

文章编号: 1005-0906(2004)04-0062-05

提高玉米子粒蛋白质含量关键技术措施研究

吴春胜, 宋 日, 王成己, 贾士芳, 谷 岩

(吉林农业大学农学院, 吉林 长春 130118)

摘 要: 试验采用二次回归正交旋转组合设计方法, 以密度、氮肥、磷肥、钾肥和收获期作为决策变量, 研究以上 5 个因素对四密 25 和中单 9409 蛋白质含量的影响, 通过微机建立数学模型, 并对模型进行解析, 求出各因子对玉米子粒蛋白质含量影响的主次关系及因子间的交互作用, 借助微机模拟试验, 寻出定量生产水平下的最佳栽培措施, 为玉米优质栽培提供依据。

关键词: 玉米; 蛋白质; 回归设计; 数学模型

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Key Technological Measures Research on Advancing Corn Grain Protein Content

WU Chun-sheng, SONG Ri, WANG Cheng-ji, JIA Shi-fang, GU Yan

(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: The experiment was conducted with the method of the combination design of orthogonal rotating regression, regarding five main cultivated measures: density of cultivation(x_1), nitrogenous fertilizer(x_2), phosphate fertilizer(x_3), potash fertilizer(x_4) and harvest-date(x_5) as decisive varieties. The effects between the above five factors and corn grain protein content of Simi25 and Zhongdan9409 were studied, A mathematical model involving the five cultivated measures affecting the corn protein content was established and analyzed, effects of individual factor and its interaction on the corn grain protein content were determined and the optimum cultivated measures in certain conditions were found in a simulation test. It was available for top quality cultivation of corn.

Key words: Corn; Protein; Regression design; Mathematical model

国内外的研究资料表明^[1~16], 禾谷类作物品质及产量与品种类型、栽培技术、种植区域及加工储运条件有密切关系。玉米品质及产量受生态环境(水、光照、温度和土壤等)和栽培措施(密度、播种期、收获期和肥料等)的影响较大。近年来, 有关玉米产量的综合农艺措施函数模型及最佳农艺措施组合方案研究较多^[17~20], 但有关蛋白质含量的综合农艺措施函数模型及最佳农艺措施组合方案研究却少见报道。所以, 本试验结合“十五”国家科技攻关课题, 在吉林省中部长春地区对提高玉米子粒蛋白质含量模式化栽培进行探索。研究吉林省中部长春地区黑壤土上, 在常规生产条件下, 主要栽培措施(密度、氮

肥、磷肥、钾肥和收获期)对玉米子粒蛋白质含量的影响。在目标水平下, 获得最佳农艺组合方案和最优化的生产条件, 为吉林省中部长春地区玉米优质高效规范化栽培提供参考^[21~23]。

1 材料与方法

供试品种为普通玉米四密 25 和高蛋白玉米中单 9409。试验采用二次回归正交旋转组合设计, 按照 5 因素($1/2$ 实施)方案实施, 即 $N=36$, 其数学模型为:

$$Y=b_0+\sum_{j=1}^m b_j X_j+\sum_{i<j} b_{ij} X_i X_j+\sum_{j=1}^m b_{jj} X_j^2$$

选择玉米种植密度(X_1)、施氮量(X_2)、施磷量(X_3)、施钾量(X_4)、收获期(X_5)作为主要影响目标函数(Y)的决策变量, 各因素经无量纲线性代换后的设计水平见表 1。

田间试验(每个品种)设有 36 个小区。小区长 6

收稿日期: 2003-08-13; 修回日期: 2003-11-16

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA507A-03)

作者简介: 吴春胜(1956-), 男, 长春人, 教授, 主要从事玉米高产优质栽培研究。

Tel: 0431-4531254 E-mail: wcs813157@yahoo.com.cn

m,5 行区设计,行距 0.65 m,小区面积为 19.5 m²。分为 4 个区组,组内随机排列。每区组两边各设两行保护行。除设计方案规定的项目外,各个小区管理技术措施及条件完全一致。

表 1 决策变量(X)与线性编码值

变 量 (X _i)	变化间距(X _i)	设 计 水 平				
		-2	-1	0	1	2
密 度 (X ₁)	1.25(万株/hm ²)	3.50	4.75	6.00	7.25	8.50
纯氮量 (X ₂)	90(kg/hm ²)	0	90	180	270	360
纯磷量 (X ₃)	45(kg/hm ²)	0	45	90	135	180
纯钾量 (X ₄)	30(kg/hm ²)	0	30	60	90	120
收获期 (X ₅)	4(日/月)	15/9	19/9	23/9	27/9	1/10

注:本表密度指四密 25 的密度;中单 9409 的密度分别为 2.5、3.5、4.5、5.5 和 6.5 万株/hm²,间距为 1 万株/hm²;两个品种的施肥量与施肥方案都相同。

田间试验在吉林农业大学农业试验站试验田中进行。种肥:氮肥(尿素 46-0-0)20%, 磷肥(三料磷 0-50-0)100%, 钾肥(硫酸钾 0-0-50)50%。2002 年 4 月 28 日播种。各密度严格按播种绳穴播。于苗期定苗,保证每穴 1 株植株。于大喇叭口期追氮肥 (尿素)80%,钾肥(硫酸钾)50%。

2 结果与分析

2.1 子粒蛋白质含量结果

子粒蛋白质含量用微量凯氏定氮法测定^[24~30],

其结果见表 2。四密 25 子粒蛋白质含量的平均值为 9.79%, 中单 9409 子粒蛋白质含量的平均值为 12.70%。

2.2 蛋白质含量函数模型

将田间试验所测得的玉米子粒蛋白质含量结果,使用“旋转组合设计试验数据的计算程序包”在微机上直接计算,可得出玉米种植密度(X₁)、施氮量(X₂)、施磷量(X₃)、施钾量(X₄)、收获期(X₅)与玉米子粒蛋白质含量之间的回归数学模型。

表 2 试验结构矩阵和蛋白质含量结果

区号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	蛋白质含量(%)	
						四密 25	中单 9409
1	1	1	1	1	1	9.45	12.33
2	1	1	1	-1	-1	9.93	12.49
3	1	1	-1	1	-1	10.19	13.06
4	1	1	-1	-1	1	9.29	12.17
5	1	-1	1	1	-1	9.03	11.90
6	1	-1	1	-1	1	9.07	11.95
7	1	-1	-1	1	1	9.96	12.26
8	1	-1	-1	-1	-1	9.41	12.28
9	-1	1	1	1	-1	9.65	12.52
10	-1	1	1	-1	1	9.57	12.44
11	-1	1	-1	1	1	9.80	12.67
12	-1	1	-1	-1	-1	8.89	11.76
13	-1	-1	1	1	1	9.30	12.18
14	-1	-1	1	-1	-1	10.07	12.95
15	-1	-1	-1	1	-1	9.25	12.12
16	-1	-1	-1	-1	1	9.05	11.93
17	2	0	0	0	0	9.65	12.75
18	-2	0	0	0	0	9.34	12.21

区号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	蛋白质含量(%)	
						四密 25	中单 9409
19	0	2	0	0	0	9.65	12.77
20	0	-2	0	0	0	9.38	12.05
21	0	0	2	0	0	9.61	12.60
22	0	0	-2	0	0	9.28	12.39
23	0	0	0	2	0	9.74	12.66
24	0	0	0	-2	0	9.57	12.44
25	0	0	0	0	2	9.46	12.34
26	0	0	0	0	-2	9.52	12.44
27	0	0	0	0	0	9.96	12.93
28	0	0	0	0	0	9.64	12.51
29	0	0	0	0	0	10.19	13.06
30	0	0	0	0	0	9.98	12.86
31	0	0	0	0	0	9.73	12.60
32	0	0	0	0	0	9.90	12.78
33	0	0	0	0	0	9.41	12.33
34	0	0	0	0	0	9.61	12.49
35	0	0	0	0	0	9.73	12.60
36	0	0	0	0	0	9.82	12.70

四密 25:

$$Y=9.792+0.057X_1+0.090X_2+0.037X_3+0.070X_4-0.044X_5+0.072X_1X_2-0.186X_1X_3+0.032X_1X_4-0.041X_1X_5+0.039X_2X_3+0.092X_2X_4-0.011X_2X_5-0.236X_3X_4-0.103X_3X_5+0.107X_4X_5-0.068X_1^2-0.063X_2^2-0.081X_3^2-0.028X_4^2-0.069X_5^2$$

(1)

中单 9409:

$$Y=12.697+0.040X_1+0.138X_2+0.039X_3+0.063X_4-0.056X_5+0.091X_1X_2-0.169X_1X_3+0.016X_1X_4-0.056X_1X_5-0.017X_2X_3+0.148X_2X_4+0.044X_2X_5-0.179X_3X_4-0.048X_3X_5+0.052X_4X_5-0.068X_1^2-0.085X_2^2-0.064X_3^2-0.050X_4^2-0.090X_5^2$$

(2)

为了确定模型的实际意义,现对模型(1)、(2)进行方差分析及 F 检验,检验结果为:① $F_1=0.212$ 小于查表得 $F_{0.05(6,9)}=3.37$, $F_2=4.758$ 7 大于查表得 $F_{0.01(20,15)}=3.37$ 。F 检验的结果表明,由于 F_1 不显著, F_2 达到显著水平,说明方程与实际情况拟合得较好,具有实际意义。进一步对回归系数进行 t 检验,其中 t_2 、 t_{13} 、 t_{33} 、 t_{34} 、 t_{35} 、 t_{45} 、 t_{55} 达到极显著水平, t_1 、 t_3 、 t_4 、 t_5 、 t_{11} 、 t_{12} 、 t_{14} 、 t_{15} 、 t_{22} 、 t_{23} 、 t_{44} 达到显著水平,故可用方程(1)进行分析计算。② $F_1=0.616$ 1 小于查表得 $F_{0.05(6,9)}=3.37$, $F_2=3.752$ 7 大于查表得 $F_{0.01(20,15)}=3.37$ 。F 检验的结果表明,由于 F_1 不显著, F_2 达到显著水平,说明方程与实际情况拟合得较好,具有实际意义。进一步对回归系数进行 t 检验,其中 t_2 、 t_{13} 、 t_{22} 、 t_{24} 、 t_{34} 、 t_{55} 达到极显著水平, t_1 、 t_3 、 t_4 、 t_5 、 t_{11} 、 t_{12} 、 t_{15} 、 t_{25} 、 t_{33} 、 t_{35} 、 t_{44} 、 t_{45} 达到显著水平,故可用

方程(2)进行分析计算。

3 模型优化与解析

3.1 模型的最优解

目标函数 Y 的最大值就是模型的理论最优解,通过微机求得四密 25 的蛋白质含量最大值为 11.77%,求得中单 9409 的蛋白质含量最大值为 14.55%。这说明玉米子粒蛋白质含量的增值潜力很大,但是这个最优解不一定是生产上的最优解,由于其它原因的随机干扰,如不配合相应的保护措施,则试验频率较低。因此,应进一步采用频数分析,求解不同脂肪含量水平的最佳综合栽培措施,则可能更有现实意义。在本试验中对其进行统计选优(表 3、表 4)。

表 3 四密 25 蛋白质含量在 9.80% 以上的主要栽培措施

编 码	X ₁ (密度)		X ₂ (氮肥)		X ₃ (磷肥)		X ₄ (钾肥)		X ₅ (收获期)	
	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)
-2	73	12.6	51	8.8	136	23.4	121	20.9	119	20.5
-1	98	16.9	86	14.8	120	20.7	95	16.4	145	25.0
0	137	23.6	132	22.7	73	12.6	75	12.9	138	23.8
1	141	24.3	165	28.4	110	19.0	120	20.7	103	17.8
2	131	22.6	146	25.2	141	24.3	169	29.1	75	12.9
次数合计	580		580		580		580		580	
$\bar{x}$	0.27		0.46		0.00		0.21		-0.22	
S $\bar{x}$	0.05		0.05		0.06		0.06		0.05	
95%置信区间	0.17 ~ 0.38		0.36 ~ 0.57		-0.12 ~ 0.12		0.08 ~ 0.33		-0.33 ~ -0.12	
农艺措施	6.21 ~ 6.48		212.4 ~ 231.3		84.6 ~ 95.4		62.4 ~ 69.9		21/9 ~ 22/9	

注:农艺措施中 X₁ 单位为万株/hm², X₂、X₃、X₄ 单位为 kg/hm², X₅ 单位为日/月。下表同。

表 4 中单 9409 蛋白质含量在 12.50% 以上的主要栽培措施

编 码	X ₁ (密度)		X ₂ (氮肥)		X ₃ (磷肥)		X ₄ (钾肥)		X ₅ (收获期)	
	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)
-2	86	12.4	54	7.8	134	19.3	105	15.1	107	15.4
-1	143	20.6	84	12.1	139	20.0	104	15.0	181	26.1
0	168	24.2	187	26.9	137	19.7	146	21.0	184	26.5
1	166	23.9	202	29.1	146	21.0	161	23.2	146	21.0
2	131	18.9	167	24.1	138	19.9	178	25.6	76	11.0
次数合计	694		694		694		694		694	
$\bar{x}$	0.16		0.50		0.02		0.29		-0.14	
S $\bar{x}$	0.05		0.05		0.05		0.05		0.05	
95%置信区间	0.07 ~ 0.26		0.41 ~ 0.58		-0.08 ~ 0.13		0.19 ~ 0.40		-0.23 ~ -0.05	
农艺措施	4.57 ~ 4.76		216.9 ~ 232.2		86.4 ~ 95.9		65.7 ~ 72.0		22/9	

3.2 主成分分析

将前述所建立的回归模型(1)和(2)视为二次型,经主成分分析,得正交变换标准方程如下:

四密 25:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 0.33X_1 + 0.62X_2 + 0.47X_3 - 0.42X_4 + 0.33X_5 \\ Y_2 &= 0.16X_1 + 0.51X_2 - 0.30X_3 + 0.75X_4 + 0.27X_5 \\ Y_3 &= -0.59X_1 + 0.02X_2 + 0.71X_3 + 0.38X_4 + 0.04X_5 \\ Y_4 &= 0.66X_1 - 0.16X_2 + 0.41X_3 + 0.32X_4 - 0.53X_5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_5 &= 0.30X_1 - 0.58X_2 + 0.14X_3 + 0.13X_4 + 0.73X_5 \\ Y &= 8.52 + 0.04Y_1 + 0.08Y_2 + 0.04Y_3 + 0.07Y_4 - 0.13Y_5 + \\ &\quad 0.11Y_1^2 - 0.02Y_2^2 - 0.20Y_3^2 - 0.05Y_4^2 - 0.11Y_5^2 \end{aligned}$$

中单 9409:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 0.40X_1 - 0.48X_2 + 0.36X_3 - 0.67X_4 - 0.16X_5 \\ Y_2 &= -0.38X_1 + 0.44X_2 + 0.23X_3 + 0.21X_4 - 0.75X_5 \\ Y_3 &= -0.58X_1 - 0.56X_2 + 0.04X_3 + 0.21X_4 - 0.55X_5 \\ Y_4 &= 0.58X_1 - 0.46X_2 - 0.53X_3 + 0.41X_4 - 0.02X_5 \end{aligned}$$

$Y_5=0.14X_1-0.21X_2+0.73X_3+0.54X_4+0.32X_5$
 $Y=12.70+0.07Y_1+0.00Y_2-0.03Y_3+0.01Y_4-0.15Y_5+$
 $0.1Y_1^2-0.21Y_2^2-0.12Y_3^2-0.04Y_4^2-0.09Y_5^2$
经分析计算,各因素对四密 25 蛋白质含量的贡献率大小为:氮肥>磷肥>密度>钾肥>收获期;对中单 9409 蛋白质含量的贡献率大小为:氮肥>钾肥>磷肥>密度>收获期。

从上面各因素对蛋白质含量的贡献率大小可以看出:氮肥对玉米子粒蛋白质含量的影响最大,这是因为氮素直接参与了蛋白质合成,在植物生产中起到“主要驱动力”的作用,而且氮素本身就是蛋白质的组成成分;磷肥和钾肥本身不参与蛋白质的合成,但是对蛋白质的合成起到了很大的促进作用;密度在一定程度上影响了玉米的子粒品质;收获期对蛋白质含量的影响不大,因为玉米收获从蜡熟后期开始,这时子粒中蛋白质合成已经基本完成。

3.3 单因素分析

多元二次回归模型:
$$y=b_0+\sum_{j=1}^m b_j X_j+\sum_{i<j} b_{ij} X_i X_j+\sum_{j=1}^m b_{jj} X_j^2$$

模型中固定 $m-1$ 因素,即可导出单变量的回归子模型: $y=a_0+a_sX_s+a_{ss}X_s^2$
固定其中四个变量的取值水平(如 0 水平)可导出另一个变量的偏回归子模型,进而分析单因素的作用。

四密 25:
 $y_1=-0.068\ 2X_1^2+0.057\ 1X_1+9.792\ 2(X_1,0,0,0,0)$
 $y_2=-0.063\ 2X_2^2+0.090\ 4X_2+9.792\ 2(0,X_2,0,0,0)$
 $y_3=-0.080\ 7X_3^2+0.037\ 1X_3+9.792\ 2(0,0,X_3,0,0)$

$y_4=-0.028\ 2X_4^2+0.070\ 4X_4+9.792\ 2(0,0,0,X_4,0)$
 $y_5=-0.069\ 5X_5^2-0.043\ 7X_5+9.792\ 2(0,0,0,0,X_5)$
中单 9409:
 $y_1=-0.067\ 6X_1^2+0.039\ 6X_1+12.696\ 7(X_1,0,0,0,0)$
 $y_2=-0.085\ 1X_2^2+0.137\ 9X_2+12.696\ 7(0,X_2,0,0,0)$
 $y_3=-0.063\ 9X_3^2+0.038\ 7X_3+12.696\ 7(0,0,X_3,0,0)$
 $y_4=-0.050\ 1X_4^2+0.062\ 9X_4+12.696\ 7(0,0,0,X_4,0)$
 $y_5=-0.090\ 1X_5^2-0.056\ 2X_5+12.696\ 7(0,0,0,0,X_5)$

分析结果表明,蛋白质含量随密度、氮肥、磷肥、钾肥和收获期的增加而增加,在最高值以上蛋白质含量随变量的增加而下降,蛋白质含量与 5 个栽培因素之间均呈二次抛物线关系。

3.4 二因素交互作用

在 m 个因素的二次回归方程模型中,固定 $m-2$ 个因素,可得到 2 个因素与指标的回归子模型: $y=a_0+a_sX_s+a_tX_t+a_{st}X_sX_t+a_{ss}X_s^2+a_{tt}X_t^2$,由此方程可求出两个因素间的交互作用。

对四密 25 来说,密度和磷肥、磷肥和钾肥、磷肥和收获期、钾肥和收获期之间的交互作用比较明显;对中单 9409 来说,密度和磷肥、氮肥和钾肥、磷肥和钾肥之间的交互作用比较明显。

3.5 单项栽培因素的边际蛋白质含量效应

在农艺经济分析时,需要探讨指标 y 随各因素水平变化的增减速率。当使单项效应分析的子模型的偏导数等于所加因素的成本时,即可确定经济上最佳施用量。对单项效应分析的各个子模型求一阶偏导数即可求得边际产值效应。

将不同编码值代入偏导方程,即可求出不同水平下的边际产值(表 5)。

表 5 不同因素对四密 25、中单 9409 蛋白质的边际效应

因 素	中单 9409 编码					四密 25 编码				
	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2
密 度	0.31	0.17	0.04	-0.10	-0.23	0.33	0.19	0.06	-0.08	-0.22
氮 肥	0.48	0.31	0.14	-0.03	-0.20	0.34	0.22	0.09	-0.04	-0.16
磷 肥	0.29	0.17	0.04	-0.09	-0.22	0.36	0.20	0.04	-0.12	-0.29
钾 肥	0.26	0.16	0.06	-0.04	-0.14	0.18	0.13	0.07	0.01	-0.04
收获期	0.30	0.12	-0.06	-0.24	-0.42	0.23	0.10	-0.04	-0.18	-0.32

从表 5 可以看出,随着密度、氮肥、磷肥、钾肥、收获期的增加,增产效应递减。
对四密 25 来说,密度在 0.42(6.53 万株/hm²)水平以后、氮肥在 0.71(243.9 kg/hm²)水平以后、磷肥在 0.23(100.4kg/hm²)水平以后、钾肥在 1.25(97.5 kg/hm²)水平以后、收获期在-0.32(9 月 21~22 日)水平以后即失去增效。
对中单 9409 来说,密度在 0.30(4.80 万株/hm²)

水平以后、氮肥在 0.81(252.9 kg/hm²)水平以后、磷肥在 0.30 (103.5 kg/hm²) 水平以后、钾肥在 0.63(78.9 kg/hm²)水平以后、收获期在-0.31(9 月 21~22 日)水平以后即失去增效。

4 结 论

(1)在吉林省中部长春地区黑壤土上,普通玉米四密 25 的蛋白质含量平均值为 9.79%,在试验条件

下最大生产潜力为 11.77%；高蛋白玉米中单 9409 的蛋白质含量平均值为 12.70%，在试验条件下最大生产潜力为 14.55%。

(2) 高蛋白含量时栽培措施如下：

四密 25(>9.80%)：密度 6.21 万~6.48 万株/hm²，氮肥 212.4~231.3 kg/hm²，磷肥 84.6~95.4 kg/hm²，钾肥 62.4~69.9 kg/hm²，收获期 9 月 22 日。

中单 9409(>12.50%)：密度 4.57 万~4.76 万株/hm²，氮肥 216.9~232.2 kg/hm²，磷肥 86.4~95.9 kg/hm²，钾肥 65.7~72.0 kg/hm²，收获期 9 月 22 日。

(3) 在吉林省中部长春地区黑壤土上，各因素对蛋白质含量的贡献率大小为：

四密 25：氮肥>磷肥>密度>钾肥>收获期。

中单 9409：氮肥>钾肥>磷肥>密度>收获期。

(4) 试验各因素对蛋白质含量的关系均为二次型的抛物线关系。各因素之间都存在一定的交互作用，对四密 25 来说，密度和磷肥、磷肥和钾肥、磷肥和收获期、钾肥和收获期之间的交互作用比较明显；对中单 9409 来说，密度和磷肥、氮肥和钾肥、磷肥和钾肥之间的交互作用比较明显。

参考文献：

- [1] 冯 巍, 等. 全国玉米高产栽培技术学术研讨会论文集[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 26-31.
- [2] 杨彦忠, 等. 玉米蛋白质品质改良研究进展[J]. 甘肃农业科技, 2001, (3): 3-5.
- [3] 李维岳, 等. 吉林玉米[M]. 长春: 吉林科技出版社, 2000.
- [4] 饶大恒, 邹细保. 密度、施肥量和施肥方式对玉米性状及产量影响的研究[J]. 江西农业大学学报, 1993, 15(4): 418-421.
- [5] Suchi R. Phosphorus-zinc interacting I. Sites of imbecitization of zinc in maize at high level of phosphorus, Plant and Soil, 1975, (43): 639-648.
- [6] Garener H W, Gtove M J. Method to produce-hydroperoxides of linoleic and lindenic acids by maize lipoxygenase. Lipids, 2001, 36(5): 529-533.
- [7] Ramamurthy V, Shivashankar K. Residual effect of organic matter and phosphorus on growth, yield and quality of maize(*Zea.L.mays*). Indian J. Agron, June, 1996, 41(2): 247-251.
- [8] Takashi Matsuyama, Hidetaka Satoh, Yasuyuki Yamada etc. A maize glycine-rich protein is synthesized in the lateral root cap and accumulates in the mucilage. Plant Physiology, 1999, (120): 665-674.
- [9] Yordanov G. Effect of sowing density on grain chemical and technological qualities of waxy maize hybrids. Rasteniev dni Nauki, 1999, 36(10): 610-613.
- [10] Chen-Wu, Chen-Jia. Characteristics of calcium-activated protein kinase in the plasma membrane of corn root tip cell. Acta Botanica Sinica. 1999, 41(2): 166-167.
- [11] Boucher A, Dalpe Y, Charest C. Effect of arbuscular mycorrhizal colonization of four species of glomus on physiological responses of maize. Journal of Plant Nutrition, 1999, 22(415): 783-797.
- [12] Gungabissocn T A, Jiang Changhie, Ctbak B K, etc. Interaction of maize actindepdymersing factor with actin and phosphoninxsitides and itsinhibition of plant phospholipase. C. Plant Jour., 1998, 16 (16): 689-696.
- [13] Garcia Flores, et al. A maize insulin-like growth factor signals to a transduction pathway that regulates protein synthesis in maize. Biochemical Hournal, 2001, 358(1): 95-100.
- [14] Landry J. Protein accumulation in maize grain. Maize Abstracts, 1983, 1(5): 314.
- [15] 刘俊明. 高产玉米合理施肥及其数学模型[J]. 辽宁农业科学, 1989, (2): 14-18.
- [16] 王相琴, 等. 不同配方的全元肥对玉米产量与品质的影响[J]. 天津农林科技, 2000, (1): 13-14.
- [17] 孙西石. 玉米主要农艺措施产量函数模型的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1987, 9(4): 11-18.
- [18] 孙西石. 回归旋转组合设计方法在玉米模式化栽培研究中的应用[J]. 吉林农业大学学报, 1989, 11(3): 10-13.
- [19] 王大伟. 玉米高产栽培综合农艺措施函数模型的研究[D]. 硕士论文. 吉林农业大学, 1992.
- [20] 闫璇玲. 玉米高产栽培数学模型及优化方案研究[D]. 硕士论文. 吉林农业大学, 2000.
- [21] 徐中儒. 农业试验最优回归设计[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1988.
- [22] 丁希泉. 农业应用回归分析[M]. 长春: 吉林科技出版社, 1986.
- [23] 徐中儒. 回归分析与试验设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [24] 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(1): 3-7.
- [25] 陈见超, 陈 宏, 杨盛辉, 等. 特用玉米的发展趋势与农业推广[J]. 玉米科学, 2003, 11(增刊): 15-17.
- [26] 石明辉, 等. 优质蛋白玉米引进与开发初报[J]. 玉米科学, 2001, 9(增刊): 29-30.
- [27] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [28] 华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989.
- [29] 于少华. 生化技术原理和实验[M]. 长春: 吉林农业大学, 1995.
- [30] 王鹏文, 戴俊英, 等. 玉米种植密度对品质的影响[J]. 玉米科学, 1996, 4(4): 43-46.