植物营养与肥料学报 2009,15(3):493-500
Plant Nutrition and Fertilizer Science

施氮对高淀粉玉米和普通玉米子粒可溶性糖和淀粉积累的影响

刘海龙[1],何 萍[1*],金继运[1],李文娟[1],张 宽[2],王秀芳[2],谢佳贵[2],尹彩侠[2],侯云鹏[2]

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,农业部作物营养与施肥重点实验室,北京 100081;
2 吉林省农业科学院农业环境与资源研究中心,吉林长春 130124)

摘要:采用田间试验、植株生理生化分析和电镜观察等方法,研究了不同氮肥用量对高淀粉玉米吉单 535 和普通玉米军单 8 号子粒糖分与淀粉形成的影响。结果表明,在施氮量 N 0~200 kg/hm^2 之间,两品种玉米子粒淀粉含量随着施氮量的增加而增加,过量施氮则淀粉含量降低。灌浆期吉单 535 子粒蔗糖、果糖、葡萄糖含量均高于军单 8 号,适量施氮使子粒灌浆期保持较高的蔗糖、果糖和葡萄糖含量,有利于淀粉合成。高淀粉玉米在成熟期淀粉粒充满了细胞,大小均匀,排列有序;普通玉米的淀粉粒则没有充满细胞,大小不一,排列混乱。适宜施氮下淀粉粒大小较为均匀,淀粉粒之间挤压轻微,而过量施氮下淀粉粒相互挤压成多面体状。

关键词:高淀粉玉米;氮肥;糖;淀粉

中图分类号:S513.062　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2009)03-0493-08

Effects of nitrogen nutrition on sugar and starch accumulation of high starch maize and common maize

LIU Hai-long[1], HE Ping[1*], JIN Ji-yun[1], LI Wen-juan[1], ZHANG Kuan[2], WANG Xiu-fang[2], XIE Jia-gui[2], YIN Cai-xia[2], HOU Yun-peng[2]

(*1 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization, MOA, Beijing 100081, China; 2 Research Center of Agriculture Environment and Resources, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130124, China*)

Abstract: Field experiment, plant physi-biochemical analysis and scanning electro-microscope observation were used to investigate the effects of nitrogen application on sugar and starch formation in high starch maize of Jidan 535, compared with the ordinary maize of Jundan 8. The results indicated that for two maize cultivars, starch concentration in grain increased when N application rate was from 0 to N 200 kg/ha, while decreased when N was over N 200 kg/ha. The concentration of sucrose, fructose and glucose in Jidan 535 was higher than Jundan 8 at grain filling, and higher concentration of sucrose, fructose and glucose in the grain of two maize cultivars was acquired under appropriate N application. Starch granule in the grain of Jidan 535 was full of cell uniformly, and starch granules in the grain of Jundan 8 were arranged in a confusion form. Appropriate N application led starch granule arranged uniformly, but starch granule was squeezed to the status of polyhedron with excessive N application.

Key words: high starch maize; nitrogen fertilizer; soluble sugar; starch granule

---

收稿日期:2008-02-23　　**接受日期**:2008-10-21

基金项目:国家重点基础研究发展计划"973"肥料减施增效与农田可持续利用基础研究(2007CB109306)项目;吉林省科技发展计划(2006BAD02A10-6-2)项目资助。

作者简介:刘海龙(1979—),男,河南范县人,博士研究生,主要从事植物营养生理研究。E-mail:hlliu@mail.caas.ac.cn

* **通讯作者** Tel:010-68918000,E-mail:phe@caas.ac.cn

氮素在提高玉米子粒产量和改善品质方面起着重要的调节作用。淀粉是玉米子粒的主要成分,其数量多寡直接影响玉米的产量。正在发育的玉米子粒中,合成淀粉的原料来自叶片中合成的或淀粉降解产生的蔗糖,蔗糖既是植物的主要光合产物,又是碳水化合物运输的主要形态,通过韧皮部长距离运输至子粒,在穗轴及小穗柄中卸载,再转化为果糖和葡萄糖,进而合成淀粉、蛋白质和脂肪[1-3]。目前国内外对普通玉米子粒品质成分的形成已有较多报道,如赵宏伟等[4]和张智猛等[5]研究认为,增施氮肥可以促进玉米子粒淀粉含量的增加,过量施氮会使子粒中淀粉含量降低。不同小麦品种在不同施氮水平下子粒中的淀粉积累不同,碳水化合物的利用、淀粉的合成或者两者同时影响小麦的灌浆速率[6],随着施氮量增加,土豆块茎中淀粉含量降低[7]。关义新等[8]对高淀粉玉米的有关研究表明,随施氮量的增加高淀粉玉米子粒淀粉含量的变化并不显著。陈洋等[9]对春玉米的研究认为,施氮有利于淀粉的积累,适量施氮有助于提高子粒中淀粉含量,并认为施氮 200 kg/hm^2 最佳。但对不同品质类型玉米子粒的淀粉积累的对比研究较少[3],且应用电子显微技术研究氮素荧养对玉米子粒淀粉超微结构影响的报道更为少见[10]。为此,本文通过研究不同施氮处理条件下高淀粉玉米和普通玉米子粒灌浆后期可溶性糖和淀粉含量,以及子粒淀粉超微结构的变化,可深入了解高淀粉和普通玉米子粒灌浆到成熟期间淀粉积累的机理,为高淀粉玉米合理施氮提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验在吉林省公主岭市刘房子村进行,土壤类型为中等肥力黑土,该地区位于吉林省中南部,吉林省黑土带的南端,玉米带的西南端。应用中国农业科学院国家测土施肥中心实验室的土壤养分状况系统研究法[11]测定土壤养分状况,土壤有机质的提取剂采用氢氧化钠、EDTA 二钠和甲醇;铵态氮的提取剂为氯化钾;其他养分采用通用浸提剂,测定结果为:土壤有机质含量 24 g/kg,pH 值为 5.25,铵态氮 8.95 mg/L,磷(P)、钾(K)、锰(Mn)、锌(Zn)和硫(S)的速效态含量分别为 11.9 mg/L、86.0 mg/L、18.4 mg/L、1.45 mg/L 和 2.7 mg/L。

1.2 供试玉米品种

采用军单 8 号(普通玉米)和吉单 535(高淀粉),播种密度为 50000 株/hm^2。

1.3 试验处理

试验设 4 个不同施氮量处理,分别为(N):0、100、200、300 和 400 kg/hm^2,表示为 N_0,N_{100},N_{200},N_{300},N_{400}。其中氮肥 1/3 作基肥,2/3 作追肥。各处理磷和钾用量相同,为 P_2O_5 75 kg/hm^2 和 K_2O 90 kg/hm^2,全部作基肥施用。试验所用氮肥为尿素(含 N 46%),磷肥为磷酸二铵(含 N 18%、P_2O_5 46%)和重过磷酸钙(含 P_2O_5 46%),钾肥为氯化钾(含 K_2O 60%)。小区面积 30 m^2,3 次重复,随机排列。2006 年 4 月 27 日施基肥,6 月 30 日追肥(拔节期)。10 月 12 日收获。

1.4 样品采集和分析

在玉米灌浆期(8 月 22 日)至成熟期(9 月 23 日),每隔 8 d 取样品一次,即出苗后 98 d(灌浆期)、106 d(灌浆后期)、114 d(乳熟期)、122 d(蜡熟期)、130 d(成熟期)采取各小区有代表性玉米穗 2 个,80℃下鼓风烘干,称重,测定糖和淀粉含量。蒽酮比色法测定可溶性糖和淀粉含量[12];采取灌浆后期(9 月 7 日)和成熟期(9 月 23 日)玉米子粒鲜样,即从每个果穗中部取下完整的子粒混匀,选取有代表性子粒,三次重复,用 2.5% 戊二醛前固定,SEM (Scanning Electron Microscope)常规制样,干燥后待断。用锋利的双面刀将子粒中部割断,然后使新断面朝上,切成 1 cm×1 cm×0.5 cm 小块,用银导电胶粘台、喷金,采用日立 S-570 扫描电镜观察拍片,电压 20 kV[13]。

2 结果分析

2.1 子粒蔗糖含量

由图 1 可以看出,军单 8 号子粒中蔗糖含量自出苗后 98~122 d 缓慢下降,之后升高;吉单 535 则在出苗后 98~106 d 迅速下降,之后缓慢升高。两品种玉米同一处理、同一时期相比较,在出苗后 98~106 d,军单 8 号的蔗糖含量大于吉单 535,但在出苗 106 d 之后,吉单 535 子粒蔗糖含量则高于军单 8 号。表明吉单 535 在灌浆后期能够保持较高的蔗糖供应强度,从而有利于子粒中淀粉的合成。

施氮量在 N 0~200 kg/hm^2 之间,两品种玉米子粒中蔗糖含量随着施氮量的增加而增加,在 200~400 kg/hm^2 之间则随着施氮量的增加而降低。表明适量施氮有利于子粒保持较高的蔗糖含量,而过量施氮则导致蔗糖含量下降。

2.2 子粒果糖含量

图 2 显示,子粒中果糖含量变化与蔗糖含量变

化趋势相似。即灌浆前期(出苗后 98～114 d)军单 8 号子粒果糖含量总体上高于吉单 535，而在后期(出苗后 114～130 d)吉单 535 子粒果糖含量又高于军单 8 号。说明吉单 535 在出苗后 114 d 之前对运输到子粒的蔗糖进行了转化而形成了果糖，从而有利于子粒中淀粉的合成。

施氮量在 N 0～200 kg/hm^2 之间，两品种玉米子粒中果糖含量随着施氮量的增加而增加，而在 200～400 kg/hm^2 之间果糖含量则随着施氮量的增加而降低。适量施氮使子粒保持较高的果糖含量，而过量施氮则降低果糖含量。

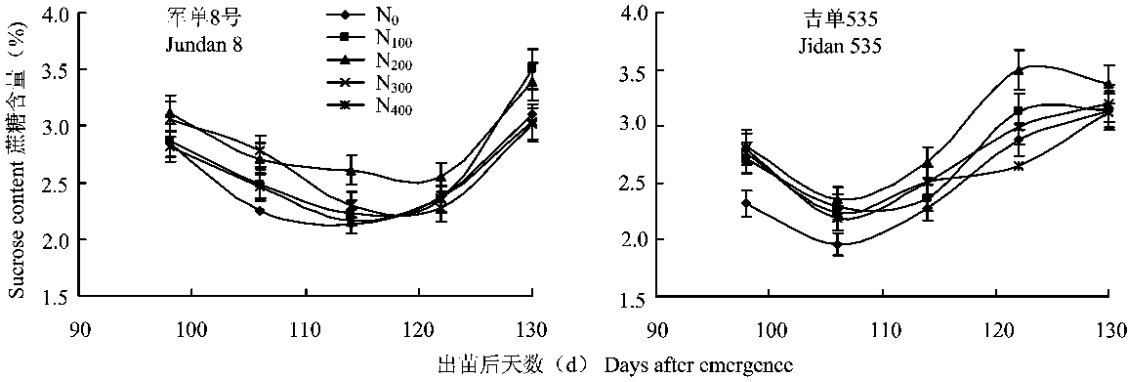

图 1　施氮对玉米子粒蔗糖含量的影响

Fig.1　Effect of N application on the sucrose content in grains of maize

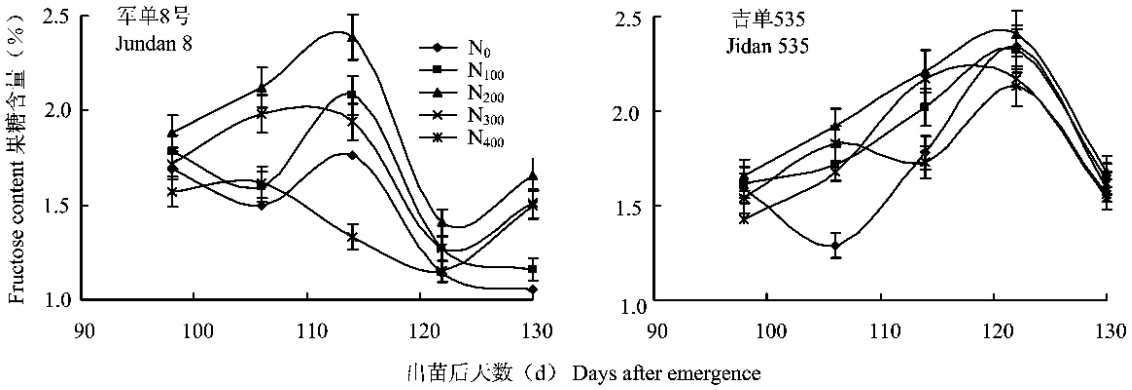

图 2　施氮对玉米子粒果糖含量的影响

Fig.2　Effect of N application on the fructose content in grains of maize

2.3　子粒葡萄糖含量

两品种玉米子粒中葡萄糖含量在出苗后 98～106 d 迅速下降，后期变化平稳(图 3)。军单 8 号一直到出苗后 122 d 子粒葡萄糖都呈下降趋势，后期有所上升；吉单 535 则表现较为稳定，后期呈上升趋势。与蔗糖和果糖类似，葡萄糖在出苗后 98～106 d，军单 8 号子粒中的葡萄糖含量高于吉单 535。在后期(出苗后 114～130 d)吉单 535 子粒葡萄糖含量又高于军单 8 号。适量施氮使吉单 535 子粒中的葡萄糖含量维持较高水平，但对军单 8 号的影响未发现规律性。

2.4　子粒淀粉含量

由图 4 可以看出，自出苗 98 d 后，两种玉米的淀粉含量不断上升，吉单 535 上升的速率较快，并且上升幅度较大。两品种不施氮、少量施氮或过量施氮处理淀粉含量较低，适量施氮(N_{200})保持较高的淀粉含量。吉单 535 淀粉含量明显高于军单 8 号。不同施氮量对吉单 535 淀粉含量的影响较大，对军单 8 号的影响较小。由此表明在淀粉积累上，高淀粉玉米吉单 535 对氮素供应比军单 8 号更为敏感，合理施氮更易促进高淀粉玉米的淀粉积累。

成熟期子粒淀粉含量因品种和施氮量的不同而不同。两品种各处理之间相比，高淀粉玉米吉单 535 子粒淀粉含量都高于普通玉米军单 8 号。两品

种玉米淀粉含量均在施氮量 N 0～200 kg/hm² 范围随着施氮量的增加而升高，在 200～400 kg/hm² 范围内随着施氮量的增加淀粉含量降低。由此可见，过量施氮或施氮不足会影响子粒淀粉的积累，而只有适量施氮，并且只有合理基肥和追肥的比例，才能促进淀粉含量的提高。

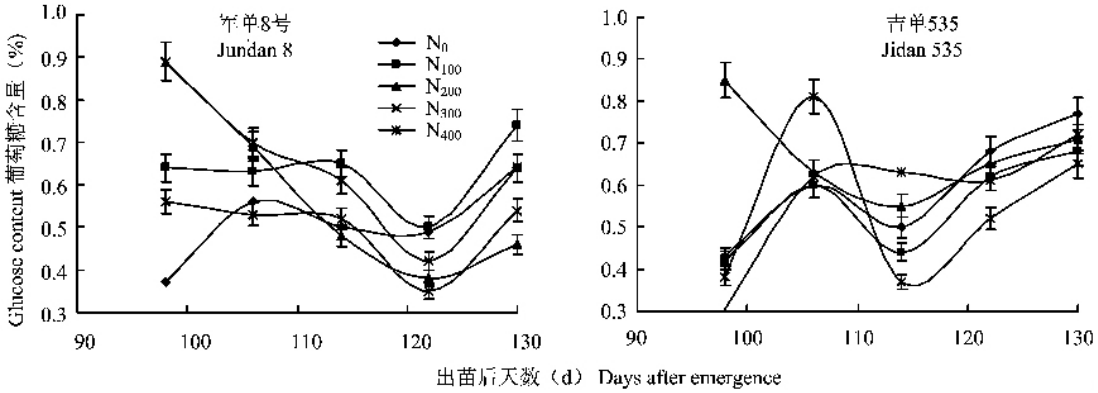

图3 施氮对玉米子粒葡萄糖含量的影响

Fig.3 Effect of application of N on the glucose content in grains of maize

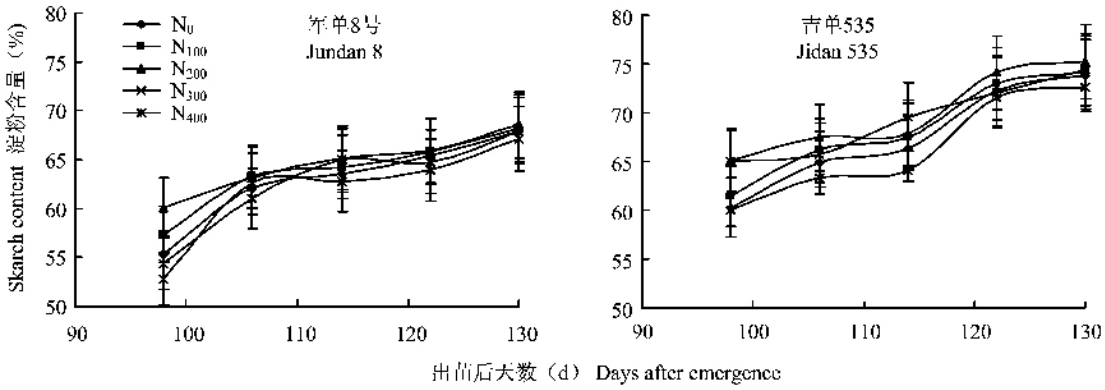

图4 施氮对玉米子粒淀粉含量的影响

Fig.4 Effect of application of N on the starch content in grains of maize

2.5 子粒淀粉粒超微结构

玉米淀粉粒为单粒淀粉，表面光滑，淀粉粒呈圆球状、椭圆状或多面体。图5显示，普通玉米军单8号在灌浆期(9月7日)不同施氮处理之间子粒淀粉粒的充实状况存在差别。如图5A N_0 处理，在灌浆期子粒淀粉粒大小不一，呈不规则状，堆积紧密；图5B为 N_{200}处理，淀粉粒大小较为均匀，而且错落有致，排列有序；图5C为 N_{400}处理，淀粉粒也是大小不一，比其他处理较大，上面浮着较多的蛋白质，形状也不规则，排列不紧密，有空隙。

由图5D、E、F可以看出，高淀粉玉米吉单535在子粒灌浆期淀粉粒的充实较快，胚乳细胞之间结构紧密，细胞壁不明显。尤其是图5D和5F，即 N_0和 N_{400}处理，淀粉粒之间相互挤压，呈多面体状，棱角清晰，排列紧密。说明不施氮或过量施氮，在灌浆期淀粉粒已经把细胞充满，则不利于后期子粒继续灌浆。而适量施氮处理(如图5E)，淀粉粒紧密则稍微松散，有利于后期淀粉的继续合成，提高子粒淀粉含量。

图6显示，成熟期两品种玉米子粒淀粉粒超微结构差异更加明显，普通玉米军单8号淀粉粒之间较为松散，大小不一；高淀粉玉米淀粉粒之间更加密集，排列紧密，充实度高，相互挤压呈多面体形状，整体呈龟裂形状。

不同施氮处理对两品种的淀粉粒充实和排列存在着显著的影响。军单8号 N_0处理淀粉粒堆积较为紧密，充实度较高，但单个细胞淀粉粒数目较少；N_{200}处理淀粉粒大小较为均匀，多数呈球状，部分呈

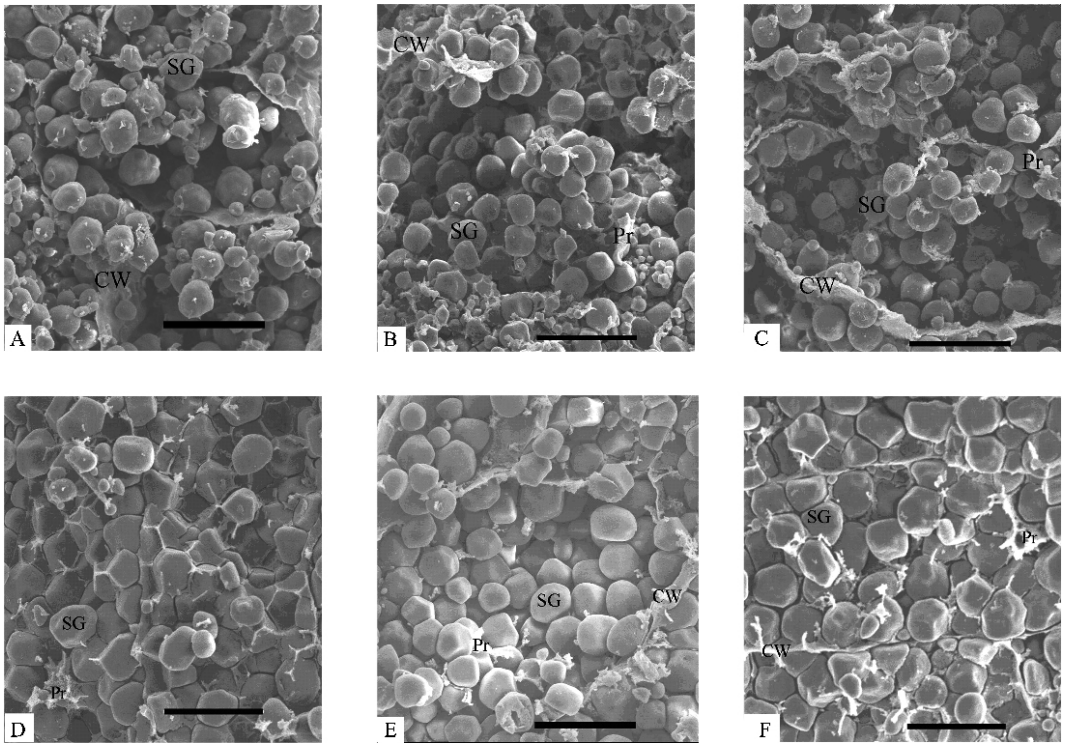

图 5　不同施氮量对玉米子粒灌浆期超微结构的影响(800×)

Fig.5　Effect of nitrogen application on characters of endosperm starch granule of maize at the filling stage

[注(Note)：A、B、C—军单 8 号 Jundan 8；A—N_0；B—N_{200}；C—N_{400}；D、E、F—吉单 535 Jidan 535；D—N_0；E—N_{200}；F—N_{400}；CW—细胞壁 Cell wall；SG—淀粉粒 Starch granule；Pr—蛋白质 Protein(Bar = 38 μm)]

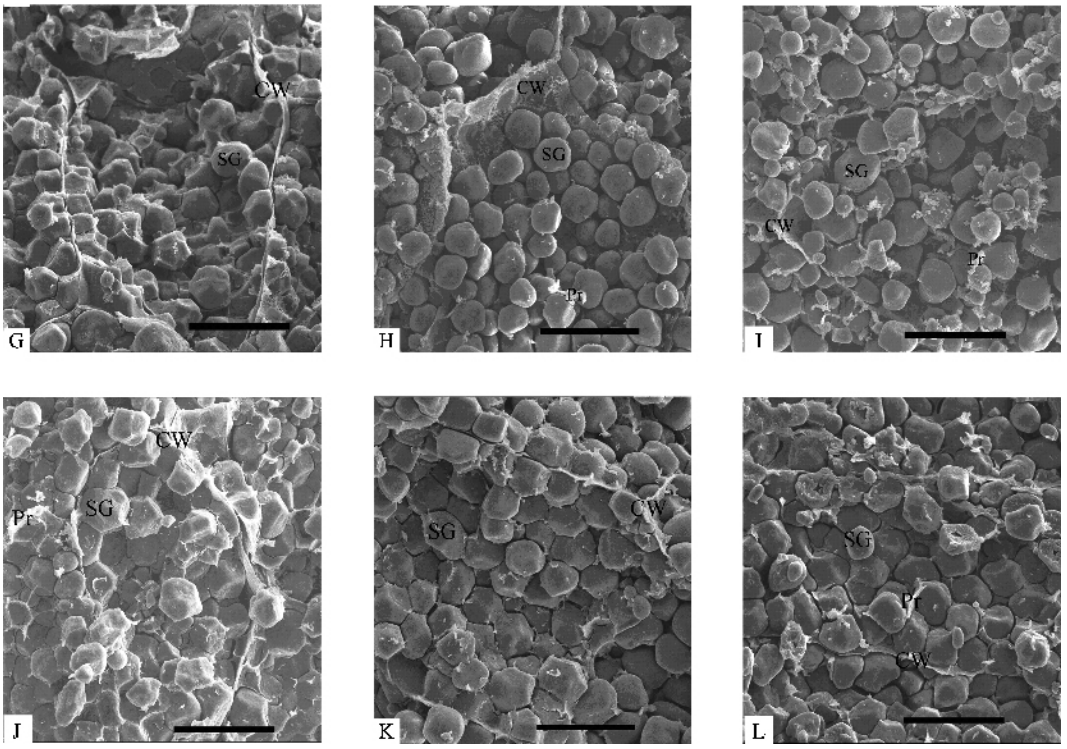

图 6　不同施氮量对玉米子粒成熟期超微结构的影响(800×)

Fig.6　Effect of nitrogen application on characters of endosperm starch granule of maize at the ripening stage

[注(Note)：G、H、I—军单 8 号 Jundan 8；G—N_0；H—N_{200}；I—N_{400}；J、K、L—吉单 535 Jidan 535；J—N_0；K—N_{200}；L—N_{400}；CW—细胞壁 Cell wall；SG—淀粉粒 Starch granule；Pr—蛋白质 Protein(Bar = 38 μm)]

多面体；N_{400}处理淀粉粒大小不一，结构松散，淀粉粒上散落着蛋白质。高淀粉玉米吉单535淀粉N_0处理充填的蛋白质较多，淀粉粒不规则，N_{400}处理的淀粉粒排列较为紧密，淀粉粒之间相互挤压变形，呈多面体状。N_{200}处理的淀粉粒大小较为均匀，淀粉粒之间挤压较轻微。由此说明，只有子粒细胞淀粉粒多，大小均一，排列均匀，才有利于碳水化合物的充实，获得高的淀粉含量。

3 讨论与结论

赵宏伟等[14]研究表明，玉米子粒中的蔗糖含量，在灌浆过程中反映了淀粉合成底物供应水平。子粒中的蔗糖自吐丝后呈单峰曲线变化，其峰值出现时间因品种和施氮量而异。李运祥等[15]对水稻的研究表明，灌浆期颖果中可溶性糖含量随着子粒灌浆天数的增加而逐渐降低，增加穗肥施氮量可降低灌浆初期颖果中可溶性糖含量。He等[16]认为过量施氮不利于玉米生产高比例的蔗糖和淀粉。本研究表明，军单8号子粒中蔗糖、果糖、葡萄糖含量自出苗后98～122 d缓慢下降，而后升高；吉单535则在出苗后98～106 d迅速下降，而后再缓慢升高。两品种玉米同一处理、同一时期相比较，在出苗后98～106 d，军单8号的蔗糖、果糖、葡萄糖含量大于吉单535，但在出苗106 d之后，吉单535子粒糖含量则高于军单8号。说明吉单535在出苗后106 d之前子粒对运输到子粒的蔗糖进行大量转化，而在灌浆后期又能够保持较高的蔗糖供应强度，保持较高的果糖、葡萄糖含量，从而有利于子粒中淀粉的合成，这与王艳芳等[3]结果一致。在出苗后98 d，施氮量在N 0～200 kg/hm^{2}之间，两品种玉米子粒中蔗糖、果糖、葡萄糖含量随着施氮量的增加而增加，在N200～400 kg/hm^{2}之间，蔗糖、果糖和葡萄糖含量则随着施氮量的增加而降低。适量施氮使子粒灌浆前期保持较高的蔗糖、果糖和葡萄糖含量。

金继运等[17]研究表明，与不施氮处理比较，试验品种均以N150处理淀粉含量最高，过量施氮会导致子粒中淀粉含量降低。刘恩科等[18]认为，长期单施氮肥影响玉米体内代谢，使玉米淀粉合成受阻，子粒中淀粉含量降低，并且产量降低。本研究的两品种玉米子粒淀粉含量有类似的趋势，即在施氮量N 0～200 kg/hm^{2}之间，淀粉含量随着施氮量的增加而增加，过量施氮则淀粉含量降低。这可能是因为适量施氮促进了蔗糖从源到子粒库的运输，增加了淀粉合成相关酶的活性，提高了淀粉合成的底物量如果糖，促进了淀粉的合成，含量升高，而过量施氮下氮同化消耗了大量碳水化合物，影响到淀粉的合成。

Xiong等[19]、杨福等[20]与杨引福等[21]研究发现，在稻米胚乳中，由于淀粉粒和蛋白质体排列不够紧密会形成白色透明部分，即垩白，具有垩白的稻米透明度差，整精米率低，商品质量不佳。黄强等[22]的资料表明，淀粉颗粒由于品种的不同，其形状和大小不同。Brown等[23]认为淀粉的性质与淀粉粒的形态特征密切相关，玉米淀粉粒一般直径为7～25 μm，形状不规则。李敬玲等[24]认为，甜质胞质玉米子粒外形较扁，百粒重较高，淀粉粒多呈球形，排列紧密，虽然淀粉粒形态与子粒外形没有明显区别，但其子粒的品质却存在相关性。并且淀粉粒大小、形状与排列，与子粒硬度、角质化程度有相关性，子粒硬度、角质化程度与子粒百粒重也有相关性：子粒硬度好、角质化程度高，百粒重就高。王忠等[25]通过对玉米子粒超微结构的观察认为，玉米子粒在发育早期淀粉粒呈圆球状，随着淀粉粒的不断积累，淀粉粒增大，至成熟时充满整个细胞。淀粉粒的充实情况因所处位置有很大的差异，处于子粒中上部边缘的淀粉粒充实较好，并相互挤压成多面体；处于子粒中央和顶部的淀粉粒充实较差，在成熟时仍呈卵圆形。邱礼平等[26]对不同链淀粉含量玉米淀粉结构的研究表明，淀粉含量越高，淀粉颗粒越小，其淀粉粒也由近圆形向椭圆形变化，而且不均匀。王强[27]认为玉米淀粉粒为单粒，表面光滑，淀粉粒呈圆球状或多面体，处于细胞中央部位的淀粉粒体积较大，多为多面体，处于细胞边缘的淀粉粒体积较小，多为球体，淀粉粒数目因品种和不同氮素用量而异，本试验结果较为一致，但淀粉粒也有椭圆形。淀粉粒在细胞中也并不是大的处于细胞中央，小的处于边缘，而是在细胞中的不同部位，大小淀粉粒都有分布。高淀粉玉米在成熟期淀粉粒充满了细胞，大小均匀，排列有序；普通玉米的淀粉粒则没有充满细胞、大小不一、排列也比较混乱。本研究表明，不施氮或施氮过量使高淀粉玉米在灌浆期淀粉粒都已经充分发育，堆积的比较密集，可能是由于氮素缺乏造成细胞数目减少，库容量减少；过量施氮可能由于细胞发育与水和糖分的运输不同步，造成淀粉粒过早的充满细胞。而施适量氮，则有利于后期更多的水和糖分从源到库的运输，使玉米有较高的产量。普通玉米子粒淀粉粒在灌浆期明显小于高淀粉玉米子粒淀粉粒，并且细胞比较松散，这有利于后期更多的物质从源运输到库，从而提高增产潜力。另

外,在今后工作中需要对淀粉合成的分子途径以及与淀粉合成相关酶活性的变化做进一步的研究,以便系统深入地研究施氮对玉米淀粉积累的影响。

参 考 文 献:

[1] Cazetta J O, Seebauer J R, Below F E. Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels[J], Ann. Bot., 1999, 84:747-754.

[2] Baxter C J, Foyer C H, Turner J *et al*. Elevated sucrose-phosphate syntheses activity in transgenic tobacco sustains photosynthesis in old leaves and alters development [J]. J. Exp. Bot., 2003, 54 (389): 1813-1820.

[3] 王艳芳,张立军,樊金娟,等. 春玉米籽粒灌浆期可溶性糖含量变化与淀粉积累关系的研究[J]. 玉米科学,2006,14(2):81-83.
Wang Y F, Zhang L J, Fan J J *et al*. Relationship between soluble sugar contents and starch accumulation in grain during grain-filling stage in sping maize[J]. J. Maize Sci., 2006, 14(2):81-83.

[4] 赵宏伟.不同氮素营养水平下春玉米碳氮代谢机理的研究[D].哈尔滨:东北农业大学博士学位论文,2003.
Zhao H W. Studies on the mechanism of carbon and nitrogen metabolism of spring maize under different nitrogen nutrition levels [M]. Harbin: PhD Thesis, Northeast Agricultural University, 2003.

[5] 张智猛,戴良香,胡昌浩,等.氮素对玉米淀粉累积及相关酶活性的影响[J],作物学报,2005,31(7):956-962.
Zhang Z M, Dai L X, Hu C H *et al*. Effect of nitrogen on starch accumulation and related enzyme activities maize (*Zea mays*)[J]. Acta Agron. Sin., 2005, 31(7):956-962.

[6] Mi G H, Tang L, Zhang F S *et al*. Carbohydrate storage and utilization during grain filling as regulated by nitrogen application in two wheat cultivars[J]. J. Plant Nutr., 2002, 25(2):213-229.

[7] Lin S, Sattelmacher B, Kutzmutz E *et al*. Influence of nitrogen nutrition on tuber quality of potato with special reference to the pathway of nitrate transport into tubers[J]. J. Plant Nutr., 2005, 27(2):341-350.

[8] 关义新,马兴林,凌碧莹.种植密度与施氮水平对高淀粉玉米郑单18淀粉含量的影响[J]. 玉米科学,2004,12(专刊):101-103.
Guan Y X, Ma X L, Ling B Y. Effects of plant population and nitrogen rate on the grain starch contents of high starch corn hybrid (*Zea maize* L.) Zhengdan 18[J]. J. Maize Sci., 2004, 12(S):101-103.

[9] 陈洋,赵宏伟.氮素用量对春玉米淀粉及其组分形成积累的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(10):225-229.
Chen Y, Zhao H W. Effects of nitrogen application on the forming and accumulation of starch and its compositions of spring maize[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2006, 22(10):225-229.

[10] Monjardino P, Machado J, Gil F S *et al*. Structural and ultrastructural characterization of maize coenocyte and endosperm cellularization [J]. Can. J. Bot., 2007, 85(2):216-238.

[11] 金继运,张宁,梁鸣早,等. 土壤养分状况系统研究法在土壤肥力研究及测土施肥中的应用[J]. 植物营养与肥料学报,1996,2(1):8-15.
Jin J Y, Zhang N, Liang M Z *et al*. Systematic approach for soil nutrient status evaluation and its use in fertilization recommendation [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1996, 2(1):8-15.

[12] 何照范.粮油籽粒品质及其分析技术[M].北京:中国农业出版社,1985. 144-150.
He Z F. Food and oil seed quality and its analyzing techniques [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1985. 144-150.

[13] 郝宏京,张波,孙英,等.新断面/SEM 技术在农产品加工研究中的应用[J]. 电子显微学报,2004,23(4):515.
Hao H J, Zhang B, Sun Y *et al*. Application of technique of new section/SEM in the agroproduct process research [J]. J. Chin. Electr. Microsc. Soci., 2004, 23(4):515.

[14] 赵宏伟,邹德堂,马凤鸣,等.施氮量对不同春玉米品种籽粒蔗糖降解的影响[J]. 黑龙江农业科学,2005,(6):8-10.
Zhao H W, Zou D T, Ma F M *et al*. Effect of different nitrogen on sucrose decomposing in different spring maize grains[J]. Heilongjiang Agric. Sci., 2005, (6):8-10.

[15] 李运祥,王忠,顾蕴洁,等.施氮处理对稻米淀粉积累的影响[J]. 南京师大学报(自然科学版),2003,26(3):68-71.
Li Y X, Wang Z, Gu Y J *et al*. Effects of various nitrogen treatments on starch accumulation in caryopsis during the rice grain filling [J]. J. Nanjing Norm. Univ. (Nat. Sci.), 2003, 26(3):68-71.

[16] He P, Jin J Y, Zhou W. Effect of nitrogen application on accumulation and translocation of carbon of nitrogen compounds in two maize cultivars with different senescent appearance[J]. J. Plant Nutr., 2001, 24(4-5):671-681.

[17] 金继运,何萍,刘海龙,等. 氮肥用量对高淀粉玉米和普通玉米吸氮特性及产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(6):568-573.
Jin J Y, He P, Liu H L *et al*. Comparison of nitrogen absorption, yield and qulity between high-starch and common corn as affected by nitrogen application[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(6):568-573.

[18] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等.长期不同施肥制度对玉米产量和品质的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(5):711-716.
Liu E K, Zhao B Q, Hu C H *et al*. Effects of long-term fertilization systems on yield and quality of maize[J]. Sci. Agric. Sin., 2004, 37(5):711-716.

[19] Xiong Z M, Zhu X D, Lou Y K. New progress of studies of rice quality[J]. Rice Abstr., 1993, 12(3):1-6.

[20] 杨福,宋惠,崔喜艳,等.不同垩白度粳稻胚乳淀粉体发育的扫描电镜观察[J]. 作物学报,2004,30(4):406-408.
Yang F, Song H, Cui X Y *et al*. Observation on amyloplast development in endosperm of different chalkiness japonica rice with scanning electronic microscope[J]. Acta Agron. Sin., 2004, 30(4):406-408.

[21] 杨引福,李向拓,谢恩魁.不同硬质度胚乳奥帕克-2(o2)玉米籽粒超微结构与品质性状的相关研究[J]. 中国农业科学,2005,38(1):59-63.
Yang Y F, Li X T, Xie E K. Correlation between ultra-microstructure and nutrition quality in opaque-2 corn kernels with different hard-

ness endosperm[J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(1): 59-63.

[22] 黄强,罗发兴,杨连生.淀粉颗粒结构的研究进展[J]. 高分子材料与工程,2004,20(5): 19-23.
Huang Q, Luo F X, Yang L S. Progress of research on the starch granules [J]. Polym. Mater. Sci. Engin., 2004, 20(5): 19-23.

[23] Brown R P, Creech R G, Johnson L J. Genetic control of starch granule morphology and physical structure in developing maize endosperm[J]. Crop Sci., 1971, 11: 297-302.

[24] 李敬玲,贾敬鸾,刘敏,等.多胞质玉米胚乳淀粉粒性状的扫描电镜观察[J]. 遗传学报,1999,26(3): 249-253.
Li J L, Jia J L, Liu M *et al*. Scanning electron microscope observation on endosperm starch grain characters in multiplasmic maize[J]. Acta Genet. Sin., 1999, 26(3): 249-253.

[25] 王忠,顾蕴洁,李卫芳,等.玉米胚乳的发育及其养分输入的途径[J]. 江苏农学院学报,1997,18(3): 1-7.
Wang Z, Gu Y J, Li W F *et al*. The development of endosperm in maize and its nutrients transporting way[J]. J. Jiangsu Agric. Coll., 1997, 18(3): 1-7.

[26] 邱礼平,温其标.不同链淀粉含量玉米淀粉结构特性及其降解性能的研究[J]. 粮油加工与食品机械,2005,10: 83-86.
Qiu L P, Wen Q B. Research on the structure properties degradation properties of maize starch with different amylase content [J]. Mach. Cereals Oil Food Proc., 2005, 10: 83-86.

[27] 王强. 氮素用量对春玉米籽粒淀粉形成和积累的影响][D]. 哈尔滨:东北农业大学硕士论文,2006.
Wang Q. Effect of nitrogen application on forming and accumulation of starch in spring maize grains[D]. Harbin: Ms Thesis, Northeast Agricultural University, 2006.