

高纬寒地青贮玉米高产栽培数学模型研究

蔡鑫鑫,吕晓丽,谭 娟,王 舒,张崎峰  
(黑龙江省农业科学院 黑河分院,黑龙江 黑河 164300)

摘要:为了提高青贮玉米的经济效益,采用二次正交旋转组合设计,研究了密度、氮、磷、钾四因素配合施用对青贮玉米中单 5384 的影响。结果表明:青贮玉米中单 5384 产量在 76 744.88 kg·hm<sup>-2</sup> 以上的密度范围为 7.88 万~8.19 万株·hm<sup>-2</sup>;施纯氮肥 123.61~132.61 kg·hm<sup>-2</sup>;施磷肥 114.21~122.37 kg·hm<sup>-2</sup>;施钾肥 93.57~102.72 kg·hm<sup>-2</sup>。

关键词:青贮玉米;氮磷钾;密度;产量模型

中图分类号:S513 文献标识码:A 文章编号:1002-2767(2016)02-0021-06 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.02.0021

玉米作为世界主要的三大粮食作物之一,在世界农业的生产与发展中占有举足轻重的地位。青贮玉米作为饲料玉米既能大幅度地提高饲料产量,同时具有较高的营养价值,在国民经济和人民生活中占有越来越重要的地位<sup>[1-5]</sup>。

近年来,我国畜牧业发展迅速,青贮玉米作为重要的饲料来源,其种植面积逐年递增,此举更是我国农业种植结构的一项重要举措。黑龙江省是农业大省,也是畜牧业大省,青贮玉米正逐步成为黑龙江省重要的饲料作物。黑河地处于高纬度(N50°15',E127.27°),无霜期 120 d 左右,属高纬高寒地区,对于青贮玉米的选择和使用更有特殊的要求。

本文将明确青贮玉米中单 5384 最佳的肥密组合,即在此研究的基础上,制定出青贮玉米的优

质、高产栽培技术,进而充分发挥青贮玉米的饲料价值,提高青贮玉米的经济效益,为农民持续增收做出新贡献。

1 材料与方法

1.1 材料

供试玉米品种为中单 5384。

1.2 方法

试验于 2013、2014 年在黑龙江省农业科学院黑河分院栽培室试验田进行。试验基地位于黑龙江省黑河市西郊,N50°25',E12°78',海拔 560 m,冬长夏短,属于寒温带大陆性季风气候。冬季气温-10°~-30°,夏季气温 5~32℃,全年降雨量在 520~620 mm,农业生产用水源主要以自然降雨为主。试验区土质为草甸暗棕壤,试验地养分情况见表 1。

表 1 试验地基础养分情况

Table 1 Test based nutrient condition

有机质/(g·kg <sup>-1</sup> ) Organic matter	全氮/(g·kg <sup>-1</sup> ) Total nitrogen	全磷/(g·kg <sup>-1</sup> ) Total phosphorus	水解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Hydrolysable nitrogen	速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Available phosphorus	pH
42.2	2.23	1.66	55.9	8.1	6.12

1.2.1 试验设计 试验采用四因素五水平二次正交旋转组合设计,以密度及 N、P、K 四因素为变量,各因素经无量纲线性代换,试验设 36 个处理,设计水平见表 2。小区长 5 m,4 行区设计,行距 0.65 m,小区面积为 13 m<sup>2</sup>。2 次重复。

表 2 4 个因子的不同水平设计

Table 2 Design of different levels of four factors

因素 Factors	-2	-1	0	1	2
密度 X <sub>1</sub> /(万株·hm <sup>-2</sup> ) Density	6	7	8	9	10
纯氮量 X <sub>2</sub> /(kg·hm <sup>-2</sup> ) Pure nitrogen quantity	70	100	130	160	190
纯磷量 X <sub>3</sub> /(kg·hm <sup>-2</sup> ) Pure phosphorus	60	90	120	150	180
纯钾量 X <sub>4</sub> /(kg·hm <sup>-2</sup> ) Pure potassium	30	60	90	120	150

收稿日期:2015-12-01  
基金项目:黑龙江省农业科学院青年科学基金资助项目(2012QN005)  
第一作者简介:蔡鑫鑫(1983-),女,黑龙江省黑河市人,硕士,助理研究员,从事玉米栽培研究。E-mail:hhnkyccx@163.com。

供试肥料尿素(N 46%),磷酸二铵(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%、N 18%),硫酸钾(K<sub>2</sub>O 25%)。各小区磷钾肥一次性施入大田,氮肥 50%用作底肥,50%用作追肥。施用方法:将全部磷钾肥和氮肥的 20%作为基肥施入,其余的氮肥在拔节后分期 2 次追施。5 月 11 日播种,3 叶 1 心期定苗,人工除草 2 次。

1.2.2 测定项目及方法 在青贮玉米进入蜡熟初期收获,每处理小区收获中间 2 垄进行测产,并记录该 2 垄株数和穗数,折算出每公顷的实际种植密度及实收穗数。最后算出公顷产量(计水标准 14%)。数据采用 DPS、Excel 统计分析软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 产量结果与回归模型

对 36 个小区进行测产(见表 3),按照二次正交旋转组合设计的分析方法,通过 DPS 软件进行数据处理及分析,得到密度和 N、P、K 四个试验因素对玉米产量的回归模型:

$$Y_1=79\ 325.6-259.42X_1+1\ 863.4X_2-$$

$$873.7X_3+4\ 572.4X_4-153.4X_1^2-1\ 951.4X_2^2-4\ 487.9X_3^2+2\ 721.6X_4^2-77.8X_1X_2-9\ 924.0X_1X_3-3\ 829.8X_1X_4+2\ 229.7X_2X_3+4\ 658.6X_2X_4+3\ 562.5X_3X_4$$

(1)

经方差分析得, $F$  失拟=( $MS_{\text{拟}}/f_{\text{拟}}$ )/( $MS_{\text{误}}/f_{\text{误}}$ )=1.44 <  $F_{0.05}(10,11)$ =2.86 不显著, $F$  回归=( $MS_{\text{回}}/f_{\text{回}}$ )/( $MS_{\text{剩}}/f_{\text{剩}}$ )=4.37 >  $F_{0.01}(14,21)$ =3.07 达极显著水平,说明试验结果与所建立的回归数学模型拟合良好,失控因子对试验的影响不大,所获得的模型可靠,可用该模型来预测产量和筛选优化栽培方案。对回归模型中的各项系数进行显著性检验后,剔除不显著项的回归方程为:

$$Y_2=79\ 325.6+4\ 572.4X_4-4\ 487.9X_3^2+2\ 721.6X_4^2-9\ 924.0X_1X_3-3\ 829.8X_1X_4+4\ 658.6X_2X_4$$

(2)

说明施钾量一次项,施磷量二次项,施钾量二次项,种植密度与施磷量、种植密度与施钾量及施氮量与施钾量的互作间达到显著水平,其余各项均达不到显著水平。

表 3 二次正交回归旋转组合设计试验结果矩阵

Table 3 The two orthogonal regression rotation combination design matrix test results

处理 Treatments	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	鲜重/(kg·hm <sup>-2</sup> ) Fresh weight	处理 Treatments	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	鲜重/(kg·hm <sup>-2</sup> ) Fresh weight
1	1	1	1	1	83461.5	19	0	-2	0	0	67200.0
2	1	1	1	-1	59092.3	20	0	2	0	0	68846.2
3	1	1	-1	1	79646.2	21	0	0	-2	0	61938.5
4	1	1	-1	-1	82707.7	22	0	0	2	0	53815.4
5	1	-1	1	1	57200.0	23	0	0	0	-2	71123.1
6	1	-1	1	-1	54230.8	24	0	0	0	2	102307.7
7	1	-1	-1	1	71076.9	25	0	0	0	0	85292.3
8	1	-1	-1	-1	102307.7	26	0	0	0	0	89353.8
9	-1	1	1	1	101769.2	27	0	0	0	0	80123.1
10	-1	1	1	-1	82584.6	28	0	0	0	0	79384.6
11	-1	1	-1	1	84769.2	29	0	0	0	0	65584.6
12	-1	1	-1	-1	64307.7	30	0	0	0	0	72400.0
13	-1	-1	1	1	91292.3	31	0	0	0	0	84184.6
14	-1	-1	1	-1	85630.8	32	0	0	0	0	70061.5
15	-1	-1	-1	1	72092.3	33	0	0	0	0	72738.5
16	-1	-1	-1	-1	63076.9	34	0	0	0	0	80861.5
17	-2	0	0	0	76830.8	35	0	0	0	0	88107.7
18	2	0	0	0	73600.0	36	0	0	0	0	83815.4

表 4 试验结果方差分析  
Table 4 Variance analysis of test results

变异来源 Sources of variation	平方和 Square and	自由度 Freedom	均方 Mean square	偏相关 Partial correlation	比值 Ratio of F	P P value
$X_1$	161520593.1	1	161520593.1	-0.3172	2.3499	0.1402
$X_2$	83339816.5	1	83339816.5	0.2336	1.2125	0.2833
$X_3$	18321313.6	1	18321313.6	-0.112	0.2665	0.6111
$X_4$	501770584.5	1	501770584.5	0.5079	7.2999	0.0134
$X_1^2$	752652.0	1	752652.0	-0.0228	0.0109	0.9177
$X_2^2$	121859591.6	1	121859591.6	-0.279	1.7729	0.1973
$X_3^2$	644541701.8	1	644541701.8	-0.5556	9.377	0.0059
$X_4^2$	237033751.3	1	237033751.3	0.3756	3.4485	0.0774
$X_1X_2$	97047.8	1	97047.8	-0.0082	0.0014	0.9704
$X_1X_3$	1575786249.4	1	1575786249.4	-0.7224	22.9251	0.0001
$X_1X_4$	234678645.6	1	234678645.6	-0.374	3.4142	0.0788
$X_2X_3$	79551679.6	1	79551679.6	0.2285	1.1573	0.2942
$X_2X_4$	347249235.6	1	347249235.6	0.4404	5.0519	0.0355
$X_3X_4$	203061779.7	1	203061779.7	0.3512	2.9542	0.1004
回归 Regression	4209564803.0	14	300683200.2	$F_2=4.37445$		0.0033
剩余 Surplus	1443461599.1	21	68736266.6			
失拟 Lack of fit	817410901.9	10	81741090.2	$F_1=1.43623$		0.232
误差 Error	626050697.2	11	56913699.7			
总和 sum	5653026402.2	35				

2.2 各因素与产量间的效应分析

方程为无量纲编码代换后所得,各偏回归系数已标准化。通过比较产量回归方程的一次项系数可知,各因素对产量的影响作用顺序为: $X_3$  磷肥 $>X_4$  钾肥 $>X_2$  氮肥 $>X_1$  密度。当采用降维法,考虑二次项系数时,测定各因素对产量的效应,将其余各因素固定为零水平,可看出其中某一因素变化对产量的影响关系,得回归模型为:

密度:  $Y_{X_1} = 79\ 325.6 - 259.42X_1 - 153.4X_1^2$  (3)

氮肥:  $Y_{X_2} = 79\ 325.6 + 1\ 863.4X_2 - 1\ 951.4X_2^2$  (4)

磷肥:  $Y_{X_3} = 79\ 325.6 - 873.7X_3 - 4\ 487.9X_3^2$  (5)

钾肥:  $Y_{X_4} = 79\ 325.6 + 4\ 572.4X_4 + 2721.6X_4^2$  (6)

通过建立子回归方程曲线图可以直观地看出各因素与产量的关系,由图 1 可知,磷肥和氮肥呈开口向下的抛物线,密度呈向下的直线,可见试验

中的密度因子选择过大,而且本试验中选用的青贮玉米品种不适宜在高密度下生长,随着密度的增加产量呈下降的趋势,而钾肥呈上升的直线,即青贮玉米的产量随钾肥施入量的增加而增大。

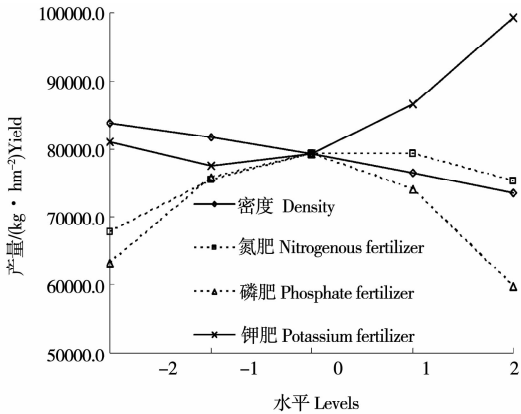


图 1 各试验因素回归模型编码值  
Fig. 1 The code value of each test regression model

可见,本试验设计中的密度值偏大;钾肥量偏小,试验结果没有达到青贮玉米的最高生物产量;

氮肥、磷肥产量效应呈开口向下的抛物线,属于典型的肥料效应曲线,在试验肥料的用量范围内,有最高生物产量的施肥量存在,氮肥和磷肥用量过小青贮玉米产量不高,过大可导致青贮玉米的生物产量下降。

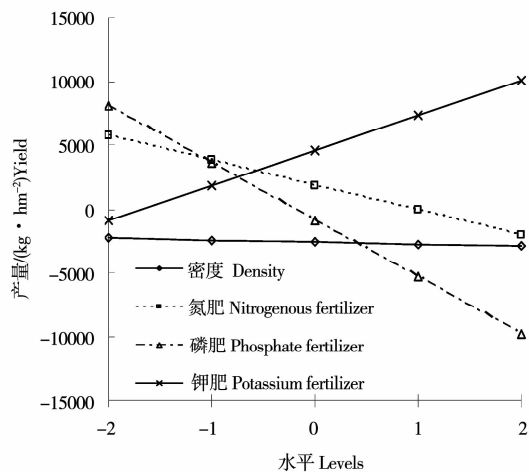


图 2 各试验因素的边际产量

Fig. 2 The marginal product of the test factors

### 2.3 单因素边际效应

单边际产量是指每增投一单位变动因素时所增加的产量。本文对回归子模型密度  $D$ 、 $P$ 、 $K$  求一阶偏导,得出各试验因素的边际效应方程。

对回归子模型  $Y_{X_1}$ 、 $Y_{X_2}$ 、 $Y_{X_3}$ 、 $Y_{X_4}$ 、进行一阶求导数,得出每个试验因素的边际效应方程。由此边际效应方程可知:钾肥随着投入量的增加,经济效益增长较快,可见,钾肥的施用量偏小;提高密度,经济增长缓慢;氮磷效率对青贮玉米生物量较敏感。

$$dy/dx_1 = -259.42 - 306.8X_1 \quad (7)$$

$$dy/dx_2 = 1863.4 - 3902.8X_2 \quad (8)$$

$$dy/dx_3 = -873.7 - 8975.8X_3 \quad (9)$$

$$dy/dx_4 = 4572.4 + 5443.2X_4 \quad (10)$$

根据函数极值的判别方法,使得边际产量  $dy/dx = 0$ ,计算出编码值等于零的另两个试验因素,密度,氮肥,磷肥和钾肥率编码系统为最高边际产出时的  $X_{1max} = 0.8456$ ,  $X_{2max} = -0.477$ ,  $X_{3max} = 0.097$ ,  $X_{4max} = 0.84$ ,换算为密度为  $8.85$  万株· $hm^{-2}$ 、 $N$ 、 $P$ 、 $K$  用量分别为  $115.67$   $kg \cdot hm^{-2}$ 、 $122.92$   $kg \cdot hm^{-2}$ 、 $115.20$   $kg \cdot hm^{-2}$ 。

### 2.4 交互效应分析

由方差分析(见表 4)可以得出,各试验因素之间存在一定的交互效应。其中,  $X_1 X_3$  (密度与

施磷量的交互,  $P = 0.0001$  达到了极显著水平)、 $X_1 X_4$  (密度与施钾量的交互,  $P = 0.0788$  达到了显著水平)、 $X_2 X_4$  (施氮量与施钾量的交互,  $P = 0.0355$  达到了显著水平)。

通过对原模型其中的两个因素编码值取零分析时,可得二元二次效应方程:

$$Y_{13} = 79325.6 - 259.42X_1 - 873.7X_3 - 153.4X_1^2 - 4487.9X_3^2 - 9924.0X_1X_3 \quad (11)$$

$$Y_{14} = 79325.6 - 259.42X_1 + 4572.4X_4 - 153.4X_1^2 + 2721.6X_4^2 - 3829.8X_1X_4 \quad (12)$$

$$Y_{24} = 79325.6 + 1863.4X_2 + 4572.4X_4 - 1951.4X_2^2 + 2721.6X_4^2 + 4658.6X_2X_4 \quad (13)$$

将二元二次效应方程(11)(12)(13)分别进行绘图,得到对应的两个试验因素组合的产量效应图(见图 3、图 4、图 5)。

效应图上各点的位置及高度代表在该试验处理下,其中两个因子在一定程度水平组合时的生物产量。此时曲面的高度代表生物产量的高低,即曲面的高度越高,此时的生物产量越高。由此产量效应图中还可看出,当其中的一个因子固定于某一水平时,此时的生物产量将随另一因子水平变化的规律。

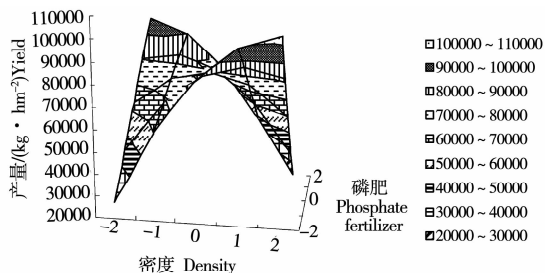


图 3 密度与磷肥交互作用模型

Fig. 3 Density and fertilizer interaction model

从(11)、(12)、(13)3个方程可以看出,密度与施磷量的交互项  $X_1 X_3$  及密度与施钾量的交互项  $X_1 X_4$  的系数为负值,施氮量与施钾量  $X_2 X_4$  的交互项的系数为正值,说明氮、钾为正交互作用,氮、钾二者可以相互促进。

由图 3 可知,密度与施磷量的交互效应明显,具体表现为:

①当密度( $X_1$ )处于-2水平时,随着磷肥施入量的增加,青贮玉米产量随着升高,而当密度( $X_1$ )处于-1、0、1水平时,随着磷肥施入量的增加,青贮玉米产量呈先升高后下降的抛物线,并在磷肥分别为1、0、-1时达到最大值;当密度处

于 2 水平时,随着磷肥施入量的增加,青贮玉米产量逐渐下降。

②反过来当磷肥( $X_3$ )处于-2、-1 水平时,随着密度的升高,青贮玉米的产量逐渐升高;当密度( $X_3$ )处于 0、1、2 水平时,随着密度的升高,青贮玉米的产量逐渐下降。

③当密度处于-2 水平,施磷量处于 2 水平时,交互效应最大,此时的产量最高。从图 4 可以看出,当密度在 $-2 < X_1 < 2$  水平逐渐升高时,施钾量在-2、-1 水平时,青贮玉米产量逐渐升高,而当施钾量在 0、1、2 水平时,青贮玉米产量逐渐下降;当施钾量在 $-2 < X_1 < 2$  水平逐渐升高时,密度在-2、-1、0、1 水平时,青贮玉米产量逐渐升高,而当密度在 2 水平时,青贮玉米产量逐渐下降;当密度为-2,施钾量为 2 时,青贮玉米的生物产量最高。

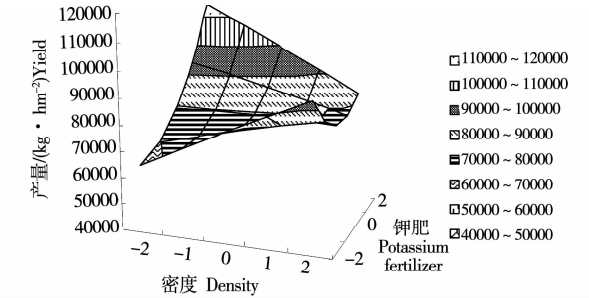


图 4 密度、钾肥交互作用模型

Fig. 4 Density, fertilizer interaction model

从图 5 可以看出,当氮肥施用量在 $-2 < X_1 <$

2 水平逐渐升高时,施钾量在-2、-1 水平下,青贮玉米的产量逐渐下降,施钾量在 0、1、2 水平时,青贮玉米的产量逐渐升高;当钾肥施用量在 $-2 < X_1 < 2$  水平逐渐升高时,施氮量在-2、-1 水平处理下,青贮玉米的产量逐渐下降,施钾量在 0、1、2 水平时,青贮玉米的产量逐渐升高;氮、钾肥的施用量都在 2 水平时,青贮玉米的生物产量最高。

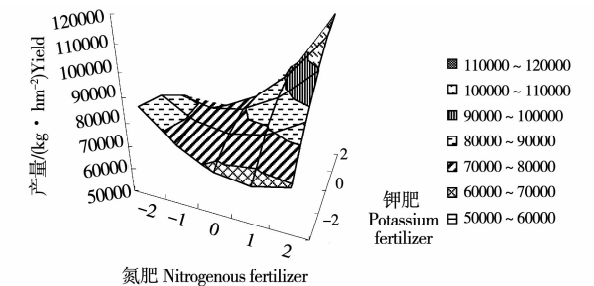


图 5 氮肥、钾肥交互作用模型

Fig. 5 Nitrogen fertilizer, potash fertilizer interaction model

### 2.5 产量方程的模拟选优

资料表明<sup>[6]</sup>,青贮玉米鲜重产量的增值存在很大的潜力空间,但以产量为目标性状,通过计算机模拟得到的最优方案不一定是生产上的最佳方案,为了增加试验频率降低其它原因的随机干扰,应用计算机进行频数寻优。在本试验中,变化区间在 $-2 < X_i < 2$  时,总计有  $5^4 = 625$  个组合方案;统计结果表明:中单 5384 产量在 $76\,744.88\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  以上的出现 335 次(见表 5)。

表 5 中单 5384 产量大于  $76\,744.88\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  因子频率分析

Table 5 Analysis of the factor frequency of Zhongdan 5384 yield $>76\,744.88\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

水平 Levels	密度 $X_1$ Density		氮肥 $X_2$ N fertilizer		磷肥 $X_3$ P fertilizer		钾肥 $X_4$ K fertilizer	
	万株· $\text{hm}^{-2}$	频率	$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	频率	$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	频率	$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	频率
		Frequency		Frequency		Frequency		Frequency
-2	68	0.203	68	0.203	53	0.1582	56	0.1672
-1	68	0.203	73	0.2179	73	0.2179	50	0.1493
0	55	0.1642	68	0.203	97	0.2896	65	0.194
1	71	0.2119	64	0.191	64	0.191	75	0.2239
2	73	0.2179	62	0.1851	48	0.1433	89	0.2657
加权均数 weighted mean	0.039		-0.063		-0.057		0.272	
标准误 Standard error	0.079		0.076		0.069		0.078	
95% 的分布区间 Distribution of interval 95%	-0.116~0.194		-0.213~0.087		-0.193~0.079		0.119~0.424	
农艺措施 Agronomic measures	7.88~8.19		123.61~132.61		114.21~122.37		93.57~102.72	

### 3 结论与讨论

青贮玉米生物产量与密度、氮、磷、钾四因素间的关系,用三元二次多项式进行拟合后得知,各因素对青贮玉米增产效应的次序应为:磷肥>钾肥>氮肥>密度。

在黑龙江省黑河市地区种植青贮玉米中单 5384,获得的地上部生物产量平均值为  $76\,744.88\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,在本试验条件下的最大生产潜力可达  $102\,307.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

青贮玉米中单 5384 的高产农艺措施:生物产量在  $76\,744.88\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  以上的密度范围为  $7.88\text{ 万}\sim 8.19\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;施纯氮肥  $123.61\sim 132.61\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;施磷肥  $114.21\sim 122.37\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;施钾肥  $93.57\sim 102.72\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

中国是全球第二大玉米生产国,同时也是全球第二大消费国,中国年产玉米占世界第二位。玉米是我国第二大作物,在我国的农业生产中有着重要地位,大多数的青贮玉米品种具有较高的营养价值和单位面积较高生物学产量<sup>[7]</sup>,也是解决我国粮食供需矛盾,实现粮饲有效性供给的较好途径<sup>[8]</sup>,所以青贮玉米在生产和利用上具有较大的潜力。随着近年来青贮玉米面积的逐年上升,高纬寒地地区由开始的不种植玉米到现在的不断调整种植业结构,青贮玉米的面积也快速增加。本文研究表明,高纬寒地地区种植青贮玉米

时应该加大磷肥、钾肥的用量,青贮玉米对于氮肥的需求量小于磷、钾肥。通过建立子回归方程曲线图可以看出,本试验设计中的密度值偏大;施钾量偏小,没有达到理想的青贮玉米最高生物产量;施氮、磷量设计合理,产量效应呈开口向下的抛物线,属于典型的肥料效应曲线,在试验肥料的用量范围内,有最高产量的施肥量存在;氮肥和磷肥用量过小青贮玉米生物产量不高,过大可导致青贮玉米的生物产量下降。

#### 参考文献:

- [1] 蔡晓妍,章建新,崔淑华,等. 氮磷肥对复种青贮玉米产量和饲用营养品质的影响[J]. 新疆农业大学, 2004, 27(2): 33-35.
- [2] 白冰,文亦蒂. 不同氮素施肥水平和青贮时期玉米青贮品质的研究[J]. 四川草原, 2004(4): 21-24.
- [3] 马士芳. 夏玉米高产施肥技术的初步研究[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(5): 777-779.
- [4] 张吉旺,王空军,胡昌浩. 收获期对玉米饲用营养价值的影响[J]. 玉米科学, 2000, 8(S): 33-35.
- [5] 虞娜,张玉龙,黄毅,等. 温室滴灌施肥条件下水肥耦合对番茄产量的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(3): 179-183.
- [6] 闵国春,杨克军,卢翠华,等. 旱地青贮玉米高产栽培研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2007, 19(1): 22-25.
- [7] 张吉旺,胡昌浩,王空军,等. 不同类型玉米品种饲用营养价值比较[J]. 作物学报, 2003, 29(6): 951-954.
- [8] 陈世勇,赵荣芳,谭庆军,等. 应用土壤无机氮测试优化青贮玉米氮素管理[J]. 草业学报, 2008, 17(3): 156-161.

## Study on High Yield Cultivation Mathematical Model of Silage Maize in the High Latitude Cold

CAI Xin-xin, LYU Xiao-li, TAN Juan, WANG Shu, ZHANG Qi-Feng

(Heihe Branch of Heilongjiang Agricultural Sciences, Heihe, Heilongjiang 164300)

**Abstract:** In order to further improve the economic benefit of silage maize, the effects of density, nitrogen, phosphorus and potassium four factors on silage maize Zhongdan 5384 were studied by two orthogonal rotation combination design. The results showed that yield of silage maize Zhongdan 5384 more than  $76\,744.88\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  in the density range for  $0.078\,8\text{ million}\sim 0.081\,9\text{ million plants}\cdot\text{hm}^{-2}$ ; application of pure nitrogen was  $123.61\sim 132.61\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ; application of P fertilizer was  $114.21\text{ to }122.37\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ; potash fertilizer was  $93.57\text{ to }102.72\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ .

**Keywords:** silage maize; nitrogen, phosphorus and potassium; density; yield model