.862a	2.4ab	22.18ab	2.573a	111.4a	22.34a
	D ₂	102.00a	0.782a	3.0a	23.76ab	2.596a	119.6a	22.33a
S ₅	D ₃	101.00a	0.761a	1.2bc	24.02a	2.746a	130.2a	24.14a
	D ₄	107.33a	0.780a	1.2bc	22.58ab	2.499a	120.6a	20.93a
	D ₅	107.33a	0.811a	1.0bc	22.02ab	2.920a	132.0a	22.4a
	D ₆	102.67a	0.787a	0.6c	21.74b	2.474a	118.4a	15.13b
ANOVA	D ₁	101.67a	0.798a	1.6ab	18.66a	2.479a	98.4a	14.4a
	D ₂	105.50a	0.770a	2.0a	19.02a	2.617a	96.2a	15.47a
	D ₃	108.00a	0.814a	1.0ab	20.06a	2.645a	104.2a	17.11a
	D ₄	112.00a	0.784a	1.2ab	19.70a	2.568a	105.6a	14.72a
ANOVA	D ₅	96.00a	0.812a	0.6ab	19.84a	2.436a	96.6a	16.23a
	D ₆	109.67a	0.766a	0.4b	18.98a	2.419a	105.6a	16.25a
ANOVA								
播期		NS	**	**	**	NS	**	**
密度		NS	**	**	*	NS	NS	**
播期×密度		NS	**	NS	*	NS	NS	NS

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),NS表示差异不显著,“**”表示差异极显著($P<0.01$),“*”表示差异显著($P<0.05$),下同

从变异系数上看,播期对谷子农艺性状的影响依次为:分蘖数>穗码数>穗长>茎粗>穗粒重>穗宽>株高。播期对谷子的分蘖数影响最大,变异系数达到24.16%,谷子的分蘖数在S₃达到最大为2.17,S₅的分蘖数最小为1.13。谷子穗码数S₅显著低于其他处理。穗长随播期的推迟呈先增加后

降低的变化趋势,S₄的穗长最大,S₅的穗长最小,S₄比S₅高17.23%;茎粗随播期的推迟呈增加的变化趋势,S₄的茎粗显著高于其他处理。穗粒重在S₄处理达到最大为21.21,S₅处理的穗粒重最低为16.06(表2)。

表2 播期对谷子农艺性状的影响

播期	株高(cm)	茎粗(cm)	分蘖数(个)	穗长(cm)	穗宽(cm)	穗码数(个)	穗粒重(g)
S ₁	108.47a	0.732bc	1.80ab	20.79b	2.79a	120.57a	19.63ab
S ₂	110.08a	0.722c	2.10ab	20.39b	2.70ab	118.83a	19.15bc
S ₃	106.06a	0.715c	2.17a	20.29b	2.63ab	114.63a	17.35cd
S ₄	103.33a	0.797a	1.57bc	22.72a	2.63ab	122.03a	21.21a
S ₅	105.47a	0.791b	1.13c	19.38c	2.53b	101.10b	16.06d
CV(%)	2.47	5.58	24.16	5.96	3.63	7.34	5.39

由表3可知,不同密度处理下,农艺性状变异较大的主要有分蘖数、穗粒重、茎粗,变异系数分

别为48.43%、7.46%和6.14%。分蘖数随密度的增加呈递减的变化趋势,变异极差为1.88,穗粒重在

表 3 密度对谷子农艺性状的影响

密度	株高(cm)	茎粗(cm)	分蘖数(个)	穗长(cm)	穗宽(cm)	穗码数(个)	穗粒重(g)
D ₁	101.60a	0.835a	2.72a	20.66ab	2.66a	115.48a	20.06a
D ₂	106.26a	0.763b	2.84a	21.17a	2.61a	113.64a	19.17a
D ₃	106.97a	0.754b	1.48bc	20.95a	2.69a	116.24a	19.36a
D ₄	111.07a	0.710b	1.64b	20.78ab	2.64a	118.60a	18.91a
D ₅	105.73a	0.750b	1.00bc	20.78ab	2.77a	111.76a	18.54a
D ₆	108.47a	0.696b	0.84c	19.94b	2.58a	116.88a	16.03b
CV(%)	2.95	6.14	48.43	2.02	2.51	2.10	7.46

前5个密度间差异不显著,均显著高于D₆处理;谷子的茎粗随密度的增加呈减少的变化趋势,D₁茎粗显著高于其他处理。

2.2 播期和密度对产量及产量构成因素的影响

由表4可知,播期、密度、播期和密度互作对产量、穗数的影响差异均达到极显著水平。播期

对穗粒数的影响差异达到极显著水平,密度对穗粒数的影响差异达到显著水平,播期和密度互作对穗粒数的影响差异达到显著水平。播期对千粒重的影响差异达显著水平,密度对千粒重的影响差异达到极显著水平,播期和密度互作对千粒重的影响差异达到显著水平。

表 4 产量构成因素的方差分析

播期	密度	穗数(个)	穗粒数(个)	千粒重(g)	产量(kg/hm ²)
S ₁	D ₁	23.33c	8 559.4a	2.423abc	4 121.99c
	D ₂	22.33c	8 530.1a	2.579ab	4 104.53c
	D ₃	30.67bc	7 703.5a	2.526ab	5 094.52bc
	D ₄	39.67ab	7 164.4a	2.840a	6 896.20a
	D ₅	41.33ab	8 708.7a	2.157bc	6 560.42a
	D ₆	45.33a	8 301.5a	1.983c	6 352.38ab
S ₂	D ₁	19.01b	8 582.5a	2.687a	3 767.41b
	D ₂	37.02a	7 256.5a	2.614a	5 998.92a
	D ₃	44.01a	6 864.2a	2.715a	6 928.15a
	D ₄	46.01a	7 238.2a	2.503a	7 057.55a
	D ₅	40.33a	6 946.2a	2.377ab	5 724.85a
	D ₆	43.02a	8 765.3a	1.870b	5 959.82a
S ₃	D ₁	21.33c	7 499.2a	2.634a	3 537.26c
	D ₂	26.33bc	6 734.2a	2.539a	3 810.48bc
	D ₃	32.99abc	6 508.8a	2.684a	4 906.48ab
	D ₄	41.33a	6 432.6a	2.620a	5 892.14a
	D ₅	35.01ab	6 736.9a	2.547a	5 075.46ab
	D ₆	44.67a	5 904.4a	2.565a	5 675.40a
S ₄	D ₁	17.33b	8 614.7a	2.594a	3 260.54c
	D ₂	25.33ab	9 096.6a	2.454ab	4 821.17b
	D ₃	20.33ab	9 498.8a	2.521ab	4 121.71bc
	D ₄	28.33ab	7 238.6a	2.892a	5 068.1ab
	D ₅	33.67a	8 784.5a	2.550ab	6 342.44a
	D ₆	30.67ab	7 312.0a	2.069b	3 998.66bc
S ₅	D ₁	14.33a	6 613.6a	2.480a	1 739.07a
	D ₂	17.01a	5 874.3a	2.634a	2 224.50a
	D ₃	17.01a	6 705.3a	2.552a	2 461.60a
	D ₄	18.33a	5 842.9a	2.519a	2 314.79a
	D ₅	15.67a	6 503.2a	2.496a	1 920.60a

续表 4

播期	密度	穗数(个)	穗粒数(个)	千粒重(g)	产量(kg/hm ²)
	D ₆	18.02a	6 637.7a	2.448a	2 485.45a
ANOVA					
播期		**	**	*	**
密度		**	*	**	**
播期×密度		**	*	*	**

由表5可知,产量在播期之间差异显著,产量最高出现在S₂,为5 906.12 kg/hm²,最低出现S₅,为2 191.00 kg/hm²。产量在播期之间变异的极差为3 715.12 kg/hm²,变异系数为31.46%。不同播期之间产量由高到低依次为S₂>S₁>S₃>S₄>S₅,S₂比S₁、S₃、S₄和S₅的增幅依次为6.96%、22.63%、28.34%和169.56%。播期对穗数的影响差异达到显著水平,S₂的穗数最多为38.22万穗/hm²,最少为S₅处理,穗数为16.72万穗/hm²,穗数在播期间变异的极差为21.50万穗/hm²,变异系数为28.57%。播期对穗粒数的影响达到显著水平,穗粒数最多出现在S₄处理,为8 424.21粒/穗,最小为S₅处理,为6 362.84粒/穗,穗粒数在播期间的变异极差为2 061.37粒/穗,变异系数为12.25%。千粒重在播期之间的变异较小,变异极差为0.180 3 g,变异系数为2.72%。

表 5 播期对产量及产量构成因素的影响

播期	穗数 (万穗/hm ²)	穗粒数 (粒/穗)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
S ₁	33.78b	8 161.30ab	2.521 4ab	5 521.67a
S ₂	38.22a	7 608.80b	2.513 3ab	5 906.12a
S ₃	33.61b	6 636.00c	2.598 2a	4 816.21b
S ₄	25.94c	8 424.21a	2.461 1ab	4 602.10b
S ₅	16.72d	6 362.84c	2.417 9b	2 191.00c
CV(%)	28.57	12.25	2.72	31.46

由表6可知,产量在密度增加的情况下呈先增加后减少的变化趋势,密度为D₄时,产量达到最高

表 6 密度对产量及产量构成因素的影响

密度	穗数 (万穗/hm ²)	穗粒数 (粒/穗)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
D ₁	19.07c	7 973.90a	2.563ab	3 285.25d
D ₂	25.60b	7 498.34ab	2.564ab	3 991.25c
D ₃	29.00b	7 456.10ab	2.602a	4 794.97bc
D ₄	34.73a	6 783.34b	2.675a	5 475.12a
D ₅	33.20a	7 535.90ab	2.425b	5 278.42ab
D ₆	36.33a	7 384.20ab	2.187c	4 801.52ab
CV(%)	21.95	5.14	6.97	17.92

为5 475.12 kg/hm²,D₁的产量最低为3 285.25 kg/hm²,不同密度产量的变异极差为2 189.87 kg/hm²,变异系数为17.92%。穗数在不同密度之间差异也达到显著水平,D₆处理穗数达到最多为36.33万穗/hm²,D₁处理的穗数最少为19.07万穗/hm²,不同密度下,穗数的变异极差为17.26万穗/hm²,变异系数为21.95%。D₁的穗粒数达到最多为7 973.90粒/穗,D₄穗粒数最少为6 783.34粒/穗,不同密度下,穗粒数的变异系数为5.14%,变异极差为1 190.56粒/穗。千粒重随密度的增大呈先增大后减小的变化趋势。千粒重最大为D₄为2.675 g,最小为D₆为2.187 g。千粒重的变异极差为0.488 g,变异系数为6.97%。

2.3 产量构成因素与播期和密度的相关分析

由表7可知,农艺性状与产量的相关性从大到小依次为:穗数>播期>密度>穗粒数>千粒重。穗数与产量呈极显著正相关,相关系数为0.93;播期与产量呈极显著负相关,相关系数为0.71;密度与产量呈显著正相关,相关系数为0.36;密度与千粒重呈极显著负相关,相关系数为0.49,穗数与播期呈极显著负相关,相关系数为0.63,与密度呈极显著正相关,相关系数为0.54。

表 7 产量构成因素与播期和密度的相关分析

相关系数	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆
x ₁	1					
x ₂	0	1				
x ₃	-0.63**	0.54**	1			
x ₄	-0.38*	-0.17	0.02	1		
x ₅	0.17	-0.49**	-0.26	-0.32	1	
x ₆	-0.71**	0.36*	0.93**	0.27	-0.10	1

注:x₁、x₂、x₃、x₄、x₅、x₆分别为播期、密度、穗数、穗粒数、千粒重、产量

2.4 产量与播期和密度的回归分析

以农大10号每公顷产量y为目标性状,建立播期X₁、密度X₂的回归方程:

$$Y=-55\ 547.13+886.29X_1+385.51X_2-3.37X_1^2-2.86X_2^2-1.39X_1X_2$$

方程的决定系数为0.917, $F=25.39$, P 值小于0.01(表8), 失拟项检验不显著, 说明方程的预测值与实际值的吻合较好。做回归方程的响应面图以及响应面投影的等高线图, 产量随播期的推迟呈先增加后减少的趋势, 总体而言早播产量大于晚播; 产量随密度增加先增加后减少, 在播期较早时, 产量最高时所要求的密度比晚播时小。产量最高出现在早播和高密度的区域。等高线的脊线夹角比较小, 说明播期和密度的交互作用对产量的影响不大。

表8 产量回归方程各项回归系数显著性检验

回归各项	回归参数	系统标准误	t检验值	P值
常量	-55 547.00	14 879.00	-3.73	0.001 0**
X_1	886.30	214.65	4.13	0.000 4**
X_2	385.51	110.40	3.49	0.001 9**
X_1^2	-3.37	0.77	-4.35	0.000 2**
X_1X_2	-1.39	0.72	-1.94	0.064 5
X_2^2	-2.86	0.92	-3.10	0.004 9**

对回归方程求极值, 得到谷子农大10号在晋中地区产量最高的播期和密度分别为: X_1 取123.8, X_2 取37.38, 即在5月5日播种, 密度控制在37.38万株/hm²时, 产量达到最高为6 558.21 kg/hm²。

3 结论与讨论

通过对作物的播期和密度调整, 可以协调谷子群体结构, 充分利用光热资源, 为作物高产提供保障^[12]。本试验相关分析表明, 产量构成因素中影响谷子产量最大的为穗数, 相关系数达到0.93, 这与范惠萍等^[13]、薛亚光等^[14]在水稻上的研究结果相一致。说明保证足够的有效穗数是农大10号高产的基础。密植是提高群体产量的一个重要途径^[15]。谷子穗数直接受栽培密度的调控, 增加播种密度可提高群体株数, 进而增加群体穗数, 但是随种植密度的加大, 个体间的竞争加剧, 群体呼吸作用加强, 光合作用下降, 从而会影响到个体发育^[16-17]。本研究中, D_4 、 D_5 和 D_6 随密度加大, 群体穗数没有显著增加, 但谷子的千粒重却显著下降, 穗粒重也在 D_6 处理显著下降, 虽然产量在这3个密度中差异不显著, 但茎粗在密度增加后呈下降的变化趋势, 高密度的群体也增加了植株倒伏风险。谷子穗数还受播期影响, 播期主要是通过影响植株分蘖进而影响到谷子穗数。随播期的推迟, 谷子分蘖能力呈降低的变化趋势。研究发现, 播期推迟会显著减少谷子分蘖以及分

蘖成穗数^[18]。谷子早播在基本苗较少的情况下, 植株可通过自身分蘖来调节群体结构, 增加群体穗数来增加谷子的产量。在晚播情况下, 谷子分蘖能力减弱, 分蘖对群体穗数的效应减小, 谷子穗部发育也受到一定影响, 穗长、穗宽、穗码数均显著下降, 进而造成谷子穗粒重下降, 所以晚播情况下应适度增加密度来保证谷子群体穗数。产量与播期和密度的回归方程为: $Y=-55\ 547.13+886.29X_1+385.51X_2-3.37X_1^2-2.86X_2^2-1.39X_1X_2$ 。响应面分析表明, 适当早播和增加密度有利于提高谷子的产量。从图1可以看出, 太谷地区在5月前气温变化较大。太早播种会影响谷子出苗, 而且早春低温也会加重谷子病害的发生^[19]。寻找回归方程最优解得到, 5月5日播种, 密度控制在37.38万株/hm²时, 产量达到最高为6 558.21 kg/hm²。因此认为5月5日的播期和37.38万株/hm²的播种密度为农大10号在太谷地区适宜的种植模式。

参考文献:

- [1] 刘敬科, 刁现民. 我国谷子产业现状与加工发展方向[J]. 农业工程技术(农产品加工业), 2013(12): 15-17.
- [2] 沈 琰, 王 颖, 张东杰, 等. 黑龙江省和吉林省谷子品种遗传多样性分析[J]. 东北农业科学, 2016, 41(3): 8-13.
- [3] 贾小平, 袁玺垒, 李剑峰, 等. 不同光温条件谷子资源主要农艺性状的综合评价[J]. 中国农业科学, 2018, 51(13): 2449-2441.
- [4] 李国瑜, 丛新军, 陈二影, 等. 积温和降水量对夏谷生长发育的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(1): 165-176.
- [5] 陈淑艳, 宿莲芝. 播种期对谷子生长发育及产量结构的影响[J]. 辽宁农业科学, 2003(3): 7-8.
- [6] 赵海超, 曲平化, 龚学臣, 等. 不同播期对旱作谷子生长及产量的影响[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2012, 28(3): 26-30.
- [7] Tokatlidis, Ioannis S. Crop adaptation to density to optimise grain yield: breeding implications[J]. Euphytica, 2017, 213(4): 1-25.
- [8] 庄 云, 马 尧, 牟金明. 密度对谷子生长及产量性状的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(36): 11795, 11866.
- [9] Tian B, Liu Y, Zhang L, et al. Stem lodging parameters of the basal three internodes associated with plant population densities and developmental stages in foxtail millet (*Setaria italica*) cultivars differing in resistance to lodging [J]. Crop & Pasture Science, 2017, 68(4): 349-357.
- [10] 皇甫瑞, 王振华, 张惠琪, 等. 播种日期和密度对谷子植株光合特性的影响[J]. 山西农业科学, 2018, 46(5): 711-717.
- [11] 范惠萍, 郭二虎, 王秀清, 等. 播期和密度对长农35号主要农艺性状和产量的影响[J]. 河北农业科学, 2010, 14(11): 13-14, 34.
- [12] 王树丽. 播期和种植密度对小麦群体结构与氮素利用效率的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.

(下转第135页)

- [9] 易秀,叶凌枫,刘意竹,等.陕西省畜禽粪便负荷量估算及环境承受程度风险评价[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):205-210.
- [10] 于娜,王晓茹,李婷婷,等.山东省畜禽粪便的环境污染现状 & 风险评价[J].农业资源与环境学报,2021,38(5):820-828.
- [11] 张藤丽,焉莉,韦大明.基于全国耕地消纳的畜禽粪便特征分布与环境承载力预警分析[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(5):745-755.
- [12] 郭珊珊,张涵,杨汝馨.基于耕地承载力的畜禽养殖污染负荷及环境风险研究—以四川省为例[J].水土保持通报,2019,39(1):227-232.
- [13] 刘亚琼,杨玉林,李法虎.基于输出系数模型的北京地区农业面源污染负荷估算[J].农业工程学报,2011,27(7):7-12.
- [14] 宋大平,左强,刘本生,等.农业面源污染中氮排放时空变化及其健康风险评价研究—以淮河流域为例[J].农业环境科学,2018,37(6):1219-1231.
- [15] 肖琴,周振亚,罗其友.长江中下游地区畜禽承载力评估与预警分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(9):2050-2058.
- [16] 车晓翠,郭聘,张春燕,等.吉林省畜禽粪便耕地负荷量估算及预警分析[J].吉林农业大学学报,2023,45(2):204-212.
- [17] 农业农村部办公厅.关于印发《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》的通知:农办牧[2018]1号[EB/OL].(2018-01-22)[2022-12-10]http://www.Moa.Gov.cn/gk/tzgg_1/tfw/201801/20180122_6135486.htm.
- [18] 袁定波,王红利,廖兵,等.基于耕地消纳能力和水环境容量的畜禽粪便环境承载力分析—以宜春市为例[J].江西农业学报,2022,34(8):156-162.
- (责任编辑:刘洪霞)

(上接第45页)

- [13] 范惠萍,郭二虎,王秀清,等.播期和密度对长农35号主要农艺性状和产量的影响[J].河北农业科学,2010,14(11):13-14,34.
- [14] 薛亚光,陈婷婷,杨成,等.中粳稻不同栽培模式对产量及其生理特性的影响[J].作物学报,2010,36(3):466-476.
- [15] Zhu Xiangcheng, Zhang Jun, Zhang Zhen ping, et al. Dense planting with less basal nitrogen fertilization might benefit rice cropping for high yield with less environmental impacts[J]. European Journal of Agronomy, 2016, 75(1):50-59.
- [16] 杨春刚,王金明,邱志刚,等.氮肥用量和栽插密度对吉粳513产量及品质的影响[J].东北农业科学,2017,42(2):6-9.
- [17] 岳茂林,薛蔚荣,张瑞栋,等.不同行距配置对谷子农艺性状及产量的影响[J].作物杂志,2018(2):93-96.
- [18] 杨延兵,秦岭,陈二影,等.播期和密度对强分蘖谷子书香1号农艺性状和产量的影响[J].山东农业科学,2016,48(8):34-37.
- [19] 李书田,李尽照,赵敏,等.赤峰市谷子病虫害发生危害特点及综合防控措施[J].北方农业学报,2009(6):92.
- (责任编辑:王昱)

欢迎订阅《农业大数据学报》

《农业大数据学报》(CN10-1555/G2,ISSN 2096-6369)2018年创刊,季刊,是由农业农村部主管、中国农业科学院农业信息研究所主办,我国首个以研究论文和数据论文的形式综合报道数据资源、数据研究与大数据农业农村创新应用的学术期刊,目前已被中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)、中国核心期刊(遴选)数据库、CNKI中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库、超星、EBSCO、CABI、DOAJ等多家数据库收录。

报道范围:面向农业农村发展,以数据科学为基础的数据应用与应用基础研究成果,以及高质量数据。

读者对象:科研、政府、高校、企业等对农业大数据及其应用感兴趣的人员。

订阅方式:

电话/传真:010-82106275 电子邮箱:agbigdata@caas.cn

邮发:北京报刊发行局 邮发代号:80-388 定价:50元/册,200元/年

自办:请联系北京市海淀区中关村南大街12号中国农业科学院农业信息研究所

《农业大数据学报》编辑部