

海拔和密度对兰州百合产量的影响

尚永强, 王显灵, 吴兴波, 杜清国, 雒雪莲, 吕斐斌
(甘肃省爽口源生态科技股份有限公司, 甘肃 兰州 730059)

摘要: 在兰州市七里河区西果园镇和魏岭乡的3个不同海拔梯度研究了种植密度对兰州百合产量的影响。结果表明, 百合出苗率只与海拔高度有关, 与种植密度无关; 海拔高度与百合的生物学性状呈负相关; 种植密度与百合株高和叶片数呈负相关, 而随种植密度的增加, 单株重和种球周径均表现为先增加后减小的趋势。由效应方程可得, 兰州百合最佳种植密度海拔2 200 m左右的区域为12.90万株/hm², 海拔2 400 m左右的区域为13.51万株/hm², 海拔2 600 m左右的区域为13.77万株/hm²。

关键词: 兰州百合; 海拔; 密度; 产量; 生物学性状

中图分类号: S682.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)05-0057-06

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2021.05.014

Effects of Densities and Altitudes on Yield of *Lilium davidii* in Lanzhou

SHANG Yongqiang, WANG Xianling, WU Xingbo, DU Qingguo, LUO Xuelian, LÜ Feibin
(Gansu Shuang Kouyuan Ecological Technology Co., Ltd., Lanzhou Gansu 730059, China)

Abstract: The effects of planting density on the yield of *Lilium davidii* of Lanzhou were studied in three different elevation gradients of Xiguoyuan Town and Weiling Township in Qilihe District of Lanzhou City. The results showed that the emergence rate of *Lilium davidii* was only related to the altitude, but not to the planting density. There was a negative correlation between the altitude and the biological characters of *Lilium davidii*. The planting density was negatively correlated with the plant height and the number of leaves, while the weight per plant and the diameter of bulbs increased first, and then decreased with the increase of planting density. According to the effect equation, the optimal planting density of *Lilium davidii* in Lanzhou is 129,000 plants/hm² at an altitude of about 2 200 meters, 135,100 plants/hm² at an altitude of about 2 400 meters, and 137,700 plants/hm² at an altitude of about 2 600 meters.

Key words: *Lilium davidii*; Elevation; Density; Yield; Biological character

兰州百合 [*Lilium davidii* Duch. var. *unicolor* (Hong) Cotton] 隶属于百合科 (Liliaceae)

收稿日期: 2021-05-15

基金项目: 兰州市科技计划项目“兰州百合生态原产地栽培综合增产技术研究与应用”(2019-3-7)。

作者简介: 尚永强(1976—), 男, 甘肃泾川人, 农艺师, 主要从事特色农业产业开发工作。Email: gsskyst@163.com。

通信作者: 吕斐斌(1975—), 女, 甘肃张掖人, 主要从事特色农业产业开发工作。Email: gsskyst@163.com。

[4] 张京社, 李健, 李刚. 豌豆潜叶蝇的空间分布型及应用研究[J]. 山西农业大学学报, 1993, 13(3): 192-194.

[5] 胡晓斌. 油菜潜叶蝇空间分布型及抽样技术[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(5): 143-144.

[6] 王厚振, 华尧楠, 牟吉元. 棉铃虫预测预报与综合治理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 83-109.

(本文责编: 杨杰)

百合属(*Lilium*)多年生草本植物,在全国各地均有分布^[1]。兰州市七里河区西果园镇是兰州百合的主产区,区内适宜的土壤、海拔、气候等环境因素以及长期积累的种植技术,使得所产兰州百合畅销国内外,因此也被誉为“百合之乡”^[2-5]。近年来,由于兰州百合的种植规模越来越大,而可种植的田块有限,导致百合的种植密度变大,品质降低,产量减少。

合理密植是农业种植技术中最有效的栽培措施之一。研究表明,合理的种植密度可有效改善作物的生物性状和增加生物量和产量^[6-7]。周刚等^[8]在研究了肥料与密度对玉米新品种郑单 22 产量的影响,发现农艺性状随着密度的增高而降低,产量却随着密度的增高而逐渐增加,当密度为 60 000 株/hm²时产量最高;王海燕等^[9]的研究表明,食用型向日葵的种植密度为 3.6 万株/hm²时,更适于后期进行干物质积累和提高粒重,提高产量;师超等^[10]的研究发现,在利川烟区,种植密度对烤烟影响较大,最适种植密度为 15 150~16 650 株/hm²;赵凡等^[11]的研究表明,高海拔地区的马铃薯产量随着种植密度的增加而升高,当密度达到峰值后产量反而下降,且最适种植密度为 75 000 株/hm²。由此可见,合理的种植密度是提高农作物产量的有效途径。为进一步了解该地区百合不同海拔种植密度与产量的关系,2017 年我们在该地区开展了百合最适种植密度的研究,以期为兰州百合栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试兰州百合由甘肃爽口源生态科技股份有限公司提供。播种前用 50% 多菌灵可湿性粉剂 500~800 倍液浸泡 30 min,取出晾干待播。小麦秸秆由兰州市七里河区西果园镇的基地农户提供,覆盖前将小麦秸秆平铺

晾晒 3~5 d,收集后在田间覆盖。

1.2 试验区概况

试验在西果园镇的堡子村、鹁子岭村和魏岭乡的晏家洼村进行。其中,堡子村平均海拔 2 400 m,年均气温 7.0 ℃左右,年均降水量 450 mm,全年无霜期 153 d,气候凉爽湿润,昼夜温差较大,土地有机质丰富;鹁子岭村平均海拔 2 600 m,海拔较高,芦笋沟和青岗沟的水为主要水资源,年均气温 7.4 ℃左右,年均降水量 400 mm 左右,水土无流失,适宜于旱作栽培,全年无霜期 153 d;晏家洼村平均海拔 2 200 m 左右,日光充足,干旱少雨,年平均气温 9.6 ℃左右,年平均降水量 340 mm 左右,全年无霜期为 180~200 d。

1.3 试验方法

试验设置 3 个海拔处理,分别是鹁子岭村(103° 44' E, 35° 54' N),海拔 2 588 m (A1);堡子村(103° 43' E, 35° 54' N),海拔 2 415 m(A2);晏家洼村(103° 49' E, 35° 57' N),海拔 2 176 m(A3)。种植密度共设 6 个处理,分别为 D1(CK),7 万株/hm²;D2,9 万株/hm²;D3,11 万株/hm²;D4,13 万株/hm²;D5,15 万株/hm²;D6,17 万株/hm²。试验随机区组排列,3 次重复,小区面积 20 m²(5 m×4 m)。于 2017 年 3 月 22 日春栽,并记录当年百合的出苗期。栽植前整地施入腐熟农家肥 75 t/hm²、硫酸钾型复合肥(N-P-K 为 15-15-15)300 kg/hm²,每年 5 月和 8 月分别追肥 2 次,施尿素 225 kg/hm²。采用平畦栽植,畦宽 6 m,畦埂宽 50 cm,在畦面按 30~40 cm 宽开沟,沟深 10 cm,每畦栽种 12~22 行。选取质量为 30 g 左右的种球栽植。田间管理主要是清除田间杂草,其他管理措施与大田生产相符。于 2020 年 10 月 9 日收获测产。

1.4 数据处理

数据处理采用 Excel 2010 软件进行数据

输入和制图、SPSS Statistics 19.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 海拔和密度对兰州百合生育期和出苗率的影响

出苗率是评价百合生长情况的重要指标。从表 1 可以看出, 高海拔地区的百合出苗期较中海拔和低海拔地区迟, 不同海拔和种植密度条件下, 出苗天数为 26~36 d。种植密度对兰州百合的出苗期影响不明显, 但海拔越高, 出苗所需的时间就越长。兰州百合耐寒性较好, 在霜冻前采挖即可, 因而收获期一致。百合出苗天数与生育期成负相关, 即出苗天数越长, 百合的生育期越短。说明出苗率只与海拔高度有关, 与种植密度无关。

表 1 不同海拔和密度处理的兰州百合生育期和出苗率

处理	播种期 /(日/月)/(日/月)	出苗期 /(日/月)	出苗 天数 /d	收获期 /(日/月)	生育 期 /d	出苗 率 /%
A1D1(CK)	22/3	26/4	35	26/10	1 280	88
A1D2	22/3	26/4	35	26/10	1 280	89
A1D3	22/3	25/4	34	26/10	1 281	90
A1D4	22/3	27/4	36	26/10	1 279	91
A1D5	22/3	25/4	34	26/10	1 281	91
A1D6	22/3	26/4	35	26/10	1 280	89
A2D1(CK)	22/3	22/4	31	26/10	1 284	92
A2D2	22/3	22/4	31	26/10	1 284	92
A2D3	22/3	21/4	30	26/10	1 285	93
A2D4	22/3	22/4	31	26/10	1 284	93
A2D5	22/3	21/4	30	26/10	1 285	92
A2D6	22/3	23/4	32	26/10	1 283	91
A3D1(CK)	22/3	17/4	26	26/10	1 289	93
A3D2	22/3	18/4	27	26/10	1 288	94
A3D3	22/3	18/4	27	26/10	1 288	95
A3D4	22/3	19/4	28	26/10	1 287	95
A3D5	22/3	17/4	26	26/10	1 289	93
A3D6	22/3	18/4	27	26/10	1 288	92

2.2 海拔和密度对兰州百合生物性状的影响

生物性状是评判兰州百合生长情况的标

准。如图 1 所示, 除对照试验组(CK)、A1D4、A3D6 外, 随着种植密度的增大, 株高均逐渐降低。其中高海拔区(海拔 2 588 m)株高范围为 29.22~30.06 cm, 平均 29.78 cm; 中海拔区(海拔 2 415 m)株高范围为 29.72~31.84 cm, 平均 30.38 cm; 低海拔区(海拔 2 176 m)株高范围为 32.34~33.97 cm, 平均 32.73 cm, 比高海拔地区高 2.95 cm, 比中海拔地区高 2.35 cm。说明海拔越高, 株高越低。从图 2 可以看出, 除 A1D1、A2D5、A3D1、A3D2 处理外, 叶片数随种植密度增大而减小, 且海拔越高叶片数越少。从图 3 可以看出, 平均单株重高海拔区和低海拔区均表现出先增加后减小的趋势, 最大值均出现在处理 D3; 堡子村表现出先减小后增加的趋势, 最大值出现在处理 D1。高海拔地区平均单株重 211.78 g, 中海拔地区平均单株重 212.21 g, 低海拔地区平均单株重 265.43 g, 高海拔地区和中海拔地区单株重均明显小于低海拔地区。从图 4 可以看出, 除 A3D2 外, 种球周径的大小均表现为先增加后减小的趋势, 高海拔地区最大值为 A1D2 22.35 cm; 中海拔地区最大值为 A2D4

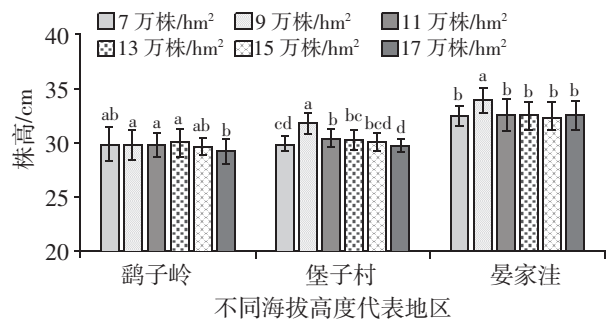


图 1 海拔和密度对百合株高的影响

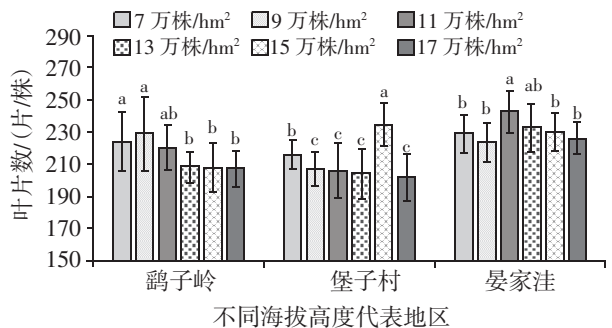


图 2 海拔和密度对百合叶片数的影响

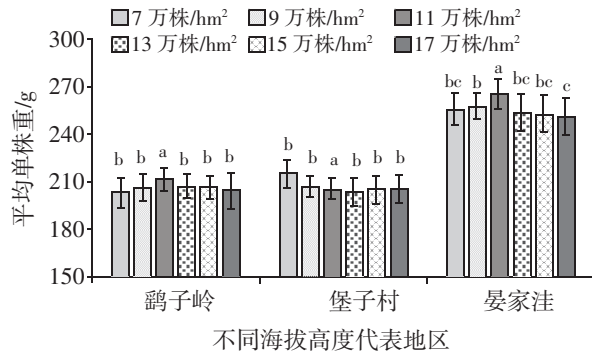


图3 海拔和密度对百合平均单株重的影响

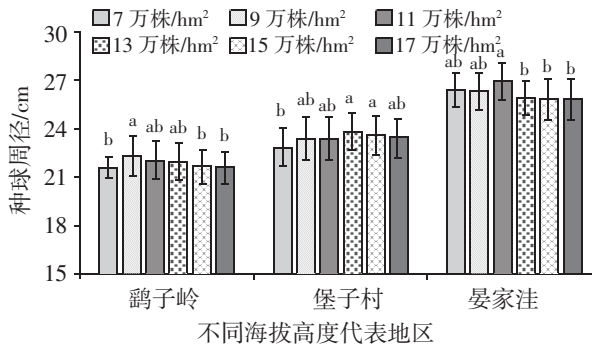


图4 海拔和密度对百合种球周径的影响

23.84 cm; 低海拔地区最大值为 A3D3 26.97 cm。高海拔地区和中海拔地区种球周径明显小于低海拔地区。

2.3 海拔和密度对兰州百合生物学产量的影响

兰州百合的根茎为主要食用部分，其生物产量是重要的经济价值指标。由表2可知，随着种植密度的增加，不同海拔高度兰州百合的生物产量均表现为先增后减的规律，均以处理D4最高，之后随着海拔的升高百合的产量逐渐降低。

高海拔区处理D4种植密度的折合产量最高，为16.5 t/hm²，与处理D1和D2间差异均达显著水平，比处理D1增产4.7 t/hm²，增产率为39.83%；其次是处理D3、D5、D6，折合产量分别为15.4、15.8、15.1 t/hm²，比处理D1分别增产3.6、4.0、3.3 t/hm²，增产率分别为30.51%、33.90%、27.97%，3个处理间差异不显著，均与处理D1差异显著；处理D2的折合产量较低，为13.4

表2 不同海拔和密度处理的兰州百合生物学产量

处理	小区生物产量 (kg/20 m ²)	折合产量 (t/hm ²)	较CK增产 (t/hm ²)	增产率 /%
A1D1(CK)	23.56	11.8 c		
A1D2	26.89	13.4 bc	1.6	13.56
A1D3	30.89	15.4 a	3.6	30.51
A1D4	32.98	16.5 a	4.7	39.83
A1D5	31.61	15.8 a	4.0	33.90
A1D6	30.23	15.1 ab	3.3	27.97
A2D1(CK)	26.54	13.3 c		
A2D2	31.39	15.7 b	2.4	18.05
A2D3	33.71	16.9 ab	3.6	27.07
A2D4	36.36	18.2 a	4.9	36.84
A2D5	35.58	17.8 a	4.5	33.83
A2D6	33.01	16.5 ab	3.2	24.06
A3D1(CK)	30.44	15.2 c		
A3D2	38.00	19.0 b	3.8	20.00
A3D3	41.62	20.8 ab	5.6	36.84
A3D4	43.54	21.8 a	6.6	43.42
A3D5	40.86	20.4 ab	5.2	34.21
A3D6	37.49	18.7 b	3.5	23.03

t/hm²，比处理D1增产1.6 t/hm²，增产率为13.56%，差异不显著。

中海拔区处理D4和D5种植密度的折合产量较高，分别为18.2、17.8 t/hm²，分别比处理D1增产4.9、4.5 t/hm²，增产率分别为36.84%、33.83%，二者之间差异不显著，均与处理D1、处理D2差异显著；处理D3和D6种植密度的折合产量分别为16.9、16.5 t/hm²，比处理D1分别增产3.6、3.2 t/hm²，增产率分别为27.07%、24.06%，2个处理间差异不显著，均与处理D1差异显著，与处理D4和D5差异不显著；处理D2折合产量较低，为15.7 t/hm²，较处理D1增产2.4 t/hm²，增产率为18.05%，差异显著。

低海拔地区处理D4种植密度的折合产量最高，为21.8 t/hm²，比D1增产6.6 t/hm²，增产率为43.42%，与处理D3和D5差异不显著，与处理D1、D2和D6差异显著；处

理 D3 和 D5 折合产量分别为 20.8、20.4 t/hm²，比 D1 分别增产 5.6、5.2 t/hm²，增产率分别为 36.84%、34.21%，二者差异不显著，均与处理 D1 差异显著；处理 D2 和 D6 种植密度的折合产量较低，分别为 19.0、18.7 t/hm²，比 D1 分别增产 3.8、3.5 t/hm²，增产率分别为 20.00%、23.03%，二者差异不显著，均与处理 D1 差异显著。

对不同海拔高度兰州百合的生物学产量变化趋势用一元二次方程进行拟合，其中 A3 晏家洼(海拔 2 176 m)的拟合方程为 $y = -0.179 9x^2 + 4.642 1x - 8.382 9$ (决定系数 $R^2 = 0.989 9$)，从而得出该地区兰州百合最佳种植密度为 12.90 万株 /hm²；A2 堡子村(海拔 2 415 m)的生物产量方程为 $y = -0.111 2x^2 + 3.005x - 2.356$ (决定系数 $R^2 = 0.985 7$)，从而得出该地区兰州百合最佳种植密度为 13.51 万株 /hm²；A1 鹞子岭(海拔 2 588 m)的生物产量方程为 $y = -0.099 6x^2 + 2.7436x - 2.759$ (决定系数 $R^2 = 0.968$)，从而得出该地区兰州百合最佳种植密度为 13.77 万株 /hm²。

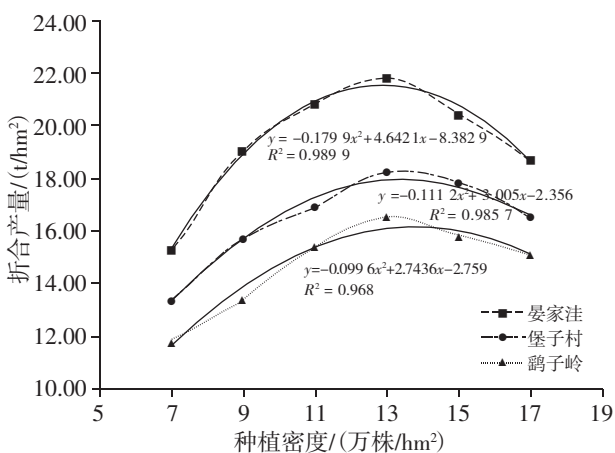


图 5 不同海拔高度产量变化动态拟合

3 结论与讨论

试验表明，随着海拔的升高，百合的出苗期延长，生育期缩短。百合出苗率只与海拔高度有关，与种植密度无关；海拔高度与百合的生物性状呈负相关；种植密度与百合

的株高和叶片数呈负相关，而随种植密度的增加，单株重和种球周径均表现为先增加后减小的趋势。当种植密度不断增大时，由于叶片会遮蔽植株的下半部分，导致叶片生长不良整株光合作用降低，从而株高逐渐降低，叶片数也逐渐减少。李冲等^[12]在研究东方百合“西伯利亚”时发现，株高随着种植密度的增加而逐渐增加，这与本试验得出的结论不一致；而叶片数会随着种植密度的增加而逐渐减小，与本试验相符。在生育前期，植株个体较小，能充分吸取土壤养分并进行光合作用，单株重和种球周径会随着种植密度的增加呈上升趋势；当植株个体不断增大，对水肥的需求量也增加，个体间开始争水争肥，且植株群体间的密度增大，导致中下部分叶片生长不良，单株重和种球周径呈下降趋势，从而表现出先增大后减小的规律。这与再生斌等^[13]在研究甜饲 2 号时所得出的结论相一致。牛芬菊等^[4]研究百合种植密度时发现，种球周径随着种植密度的减小而逐渐增大，与本试验结论不一致。

从产量结果来看，百合产量的变化趋势都是先增大后减小，且最高产量(种植密度 13 万株/hm²)与低产量 CK(种植密度 7 万株/hm²)间差异均显著，说明在相同栽培条件下，种植密度直接影响兰州百合的产量。根据兰州百合生物产量一元二次方程的拟合，得出兰州百合最佳种植密度晏家洼(海拔 2 200 m 左右的区域)为 12.90 万株 /hm²，堡子村(海拔 2 400 m 左右的区域)为 13.51 万株 /hm²，鹞子岭(海拔 2 600 m 左右的区域)为 13.77 万株 /hm²，说明海拔较高地区百合的种植密度较大，且合理密植可有效增加兰州百合单位面积的产量，同时也可以提高百合种植的土地利用率。

在一定的种植密度条件下，随着海拔的

升高, 温度、光照强度、降水量等环境因子差异较大, 会对作物的生长发育产生较大的影响, 从而进一步影响作物的产量^[14], 本试验表明, 随着海拔的升高, 兰州百合的单株平均产量会逐渐降低。种植密度是影响作物产量构成的因素之一, 合理的栽植密度是作物高产、优培的关键技术, 合理的种植密度可有效提高作物的光合作用效率, 提高干物质积累等, 最终提高作物的产量^[15-17], 但如果种植密度过高, 会影响作物对于养分的吸收, 从而影响植物单株的生产能力导致减产, 只有合理密植才能充分利用光照和空间, 增加植株光合效率和光合产物的积累, 从而提高生物学产量^[18]。

参考文献:

- [1] 王生林, 王明霞. 兰州百合发展的思考与对策[J]. 甘肃农业大学学报, 2002, 37(1): 82-87.
- [2] 田雪慧, 郁继华, 颀建明. 转录组测序研究兰州百合抗冻关键基因及途径[J]. 广东农业科学, 2019, 46(8): 35-43.
- [3] 田雪慧. 兰州百合病虫害绿色综合防治技术[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(7): 90-91; 104.
- [4] 牛芬菊, 张兴荃, 张雷, 等. 旱作区百合种植密度研究初报[J]. 中国园艺文摘, 2018, 34(4): 21-22.
- [5] 刘雅楠. 兰州百合不同外植体培养及其优化研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008.
- [6] WANG CHAOQUN, XUE LIN, JIAO RUZHEN. Soil phosphorus fractions, phosphatase activity, and the abundance of *phoC* and *phoD* genes vary with planting density in subtropical Chinese fir plantations[J]. Soil & Tillage Research, 2021, 209: 104946.
- [7] WATKINSON AUTUMN D, NAETH M ANNE, PRUSS SHELLEY D. Modeling artemisia cana landscape cover as a function of planting density and age to inform restoration of sagebrush habitats[J]. Rangeland Ecology & Management, 2021, 76: 22-29.
- [8] 周刚, 杨虎, 陈光勇, 等. 肥料与密度对玉米新品种郑单22农艺性状及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(4): 43-45; 55.
- [9] 王海燕, 崔超, 王海伟, 等. 种植密度对食用型向日葵光合生理特性与产量的影响试验研究[J]. 天津农林科技, 2021(1): 8-11.
- [10] 师超, 余凤敏, 上官力, 等. 海拔高度、施氮量和栽培密度及其交互效应对利川烟区烤烟产质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(3): 79-85.
- [11] 赵凡, 刘世海, 崔银花. 高海拔旱作区马铃薯密度对植株性状及产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(8): 22-27.
- [12] 李冲, 任爽英, 黄璐, 等. 种植密度对东方百合“西伯利亚”生长及切花品质的影响[J]. 西北农业学报, 2011, 20(5): 166-171.
- [13] 冉生斌, 刘建华, 尚永红, 等. 海拔和密度对甜饲2号生物学性状和产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020(1): 65-69.
- [14] 刘淑云, 董树亭, 胡昌浩. 不同海拔高度对玉米品质性状影响的研究[J]. 玉米科学, 2005, 13(2): 68-71; 78.
- [15] 许菁. 耕作方式与秸秆还田对冬小麦-夏玉米光合特性及周年产量形成的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [16] 卜俊周, 岳海旺, 彭海成, 等. 种植密度对夏玉米光合性能、农艺性状和产量的影响研究[J]. 江西农业学报, 2017, 29(9): 19-21.
- [17] 郭伟. 不同行距与下种量对甘蔗生长及光合特性的影响研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.
- [18] 马国胜, 薛吉全, 路海东, 等. 密度与氮肥对关中灌区夏玉米(*Zea mays* L.)群体光合生理指标的影响[J]. 生态学报, 2008(2): 661-668.

(本文责编: 杨杰)