

基于 R 语言的 GGE 双标图在江苏省淮南玉米区域试验中的应用

赵青, 孙杰, 王朋, 张志高 (江苏省大华种业集团有限公司育种研究院, 江苏连云港 222344)

摘要 通过基于 R 语言的 GGE 双标图法分析了 15 个玉米品种的丰产性、稳产性同时分析了 8 个试验点对参试品种的区分力和代表性。结果表明, 先玉 1980 (G10) 高产且稳产; 而 DJ1803 (G09) 较高产, 但稳产性稍差。综合各试验点的区分力和代表性, 如皋 (E6) 试点的区分力和代表性最好, 是理想的试验点。江苏中江种业股份有限公司 (E2)、江苏省农业科学院 (E3) 之间以及大华育种研究院盐城研究所 (E5)、江苏神农大丰种业科技有限公司盐城基地 (E7) 之间存在紧密正相关, 表明有些试验点也许是重复设置的, 应该剔除冗余的试点, 以减少试验成本。

关键词 玉米; GGE 双标图; R 语言; 区域试验

中图分类号 S513 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)06-0025-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.06.006



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Application of GGE-biplot Based on R Language in Maize Regional Trial in 2020 in Huainan, Jiangsu Province

ZHAO Qing, SUN Jie, WANG Peng et al (Breeding Research Institute of Jiangsu Dahua Seed Enterprise Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu 222344)

Abstract GGE-biplot based on R language was used to analyze high-yield and stability of maize yield, with 15 maize hybrid combinations planted in Huainan, Jiangsu Province. Meanwhile, representativeness and discrimination of eight different testing sites were analyzed. The results showed that Xianyu 1980 (G10) was both the combination with a high and stable yield, and DJ1803 also had a relatively high yield, but its stability was a bit poor. In terms of discrimination and representativeness, Rugao (E6) had the best discrimination and representativeness and it was the best testing site. There was a close positive correlation between Jiangsu Zhongjiang (E2), Jiangsu Academy of Agricultural Sciences (E3) and Dahua Yancheng (E5), Shennong Yancheng (E7), indicating that some test sites may be duplicated and redundant test sites should be eliminated to reduce the cost of the test.

Key words Maize; GGE biplot; R language; Regional trial

区域试验是玉米审定过程中的重要环节, 目前玉米区域试验主要采用算数平均值法来评价品种丰产性。玉米在生长过程中, 产量主要受品种(即基因型)和环境以及基因型-环境互作影响, 方差分析法可以判断三者是否达到显著水平, 但是不能解释基因型以及基因型和环境互作效应。Yan^[1]在 2001 年提出基因型主效加基因型与环境互作效应模型, 即 GGE 双标图模型。GGE 双标图不仅可以评价区域试验中品种丰产性和稳产性, 还能对试点的区分力、代表性进行合理评价^[2]。目前该方法已经被科研工作者广泛应用于评价水稻^[3-4]、小麦^[5-6]、玉米^[7-9]、大豆^[10-11]、燕麦^[12-13]等农作物新品种的丰产性、稳产性和适应性。鉴于此, 笔者利用基于 R 语言的 GGE 双标图对 2020 年江苏省淮南玉米区域试验进行分析, 比较各参试品种的丰产性、稳产性和适应性以及各试点的区分力和代表性, 为评价江苏省淮南玉米区域试验中优良品种和参试地点提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料 参试玉米品种共有 15 个(表 1), 试点共 11 个, 分别为东台市农业科学研究所(简称“东台所”, 代码“E1”)、江苏中江种业股份有限公司(江苏中江, E2)、江苏省农业科学院粮食作物研究所(省农科院, E3)、江苏金色农业股份有限公司(金色农业, E4)、大华育种研究院盐城研究所

(大华盐城, E5)、如皋市农业科学研究所(如皋, E6)、江苏神农大丰种业科技有限公司盐城基地(神农盐城, E7)、盐城市新洋农业试验站(新洋站, E8)、江苏沿江地区农业科学研究所(沿江如皋, E9)、江苏红旗种业股份有限公司(红旗种业, E10)、江苏润扬种业股份有限公司(润扬种业, E11)。

表 1 2020 年江苏淮南玉米区域试验品种代码、参试品种及供种单位
Table 1 Information of varieties in maize regional trial of Huainan, Jiangsu Province in 2020

代码 Code	参试品种 Tested variety	选育单位 Breeding unit
G1	金玉 024	江苏金色农业科技发展有限公司、江苏省农业科学院粮食作物研究所
G2	苏科玉 1706	江苏省农业科学院粮食作物研究所
G3	苏玉 42	江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所
G4	金玉 022	江苏金色农业科技发展有限公司、江苏省农业科学院粮食作物研究所
G5	焦点玉 1601	江苏焦点农业科技有限公司、江苏省农业科学院粮食作物研究所
G6	DJ1713	江苏省大华种业集团有限公司
G7	通玉 1802	江苏沿江地区农业科学研究所
G8	通玉 1902	江苏沿江地区农业科学研究所
G9	DJ1803	江苏省大华种业集团有限公司
G10	先玉 1980	铁岭先锋种子研究有限公司
G11	中江 1901	江苏中江种业股份有限公司
G12	润扬玉 901	江苏润扬种业股份有限公司
G13	T903	莱州市太丰种业有限公司
G14	元玉 1801	南通瑞德农业科技有限公司、南通市长江种子有限公司
G15	苏玉 29(CK)	江苏省农业科学院粮食作物研究所

1.2 试验设计 小区面积 24 m², 6 行区, 大小行, 密度 67 500 株/hm², 对照品种苏玉 29。试验小区采取随机区组排

基金项目 江苏省农垦农业发展股份有限公司农业科技项目“黄淮海地区抗病、高产、适宜机械化生产玉米新品种选育”(NK202007)。

作者简介 赵青(1992—), 女, 江苏扬州人, 技术员, 硕士, 从事玉米遗传育种工作。

收稿日期 2021-07-06

列,3次重复,纯作,四周设保护行,收获时全小区计产,3次重复的平均产量换算成单位面积的产量。沿江如皋点 E9 因强台风致所有品种倒伏,红旗种业点 E10、润扬种业点 E11 因受渍害严重,均作报废处理,不列入统计分析。

1.3 统计分析 使用 R 软件(版本号:4.0.3)的 GGEBiplot-GUI 包对 15 个淮南普通玉米区域试验参试品种和各个试验点间的关系进行 GGE 双标图分析。将原始数据转化为 3 列表形式,第 1 列为参试品种(Gen)、第 2 列为试验地点(Env)、第 3 列为产量(Yield)。运行完各命令后会出现交互界面,通过鼠标操作可得各种 GGE 双标图。

表 2 15 个参试组合在 8 个试验点的产量比较

Table 2 Yield comparison of 15 maize varieties in 8 test sites

基因型 Genotype	产量 Yield/(kg/hm ²)								平均 Mean	排序 Rank
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8		
G01	10 708.5	9 427.5	9 103.5	9 624.0	8 661.0	10 479.0	9 145.5	8 736.0	9 485.6	6
G02	10 569.0	8 385.0	8 965.5	9 531.0	9 363.0	11 580.0	9 250.5	9 639.0	9 660.4	4
G03	9 903.0	9 841.5	10 035.0	10 047.0	8 503.5	11 400.0	9 229.5	10 584.0	9 942.9	3
G04	9 750.0	9 162.0	9 553.5	9 025.5	8 655.0	10 716.0	8 271.0	8 860.5	9 249.2	9
G05	10 083.0	9 210.0	9 757.5	8 905.5	8 535.0	11 757.0	8 527.5	9 555.0	9 541.3	5
G06	10 833.0	9 084.0	8 509.5	9 216.0	8 823.0	11 298.0	8 979.0	9 139.5	9 485.3	7
G07	9 472.5	8 178.0	8 223.0	10 074.0	8 758.5	9 630.0	9 124.5	10 014.0	9 184.3	10
G08	10 264.5	9 777.0	9 445.5	7 914.0	7 981.5	10 216.5	8 770.5	8 944.5	9 164.3	11
G09	10 111.5	9 570.0	10 197.0	10 069.5	9 108.0	12 100.5	9 084.0	11 278.5	10 189.9	2
G10	11 125.5	9 714.0	10 336.5	9 733.5	9 043.5	12 355.5	8 965.5	10 389.0	10 207.9	1
G11	9 319.5	8 644.5	9 085.5	9 252.0	7 650.0	9 543.0	8 020.5	8 221.5	8 717.1	15
G12	9 361.5	9 190.5	9 244.5	9 088.5	7 941.0	10 117.5	8 313.0	8 638.5	8 986.9	13
G13	10 041.0	8 755.5	8 490.0	9 807.0	8 530.5	10 717.5	8 617.5	10 471.5	9 428.8	8
G14	10 458.0	8 316.0	9 226.5	8 268.0	8 167.5	9 837.0	9 124.5	9 333.0	9 091.3	12
G15(CK)	9 250.5	8 235.0	8 833.5	8 881.5	8 172.0	9 406.5	8 265.0	9 084.0	8 766.0	14
平均 Mean	10 083.4	9 032.7	9 267.1	9 295.8	8 526.2	10 743.6	8 779.2	9 525.9	9 406.7	
排序 Rank	2	6	5	4	8	1	7	3		

表 3 方差分析

Table 3 Analysis of variance

变异来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of squares	均方 Mean square value	F	显著性 Significance	解释变异 Variation explained//%
试点区内组 Group of test site	16	332 726.8	20 795.4	33.5	1.882 71E-50	17.9
品种 Variety	14	312 756.6	22 339.8	36.0	1.734 05E-49	16.9
试点 Test site	7	720 042.7	102 863.2	165.9	6.360 75E-85	38.8
品种×试点 Variety×test site	98	349 256.0	3 563.8	5.7	3.068 36E-27	18.8
误差 Error	224	138 859.9	619.9			7.5
总变异 Total variation	359	1 853 642.0				100.0

2.2 不同品种产量表现和试点划分 图 1 顺次连接各个方向上距离原点最远的品种构成一个多边形,并将所有品种包含在内,过原点向多边形每条边做垂线,这些垂线将多边形划分为不同的扇区。8 个试验点分布在 2 个扇区内,E1、E2、E3、E6 在第 1 个扇区,E4、E5、E7、E8 在第 2 个扇区。多边形顶角上的品种是该区内各环境下名义上最高产的品种,即 G10 是第 1 个扇区产量最高的品种,G09 是第 2 个扇区产量最高的品种。

2.3 各试验点之间的关系 图 2 从中心到各个环境做 1 条线段,2 个环境线段之间的夹角的余弦值是其相关系数。夹

2 结果与分析

2.1 不同玉米品种产量比较 由表 2 可知,15 个参试品种平均产量变幅为 8 717.1~10 207.9 kg/hm²,其中 G10 产量最高,但 G11 产量最低且低于对照,其他品种均比对照平均产量高。在各试点间,E6 平均产量最高,为 10 743.6 kg/hm²,E5 平均产量最低,仅为 8 526.2 kg/hm²,E6 平均产量比 E5 高 26.0%。从表 3 的方差分析表可以看出,品种、试点、品种-试点交互分别能解释 16.9%、38.8%、18.8%的变异,均达极显著水平。试点成为影响品种产量最主要的因素,品种-试点的交互也是影响品种产量很重要的因素。

角小于 90°表示正相关,表明 2 试点对品种的排序相似;大于 90°表示负相关,表明 2 试点对品种的排序相反;接近 90°表明无相关。从图 2 可以得出,8 个试点之间都存在正相关,E2、E3 之间以及 E5、E7 之间存在紧密正相关,表明有些试验点也许是重复设置的,如 E2 和 E3 分别位于南京的建邺区和玄武区,E5 和 E7 分别位于盐城的东台市和盐都区,可以去掉这些重复设置的试验点,这样可以节约成本且不影响对品种的评价。

2.4 试点的区分力和代表性 在区试地点的选择上,希望试验点对参试品种有较强的区分力,还希望试验点对目标生态

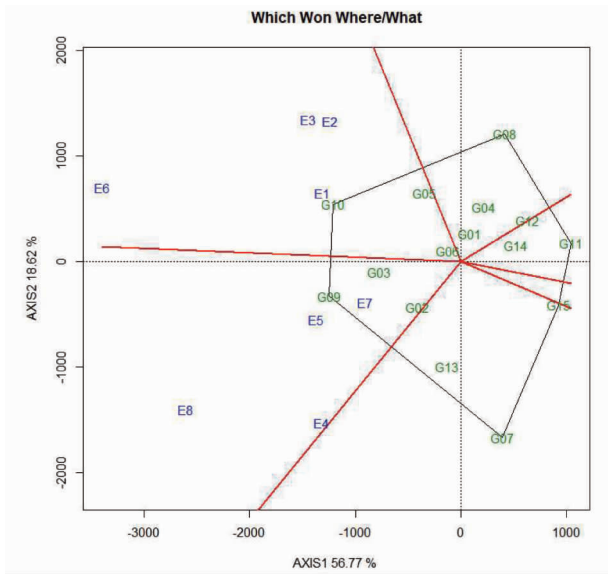


图 1 品种适应性分析

Fig.1 Adaptability analysis of maize varieties

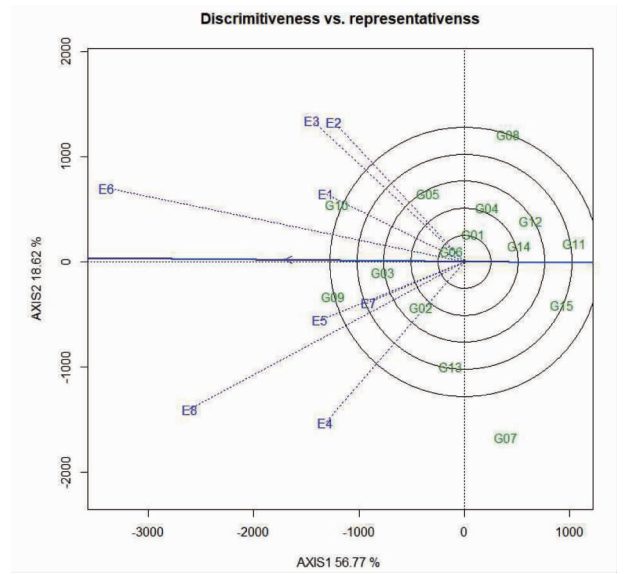


图 3 试点的区分力和代表性分析

Fig.3 Analysis of discrimination and representativeness

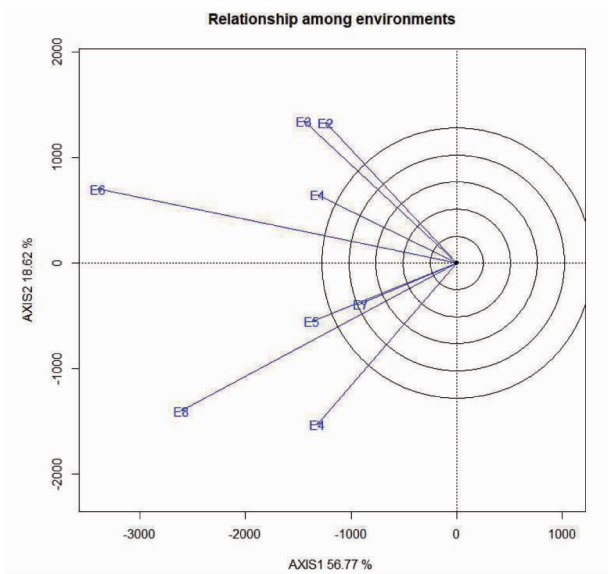


图 2 环境相关性分析

Fig.2 Environmental similarity analysis

区有比较强的代表性。图 3 中带箭头的直线为平均环境轴,各试验点向量的长度表示的是试点的区分能力,向量长度越长,则试点区分力越强,反之越弱。因此该试验中 E6、E8 试点的区分力都很好, E7 试点区分力最弱。

试点代表性用试点向量与平均环境轴夹角的余弦值表示,即角度越小,则试点代表性越强。如果 1 个试验点和平均环境轴夹角为钝角,则它不适合作为试验点。从图 3 可以看出,所有试点均与平均环境轴呈正相关,说明都对目标环境具有不同程度的代表性。E5、E6、E7 试点代表性强。E2、E3、E4 等代表性较差。综合来看, E6 试点的区分力和代表性最好,是理想的试验点。需要强调的是, 1 个试点只有在所有或者多数年份中具有代表性,才能认定该试点是有代表性的试点。1 年品种试验数据只能用于提出对试点适合性的初步结论^[14]。

2.5 品种高产性与稳定性 图 4 中通过原点且与平均环境轴垂直的直线表示品种与试点相互作用的倾向性。箭头位置表示平均环境值,品种在平均环境轴上的投影距离箭头所指方向代表品种产量平均表现,越靠近箭头所指方向平均表现就越好。在该试验中,部分高产品种产量排序为 G09>G10>G03>G02>G05,而 G11 产量最低。将品种点和平均环境轴做一条垂线(绿色虚线),垂线长度代表品种稳定性,长度越短表示品种越稳定。G09 和 G10 产量都很高,但 G10 更稳定。因此综合来看, G10 是既高产又稳产的品种。

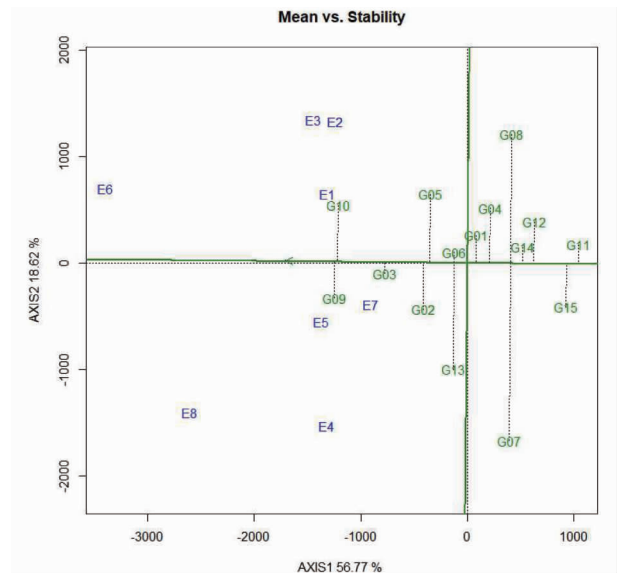


图 4 品种高产性和稳产性分析

Fig.4 Analysis of mean and stability

3 结论与讨论

玉米品种的高产性与稳产性一直是育种目标,如何客观地评价江苏省淮南玉米区域试验参试玉米品种,有利于提高玉米的推广效率。GGE 双标图相比于其他传统分析方法更加优越,不仅能评价品种的丰产性与稳产性,还能评价试验

点的区分力和代表性以及品种生态区的划分。

该研究首次利用基于 R 语言的 GGE 双标图分析江苏省淮南玉米区域试验,结果表明先玉 1980(G10)高产且稳产;而 DJ1803(G09)较高产,但稳产性稍差。综合各试验点的区分力和代表性,如皋(E6)试点的区分力和代表性最好,是理想的试点。

对一套品种试验来说,试点选择应该遵循下述规则^[14]:

①所有试点与平均环境轴都应正相关;该试验中 8 个试点均与平均环境轴正相关,说明都对目标环境具有不同程度的代表性。②不同试点在与平均环境轴的相关性上应存在差异。与平均环境轴高度相关的试点更适合于评价基因型平均表现,而那些与平均环境轴相关性一般的试点更适合于评价基因型的稳定性;该试验中,E5、E6、E7 与平均环境轴高度相关,更适合于评价基因型平均表现;E2、E3、E4 等代表性较差的试点仍然是有用的试点,其在选择优良品种方面是不理想的,但有助于剔除不稳定的品种。③所有试点应该具有较好的区分力。该试验中,除 E7 区分力较差外,其余 7 个试点区分力都较好。④应该剔除冗余的试点,以减少试验成本。在该试验中,江苏中江(E2)、省农科院(E3)之间是高度正相关的,二者选一就可以达到试验目的。同样,大华盐城(E5)、神农盐城(E7)高度正相关,可以只保留 1 个试点。

通过以上分析可以看出,GGE 双标图能够将大量数据清楚地用图展示品种和试验点的关系。由于 GGE biplot 是收费软件,而 R 语言免费且可扩展性好^[15],进行双标图分析操

作简单,因此能够成为评价玉米及其他作物的好方法。

参考文献

- [1] YAN W K. GGEbiplot—A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data[J]. *Agronomy journal*, 2001, 93(5): 1111–1118.
- [2] 赵青. 玉米普通锈病抗性及其产量性状的配合力分析和 GGE 双标图的应用[D]. 扬州:扬州大学, 2017.
- [3] 王磊,程本义,鄂志国,等. 基于 GGE 双标图的水稻区试品种丰产性、稳产性和适应性评价[J]. *中国水稻科学*, 2015, 29(4): 408–416.
- [4] 方立魁,从云飞,李杰,等. 基于 GGE 双标图分析筛选生态适应性好的优质稻品种[J]. *贵州农业科学*, 2017, 45(6): 5–8.
- [5] 常磊,柴守玺. GGE 双标图在我国旱地春小麦稳产性分析中的应用[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(5): 988–994.
- [6] 张玉峰,杨武德,赵喜梅. 不同农业气候区域小麦施肥效应模拟及其双标图分析[J]. *山西农业科学*, 2013, 41(5): 473–476.
- [7] 梁黔云,李清超,吴瑞,等. GGE 双标图在玉米品种区域实验中的应用[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(6): 224–228.
- [8] 吕泽文,张友君,钟育海,等. 区域试验玉米品种(系)产量稳定性和适应性的 GGE 双标图分析[J]. *湖北农业科学*, 2014, 53(15): 3487–3491.
- [9] 朱艳彬,孙九超,王显,等. 基于 Genstat 的 AMMI 模型和 GGE 双标图在玉米区域试验分析中的应用[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(6): 49–53.
- [10] 王金生,王君,吴俊江,等. 基于 GGE-biplot 的大豆根瘤菌抗逆性资源筛选[J]. *大豆科学*, 2017, 36(6): 894–899.
- [11] 咎凯,陈亚光,徐淑霞,等. 基于 R 语言的 GGE 双标图在大豆区试中的应用[J]. *大豆科技*, 2019(4): 16–20.
- [12] BAI J H, YAN W K, WANG Y Q, et al. Screening oat genotypes for tolerance to salinity and alkalinity[J]. *Frontiers in plant science*, 2018, 9: 1–17.
- [13] 张志芬,付晓峰,刘俊青,等. 用 GGE 双标图分析燕麦区域试验品系产量稳定性和试点代表性[J]. *作物学报*, 2010, 36(8): 1377–1385.
- [14] 严威凯. 农作物品种试验数据管理与分析[M]. 许乃银,金石桥,译. 北京:中国农业科学技术出版社, 2015.
- [15] 吴丹露,魏彤,许家清. R 语言环境下的文本可视化及主题分析:以社会服务平台数据为例[J]. *宁波工程学院学报*, 2015, 27(1): 19–25.

(上接第 24 页)

- [57] 王琴,叶火春,朱恩林,等. 花蕾注射防治香蕉黄胸蓟马的天然源药剂筛选及田间防效[J]. *中国南方果树*, 2021, 50(2): 74–78.
- [58] 黄鹏,姚锦爱,余德亿,等. 虫生真菌 BB-T02 分离鉴定及其对两种蓟马的致病力[J]. *中国生物防治学报*, 2020, 36(6): 929–937.
- [59] 陈自宏,徐玲,何警成,等. 滇西不同地区绿僵菌对斜纹夜蛾的毒力[J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2020, 35(3): 430–435.
- [60] 白云,崔雨虹,曹娜,等. 球孢白僵菌对东亚飞蝗和梨园网蝽侵染的温湿度效应[J]. *中国生物防治学报*, 2016, 32(6): 735–742.
- [61] SUKIRNO S, LUKMAWATI D, HANUM S S L, et al. The effectiveness of *Samia ricini* Drury (Lepidoptera: Saturniidae) and *Atacus atlas* L. (Lepidoptera: Saturniidae) cocoon extracts as ultraviolet protectants of *Bacillus thuringiensis* for controlling *Spodoptera litura* Fab. (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. *International journal of tropical insect science*, 2021, 2021: 1–6.
- [62] QIN D Q, ZHOU Y, ZHANG P W, et al. Azadirachtin downregulates the expression of the CREB gene and protein in the brain and directly or indirectly affects the cognitive behavior of the *Spodoptera litura* fourth-instar larvae[J]. *Pest management science*, 2021, 77(4): 1873–1885.
- [63] 卢亭君,卢行尚,郭志强. 热力烟雾剂防治香蕉褐足角胸叶甲应用示范[J]. *广西植保*, 2014, 27(4): 12–14.
- [64] 马浩伟,董存柱,赵灏. 山蒟提取物对斜纹夜蛾和香蕉花蓟马的毒性研究[J]. *湖南农业科学*, 2016(8): 72–74, 77.
- [65] 卢行尚,卢亭君. 几种植物源杀虫剂对香蕉褐足角胸叶甲的防效试验[J]. *广西植保*, 2014, 27(4): 9–11.
- [66] 蔡静芸,唐艳龙,张勇,等. 苦参碱对茶脊冠网蝽的毒力测定[J]. *生物灾害科学*, 2020, 43(2): 203–206.
- [67] 陆永跃,梁剑浩,梁广文. 茶枯粉对香蕉假茎象甲种群动态的影响[J]. *江西科学*, 2002, 20(2): 90–92.
- [68] 陈青,杨卫帆,覃丽金,等. 大叶丁香丙酮提取物对皮氏叶螨的毒力及代谢酶活性的影响[J]. *热带作物学报*, 2004, 25(2): 33–36.
- [69] 张方平,王帮,毕仁军,等. 假菊提取物对皮氏叶螨的生物活性测定[J]. *热带作物学报*, 2009, 30(6): 851–855.
- [70] 冯岗,张静,曲晓,等. 锡兰肉桂的杀螨活性及有效成分[J]. *热带作物学报*, 2010, 31(3): 474–479.
- [71] 刘奎,符悦冠,金启安. 大叶桃花心木提取物对香蕉皮氏叶螨忌避作用的初步研究[J]. *中国南方果树*, 2005, 34(2): 48–49.
- [72] 郭成林,覃柳燕,万树青,等. 黄皮种子提取物对斜纹夜蛾幼虫的杀虫活性及有效成分鉴定[J]. *昆虫学报*, 2016, 59(8): 839–845.
- [73] 李嘉慧. 广藿香酮对斜纹夜蛾的生物活性及对解毒酶的影响[D]. 广州:华南农业大学, 2016.
- [74] 杨磊,杜广祖,张立敏,等. 茶多酚对斜纹夜蛾幼虫生长发育的影响[J]. *西南农业学报*, 2017, 30(12): 2723–2726.
- [75] PUNIA A, CHAUHAN N S, SINGH D, et al. Effect of gallic acid on the larvae of *Spodoptera litura* and its parasitoid *Bracon hebetor*[J]. *Scientific reports*, 2021, 11(1): 1–11.
- [76] KAUR M, CHOUDHARY A, SARAF I, et al. Efficacy of *Moringa oleifera* (Lam.) extract against *Spodoptera litura* (Fabricius), (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. *International journal of tropical insect science*, 2021, 2021: 1–6.
- [77] 王尹,李胜,姜丽娜,等. 取食紫茎泽兰对斜纹夜蛾生长发育及繁殖的影响[J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2018, 33(5): 836–841.
- [78] 陆永跃,曾玲,梁广文,等. 绿僵菌不同放菌方式对香蕉假茎象甲种群的控制作用[J]. *华南农业大学学报*, 2003, 24(1): 27–29.
- [79] 周蒙. 中国生物农药发展的现实挑战与对策分析[J]. *中国生物防治学报*, 2021, 37(1): 184–192.