植物营养与肥料学报 2004,10(3): 225-230
Plant Nutrition and Fertilizer Science

氮、磷和钾营养对优质玉米子粒产量和营养品质的影响

黄绍文[1], 孙桂芳[2], 金继运[1], 左余宝[1], 何 萍[1]
(1 中国农业科学院土壤肥料研究所,北京 100081; 2 中国科学院应用生态研究所,沈阳 110016)

摘要: 施用氮、磷和钾营养对优质玉米子粒产量和营养品质有明显的影响。氮磷钾营养平衡施用(NPK)较不施氮(PK)、不施磷(NK)和不施钾(NP)显著增加优质玉米产量,使高油玉米(农大 115)分别增产 15.9%、6.9%和 12.1%,使高淀粉玉米(白玉 109)依次增产 20.3%、8.6%和 12.7%。施氮能增加高油和高淀粉玉米子粒蛋白质、醇溶蛋白和清蛋白含量; 施磷或施钾能增加高油玉米子粒蛋白质、醇溶蛋白和清蛋白含量以及氨基酸和必需氨基酸含量,而对高淀粉玉米子粒蛋白质及其组分含量基本无或较小影响。施氮使高油玉米子粒氨基酸和必需氨基酸含量提高 0.83 和 0.41 个百分点,使高淀粉玉米提高 1.18 和 0.36 个百分点; 施氮、施磷和施钾增加高油和高淀粉玉米淀粉总量和支链淀粉含量,降低直链淀粉含量。施氮能增加高油和高淀粉玉米子粒油分、亚油酸和油酸含量,使高油玉米分别增加 0.83、0.41 和 0.30 个百分点,使高淀粉玉米分别增加 0.34、0.18 和 0.13 个百分点,而施磷或施钾对两品种子粒油分、亚油酸和油酸含量的影响不明显。

关键词: 氮、磷和钾营养; 高油玉米; 高淀粉玉米; 产量; 品质
中图分类号: S147.2; S531 **文献标识码**: A **文章编号**: 1008-505X(2004)03-0225-06

Effect of nitrogen, phosphorus and potassium application on grain yield and qualities of high-oil and high-starch corn

HUANG Shao-wen[1], SUN Gui-fang[2], JIN Ji-yun[1], ZUO Yu-bao[1], HE Ping[1]
(*1 Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Beijing 100081, China; 2 Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, China*)

Abstract: Effects of nitrogen, phosphorus and potassium application on grain yield and qualities of high-oil corn Nongda 115 and high-starch corn Baiyu 109 were studied. The results showed that corn grain yields of combined application of N 195 kg/hm^2, P_2O_5 60 kg/hm^2, and K_2O 105 kg/hm^2 (NPK) were significantly higher compared to PK, NK, and NP treatments, respectively. Yield of applied N, P, and K increased by 15.9%, 6.9%, and 12.1% for high-oil corn, respectively, by 20.3%, 8.6%, and 12.7% for high-starch corn, respectively.

Grain total protein content, and prolamine and albumin content increased by N application for high-oil corn and high-starch corn, and also increased by P and by K application for high-oil corn. While the effect of P or K application on high-starch corn grain protein and its components was not observed. Grain total amino acid content and essential amino acid content increased by N application by 0.83 and 0.41 percentage point for high-oil corn, and by 1.18 and 0.36 percentage point for high-starch corn, respectively, and increased by P or by K application for high-oil corn. While the effect of P and K application on high-starch corn grain amino acid and its components was not found.

Insignificant increase of grain total starch and amylopection content by N, P, K application for high-oil

收稿日期: 2003-04-30 **修改稿收到日期**: 2003-07-22
基金项目: 国家"十五"科技攻关课题(2001BA508B04); 国家"863"课题(2003AA209040)资助。
作者简介: 黄绍文(1965—),男,湖南省桃源县人,博士,副研,主要从事土壤养分管理与施肥研究。
本研究在农业部植物营养学重点开放实验室完成。

corn and high- starch corn was observed. While obvious decrease of grain amylose content by N, P, K application was found, respectively. Grain fatty acid content, and sub-oleic acid and oleic acid content increased by N application by 0.83, 0.41 and 0.30 percentage point for high-oil corn, and by 0.34, 0.18, and 0.13 percentage point for high-starch corn, respectively. While the effect of P and K application on high-oil corn and high-starch corn grain fatty acid content and its components was not observed.

Key words: nitrogen, phosphorus and potassium application; high-oil corn; high-starch corn; yield; quality

高油玉米作为一种粮油饲兼用的优质玉米倍受人们青睐,而高淀粉玉米的淀粉则是重要的工业加工原料,两种特用玉米均有较高的利用价值和发展前景。生产实践表明,优质的遗传基础是实现优质生产的前提条件,但栽培管理措施和生态环境条件对玉米品质具有十分重要的影响[1-4]。长期以来,有关施肥对玉米产量的影响国内外均进行了全面而系统地研究,合理施肥对玉米产量的提高发挥了重要作用。在施肥与玉米品质关系方面,已往在施肥对玉米子粒品质的影响方面进行了相当多的研究[4-9],而有关施肥对玉米子粒品质组分影响方面的研究较少。为此,研究氮、磷、钾营养对高油和高淀粉玉米子粒产量与品质及其组分的影响,能够为优质专用玉米生产技术体系的建立提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2002年在陵县丁庄乡佟寨村进行,土壤为潮土。应用土壤养分状况系统研究法,对供试土壤的养分状况进行了分析,土壤有机质(OM)为5.0g/kg,铵态N为14.2 mg/L,速效P、K、Mn、Zn、Fe、S和Cu分别为30.2、71.8、6.0、1.0、11.4、46.2和1.8mg/L。

试验设:1)不施肥(NF),2)施N 195、P_2O_5 60、K_2O 105 kg/hm^2(NPK),3)施P_2O_5 60、K_2O 105 kg/hm^2,不施N(PK),4)施N 195、K_2O 105 kg/hm^2,不施P(NK),5)施N 195、P_2O_5 60 kg/hm^2,不施K(NP)5个处理,所有处理另施锌肥($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) 45 kg/hm^2。试验随机排列,3次重复,小区面积22.5m^2。供试品种分别为高油玉米农大115和高淀粉玉米白玉109,在同一试验地上安排。试验用氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。施肥方法是氮肥按基肥1/3、追肥2/3施用,磷肥、钾肥和锌肥均作基肥(沟施)。6月5日播种,行距75cm,株距27cm。田间管理按高产田的管理方案进行。成熟后各小区单独收获,取样分析子粒样品的有关品质指标(蛋白质及其组分,氨基酸及其组分,淀粉及其组分,以及油分与脂肪酸组分)。

1.2 品质指标的测定方法

蛋白质含量测定采用国标法(GB 2905-82);蛋白质各组分含量测定采用分级分离法[10];氨基酸总量及其各组分含量测定采用国标法(GB/T18246-2000);油分含量测定采用索氏提取法—残余法抽提12h,脂肪酸组分测定用气相色谱采用归一法[11];淀粉含量测定采用HCl水解—铜还原直接滴定法[11],淀粉中直链和支链淀粉含量测定见文献[12]。

2 结果与分析

2.1 氮、磷、钾营养对优质玉米子粒产量的影响

氮、磷、钾营养对高油和高淀粉玉米产量均有较大影响,增产效果是氮> 钾> 磷(表1)。高油玉米施氮、施磷和施钾均极显著增产,分别增加产量1103.4、520.7和864.8 kg/hm^2,依次增产15.9%、6.9%和12.1%。高淀粉玉米施氮和施钾均极显著增产,施磷显著增产,施氮、施磷和施钾分别增产1474.3、694.0和982.9 kg/hm^2,其增产率依次为20.3%、8.6%和12.7%。

表1 氮、磷、钾营养对优质玉米子粒产量的影响

Table 1 Effect of N, P and K application on grain yield of high-oil corn and high-starch corn

处理 Treat.	玉米子粒产量 Grain yield of corn(kg/hm^2)	
	HO	HS
NF	6439.3±108.0 a A	7139.9±95.8 a A
NPK	8037.5±145.2 d D	8740.1±232.1d C
PK	6934.0±238.2 b B	7265.8±142.3 ab A
NK	7516.7±51.0 c C	8046.1±537.4 c BC
NP	7172.6±181.6 bBC	7757.2±233.2 bc AB

注(Note): HO—高油玉米(农大115) Hihg-oil corn (Nongda115); HS—高淀粉玉米(白玉109) High-starch corn (Baiyu109).

2.2 氮、磷、钾营养对优质玉米子粒营养品质的影

响

2.2.1　氮、磷、钾营养对优质玉米子粒蛋白质及其组分的影响　表2表明,高油玉米氮磷钾营养平衡施用处理的子粒蛋白质为11.21%,较高淀粉玉米高出1.26个百分点。高油和高淀粉玉米在施用磷和钾基础上施氮(NPK)较不施氮(PK),均明显增加子粒蛋白质、醇溶蛋白和清蛋白含量,对球蛋白和谷蛋白含量的影响较小。高油玉米和高淀粉玉米施氮分别增加蛋白质0.66和0.84个百分点;增加醇溶蛋白0.50和0.54个百分点;增加清蛋白0.24和0.13个百分点。

表2还看出,高油和高淀粉玉米在施用氮和钾基础上施磷或在施用氮和磷基础上施钾对子粒蛋白质及其组分的影响差异较大,高油玉米施磷或施钾均能明显增加蛋白质含量,使清蛋白和醇溶蛋白含量也有一定程度的增加,对球蛋白和谷蛋白含量的影响不明显;高淀粉玉米施磷或施钾对蛋白质及其组分含量基本无影响。高油玉米施磷和施钾分别增加蛋白质1.06和1.09个百分点;分别增加清蛋白0.25和0.14个百分点;分别增加醇溶蛋白0.17和0.24个百分点。

表2　氮、磷、钾营养对优质玉米子粒蛋白质及其各组分含量的影响

Table 2　Effect of N, P and K application on grain protein and its components of high-oil and high-starch corn

品种 Variety	处理 Treatment	蛋白质 Protein (%)	清蛋白 Albumin (%)	球蛋白 Globulin (%)	醇溶蛋白 Prolamine (%)	谷蛋白 Glutelin (%)	醇溶蛋白/蛋白质总量 Prolamine/Protein(%)	谷醇比[1)] Glutelin/Prolamine
高油玉米	NF	10.32	1.91	1.06	2.74	1.21	26.6	0.44
农大115	NPK	11.21	1.98	1.11	3.41	1.31	30.4	0.38
High-oil corn	PK	10.55	1.74	1.14	2.91	1.22	27.6	0.42
Nongda 115	NK	10.15	1.73	1.12	3.24	1.26	31.6	0.39
	NP	10.12	1.84	1.16	3.17	1.23	31.3	0.39
高淀粉玉米	NF	9.07	1.34	0.95	3.17	1.12	35.0	0.35
白玉109	NPK	9.95	1.33	0.95	3.81	1.21	38.3	0.32
High-starch corn	PK	9.11	1.20	0.92	3.27	1.12	35.9	0.34
Baiyu 109	NK	10.09	1.23	1.00	3.92	1.23	38.9	0.31
	NP	10.17	1.28	1.01	3.93	1.16	38.6	0.30

1)谷醇比为谷蛋白与醇溶蛋白之比 Glutelin/Prolamine indicates ratio of Glutelin content to Prolamine content.

2.2.2　氮、磷、钾营养对优质玉米子粒氨基酸及其组分的影响　表3看出,高油玉米氮磷钾营养平衡施用处理的子粒氨基酸总量和必需氨基酸含量分别为11.09%和4.00%,较高淀粉玉米分别高出1.29和0.43个百分点。

高油玉米和高淀粉玉米在施用磷和钾基础上施氮较不施氮,均显著提高子粒氨基酸含量,其组分中16种氨基酸含量均有不同程度的增加(表3)。高油玉米和高淀粉玉米施氮比不施氮分别增加总氨基酸含量0.83和1.18个百分点;必需氨基酸含量增加0.41和0.36个百分点。高油玉米施氮使必需氨基酸中赖氨酸、苏氨酸、异亮氨酸和亮氨酸含量增加较多,分别增加0.07、0.07、0.05和0.16个百分点;高淀粉玉米施氮使必需氨基酸中异亮氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸和苏氨酸含量增加0.06、0.08、0.08和0.05个百分点。

表3还表明,高油和高淀粉玉米在施用氮和钾基础上施磷或在施用氮和磷基础上施钾对子粒氨基酸及其组分含量的影响有所不同,高油玉米施磷或施钾均能明显增加氨基酸含量,使大部分氨基酸组分含量也有一定程度的增加;高淀粉玉米施磷或施钾对子粒氨基酸及其组分含量基本无影响。高油玉米施磷和施钾分别增加氨基酸1.23和1.12个百分点;增加必需氨基酸0.40和0.36个百分点。高油玉米施磷使必需氨基酸中赖氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和苏氨酸分别增加0.07、0.08、0.05和0.05个百分点;施钾使必需氨基酸中异亮氨酸增加0.11个百分点。

2.2.3　氮、磷、钾营养对优质玉米子粒淀粉及其组分的影响　表4看出,高淀粉玉米氮磷钾平衡施用处理的子粒淀粉含量为73.9%,较高油玉米高4.2个百分点。高油和高淀粉玉米施氮、施磷和施钾均

能增加子粒淀粉含量，其中施钾增加子粒淀粉含量的效果最佳。高淀粉玉米施氮、施磷和施钾分别增加淀粉0.9、1.3和2.5个百分点，高油玉米分别增加淀粉0.8、1.0和1.6个百分点。

氮磷钾平衡施肥能明显增加高油和高淀粉玉米子粒支链淀粉含量，而降低直链淀粉含量。高油玉米施氮、施磷和施钾分别增加子粒支链淀粉含量1.3、1.8和2.5百分点，依次降低直链淀粉含量0.5、0.8和0.9百分点；而高淀粉玉米施氮、施磷和施钾分别增加子粒支链淀粉含量2.0、2.6和3.8百分点，依次降低直链淀粉含量1.1、1.3和1.3百分点。

表3 氮、磷、钾营养对玉米子粒总氨基酸与氨基酸组分含量的影响(%)

Table 3 Effect of N, P and K application on total amino acid and amino acid components of corn grains

项目 Item	高油玉米 High-oil corn					高淀粉玉米 High-starch corn				
	NF	NPK	PK	NK	NP	NF	NPK	PK	NK	NP
总氨基酸 Total amino acid	10.04	11.09	10.26	9.86	9.97	9.71	9.80	8.62	9.50	9.97
必需氨基酸 Essential amino acid	3.73	4.00	3.59	3.60	3.64	3.21	3.57	3.21	3.46	3.62
必需氨基酸组分 Essential amino acid components										
苏氨酸 THR	0.39	0.42	0.35	0.37	0.39	0.33	0.37	0.32	0.36	0.38
缬氨酸 VAL	0.54	0.58	0.54	0.50	0.53	0.46	0.51	0.43	0.48	0.52
蛋氨基 MET	0.31	0.32	0.30	0.32	0.32	0.22	0.22	0.20	0.23	0.23
异亮氨酸 ILE	0.37	0.40	0.35	0.35	0.29	0.33	0.36	0.30	0.36	0.36
亮氨酸 LEU	1.19	1.30	1.14	1.19	1.19	1.07	1.25	1.20	1.19	1.23
苯丙氨酸 PHE	0.54	0.57	0.53	0.53	0.53	0.50	0.53	0.45	0.53	0.55
赖氨酸 LYS	0.39	0.41	0.34	0.34	0.38	0.31	0.32	0.30	0.31	0.35
非必需氨基酸组分 No-essential amino acid components										
天门冬氨酸 ASP	0.77	0.86	0.80	0.70	0.76	0.63	0.69	0.62	0.69	0.74
丝氨酸 SER	0.53	0.58	0.55	0.51	0.53	0.45	0.52	0.43	0.51	0.54
谷氨酸 GLU	1.91	2.11	1.98	1.89	1.84	1.64	1.93	1.68	1.84	1.90
甘氨酸 GLY	0.45	0.50	0.46	0.41	0.45	0.36	0.39	0.34	0.38	0.41
丙氨酸 ALA	0.75	0.83	0.78	0.72	0.75	0.63	0.71	0.61	0.70	0.72
酪氨酸 TYR	0.40	0.41	0.38	0.41	0.39	0.35	0.37	0.34	0.39	0.40
组氨酸 HIS	0.28	0.32	0.30	0.28	0.29	0.25	0.28	0.25	0.27	0.29
精氨酸 ARG	0.43	0.61	0.57	0.53	0.48	0.44	0.50	0.43	0.45	0.51
脯氨酸 PRO	0.79	0.88	0.85	0.81	0.83	0.75	0.84	0.72	0.81	0.84

表4 氮、磷、钾营养对优质玉米子粒淀粉及其各组分含量的影响

Table 4 Effect of N, P and K application on starch and its components of corn grains

品种 Variety	处理 Treatment	淀粉 Starch (%)	直链淀粉 Amylose(I)		支链淀粉 Amylopection(II)		I/II 比值 Ratio
			含量(%) Content	占总淀粉(%) % of total starch	含量(%) Content	占总淀粉(%) % of total starch	
高油玉米 High-oil corn	NF	68.4	12.3	18.0	56.1	82.0	0.22
	NPK	69.7	11.6	16.6	58.1	83.4	0.20
	PK	68.9	12.1	17.6	56.8	82.4	0.21
	NK	68.7	12.4	18.0	56.3	82.0	0.22
	NP	68.1	12.5	18.3	55.6	81.7	0.22
高淀粉玉米 High-starch corn	NF	70.9	17.1	24.1	53.8	75.9	0.32
	NPK	73.9	16.3	22.0	57.6	78.0	0.28
	PK	73.0	17.4	23.8	55.6	76.2	0.31
	NK	72.6	17.6	24.2	55.0	75.8	0.32
	NP	71.4	17.6	24.6	53.8	75.4	0.33

2.2.4　氮、磷、钾营养对优质玉米子粒油分及其组分的影响　高油玉米的子粒油分、亚油酸及油酸含量与油产量明显高于高淀粉玉米。高油玉米氮磷钾营养平衡施用处理的子粒油分、亚油酸和油酸含量分别为 9.90%、4.77% 和 3.46%,较高淀粉玉米分别高出 3.49、1.40 和 1.56 个百分点; 油产量为 795.7 kg/hm^2,较高淀粉玉米高出 235.5 kg/hm^2(表 5)。

氮、磷、钾营养对高油和高淀粉玉米子粒油分及其主要组分的影响差异较大。高油和高淀粉玉米在施用磷和钾基础上施氮较不施氮,均明显增加子粒油分、亚油酸和油酸含量,而施磷较不施磷或施钾较不施钾对子粒油分、亚油酸和油酸含量的影响不明显。高油玉米和高淀粉玉米施氮分别增加油分 0.83 和 0.34 个百分点; 增加亚油酸 0.41 和 0.18 个百分点; 增加油酸 0.30 和 0.13 个百分点。

表 5 还表明,高油和高淀粉玉米施氮、施磷和施钾均能明显增加油产量,在高油玉米上分别增加油产量 166.8、80.1 和 116.5 kg/hm^2,依次增产 26.5%、11.2% 和 17.2%; 在高淀粉玉米上分别增加油产量 119.2、55.7 和 53.7 kg/hm^2,依次增产 27.0%、11.0% 和 10.6%。

表 5　氮、磷、钾营养对优质玉米子粒油分及其各组分含量与油产量的影响

Table 5　Effect of N, P and K application on oil content, its components and oil yield of corn grains

品种 Variety	处理 Treatment	油产量 Oil yield (kg/hm^2)	油分 Oil (%)	亚油酸 Sub-oleic acid (%)	油酸 Oleic acid (%)	棕榈酸 Palm acid (%)	硬脂酸 Stearic acid (%)	亚麻酸 Flax acid (%)
高油玉米	NF	647.1	10.05	4.81	3.58	1.34	0.17	0.13
High-oil	NPK	795.7	9.90	4.77	3.46	1.34	0.18	0.13
corn	PK	628.9	9.07	4.36	3.16	1.23	0.18	0.12
	NK	715.6	9.52	4.57	3.25	1.40	0.16	0.13
	NP	679.2	9.47	4.53	3.30	1.33	0.18	0.13
高淀粉玉米	NF	461.9	6.47	3.35	1.90	0.98	0.09	0.12
High-starch	NPK	560.2	6.41	3.37	1.90	0.96	0.08	0.10
corn	PK	441.0	6.07	3.19	1.77	0.89	0.08	0.09
	NK	504.5	6.27	3.36	1.77	0.95	0.09	0.09
	NP	506.5	6.53	3.37	1.93	1.02	0.08	0.10

3　讨论

已往研究认为,施氮能增加玉米子粒蛋白质含量[2, 4, 7-8, 13-14]。一些研究表明施磷能增加玉米子粒蛋白质含量[4, 9, 15],也有一些研究显示施磷对玉米子粒蛋白质含量影响甚微[2, 16]。施钾一般能提高玉米子粒蛋白质含量[4, 17],但也有少数研究认为施钾对玉米子粒蛋白质含量影响较小[2]。本研究结果表明,氮、磷和钾营养平衡施用较不施氮能明显增加高油和高淀粉玉米子粒蛋白质及其组分中醇溶蛋白和清蛋白含量,较不施磷或不施钾能增加高油玉米子粒蛋白质及其组分中醇溶蛋白和清蛋白含量,而对高淀粉玉米子粒蛋白质及其组分含量基本无影响。

适量施氮和施钾一般均能增加玉米子粒氨基酸含量[1,4],而施磷对玉米子粒氨基酸的影响则不明确[18-19]。本研究结果指出,氮、磷和钾营养平衡施用较不施氮能明显增加高油和高淀粉玉米子粒氨基酸及必需氨基酸含量,较不施磷或不施钾能增加高油玉米子粒氨基酸及必需氨基酸含量,而对高淀粉玉米子粒氨基酸及其组分含量基本无影响。

在一定的氮肥用量范围内,随着氮用量的增加,玉米子粒油分含量有增加的趋势[5-6, 19]; 适宜施用磷肥可以提高玉米子粒的油分含量[9, 20]; 适量施钾可促进玉米子粒油分含量的增加[21]。而 Genter 等[2]的研究表明,氮、磷、钾营养对玉米子粒油分含量基本无影响。本试验结果显示,高油和高淀粉玉米氮、磷和钾营养平衡施用较不施氮,均明显增加子粒油分、亚油酸和油酸含量,而较不施磷或较不施钾对子粒油分、亚油酸和油酸含量的影响不明显。

贺竟赫等[22]指出施用氮肥在提高玉米子粒蛋白质含量的同时降低了其淀粉含量,但姜东等[23]在小麦上的研究结果表明适量施氮有利于淀粉的形成和积累。增施磷肥更有利于玉米子粒积累淀粉[4],但刘开昌等[9]研究认为增施磷肥使高油玉米子粒淀

粉含量略有下降,施磷使普通玉米子粒淀粉含量增加。增施钾肥能增加玉米子粒淀粉含量[24]。本试验结果认为,高油和高淀粉玉米施氮、施磷和施钾均能增加子粒淀粉含量,其中施钾增加子粒淀粉含量的效果最佳;均能明显增加子粒支链淀粉含量,而降低直链淀粉含量。

参考文献:

[1] Sauberlich H E, Chmang W Y, Salmon W D. The amino acid protein content of corn as related to variety and nitrogen fertilization [J]. J. of Nutrition. 1953,51: 241-250.

[2] Genter C F, Eheart J F, Linkous W N. Effects of location, hybrid, fertilizer and rate of planting on the oil and protein contents of corn grain [J]. Agronomy Journal, 1956,48: 63-67.

[3] Earle F R. Protein and oil content in corn: variation by crop years from 1907 to 1972 [J]. Cereal chem.,1977,54: 70-79.

[4] 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.

[5] 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]. Agronomy Journal, 1956,48(6): 284-289.

[6] Welch L F. Effect of N, P and K on the percent and yield of oil on corn [J]. Agronomy Journal, 1969,61: 890-891.

[7] 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.

[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] 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.

[10] 陈毓荃. 生物化学研究技术(全国高等农业院校教材)[M]. 北京: 中国农业出版社,1995.

[11] 南京农业大学. 土壤农化分析(第二版)[M]. 北京: 农业出版社,1992.

[12] 何照范. 粮油子粒品质及其分析技术[M]. 北京: 农业出版社,1983. 57-59.

[13] Jellum M D, Boswell F C, Young C T. Nitrogen and boron effects on protein and oil of cron grain [J]. Agronomy Journal,1973,65: 330-331.

[14] Jones R J, Simmons S R. Effect of altered sourse-sink ratio on growth of maize kernels [J]. Crop Sci.,1983,23: 129-134.

[15] 张裕生. 陕西省磷肥分配与后效(定位)试验初报[J]. 土壤肥料,1989(3): 30-31.

[16] 张志诚,孙连海. 春玉米优化栽培初探[J]. 耕作与栽培,1990(4): 32-34.

[17] 邹德乙,韩晓日. 棕壤连续施用钾肥对玉米子粒蛋白质及氨基酸影响的研究[J]. 土壤通报,1997,28(1): 28-30.

[18] Qrabi A A, Abdel-Aziz. Zinc-phosphorous relationship and effect on some biocomponents of corn (Zea mays L.) grown on a calcareous soil [J]. Plant and Soil,1982,69: 437-444.

[19] 刘毅志,张漱茗,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.

[20] 蒋忠怀,王经武,王瑞舫,等. 营养元素对高油一号玉米生长发育及子粒品质影响的研究[J]. 中国农业科学,1990,23(3): 37-43.

[21] 史振声,张喜华. 钾肥对甜玉米子粒品质和茎秆含糖量的影响[J]. 玉米科学,1994,2(1): 76-80.

[22] 贺竟赋,侯忠. 施肥对不同玉米品质的影响[J]. 陕西农业科学,1988(1): 8-11.

[23] 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.

[24] 陈英取,张承林,张其伦,等. 氮磷钾用量及配比对甜玉米产量与品质的影响[J]. 华南农业大学学报,1993, 14(1): 33-38.