

种植密度对桂糖 37 和桂糖 40 主要病虫害发生的影响及相关性分析

罗 霆, 李毅杰, 王泽平, 周 会, 段维兴, 梁 强, 黄诚华, 林善海*

(广西农业科学院甘蔗研究所/中国农业科学院甘蔗研究中心/农业部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室, 南宁 530007)

摘 要: 为了探讨较佳种植密度, 为甘蔗主要病虫害的综合防控提供技术支持, 以桂糖 37 号和桂糖 40 号为材料, 设置 5 个不同种植密度: 11.61、13.58、15.72、17.87 和 20.01 万芽·hm⁻², 研究种植密度对甘蔗主要病虫害的影响。结果表明, 下种量密度对桂糖 37 的出苗数有明显的影响, 当下种量为 17.87 万芽·hm⁻²时, 出苗数最多。而下种量密度对桂糖 40 的出苗数没有明显影响。两个品种的出苗率均随着下种量密度的增加而逐渐降低。种植密度对 2 个甘蔗品种新植蔗的黑穗病发生无明显影响。随着下种量增加, 桂糖 37 梢腐病的发生逐渐加重, 然后减轻。桂糖 40 甘蔗梢腐病较轻, 规律不明显。2 个品种的花叶病均表现为随着下种量的增加, 呈先增加后降低。但 2 个品种的枯心率均随着下种量的增加而不断上升。相关性分析表明, 下种量分别与螟害枯心苗率和出苗数呈显著正相关。种植密度对甘蔗梢腐病、花叶病和螟害均有明显的影响。

关键词: 甘蔗; 种植密度; 梢腐病; 花叶病; 枯心苗; 相关性

中图分类号: S435.661

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)05-0899-06

Influence of planting density on major diseases and insect pests of sugarcane varieties Guitang 37 and Guitang 40 and correlation analysis

LUO Ting, LI Yijie, WANG Zeping, ZHOU Hui, DUAN Weixing, LIANG Qiang, HUANG Chenghua, LIN Shanhai (Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences/Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture, Nanning 530007)

Abstract: The present research was conducted to investigate the effects of planting density on control of the major diseases and insect pests in sugarcane field. Two sugarcane varieties Guitang 37 and Guitang 40 were cultivated at five planting densities of 11.61, 13.58, 15.72, 17.87 and 20.01 ten thousand buds·hm⁻². The effects of planting density on smut, pokkah boeng, mosaic disease and dead heart seeding of sugarcane were investigated. The results showed that seeding emergence numbers of variety Guitang 37 were significantly affected by planting density, and the maximum number appeared at the density of 17.87 ten thousand buds·hm⁻². No obvious relationship between planting density and seeding emergence number was found in Guitang 40. All emergence rates of two sugarcane varieties decreased with an increase of planting density. Planting density had no obvious effect on the incidence of smut during the new planting sugarcane growth period. Along with the increase of seeding quantity, pokkah boeng was heavy, and then became less on variety Guitang 37. Planting density had no obvious effect on that of variety Guitang 40. Mosaic disease incidences of the two varieties increased firstly and then decreased along with the increasing planting density. Interestingly, dead heart seeding constantly increased with an increase of the seeding quantity for both varieties. There was a significantly positive relationship between planting density and seedling emergence number and dead heart seeding. Planting density evidently affected the incidence of sugarcane pokkah boeng, mosaic disease and borer.

收稿日期: 2017-01-29

基金项目: 现代农业产业体系建设专项(CARS-20-2-3), 广西自然科学基金(2015GXNSFAA139051, 2013GXNSFBA019068), 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科转 14125004-3), 广西农科院科技发展基金(2016JM01, 2013JZ12)和广西农业科学院基本科研业务专项(2015YT06)共同资助。

共同第一作者: 罗 霆, 博士, 副研究员。E-mail: seafair@163.com ; 李毅杰, 助理研究员。E-mail: liyijie@gxaas.net

* 通信作者: 林善海, 博士, 副研究员。E-mail: shanhai@163.com

Key words: sugarcane; planting density; pokkah boeng; mosaic disease; dead heart seedling; relationship

影响甘蔗生产的因素很多,包括病害、虫害和环境胁迫等。病虫害是限制甘蔗生产的一个主要因素。黑穗病 (smut)、梢腐病 (pokkah boeng)、花叶病 (mosaic diseases) 和螟虫 (sugarcane borers) 是甘蔗上的主要病虫害。由担子菌亚门真菌甘蔗鞭黑粉菌 (*Ustilago scitaminea* Syd.) 引起的黑穗病是甘蔗生产中为害最严重、经济影响较大的真菌性病害之一,尤其是对宿根蔗的影响,宿根年限越长,发病越严重。黑穗病菌主要通过鳞芽侵染甘蔗,被感染黑穗病菌的甘蔗植株梢头变成一条黑色鞭状物,甘蔗生长后期也可侵染植株的侧芽形成黑鞭。黑穗病可造成甘蔗产量损失 10%~30%,严重的可达 50%~70%^[1]。由藤仓赤霉病菌复合种 (*Gibberella fujikuroi* complex) 引起的甘蔗梢腐病是一种世界性气传真菌病害,近年来逐渐成为甘蔗上的一种重要病害^[2-3]。梢腐病主要侵染甘蔗嫩梢,感染梢腐病的植株主要表现为叶片皱缩、扭曲、生长点坏死腐烂干枯等。染病不严重的情况下,到生长后期可逐渐恢复,但为害严重的可造成断尾,侧芽爆发,产量和含糖量降低,同时也影响了留种质量。发病率最高可达 38.72%,减产 5%~20%,糖份降低 3%^[4-5]。甘蔗花叶病是甘蔗上的一类主要病毒病,国内侵染甘蔗的花叶病毒主要有高粱花叶病毒 (*Sorghum mosaic virus*) 和甘蔗花叶病毒 (*Sugarcane mosaic virus*)。甘蔗花叶病毒引起的症状主要表现在叶片上,染病植株叶片光合效率下降,糖份降低^[6]。甘蔗苗期感染花叶病毒,可造成萌芽率降低、生长矮化、节间变短、分蘖减少,减产达到 10%~40%^[7]。为害甘蔗的螟虫主要有条螟 [*Proceras venosatus* (Walker)]、二点螟 (*Chilo infuscatellus* Snellen)、大螟 [*Sesamia inferens* (Walker)]、黄螟 [*Argyroprole schistaceana* (Snellen)] 和白螟 (*Tryporyza intacta* Snellen)。甘蔗螟虫在整个生长过程均可可为害甘蔗,苗期为害造成枯心苗,大大降低甘蔗产量;生长中后期主要蛀食蔗茎,造成断尾和蛀孔,从而降低甘蔗含糖量和品质。广西每年约有 40% 的甘蔗受到螟虫的为害,产量损失达到 10%~25%^[8]。

甘蔗植株和有效茎数是直接影响甘蔗产量的重要因素,植株数主要取决于种植密度,根据品种的特性合理选择下种量,可有效提高产量^[9]。种植密度除了对作物的品质和产量有影响^[10],与病虫害的发生也有密切的相关性^[11-12]。Xu 和 Madden^[13]通过 4 年的观察记录发现,随着种植密度增加,苹果白

粉病和根部病害均相应提高。豇豆病毒病的发生率也随着种植密度的增加而显著提高^[14]。而橄榄的中低高种植密度 (204、408 和 816 株·hm⁻²) 对果实炭疽病的染病率和潜伏侵染率没有明显的影响,但当橄榄的种植密度达到超高密度 (1 904 株·hm⁻²) 水平时,果实炭疽病的染病率和潜伏侵染率提高极其显著^[15]。在花生种植上,以次高密度 (20 cm×20 cm) 时的叶斑病、豆荚腐烂、落叶和虫害均发生率最低,最高密度 (10 cm×10 cm) 时的发生率最高,但次高密度时花生产量最高^[16-17]。当海枣 (date palm) 种植距离小于 5 m 时,红蜘蛛、白蚁、喇叭虫、长触角甲虫、星盾蚧、Khamedje disease 和叶斑病等主要病虫害的为害均高于种植距离为 5~10 m 时的水平^[18]。因此,合理的种植密度可获得适宜的叶片冠层部分以及对光能的充分利用,并提供高植株的抗性^[19]。但 Cherry 等^[20]通过对产量和虫害的相关性分析表示,种植密度对甜高粱虫害造成的损失没有明显的影响。

目前,尚未见有种植密度对甘蔗病虫害影响方面的报道。本研究选择目前生产上的 2 个主要栽培品种桂糖 37 号和桂糖 40 号,研究其种植密度与主要病虫害的相关性,旨在为甘蔗病虫害的综合防控提供合理的种植密度栽培模式。

1 材料与方法

1.1 材料

桂糖 37 号和桂糖 40 号均为广西农业科学院甘蔗研究所育成品种,田间多年多点对甘蔗梢腐病综合分别表现为高感和抗病。

1.2 方法

1.2.1 种植与管理 试验于 2015 年在广西农业科学院隆安育种基地进行,试验地前作为甘蔗,肥力中等。试验设 5 个处理,各处理种茎下种量见表 1。采用随机区组排列,设 3 个重复,每小区 3 行区,行长 7 m,行距 1.2 m,边行设 3 行保护行。

2015 年 3 月 14—15 日种植,16 日培土盖膜。种茎以双行品字形排列,两行种茎之间距离不小于 10 cm 左右。施长效杀虫剂 5% 毒死蜱或辛硫磷 75 kg·hm⁻²,盖土 3~5 cm。盖土后喷施阿特拉津除草剂 2 500 g·hm⁻² 进行封闭。植蔗沟上喷施除草剂后,用宽 45~50 cm,厚 0.004~0.005 mm 的农用塑料薄膜紧贴土面覆盖植蔗沟。5 月中旬进行中耕除草,并施分蘖肥。6 月中旬进行大培土。甘蔗生长期

未施用任何病虫害的药剂。其他管理措施与新植蔗的相同。

1.2.2 调查与记录 2015 年 7 月 21 日调查。调查内容包括出苗株数、梢腐病病株数和发病等级、花叶病病株数、黑穗病病株数和螟害枯心苗数。梢腐病的发病等级和调查标准按照王泽平等^[2]建立的抗性评价体系进行。调查螟害枯心苗时, 拔出枯心苗, 辨别是甘蔗螟虫为害或是自然死亡的无效分蘖。

1.3 数据处理与统计分析

将记录的原始数据进行反正弦平方根转换, 并用 Duncan's 新复极差法进行多重分析。出苗比的计算公式为: 出苗率=出苗数/下种量 $\times 100$ 。甘蔗黑穗病、梢腐病、花叶病和螟虫的发生率计算公式为: 发生率(发病率或枯心苗率)=发病株数或枯心苗数/调查总苗数 $\times 100$ 。梢腐病的病情指数计算按照

王泽平等^[2]的方法进行。梢腐病、花叶病和螟害枯心苗发生的趋势线为多项式趋势线。对下种量、梢腐病、花叶病、螟害枯心苗和出苗数 5 个因子进行相关性分析。方差分析和相关性分析采用 DPS v14.10 软件。

2 结果与分析

2.1 种植密度对甘蔗出苗的影响

研究表明, 下种量密度对桂糖 37 的出苗数有明显的影 响, 当小区下种量为 300 芽时, 出苗数最多, 与小区下种量为 195 芽显著差异。而下种量密度对桂糖 40 的出苗数没有明显影响。2 个品种的下种量密度结果均表明, 随着下种量密度的增加, 出苗率逐渐降低(表 1)。

表 1 甘蔗下种量、出苗及黑穗病的发生情况

Table 1 Seeding quantity, seeding emergence of sugarcane and incidence of smut

品种 Variety	处理 Treatment	试验小区下种量 出芽率/ 10^4 bud Bud quantity	下种量出芽 率/ $10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$ Bud quantity	试验小区出苗 数/株 plant Seedling amount	出苗数/ 10^4 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ Seedling amount strain	出苗率 Seedling rate	黑穗病发病率/% Smut incidence rate
桂糖 37	A	195	11.61	(212.75 \pm 8.54) ^b	12.67	109.10	0.00
Guitang 37	B	228	13.58	(223.00 \pm 27.06) ^{ab}	13.28	97.81	0.00
	C	264	15.72	(237.75 \pm 18.56) ^{ab}	14.12	90.06	0.13
	D	300	17.87	(244.00 \pm 12.50) ^a	14.53	81.33	0.00
	E	336	20.01	(240.20 \pm 14.22) ^{ab}	14.30	71.49	0.00
桂糖 40	A	195	11.61	(210.67 \pm 24.79) ^a	12.55	108.04	0.00
Guitang 40	B	228	13.58	(208.00 \pm 6.00) ^a	12.39	91.23	0.00
	C	264	15.72	(208.67 \pm 39.27) ^a	12.43	79.04	0.00
	D	300	17.87	(243.00 \pm 4.36) ^a	14.47	81.00	0.00
	E	336	20.01	(241.67 \pm 13.50) ^a	14.39	71.93	0.00

注: 表中数据为 3 个重复的平均值, 同列数据后小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: the data in the table are average value of triplicates, and the values followed by different letters in the same column represent significant difference at the 0.05 level.

2.2 种植密度对甘蔗黑穗病的影响

2 个甘蔗品种(桂糖 37 和桂糖 40)新植蔗对黑穗病具有较好的抗性, 仅桂糖 37 小区种植密度为 264 芽时零星发生, 其他种植密度及桂糖 40 的所有种植密度均为见黑穗病的发生(表 1)。

2.3 种植密度对梢腐病的影响

桂糖 37 和桂糖 40 分别为对甘蔗梢腐病表现为感病和抗病的品种。桂糖 37 梢腐病发病率为 20.11%~26.14%, 病情指数为 14.52~24.34; 桂糖 40 发病率为 3.16%~5.56%, 病情指数为 1.76~3.03。随着下种量密度的增加, 桂糖 37 梢腐病的发生程度逐渐加重, 小区下种量为 264 芽时, 发病率最高, 但小区下种量达到 300 芽后, 梢腐病病情逐

渐减轻。梢腐病的病情指数与病害的发生情况趋势一致, 但病情指数最高为小区下种量 228 芽时, 桂糖 40 表现较为抗甘蔗梢腐病, 发生程度较低, 规律不明显(图 1)。

2.4 种植密度对花叶病的影响

桂糖 37 和桂糖 40 分别为对甘蔗花叶病均表现为抗病的品种。桂糖 37 花叶病发病率为 0.43%~2.15%, 桂糖 40 发病率为 0.55%~1.16%。虽然 2 个品种均表现出对花叶病较高的抗性, 但也表现出一致规律。随着下种量密度的增加, 桂糖 37 花叶病的发生程度逐渐加重, 小区下种量为 264 芽时, 发病率最高, 但小区下种量达到 300 芽后, 病情逐渐减轻。桂糖 40 表现为小区下种量为 264 芽时甘蔗花

叶病发生率较高，随后逐渐降低（图2）。

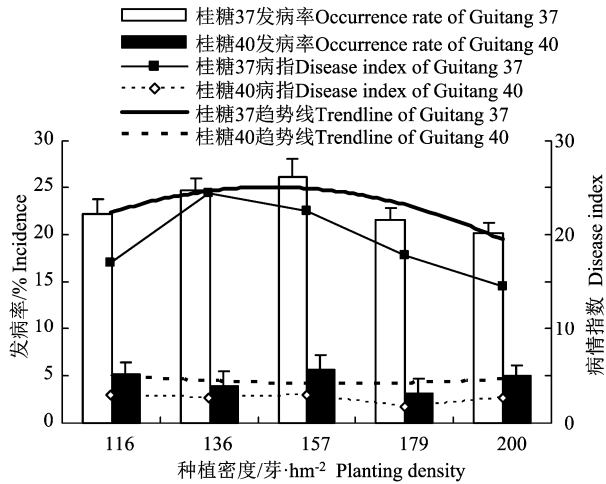


图1 种植密度对甘蔗梢腐病发生的影响

Figure 1 Effect of planting density on the incidence of sugarcane pokkah boeng

2.5 种植密度对螟害的影响

桂糖 37 和桂糖 40 分别为对甘蔗病虫表现为中抗和感虫的品种，但下种量密度试验结果也表现出一致规律。桂糖 37 的枯心率为 15.13%~21.07%，桂糖 40 的枯心率为 28.01%~37.70%。2 个品种的枯心率均随着下种量密度的增加而不断上升。当桂糖 37 的小区下种量达到 336 芽时，枯心率显著高于其他几个下种量较低的处理；桂糖 40 小区下种量为 195 芽时，与小区下种量为 228 芽的处理枯心率差异不明显，但与小区下种量较高的几个处理（264、300 和 336 芽）差异显著（图 3）。

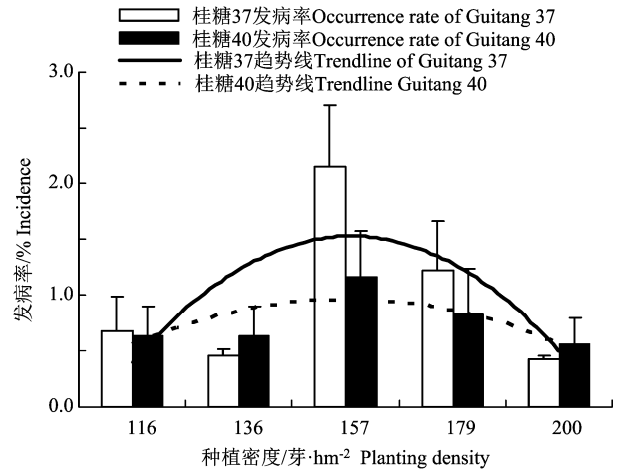


图2 种植密度对甘蔗花叶病发生的影响

Figure 2 Effect of planting density on the incidence of sugarcane mosaic diseases

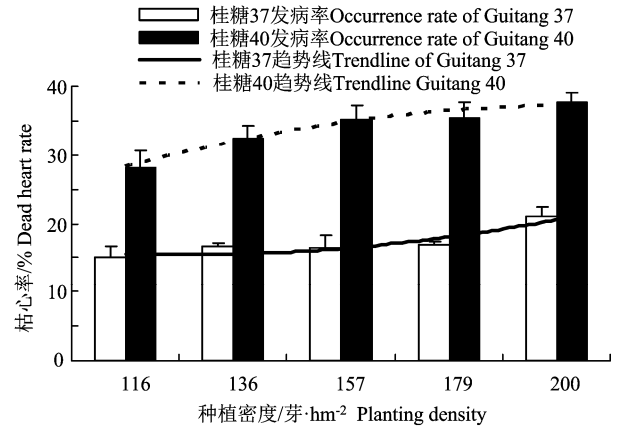


图3 种植密度对甘蔗螟虫发生的影响

Figure 3 Effect of planting density on the incidence of sugarcane boers

表2 桂糖37号多因子相关性分析

Table 2 Correlation analysis of multiple factors on sugarcane variety 37

因子 Factors	下种量 Buds quantity	梢腐病 Pokkah boeng	花叶病 Mosaic disease	枯心苗 Dead heart seedling	出苗数 Seedling amount
下种量 Buds quantity					
梢腐病 Pokkah boeng	-0.48				
花叶病 Mosaic disease	0.06	0.61			
枯心苗 Dead heart seedling	0.86*	-0.58	-0.34		
出苗数 Seeding amount	0.91*	-0.19	0.40	0.6	

注：“*”表示 P<0.05；“**”表示 P<0.01，下同。

Note: “*”means P<0.05; “**”表示 P<0.01,the same below.

2.6 多因子相关性分析

综合 2 个品种多因子相关性分析见表 2 和表 3。下种量与梢腐病的发病率呈负相关，分别与花叶病、枯心苗率及出苗数呈正相关。其中下种量与枯心苗率和出苗数呈显著正相关。梢腐病与花叶病的发生

呈正相关，说明甘蔗植株感染一种病害之后，免疫力下降，容易感染其他病害。梢腐病与枯心苗呈负相关，说明甘蔗苗枯死了之后不能再感染梢腐病。枯心苗率与出苗数呈正相关，可能是甘蔗苗植株密度增加，螟虫孵化之后容易分散到植株上进行蛀食。

表 3 桂糖 40 号多因子相关性分析
Table 3 Correlation analysis of multiple factors on sugarcane variety 40

因子 Factors	下种量 Buds quantity	梢腐病 Pokkah boeng	花叶病 Mosaic disease	枯心苗 Dead heart seedling	出苗数 Seedling quantity
下种量 Buds quantity					
梢腐病 Pokkah boeng	-0.17				
花叶病 Mosaic disease	0.01	0.23			
枯心苗 Dead heart seedling	0.95**	-0.13	0.22		
出苗数 Seedling amount	0.85*	-0.43	-0.28	0.65	

3 讨论与结论

3.1 密度对甘蔗出苗和病虫害的影响

适度密植是提高作物产量的一种主要栽培措施,但由于不同作物、不同品种的特性差异,密度对其出苗的影响也不同。种植密度越大,植物对光线、水分和营养的可利用空间越小,从而影响植物的生物量。本试验中,虽然 2 个甘蔗品种随着下种量的增加,出苗数逐渐增多,但是两者并非呈线性关系,出苗数的增加幅度比下种量小,且出苗率反而逐渐下降。

植物的种植密度不同,势必造成田间温度、湿度、水分和植株相互接触的机率等多种因素的改变,从而影响不同植物病原的繁衍传播。Anderson 和 May^[21] 的病害流行病学模型表示,随着寄主密度的增加会提高侵染源与健康组织的接触几率,并因此增加病害发生频率。在某种程度上,这是病害随着种植密度的增加而提高最直接的依据^[22-23]。因此,给病原菌扩散提供了最重要的作用。但是有少数例外,有关密度对病原的扩散很少有实证评价^[24]。本研究结果也表明,甘蔗梢腐病和花叶病也并非和种植密度呈直线型关系,而是随着密度的增加,先上升后下降。只有螟害在有限的密度梯度下是随着密度的增加而提高。

3.2 甘蔗病虫害多个因子的相关性

甘蔗生长过程中受到自身和多种环境因素的影响,尤其是病虫害的干预,多个因素之间存在一定的必然联系。例如,当增加马铃薯的种植密度时,各种病虫害的发生率均随之提高^[11]。在海枣的种植上同样表现出相似的规律^[18]。本研究通过对 2 个甘蔗品种的密度试验进行探讨,结果表明,甘蔗下种量与枯心苗率和出苗数呈显著的正相关关系。螟害枯心苗是由甘蔗螟虫的幼虫蛀食引起的。成虫产卵在甘蔗植株幼苗上,待温度适合时孵化,幼虫移动到距离范围有限,一般只会在孵化所在的植株或迁移到相邻植株上进行为害,为害之后可转移到相邻

的植株上进行再次为害^[25]。因此,当单位下种量提高,出苗密度增加,螟虫幼虫的为害率会相应提高。甘蔗梢腐病和花叶病均为叶部病害,当植株感染其中一种病害时,免疫力下降,容易感染另外一种病害,2 个病害的发生率之间也呈现正相关关系。2 个甘蔗品种的其他因素两两之间也表现出较为一致的相关关系。

参考文献:

- [1] 沈万宽,姜子德,邓海华等.甘蔗黑穗病及其病原菌研究进展[J].热带作物学报,2016,34(10):2063-2068.
- [2] 王泽平,段维兴,李毅杰,等.甘蔗梢腐病田间抗性评价体系建立[J].华南农业大学学报,2016,37(3):67-72.
- [3] SINGH A, CHAUHAN S S, SINGH A, et al. Deterioration in sugarcane due to pokkah boeng disease[J]. Sugar Tech, 2006, 8(2): 187-190.
- [4] 王泽平,陈奕,孙海军,等.广西甘蔗主栽品种梢腐病田间抗性初步评价[J].热带作物学报,2016,37(5):952-957.
- [5] 黄鸿能.浅谈甘蔗病害在广东蔗区的为害及其主要防治对策[J].甘蔗糖业,1993(3):13-16.
- [6] 周丰静,黄诚华,李正文,等.广西蔗区甘蔗花叶病病毒种群分析[J].南方农业学报,2015,46(4):609-613.
- [7] 何炎森,李瑞美.甘蔗花叶病研究现状[J].中国糖料,2006(1):47-49.
- [8] 商显坤,黄诚华.甘蔗螟虫防治技术研究进展[J].安徽农业科学,2010,38(35):20064-20066.
- [9] 谭芳,王伦旺,经艳,等.施肥和种植密度对桂糖 31 号产量及主要经济性状的影响[J].南方农业学报,2016,47(4):564-570.
- [10] RAHMAN M M, HOSSAIN M M, ANWAR M P, et al. Plant density influence on yield and nutritional quality of soybean seed[J]. Asian J Plant Sci, 2011, 10(2): 125-132.
- [11] 李杨,陈祖瑶,郑元红,等.不同种植密度下“威芋 5 号”病虫害种类调查及防治[J].中国园艺文摘,2014(1):70-73.
- [12] MAAS A L, DASHIELL K E, MELOUK H A. Planting density influences disease incidence and severity of *Sclerotinia* blight in peanut[J]. Crop Sci, 2006, 46(3): 1341-1345.
- [13] XU X, MADDEN L V. Incidence and density relationships of powdery mildew on apple[J]. Phytopathology, 2002, 92(9): 1005-1014.
- [14] ALIYU T H, BALOGUN O S. Effects of variety and

- planting density on the incidence of common viral diseases of cowpea (*Vigna unguiculata*) in a southern guinea savannah agro-ecology[J]. *Asian J Plant Sci* , 2011, 5(3): 126-133.
- [15] MORAL J, JURADO-BELLO J, SÁNCHEZ M I, et al. Effect of temperature, wetness duration, and planting density on olive anthracnose caused by *Colletotrichum* spp[J]. *Phytopathology*, 2012, 102(10): 974-981.
- [16] IHEJIRIKA G O, IBEAWUCHI I I, OGBEDEH K O. Assessment of planting technique and planting density on insects damage, defoliation and pod-rot of groundnut[J]. *Life Sci J* , 2008, 5(2): 58-62.
- [17] IHEJIRIKA G O, NWUFO M I, DURUIGBO C I, et al. Effects of plant extracts and plant density on the severity of leafspot disease of groundnut (*Cercospora arachidicola* Hori) in Imo state[J]. *J Plant Sci* , 2006, 1(4): 274-377.
- [18] LATIFIAN M, RAHNAMA A A, SHARIFNEZHAD H. Effect of planting pattern on major date palm pests and diseases injury severity[J]. *Int J Agric Crop Sci* , 2012, 4(19): 1443-1451.
- [19] 苒建峰, 张海红, 李鸿萍, 等. 不同行距配置方式对夏玉米冠层结构和群体抗性的影响[J]. *作物学报*, 2016, 42(1): 104-112.
- [20] CHERRY R, WANG Y G, NUESSELY G, et al. Effect of planting date and density on insect pests of sweet sorghum grown for biofuel in southern Florida[J]. *J Entomol Sci* , 2013, 48(1): 52-60.
- [21] ANDERSON R M, MAY R M. Population biology of infectious diseases: Part I[J]. *Nature*, 1979(280): 361-367.
- [22] BURDON J J, CHILVERS G A. Host density as a factor in plant disease ecology[J]. *Annu Rev Phytopathol* , 1982(2): 143-166.
- [23] WAGGONER P E. Progress curves of foliar diseases: Their interpretation and use[M] // LEONARD K J, FRY W E. *Plant Disease Management: Vol 1*. New York: Macmillan Publishing Co, 1986: 3-37.
- [24] MADDEN L V, BOUDREAU M A. Effect of strawberry density on the spread of anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum*[J]. *Phytopathology*, 1997(87): 828-838.
- [25] 黄应昆, 李文凤, 申科, 等. 云南蔗区甘蔗螟虫发生危害特点与防治[J]. *中国糖料*, 2014(2): 68-70.