

饲料玉米的吸肥规律及其平衡施肥技术研究

李焕春¹, 段玉¹, 妥德宝¹, 赵敏², 赵沛义¹

(1. 内蒙古农牧业科学院 植物营养与分析研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031; 2. 鄂尔多斯市环境监测中心站, 内蒙古 东胜 017000)

摘要: 为进一步提高饲料玉米的栽培水平及肥料利用率, 以东陵白为试验材料, 采用田间试验、室内化学分析和生物统计相结合的方法, 研究了氮、磷、钾、锌肥对饲料玉米 N、P、K 养分吸收及产量形成的影响。主要结果是: (1) 分析说明了饲料玉米在生育进程中全株 N、P、K 的浓度、吸收累积量、吸收速率等变化规律及与施肥的关系, 提供了每 1000kg 干草需要吸收 N、P、K、Fe、Mn、Cu、Zn 的数量; (2) 应用一元三次方程模拟了不同施肥条件下干物质和 N、P、K 养分吸收量与出苗后天数之间的回归关系, 明确了干物质和 N、P、K 养分吸收的最快速率及出现时间; (3) 氮、磷、钾化肥可显著提高饲料玉米鲜草产量, 氮肥增产 50.2%, 磷肥增产 36.4%, 钾肥增产 13.2%。

关键词: 饲料玉米; 平衡施肥; 产量; 吸肥规律

中图分类号: S513.062 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2006) 专辑-0009-05

Nutrient Absorption Law and Technic of Applying Fertilizer on Silage Maize

LI Huan-chun¹, DUAN Yu¹, TUO De-bao¹, ZHAO Min², ZHAO Pei-yi¹

(1. Plant Nutrition and Analysis Institute Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Huhhot 010031, China; 2. Erdos Environmental Monitoring Centre, Dongsheng 017000, China)

Abstract: With Dong Ling Bai, through the methods of field experiment, chemical analysis and biological statistics, the effects of applying N, P, K, Zn fertilizer on forming law of yield and the absorption of N, P, K and nutrient quality were researched. The results were as follows: (1) The relations of the concentration and the amount of absorption and accumulation of N, P, K and applying fertilizer were analyzed, the relations of the changing regulation of absorption rate and applying fertilizer were analyzed. The absorption requirements of N, P, K, Fe, Mn, Cu, Zn of 1000kg/day were offered. (2) With the condition of different fertilizer, the relations of the dry matter content and the amount of nutrient absorption of N, P, K and days were analyzed by the equation: $Y = a + bx + cx^2 + dx^3$. The fastest rate and appearance time of absorption of N, P, K and accumulation of dry matter were discovered. (3) N, P, K fertilizer increased the fresh grass yield significantly, 50.2% by N fertilizer, 36.4% by P fertilizer, 13.2% by K fertilizer.

Key words: Silage Maize; Balance Fertilizer; Yield; Nutrition absorption law

世界玉米总产量有近 70% 被用作动物饲料, 国家或地区间经济发达的程度和工业化水平等不同, 玉米的利用状况也不同, 通常经济越发达、工业化程度越高的国家, 人均玉米的占有量也越高。美国一般用 10% 的玉米面积种植饲料玉米, 生物产量达 1 亿 t, 北欧部分国家则用 30% 面积种植青饲玉米, 德国玉米面积的 80% 种植青饲玉米。

玉米是我国的三大作物之一, 在国民经济中占

有非常重要的地位, 随着奶牛业这一朝阳产业的异军突起, 饲料玉米这一玉米家庭的重要成员成了饲料产业的新宠, 需求量呈大幅度上升的趋势。1999 年中国有 1000 万 t 秸秆进行各种方法处理, 其中青贮约 400 万 t, 全株青贮 100 万 t。与发达国家相比, 中国青贮玉米遗传育种和栽培技术研究刚刚起步, 在种植面积、产量和品质等方面均比较落后。具体到内蒙古自治区, 随着乳业蓬勃发展, 全区奶牛

收稿日期: 2006-11-15

基金项目: PPI/PPIC 中加合作项目资助

作者简介: 李焕春(1979-), 女, 内蒙古乌兰浩特人, 助理研究员, 硕士, 主要从事旱作农业与施肥技术研究。

存栏数量迅速攀升,带动了玉米等饲草作物种植面积的扩大。1992 年全区玉米种植面积为 1.5 万 hm^2 ,基本无青贮玉米,而 2003 年玉米种植面积已经飞升至 159.1 万 hm^2 ,2004 年青贮饲料作物种植面积近 66.0 万 hm^2 ,其中青贮玉米 5.0 万 hm^2 ,年产青贮饲料 2400 万 t,比 2003 年增长 40%。施肥对青贮玉米的产量和品质的影响前人研究较少,国内对此的研究结果多来自盆栽,并且有待于系统化深入研究。前人对玉米氮、磷、钾养分吸收、分配、运转规律的研究早已进行了大量而深入的工作,夏玉米方面有胡昌浩、付应春、佟殿呈、张智猛等人的研究报道,春玉米方面有何萍、金继运等的研究。而 Jordan 等早对施肥量与春玉米 N、P、K 吸收进行了研究。Karlen 等对不同品种、不同产量 N、P、K 吸收分配规律的研究较多。

饲草料生产是畜牧业发展的基础,只有把这个基础抓好,畜牧业的健康发展才有保障。为此,2005 年我们对(东陵白)饲料玉米氮、磷、钾吸收规律及氮、磷、钾、锌肥对产量和品质的影响进行了研究,以期饲料玉米高产、优质栽培提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验条件、方案

试验于 2005 年在内蒙古农科院武川旱作试验站进行。供试玉米品种为东陵白。土壤为栗钙土,土壤基础养分:pH8.35,OM1.55%,Ca3086.15mg/L,

Mg557.70mg/L,K101.65mg/L,N35.85mg/L,P13.55mg/L,S9.70mg/L,B3.35mg/L,Cu1.20mg/L,Fe14.50mg/L,Mn6.30mg/L,Zn1.05mg/L。

试验设置 NP_2K 、 NK 、 NP_2 、 P_2K 、 NKZn 、 NP_1KZn 、 NP_2KZn 、 NP_3KZn 、 NP_4KZn 、 NP_2Zn 、 P_2KZn 11 个处理,3 次重复,共 33 个小区,小区面积 30m^2 。行距 50cm,株距 10cm。5 月 11 日播种。5-8 月降雨量 198.3mm,生育期灌水两次,每次 $750\text{m}^3/\text{hm}^2$,9 月 12 日收获,其余管理同大田栽培。

1.2 样品的采集、制备、测定

分别于 6 月 7 日,6 月 24 日,7 月 7 日,7 月 30 日,8 月 16 日,8 月 22 日,对 NP 、 NPK 、 NPKZn 3 个处理随机取样 3~10 株,按茎、叶分开,于烘箱中 85°C 杀青 30min,然后于 65°C 条件下烘干至恒重,测干重。将烘干的各器官磨碎,生育期样品测定 N、P、K。收获期样品测定 5 个处理的 N、P、K、Fe、Mn、Cu、Zn、粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、粗灰分含量。

2 结果分析

2.1 施肥对饲料玉米鲜草产量的影响

试验于 9 月 12 日正常收获,结果见表 1

从表 1 可以看出,草玉米在 P_2K 基础上增施氮肥(N)180kg/ hm^2 ,增产玉米鲜草 14.4t/ hm^2 ,增产率 14.9%,每 kgN 增产鲜草 80kg,在 P_2KZn 基础上增施氮肥(N)180kg/ hm^2 ,增产玉米鲜草 16.7t/ hm^2 ,增

表 1 饲料玉米施用磷钾肥对产量和经济效益的影响

Tab.1 Effect of P K fertilizer on the yield and economy benefit on silage maize

处理	平均产量(t/hm^2)	增产(%)	NPK肥效(kg/kg)	锌肥肥效(kg/kg)
NP_2K	110.9	-	-	98.3
NK	105.7	4.94	34.8	
NP_2	104.6	6.06	70.4	
P_2K	96.5	14.92	80.0	
NKZn	106.8	5.90	42.0	50.1
NP_1KZn	111.6	1.38		
NP_2KZn	113.1	-	-	
NP_3KZn	108.6	4.14		
NP_4KZn	100.8	12.25		
NP_2Zn	108.6	4.18	50.4	178.3
P_2KZn	96.4	17.27	92.5	-2.0

注:N=180kg/ hm^2 , P_2O_5 =0,75,150,225,300kg/ hm^2 , K_2O =90kg/ hm^2 ,Zn=22.5kg/ hm^2 ,草玉米 0.1 元/kg,纯养分 3 元/kg

产率 17.3%,每 kgN 增产鲜草 92.5kg。

在 NK 基础上,增施 P_2O_5 150kg/ hm^2 ,增产鲜草 5.2t/

hm^2 ,增产率为 4.9%,每 kg P_2O_5 增产鲜草 34.8kg。在 NKZn 基础上,增施 P_2O_5 0,75,150,225,300kg/ hm^2 ,

增产率分别为 4.5%,5.9%,1.7%,−5.8%,鲜草产量与 P_2O_5 用量呈抛物线相关,其回归方程为 $y=−0.0004x^2+0.099x+106.71$ $R^2=0.9953$ 获最高产量的施肥量为:123.75kg/hm²,最高产量 112.8t/hm²。

在 NP 基础上增施 K_2O 90kg/hm²,增产鲜草 5.2t/hm²,增产率 4.9%,每 kg K_2O 增产鲜草 34.8kg,在 NPZn 基础上增施 K_2O 90kg/hm²,增产鲜草 4.5t/hm²,增产率 4.2%,每 kg K_2O 增产鲜草 50.4kg。

在 NP₂K 基础上增施硫酸锌 22.5kg/hm²,增产

2.0%,在 NK 基础上增产 1.1%,在 P₂K 基础上不增产,在 NP₂ 基础上增施硫酸锌增产 3.8%,平均增产 2.3%;每 kg 硫酸锌分别增产鲜草 50.1kg,98.3kg 和 178.3kg,平均增产 66.1kg。

2.2 饲料玉米增施肥料的肥料利用率

收获时,各处理均匀取样测定植株全氮、全磷、全钾及含糖量结果见表 2。

表 2 结果表明,在 P₂K 基础上增施氮肥,N 的利用率为 18.8%。在 NK 基础上增施磷肥, P_2O_5 的

表 2 饲料玉米施用磷钾肥肥料利用率

Tab. 2 The utilized coefficient of P K fertilizer on silage maize

处理	NP ₂ K	P ₂ K	NK	NP ₂
施肥量 (kg/hm ²)				
N	180	0	180	180
P_2O_5	150	150	0	90
K_2O	90	90	90	0
吸收量 (kg/hm ²)				
N	154.9	121.0	127.0	213.1
P_2O_5	69.6	70.0	61.7	79.5
K_2O	415.9	433.2	547.3	378.8
利用率 (%)				
N	18.83	—	—	—
P_2O_5	5.29	—	—	—
K_2O	41.30	—	—	—

利用率为 5.3%。在 NP 基础上增施磷肥, K_2O 的利用率为 41.3%。

2.3 饲料玉米干物质累积分配规律

表 3 结果表明:整个生育期,NP、NPK、NPKZn 个处理单株干物质随着出苗后时间的推移,各处理

单株干物质产量持续增加,且最大值均出现在出苗后 97d,随后又都降低,最大值分别为 82.6 g/株,88.2 g/株,83.8 g/株,其中 NPK 处理单株产量最高。

干物质增长与出苗后天数之间的回归关系用一元三次方程模拟,方程分析差异显著。3 个处理

表 3 不同施肥处理玉米单株干物质产量的动态变化(g/株)

Tab.3 Effect of different fertilizer on the yield of single plant dry matter (g/single plant)

出苗后天数 (d)	27	44	57	80	97	103	回归方程	增长速率 (g/d·株)	出苗天数 (d)
NP	0.2	1.8	6.6	52.9	82.6	72.2	$Y=115.0-7.31X+0.132X^2-0.0006X^3$	1.95	69.9
NPK	0.2	2.1	7.0	53.3	88.2	80.4	$Y=105.5-6.67X+0.119X^2-0.0006X^3$	1.98	72.4
NPKZn	0.2	2.4	9.0	53.4	83.8	81.0	$Y=92.1-5.89X+0.107X^2-0.0005X^3$	1.88	72.8
平均值 (\bar{x})	0.2	2.1	7.5	53.2	84.9	77.9	$Y=104.2-6.62X+0.119X^2-0.00056X^3$	1.94	71.6
S	0.006	0.30	1.29	0.26	2.94	4.9			
CV%	2.6	14.3	17.1	0.5	3.5	6.3			

的平均单株干物质增长速率为 0.82 g/d·株,最快增长速率为 1.94 g/d·株,最快增长速率出现在出苗后 71.6d。NPK 处理的平均增长速率为 0.86 g/d·株,相对其他两个处理最快,最快增长速率为 1.98 g/d·株,最快增长速率出现时间比 NPKZn 处理提前 0.4d,比 NP 推迟 2.5d。

2.4 饲料玉米氮、磷、钾含量动态变化

表 4 结果表明:全株氮含量在整个生育期呈下降趋势,由 39.3 g/kg 降低到 12.0g/kg。全株磷含量在整个生育期变化平缓。全株钾含量在整个生育期表现为波浪式的下降趋势。

全株氮累积量呈 S 型变化曲线,6 月 7 日氮含量最小,仅为 0.009g/株,8 月 16 日最大,为 1.07g/株,收获期又有所下降,为 0.96g/株。整个生育期氮素阶段吸收速率呈单峰曲线变化,吸收速率表现慢、快、慢的规律。7 月 7 日(出苗后 57~80d)到 7 月 30 日时期,氮素阶段吸收最快,为 0.030g/d·株,8 月 16 日(出苗后 97d)到 8 月 22 日(收获期)时期,氮素吸收降低直到停止。

全株磷累积量呈 S 型变化曲线,6 月 7 日磷累积量最小仅为 0.0006g/株,8 月 16 日最大为 0.210g/株,收获期又有所下降,0.193g/株。整个生育期磷素

阶段吸收速率呈单峰曲线变化,表现出前期慢、中期快、后期又慢的规律。7月7日(出苗后57d)到7月30日(出苗后80d)时期,磷素阶段吸收速率最大,为0.0054g/d·株,8月16日(出苗后97d)到收获期,磷素吸收降低直到停止。

全株钾累积量呈S型变化曲线。整个生育期钾

表4 饲料玉米植株氮、磷、钾含量和积累量(干基)变化

Tab.4 The content and cumulation of N P K in the silage maize (dry matter)

时间(月/日) 出苗后天数 (d)	6/7	6/24	7/7	7/30	8/16	8/22	回归方程	最快速率 (g/d·株)	出现时间 (d)
	27	44	57	80	97	103			
N(g/kg)	39.3	29.1	26.4	16.6	12.6	12.0			
N积累(g/株)	0.009	0.06	0.20	0.88	1.07	0.96	$Y=1.65-0.11X+0.002X^2-0.00001X^3$	0.03	65.4
P(g/kg)	2.53	2.40	2.53	2.70	2.47	2.53			
P积累(g/株)	0.0006	0.005	0.019	0.143	0.210	0.193	$Y=0.29-0.02X+0.0003X^2-0.000002X^3$	0.005	69.9
K(g/kg)	30.0	29.7	32.3	32.3	24.0	26.3			
K积累(g/株)	0.007	0.06	0.25	1.71	2.03	2.05	$Y=3.30-0.21X+0.004X^2-0.00002X^3$	0.06	67.4

素阶段吸收速率呈单峰曲线,7月7日(出苗后57d)到7月30日(出苗后80d)时期,钾素阶段吸收速率最快为0.064g/d·株,收获期又下降到0.002g/d·株。

N、P、K3种元素全株累积吸收量与出苗后天数之间的关系用一元三次方程拟合均达到显著水平。3处理平均,氮素平均吸收速率为0.010g/d·株,最快吸收速率为0.03g/d·株,最快吸收速率出现在出苗后65.4d。磷素平均吸收速率为0.002g/d·株,最快吸收速率为0.005g/d·株,最快吸收速率出现在出苗后69.9d。钾素平均吸收速率为0.020g/d·株,最快吸收速率为0.06g/d·株,最快吸收速率出现在出苗后67.4d。

2.5 千公斤产量养分吸收量

表5结果表明:每生产1000kg青贮玉米平均需要吸收11.3kgN,2.4kgP,27.8kgK,620.1gFe,51.9gMn,3.5gCu,23.0gZn。其中NP处理需要吸收14.

5kgN,较其他处理吸收量最大,22.1kgK,较其他处理吸收量最小;NK处理需要吸收8.9kgN,2.1kgP,2.5gCu,21.4gZn,较其他处理吸收量最小,需要吸收32.8kgK,较其他处理吸收量最大;PK处理需要吸收532.5gFe,较其他处理吸收量最小;NPK处理需要吸收2.8kgP,754.5gFe,66.6gMn,5.4gCu,26.5gZn,较其他处理吸收量最大;NPKZn处理需要吸收43.3gMn,较其他处理吸收量最小。

3 结论与讨论

饲料玉米增施N、P、K、Zn肥均有显著的增产效果,氮肥效果>磷肥效果>钾肥效果>锌肥效果。

在P₂K基础上增施氮肥,N的利用率为18.8%。在NK基础上增施磷肥,P₂O₅的利用率为5.3%。在NP基础上增施磷肥,K₂O的利用率为41.3%。

随着出苗后时间的推移,单株干物质产量持续

表5 每生产1000kg青贮玉米(干)养分吸收量

Tab.5 Nutrient amount in 1000 kilogram dry silage maize

处理	N(kg)	P(kg)	K(kg)	Fe(g)	Mn(g)	Cu(g)	Zn(g)
NP	14.5	2.4	22.1	605.6	55.1	3.3	21.7
NK	8.9	2.1	32.8	603.2	47.9	2.5	21.4
PK	9.4	2.4	26.6	532.5	46.5	3.4	21.6
NPK	14.3	2.8	29.4	754.5	66.6	5.4	26.5
NPKZn	9.4	2.4	28.3	604.7	43.3	3.2	23.7
平均(x̄)	11.3	2.4	27.8	620.1	51.9	3.5	23.0

增加,且最大值均出现在出苗后97d,随后又都降低,干物质增长与出苗后天数之间的回归关系可以用一元三次方程模拟,平均单株干物质增长速率为0.82g/d·株,最快增长速率为1.94g/d·株,最快增

长速率出现在出苗后71.6d。

饲料玉米植株氮含量在整个生育期呈下降趋势,磷含量在整个生育期变化平缓,钾含量在整个生育期表现为波浪式的下降趋势。整个生育期氮、

磷、钾阶段吸收速率呈单峰曲线变化,都呈现前期慢,中期快,后期又慢的规律。氮、磷、钾的最快吸收期都出现在出苗后 57~80d 的时期,最快吸收速率分别为 0.030g/d·株、0.0054g/d·株、0.064g/d·株。N、P、K 三元素全株累积吸收量与出苗后天数之间的关系可用一元三次方程拟合。N、P、K 三元素最快吸收速率出现时间顺序为 N>K>P。

每生产 1000kg 饲料玉米平均需要吸收 11.3kg N, 2.4kgP, 27.8kgK, 620.1gFe, 51.9gMn, 3.5gCu, 23.0gZn。可见,对大量元素需要量的顺序是 K>N>P,对微量元素的需要量顺序为 Fe>Mn>Zn>Cu。

参考文献:

- [1] 张劲柏,李仁昆,高 飞,等.青贮玉米的发展现状及潜力[J].内蒙古农业科技,2002,(专辑):30-31.
- [2] 金继运.受氮磷钾调控的春玉米来源与动态研究[A].全国玉米高产栽培技术学术研讨会论文集[C].北京:科学出版社,1998.213-225.
- [3] 胡昌浩.夏玉米同化产物积累与养分吸收分配规律的研究[J].中国农业科学,1982,15(2):38-48.
- [4] 郭仲仪,孟祥锋,张 明,等.施用氮磷钾肥对夏玉米产量和品质的影响[J].土壤肥料,2004,(1):25-26.
- [5] 付立春.夏玉米需肥规律的研究[J].作物学报,1982,8(1):1-8.
- [6] 何 萍,金继运.氮钾互作对春玉米养分吸收动态及模式的影响[J].玉米科学,1999,7(3):68-72.
- [7] 高炳德,李江退,周燕辉,等.内蒙古平原灌区公顷产量 13.7t-15.9t 不同品种春玉米氮磷钾吸收规律的研究[J].内蒙古农业大学学报,2000,21(64):62-71.
- [8] 杨利华,郭丽敏,傅万鑫.施锌对玉米氮磷钾肥料利用率、产量及籽粒品质的影响 [J]. 中国生态农业学报,2003,11(2):41-43.
- [9] 马 道,等.磷锌配施对玉米生物效应及磷锌关系的研究[J].土壤肥料,1989(6):23-26.
- [10] 吴俊兰,等.锌、锌磷配合对玉米生育、产量、品质的影响[A].国际平衡施肥学术讨论会论文集[M].北京:中国农业出版社,1989.347-356.
- [11] 李伯航,等.河北玉米栽培[M].石家庄:河北科学技术出版社,1994.244.
- [12] 董社琴.氮钾锌配施对玉米地上部分养分的积累与分配的影响[J].山西农业大学学报,2005,25(2):102-105.
- [13] 韩友文.饲料与饲养学[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [14] Oikeh S O, Kling J G O korawa, A E. Nitrogen fertilizer management effects on maize grain quality in the west African moist savanna[J]. Grop Science, 1998, 38(4): 1056-1061.
- [15] Jordan H V. Growth rates and nutrient uptake by corn in a fertilizer_spacing experiment [J]. Agron J, 1950, 42: 261-268.
- [16] Hanway J J. Corn growth and composition in relation to soil fertilizer II Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season[J]. Agron J, 1962, (54): 217-222.
- [17] Karlen D L, et al. Dry matter, nitrogen phosphorus and potassium accumulation rates by corn on Norfolk loamy sand [J]. Agron J, 1987, (4): 649-656.
- [18] 汪耳琪,李海东,张国福,等.密度和肥料对比对粮饲兼用玉米新品种产量性状的影响 [J]. 内蒙古农业科技, 2006, (5): 32-33.
- [19] 崔文华.呼盟岭东地区玉米氮磷钾肥效及施肥技术研究[J].内蒙古农业科技, 1995, (2): 13-16.
- [20] 史桂森,赵玺宏,尤美云.河套灌区带田玉米的需肥规律及合理施肥技术研究初报 [J]. 内蒙古农业科技, 1995, (3): 14-16.
- [21] 徐利敏,张建平,陈景莲,等.玉米田长效碳铵合理施肥技术研究初报[J].内蒙古农业科技, 1999, (3): 24-25.
- [22] 郑海春,王芬棠,师秀峰.我区化肥利用现状及提高肥效对策[J].内蒙古农业科技, 1997, (土壤肥料专辑): 17-18.
- [23] 马 冲,苏 波,陈举林,等.玉米杂交种高产高效的关键措施[J].内蒙古农业科技, 2001, (4): 33-34.
- [24] 赵宏儒,张彦萍,张丽清,等.玉米施用硅肥的肥效初探 [J]. 华北农学报, 2004, 19(专辑): 29-31.
- [25] 梅 艳,阮培均,马 俊.有机生物复合肥不同底肥施用量对玉米产量及经济效益的影响[J].华北农学报, 2005, 20(专辑): 27-29.