

不同玉米品种茎秆抗倒特性及其与产量的关系

刘卫星,王晨阳*,王强,岳鹏莉,谢旭东,刘甘霖,马耕,卢红芳
(河南农业大学/国家小麦工程技术研究中心,河南 郑州 450002)

摘要:为探明不同玉米品种的抗倒伏特性及其与产量的关系,以河南省推广面积较大的13个玉米品种为材料,对其茎秆性状和产量进行聚类分析,将其分为抗倒性强或弱的不同类型品种,并研究玉米茎秆形态、力学特征及其与倒伏率和产量的关系。结果表明,抗倒性强的品种其株高、穗位高、基部节间长度较小,而基部节间周长较大,以基5节的差异最大。与抗倒性弱的品种相比,抗倒性强的品种的产量平均增加22.7%,穗长、穗粗、穗行数和百粒质量分别增加16.8%、11.9%、2.8%和4.5%,基部节间的穿刺强度、压碎强度和折断力度分别增加29.7%、17.9%和11.9%,以基3节的增加幅度最大。相关分析表明,倒伏率与基部节间长呈显著或极显著正相关,而与节间周长呈显著或极显著负相关,以基5节的相关性最大,相关系数分别为0.79** (节间长)和-0.66** (节间周长)。基部节间的力学特征与倒伏率呈显著或极显著负相关,以基3节的相关性最强,穿刺强度、压碎强度和折断力度与倒伏率的相关系数分别为-0.82**、-0.71**、-0.73**。产量及其构成因素与倒伏率呈显著或极显著负相关,其中受倒伏率影响最大的是行粒数(-0.77)。茎秆力学性状中以基3节的差异最显著,可以作为玉米抗倒伏品种选择的重要农艺性状指标。

关键词:玉米;茎秆;抗倒伏性;力学特性;倒伏率;产量
中图分类号: S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2015)07-0017-05

Stalk Lodging-resistance Property and Its Correlation with Yield among Different Maize Varieties

LIU Weixing, WANG Chenyang*, WANG Qiang, YUE Pengli, XIE Xudong, LIU Ganlin,
MA Geng, LU Hongfang
(Henan Agricultural University/National Engineering Research Center for Wheat, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To evaluate lodging-resistance properties of different maize varieties, 13 maize varieties which were extended widely in Henan province were used as materials, the cluster analysis was done according to stem and yield traits of those maize varieties which could be divided into lodging-sensitivity varieties and lodging-resistance varieties, the maize stalk morphology, mechanical characteristics and the correlations between them and lodging rate, yield were studied. The results showed that the plant height, ear height and basal internode length in lodging-resistance varieties were smaller, the perimeter of basal internodes was relatively larger, and the biggest differences were found at the fifth internode. Compared with lodging-sensitivity varieties, yield of lodging-resistance varieties increased by 22.7% on average, and ear length, ear diameter, rows per ear and 100-grain weight increased by 16.8%, 11.9%, 2.8% and 4.5%, respectively; the rind penetration strength, crushing strength and stalk break strength of basal internodes in loading-resistance varieties increased by 29.7%, 17.9% and 11.9%, respectively. And the greatest increase was

收稿日期:2015-02-08
基金项目:农业部公益性行业(农业)科研专项(201203033);“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD04B07, 2013BAD07B07)
作者简介:刘卫星(1987-),男,河南商丘人,在读博士研究生,研究方向:作物高产生理。E-mail: wxliu2012@163.com
* 通讯作者:王晨阳(1964-),男,河南南阳人,研究员,博士,主要从事作物栽培生理生态研究。E-mail: xmxzwang@163.com

found in the third internode in these varieties. Correlation analysis showed that the basal internode length was significantly positively correlated with lodging rate, while the internode perimeter was significantly negatively correlated with the lodging rate, and the fifth internode had the maximum correlated coefficient of 0.79** (internode length) and -0.66** (internode perimeter). Mechanical characteristics were significantly negatively correlated with lodging resistance, and the largest values of correlated coefficients were obtained at the third internode. The correlated coefficients between rind penetration strength, crushing strength, stalk break strength and lodging rate were -0.82**, -0.71** and -0.73**, respectively. Grain yield and yield components were significantly negatively correlated with the lodging rate, the grain number per row was severely impacted ($r = -0.77$). The difference of the third internode was the most among the mechanical characteristics, which could be used as an indicator to select lodging-resistance maize varieties.

Key words: maize; stalk; lodging-resistance property; mechanical characteristics; lodging rate; yield

倒伏是作物生产中普遍存在的问题,已成为高产稳产的重要限制因素之一^[1]。玉米倒伏后叶片在空间上的正常分布被打乱,导致叶片光合效率下降^[2],穗粒数减少,并因灌浆不充分,进而籽粒皱缩,籽粒质量和容重降低,或出现霉变和穗发芽^[3]。每年因倒伏造成产量损失达 5%~20%,严重的可达 70% 以上^[4]。

玉米倒伏不仅与株高、茎粗等植株形态性状有关,而且与茎秆的机械强度关系密切^[5-6]。研究表明,玉米的株高、穗位高、近地节间长度、茎粗、茎节质量及茎秆的力学性能均影响倒伏^[7],而茎粗对植株的抗倒性能影响最大^[8]。穿刺强度、压碎强度、折断力度等力学特征因测定操作简单、快捷,逐渐成为玉米茎秆抗倒伏鉴定的评价指标,成为玉米抗倒伏品种选择的重要农艺指标^[9]。Zuber 等^[10-11]研究认为,玉米茎秆压碎强度与茎倒伏率呈显著负相关,外皮穿刺强度与茎秆倒伏率和茎秆压碎强度高度相关。河南省地处黄淮海平原南部,8 月中旬至 9 月上旬是夏玉米灌浆的关键时期,常遭受强风和降雨的袭击,造成大面积倒伏而减产。因此,提高玉米茎秆抗倒伏能力成为玉米高产稳产栽培管理的技术瓶颈。为此,以河南省大面积推广的玉米品种为材料,研究不同玉米品种茎秆抗倒特性及其与倒伏率和产量的关系,筛选可以用来鉴别玉米抗倒能力的指标,为抗倒伏玉米品种的鉴定、选育和高产抗倒伏研究提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于 2013 年在河南农业大学科教园区 (113°38'39"E、34°47'51"N) 进行,该地区属北温带大陆性季风气候,年平均温度 14.2 °C,降水量 580

mm,日照时数 2 300 h。供试土壤为壤质潮土,播前 0~20 cm 土层土壤含有机质 17.73 g/kg、全氮 0.86 mg/kg、有效磷 18.25 mg/kg、速效钾 210.16 mg/kg。

供试玉米品种选用河南省大面积推广的 13 个品种,分别是郑单 958、伟科 702、豫禾 988、蠡玉 35、郑单 23、豫龙 1 号、中单 868、新单 29、隆平 206、洛玉 8 号、浚单 29、中科 4 号、滑玉 11。试验采取随机排列,小区长 25 m、宽 2.9 m,每小区种植 4 行,行距 70 cm,株距 20 cm。6 月 14 日播种,9 月 24 日收获。施纯氮 300 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²,其中磷、钾肥在拔节期一次施入;氮肥分 2 次追施,拔节期追施 30%,大喇叭口期追施 70%。其他管理同一般高产田。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 茎秆形态性状 在玉米灌浆前期(吐丝后 15 d),每小区选有代表性植株 10 株,测定株高、穗位高以及茎基部第 3、4 和 5 节间茎粗、节间长。

穗高系数 = 穗位高/株高。

1.2.2 茎秆力学特征 在测定茎秆形态性状的同时测定茎秆力学特征,茎秆力学指标均采用 YYD-1 型茎秆强度测定仪测定。

茎秆穿刺强度(N/mm²):将横断面积为 1 mm²的测头在茎秆节间中部垂直于茎秆方向匀速缓慢插入,读取穿透茎秆表皮的最大值。

茎秆压碎强度(N/cm²):将直径为 1 cm 的圆柱形压头压在节间中部,使其方向与茎秆轴线方向垂直,缓慢匀速下压,读取使其撕裂时的值。

茎秆折断力度(N):将茎秆放到间距为 20 cm 的支撑台上,弧形探头贴住茎秆快速下压,读取茎秆折断时显示的值。

1.2.3 产量及其构成因素 收获前记录每个小区总株数、倒伏株数、空秆数等,同时每小区随机取 20

穗自然风干,用于室内考种,测定单穗质量、穗长、穗粗、百粒质量、行粒数和穗行数等。全区收获 5 m 2 行计产,同时测定含水率,计算实际产量(按 14% 含水率折算)。

1.3 数据处理

采用 SPSS 17.0 对不同玉米品种进行聚类分析,Microsoft Excel 2010 进行数据统计分析与作图。

2 结果与分析

2.1 不同玉米品种抗倒性的聚类分析

图 1 为对不同玉米品种的茎秆性状(株高、穗位高、节间长、茎周长、穿刺强度、压碎强度、折断力度、倒折率)和产量性状(产量、穗行数、行粒数、穗长、穗粗、百粒质量)标准化处理后进行的聚类分析。当阈值为 13.1 时,可将供试材料分为 2 类,豫龙 1 号、隆平 206、中科 4 号、郑单 958、蠡玉 35 为抗倒性强的品种,而郑单 23、新单 29、伟科 702、中单 868、浚单 29、豫禾 988、洛玉 8 号、滑玉 11 为抗倒性弱的品种。

2.2 不同玉米品种茎秆形态性状分析

由表 1 可以看出,抗倒性强的品种株高、穗位高、基部第 3、第 4、第 5 节间长的平均值均小于抗倒

性弱的品种,分别减少 1.3%、2.9%、3.8%、3.8%、5.8%;而基部第 3、第 4、第 5 节间周长的变化则相反,分别增加 6.0%、6.3%、8.2%,抗倒性强的品种较抗倒性弱的品种以基 5 节差异较大。茎秆形态性状各指标的变异系数表现为抗倒性强的品种低于抗倒性弱的品种。

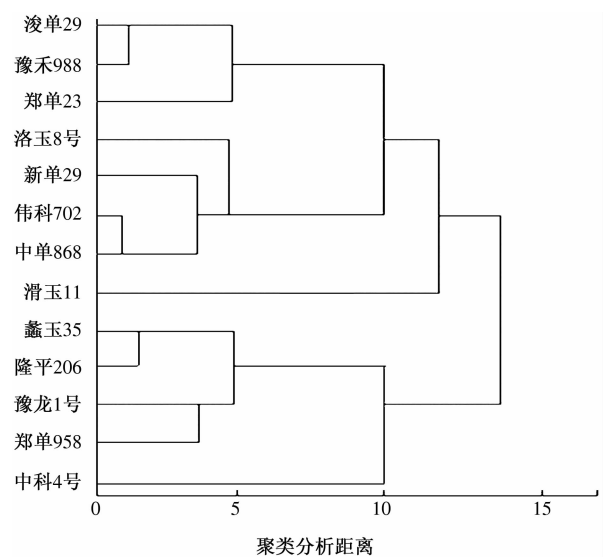


图 1 不同玉米品种的聚类分析

表 1 不同玉米品种的茎秆形态性状									cm
品种类别	品种名称	株高	穗位高	基 3 节长	基 3 节周长	基 4 节长	基 4 节周长	基 5 节长	基 5 节周长
抗倒性强	蠡玉 35	241.2	109.5	12.5	7.0	15.3	6.6	16.1	6.5
	隆平 206	245.1	108.5	12.4	7.1	14.9	6.8	16.2	6.7
	豫龙 1 号	248.7	104.4	13.6	7.1	15.0	6.8	16.1	6.6
	郑单 958	247.7	112.3	12.5	7.2	14.9	6.9	15.7	6.7
	中科 4 号	247.9	109.4	13.3	7.2	15.9	7.0	16.9	6.8
	平均	246.1	108.8	12.8	7.1	15.2	6.8	16.2	6.6
	变异系数/%	1.2	2.6	4.1	1.5	2.9	2.0	2.7	2.2
抗倒性弱	滑玉 11	243.5	108.8	12.5	6.9	15.4	6.6	17.4	6.4
	浚单 29	249.7	114.1	12.9	6.9	15.9	6.6	17.0	6.3
	豫禾 988	257.6	116.2	11.7	6.4	14.9	6.1	18.0	5.9
	郑单 23	248.9	109.9	13.5	6.8	15.7	6.5	16.9	6.1
	洛玉 8 号	257.8	112.9	13.0	6.7	14.4	6.4	16.7	6.1
	新单 29	246.3	115.6	13.8	6.2	16.1	6.0	16.9	5.9
	伟科 702	240.8	109.1	14.0	6.7	16.0	6.3	17.0	6.1
	中单 868	250.3	110.2	15.2	6.8	17.9	6.5	18.2	6.2
	平均	249.3	112.1	13.3	6.7	15.8	6.4	17.2	6.1
	变异系数/%	2.4	2.7	8.0	3.5	6.5	3.3	3.2	2.9

2.3 不同玉米品种茎秆力学特征分析

茎秆力学特征(压碎强度、穿刺强度和折断力度)均表现为基 3 节 > 基 4 节 > 基 5 节(图 2)。不同玉米品种茎秆力学特征在基 3 节、基 4 节和基 5 节的变化趋势基本一致,抗倒性强的品种在 3 个节间的茎秆压碎强度、穿刺强度和折断力度均高于抗

倒性弱的品种,其中压碎强度增加最多,与抗倒性弱的品种相比,抗倒性强的品种基 3 节、基 4 节、基 5 节的穿刺强度分别增加 12.9%、7.7%、12.5%,压碎强度分别增加 39.3%、19.6%、15.0%,折断力度分别增加 36.9%、26.4%、8.2%,3 个节间均以基 3 节的增加幅度最大。

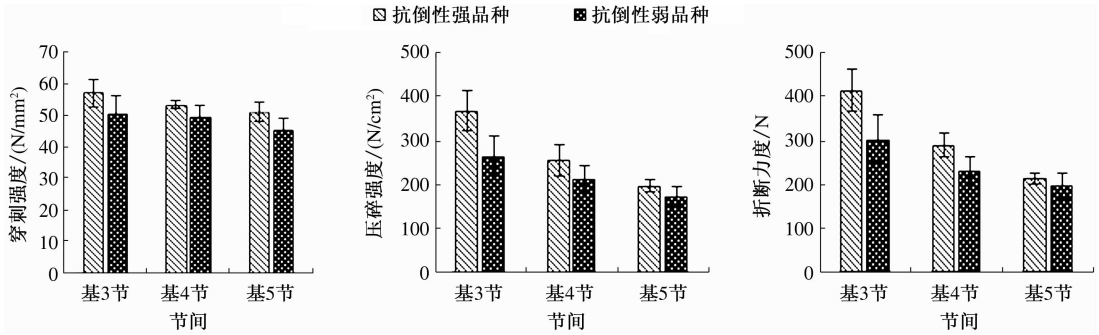


图 2 不同玉米品种的茎秆力学特征

2.4 不同玉米品种产量性状分析

抗倒性强的品种产量在 5 542.9 ~ 7 428.6 kg/hm²,抗倒性弱的品种在 4 057.1 ~ 6 114.3 kg/hm² (表 2),抗倒性强的品种产量较抗倒性弱的品种平均增加 22.7%。抗倒性强的品种穗长、穗粗、穗行数和百粒质量的平均值均大于抗倒性弱的品种,与

抗倒性弱的品种相比,抗倒性强的品种的穗长、穗粗、穗行数和百粒质量分别增加 16.8%、11.9%、2.8% 和 4.5%,其中穗长和穗粗增加幅度较大,表明抗倒性强的品种产量的增加主要得益于穗长和穗粗的增加。

表 2 不同玉米品种的产量性状

品种类别	品种名称	穗长/cm	穗粗/cm	穗行数	行粒数	百粒质量/g	产量/(kg/hm ²)
抗倒性强	蠡玉 35	17.0	4.8	16.2	29.5	26.4	6 000.0
	隆平 206	16.8	4.7	15.3	28.8	29.6	5 542.9
	豫龙 1 号	20.8	4.8	14.2	29.5	34.0	7 428.6
	郑单 958	14.7	4.2	14.4	31.0	28.3	6 571.4
	中科 4 号	17.7	4.8	14.2	30.1	31.4	6 457.1
	平均	17.4	4.7	14.9	29.8	29.9	6 400.0
	变异系数/%	12.7	5.6	5.9	2.8	9.7	11.0
抗倒性弱	滑玉 11	12.1	4.3	16.1	27.4	26.2	4 571.4
	浚单 29	16.3	4.5	15.9	32.3	28.7	5 200.0
	豫禾 988	15.4	4.1	15.2	30.3	26.4	6 000.0
	郑单 23	14.4	3.8	14.7	29.1	25.9	4 057.1
	洛玉 8 号	11.6	3.2	14.6	34.6	29.0	4 285.7
	新单 29	17.5	4.6	13.7	28.6	30.7	6 114.3
	伟科 702	16.4	4.6	12.7	24.5	29.5	5 428.6
	中单 868	15.2	4.8	13.4	29.5	32.5	6 071.4
	平均	14.9	4.2	14.5	29.5	28.6	5 216.1
	变异系数/%	14.0	12.4	8.3	10.3	8.2	15.9

2.5 不同玉米品种茎秆形态性状、力学特征与产量、倒伏率的相关性分析

将供试材料的茎秆形态性状、力学特征与产量、倒伏率进行相关性分析(表 3)。结果表明,茎秆力学特征与产量的关系因节间而不同,以基 3 节的压碎强度与产量相关性最强。茎秆力学特征与倒伏率均呈显著或极显著负相关,以基 3 节的相关性最强,穿刺强度、压碎强度和折断力度与倒伏率的相关系

数分别为 -0.82**、-0.71** 和 -0.73**。

茎秆形态性状中,3 个节间的节间周长与产量达到显著或极显著正相关,其中,以基 5 节的相关系数最大(0.81**)。基部节间长与倒伏率呈显著或极显著正相关,而节间周长与倒伏率呈显著或极显著负相关,同样以基 5 节的相关性最大,相关系数分别为 0.79** (节间长)和 -0.66** (节间周长)。

表 3 玉米茎秆性状、力学特征与产量性状、倒伏率的相关系数

性状	基 3 节			基 4 节			基 5 节		
	穿刺强度	压碎强度	折断力度	穿刺强度	压碎强度	折断力度	穿刺强度	压碎强度	折断力度
产量	-0.02	0.77**	0.53*	-0.04	0.03	0.52*	0.03	0.20	0.28
倒伏率	-0.82**	-0.71**	-0.73**	-0.57**	-0.62**	-0.59**	-0.60**	-0.64**	-0.51*
性状	株高	穗位高	穗高系数	基 3 节长	基 3 节周长	基 4 节长	基 4 节周长	基 5 节长	基 5 节周长
产量	-0.23	-0.41	-0.25	0.23	0.53*	0.19	0.64**	-0.05	0.81**
倒伏率	0.13	0.39	0.10	0.55*	-0.60**	0.52*	-0.48*	0.79**	-0.66**

注:表内*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平显著、极显著,下同。

2.6 玉米产量性状间及其与倒伏率的相关分析

由表 4 可以看出,穗行数、行粒数与产量呈极显著正相关。产量及产量构成因素均与倒伏率呈显著负相关,其中穗行数与行粒数达到极显著水平,受倒伏率影响最大的是行粒数($r = -0.77^{**}$)。说明行粒数是倒伏发生时影响高产的首要因素。

表 4 玉米产量性状间及其与倒伏率的相关性						
性状	穗长	穗粗	穗行数	行粒数	百粒质量	产量
穗粗	0.75**					
穗行数	-0.23	-0.12				
行粒数	-0.26	-0.52*	0.33			
百粒质量	0.60**	0.48*	-0.61**	0.50*		
产量	-0.08	0.07	0.78**	0.63**	0.21	
倒伏率	-0.47*	-0.45*	-0.69**	-0.77**	-0.49*	-0.45*

3 结论与讨论

前人研究表明,玉米的株高、穗位高、基部节间长度、茎粗和茎秆质量均影响植株的抗倒伏能力^[5],茎秆基部节间粗和节间长/茎粗比值较小的品种具有较强的抗倒伏能力^[12]。力学特征与茎秆抗倒伏能力有很强的相关性^[8-9],高鑫等^[13]研究表明,穿刺强度、压碎强度和折断力度均与倒伏率呈极显著负相关。本试验结果显示,抗倒性强的品种其株高、穗位高、基部节间长的值较小,而基部节间周长的变化则相反。不同类型品种间以基 5 节间的差异最大。力学特征表现为抗倒性强品种高于抗倒性弱的品种,增幅在 7.7% ~ 39.3%,其中以基 3 节的增幅较大,穿刺强度、压碎强度、折断力度分别增加 12.9%、39.3%、36.9%。

赵仁全等^[14]研究表明,倒伏对百粒质量和单穗粒质量影响较大,分别降低 16.4% ~ 72.8% 和 21.1% ~ 79.1%,对穗长、穗粗和行粒数影响不明显。抗倒伏性强的品种在高密植条件下增产的主要原因是具有较高的千粒质量与成穗率^[14]。本试验条件下,抗倒伏性强的品种产量及产量构成因素平均值高于抗倒伏性弱的品种,产量平均增加 22.7%。

丰光等^[15]研究表明,茎粗和穗位高是影响茎秆倒伏的主要因素,茎粗、株高、穗位高与倒伏性具有极显著相关性。其中,倒伏率与茎粗呈负相关,与株高、穗位高、节间长呈正相关^[16]。本研究表明,倒伏率与基部节间长呈显著或极显著正相关,而与节间周长呈显著或极显著负相关。同时发现,倒伏率与基部节间力学特征存在显著或极显著负相关,以基 3 节的相关性最强,穿刺强度、压碎强度和折断力度

与倒伏率的相关系数分别为 -0.82^{**} 、 -0.71^{**} 和 -0.73^{**} 。玉米茎秆力学性状较好地反映了品种抗倒能力的差异,可作为玉米抗倒伏品种选择的重要指标。

参考文献:

[1] 田保明,杨光圣. 农作物倒伏及其评价方法[J]. 中国农学通报,2005,21(7):111-114.

[2] 袁公选,杨金慧,李雅文,等. 玉米倒伏成因及预防[J]. 西北植物学报,1999,19(5):72-76.

[3] 穆春华,孟昭东,张发军,等. 玉米常用自交系茎节抗折强度分析[J]. 玉米科学,2009,17(2):34-37,43.

[4] 胡建东,鲍雅萍,罗福和,等. 作物茎秆抗倒伏强度测定技术研究[J]. 河南农业大学学报,2000,34(1):77-80.

[5] 李永忠. 玉米茎秆和根系的研究概况[J]. 国外农学:玉米,1990,1(2):5-9.

[6] 孙世贤,戴俊英,顾慰连. 氮、磷、钾肥对玉米倒伏及其产量的影响[J]. 中国农业科学,1989,22(3):28-33.

[7] 张芳魁,霍仕平,张健,等. 玉米茎秆性状与抗折断力的相关和通径分析[J]. 玉米科学,2006,14(6):46-49.

[8] Martin S A, Darrah L L, Hibbard B E. Divergent selection for rind penetrometer resistance and its effects on European corn borer damage and stalk traits in corn [J]. Crop Science, 2004, 44(3):711-717.

[9] 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.

[10] Zuber M S, Grogan C O. A new technique for measuring stalk strength in corn [J]. Crop Science, 1961, 1(5):378-380.

[11] Zuber M S, Colbert T R, Darrah L L. Effect of recurrent selection for crushing strength on several stalk components in maize [J]. Crop Science, 1980, 20(6):711-717.

[12] 程富丽,杜雄,刘梦星,等. 玉米倒伏及其对产量的影响[J]. 玉米科学,2011,19(1):105-108.

[13] 高鑫,高聚林,于晓芳,等. 高密植对不同玉米品种茎秆抗倒特性及产量的影响[J]. 玉米科学,2012,20(4):69-73.

[14] 赵仁全,张启东,蹇淑红,等. 玉米抗倒能力的差异及倒伏对穗部性状的影响[J]. 耕作与栽培,2004(3):20.

[15] 丰光,景希强,李妍妍,等. 玉米茎秆性状与倒伏性的相关和通径分析[J]. 华北农学报,2010,25(增刊):72-74.

[16] 王永学,张战辉,刘宗华. 玉米抗倒伏性状的配合力效应及通径分析[J]. 河南农业大学学报,2011,45(1):1-6.