

## 不同类型玉米籽粒的营养品质及其与籽粒质地的关系

张海艳\*

青岛农业大学农学与植物保护学院, 山东青岛 266109

**摘要:** 测定普通玉米、爆裂玉米、糯玉米和甜玉米4种类型玉米籽粒不同发育时期的直链淀粉、支链淀粉、总淀粉、可溶性糖和蛋白的含量, 分析这些营养物质与角质率的关系。结果表明: 灌浆期间4种类型玉米的直链淀粉、支链淀粉和总淀粉含量呈上升趋势, 总蛋白含量呈下降趋势, 可溶性糖含量变化规律不明显。爆裂玉米的直链淀粉含量始终最高(4.7%~23.1%), 甜玉米(1.4%~4.6%)和糯玉米(2.3%~4.9%)的始终较低; 甜玉米的支链淀粉含量一直最低(15.7%~35.5%), 除授粉10 d以外, 糯玉米的支链淀粉含量一直最高(65.5%~69.8%); 甜玉米总淀粉含量始终最低(17.1%~36.1%), 总蛋白含量(15.2%~26.9%)和授粉30 d后的可溶性糖含量最高(14.2%~17.6%)。高蛋白含量可能是爆裂玉米和甜玉米角质率高的原因, 糯玉米的角质率低可能与支链淀粉含量高和蛋白积累少有关。

**关键词:** 玉米; 淀粉; 蛋白质; 可溶性糖; 角质率

## Nutrient Qualities of Kernels in Different Types of Maize and Its Relationship with Kernel Texture

ZHANG Hai-Yan\*

College of Agriculture and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China

**Abstract:** The contents of amylose, amylopectin, total starch, soluble sugar and protein in kernels of normal corn, pop corn, waxy corn and sweet corn in different development periods were determined. The relationship between nutrient qualities and the cutin rate were analyzed. The results showed that the contents of amylose, amylopectin and total starch increased during kernel development, protein content decreased and soluble sugar content changed irregularly. Amylose content of pop corn was the highest (4.7%–23.1%) and those of sweet and waxy corn were lowest. Amylopectin content of sweet corn was the lowest (15.7%–35.3%), and that of waxy corn was the highest (65.5%–69.8%) except for 10 days after pollination. Total starch content of sweet corn was the lowest (17.1%–36.1%), while soluble sugar content (14.2%–17.6%) in the late period and total protein content (15.2%–26.9%) of sweet corn were the highest. The high cutin rate of pop corn and sweet corn maybe caused by high protein content. The low cutin rate of waxy corn maybe caused by high amylopectin content and low protein content.

**Key words:** maize (*Zea mays*); starch; protein; soluble sugar; cutin rate

玉米不论是作为食品还是作饲料, 其品质的优劣直接影响到玉米的应用价值和经济效益。随着玉米产业的发展, 其品质日益受到重视, 因而品种结构不断改变。关于玉米籽粒营养品质的形成规律, 前人报道已很多(郝玉兰等2005; 张海艳等2008; 王鹏文和刘鹏飞1997; 邵继梅等2008; Schultz和Juvik 2004), 但大多都是针对单一玉米类型, 而对不同类型间的比较研究较少。糯玉米、甜玉米和爆裂玉米均为特用玉米, 比普通玉米具有更高的营养价值和应用价值。因此, 本文以普通玉米、糯玉米、爆裂玉米和甜玉米为材料, 分析这几种类型玉米籽粒营养成分在籽粒发育过程中的变化, 并探讨营养成分与角质率的关系, 以期对玉米的高产优

质栽培和加工利用提供参考。

### 材料与amp;方法

2005年5月在山东农业大学玉米科技园种植玉米(*Zea mays* L.)品种‘费玉3号’(普通玉米)、‘黄糯1号’(糯玉米)、‘爆裂1号’(爆裂玉米)和‘甜玉6号’(甜玉米)。试验小区为18 m×2.5 m, 密度45 000株·ha<sup>-1</sup>, 随机排列, 重复3次, 生长期统一amp;管理。开花前选择生长发育一致的植株挂牌

收稿 2008-10-08 修订 2008-11-27

资助 青岛农业大学高层次人才启动基金(630629)。

\* E-mail: hyzhang608@126.com; Tel: 0532-88030342

标记, 开花期人工授粉。从授粉后 10 d 开始每隔 10 d 取 8 个果穗的中部籽粒, 105 °C 杀青后 80 °C 烘至恒重。

淀粉含量参照何照范(1985)文中的方法。总蛋白和可溶性糖含量分别参照李合生(2000)书中的微量凯氏法和苯酚法。角质率参照尹燕平和董学会(2008)书中的方法。

## 实验结果

### 1 不同类型玉米的角质率差异

从表1可以看出, 不同类型玉米的角质率差异较大。甜玉米和爆裂玉米的角质率较高, 分别为 99% 和 100%; 普通玉米次之, 为 41%; 糯玉米最低, 为 0, 说明糯玉米籽粒全部为粉质。它们的角质率依次为爆裂玉米>甜玉米>普通玉米>糯玉米。

表 1 不同类型玉米的角质率比较

Table 1 Comparison of cutin rate in different types of maize

类型	角质率 /%
普通玉米	41±2
甜玉米	99±4
爆裂玉米	100±0
糯玉米	0

### 2 不同类型玉米的淀粉含量变化

从图1可以看出, (1)所有类型玉米的支链淀粉含量显著高于直链淀粉, 表明支链淀粉是玉米籽粒淀粉的主要组成成分。籽粒发育前期, 4 种类型玉

米的直链淀粉含量均显著增加; 授粉 30 d 后, 爆裂玉米直链淀粉含量仍显著增加, 其它三种类型玉米的直链淀粉含量增加相对缓慢。不同玉米类型间相比, 爆裂玉米的直链淀粉含量一直最高(4.7%~23.1%), 甜玉米(1.4%~4.6%)和糯玉米(2.3%~4.9%)的直链淀粉含量始终较低(图 1-a)。(2)籽粒发育前期, 4 种类型玉米的支链淀粉含量均显著增加, 后期爆裂玉米的支链淀粉含量有所下降, 其他三种类型的变化不大。不同玉米类型间相比, 授粉后 10 d, 爆裂玉米的支链淀粉含量最高(35.9%)。之后糯玉米的最高(65.5%~69.8%), 其次为普通玉米(54.3%~57.7%)和爆裂玉米(45.3%~53.1%); 甜玉米的支链淀粉含量在整个灌浆期间一直最低(15.7%~35.5%) (图 1-b)。(3)爆裂玉米、糯玉米、普通玉米的总淀粉含量变化趋势一致(图2), 均表现为灌浆前期显著增加, 从授粉后 10 d 的 40.7%、30.2% 和 19.4%, 分别增加到授粉后 20 d 的 66.7%、70.2% 和 69.8%; 中后期(授粉 30 d 以后)变化不大, 成熟期淀粉含量分别为 68.4%、70.8% 和 74.9%。整个灌浆期间, 甜玉米的总淀粉含量均低于其他三种类型, 授粉后 10~40 d 的总淀粉含量分别为 17.1%、21.6%、30.7% 和 35.3%, 之后变化较小, 成熟期为 36.1% (图 2)。

### 3 不同类型玉米的可溶性糖含量变化

由图 3 可以看出, (1) 4 种类型玉米籽粒中可溶性糖含量的变化趋势不一致。普通玉米的可溶性糖含量随着籽粒的发育呈下降趋势; 甜玉米的可溶性糖含量在授粉后 10~40 d 随着籽粒的发育显著上升, 之后下降; 爆裂玉米的可溶性糖含量呈“V”

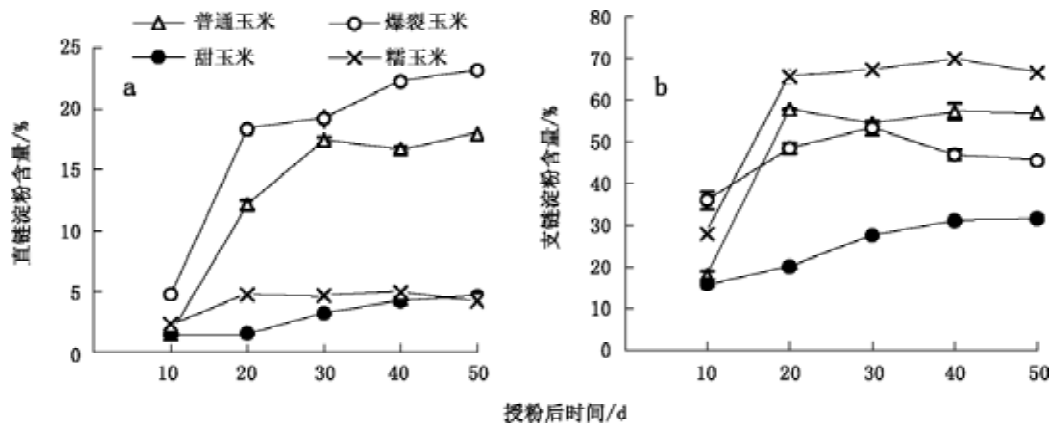


图 1 不同类型玉米的直链淀粉和支链淀粉含量变化

Fig.1 Changes in amylose and amylopectin contents of different types of maize

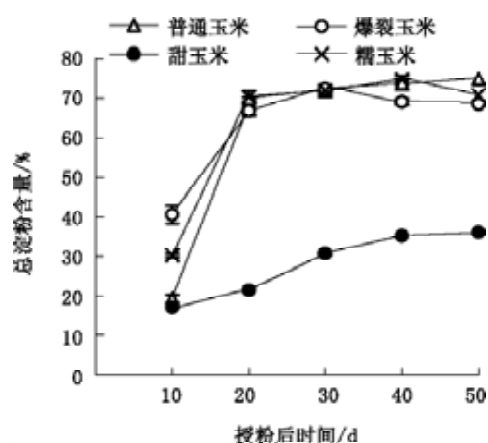


图2 不同品种玉米的总淀粉含量变化

Fig.2 Changes in total starch content of different types of maize

形变化,最低含量出现在授粉30 d;而糯玉米的可溶性糖含量呈单峰变化,峰值出现在授粉30 d。(2)不同类型玉米间相比,在籽粒发育前期,爆裂玉米的可溶性糖含量最高(15.8%),其次是普通玉米(12.0%),甜玉米(9.8%)和糯玉米(9.8%)较低;授粉30 d后,可溶性糖含量表现为甜玉米>爆裂玉米>糯玉米>普通玉米。可见,甜玉米可溶性糖的积累主要发生在籽粒发育的中后期。

#### 4 不同类型玉米的总蛋白含量变化

从图4可以看出,4种类型玉米籽粒中总蛋白含量的变化趋势相似。授粉10~20 d后的籽粒总蛋白含量迅速下降,之后下降缓慢,甜玉米(15.2%)和糯玉米(7.5%)在授粉30 d后的含量达到最低,普通玉米(8.9%)和爆裂玉米(10.3%)则在成熟时到达

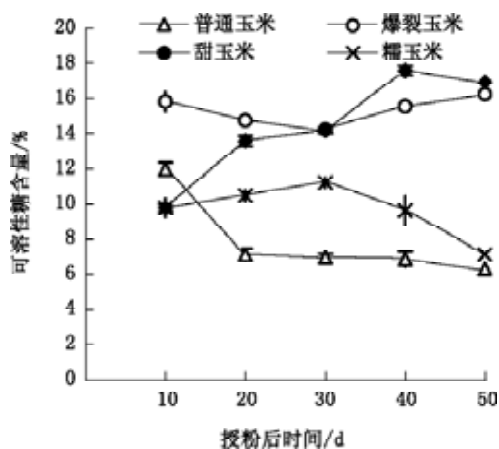


图3 不同类型玉米的可溶性糖含量变化

Fig.3 Changes in total soluble sugar content of different types of maize

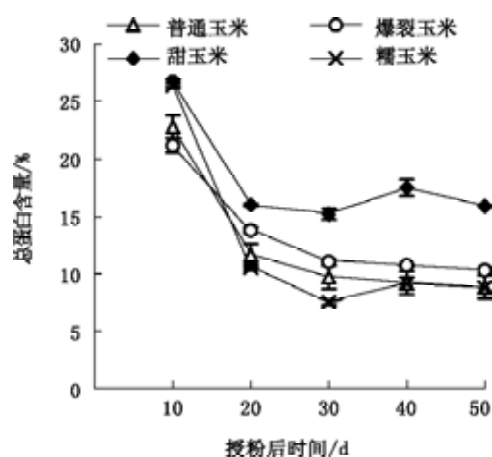


图4 不同类型玉米的总蛋白含量变化

Fig.4 Changes in total protein content of different types of maize

最低。成熟期的蛋白质含量表现为甜玉米(15.9%)>爆裂玉米(10.3%)>普通玉米(8.9%)>糯玉米(8.8%)。

## 讨 论

从优质玉米生产和玉米综合加工利用的目的出发,本文中观察到的籽粒营养品质的变化规律可为不同类型玉米的加工利用目标和玉米的适时收获时间提供参考。若以获取直链淀粉为目的,可以考虑种植爆裂玉米,成熟期收获;若以获取支链淀粉为目的,可以考虑种植糯玉米,成熟期收获;若以获取可溶性糖为目的,则甜玉米可确定授粉40 d后左右,即从腊熟期到成熟期收获为宜;4种类型玉米灌浆前期的蛋白质含量最高,但此时玉米籽粒产量很低,玉米籽粒中蛋白并不高。所以必须将籽粒营养成分含量与粒重二者综合起来考虑才能确定最佳采收期。此外,如果糯玉米和甜玉米用于加工罐头或者速冻后作食用,还要考虑采收时的籽粒含水量(刘艳玲等2008)。

李景欣等(2001)根据小麦中的研究结果认为,蛋白含量高,角质率也高。张春庆和李晴祺(1993)认为,小麦的直链淀粉和支链淀粉含量与角质率呈显著负相关。本文中,籽粒成熟时,爆裂玉米直链淀粉含量最高,籽粒全为角质,与张春庆和李晴祺(1993)的结果并不一致;我们的结果是甜玉米的支链淀粉含量最低,蛋白质含量最高,角质率也较高;糯玉米则恰好相反,籽粒全为粉质;这与李景欣等(2001)、张春庆和李晴祺(1993)的结果一致。综

上所述,我们认为玉米角质率的大小与蛋白质含量呈正相关,与支链淀粉含量呈负相关,也与品种类型有关,对此问题尚待进一步研究。

### 参考文献

- 郝玉兰, 潘金豹, 张秋芝, 南张杰(2005). 糯玉米籽粒不同发育时期营养品质的变化. 北京农学院学报, 20 (2): 14~18
- 何照范主编(1985). 粮油籽粒品质及其分析技术. 北京: 农业出版社, 290~294
- 李合生主编(2000). 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 186~191, 199~200
- 李景欣, 李秀辉, 包桂荣, 史卫东(2001). 内蒙古地区种植的部分春小麦品种的品质分析. 内蒙古民族大学学报, 16 (2): 212~216
- 刘艳玲, 郑威, 李宏, 李华, 杨恒山(2008). 甜玉米营养品质动态及其适宜收获期的确定. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 23 (3): 293~296
- 邵继梅, 曹敏建, 佟伟, 蒋文春, 高志勇, 闫洪奎, 杨镇, 李刚, 那桂秋(2008). N、P、K对高淀粉玉米产量及营养品质的影响. 玉米科学, 16 (2): 115~117
- 王鹏文, 刘鹏飞(1997). 玉米灌浆至成熟期四种密度下籽粒内含物变化规律的研究. 吉林农业科学, (3): 41~47
- 尹燕桦, 董学会主编(2008). 种子学实验技术. 北京: 中国农业出版社, 4~5
- 张春庆, 李晴祺(1993). 影响普通小麦加工馒头质量的主要品质性状的研究. 中国农业科学, 26 (2): 39~46
- 张海艳, 董树亭, 高荣岐, 孙庆泉(2008). 玉米籽粒淀粉积累及相关酶活性分析. 中国农业科学, 41 (7): 2174~2181
- Schultz JA, Juvik JA (2004). Current models for starch synthesis and the *sugary enhancer1 (se1)* mutation in *Zea mays*. Plant Physiol Biochem, 42: 457~464