

# 玉米籽粒淀粉含量的遗传效应分析

刘新香<sup>1</sup>, 库丽霞<sup>1</sup>, 吴连成<sup>1</sup>, 王付娟<sup>1</sup>, 杨铭波<sup>2</sup>, 陈彦惠<sup>1\*</sup>

(1. 河南农业大学 农学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南农科院种业有限公司, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 以玉米完整籽粒为试验材料, 采用偏最小二乘回归法建立近红外反射光谱测定其淀粉含量的数学模型, 光谱预处理结果表明, 采用一阶导数+多元散射校正建立淀粉含量的校正模型效果最佳, 外部验证结果表明, 校正后模型预测结果与化学值之间的相关系数达0.9240。用13个普通玉米自交系, 按NC II设计(6×7)研究玉米籽粒品质性状的遗传效应, 结果表明: 粗淀粉含量不同程度地体现为种子、母体和细胞质效应, 而母体遗传效应和种子直接效应占主导, 细胞质效应相对较小, 遗传效应以母体加性和胚乳直接加性为主, 存在显著的正向母体杂种优势。遗传效应预测值表明, 铁7922、郑58是选育高淀粉品种的优良材料, 同时说明以校正模型测定其含量结果准确、可靠。

**关键词:** 玉米; 淀粉含量; 近红外反射光谱技术; 校正模型; 遗传效应

**中图分类号:** S513      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2008)02-0025-05

## Genetic Analysis of Seed Starch Content in Maize

LIU Xin-xiang<sup>1</sup>, KU Li-xia<sup>1</sup>, WU Lian-cheng<sup>1</sup>, WANG Fu-juan<sup>1</sup>,

YANG Ming-bo<sup>2</sup>, CHEN Yan-hui<sup>1\*</sup>

(1. Agronomy College of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Seeds CO. LTD, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** The starch content of whole maize kernel was determined by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. The math model was established by partial least square regression. The result of spectrum pretreatment indicated that the calibration model developed by first order derivative with multivariate scattering correction had the best effect for starch content. Exterior validation suggested that the correlation coefficient between the predicted NIRS value by Calibration model and the starch content obtained from chemical methods was 0.9240. Thirteen maize inbred lines were crossed in NC II design (6×7) to analyze genetic effects of seed quality properties. The results indicated that the crude starch content was controlled by seed, maternal and cytoplasmic genetic effects with different degrees, but the maternal and seed direct effects were dominant and the cytoplasmic genetic effect was correspondingly minor. Maternal and seed direct additive heretic effects were more important and significantly positive maternal heterosis was found. The predicted genetic effects showed that inbred lines Tie7922 and Zheng58 were better than other parents in breeding high starch varieties. It is very exact and credible to measure the starch content by the calibration model.

**Key words:** Maize; Starch content; NIRS; Calibration model; Genetic effect

收稿日期: 2007-08-27

基金项目: 河南省重大科技专项; 农业部重大结构调整项目(2003-04-01A)

作者简介: 刘新香(1979-), 女, 河南南阳人, 硕士, 主要从事玉米遗传育种研究。

通讯作者: 陈彦惠(1958-), 男, 河南南阳人, 教授, 博士, 主要从事玉米遗传育种研究工作。

玉米是粮食、饲料和加工业原料的重要来源,通过遗传改良,提高玉米籽粒淀粉含量,对提高玉米籽粒的利用价值、促进玉米加工业的发展具有重要意义<sup>[1]</sup>。选育优质高淀粉玉米新品种是当前玉米育种工作的主攻方向之一,研究玉米籽粒淀粉含量的遗传规律是选育优质高淀粉玉米新品种的理论基础和依据。用化学方法测定淀粉含量时因粉碎和化学预处理而使样品受到破坏,不适于在品质育种工作中大批量鉴定、筛选育种早代材料。而利用近红外反射光谱进行玉米完整籽粒淀粉含量的测定,可以克服化学方法对玉米籽粒破坏的缺点,对玉米品质育种工作有重要的实践意义<sup>[2~4]</sup>。本试验以玉米完整籽粒为试验材料,采用偏最小二乘(partial least square, PLS)回归法建立近红外反射光谱测定其淀粉含量的数学模型,并进行校正和维护;利用其模型测定其含量,采用胚乳—细胞质—母体效应的三倍体种子遗传模型及统计分析方法分析籽粒粗淀粉含量的基因效应,进一步明确其遗传规律,为品质改良和培育优质高淀粉专用玉米品种提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

供试材料分两部分,(1)按照建立 NIRS 校正模型的要求,选择试验材料,包括 73 个自交系,35 个杂交种( $F_1$ ),50 个  $F_2$  材料( $F_1$  自交),其中 108 份样品做校正集,50 份样品做验证集。籽粒样品分别来自 2003 年海南加代、2004 年河南农业大学试验田及河南省夏玉米区域试验的材料。(2)选用国内育种上常用的 13 个自交系采用校正后的模型测定其淀粉含量做遗传效应分析,其中母本 6 个,分别是 X178、豫 87—1、K12、郑 58、鲁原 92 和铁 7922;父本 7 个,分别是豫 25、综 3、昌 7—2、齐 319、丹 340、掖 52106 和沈 137。2003 年在海南三亚按照 NC II 不完全双列杂交设计组配 42 个杂交组合;2004 年在郑州种植亲本和  $F_1$ ,亲本和  $F_1$  分别按随机区组设计,3 次重复,行长 4 m,行距 0.6 m,3 行区,每行 15 株。开花期由亲本配制  $F_1$  当代种子、同时亲本和  $F_1$  植株自交获得亲本和  $F_2$  种子,成熟时收获亲本、当代杂交种和  $F_1$  植株上的  $F_2$  种子。

### 1.2 仪器与样品光谱测定

实验仪器为 MATRIX—I 型傅立叶变换近红外光谱仪(德国 BRUKER 公司)。将 30~50 g 籽粒样品盛于直径 5 cm 的旋转样品池中,在 4000~12 000 nm(波长 800~2400 nm)谱区范围内扫描 64

次,采集样品的吸收光谱。每个样品重复取样 5 次,计算其平均光谱贮存于计算机中。

### 1.3 籽粒品质测定

淀粉含量按照 NY/T11—1985 进行测定。所有样品均重复测定 3 次以上,结果以干基(%)表示。

### 1.4 NIRS 数学模型的建立

运用偏最小二乘(PLS)回归法建立模型。根据测定样品的近红外光谱与它们的组成或性质数据,通过合理的光谱处理及校正方法,建立样品光谱与组成或性质间的校正模型。利用交叉验证均方差 RMSECV、交叉验证决定系数( $R^2$ )来衡量不同光谱预处理方法对模型的校正效果,利用预测值与化学测定值间的相关系数衡量校正后模型的优劣。采用 BRUKER 公司 OPUS/QUANT 4.0 商用光谱定量分析软件(Windows XP 下运行),进行上述光谱数据预处理、谱区选择与回归统计分析。

### 1.5 统计分析方法

采用朱军<sup>[5]</sup>提出的包括胚乳—细胞质—母体效应的三倍体种子遗传模型及统计分析方法,分析杂交玉米粗淀粉含量的数据资料。

用 MINQUE(0/1)法<sup>[5~7]</sup>无偏估算各性状的胚、胚乳的直接加性效应、直接显性效应、细胞质效应、母体加性效应、母体显性效应的遗传方差、直接显性效应与母体显性效应的遗传协方差等方差和协方差分量。

采用调整无偏预测法(AUP)预测各亲本粗淀粉含量的遗传效应值,采用 Jackknife 法对区组抽样<sup>[8]</sup>,估算各项参数估计值或预测亲本遗传效应的标准误。所有数据处理采用朱军的程序<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 籽粒淀粉含量的模型校正评价

#### 2.1.1 校正集和外部验证集样品中淀粉含量分析

本研究所用的材料包括自交系、区试杂交种和  $F_2$  材料,其籽粒类型包括马齿型、硬粒型及中间型;且杂交种材料来自多种环境。从表 1 可以看出,淀粉含量变化为 62.38%~74.55%,基本上覆盖了玉米生产和育种材料中淀粉含量的常态分布范围。

2.1.2 光谱预处理对模型的校正效果分析 各种光谱预处理方法对校正集试验材料玉米籽粒淀粉含量预测模型的校正效果见表 2。除二阶导数预处理的效果不理想外,其他光谱预处理方法对提高淀粉含量的预测效果具有一定校正作用。各种光谱预处理方法的交叉验证决定系数和交叉验证均方差分别

表 1 校正集和验证集样品中淀粉含量分布

项目	校正集				外部验证集			
	平均值	最小值	最大值	标准偏差	平均值	最小值	最大值	标准偏差
淀粉含量(%)	70.56	62.38	74.55	2.01	72.16	66.88	73.99	2.12

表 2 不同光谱预处理方法对模型校正效果的比较

预处理方法	光谱未处理	COE	SIS	多元散射校正	二阶导数	矢量归一化	一阶导数	一阶导数+SLSSIS	一阶导数+多元散射校正	一阶导数+矢量归一化	最大最小归一化
R <sup>2</sup> (%)	60.3	61.64	63.48	61.97	59.27	61.86	62.42	63.04	63.55	62.07	62.53
RMSECV	1.17	1.15	1.12	1.14	1.18	1.14	1.14	1.13	1.12	1.14	1.13

在 60.3%和 1.15 左右,其中,以一阶导数+多元散射校正光谱预处理方法的校正效果最好(图 1)。其交叉验证决定系数和交叉验证均方差分别为

63.55%和 1.12。根据不同光谱预处理方法对模型校正结果影响的比较分析,采用一阶导数+多元散射校正光谱预处理方法校正淀粉含量的数学模型。

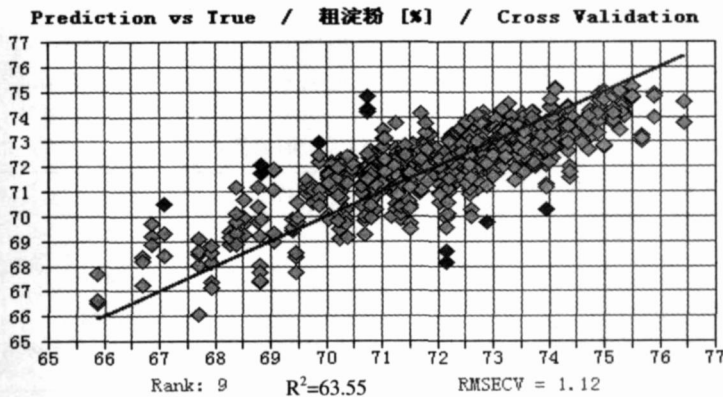


图 1 淀粉含量一阶导数+多元散射校正的校正效果

2.1.3 校正模型实际预测效果评价 为进一步评价模型的质量和实际预测效果,随机选取与上述校正集不同的 50 份 F<sub>2</sub> 材料对所建模型进行预测,再按照部颁标准方法测定淀粉的化学值,并利用预测值与化学测定值间的相关系数和平均相对误差(ARE)对其预测效果进行评价。校正后淀粉含量预测值与化学值的相关系数为 0.924 0,达到极显著水平;其 ARE 也比较小,均为负值。通过外部验证结果表明,校正后模型的准确性与化学方法相当。

2.2 玉米籽粒淀粉含量的遗传效应分析  
2.2.1 籽粒品质性状的平均表现 13 个亲本和 42 个 F<sub>1</sub>,F<sub>2</sub> 杂交后代的淀粉含量的平均值列于表 3。从表 3 中可以看出,F<sub>1</sub> 代平均粗淀粉含量与其亲本接近,略低于亲本,几乎不表现明显的直接杂种优势,而在 F<sub>2</sub> 代,粗淀粉含量则高于其亲本和 F<sub>1</sub>,这表明,粗淀粉含量存在一定的正向母体杂种优势。各材料间存在较大的遗传差异,有必要对其遗传效应进行分析。

表 3 13 个亲本和 42 个 F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> 杂交后代的籽粒淀粉含量的平均值

项目	亲本		F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>	
	平均数	变幅	平均数	变幅	平均数	变幅
粗淀粉含量(%)	70.89	67.83~74.10	70.78	66.58~74.90	71.62	68.32~73.09

2.2.2 淀粉含量遗传主效应的方差分量分析 淀粉含量的基因主效应方差分量估算值列于表 4。从表 4 中可知,在粗淀粉含量总遗传方差中,母体遗传方差分量(V<sub>Am</sub>+V<sub>Dm</sub>)和种子直接遗传方差分量(V<sub>A</sub>+V<sub>D</sub>)分别占总遗传方差的 41.02%和 37.27%,均达显著水平,细胞质遗传方差分量占 21.72%,说明母体植株、胚乳直接效应和细胞质效应同时控制粗淀粉含量

的遗传。粗淀粉含量的母体遗传效应和种子直接遗传效应相当,细胞质效应相对较小。在粗淀粉含量的遗传主效应中,加性方差(包括直接加性、母体加性)分量和显性方差(包括直接显性、母体显性)分量分别占总遗传方差(V<sub>G</sub>)的 62.64%, 15.65%,表明粗淀粉含量的遗传以加性效应(直接加性和母体加性)为主。

表 4 籽粒淀粉含量的遗传方差

遗传主效应 $V_G$	直接加性 $V_A$	直接显性 $V_D$	细胞质 $V_C$	母体加性 $V_{Am}$
5.6858	1.4215 * (25.00)	0.6977 ** (12.27)	1.2347(21.72)	2.1399 ** (37.64)
母体显性 $V_{Dm}$	直接与母体加性 $C_{A,Am}$	直接与母体显性 $C_{D,Dm}$	机误 $V_e$	表型方差 $V_p$
0.1920(3.38)	-1.8834	-0.2634	1.6955 *	3.0877 *

注：\*表示 0.05 水平上显著，\*\*表示 0.01 水平上显著，括号内数据为各方差分量的比例(%)

机误方差( $V_e$ )达显著水平,所以杂交玉米籽粒的淀粉含量表现还会受到环境机误或抽样机误等其他因素的影响。但由于其值较小,故粗淀粉含量主要受遗传体系中基因的遗传主效应的影响。

2.2.3 亲本遗传效应的预测 玉米在某性状上的杂种优势主要是利用  $F_1$  植株上  $F_2$  的种子。对 13 个亲本遗传方差分量达显著水平的遗传效应做进一步分

析,了解各亲本的利用价值,从而可以预测杂交组合在该性状上的杂种优势。将 13 个亲本粗淀粉含量的遗传效应估计值列入表 5,就直接加性效应而言,13 个亲本中 7 个为负值,其余 6 个为正值,说明未表现出一定的规律性,但亲本郑 58 和铁 7922 具有显著的正向直接加性效应,细胞质和母体加性效应均不显著,这说明,亲本郑58和铁7922是选育高淀粉玉米

表 5 13 个亲本粗淀粉含量的遗传效应

遗传效应	豫 87—1	郑 58	K12	鲁原 92	X 178	铁 7922	掖 52106
直接加性 $V_A$	-0.0354	0.2207 *	0.0492	-0.8346 *	0.0640	0.4634 *	0.9790
细胞质 $V_A$	1.2377	0.3799	0.6761	-0.5456	2.2477	0.254	0.0132
母体加性 $V_{Am}$	-1.7278 **	-0.5552	0.3298	-0.3652	-0.7679 *	-0.3388	-0.7557
遗传效应	昌 7—2	丹 340	齐 319	沈 137	豫 25	综 3	
直接加性 $V_A$	-0.3290	-0.1873	0.7672	-0.0720	-0.0248	-1.0615 **	
细胞质 $V_A$	0.0450	-1.2367 **	0.7728	-0.9058	-1.4844	-1.4546	
母体加性 $V_{Am}$	1.5051 **	1.6118 *	-1.0691 *	0.1458	0.8742	1.1120 *	

品种的优良自交系。

3 讨论

3.1 校正模型的准确性评价

虽然近红外光谱分析技术具有分析速度快、多组分同时测定、样品不需预处理、非破坏性分析、分析成本低和操作简单等优点,但与常规的化学分析相比,其测试灵敏度较低、测定结果准确性与建模的质量及其合理性应用密切相关<sup>[8-11]</sup>,有必要对其运用的分析模型进行校正和维护,从而提高测试的灵敏度和测定结果的准确性。本研究所选用 108 份玉米籽粒做校正集,包括自交系、 $F_1$  和  $F_2$  代;且籽粒来自海南、郑州等 10 多个区试点的多种环境。淀粉含量的变化范围基本上能涵盖玉米生产和育种材料中淀粉含量的变化范围,说明选取的试验材料具有代表性。通过 50 份代表性材料做外部验证,结果表明,模型的预测值与化学分析值的相关系数达0.924,其 ARE 也比较小,均为负值,证明校正模型测定的结果准确,测试的灵敏度进一步得到了提高。

3.2 玉米籽粒淀粉含量的遗传效应及校正模型在育种上的意义

运用校正模型测定 13 个亲本、42 个组合的  $F_1$ ,  $F_2$  种子的淀粉含量,分析粗淀粉含量的基因效应,同时进一步验证校正模型的准确性。结果表明,粗淀粉含量不同程度地存在种子直接效应、母体效应和细胞质效应,表明该性状同时受多个遗传系统控制。但母体遗传效应和种子直接遗传效应较大,细胞质效应相对较小,且粗淀粉含量的遗传以加性效应(直接加性和母体加性)为主。这与魏良明等的研究结论基本吻合<sup>[12,17]</sup>。在玉米籽粒粗淀粉含量的育种中,可通过轮回选择等手段增加粗淀粉含量。亲本效应值的预测结果表明,亲本铁 7922 和郑 58 具有显著的正向直接加性效应,但细胞质和母体加性效应不显著,是选育高淀粉玉米品种的优良自交系。这与育种实践(改良的铁 7922 组配的新品种豫玉 34 和郑 58 组配的新品种郑单 958 的淀粉含量分别在 75%和 73%以上)基本一致,说明运用校正模型测定结果在高淀粉玉米品种的选育上具有一定的可行性。(下转第 32 页)

旬, 每公顷用吡虫啉 750 mL+20%三唑酮 750 mL, 对水 750kg 叶面喷施, 防治穗蚜、叶锈病。④防止倒伏: 苗期蹲苗, 拔节期喷施健壮素, 大喇叭口期以前培土等, 防止后期倒伏。⑤适时收获。

3) 当前, 高油玉米由于产量低、生产规模小、集约化和机械化程度不高, 没有形成产业化; 普通玉米产量虽高但品质较差, 其综合利用也受到很大限制。因此, 今后一方面应当加强高油玉米基因型的选育, 及其肥水利用规律、配套栽培技术等研究, 努力提高籽粒产量; 另一方面, 适当推广应用高油化栽培技术, 缓解普通玉米高产不优质的矛盾, 促进我国玉米产业健康发展。

#### 参考文献:

- [1] 刘有军, 王汉宁. 高油玉米花粉直感等遗传效应对普通玉米籽粒性状的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 43(2): 150—153.
- [2] 宋同明. 发展我国特用型玉米产业的意义、潜力与前景[J]. 玉米科学, 1996, 4(4): 6—11.
- [3] 宋同明. 高油玉米[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992.
- [4] 蒋钟怀, 王经武, 王瑞舫. 营养元素对高油 1 号玉米生

长发育及籽粒品质影响的研究[J]. 中国农业科学, 1990, 23(3): 37—43.

- [5] Raman R, Sarka K R. Correlations and regressions among oil content, grain yield and yield components in maize [J]. Indian Agric Sci, 1983, 53(5): 285—288.
- [6] 刘开昌, 胡昌浩, 董树亭, 等. 高油、高淀粉玉米产量、品质与群体生理特性的研究[J]. 作物学报, 2002, 10(1): 61—63.
- [7] 王永宏, 虎东岳, 沈强云. 利用高油玉米花粉直感效应提高普通玉米品质和产量的研究[J]. 宁夏农林科技, 2003(6): 1—6.
- [8] 王空军, 刘鹏, 张吉旺. 高油玉米花粉直感等遗传效应对普通玉米产量及品质的影响[J]. 玉米科学, 2000, 9(4): 9—11.
- [9] 宋同明, 丛滋金. 雄花不育、单交种再杂交、花粉直感与高产优质高油玉米生产[C] //戴景瑞. 全国作物育种学术讨论会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1998.
- [10] 李学慧, 刘艳霞, 王延君, 等. 优良高油与普通玉米杂交种的穗粒结构分析[J]. 河南农业科学, 2007(1): 20—22.
- [11] 苏新宏, 胡克福, 朱翠萍. 特用玉米栽培中应注意的环节[J]. 河南农业科学, 2002(5): 37—38.

(上接第 28 页)

#### 参考文献:

- [1] 戴景瑞. 我国玉米生产发展的前景及对策[J]. 作物杂志, 1998(5): 6—8.
- [2] Kim H O, Williams P. Determination of starch and energy in feed grains by near-infrared transmittance spectroscopy[J]. J Agric Food Chem, 1990, 31(1): 177—181.
- [3] Orman B A, Schuman R A. Comparison of near-infrared spectroscopy calibration methods for the prediction of protein, oil and starch in maize grain[J]. J Agric Food Chemistry, 1991, 39: 883—886.
- [4] Velasco L, Prez-Vich B, Fernandez-Martinez J M. Non-destructive screening for oleic and linoleic acid in single sunflower achenes by near-infrared reflectance spectroscopy[J]. Crop Science, 1999, 39(1): 219—222.
- [5] 朱军. 包括基因型 X 环境互作效应的种子遗传模型及其分析方法[J]. 遗传学报, 1996, 23(1): 56—68.
- [6] 朱军. 遗传模型分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [7] 朱军. 胚乳性状的遗传模型及分析方法[J]. 作物学报, 1994, 20(3): 264—269.
- [8] 陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等. 现代近红外光谱分析技术

[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000.

- [9] 徐广通, 陆婉珍, 袁洪福. 现代近红外光谱技术及应用进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2000(2): 134—142.
- [10] 史永刚, 冯新沪, 李子存, 等. 近红外光谱分析中应考虑的几个问题[J]. 光谱实验室, 2001(4): 435—437.
- [11] 段民孝, 郭景伦, 王元东, 等. 利用近红外透射分析仪快速测定玉米籽粒品质的初步研究[J]. 华北农学报, 2003, 18(1): 37—40.
- [12] 魏良明. 普通玉米籽粒品质性状的遗传及近红外测定方法的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [13] 祁新, 赵颖君, 李鹏志, 等. 玉米品质性状的遗传模型分析[J]. 吉林农业科学, 2001, 26(3): 32—35.
- [14] 陈彦惠, 张世煌, 吴连成, 等. 中国主要玉米改良群体杂种优势组合模式的初步评价[J]. 华北农学报, 2002, 17(4): 30—36.
- [15] 赵云增, 王泻升, 王玉兰. 超甜玉米淀粉含量的配合力分析[J]. 河南农业科学, 2002(2): 7—9.
- [16] 吴连成, 陈彦惠, 武安柱, 等. 金素综合品种玉米群体主要数量性状分析[J]. 河南农业科学, 2003(5): 9—12.
- [17] 陈彦惠, 吴连成, 张向前, 等. 轮回选择对豫综 5 号玉米群体的选择效果[J]. 河南农业科学, 2003(1): 8—11.