

文章编号: 1005-0906(2003)02-0078-05

华北区部分主栽玉米杂交种的氮效率分析

陈范骏, 米国华, 张福锁, 王 艳, 刘向生, 春 亮

(中国农业大学植物营养系, 北京 100094)

摘 要: 玉米生产中氮肥的过量施用, 不但导致氮肥利用率下降, 生产成本提高, 而且还会造成地下水污染, 因而越来越受到人们的重视。选用氮高效作物品种是解决这些问题的重要途径。本试验利用华北地区主栽的 8 个杂交种在高、低氮条件下研究了产量、吸氮量、氮效率及其生理基础。两年结果表明, 不同玉米杂交种的产量、氮效率和不同生育期吸氮量都存在显著的基因型差异。农大 108 高、低氮条件下都有较高产量, 且吸氮量高, 成熟期茎秆氮残留多。中单 2996 在两个氮水平和两种土壤条件下, 吸氮量相对较高, 茎秆残留少, 氮转移率较高。通径分析表明, 吸收效率对氮效率的直接作用大于利用效率的直接作用, 是氮效率的主要来源。

关键词: 玉米; 氮效率; 氮吸收效率; 氮利用效率

中图分类号: S513.06

文献标识码: A

Nitrogen Use Efficiency in Some of Main Maize Hybrids Grown in North China

CHEN Fan-jun, MI Guo-hua, ZHANG Fu-suo, WANG Yan, LIU Xiang-sheng, CHUN Liang

(Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Overdose of nitrogen (N) fertilizers may cause lower N use efficiency, higher input, as well as nitrate pollution of groundwater. Nitrogen efficient maize hybrids can be an important way to solve such problems. In the present study, eight maize hybrids from North China were used to investigate their response to low and high N in yield, N uptake and N efficiency. Two year's results showed that significant genotypic difference existed in yield, N efficiency, N uptake in different development stage, Nongda 108 got highest yield under both high and low nitrogen level, with highest N uptake and N residual in stalks. Zhongdan 2996 had higher N uptake, lower N residual in stalks, hence higher N translocation efficiency. Path analysis indicated that N uptake efficiency had significant role in determining N efficiency under both N levels.

Key words: Maize; N efficiency; N uptake; N utilization

在过去的 20 多年里, 我国育种家培育出一大批高抗倒伏、高产的紧凑型杂交种, 如李登海等^[1]选育出“掖单”、“登海”两大系列 30 多个紧凑型杂交种在全国各地种植。据农业部统计, 年种植面积约 666.7 万 hm^2 以上, 约占全国玉米种植面积的 1/3 以上, 累计推广面积为 4 200 万 hm^2 , 增产粮食 300 亿 kg, 增加社会效益 300 亿元。与此同时, 氮肥的施用量也迅速增加。在北京郊区玉米高产纪录中, 施纯氮量高达 878 kg/hm^2 , 平均每公斤纯氮仅生产玉米 24.2 kg。我国其他地区的玉米生产也同样反映出相同的趋势,

即随氮肥施入量的提高, 产量并不是相应增加, 氮肥的生产率在明显下降。秋收时节, 昔日玉米田的金黄景象被青枝绿叶所代替, 收获期有些高产玉米田的茎秆 $\text{NO}_3\text{-N}$ 残留量高达 300 mg/kg ^[2]。另一方面, 由于氮肥的大量施用, 我国许多城市近郊的地下水的硝态氮含量已严重超标, 根据北方 14 个县市的调查结果, 69 个点中有半数以上超过饮用水硝酸盐含量的最大允许量(50 mg/L), 其中最高者达 300 mg/L ^[3], 已对城市居民的日常生活构成危害。

不同基因型玉米对氮素吸收、利用的能力不同, 取得高产的生理策略也不同, 这不仅表现在对增施氮肥的反应差异上, 而且还反映在植株体内氮素的分配与利用上^[4,5]。一些学者认为选择吸氮量较高的玉米品种或许可以消耗更多的土壤硝态氮, 从而减少高温雨季硝态氮的淋失, 保护和改善环境。因此玉

收稿日期: 2002-10-16

作者简介: 陈范骏(1972-), 男, 中国农业大学植物营养系, 农学博士, 从事玉米营养高效育种研究。

基金项目: 国家自然科学基金(39770438)和 973 项目(G1999011707)资助。

米氮效率育种既要挖掘其生产潜力,培育超高产品种,又要培育适应低氮条件的经济高效品种,以适应未来发展的需要。我国对于玉米氮效率基因型差异已经有一定的认识,但是氮高效品种的选育工作需要进一步深入。本研究主要目的是对我国华北地区的部分玉米主栽品种的氮效率作出评价,为生产中推荐氮高效品种,并对其高产生理基础进行剖析,深入探讨氮效率构成性状对氮效率的贡献,为玉米氮高效育种提供依据。

1 材料与方法

1999年试验在北京市大兴县解放军后勤指挥学院农场进行。试验地土壤类型系砂姜潮土,试验田地力较为一致,低等肥力,0~30 cm土壤基础性状为全氮0.067%、Nnim11.79 kg/hm²(铵态氮1.25 mg/kg、硝态氮3.99 mg/kg)、速效磷3.90 mg/kg、速效钾25.60 mg/kg。玉米自交系和品种于5月14日播种,9月16日收获。生育期间出现罕见的高温干旱天气,7月份日平均气温达到或超过30℃的日数达12天,7月24日最高气温达到42.2℃;降水明显减少,从4月下旬至9月下旬降水总量274.9 mm,比常年同期少60%以上^[6]。由于灌溉条件有限,所以玉米拔节至抽雄期遭受卡脖旱,严重影响了玉米的授粉和结实。

2000年试验在北京市农学院农学系农场进行。试验地土壤类型系潮土,试验田地力一致,中等肥力,0~30 cm土壤基础性状为全氮0.097%、Nnim106.98 kg/hm²(铵态氮1.91 mg/kg、硝态氮45.83 mg/kg)、Olsen-P 29.99 mg/kg、速效钾97.36 mg/kg。虽然生育期间也较为干旱,但经多次灌水,干旱得到缓解。

1.1 供试材料

收集我国华北地区主栽玉米杂交种共8份,见表1。

表1 供试玉米杂交种

品种	育种单位	品种	育种单位
西玉3号	山东莱州市种苗研究所	中单2996	中国农科院作物所
中原单32	中国农科院原子能所	唐抗5	河北唐山市农科所
农大108	中国农业大学农学系	中单321	中国农科院作物所
农大1236	中国农业大学农学系	中玉4号	中国农科院品质所

1.2 试验处理

试验采用裂区设计,以8个试验品种作为主处理,安排在副区,低氮和高氮作为副处理,安排在主区。重复3次,4行小区,行长5 m,行距0.5 m,株距

0.33 m。1999年,各处理播种前施基肥磷酸二铵(P₂O₅)69 kg/hm²,KCl(K)75 kg/hm²。高氮处理施碳铵(N)75 kg/hm²,在大喇叭口期追施(N)150 kg/hm²。2000年,各处理施基肥KCl(K)78.5 kg/hm²,高氮处理施尿素(N)200 kg/hm²,基肥、追肥(大喇叭口期)各一半。低氮处理不施氮。

1.3 测定项目

2000年吐丝期每小区取样3株,样品分为茎、叶、子粒三部分,烘干、粉碎,测定植株生物量、氮浓度。两年的成熟期每小区取样15株,考种记录子粒产量;取3株测定植株生物量和氮浓度。

1.4 分析方法

氮浓度:凯氏定氮法

氮收获指数(Nitrogen Harvest index, NHI)=子粒氮含量/总吸氮量

氮转移量=开花时营养体吸氮量-成熟时营养体氮残留量

氮转移率(%) (Nitrogen Translocation Efficiency, NTE)=氮转移量/开花时营养体吸氮量×100

叶绿素含量:用日产CHLOROPHYLL METER SPAD-502型叶绿素测定仪测定

氮营养效率依Moll(1982)^[8]的计算方法:(1)氮效率(Nitrogen Use Efficiency, NUE),计算公式为:氮效率=子粒产量/供氮量,供氮量为耕层土壤氮(即Nnim)与施氮量之和。(2)氮吸收效率(Nitrogen Uptake Efficiency, NUPE)指全生育期植株总吸收氮量占土壤总供氮量的比例,计算公式为:氮吸收效率=植株总吸氮量/供氮量,这里需要指出的是,植株总吸氮量中包括了土壤氮和肥料氮。(3)氮利用效率(Nitrogen Utilization Efficiency, NUTE)指单位植株吸收的氮所能形成的产量,其计算公式为:氮利用效率=产量/植株总吸氮量。

2 结果与分析

2.1 玉米杂交种的产量、生物量和吸氮量的方差分析

玉米杂交种产量、生物量和吸氮量的方差分析结果(表2)表明,品种间成熟期的生物量、产量和吸氮量的差异都达到了显著或极显著水平。1999年氮处理间生物量未达到显著水平,而且出现部分品种低氮处理的产量高于高氮处理的现象(表3),这主要与当年的气候与土壤条件有关,该年度试验地土壤质地砂性较强,保水性较差,7月份出现持续高温天气,而灌水不及时,玉米拔节至抽雄期受“卡脖旱”

严重。高氮处理植株前期地上部生长较旺，蒸腾量大，而根系分布较浅，吸水不足，因而受旱更为严重，氮肥效果未能体现。另外，因为供水不足限制了植株的生长和代谢活性，肥料利用率降低^[7]。2000 年的氮处理间，除成熟期生物量外其余也未达到显著水平，

其主要原因是地力较为肥沃，播前土壤中 N_{nim} 含量较高 (47.74 mg/kg)，高氮处理已属过量施氮，因而一些品种在高氮下的产量低于低氮处理。品种×处理的互作效应，除 2000 年成熟期吸氮量外，其余都未达到显著水平。

表 2 玉米品种产量、生物量和吸氮量的方差分析

变异来源	1999 年			2000 年				
	产量	生物量	吸氮量	产量	生物量		吸氮量	
		成熟期			吐丝期	成熟期	吐丝期	成熟期
重复	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
品种	**	*	**	**	NS	**	NS	**
处理	*	NS	*	NS	NS	**	NS	NS
品种×处理	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**

NS、*、** 分别表示不显著，在 5%、1%水平显著

表 3 1999 年玉米杂交种在两个氮水平下的产量和吸氮量

杂交种	施氮量	产量	吸氮量(kg/hm ²)		氮收获 指数	杂交种	施氮量	产量	吸氮量(kg/hm ²)		氮收获 指数
	(kg/hm ²)	(kg/hm ²)	总氮	子粒			(kg/hm ²)	(kg/hm ²)	总氮	子粒	
	225						27				
西玉 3 号		7 558	175.27	106.95	0.61	西玉 3 号		8 065	200.39	102.82	0.51
中原单 32		4 950	138.34	70.02	0.51	中原单 32		6 184	147.61	100.35	0.68
农大 108		6 677	219.21	95.58	0.44	农大 108		8 930	179.88	111.31	0.62
农大 1236		6 550	212.71	113.00	0.53	农大 1236		7 527	170.68	113.71	0.67
中单 2996		7 197	182.13	114.88	0.63	中单 2996		6 184	129.51	91.72	0.71
唐抗 5		4 078	125.15	79.43	0.63	唐抗 5		5 335	119.71	85.20	0.71
中单 321		6 514	163.09	95.50	0.59	中单 321		7 440	138.26	95.50	0.69
中玉 4 号		6 357	164.33	94.81	0.58	中玉 4 号		5 687	163.42	83.27	0.51
平均值		6 235	172.53	96.27	0.56	平均值		6 919	156.18	97.98	0.63
LSD(0.05)		1 936	38.98	28.12	0.15	LSD(0.05)		2 143	35.81	32.63	0.14

表 4 2000 年玉米杂交种在两个氮水平下的产量和吸氮量

杂交种	施氮量 (kg/hm ²)	产量 (kg/hm ²)	吸氮量(kg/hm ²)					氮转移率	氮收获指数	
			总氮	子粒	吐丝茎叶	成熟茎叶	氮转移量			
207										
西玉 3 号		7 275	200.22	107.02	129.37	93.21	36.05	27.50	0.53	
中原单 32		9 309	250.30	134.30	183.84	116.00	66.71	34.04	0.54	
农大 108		9 422	231.28	123.77	149.95	107.51	41.99	27.17	0.54	
农大 1236		6 791	181.66	91.29	130.75	90.37	40.37	31.13	0.50	
中单 2996		11 271	218.53	168.09	140.19	50.44	89.15	62.43	0.77	
唐抗 5		6 887	143.12	90.14	107.50	52.99	55.44	47.47	0.63	
中单 321		10 103	228.97	145.55	129.22	83.43	46.41	35.99	0.64	
中玉 4 号		9 322	256.65	132.14	163.53	124.51	38.53	23.17	0.51	
平均值		8 797	213.84	124.04	141.79	89.81	51.83	36.11	0.58	
LSD(0.05)		2 286	52.71	30.08	57.69	27.32	44.98	19.72	0.06	
0										
西玉 3 号		8 585	223.28	131.44	153.12	91.84	59.77	37.01	0.59	
中原单 32		8 262	209.08	114.54	107.94	94.54	13.34	5.84	0.55	
农大 108		10 002	265.38	151.13	176.51	114.25	61.90	35.07	0.57	
农大 1236		6 859	163.61	96.44	151.39	67.17	84.61	55.87	0.59	
中单 2996		11 698	214.74	147.31	164.12	67.43	95.64	58.56	0.69	
唐抗 5		7 152	177.82	103.25	140.70	74.57	65.92	45.73	0.58	
中单 321		9 754	194.60	132.54	143.05	62.06	81.44	56.85	0.68	
中玉 4 号		9 833	282.46	146.82	143.34	135.64	7.80	4.29	0.52	
平均值		9 018	216.37	127.93	147.52	88.44	58.80	37.40	0.59	
LSD(0.05)		2 709	62.32	38.45	55.66	28.50	44.75	24.75	0.06	

2.2 玉米杂交种的产量和吸氮量

在同一氮水平下，不同玉米杂交种间的产量、吸

80

氮量都存在显著的差异(表 3、表 4)。两年结果表明，低氮条件下，农大 108 表现出很强的耐低氮和抗逆

性,产量处在前列;而唐抗 5 和中原单 32 产量一直处于倒数几位,耐低氮能力较弱。产量、总氮、吐丝期、成熟期茎叶、子粒吸氮量和氮转移量、氮转移效率各品种间变异幅度分别为 18%~19%、15%~19%、15%、22%、17%~19%、45%、50%。高氮条件下,中单 2996、农大 108 具有较高生产潜力,两年均保持很高产量。产量、总氮、吐丝期、成熟期茎叶、子粒吸氮量和氮转移量、氮转移效率各品种间变异幅度分别为 19%、18%~19%、17%、30%、16%~22%、35%、36%。

农大 108 在两个氮水平下都具有较高的产量,吸氮量也较高,吐丝期吸氮量占总氮量的 65%,茎叶残留氮量多,氮转移率低,只有 27.17%,氮收获指数为 0.54。在肥力较高的土壤上不施氮时,吸氮量并没有降低,吐丝期吸氮量占总氮量的 67%,成熟期茎叶残留氮量仍很多,氮转移率有所提高,达到 35.07%,氮收获指数为 0.57。这说明在两个施氮条件下,农大 108 开花后期吸氮能力都较强,对子粒中氮素积累起重要作用。另一个高产品种中单 2996,在高氮条件下,吐丝期吸氮量较高,占总氮量的 64%,茎叶残留氮量少,氮转移率高达 62.43%,氮收获指数为 0.77。低氮条件下,吐丝期吸氮量更高,占总氮量的 76%,成熟期茎叶残留氮量少,氮转移率高达 58.56%,氮收获指数为 0.69。这说明中单 2996

在两个氮水平下,植物体内氮素再利用能力较强。唐抗 5 两年在两个氮水平下,产量水平都很低,吸氮量也较低。西玉 3 号和农大 1236 在两年内、两个氮水平下的产量一直较为稳定。在土壤贫瘠、干旱的环境下,两个品种有一定的产量优势,但在土壤肥沃、水分充足的环境下,就丧失了产量优势,吸氮量也不高。其他品种两年内,两个氮水平下的吸氮量有较大变化,产量也有较大浮动。

2.3 玉米杂交种氮效率构成因素分析

由表 5 可以看出,不同玉米杂交种在两个氮水平下的吸收效率、利用效率和氮效率存在显著差异。与低氮相比,高氮条件下吸收效率、利用效率和氮效率都呈下降趋势,2000 年的结果由于基础硝态氮较高,因而利用效率并未下降。其中农大 108 两年的结果都表明,在两个氮水平下都具有较高的吸收效率和氮效率。中单 2996 在高氮条件下和基础硝态氮很高的低氮土壤上,两年都表现出较高的利用效率和氮效率。这说明两种氮高效类型品种,取得高产的生理机制并不相同。唐抗 5 在两个氮水平下两年都表现出较低的吸收效率、利用效率和氮效率。

通径分析表明(表 6),两年的田间试验结果都显示吸收效率对氮效率的直接作用均大于利用效率的直接作用。说明对于大多数当前主栽杂交种来说,根系的吸氮能力对最终产量的形成有很重要的作用。

表 5 玉米杂交种在两个氮水平下的氮效率

杂交种	施氮量 (kg/hm ²)	1999 年			施氮量 (kg/hm ²)	2000 年		
		吸收效率 (kg/kg)	利用效率 (kg/kg)	氮效率 (kg/kg)		吸收效率 (kg/kg)	利用效率 (kg/kg)	氮效率 (kg/kg)
	225				207			
西玉 3 号		0.74	43.07	31.92		0.64	37.04	23.17
中原单 32		0.58	36.72	20.90		0.80	37.36	29.65
农大 108		0.93	30.41	28.20		0.74	38.99	28.41
农大 1236		0.90	29.28	26.25		0.58	34.32	21.63
中单 2996		0.77	39.41	30.39		0.70	51.80	35.89
唐抗 5		0.53	27.28	14.41		0.46	47.63	21.93
中单 321		0.69	39.58	27.51		0.73	44.06	30.58
中玉 4 号		0.69	36.95	25.44		0.82	36.30	29.69
平均值		0.72	34.50	24.80		0.68	40.94	27.62
LSD(0.05)		0.17	8.40	8.18		0.17	4.08	6.36
	27				0			
西玉 3 号		5.17	40.34	207.91		2.09	38.51	75.56
中原单 32		3.81	41.25	159.42		1.95	39.53	77.22
农大 108		4.64	50.08	230.22		2.48	37.86	102.82
农大 1236		4.40	44.09	194.05		1.53	41.67	64.10
中单 2996		3.34	52.55	159.43		2.01	54.48	104.66
唐抗 5		3.09	44.87	137.53		1.66	40.42	66.84
中单 321		3.56	53.90	191.81		1.82	50.04	91.16
中玉 4 号		4.21	35.01	146.61		2.64	34.73	91.90
平均值		3.72	46.08	165.88		2.02	42.15	84.28
LSD(0.05)		0.92	20.20	55.26		0.58	4.20	18.71

表 6 两个氮水平下玉米杂交种氮效率构成因素的通径分析

通径	氮水平	1999 年			2000 年		
		直接通径系数	间接通径系数	相关系数	直接通径系数	间接通径系数	相关系数
氮吸收效率对	HN	0.993 6		0.666 9*	0.902 0		0.698 9*
氮效率	LN	1.004 9		0.716 7*	0.993 6		0.666 9*
通过氮利用效率	HN		-0.326 7			-0.203 1	
	LN		-0.288 2			-0.326 7	
氮利用效率对	HN	0.775 4		0.356 8	0.715 4		0.459 4
氮效率	LN	0.724 6		0.324 9	0.775 4		0.356 8
通过氮吸收效率	HN		-0.418 6			-0.256 0	
	LN		-0.399 7			-0.418 6	

多元决定系数 R^2 : 1999 年 $R^2=0.939\ 2(\text{HN})$, $R^2=0.955\ 5(\text{LN})$; 2000 年 $R^2=0.959\ 0(\text{HN})$, $R^2=0.939\ 2(\text{LN})$

3 讨论

从两年的试验结果可以看出, 西玉 3 号的稳产性较好, 适于在贫瘠土壤和灌溉水平不高的地区推广。农大 108 在高氮条件下、在两种土壤上, 吸氮量都较高, 但茎秆残留多, 氮转移率低, 可以推测土壤中氮残留少, 有利于减少高肥投入地区硝态氮的淋洗。由于体内积累较高的氮素, 农大 108 又是绿熟型品种, 是非常理想的优质饲料, 或者秸秆还田, 可以减少氮素损失。但是, 如果秸秆被焚烧, 则会损失氮素。低氮条件下在肥力较高的土壤上, 农大 108 吸氮量并未减少, 茎秆残留仍很多, 氮转移率虽有所提高, 但开花后期吸氮能力较强, 在两年两种土壤上都取得较高的产量, 所以也适于在贫瘠土壤和灌溉水平不高的地区推广。在两种土壤条件下, 农大 108 都表现出较高的氮吸收效率, 是它取得高产的生理策略。中单 2996 在两个氮水平和两种土壤条件下, 吸氮量相对较高, 茎秆残留少, 氮转移率较高, 高氮条件下土壤中氮残留可能会多, 在高产区使用时应注意减少氮肥的过量施用。在两种土壤条件下, 中单 2996 都表现出较高的氮利用效率, 是它取得高产的生理策略。常年推广的唐抗 5 号, 由于对氮肥施用不敏感, 产量水平较低, 应尽早地更新换代。

有关氮效率的决定因素有很大争议。Moll^[8]认为低氮条件下利用效率是氮效率变异的主要来源, 而高氮条件下吸收效率则起决定作用。Dhugga 和 Waines^[9]在三个氮水平下研究 14 个小麦品种的氮效率与其组成性状之间的关系, 发现任何一个施氮水平下吸收效率都是氮效率变异的来源。米国华等^[10]研究认为低氮或高氮条件下, 玉米氮吸收效率和利用效率对氮效率均具有显著的直接作用, 但在低氮

条件下, 吸收效率的决定作用要明显大于利用效率。本试验两年的田间结果都显示, 低氮或高氮条件下, 吸收效率对氮效率的直接作用均大于利用效率的直接作用。说明对于大多数当前主栽杂交种来说, 根系的吸氮能力决定着氮效率的高低, 但也不排除象中单 2996 这种利用效率较大品种的存在。因此, 吸收效率和利用效率对氮效率基因型差异的相对重要性随作物种类、基因型和环境条件的变化而变化, 其中施氮水平的影响较大。

参考文献:

- [1] 李登海. 从事紧凑型玉米育种的回顾与展望[J]. 作物杂志, 2000 (5): 1-5.
- [2] 张福锁, 米国华, 刘建安. 玉米氮效率遗传改良及其应用[J]. 农业生物技术学报, 1997, 5(2): 112-117.
- [3] 张维理, 田哲旭, 张 宁, 等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 80-87.
- [4] Pollmer WG, Eberhard D, Klein D and Dhillon BS. Studies on maize hybrids involving inbred lines with varying protein content [J]. Z. Pflanzenzuecht, 1978, 80: 142-148.
- [5] 刘建安, 米国华, 张福锁. 不同基因型玉米氮效率差异的比较研究[J]. 农业生物技术学报, 1999, 7(3): 248-254.
- [6] 刘中丽. 1999 年北京地区玉米生育期农业气象条件分析[J]. 北京农业科学, 2000, 18(2): 39-40.
- [7] 胡昌浩主编. 玉米栽培生理[M]. 中国农业出版社, 1991, 37-49.
- [8] Moll RH, Kamprath EJ and Jackson WA. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization[J]. Agron. J., 1982, 74: 562-568.
- [9] Dhugga KS and waines JG. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread durum wheat[J]. Crop Sci., 1989, 29: 1232-1239.
- [10] 米国华, 刘建安, 张福锁. 玉米杂交种氮效率的构成因素分析[J]. 中国农业大学学报, 1998, 3(增刊): 97-104.

联系电话: 010-62893533 传真: 010-62891016