

不同密度条件玉米株系间的杂种优势及配合力研究

金明华^{1,2*}, 李继竹^{1*}, 于铁³, 杨巍⁴, 杨伟光¹

(1 吉林农业大学农学院, 吉林 长春 130118; 2 吉林省农业科学院玉米研究所, 吉林 长春 130124;

3 吉林省种子管理总站, 吉林 长春 130062; 4 东北师范大学生命科学院, 吉林 长春 130024)

摘要:采用 NC II 设计, 对选自国外玉米杂交种的 5 个不同株系(同一二环系)在不同密度环境条件下的杂种优势和配合力进行了研究. 结果表明:在 4.5、6.0 和 7.5 万株·hm⁻² 密度下玉米单株产量的杂种优势均较高, 为 116.4%、77.2% 和 48.7%, 其杂种优势随密度增加而减小;这 5 个自选系与塘四平头、旅大红骨系统杂交, 单株产量具有较强的杂种优势, 在 4.5、6.0 和 7.5 万株·hm⁻² 密度下选出的高杂种优势组合中, 其所配组合分别占 4/6、7/8 和 6/8;自选系和骨干系的一般配合力在不同密度下表现不同, 同一自选系的特殊配合力在不同密度下表现亦不同;单株产量的一般配合力在 6.0 和 7.5 万株·hm⁻² 时变化趋势相近, 呈显著正相关.

关键词:玉米; 种植密度; 杂种优势; 配合力

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2009)02-0001-05

Research on Heterosis and Combining Ability of Maize Lines Under Different Density

JIN Ming-hua^{1,2*}, LI Ji-zhu^{1*}, YU Tie³, YANG Wei⁴, YANG Wei-guang¹

(1 College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2 Maize Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130124, China; 3 Central Seed Management Station of Jilin Province, Changchun 130062, China; 4 College of Life Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: The heterosis and combining ability of yield per plant were analyzed with five maize lines which were selected from one foreign hybrid by means of NC II cross design in three densities. The results showed that the yield per plant had high heterosis by 116.4%, 77.2%, 48.7% respectively, and the heterosis decrease with the increasing of density. Strong heterosis was found in the crosses of self-selected lines × Tangsipingtou and self-selected lines × Lüdahonggu groups, and the combination cross from two heterotic patterns occupied 4/6, 7/8 and 6/8 of all high heterotic crosses which were selected in three densities. Specific combining ability of the same self-selected line and the general combining ability of self-selected lines and key inbred lines in three densities were different. The general combining ability of yield per plant were significantly positively correlated in 60 000 and 75 000 plant · hm⁻².

Key words: maize; planting density; heterosis; combining ability

30 年前,我国就已开展了紧凑型玉米育种工作,培育出黄早 4、掖 478 等紧凑型的优良自交系^[1-2],但直到耐密品种郑单 958、先玉 335 在东北和黄淮海等地区大面积推广,增产显著之后,才引导育种家改

变育种策略,培育耐密品种,加强品种耐密性选择和研究工作今后玉米育种的方向和主要内容.

有关玉米杂交种耐密性的研究报道较多.国内外学者在不同密度下对农艺性状、穗粒性状、根部性

收稿日期: 2008-09-28

作者简介: 金明华(1961—),女,研究员,博士研究生;李继竹(1977—),男,讲师,硕士,* 对本文贡献相同;通讯作者: 杨伟光(1960—),男,教授,博士, E-mail: yangweiguang60919@126.com

基金项目: 科技部科技成果转化基金(2006GB2B10061)

状和抗倒伏性等作了相关研究报道^[3-6]. 这些结果表明种植密度影响玉米杂交种产量及产量构成因素的表现. 作为衡量玉米自交系的2个重要遗传参数的杂种优势和配合力在不同密度条件下的表现鲜见研究报道, 关于种植密度对玉米自交系的杂种优势和配合力的影响还不够明确. 因此, 本研究选用3个类群的种质材料, 研究了不同密度环境条件下杂种优势和配合力的表现, 以期对玉米耐密性育种提供参考.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料由吉林农业大学农学院玉米研究室提供, 名称及所属优势类群见表1.

表1 试验材料
Tab. 1 Materials for test

母本		父本	
骨干系	优势群	自选系	优势群
Mol7	Lancaster	吉 1501	同一国外杂交种选系
吉 853	塘四平头	吉 1510	同一国外杂交种选系
昌 7-2	塘四平头	吉 1545	同一国外杂交种选系
F349	旅大红骨	吉 1556	同一国外杂交种选系
郑 58	Reid	吉 1666	同一国外杂交种选系
丹 9046	Reid		

2006年冬, 在吉林农业大学海南育种基地按B. Griffing的不完全双列杂交方法, 以Lancaster、塘四平头、旅大红骨和Reid四大系统的骨干系为母本, 以5个自选系为父本配制30(6×5)个测交组合, 并自交保留亲本.

1.2 试验设计

2007年在吉林农业大学育种基地, 对30个组合和11个亲本通过随机区组设计进行种植. 设3组试验(种植密度分别为4.5、6.0和7.5万株·hm⁻²), 每组3次重复, 3行区, 行长5 m, 行距0.65 m, 田间管理同大田. 成熟时收获中间行10株的果穗, 11月室内考查穗粒单株产量.

1.3 统计分析方法

杂种优势值按平均优势法^[7]计算, 配合力分析按刘来福等^[8]提供的公式计算.

2 结果与分析

2.1 不同密度下穗粒质量的杂种优势表现

单株产量杂种F1优势结果(表2)表明: 在4.5万株·hm⁻²密度下, 单株产量的杂种F1优势平均值为116.4%, 优势值变异幅度为7.7%~103.7%, 变

异系数为48.3%; 在6.0万株·hm⁻²密度下, 单株产量的杂种F1优势平均值为77.2%, 优势值变异幅度为29.2%~126.1%, 变异系数为32.1%; 在7.5万株·hm⁻²密度下, 单株产量的杂种F1优势平均值为48.7%, 优势值变异幅度为26.21%~204.49%, 变异系数为36.3%. 表明5个自选系与Lancaster、Reid、塘四平头和旅大红骨四大系统自交系杂交, 单株产量杂种优势普遍存在; 不同组合间杂种优势存在较大差异; 同一组合在不同密度下的杂种优势也存在较大差异, 单株产量杂种优势多随密度增加而降低.

表2 不同密度下单株产量的杂种优势、优势平均值及变异系数
Tab. 2 Heterosis, average heterosis and coefficient of variation of yield per plant in three densities

组合	杂种优势/%		
	4.5万株·hm ⁻²	6.0万株·hm ⁻²	7.5万株·hm ⁻²
郑58×吉1501	138.3	80.7	63.1
郑58×吉1545	195.6	81.2	47.8
郑58×吉1556	85.5	41.0	21.4
郑58×吉1510	115.8	46.3	27.5
郑58×吉1666	108.6	82.1	11.7
吉853×吉1501	160.4	107.0	75.2
吉853×吉1545	157.1	111.9	57.2
吉853×吉1556	118.5	104.1	74.6
吉853×吉1510	116.8	77.6	56.2
吉853×吉1666	123.1	100.0	40.2
Mol7×吉1501	79.2	57.9	80.8
Mol7×吉1545	105.2	126.1	51.8
Mol7×吉1556	67.6	80.5	46.3
Mol7×吉1510	125.6	57.9	53.1
Mol7×吉1666	64.4	57.5	54.6
昌7-2×吉1556	108.6	60.5	57.9
昌7-2×吉1545	118.6	95.8	65.2
昌7-2×吉1501	70.4	71.3	54.0
昌7-2×吉1510	103.9	48.9	63.2
昌7-2×吉1566	26.2	54.8	33.9
F349×吉1501	204.4	101.5	103.7
F349×吉1545	183.1	103.6	36.8
F349×吉1556	131.2	107.9	62.4
F349×吉1510	124.1	77.8	80.4
F349×吉1566	113.1	29.2	30.3
丹9046×吉1501	93.1	63.7	41.9
丹9046×吉1545	192.0	83.8	37.4
丹9046×吉1556	69.3	89.3	26.5
丹9046×吉1510	71.3	35.8	12.6
丹9046×吉1566	120.3	81.4	-7.7
杂种优势平均值/%	116.4	77.2	48.7
变异系数(CV)/%	48.3	32.1	36.3

从表2中各密度下选出5~8个高杂种优势组合,并标明组合所属优势模式,整理成表3.由表3可知:在4.5万株·hm⁻²密度下,自选系与塘四平头、旅大红骨系统自交系组配的杂交种,优势高的组合为4个,占4/6,有2个组合是与Reid系统组配的;在6.0万株·hm⁻²密度下,自选系与塘四平头、旅大红骨系统自交系组配的高的优势组合为7个,占7/8,只1个组合是与Lancaster系统组配的;在7.5万株·hm⁻²密度下,自选系与塘四平头、旅大红骨系统自交系组配

的高的优势组合为6个,占6/8;自选系与Reid和Lancaster系统自交系组配的高的优势组合各为1个,占2/8.表明自选系与国内的塘四平头、旅大红骨系统杂交在3种密度下均表现出较强的杂种优势.

2.2 配合力分析

对30个组合单株产量进行配合力方差分析(表4)表明,3种密度下组合间、母本间、父本间、母×父均达显著或极显著水平,表明遗传差异真实存在,可进行配合力分析.

表3 不同密度下单株产量的高杂种优势组合及其优势模式

Tab.3 The crosses with high heterosis of yield per plant and their heterotic pattern in three densities

4.5 万株·hm ⁻²		6.0 万株·hm ⁻²		7.5 万株·hm ⁻²	
优势组合	优势模式 ¹⁾	优势组合	优势模式 ¹⁾	优势组合	优势模式 ¹⁾
F349×吉1501	旅系统×自选系	Mo17×吉1545	Lan. 系统×自选系	F349×吉1501	旅系统×自选系
郑58×吉1545	Reid 系统×自选系	吉853×吉1545	塘系统×自选系	Mo17×吉1501	Lan. 系统×自选系
丹9046×吉1545	Reid 系统×自选系	F349×吉1556	旅系统×自选系	F349×吉1510	旅系统×自选系
F349×吉1545	旅系统×自选系	吉853×吉1501	塘系统×自选系	吉853×吉1501	塘系统×自选系
吉853×吉1501	塘系统×自选系	吉853×吉1556	塘系统×自选系	吉853×吉1556	塘系统×自选系
吉853×吉1545	塘系统×自选系	F349×吉1545	旅系统×自选系	昌7-2×吉1545	塘系统×自选系
		F349×吉1501	旅系统×自选系	昌7-2×吉1510	塘系统×自选系
		吉853×吉1666	塘系统×自选系	郑58×吉1501	Reid 系统×自选系

1) 旅系统、Lan. 系统和塘系统分别为旅大红骨、Lancaster 和塘四平头系统的简称

表4 不同密度下单株产量的方差分析F值¹⁾

Tab.4 F value of ANOVA for the yield per plant in three densities

项目	4.5 万株·hm ⁻²	6.0 万株·hm ⁻²	7.5 万株·hm ⁻²
组合间	14.47**	16.59**	21.06**
母本间	3.82**	7.21**	3.04*
父本间	3.20*	5.28**	4.62**
母本×父本	8.08**	14.13**	16.20**

1)*表示0.05水平上差异显著,**表示0.01水平上差异显著

2.2.1 不同密度下自选系单株产量的一般配合力表现 由表5可知:在4.5万株·hm⁻²密度下,5个自选系单株产量一般配合力(GCA)效应以吉1501(9.33)最高,吉1510(3.33)次之,吉1666(-5.96)、

吉1545(-6.70)较低;在6万株·hm⁻²密度下,吉1545(3.39)最高,吉1666(3.34)较高,吉1556(-3.40)、吉1510(-4.71)较低;在7.5万株·hm⁻²密度下,吉1545(3.83)最高,吉1666(3.42)较高,吉1556(-4.67)、吉1510(-5.45)较低.

从单株产量GCA分析可知:吉1501和吉1510在4.5万株·hm⁻²密度下的GCA较高,用其作亲本在稀植条件下较容易组配出高产组合;吉1545和吉1666在6.0、7.5万株·hm⁻²密度下的GCA较高,用其作亲本在密植条件下较容易组配出高产组合.说明同一二环系不同株系的GCA不同,同一株系在不同密度下的GCA表现也不同,在相应各密度下具有较高GCA的株系,可为利用.

表5 不同密度下单株产量的一般配合力效应

Tab.5 General combining ability for yield per plant in three densities

父本	父本一般配合力			母本	母本一般配合力		
	4.5 万株·hm ⁻²	6.0 万株·hm ⁻²	7.5 万株·hm ⁻²		4.5 万株·hm ⁻²	6.0 万株·hm ⁻²	7.5 万株·hm ⁻²
吉1501	9.33	1.38	2.87	郑58	-5.56	-1.54	2.39
吉1545	-6.70	3.39	3.83	吉853	5.17	-0.56	7.50
吉1556	0.01	-3.40	-4.67	Mo17	8.85	3.82	-6.37
吉1510	3.33	-4.71	-5.45	昌7-2	-4.67	-7.52	-18.66
吉1666	-5.96	3.34	3.42	F349	6.91	2.44	13.39
				丹9046	-10.69	3.36	1.75

2.2.2 不同密度下骨干系单株产量的 GCA 表现
由表 5 可知:在 4.5 万株·hm⁻²密度下 GCA 效应值以 Mo17(8.85)最高,丹 9046(-10.69)最低;在 6 万株·hm⁻²密度下,GCA 值以 Mo17(3.82)最高,昌 7-2(-7.52)最低;在 7.5 万株·hm⁻²密度下,GCA 值以 F349(13.39)最高,昌 7-2(-18.66)最低. Mo17、郑 58、丹 9046、吉 853、昌 7-2、F349 在玉米育种中均为配合力高、利用价值大的材料,这些骨干自交系在不同密度下的 GCA 表现差异较大.表明不同优势类群的自交系在不同密度下配合力表现不同,对选育相应种植密度杂交种的作用不同.

2.2.3 不同密度下单株产量 GCA 的变化趋势 由表 5 可知:自选系吉 1545 和吉 1666 单株产量的 GCA 随密度的增加而增大,而吉 1556 和吉 1510 随密度增加而减小;骨干系郑 58 随密度的增加而增大,而 Mo17 和昌 7-2 随密度的增加而减小,其他自交系 GCA 变化无规律.对 3 种密度下的 GCA 作相关分析,6.0 和 7.5 万株·hm⁻²密度时 GCA 相关系数为 0.66(大于 0.60),呈显著正相关.

2.2.4 不同密度下单株产量的特殊配合力表现 由表 6 可知:F349×吉 1501 在 4.5、6.0 和 7.5 万株·hm⁻²密度下的特殊配合力(SCA)均较高,分别为 9.69、8.59 和 22.53,其中后者为 7.5 万株·hm⁻²密度下 30 个组合中的最高值;昌 7-2×吉 1510 的 SCA 效应在 3 种密度下均为正值,为 7.5 万株·hm⁻²密度下 SCA(19.01)较高的组合. Mo17×吉 1666 是 4.5 万株·hm⁻²密度下 SCA 值(11.90)最高的组合,但在 6.0 和 7.5 万株·hm⁻²密度下 SCA 为负值;Mo17×吉 1545 是 6.0 万株·hm⁻²密度下 SCA 值(15.50)最高的组合,但在 4.5 和 7.5 万株·hm⁻²密度下 SCA 为负值;F349×吉 1510 的 SCA 在 4.5 和 6.0 万株·hm⁻²密度下均较高,在 7.5 万株·hm⁻²密度下较低,分别为 10.97、9.12、-14.28;昌 7-2×吉 1501 在 6.0 万株·hm⁻²密度下 SCA 为较小的正值,在 4.5 和 7.5 万株·hm⁻²密度下为 -13.92 和 -10.90,均较低;丹 9046×吉 1666 在 4.5 万株·hm⁻²密度下 SCA 较低,在 6.0 和 7.5 万株·hm⁻²密度时 SCA 较高,分别为 -7.08、12.43、17.52;F349×吉 1666、F349×吉 1545、吉 853×吉 1545、丹 9046×吉 1501、昌 7-2×吉 1666 的 SCA 在 3 种密度下均为负值.

说明不同株系的 SCA 存在较大的差异,同一株系在不同密度下 SCA 也表现出较大差异,SCA 的变化与密度变化趋势不同,即同一组合 SCA 效应增减与密度增减的变化方向不一致.

表 6 不同密度下单株产量的特殊配合力效应
Tab.6 Specific combining ability for yield per plant in three densities

组合	特殊配合力		
	4.5 万株·hm ⁻²	6.0 万株·hm ⁻²	7.5 万株·hm ⁻²
郑 58×吉 1501	6.98	6.46	-0.04
郑 58×吉 1545	9.76	-3.99	4.95
郑 58×吉 1556	-8.43	-16.06	-10.54
郑 58×吉 1510	-4.35	-1.40	-4.12
郑 58×吉 1666	-3.95	14.99	9.74
吉 853×吉 1501	-4.50	1.53	6.11
吉 853×吉 1545	-2.79	-8.24	-1.72
吉 853×吉 1556	9.57	-0.81	-1.32
吉 853×吉 1510	-2.03	0.76	-7.54
吉 853×吉 1666	-0.24	6.76	4.47
Mo17×吉 1501	1.94	-11.93	-7.15
Mo17×吉 1545	-4.20	15.50	-8.60
Mo17×吉 1556	-7.38	1.16	-0.64
Mo17×吉 1510	-2.26	1.00	21.71
Mo17×吉 1666	11.90	-5.73	-5.31
昌 7-2×吉 1501	-13.92	1.27	-10.90
昌 7-2×吉 1545	5.47	3.44	-5.45
昌 7-2×吉 1556	2.29	-4.44	19.00
昌 7-2×吉 1510	6.20	1.36	19.01
昌 7-2×吉 1666	-0.04	-1.63	-21.65
F349×吉 1501	9.69	8.59	22.53
F349×吉 1545	-18.28	-2.05	-6.73
F349×吉 1556	-1.79	11.16	3.25
F349×吉 1510	10.97	9.12	-14.28
F349×吉 1666	-0.59	-26.82	-4.78
丹 9046×吉 1501	-0.19	-5.92	-10.54
丹 9046×吉 1545	10.05	-4.65	17.55
丹 9046×吉 1556	5.74	8.98	-9.75
丹 9046×吉 1510	-8.52	-10.84	-14.78
丹 9046×吉 1666	-7.08	12.43	17.52

3 讨论

谢振江等^[3]对 25 个玉米杂交种进行逐步回归、通径和偏相关研究结果表明,不同密度下农艺性状对产量的影响不同.管建慧等^[4]采用根钻挖掘法对玉米根系干质量研究表明,吐丝期以后各土层的根质量在中等密度下最大,高密度下次之,低密度下最小.勾玲等^[5]在 5 个密度下对 3 个抗倒伏性不同的品种的研究结果表明,茎秆的压碎强度、外皮穿刺强度、节间直径、干质量、干物质百分比、单位茎长、干

物质质量随密度增加而显著降低. Echarte 等^[6]对阿根廷 1965—1993 年间发放的 4 个玉米杂交种研究结果表明,穗粒数随密度的增加而降低. 杨国虎等^[9]在 5 个密度下对 4 个不同类型的杂交种研究结果表明,玉米单株叶面积、光合势和地上部干物质积累随密度的增加呈下降趋势,而群体叶面积、叶面积系数、光合势则呈增高趋势. Massimo 等^[10]研究结果表明,高密度下籽粒镰刀菌感染率和真菌引起的穗腐程度要比低密度时高. 薛吉全等^[11]对 4 个不同类型玉米杂交种研究结果表明,群体库、源均随密度的增加而增加,但库的增加幅度超过源. 可见,密度对玉米杂交种的农艺性状、光合生理指标、抗倒伏性等均存在影响.

本研究中,在 3 种不同密度环境条件下单株产量均表现出较高的杂种优势,这与前人在单一密度下的研究结果相似^[12-13]. 单株产量的杂种优势随密度的增加而减小,而实际小区产量是随密度增加而增加,表明杂交种产量提高与单株产量的杂种优势无直接关系,这与 Duvick^[14]的研究结果相同. 在育种中要注重选育、利用单株产量高的材料,这对选配高产杂交组合有利. 在 4.5、6.0 和 7.5 万株·hm⁻² 密度下自选系与塘四平头、旅大红骨系统的杂交组合占选出的高杂种优势组合比值为 4/6、7/8 和 6/8,表现出强杂种优势,可看作 2 个杂种优势模式. 塘四平头和旅大红骨是我国自有的两大玉米种质系统,在玉米育种和生产中发挥着重要作用,塘四平头系统材料具有株型紧凑、耐密植的特点,旅大红骨系统材料具有丰产性好、配合力高的特点,因此自选系与塘四平头和旅大红骨系统的杂优模式在密植条件下选育高产杂交种中具有很大应用潜力.

本研究中,同一二环系不同株系的 GCA、骨干系的 GCA、同一株系所配组合的 SCA 在 3 种密度下表现不同,密度对自选系 GCA 和 SCA 也存在影响. 在育种中,对具有相同遗传基础新选育的自选系利用时也要考虑其对密度逆境的反应,在鉴定新杂交组合时要设置适合的密度选择压力,这样才能客观准确地对自选系和杂交组合进行评价. 本研究的自选系吉 1501 和吉 1510 在稀植条件下对选育高产杂交种作用大,吉 1545 和吉 1666 在密植条件下对选育高产杂交种作用大,表明外来种质具有一定的利用价值,在育种中对不同株系的利用也应该考虑密度条件的影响. 在 3 种密度下郑 58 的 GCA 效应值均较低,而育种实践中郑 58 是利用价值大的材料,以其作亲本组配了多个优良杂交种,如郑单 958(郑 58 × 昌 7-2). 因此用郑 58 作测验种测配自选系,

其测配效果不甚理想,但可利用郑 58 生态适应性强的特点对自选系进行改良,后代材料与塘四平头、旅大红骨系统自交系组配.

参考文献:

- [1] 李遂生. 玉米“黄早四”的选育过程及其应用[J]. 北京市农业科学, 1997, 15(1): 19-21.
- [2] 李登海. 从事紧凑型玉米育种的历史回顾与展望[J]. 莱阳农学院学报, 2001, 18(1): 1-6.
- [3] 谢振江, 李明顺, 李新海, 等. 密度压力下玉米杂交种农艺性状与产量相关性研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(4): 100-104.
- [4] 管建慧, 郭新宇, 刘洋, 等. 不同密度处理下玉米根系干重空间分布动态的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(4): 105-108.
- [5] 勾玲, 黄建军, 张宾, 等. 群体密度对玉米茎秆抗倒力学和农艺性状的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(10): 1688-1695.
- [6] ECHARTE L, LUQUE S, ANDRAD F H, et al. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993[J]. Field Crops Research, 2000, 68(1): 1-8.
- [7] 西北农学院. 作物育科学[M]. 北京: 农业出版社, 1981: 74-75.
- [8] 刘来福, 毛盛贤, 黄远樟. 作物数量遗传[M]. 北京: 农业出版社, 1984: 206-250.
- [9] 杨国虎, 李新, 王承莲, 等. 种植密度影响玉米产量及部分产量相关性状的研究[J]. 西北农业学报, 2006, 15(5): 57-60.
- [10] MASSIMO B, AMEDEO R, FRANCESC V. Effect of plant density on toxigenic fungal infection and mycotoxin contamination of maize kernels[J]. Field Crops Research, 2008, 106(3): 234-241.
- [11] 薛吉全, 马国胜, 路海东, 等. 密度对不同类型玉米源库关系及产量的调控[J]. 西北植物学报, 2001, 21(6): 1162-1168.
- [12] 侯有良, 卢宝红, 钟改荣, 等. 玉米穗部产量性状杂种优势分析[J]. 玉米科学, 2003, 11(1): 30-32.
- [13] ALVI M B, RAFIQUE M, TARIQ M S, et al. Hybrid vigour of some quantitative characters in maize (*Zea mays* L.) [J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2003, 6(2): 139-141.
- [14] DUVICK D N. Heterosis: Feeding people and protecting natural resources[M]//COORS J G, PANDEY S. The genetics and exploitation of heterosis in crop. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc, 1999: 19-29.

【责任编辑 李晓卉】