

# 鲜食甜糯玉米营养品质性状的相关分析

郝小琴, 吴子恺

(广西大学 农学院, 广西 南宁 530005)

**摘要:** 以异隐纯合体杂交法培育的甜糯玉米为材料, 在适宜鲜食期测定了籽粒中的可溶性总糖、粗蛋白、氨基酸、 $V_E$ 、 $V_{B_1}$ 、 $V_{B_2}$ 、 $V_C$ 、钙、镁、铁、锰、铜、锌、硒等主要营养成分的含量, 并对其进行了相关分析、偏相关分析和通径分析。结果表明: ①粗蛋白与可溶性总糖、蛋氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间呈显著或极显著正相关, 蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间呈极显著正相关。② $V_{B_1}$ 、 $V_{B_2}$ 、 $V_C$ 与可溶性总糖含量呈显著或极显著正相关。③钙、锰、铜与可溶性总糖呈显著或极显著正相关, 锌与粗蛋白呈显著正相关。④镁对可溶性总糖、粗蛋白、维生素  $V_{B_1}$  含量的直接效应为负值。

**关键词:** 甜糯玉米; 异隐纯合体杂交; 营养品质性状; 相关分析; 通径分析

**中图分类号:** S513      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2007)03-0032-05

## Correlation and Path Analysis on the Main Nutritional Quality Traits of Sweet-waxy Maize for Fresh Food

HAO Xiao-qin, WU Zi-kai

(Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005, China)

**Abstract:** The 9 sweet-waxy maize hybridized combinations and their 15 recessive homozygous parent lines were used to measure the grain nutritional ingredient contents during the fresh days, including soluble sugar, rough protein, amino acid, vitamin E, vitamin  $B_1$ , vitamin  $B_2$ , vitamin C, calcium, magnesium, iron, manganese, copper, zinc and selenium. The results from simple correlation analysis, partial correlation analysis and path analysis were as the follows: ① There were positive correlations or highly positive correlations between rough protein and soluble sugar, methionine, the total essential amino acid and the total amino acid, also among met, lysine, the total essential amino acid and the total amino acid; ② There were positive correlations or highly positive correlations between soluble sugar and vitamin  $B_1$ , vitamin  $B_2$  and vitamin C, also between soluble sugar with calcium, manganese and copper; ③ The correlation between rough protein and zinc was positively significant; ④ The direct effects of magnesium on soluble sugar, rough protein and vitamin  $B_1$  were negative.

**Key words:** Sweet-waxy maize; Cross between allotypic recessive homozygote; Nutritional quality trait; Correlation analysis; Path analysis

鲜食玉米的品质主要包括食用品质、营养品质、商业品质和加工品质, 其中, 食用品质和营养品质尤

为重要<sup>[1]</sup>。评价鲜食玉米的营养品质主要看蛋白质、脂肪、可溶性糖、氨基酸、维生素、纤维素及矿物

收稿日期: 2006-11-03

基金项目: 广西科技攻关项目(0228002-5)

作者简介: 郝小琴(1974-), 女, 山西平遥人, 讲师, 博士, 主要从事玉米遗传育种研究工作。

通讯作者: 吴子恺(1942-), 男, 吉林扶余人, 教授, 博士生导师, 主要从事玉米遗传育种教学与研究工作。

质等的含量<sup>[2]</sup>。有关鲜食玉米多个营养品质性状间的相关性研究报道极少。只有一些针对个别甜玉米品种的营养成分含量<sup>[3,4]</sup>、甜玉米的某种单一营养成分含量<sup>[5,6]</sup>进行的初步研究。吴子恺教授利用异隐纯合体杂交法<sup>[7,8]</sup>培育的甜糯玉米是一种新型的鲜食玉米,关于这类鲜食玉米的营养品质尚未进行系统研究。为此,以异隐纯合体杂交法培育的甜糯玉米为材料,在适宜鲜食期测定籽粒中的可溶性总糖、粗蛋白、氨基酸、 $V_E$ 、 $V_{B_1}$ 、 $V_{B_2}$ 、 $V_C$ 、钙、镁、铁、锰、铜、锌、硒等主要营养成分的含量,并对其进行简单相关分析、偏相关分析和通径分析,以了解这些营养品质性状间的关系,为甜糯玉米育种提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验设计

供试材料为广西大学吴子恺教授利用自主知识产权(专利号 ZL.99111739.51)的材料选育而成的、经多年初评综合农艺性状及产量表现较好的 9 个甜糯玉米杂交组合及其 15 个隐性纯合体亲本自交系。

试验材料种植在广西大学农学院试验农场,每个材料种植 4 行小区,行长 4.2 m,行距为 90 cm 和 40 cm 宽窄行,株距 30 cm。

2003 年秋季播种试验:2003 年 7 月 27 日将 9 个甜糯玉米杂交组合及 15 个亲本自交系采用完全随机试验设计种植,9 月 13~30 日选生长一致的植株进行套袋自交授粉。授粉后 21 d 每材料在小区中间 2 行随机取 6 个果穗,进行营养成分测定。

2004 年春季播种试验:2004 年 2 月 8 日将其中 5 个甜糯玉米杂交组合及其相应的 9 个亲本自交系再次采用完全随机试验设计种植,进行重复试验。这 5 个甜糯玉米组合是当时已经通过审定和正在参加区试的组合。5 月 1~13 日选生长一致的植株进行套袋自交授粉。同样在授粉后 21 d 每材料在小区中间 2 行随机取 6 个果穗,进行营养成分测定。

1.2 营养成分测定方法

可溶性总糖采用蒽酮比色法测定,粗蛋白采用凯氏定氮法测定,氨基酸采用氨基酸分析仪法测定,维生素 E 采用高效液相色谱法测定, $V_{B_1}$ 、 $V_{B_2}$ 、 $V_C$  采用荧光法测定,钙、镁、铁、锰、铜、锌采用原子吸收分光光度法测定,硒采用荧光法测定。

1.3 统计分析方法

将 2 次试验的材料合并,以所有基因型为单位,计算主要营养品质性状之间的简单相关系数、偏相关系数及通径系数。应用 Excel 软件计算简单相关

系数,利用 SPSS 13.0 统计分析软件计算偏相关系数,利用 SAS 6.12 统计分析软件计算通径系数。

2 结果与分析

2.1 可溶性总糖、粗蛋白、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间的简单相关分析

将供试材料授粉后 21 d 的可溶性总糖、粗蛋白、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间的简单相关分析结果汇于表 1。由表 1 可知,粗蛋白与可溶性总糖、蛋氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量之间存在显著或极显著正相关关系,蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量彼此之间存在极显著正相关关系。表明提高氨基酸总量就可相应提高必需氨基酸总量,也可相应提高蛋氨酸和赖氨酸的含量,反之亦然。

表 1 可溶性总糖、粗蛋白、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间的简单相关系数

营养成分	可溶性总糖	粗蛋白	蛋氨酸	赖氨酸	必需氨基酸总量
粗蛋白	0.538 **				
蛋氨酸	0.032	0.352 *			
赖氨酸	0.313	0.319	0.468 **		
必需氨基酸总量	0.005	0.485 **	0.537 **	0.632 **	
氨基酸总量	0.039	0.529 **	0.535 **	0.636 **	0.996 **

注: \* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上相关显著。下同

2.2 4 种维生素间的相关分析

将供试材料授粉后 21 d 的  $V_E$ 、 $V_{B_1}$ 、 $V_{B_2}$ 、 $V_C$  间的简单相关和偏相关分析结果汇于表 2。

表 2 4 种维生素间的简单相关系数和偏相关系数

相关	营养成分	$V_E$	$V_{B_1}$	$V_{B_2}$
简单相关	$V_{B_1}$	-0.459 **		
	$V_{B_2}$	-0.144	0.277	
	$V_C$	0.037	0.056	0.080
偏相关	$V_{B_1}$	-0.444 **		
	$V_{B_2}$	-0.025	0.234	
	$V_C$	0.073	0.064	0.069

由表 2 可知,简单相关和偏相关的结果都表明,除  $V_E$  与  $V_{B_1}$  存在极显著负相关外,4 种维生素间多数都不存在显著相关关系,表明 4 种维生素的积累相互独立,互不影响。

2.3 4 种维生素与可溶性总糖、粗蛋白、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间的简单相关分析

授粉后 21 d, 4 种维生素与可溶性总糖、粗蛋白、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间的简单相关分析结果汇于表 3。

由表 3 可知,  $V_{B_1}$ 、 $V_{B_2}$ 、 $V_C$  3 种水溶性维生素与可溶性总糖含量存在显著或极显著正相关关系。 $V_{B_2}$  与粗蛋白、 $V_{B_1}$  与蛋氨酸含量存在显著正相关关系。其余的相关系数较小, 有些为负值, 但无负相关显著的情况。表明, 提高可溶性总糖的含量, 就可能相应提高  $V_{B_1}$ 、 $V_{B_2}$ 、 $V_C$  3 种水溶性维生素的含量, 反之亦然。

表 3 4 种维生素与可溶性总糖、粗蛋白、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间的简单相关系数

营养成分	$V_E$	$V_{B_1}$	$V_{B_2}$	$V_C$
可溶性总糖	-0.195	0.343 *	0.661 **	0.374 *
粗蛋白	0.030	0.115	0.359 *	0.235
蛋氨酸	-0.290	0.338 *	-0.023	-0.187
赖氨酸	-0.213	0.119	0.092	0.296
必需氨基酸总量	0.078	-0.069	-0.076	-0.013
氨基酸总量	0.091	-0.064	-0.049	-0.005

2.4 钙、镁、铁、锰、铜、锌、硒间的相关分析

将授粉后 21 d 钙、镁、铁、锰、铜、锌、硒 7 个营养元素间的简单相关和偏相关分析结果汇于表 4。

由表 4 可知, 简单相关和偏相关分析都表明, 钙与镁、铜, 镁与锰, 铁与锰、锌, 锰与铜之间存在显著

表 4 授粉后 21 d 钙、镁、铁、锰、铜、锌、硒间的简单相关系数和偏相关系数

相关	营养成分	钙	镁	铁	锰	铜	锌
简单相关	镁	0.459 **					
	铁	0.021	0.195				
	锰	0.446 **	0.438 **	0.418 **			
	铜	0.326 *	0.097	0.293	0.440 **		
	锌	-0.344 *	0.126	0.434 **	-0.207	0.143	
	硒	-0.192	-0.341 *	-0.261	-0.210	-0.274	-0.141
偏相关	镁	0.491 **					
	铁	0.059	-0.217				
	锰	-0.049	0.474 **	0.549 **			
	铜	0.382 *	-0.399 *	-0.116	0.455 **		
	锌	-0.450 **	0.479 **	0.555 **	-0.549 **	0.410 *	
	硒	0.015	-0.283	-0.170	0.112	-0.225	0.054

或极显著正相关关系, 而钙与锌之间存在显著负相关关系。

7 种矿质营养元素间的简单相关和偏相关分析结果有些相似, 但不完全相同。简单相关分析表明, 钙与锰之间呈极显著正相关; 镁与铜、锌之间呈正相关, 但不显著; 镁与硒之间呈显著负相关; 锰与锌之间呈负相关, 但不显著; 铜与锌之间呈正相关, 但不显著。而偏相关分析表明, 钙与锰之间呈负相关, 但不显著; 镁与铜之间呈显著负相关; 镁与锌之间呈极显著正相关; 镁与硒之间呈负相关, 但不显著; 锰与锌之间呈极显著负相关; 铜与锌之间呈显著正相关。

2.5 7 种矿质营养元素与 4 种维生素、可溶性总糖、粗蛋白、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间的简单相关分析

将授粉后 21 d 7 种矿质营养元素与 4 种维生

素、可溶性总糖、粗蛋白、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间的简单相关分析结果汇于表 5。由表 5 可知, 镁与  $V_E$ , 硒与  $V_{B_1}$ , 铁、锰与  $V_C$  存在显著或极显著正相关关系; 钙、锰、铜与可溶性总糖存在显著或极显著正相关关系; 铁、铜、锌与粗蛋白存在显著正相关关系; 锌与必需氨基酸总量、氨基酸总量存在显著正相关关系。其余的相关系数较小, 也有的为负值, 但负相关显著的情况较少, 只有镁与  $V_{B_1}$ 、铜与  $V_E$  存在显著负相关关系。

2.6 7 种矿质营养元素对可溶性总糖、粗蛋白、4 种维生素、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量的途径分析

为进一步了解 7 种矿质营养元素与可溶性总糖、粗蛋白、4 种维生素、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间的关系, 将 2003 年秋与 2004 年

表 5 7 种矿质营养元素与 4 种维生素、可溶性总糖、粗蛋白、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量间的简单相关系数

营养元素	钙	镁	铁	锰	铜	锌	硒
V <sub>E</sub>	0.244	0.396 *	0.057	0.008	-0.342 *	-0.012	-0.164
V <sub>B<sub>1</sub></sub>	-0.033	-0.410 *	-0.117	0.018	0.086	-0.165	0.525 **
V <sub>B<sub>2</sub></sub>	-0.045	-0.226	0.171	0.176	0.287	-0.042	0.141
V <sub>C</sub>	0.266	0.147	0.365 *	0.336 *	0.230	-0.070	0.012
可溶性总糖	0.356 *	-0.082	0.136	0.407 *	0.478 **	-0.165	0.018
粗蛋白	0.195	0.072	0.326 *	0.266	0.398 *	0.377 *	0.075
蛋氨酸	-0.102	-0.214	-0.070	-0.178	-0.175	0.250	0.149
赖氨酸	0.008	-0.008	-0.051	0.122	-0.040	-0.014	0.030
必需氨基酸总量	-0.048	0.149	-0.003	0.063	-0.055	0.345 *	-0.072
氨基酸总量	-0.045	0.142	0.022	0.072	-0.042	0.355 *	-0.055

春 2 次试验的材料合并,进行了多组通径分析。由于钙、镁、铁、锰、铜、锌、硒 7 种元素对 V<sub>B<sub>2</sub></sub>、V<sub>C</sub>、蛋氨酸、赖氨酸、必需氨基酸总量、氨基酸总量的几组通径分析,其剩余因子的决定系数较大,都超过 70%,

所以这几组通径分析结果从略。在此仅列出钙、镁、铁、锰、铜、锌、硒 7 种元素对可溶性总糖、粗蛋白、V<sub>E</sub>、V<sub>B<sub>1</sub></sub> 的 4 组通径分析结果,汇于表 6。由表 6 可知,当其他性状保持不变时,提高锰、钙、铜的含量,

表 6 钙、镁、铁、锰、铜、锌、硒对可溶性总糖、粗蛋白、V<sub>E</sub>、V<sub>B<sub>1</sub></sub> 的通径分析

结果性状	原因性状	简单相关系数	直接效应	间接效应						
				钙	镁	铁	锰	铜	锌	硒
可溶性总糖	钙	0.3558	0.3134		-0.1684	-0.0003	0.1496	0.0948	-0.0129	-0.0201
	镁	-0.0824	-0.3673	0.1437		-0.0026	0.1468	0.0283	0.0047	-0.0358
	铁	0.1362	-0.0133	0.0066	-0.0716		0.1402	0.0853	0.0162	-0.0273
	锰	0.4069	0.3353	0.1398	-0.1608	-0.0056		0.1282	-0.0077	-0.0220
	铜	0.4780	0.2912	0.1020	-0.0357	-0.0039	0.1476		0.0053	-0.0287
	锌	-0.1648	0.0374	-0.1079	-0.0462	-0.0058	-0.0692	0.0416		-0.0148
	硒	0.0183	0.1049	-0.0601	0.1254	0.0035	-0.0703	-0.0797	-0.0053	
剩余因子的决定系数				0.5886						
粗蛋白	钙	0.1954	0.3886		-0.1200	-0.0006	0.1562	0.0417	-0.2226	-0.0484
	镁	0.0724	-0.2618	0.1782		-0.0058	0.1533	0.0124	0.0814	-0.0861
	铁	0.3263	-0.0296	0.0082	-0.0511		0.1464	0.0375	0.2805	-0.0658
	锰	0.2664	0.3501	0.1733	-0.1146	-0.0124		0.0564	-0.1335	-0.0529
	铜	0.3975	0.1280	0.1265	-0.0254	-0.0087	0.1541		0.0923	-0.0691
	锌	0.3767	0.6463	-0.1339	-0.0330	-0.0129	-0.0723	0.0183		-0.0356
	硒	0.0753	0.2524	-0.0746	0.0893	0.0077	-0.0734	-0.0351	-0.0910	
剩余因子的决定系数				0.5457						
V <sub>E</sub>	钙	0.2442	0.3154		0.1251	0.0030	-0.0499	-0.1642	-0.0103	0.0250
	镁	0.3958	0.2728	0.1446		0.0282	-0.0490	-0.0490	0.0038	0.0444
	铁	0.0569	0.1448	0.0066	0.0532		-0.0468	-0.1477	0.0130	0.0339
	锰	0.0081	-0.1119	0.1407	0.1194	0.0605		-0.2221	-0.0062	0.0273
	铜	-0.3422	-0.5044	0.1027	0.0265	0.0424	-0.0492		0.0043	0.0356
	锌	-0.0117	0.0299	-0.1086	0.0343	0.0629	0.0231	-0.0721		0.0183
	硒	-0.1638	-0.1301	-0.0605	-0.0931	-0.0377	0.0235	0.1381	-0.0042	
剩余因子的决定系数				0.6141						
V <sub>B<sub>1</sub></sub>	钙	-0.0325	0.1239		-0.1868	-0.0015	0.1011	0.0425	-0.0194	-0.0926
	镁	-0.4095	-0.4074	0.0568		-0.0140	0.0993	0.0127	0.0071	-0.1647
	铁	-0.1170	-0.0717	0.0026	-0.0795		0.0948	0.0382	0.0245	-0.1257
	锰	0.0184	0.2267	0.0552	-0.1783	-0.0300		0.0575	-0.0116	-0.1012
	铜	0.0863	0.1305	0.0403	-0.0396	-0.0210	0.0998		0.0081	-0.1321
	锌	-0.1647	0.0564	-0.0427	-0.0513	-0.0311	-0.0468	0.0187		-0.0680
	硒	0.5248	0.4825	-0.0238	0.1390	0.0187	-0.0475	-0.0357	-0.0079	
剩余因子的决定系数				0.5691						

可相应提高可溶性总糖的含量。提高锌、钙、锰的含量,可相应提高粗蛋白含量。提高钙、镁、铁的含量,可相应提高  $V_E$  含量。提高硒、锰、铜、钙的含量,可相应提高  $V_{B_1}$  含量。而镁对可溶性总糖、粗蛋白、 $V_{B_1}$  含量的通径系数皆为负值,它与这些营养成分积累的直接效应似乎是反向的。

3 讨论

相关分析表明,就本试验材料看,提高氨基酸总量,可相应提高必需氨基酸总量,也可相应提高蛋氨酸和赖氨酸的含量。提高可溶性总糖的含量,可相应提高  $V_{B_1}$ ,  $V_{B_2}$ ,  $V_C$  3 种水溶性维生素的含量,反之亦然。相关分析和通径分析结果表明,提高钙、锰、铜的含量,可相应提高可溶性总糖的含量;提高锌的含量,可相应提高粗蛋白的含量。有关鲜食玉米多个营养品质性状间的简单相关、偏相关分析及通径分析的研究尚未见详细报道。由于多数矿质营养表现为易受环境影响,是否在杂交种植过程中可通过增施这些矿质元素,可相应提高甜糯玉米籽粒中各种矿质营养成分的含量,从而相应提高可溶性总糖、粗蛋白的含量,进一步提高氨基酸和维生素的含量。如果这一规律具普遍意义,则为今后甜糯玉米的重要营养成分改良提供了一条相应简单易行的途径。通过本试验的相关分析和通径分析研究只能提供初步参考,是否具有普遍规律性,有待进一步深入研究。

与简单相关相比,偏相关分析所得结果更为可

靠,但在实际应用中简单相关分析更易进行。笔者将二者比较,以期对简单相关分析结果的可信性进行探讨,结果表明,大多数简单相关分析结果仍与偏相关分析结果一致。

通径分析结果表明,剩余因子的决定系数多数较大,可能是由于未对其他一些主要矿质元素进行研究。例如,再增加对氮、磷、钾等多种矿质元素的研究,是否会使得通径分析的剩余因子影响变小,这些也有待进一步研究。

参考文献:

[1] 史振声, 张喜华. 鲜食型玉米育种目标和品种标准的探讨[J]. 玉米科学, 2002, 10(4): 16—18.  
[2] 李金洪, 李伯航. 矿质营养对玉米子粒营养品质的影响[J]. 玉米科学, 1995, 3(3): 54—58.  
[3] 陈晓熠, 李建生. 甜玉米乳熟期营养成分变化规律的研究[J]. 食品研究与开发, 2000, 21(4): 28—33.  
[4] 陈晓熠, 吴谋成. 速冻保藏对甜玉米蛋白质、脂肪、维生素的影响[J]. 食品研究与开发, 2000, 21(5): 45—47.  
[5] 白宝璋. 甜玉米子粒氨基酸含量变化的研究[J]. 辽宁农业科学, 1990(2): 13—15.  
[6] Ratcliff S L, Welson Daleo, Zabeth T E *et al.* Free fatty acids on shrunken-2 sweet corn seed[J]. Corp Sci, 1993, 33: 811—873.  
[7] 吴子恺. 异隐纯合体杂交法与甜糯玉米育种[J]. 玉米科学, 2003, 11(3): 13—17, 22.  
[8] 吴子恺. 一种培育玉米新品种的方法[P]. 中国: ZL99111739. 5 2000-03-96

本刊常用单位符号及换算

依据国家标准,本刊在刊发稿件中一律使用法定计量单位,为便于读者阅读,现将本刊常用单位符号及其换算方法介绍如下:

- 1 长度单位: km= 公里、千米 m= 米, cm= 厘米, mm= 毫米; 换算: 1 km= 1 000m, 1 m= 100cm= 3 尺, 1 cm= 10 mm
- 2 重量单位: t= 吨或 1 000 kg, kg= 公斤、千克, g= 克, mg= 毫克; 换算: 1 t= 1 000kg, 1 kg= 1 000 g, 1 g= 1 000mg, 500g= 1 市斤, 50g= 1 两
- 3 面积单位: m<sup>2</sup>= 平方米, hm<sup>2</sup>= 公顷, cm<sup>2</sup>= 平方厘米; 换算: 1 hm<sup>2</sup>= 10 000 m<sup>2</sup>= 15 亩, 1 亩= 667 m<sup>2</sup>
- 4 浓度单位: 1mg/ kg, mg/ L 或 mg. kg<sup>-1</sup>, mg. L<sup>-1</sup>, μL L<sup>-1</sup>= 1× 10<sup>-6</sup>= 1 ppm, 即百万分之一, 不用 ppm 和 1× 10<sup>-6</sup>表示
- 5 时间单位: “天、小时、分钟、秒”分别用“d h, min, s”表示

(本刊编辑部)