

# 氮肥用量对普通玉米产量和营养品质的影响

杨恩琼<sup>1,2</sup>, 黄建国<sup>1</sup>, 何腾兵<sup>3</sup>, 袁玲<sup>1\*</sup>

(1 西南大学资源环境学院, 重庆北碚 400716; 2 贵州省种子管理站, 贵州贵阳 550001;

3 贵州大学生命科学院, 贵州贵阳 550025)

**摘要:** 利用田间试验研究了施用氮肥对玉米黔兴 2302 产量和营养品质的影响。结果表明, 施用氮肥不仅显著提高了子粒产量, 增产 9.59%~23.14%, 且不同程度上增加了蛋白质、氨基酸、淀粉和脂肪酸的含量; 但不改变直链淀粉和支链淀粉的比值, 对玉米口感无不良影响。在玉米子粒中, 蛋氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、天门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、组氨酸、精氨酸、亚麻酸含量比较稳定, 主要受遗传基因的控制, 难于因施肥而改变; 其余营养成分, 如清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白、苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、丙氨酸、酪氨酸、脯氨酸、直链和支链淀粉、油酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸含量因施用氮肥而发生变化, 它们的含量既受遗传基因的控制, 也受施用氮肥的影响。综合考虑玉米的产量和品质, 本试验条件下, 黔兴 2302 玉米较为适宜的氮肥用量约为 N 150 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:** 玉米; 氮肥; 产量; 品质

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)03-0509-05

## Effect of nitrogen fertilization on yield and nutritional qualities of food maize

YANG En-qiong<sup>1,2</sup>, HUANG Jian-guo<sup>1</sup>, HE Teng-bing<sup>3</sup>, YUAN Ling<sup>1\*</sup>

(1 College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2 Guizhou Department of Seed, Guiyang 550001, China;

3 College of Life Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** A field experiment was carried out to study the influence of nitrogen fertilization on the grain yield and nutritional quality of maize (Qianxing 2302). Results showed that N application increased grain yield from 9.59% to 23.14% compared with control (without fertilization), and improved proteins, amino acids, starches and fatty acids content in grain. Furthermore, N application did not change the ratio of amylose to amylopectin. In maize grains, the contents of MET, PHE, LYS, ASP, SER, GLU, GLY, HIS and flax acid were rather consistent and mainly controlled by genes instead of fertilization. However, the other nutrient elements, i.e., albumin, globulin, prolamine, glutamine, THR, VAL, ILE, LUE, ALA, TYR, PRO, amylose, amylopectin, oleic acid, sub-oleic acid, palm acid and stearic acid was varied with both genes and nitrogen fertilization. In general, applying about N 150 kg/ha fertilizer was optimal for Qianxing-2302 for the purpose of higher yield with better qualities.

**Key words:** maize; nitrogen fertilizer; yield; quality

玉米是世界上最重要的粮食、饲料和经济兼用作物之一。从市场需求和发展前景看, 我国玉米总量中 75% 以上将用于饲料, 15% 用于口粮或食品加工, 10% 用于玉米工业<sup>[1]</sup>, 这就要求在不断提高玉米

产量的基础上, 根据不同用途来改善玉米品质。

玉米品质包括营养品质、加工品质和商品品质。玉米子粒营养品质泛指玉米子粒的营养成分, 如蛋白质、脂肪、淀粉及各种维生素、矿质微量元素的含

收稿日期: 2008-07-22

接受日期: 2009-01-16

基金项目: 贵州省优秀科技教育人才省长基金项目 [黔省专合字(2005)353 号] 资助。

作者简介: 杨恩琼 (1974—), 女, 贵州余庆县人, 博士研究生, 主要从事农作物品种管理工作。\* 通讯作者 E-mail: lingyuanh@yahoo.com.cn

量及质量等,以及蛋白质中的各种必需氨基酸、脂肪酸中的饱和和不饱和脂肪酸、淀粉中的支链淀粉与直链淀粉的含量和质量等。国内外的大量研究证明,施肥显著影响玉米子粒的营养品质<sup>[2]</sup>,其中,氮肥对玉米营养品质的影响最大,有关研究也最多<sup>[3-8]</sup>。一般认为,在一定氮肥用量的范围内,玉米子粒蛋白质含量随氮肥用量的增加而提高<sup>[3,6]</sup>,淀粉含量随氮肥用量的增加而降低<sup>[2-3]</sup>,施用氮肥对玉米子粒油分影响的研究结果却不一致<sup>[5,10]</sup>。值得注意的是,施用氮肥对玉米子粒品质的组分,包括蛋白质组成、氨基酸组成、淀粉组成、脂肪酸组成的影响的研究较少,且集中在特种玉米,如高油、高蛋白、高淀粉玉米上。玉米品种不同,对氮肥的反应也有很大差异<sup>[2,6,8,10-13]</sup>,但对普遍推广的优质普通玉米相关研究不多。普通玉米黔兴 2302 是当地新近育成并大面积推广的品种,尚未进行氮肥对产量和营养品质影响的系统研究,开展有关研究可为该品种的高产优质栽培提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2007 年在贵州省安顺市农科所进行。供试土壤为当地具有代表性的黄壤,土壤贫瘠,其 pH 5.4,有机质 12.8 g/kg,全氮 1.5 g/kg,全磷 10.5 g/kg,全钾 28.8 g/kg,速效氮 85 mg/kg,速效磷 3.5 mg/kg,速效钾 48.5 mg/kg,速效锌 2.05 mg/kg。供试玉米品种为黔兴 2302(贵州省种子管理站提供)。

氮肥用量试验设:施 N 0、125、150、175、200、225 kg/hm<sup>2</sup> 共 6 个水平,重复 3 次,随机排列,小区面积 20.0 m<sup>2</sup>。各处理 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 用量分别为 75、105 kg/hm<sup>2</sup>。试验用氮肥为尿素,磷肥为普通过磷酸钙,钾肥为氯化钾。氮肥 40% 作基肥、30% 拔节期施用、30% 大喇叭口期施用,磷肥和钾肥全部作基肥施用。玉米于 4 月 15 日播种,密度为每公顷 45000 株。田间管理按照高产田的管理方案进行。

### 1.2 测定项目及方法

玉米成熟后各小区单独收获,测产后取样分析子粒样品的有关品质指标,包括蛋白质及其组分,氨基酸及其组分,以及油脂与脂肪酸组分等。

玉米子粒品质的测定方法:采用凯氏定氮法测定蛋白质含量,蛋白质含量 = 全氮 × 6.25<sup>[14]</sup>;分级分离法测定蛋白质组成<sup>[15]</sup>;国标 GB/T18246-2000 法测定氨基酸总量及组成;索氏-残余法测定提取脂肪酸含量,气相色谱归一法测定脂肪酸组成<sup>[15]</sup>;

NaOH 溶液提取,萘酮-硫酸比色法测定淀粉总量;NaOH 溶液提取,碘试剂 620nm 比色法测定直链淀粉含量;支链淀粉含量用淀粉总量与直链淀粉之差求得<sup>[15]</sup>。

试验数据采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 软件进行处理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 对玉米子粒产量的影响

施用氮肥显著提高了黔兴 2302 子粒产量(图 1)。与不施氮肥的处理相比,施用氮肥增产 843.5 ~ 2035.1 kg/hm<sup>2</sup>,平均 1751.1 kg/hm<sup>2</sup>;增产率 9.59%~23.14%,平均 19.91%。其中,施 N175 ~ 225 kg/hm<sup>2</sup> 各处理的子粒产量较高,且处理间无显著差异。说明在一定范围内,黔兴 2302 子粒产量随施氮量的增加而提高。N 150 kg/hm<sup>2</sup> 处理的产量最高(10830.7 kg/hm<sup>2</sup>),继续增加氮肥用量,增产效果不明显。

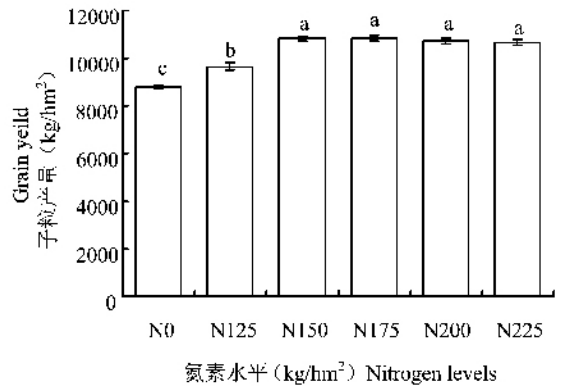


图 1 施用氮肥对黔兴 2302 子粒产量的影响

Fig.1 Effect of N fertilization on the grain yield of Qianxing 2302

[注( Note ):方柱上不同字母表示差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars indicate significant at 5% level.]

### 2.2 对玉米子粒蛋白质含量及其组成的影响

施用氮肥显著提高了黔兴 2302 子粒的蛋白质含量。表 1 看出,施氮肥后蛋白质含量提高 8.09% ~ 15.08%,平均 10.53%。以施氮量在 N 150 ~ 175 kg/hm<sup>2</sup> 之间蛋白质含量最高。

氮肥用量对清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白含量的影响类似总蛋白。但是,谷蛋白和醇溶蛋白比值因氮肥用量不同而异。说明施用氮肥后,这两种蛋白质的含量不完全是同步变化,氮肥效应大小不同。几种蛋白质最高含量时的施氮量依次为: N 150

表 1 不同氮肥用量对黔兴 2302 子粒蛋白质及其组成含量的影响

Table 1 Effects of N fertilization on the content and composition of proteins in the grains of maize Qianxing-2302

| 处理<br>Treatment | 蛋白质(%)<br>Total protein | 清蛋白(%)<br>Albumin | 球蛋白(%)<br>Globulin | 醇溶蛋白(%)<br>Prolomine | 谷蛋白(%)<br>Glutamine | 谷/醇比<br>Glu/Pro |
|-----------------|-------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| N0              | 9.02 c                  | 1.07 b            | 0.80 b             | 2.15 c               | 1.48 b              | 0.69            |
| N125            | 9.75 b                  | 1.28 ab           | 1.02 a             | 2.48 ab              | 1.68 ab             | 0.68            |
| N150            | 10.38 a                 | 1.38 a            | 1.05 a             | 2.76 a               | 1.80 a              | 0.65            |
| N175            | 10.22 a                 | 1.35 a            | 0.97 ab            | 2.54 ab              | 1.64 ab             | 0.64            |
| N200            | 10.03 a                 | 1.33 a            | 0.92 ab            | 2.21 bc              | 1.58 ab             | 0.71            |
| N225            | 9.47 bc                 | 1.01 b            | 0.83 b             | 2.18 bc              | 1.57 ab             | 0.72            |

注 (Note): 同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平, 下同 Values followed by different letters in each column are significant at 5%. The same below.

~200 kg/hm<sup>2</sup>(清蛋白), N 125 ~ 175 kg/hm<sup>2</sup>(球蛋白), N 150 kg/hm<sup>2</sup>(醇溶蛋白、谷蛋白)。从蛋白质含量和组成综合考虑, 黔兴 2302 的最适施氮量为 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 左右。

### 2.3 对玉米子粒氨基酸含量及其组成的影响

施用氮肥显著提高玉米子粒的总氨基酸含量(表 2)。施用氮肥后子粒总氨基酸含量比对照增加 5.46%~17.69%, 平均 11.20%。以 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 处理总氨基酸含量最高。

施氮对必需氨基酸的影响类似总氨基酸含量, 也以 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 含量最高。其中, 施用氮肥可提

高苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和亮氨酸的含量; 但对蛋氨酸、苯丙氨酸、酸赖氨酸的含量无显著影响。

施用氮肥不同程度地影响非必需氨基酸含量(表 3)。其中, 施用氮肥可提高丙氨酸、酪氨酸、脯氨酸的含量, 但不同施用量之间无显著差异; 而对天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、组氨酸、精氨酸的含量无显著影响。

从总氨基酸、必需氨基酸和非必需氨基酸含量的角度综合考虑, 黔兴 2302 的施氮量也以 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 较为适宜。

表 2 不同氮肥用量对黔兴 2302 子粒氨基酸总量和必需氨基酸含量的影响(%)

Table 2 Effects of N fertilization on the content of total and essential amino acids in the grains of maize Qianxing-2302

| 处理<br>Treatment | 氨基酸总量<br>Total AA | 必需氨基酸<br>Essential AA | 苏氨酸<br>THR | 缬氨酸<br>VAL | 蛋氨酸<br>MET | 异亮氨酸<br>ILE | 亮氨酸<br>LUE | 苯丙氨酸<br>PHE | 赖氨酸<br>LYS |
|-----------------|-------------------|-----------------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| N0              | 9.89 d            | 5.35 b                | 0.40 b     | 2.86 b     | 0.44 a     | 1.02 b      | 0.18 b     | 0.28 a      | 0.17 a     |
| N125            | 10.99 b           | 5.82 ab               | 0.49 ab    | 3.04 ab    | 0.46 a     | 1.08 ab     | 0.23 ab    | 0.31 a      | 0.21 a     |
| N150            | 11.64 a           | 6.22 a                | 0.52 a     | 3.16 a     | 0.52 a     | 1.18 a      | 0.27 a     | 0.33 a      | 0.24 a     |
| N175            | 11.15 b           | 5.87 ab               | 0.50 ab    | 3.07 ab    | 0.46 a     | 1.04 ab     | 0.26 ab    | 0.32 a      | 0.22 a     |
| N200            | 10.78 bc          | 5.71 b                | 0.48 ab    | 2.96 b     | 0.46 a     | 1.04 ab     | 0.24 ab    | 0.31 a      | 0.21 a     |
| N225            | 10.43 c           | 5.56 b                | 0.43 ab    | 2.94 b     | 0.43 a     | 1.02 b      | 0.25 ab    | 0.31 a      | 0.18 a     |

表 3 不同氮肥用量对黔兴 2302 子粒非必需氨基酸含量的影响(%)

Table 3 Effects of N fertilization on the content of unessential amino acids in the grains of maize Qianxing-2302

| 处理<br>Treatment | 天冬氨酸<br>ASP | 丝氨酸<br>SER | 谷氨酸<br>GLU | 甘氨酸<br>GLY | 丙氨酸<br>ALA | 酪氨酸<br>TYR | 组氨酸<br>HIS | 精氨酸<br>ARG | 脯氨酸<br>PRO |
|-----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N0              | 0.51 a      | 0.37 a     | 1.45 a     | 0.27 a     | 0.62 b     | 0.24 b     | 0.18 a     | 0.31 a     | 0.56 b     |
| N125            | 0.58 a      | 0.41 a     | 1.50 a     | 0.30 a     | 0.80 ab    | 0.32 ab    | 0.23 a     | 0.38 a     | 0.65 ab    |
| N150            | 0.62 a      | 0.42 a     | 1.52 a     | 0.34 a     | 0.83 a     | 0.36 a     | 0.24 a     | 0.40 a     | 0.69 a     |
| N175            | 0.60 a      | 0.41 a     | 1.51 a     | 0.32 a     | 0.82 a     | 0.35 ab    | 0.22 a     | 0.37 a     | 0.68 ab    |
| N200            | 0.57 a      | 0.38 a     | 1.48 a     | 0.31 a     | 0.79 ab    | 0.31 ab    | 0.21 a     | 0.36 a     | 0.67 ab    |
| N225            | 0.55 a      | 0.38 a     | 1.46 a     | 0.29 a     | 0.75 ab    | 0.29 ab    | 0.21 a     | 0.33 a     | 0.61 ab    |

## 2.4 对玉米子粒淀粉含量及其组成的影响

施用氮肥显著提高玉米子粒的淀粉含量(表4)。与不施氮肥的处理相比,施用氮肥后子粒淀粉含量增加 1.39%~3.02%,平均 2.45%。其中以施 N 125~200 kg/hm<sup>2</sup> 淀粉含量最高。

表4 不同氮肥用量对黔兴 2302 子粒淀粉含量及其组成的影响

Table 4 Effects of N fertilization on the content and composition of starches in the grains of maize Qianxing-2302

| 处理<br>Treat. | 淀粉总量<br>Total starch<br>(%) | 直链淀粉<br>Amylase( I )<br>(%) | 支链淀粉<br>Amylopetin( II )<br>(%) | I/II 比值<br>I/II ratio |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| N0           | 70.16 b                     | 18.98 b                     | 51.18 b                         | 0.39                  |
| N125         | 72.52 ab                    | 20.34 ab                    | 52.18 ab                        | 0.38                  |
| N150         | 73.31 a                     | 20.57 a                     | 52.74 ab                        | 0.39                  |
| N175         | 73.28 a                     | 20.24 ab                    | 53.04 a                         | 0.38                  |
| N200         | 72.84 ab                    | 20.15 ab                    | 52.69 ab                        | 0.38                  |
| N225         | 72.15 ab                    | 20.07 ab                    | 52.08 ab                        | 0.38                  |

表5 不同氮肥用量对黔兴 2302 子粒脂肪酸含量及其组成的影响(%)

Table 5 Effects of N fertilization on the content and composition of fatty acids in the grains of maize Qianxing-2302

| 处理<br>Treatment | 脂肪酸总量<br>Total fatty acid | 油酸<br>Oleic acid | 亚油酸<br>Sub-oleic acid | 亚麻酸<br>Flax acid | 棕榈酸<br>Palm acid | 硬脂酸<br>Stearic acid |
|-----------------|---------------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|---------------------|
| N0              | 4.05 b                    | 1.15 b           | 2.12 b                | 0.05 a           | 0.71 b           | 0.07 b              |
| N125            | 4.34 ab                   | 1.22 ab          | 2.30 ab               | 0.06 a           | 0.76 ab          | 0.11 ab             |
| N150            | 4.68 a                    | 1.30 a           | 2.37 a                | 0.07 a           | 0.84 a           | 0.12 a              |
| N175            | 4.65 a                    | 1.27 ab          | 2.37 a                | 0.07 a           | 0.81 a           | 0.11 ab             |
| N200            | 4.57 ab                   | 1.20 ab          | 2.31 ab               | 0.07 a           | 0.76 ab          | 0.11 ab             |
| N225            | 4.41 ab                   | 1.18 ab          | 2.30 ab               | 0.06 a           | 0.72 ab          | 0.10 ab             |

## 3 讨论

本试验表明,在氮肥施用量较低时,玉米子粒产量和大多数营养品质指标随氮肥用量的增加而提高;当氮肥用量达到一定数量之后,产量和有关营养指标则不随氮肥用量的提高而增加,甚至有所降低。此外,施用氮肥对某些营养品质指标无显著影响。从总体上看,施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 能够取得最高产量,并获得最好的营养品质。

据报道,适量施用氮肥可提高玉米子粒蛋白质含量,但对蛋白质组成的影响不同<sup>[3,4,6-9]</sup>;在多数情况下,可提高玉米子粒醇溶蛋白含量<sup>[3,7]</sup>,对清蛋白和球蛋白含量无明显影响<sup>[3]</sup>。适量施氮还可增加玉米子粒氨基酸总量和某些氨基酸的含量<sup>[16-17]</sup>,对

施用氮肥对直链和支链淀粉含量的影响类似淀粉总量。但是,直链淀粉和支链淀粉的比值变化不大,在 0.38~0.39 之间。说明施用氮肥后,两种淀粉含量同步增减,氮肥效应大小相似。此外,两种淀粉含量最高时的施氮量分别为 N 125~200 kg/hm<sup>2</sup>(直链淀粉)和 N 150~200 kg/hm<sup>2</sup>(支链淀粉)。表明对于黔兴 2302 玉米,施氮量为 N 125~175 kg/hm<sup>2</sup> 有利于淀粉含量和组成的提高和改善。

## 2.5 对玉米子粒脂肪酸含量及组成的影响

施用氮肥不同程度地影响子粒脂肪酸含量及组成。表5表明,施氮后脂肪酸总含量增加 7.16%~15.56%,平均 11.85%。施 N 150~175 kg/hm<sup>2</sup> 时脂肪酸含量最高。

施用氮肥对油酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸含量的影响与脂肪酸总含量类似,但对亚麻酸含量无显著影响。可见,黔兴 2302 的施氮量在 N 150~175 kg/hm<sup>2</sup> 之间对脂肪酸含量及组成的提高和改善较为有利。

氨基酸组分的影响因氨基酸种类而不同<sup>[18]</sup>,甚至影响甚微<sup>[19]</sup>。在本试验中,施用氮肥不仅提高了醇溶蛋白、谷蛋白、清蛋白和球蛋白等的含量,而且还增加了某些必需和非必需氨基酸的含量,使总氨基酸、必需氨基酸和非必需氨基酸含量均显著增加,总体上改善了蛋白质的营养质量;但是,对另一些必需和非必需氨基酸则无显著影响,这与 Reeding 和 Broadben<sup>[18]</sup>关于施用氮肥对氨基酸组分的影响因氨基酸种类不同而异的结论类似。

适量施用氮肥不仅提高玉米子粒产量,而且还促进淀粉和脂肪酸的形成,增加它们的含量<sup>[16]</sup>;但也有人认为,施氮在提高玉米子粒粗蛋白含量的同时,却降低了淀粉和脂肪酸含量<sup>[2]</sup>。本试验看出,尽管氮肥用量不同,但都不同程度地提高了黔兴 2302

的淀粉总量以及直链淀粉和支链淀粉的含量,试验支持了施用氮肥提高淀粉含量的观点<sup>[16]</sup>,也说明施用氮肥对玉米口感无不良影响。此外,适量施用氮肥虽然亚麻酸含量无显著变化,但增加了黔兴 2302 子粒中的脂肪酸总量,包括油酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸等的含量,总体上改善了脂肪酸的质量,有益于增加香味。

综上所述,玉米子粒中,部分营养品质成分主要受到遗传基因的控制,难于因施用氮肥而改变,但大多数营养品质成分既受到遗传基因的控制,又受到施用氮肥的影响。施用氮肥显著提高了黔兴 2302 的子粒产量,不同程度地改善了大部分营养品质指标。因此,本试验条件下,氮肥用量以 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 较适宜。

#### 参 考 文 献:

- [1] 石德权,郭庆法,汪黎明,等. 我国玉米品质现状、问题及发展优质食用玉米对策[J]. 玉米科学, 2001, 9(2): 3-7.  
Shi D Q, Guo Q F, Wang L M *et al.* The status and its problem of maize quality in China, and countermeasures for development of high quality food-maize [J]. Maize Sci., 2001, 9(2): 3-7.
- [2] 贺竟疆,侯忠. 施肥对不同玉米品质的影响[J]. 山西农业科学, 1988 (1): 8-11.  
He J C, Hou Z. Effect of fertilization on quality of different maize [J]. Shanxi J. Agric. Sci., 1988, (1): 8-11.
- [3] 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.  
Li J H, Li B H. Effects of mineral nutrition on quality of maize grain [J]. Maize Sci., 1995, 3(3): 54-58.
- [4] Lang A L, Pendleton J W, Dungan G H. Influence of population and nitrogen levels on yield and protein and oil contents of nine corn hybrids [J]. Agron. J., 1956, 48(6): 284-289.
- [5] Welch L F. Effect of N, P and K on the percent and yield of oil on corn [J]. Agron. J., 1969, 61: 890-891.
- [6] Pearson C J, Jacobs B C. Yield components and nitrogen partitioning of maize in response to nitrogen before and after anthesis [J]. Aust. J. Agric. Res., 1987, 38: 1001-1009.
- [7] Tsai C Y, Dweikat I, Huber D M, Warran H L. Interrelationship of nitrogen nutrition with maize grain yield, nitrogen use efficiency and grain quality [J]. J. Sc. Food Agric., 1992, 58: 1-8.
- [8] Pan W L, Camberato J J, Moll R H *et al.* Altering source-sink relationships in prolific maize hybrids: Consequences for nitrogen uptake and remobilization [J]. Crop Sci., 1995, 35: 836-845.
- [9] Jellum M D, Boswell F C, Young C T. Nitrogen and boron effects on protein and oil of corn grain [J]. Agron. J., 1973, 65: 330-331.
- [10] 刘开昌,胡昌浩,董树亭,等. 高油玉米需磷特性及磷素对子粒营养品质的影响[J]. 作物学报, 2001, 27(2): 267-272.  
Liu K C, Hu C H, Dong S T *et al.* Characteristics of phosphorous absorption of high-oil maize and effects of phosphorus on its kernel quality [J]. Acta Agron. Sin., 2001, 27(2): 267-272.
- [11] 黄绍文,孙桂芳,金继运,等. 氮、磷和钾营养对优质玉米子粒产量和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 225-230.  
Huang S W, Sun G F, Jin J Y *et al.* Effect of nitrogen, phosphorus and potassium application on grain yield and qualities of high-oil and high-starch com [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(3): 225-230.
- [12] 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 quality between high-starch and common corn as affected by nitrogen application [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(6): 568-573.
- [13] 何萍,金继运,李文娟,等. 施钾对高油玉米和普通玉米吸钾特性及子粒产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 620-626.  
He P, Jin J Y, Li W J *et al.* Comparison of potassium absorption, yield and quality between high-oil and common corn affected by potassium application [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(5): 620-626.
- [14] 金继运,张宁,梁鸣早,等. 土壤养分状况系统分析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 evolution and its use in fertilizer recommendation [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1996, 2(1): 8-15.
- [15] 何照范. 粮油子粒品质及其分析技术[M]. 北京:中国农业出版社, 1985. 137-140.  
He Z F. Quality analysis of kernel of food and oil [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1985. 137-140.
- [16] 姜东,于振文,李永庚,等. 施氮水平对高产小麦蔗糖含量和光合产物分配及子粒淀粉积累的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(2): 157-162.  
Jiang D, Yu Z W, Li Y G *et al.* Effects of different nitrogen application levels on changes of sucrose content in leaf, culms, grain and photosynthate distribution and grain starch accumulation of winter wheat [J]. Sci. Agric. Sin., 2002, 35(2): 157-162.
- [17] 刘毅志,张淑茗,李新政. 氮磷钾化肥对高产夏玉米子粒品质的影响[J]. 山东农业科学, 1985, (2): 31-34.  
Liu Y Z, Zhang S M, Li X Z. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on grain quality of high-yielding summer corn [J]. Shandong Agric. Sci., 1985, (2): 31-34.
- [18] Reeding V V, Broadbent F E. Proteins and amino acids in grain of maize grown with various levels of applied nitrogen [J]. Agron. J., 1979, 71: 509-512.
- [19] Stephenson E L, York J O, Bragg D B. Amino acid content of corn produced with different fertilizer treatments [J]. Poul. Sci., 1970, 49: 1729-1730.