

不同类型玉米品种产量与穗部性状的相关性分析

张正^{1,2} 董春林^{1,3} 杨睿^{1,2} 常建忠^{1,2} 张彦琴^{1,2} 曹改萍⁴

(¹山西农业大学山西有机旱作农业研究院,太原 030031; ²黄土高原东部旱作节水技术国家地方联合工程实验室,太原 030031;

³有机旱作山西省重点实验室,太原 030031; ⁴山西省农业种子总站,太原 030006)

摘要:为了明确不同耐密型玉米品种农艺性状与产量的关系,对玉米产量与穗部性状进行相关性分析。结果表明:(1)产量与百粒重、单穗粒重、秃尖长及出籽率均呈极显著正相关;穗行数与产量呈极显著负相关。偏相关分析中单穗粒重、出籽率和百粒重对产量影响较大,但相关性不显著。(2)单穗粒重与行粒数相关系数最大。(3)天农9号相关性分析中,穗粗、单穗粒重和百粒重对产量影响较大,品种改良时优先选择大粒组合;太玉339产量受秃尖长影响最大,其次是出籽率和穗行数,品种改良时优先选择穗行数多的组合;太玉803产量受穗长、穗行数和出籽率影响较大,品种改良时可以优先选择果穗长和穗行数多的组合。(4)不同种植密度下,单穗粒重是决定产量的最主要因素,百粒重和穗长都对产量有显著影响;中密度时还可通过提高脱水速率和增加行粒数提高产量;高密度时还可通过增大出籽率提高产量。

关键词:玉米产量;玉米穗部性状;相关性分析;SPSS

玉米是世界第一大粮食作物,在保障粮食安全中起到重要作用;在食品、工业、饲料等方面也具有广泛应用价值。自2016年8月15日起施行《主要农作物品种审定办法》以来,玉米品种数量急剧增加并呈井喷之势。2016–2020年通过国家审定的玉米新品种分别有34个、171个、631个、547个和802个。玉米丰产性与稳产性是决定玉米品种优劣的重要指标,稳产性可以通过选择适当推广区域来规避风险,丰产性只能通过选育高产品种来实现。

玉米产量主要由有效穗数、穗粒数和百粒重3个因素决定,密度增加玉米穗粒数和百粒重减小^[1]。佟屏亚等^[2]、郑迎霞等^[3]、坚天才等^[4]、丰光等^[5]、郑伟等^[6]和李宏志等^[7]研究发现,玉米产量随密度增加而呈先减小后增加的二次线性曲线变化趋势。刘学锐等^[8]、贺囡囡等^[9]和郭莹等^[10]研究发现产量随密度增加而增加。王铁固等^[11]研究表明,玉米产量随着种植密度的增加而降低。金兵兵等^[12]以10份不同基因型玉米为材料,研究不同密度处理下不同玉米品种农艺性状及产量的变化,结果表明产量随密度增加先升高后降低,穗长、穗粗、百粒重和单穗重随种植密度增加而降低。刘兴舟等^[13]以紧凑型

玉米品种弘大216和半紧凑型玉米品种垦丰101为试验材料,研究果穗各性状间的协调关系,结果表明产量均随着密度增加呈现先增加后减少的趋势,行粒数、穗长均和产量呈极显著相关,秃尖长与产量呈显著相关;弘大216穗行数与产量呈极显著相关,垦丰101千粒重与产量呈极显著相关。徐磊等^[14]对12份玉米杂交组合的主要农艺性状进行多元统计分析,研究发现单穗粒重、出籽率与穗行数可以解释93.2%的玉米产量变异。任洪雷等^[15]对74个玉米杂交种材料的产量与主要农艺性状进行逐步回归分析和通径分析,研究发现出籽率、百粒重、生育期、穗长和穗行数是影响玉米产量的主要因素。

在玉米新品种鉴定和选育过程中,面对巨大的组合数量对每一个组合进行全方位准确分析难度较大。本研究通过对不同类型品种在不同种植密度下穗部性状与产量的相关性分析,研究穗部性状对产量的影响,以期可以通过穗部性状对玉米的产量进行预判,从而为新品种穗选过程提供依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料 选用3份不同种植密度代表性品种作为试验材料,天农9号(适宜种植密度3500株/667m²)、太玉339(适宜种植密度4500株/667m²)和太玉803号(适宜种植密度5500株/667m²)。

1.2 试验设计 试验地点在山西农业大学东阳

基金项目:山西省农业科学院农业科技创新研究项目(YCGMCO20YQ64);
国家重点研发计划项目(2018YFD0100204)

通信作者:曹改萍

基地,试验设置3个密度,分别为4000株/667m²、5000株/667m²和6000株/667m²。试验采用随机排列,3次重复,小区面积20m²,行长8m,行宽0.5m,步道1m。前茬播种玉米。2020年5月15日采用人工播种,播种后田间管理与大田相同。

1.3 测定指标与方法 玉米收获时,取中间两行测产。取10穗玉米考种,其单穗平均值与测产两行单穗平均值相同,测量(计算)出籽率(PGR, Produced grain rate)、籽粒含水量(GMC, Grain moisture content)、单穗粒重(GWPS, Grain weight per spike)、百粒重(100-GW, 100-grain weight)、穗长(EL, Ear length)、穗粗(ED, Ear diameter)、穗行数(RPE, Rows per ear)、行粒数(GPR, Grains per row)、秃尖长(BL, Bald length)、有效穗长(EEL, Effective ear length),有效穗长=穗长-秃尖长。

利用Microsoft Excel 2007整理数据,利用SPSS 19.0统计分析数据。

2 结果与分析

2.1 产量与穗部性状相关性

2.1.1 产量与穗部性状间的相关性分析 将27个小区的10个农艺性状和产量(Y, yield)导入SPSS 19.0进行相关性分析(表1)。10个农艺性状与产

量的相关系数从大到小依次为百粒重(0.616) > 单穗粒重(0.556) > 秃尖长(0.542) > 出籽率(0.491), 呈极显著正相关;穗长(0.406)呈显著正相关;穗粗(0.232) > 行粒数(0.144) > 有效穗长(0.004), 呈正相关;籽粒含水量(-0.421)达到显著负相关水平;穗行数(-0.576)达到极显著负相关水平。玉米10个农艺性状与产量的相关性分析中,有4个性状呈极显著正相关,1个性状呈显著正相关,1个性状呈显著负相关,1个性状呈极显著负相关。

2.1.2 产量与穗部性状间的偏相关性 简单相关分析显示的是2个变量间的相关系数,分析的是2个变量间的线性相关程度。在实际应用中由于受其他变量影响,不能真实反映这2个变量之间的相关程度。偏相关分析可以固定其他变量,对2个变量间的真实相关性进行分析。将27个小区的10个农艺性状和产量导入SPSS 19.0,固定其余性状,对产量与各性状间进行偏相关分析(表2),相关系数从大到小依次为单穗粒重(0.388) > 出籽率(0.190) > 百粒重(0.152) > 穗长(0.097) > 籽粒含水量(0.023), 呈正相关;穗行数(-0.039) > 秃尖长(-0.051) > 有效穗长(-0.056), 呈负相关;穗粗(-0.581) > 行粒数(-0.589), 显著负相关。玉米10个农艺性状与产

表1 主要农艺性状与产量的相关分析

性状	出籽率 PGR	籽粒含水量 GMC	单穗粒重 GWPS	百粒重 100-GW	穗长 EL	穗粗 ED	穗行数 RPE	行粒数 GPR	秃尖长 BL	有效穗长 EEL
出籽率	1									
籽粒含水量	-0.523**	1								
单穗粒重	0.234	-0.190	1							
百粒重	0.068	-0.405*	0.717**	1						
穗长	-0.045	0.088	0.799**	0.536**	1					
穗粗	0.084	-0.008	0.523**	0.405*	0.677**	1				
穗行数	-0.078	0.471*	-0.376	-0.856**	-0.298	-0.220	1			
行粒数	-0.159	0.053	0.808**	0.509**	0.745**	0.267	-0.187	1		
秃尖长	0.423*	-0.687**	-0.002	0.467*	-0.164	-0.042	-0.661**	-0.317	1	
有效穗长	-0.277	0.452*	0.596**	0.150	0.842**	0.530**	0.130	0.734**	-0.669**	1
产量	0.491**	-0.421*	0.556**	0.616**	0.406*	0.232	-0.576**	0.144	0.542**	0.004

** :在0.01水平上显著相关; * :在0.05水平上显著相关,下同

表2 主要农艺性状与产量的偏相关分析

性状	出籽率 PGR	籽粒含水量 GMC	单穗粒重 GWPS	百粒重 100-GW	穗长 EL	穗粗 ED	穗行数 RPE	行粒数 GPR	秃尖长 BL	有效穗长 EEL
产量	0.190	0.023	0.388	0.152	0.097	-0.581*	-0.039	-0.589*	-0.051	-0.056

量的偏相关性分析中,呈正相关性的有5个,呈负相关性的有5个,其中穗粗、行粒数与产量呈显著负相关。

2.1.3 穗部性状间偏相关性 固定产量,对穗部各性状间进行偏相关分析(表3),出籽率与籽粒含水量显著负相关;籽粒含水量与秃尖长极显著负相关、与有效穗长极显著正相关;单穗粒重与百粒重、穗长、行粒数和有效穗长极显著正相关,与穗粗显著正相关,与秃尖长显著负相关;百粒重与行粒数极显著正相关、与穗长显著正相关、与穗行数极显著负相关;穗长与穗粗、行粒数和有效穗长极显著正相关,与秃尖长极显著负相关;穗粗与有效穗长极显著正相关;穗行数与秃尖长极显著负相关;行粒数与有效穗长极显著正相关,与秃尖长显著负相关;秃尖长与

有效穗长极显著负相关。

2.2 品种间产量与各性状相关性分析

2.2.1 天农9号的产量与性状间的相关性分析

将天农9号10个农艺性状和产量导入SPSS 19.0进行相关性分析。左下角为相关性分析结果,右上角为偏相关性分析结果(表4)。10个农艺性状与产量的相关系数依次为:穗粗(0.766) > 单穗粒重(0.753) > 百粒重(0.751) > 穗长(0.722) > 有效穗长(0.671),呈显著正相关;籽粒含水量(0.578) > 行粒数(0.527),呈正相关;出籽率(-0.126) > 穗行数(-0.271) > 秃尖长(-0.496),呈负相关。

2.2.2 太玉339的产量与性状间的相关性分析 太玉339的10个农艺性状和产量的相关性分析结果见表5,左下角为相关性分析结果,右上角为偏相关

表3 玉米材料穗部性状的偏相关系数

性状	出籽率 PGR	籽粒含水量 GMC	单穗粒重 GWPS	百粒重 100-GW	穗长 EL	穗粗 ED	穗行数 RPE	行粒数 GPR	秃尖长 BL
出籽率	1								
籽粒含水量	-0.401*	1							
单穗粒重	-0.054	0.059	1						
百粒重	-0.342	-0.204	0.571**	1					
穗长	-0.307	0.312	0.755**	0.397*	1				
穗粗	-0.036	0.102	0.487*	0.342	0.655**	1			
穗行数	0.288	0.308	-0.082	-0.779**	-0.086	-0.108	1		
行粒数	-0.266	0.127	0.885**	0.539**	0.760**	0.243	-0.128	1	
秃尖长	0.214	-0.602**	-0.435*	0.201	-0.500**	-0.205	-0.508**	-0.475*	1
有效穗长	-0.320	0.500**	0.715**	0.187	0.920**	0.544**	0.161	0.741**	-0.799**

表4 天农9号主要农艺性状与产量的相关分析

性状	出籽率 PGR	籽粒含水量 GMC	单穗粒重 GWPS	百粒重 100-GW	穗长 EL	穗粗 ED	穗行数 RPE	行粒数 GPR	秃尖长 BL	有效穗长 EEL
出籽率	1	0.174	0.604	-0.604	0.913**	0.545	0.54	0.716*	-0.600	0.819*
籽粒含水量	0.068	1	0.761*	0.310	0.517	0.143	0.334	0.669	-0.563	0.578
单穗粒重	0.300	0.844**	1	-0.028	0.868**	0.330	0.611	0.968**	-0.926**	0.940**
百粒重	-0.490	0.601	0.553	1	-0.425	-0.849**	-0.525	-0.031	0.066	-0.273
穗长	0.536	0.709*	0.939**	0.349	1	0.565	0.676	0.905**	-0.807*	0.965**
穗粗	0.251	0.518	0.716*	0.215	0.804**	1	0.805*	0.231	-0.215	0.426
穗行数	0.550	0.106	0.184	-0.537	0.255	0.291	1	0.505	-0.417	0.586
行粒数	0.537	0.768*	0.938**	0.378	0.912**	0.530	0.271	1	-0.933**	0.967**
秃尖长	-0.455	-0.686*	-0.903**	-0.335	-0.843**	-0.500	-0.214	-0.950**	1	-0.932**
有效穗长	0.518	0.737*	0.964**	0.370	0.980**	0.717*	0.237	0.963**	-0.933**	1
产量	-0.126	0.578	0.753*	0.751*	0.722*	0.766*	-0.271	0.527	-0.496	0.671*

性分析结果。10个农艺性状与产量的相关性分别为:秃尖长(0.673)呈显著正相关;出籽率(0.618) > 穗行数(0.253) > 穗粗(0.141) > 单穗粒重(0.03),呈正相关;穗长(-0.247) > 百粒重(-0.429) > 有效穗长(-0.456) > 行粒数(-0.464) > 籽粒含水量(-0.531),呈负相关。

2.2.3 太玉 803 的产量与性状间的相关性分析 太玉 803 的 10 个农艺性状和产量之间的相关系数见表 6。左下角为相关性分析结果,右上角为偏相关性分析结果。10个农艺性状与产量的相关系数依次为:穗长(0.505) > 穗行数(0.470) > 出籽率(0.459) > 单穗粒重(0.391) > 有效穗长(0.390) > 籽粒含水量(0.183) > 行粒数(0.012),呈正相关;百粒重(-0.056) > 秃尖长(-0.091) > 穗粗(-0.232),呈负相关。

2.3 不同种植密度下产量与性状间的相关性分析

在不同种植密度下,产量与各性状间相关系数如表 7 所示。在 4000 株/667m² 密度下,产量与单穗粒重、百粒重和穗长呈极显著正相关;5000 株/667m² 密度下,产量与单穗粒重、百粒重、穗长和行粒数呈极显著正相关,与籽粒含水量呈极显著负相关;6000 株/667m² 密度下,产量与单穗粒重和出籽率呈极显著正相关。在 3 种密度下,单穗粒重与产量的相关系数均呈极显著正相关;穗长和百粒重在低密度和中密度时与产量呈极显著正相关,高密度时呈显著正相关;穗粗在中密度时与产量呈显著正相关,低密度和高密度时与产量的相关性均不显著;高密度时出籽率对产量的影响仅次于单穗粒重,高于穗长和百粒重。

表 5 太玉 339 主要农艺性状与产量的相关分析

性状	出籽率 PGR	籽粒含水量 GMC	单穗粒重 GWPS	百粒重 100-GW	穗长 EL	穗粗 ED	穗行数 RPE	行粒数 GPR	秃尖长 BL	有效穗长 EEL
出籽率	1	-0.506	-0.243	-0.178	-0.289	0.308	-0.111	-0.760 [*]	0.843 ^{**}	-0.510
籽粒含水量	-0.665	1	0.382	0.663	0.012	-0.241	-0.255	0.500	-0.428	0.155
单穗粒重	-0.172	0.307	1	0.823 [*]	0.759 [*]	0.258	-0.210	0.762 [*]	-0.404	0.747 [*]
百粒重	-0.391	0.735 [*]	0.731 [*]	1	0.367	-0.064	-0.501	0.669	-0.262	0.389
穗长	-0.373	0.141	0.728 [*]	0.427	1	0.660	-0.118	0.602	-0.429	0.957 ^{**}
穗粗	0.327	-0.277	0.260	-0.118	0.598	1	-0.072	-0.169	0.150	0.499
穗行数	0.072	-0.344	-0.195	-0.546	-0.173	-0.033	1	-0.174	0.362	0.001
行粒数	-0.816 ^{**}	0.622	0.661	0.734 [*]	0.632	-0.214	-0.267	1	-0.751 [*]	0.733 [*]
秃尖长	0.906 ^{**}	-0.625	-0.279	-0.464	-0.474	0.205	-0.089	-0.804 ^{**}	1	-0.670
有效穗长	-0.639	0.359	0.650	0.509	0.938 ^{**}	0.375	-0.115	0.790 [*]	-0.748 [*]	1
产量	0.618	-0.531	0.030	-0.429	-0.247	0.141	0.253	-0.464	0.673 [*]	-0.456

表 6 太玉 803 主要农艺性状与产量的相关分析

性状	出籽率 PGR	籽粒含水量 GMC	单穗粒重 GWPS	百粒重 100-GW	穗长 EL	穗粗 ED	穗行数 RPE	行粒数 GPR	秃尖长 BL	有效穗长 EEL
出籽率	1	-0.748 [*]	-0.003	-0.475	-0.424	0.063	0.658	-0.332	-0.095	-0.261
籽粒含水量	-0.570	1	-0.407	0.022	-0.026	-0.407	-0.452	-0.147	0.655	-0.313
单穗粒重	0.177	-0.297	1	0.867 ^{**}	0.769 [*]	0.766 [*]	0.520	0.911 ^{**}	-0.836 ^{**}	0.907 ^{**}
百粒重	-0.447	0.011	0.775 [*]	1	0.797 [*]	0.542	0.170	0.963 ^{**}	-0.692	0.867 ^{**}
穗长	-0.094	0.070	0.809 ^{**}	0.659	1	0.775 [*]	0.036	0.824 [*]	-0.503	0.917 ^{**}
穗粗	-0.052	-0.432	0.595	0.539	0.534	1	0.413	0.553	-0.614	0.808 [*]
穗行数	0.732 [*]	-0.307	0.606	0.123	0.265	0.245	1	0.202	-0.324	0.156
行粒数	-0.290	-0.143	0.843 ^{**}	0.961 ^{**}	0.717 [*]	0.535	0.183	1	-0.738 [*]	0.905 ^{**}
秃尖长	-0.126	0.625	-0.802 ^{**}	-0.683 [*]	-0.478	-0.574	-0.327	-0.736 [*]	1	-0.805 [*]
有效穗长	-0.035	-0.212	0.921 ^{**}	0.776 [*]	0.926 ^{**}	0.633	0.310	0.838 ^{**}	-0.774 [*]	1
产量	0.459	0.183	0.391	-0.056	0.505	-0.232	0.470	0.012	-0.091	0.390

表7 不同种植密度下产量与主要农艺性状的相关分析

密度 (株/667m ²)	出籽率 PGR	籽粒含水量 GMC	单穗粒重 GWPS	百粒重 100-GW	穗长 EL	穗粗 ED	穗行数 RPE	行粒数 GPR	秃尖长 BL	有效穗长 EEL
4000	-0.285	0.011	0.841**	0.832**	0.835**	0.199	-0.572	0.701*	0.224	0.544
5000	0.745*	-0.852**	0.949**	0.750**	0.850**	0.681*	-0.531	0.774**	0.514	0.277
6000	0.757**	-0.700*	0.839**	0.707*	0.586*	0.319	-0.708*	0.597*	0.687*	0.261

3 结论与讨论

玉米农艺性状与产量的相关性分析中,产量与百粒重、单穗粒重、秃尖长及出籽率均呈极显著正相关(表1);穗行数与产量呈极显著负相关。偏相关分析中单穗粒重、出籽率和百粒重相关系数影响较大,但相关性不显著(表2)。在玉米自交材料与新组合选择中优先选择大粒品种更容易丰产,穗行数与产量极显著负相关也印证了这个结论。秃尖是一个不利性状,但可以从另一面反应出组合的丰产潜力。

果穗大小最直观的表现表现为穗长、穗粗和单穗粒重。相关性分析中穗长与有效穗长相关性系数最大,穗粗与有效穗长相关系数最大,单穗粒重与行粒数相关系数最大(表1)。偏相关性分析中,穗长与有效穗长相关系数最大,穗粗与穗长相关系数最大,单穗粒重与行粒数相关系数最大(表3)。两次分析结果一致。在果穗穗选时优先选择长穗组合,更容易出大穗品种。

天农9号相关性分析中(表4),穗粗、单穗粒重和百粒重对产量影响较大,单穗粒重又与有效穗长、穗长和行粒数呈极显著正相关,与秃尖长呈极显著负相关,品种改良时可以从穗粗、百粒重和有效穗长多方面筛选,优先选择大粒组合。太玉339产量受秃尖长影响最大,其次是出籽率和穗行数(表5);出籽率又与秃尖长极显著正相关,与行粒数极显著负相关;品种改良时优先考虑穗行数多的组合。太玉803产量受穗长、穗行数和出籽率影响较大(表6),出籽率与穗行数呈显著正相关,品种改良时可以从穗长和穗行数方面考虑。

不同种植密度下,单穗粒重是决定产量的主要因素,增加单穗产量是增加产量的最有效途径,增加百粒重和穗长都反映在增加单穗产量上。中密度时还可通过增加穗行数和提高脱水速率提高产量。高密度时还可通过增大出籽率提高产量。

参考文献

- [1] 徐宗贵,孙磊,王浩,王淑兰,王小利,李军. 种植密度对旱地不同株型春玉米品种光合特性与产量的影响. 中国农业科学,2017,50(13): 2463-2475
- [2] 佟屏亚,程延年. 玉米密度与产量因素关系的研究. 北京农业科学,1995(1): 23-25
- [3] 郑迎霞,陈杜,魏鹏程,卢平,杨锦越,罗上轲,叶开梅,宋碧. 种植密度对贵州春玉米茎秆抗倒伏性能及籽粒产量的影响. 作物学报,2021,47(4): 738-751
- [4] 坚天才,康建宏,梁熠,刘根红,王乐,冯鹏博,马雪莹,高娣. 增密对旱区春玉米光合特性及产量构成的影响. 西南农业学报,2020,33(11): 2460-2468
- [5] 丰光,李妍妍,景希强,王亮,黄长玲. 玉米不同种植密度对主要农艺性状和产量的影响. 玉米科学,2011,19(1): 109-111
- [6] 郑伟,边丽梅,董喆,张丽妍,张昊,郝春雷,孟繁盛,慈艳华,杜江洪. 不同种植密度对玉米品种产量形成及生长发育特性的影响. 陕西农业科学,2021,67(8): 52-55
- [7] 李宏志,卓从丽,邹康平,陈红,韩盛兵,卓新彦,易宗建,吴春娥. 种植密度对不同株型玉米品种农艺性状及产量的影响. 湖南农业科学,2020(6): 14-16,19
- [8] 刘学锐,于青松,窦克磊,郭雪云,姚丹丹,郝茹雪,张萌,杨晴. 种植密度对冀东地区春玉米灌浆和脱水的影响. 广东农业科学,2021,48(2): 1-10
- [9] 贺囡囡,韦桂旺,冯云敢,蒙云飞,韦爱娟. 种植密度对超甜玉米新品种主要农艺性状和产量的影响. 西南农业学报,2019,32(11): 2521-2529
- [10] 郭莹,覃鸿妮,蔡一林. 密度对不同株型玉米产量及主要农艺性状的影响. 西南师范大学学报:自然科学版,2012,37(6): 57-61
- [11] 王铁固,赵新亮,马娟,张怀胜,陈士林. 种植密度对玉米产量及主要农艺性状的影响. 广东农业科学,2011,38(23): 16-18
- [12] 金兵兵,姬祥卓,庄泽龙,陈奋奇,白明兴,贾璐慧,王纪良,王芳,彭云玲. 种植密度对不同玉米品种农艺性状及产量的影响. 甘肃农业大学学报,2021,56(3): 73-85
- [13] 刘兴舟,李猛,陈瑞信,付华,马桂美,周言虎,张建. 夏玉米穗部性状对种植密度的响应研究. 农学学报,2020,10(10): 12-18,23
- [14] 徐磊,谭福忠,师臣,周长军,郑巍,齐国超,陈刚,于海峰. 黑龙江西部干旱区玉米产量与产量构成因素的相关性分析. 黑龙江农业科学,2020(7): 1-6
- [15] 任洪雷,李春霞,龚士琛,李国良,扈光辉,王明泉,杨剑飞. 利用SPSS实现玉米杂交种主要农艺性状与产量的相关和通径分析. 作物杂志,2019(3): 86-90

(收稿日期: 2021-11-15)