

doi: 10.11838/sfsc.20160506

低氮用量对不同类型玉米果穗性状的影响

冯云超, 余志江, 霍仕平*, 张兴端, 张 健, 晏庆九, 向振凡, 张芳魁

(重庆三峡农业科学院, 重庆市山地生态农业工程技术研究中心, 重庆 万州 404155)

摘 要: 通过两年田间试验, 以3种类型(高产耐低氮、高产不耐低氮和低产不耐低氮)6个玉米品种为试材, 研究了低氮胁迫水平对玉米单株粒重及构成性状的影响。结果表明: 施氮水平对单株粒重、穗长、穗粗、秃尖、行粒数、百粒重的影响显著或极显著, 对穗行数无明显影响。3类品种的单株粒重、穗长、穗粗、行粒数、百粒重均随低氮胁迫强度增加呈现降低的趋势, 与正常施氮水平相比, 在极端(0 kg/hm²)和重度低氮胁迫时(45 kg/hm²), 高产耐低氮品种的单株粒重、穗长、穗粗、行粒数、百粒重分别降低25.9%和12.0%、6.5%和0.9%、7.1%和3.6%、9.9%和3.2%、15.3%和6.7%, 降幅均小于其余两类型品种。低氮胁迫时, 各类型品种间秃尖长和百粒重差异更明显, 分别达124.44%和9.39%。秃尖长随氮胁迫强度增加而增大, 但在极端和重度低氮胁迫时, 高产耐低氮品种和高产不耐低氮品种平均秃尖长仍比低产不耐低氮品种短, 秃尖较长可能是低产不耐低氮品种的重要特征。由此认为, 在玉米新品种特别是耐瘠品种培育过程中, 更应关注果穗结实性和百粒重, 通过减少秃尖长, 增加行粒数和增加籽粒长度提高百粒重来提高单株籽粒产量。

关键词: 低氮胁迫; 不同类型玉米品种; 单株粒重; 果穗性状

中图分类号: S143.1; S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257(2016)05-0030-07

目前, 我国玉米生产中氮肥施用量较高^[1], 而利用效率仅为26.1%^[2], 远低于国际水平。降低氮肥用量, 提高氮素利用效率, 是现代农业生产的新要求, 是农业科技工作者追求的目标, 是当前和今后作物遗传育种与高产高效栽培领域的新课题^[3-4], 培育高产耐低氮玉米品种是提高氮肥利用效率的有效途径^[5-10]。王晓慧等^[7]和Chen等^[8]分别根据氮效率把我国北方和东北地区玉米品种分成了4种类型, 高产氮高效品种最少; 冯云超等^[10]和李强等^[11]研究表明, 目前生产上利用的玉米品种只有部分具有耐低氮性。张海燕等^[12]对我国1950年以来生产上大面积应用的35个玉米品种进行研究, 认为我国玉米品种的耐低氮能力没有明显提高, 而钱春荣等^[3,13]、Ding等^[14]、李从锋等^[9]和张仁和等^[15]研究均认为, 玉米氮肥吸收利用率

随着年代的增加呈递增趋势。

关于施氮量对玉米生长发育特性、植株及果穗性状的影响已有较多报道^[3,12,15-17], 为玉米高产栽培、耐低氮品种选育及氮高效利用奠定了较好的理论基础。有研究表明, 不同品种果穗性状对低氮胁迫的响应存在明显差异^[3,12,15,17], 培育耐低氮玉米品种应在低氮条件下选育自交系^[12,18], 以改进低氮条件下自交系根系生长速率^[19], 在选择中注重穗部、根系与叶片性状的结合^[20]。不同时期玉米品种对低氮胁迫的响应已有报道^[3,12,15], 根据我国部分区域的玉米品种耐低氮能力进行了分类^[7-8,10-11,15], 但低施氮量对不同类型玉米品种果穗性状的影响鲜见报道。本文以高产耐低氮、高产不耐低氮、低产不耐低氮3种类型6个玉米品种为试验材料, 设置了4种不同水平的低氮胁迫处理, 以正常氮肥用量(450 kg/hm²)为对照, 研究低氮胁迫对玉米果穗的影响, 以期筛选高产耐低氮玉米品种或材料提供依据。

1 材料与与方法

1.1 试验设计

试验于2013~2014年在重庆三峡农业科学院梁平试验基地进行。供试土壤为石灰土, 表层(0~20

收稿日期: 2015-06-25; 最后修订日期: 2015-09-12

基金项目: 重庆市良种创新工程项目(CSTC, 2012ggC80006; CSTC, 2012ggC80004; CSTC, 2012ggC80003; CSTC, 2012ggC80007); 重庆市农业科技成果转化重点项目(CSCT2013jcsf-nycgzh80006)。

作者简介: 冯云超(1983-), 男, 四川省丹棱人, 硕士, 助理研究员, 主要从事玉米遗传育种研究。E-mail: yunchaofeng2006@163.com。

通讯作者: 霍仕平, E-mail: huosp4936@sina.com。

cm) 土壤理化性质: 有机质 18.9 g/kg、碱解氮 57.8 mg/kg、有效磷 (P) 15.0 mg/kg、速效钾 (K) 171.0 mg/kg、pH 值 5.6。试验采取两因素裂区试验设计, 以施氮量为主处理, 供试材料为副处理。2013 年施氮量 (尿素: N 46%) 设 45、180、315、450 kg/hm² 4 个水平, 其中 450 kg/hm² 为正常施氮水平 (大面积生产常用施氮水平), 其余分别为重度、中度、轻度低氮胁迫处理; 2 次重复, 2 行区, 小区面积为 1.67 m × 4 m, 供试材料为 37 个玉米新品种 (组合)。通过对 37 个品种 (组合) 植株性状、籽粒产量及其构成性状的分析, 从中筛选出 3 种类型 6 个

品种 (组合)^[10] (表 1) 于 2014 年继续研究。为消除上年施肥对试验结果的影响, 2014 年田间试验在本院试验基地的另一地块进行, 表层土壤理化性质: 有机质 14.8 g/kg、碱解氮 65.4 mg/kg、有效磷 (P) 39.2 mg/kg、速效钾 (K) 254.4 mg/kg、pH 值 6.0。施氮量除 45、180、315、450 kg/hm² 4 个水平外, 增设了 0 kg/hm² (极端低氮)。3 次重复, 4 行区, 小区面积为 3.33 m × 4 m。两年施氮时间均为苗期、拔节期和孕穗期, 各期用量分别占施氮总量的 20%、40%、40%。4 月上旬播种, 采用人工点播, 种植密度为 48 000 株/hm², 其他栽培管理措施同大田生产。

表 1 供试玉米品种 (组合) 编号及来源

编号	玉米类型	基因型	来源	选育单位
1	高产耐低氮	三峡玉 9 号	XZ049-4 × XZ41P	重庆三峡农业科学院
2	高产耐低氮	先玉 508	PH6WC × PH5AD	铁岭先锋种子研究有限公司
3	高产不耐低氮	金 13-2	08X38-2 × XZ071-4	重庆金穗种业有限责任公司
4	高产不耐低氮	金穗 98	XZ071-4 × WZ085-3	重庆金穗种业有限责任公司
5	低产不耐低氮	高瑞 171	XZ41P × XZ0211-2	重庆三峡农业科学院
6	低产不耐低氮	潞玉 13	海 9-21 × 1572	山西潞玉种业股份有限公司

1.2 测定项目及方法

成熟期调查空秆率、双穗率, 2013 年收获各小区全部果穗, 2014 年收获各小区中间 2 行果穗, 每小区均随机选取 10 个果穗测定穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、百粒重。小区内全部果穗混合脱粒晒干称重, 统一以含水量 14% 折算成小区产量, 小区产量/小区收获株数即为单株粒重 (g/株)。

1.3 数据处理与分析

用 Excel 2003 进行数据整理计算, 用 SPSS 19.0 对数据进行方差和相关分析。2013 和 2014 年两年试验结果趋势相似, 且 2014 年施氮水平增设 0 kg/hm², 因此本文主要以 2014 年数据为例进行分析。

2 结果与分析

2.1 低氮对单株粒重的影响

试验表明, 低氮引起玉米单株粒重降低 (表 2)。与正常施氮水平 (450 kg/hm²) 相比, 2013 年施氮水平为 45、180 和 315 kg/hm² 时, 高产耐低氮品种分别降低 22.1%、10.1% 和 2.8%, 高产不耐低氮品种分别降低 31.1%、18.1% 和 2.3%, 低产不耐低氮品

种分别降低 30.3%、8.0% 和 -2.7%; 2014 年施氮水平为 0、45、180 和 315 kg/hm² 时, 高产耐低氮品种分别降低 25.9%、12.0%、8.1% 和 7.3%, 高产不耐低氮品种分别降低 34.6%、26.8%、12.5% 和 5.6%, 低产不耐低氮品种分别降低 42.1%、21.0%、7.3% 和 2.7%。可见, 3 种类型品种单株粒重降低幅度均随低氮胁迫强度增加而逐渐增大, 但轻度低氮胁迫 (315 kg/hm²) 时单株粒重降低幅度不同类型品种间差异不大, 最大极差仅为 5.5 个百分点 (2013 年), 中度低氮胁迫 (180 kg/hm²) 时单株粒重降低幅度不同类型品种间差异增大, 最大极差达 10.1 个百分点 (2013 年), 重度低氮胁迫 (45 kg/hm²) 时单株粒重降低幅度不同类型品种间差异进一步增大, 最大极差达 14.8 个百分点 (2014 年), 极端低氮胁迫 (0 kg/hm²) 时单株粒重降低幅度不同类型品种间极差达到 16.2 个百分点。在重度和极端低氮胁迫时, 高产耐低氮品种单株粒重降低幅度远小于其余两种类型品种。

多重比较结果 (表 2) 表明, 不同品种单株粒重对低氮胁迫的反应有差异。与正常施氮比较, 三峡玉 9 号在轻度、中度和重度低氮胁迫下单株粒重无明显降低, 年度间结果一致; 先玉 508 在轻度、

中度和重度低氮胁迫下单株粒重 2013 年无明显降低, 2014 年显著降低; 金 13-2 和金穗 98 在轻度低氮胁迫下单株粒重无明显降低, 在中度和重度低氮胁迫下单株粒重显著降低, 年度间趋势一致; 潞玉 13 和高瑞 171 在轻度和中度低氮胁迫下单株粒重无明显降低, 在重度低氮胁迫下单株粒重显著降

低, 但潞玉 13 年度间趋势一致, 高瑞 171 年度间有差异。所有品种在极端低氮胁迫下单株粒重均显著低于其它低氮胁迫水平。这些结果说明, 低氮胁迫强度对多数品种单株粒重影响程度年度间趋势比较一致, 在单株粒重方面三峡玉 9 号是所有参试品种中耐低氮能力最强的。

表 2 不同类型玉米品种在不同施氮水平的单株粒重比较 (g/株)

玉米类型	基因型	年份	氮素水平 (kg/hm ²)					
			0	45	180	315	450	
高产耐低氮	三峡玉 9 号	2013	—	150.2 ± 12.8a	180.7 ± 33.7a	188.9 ± 0.2a	201.2 ± 9.1a	
		2014	109.3 ± 9.3b	140.9 ± 8.2a	148.9 ± 10.3a	148.9 ± 8.0a	158.5 ± 3.3a	
	先玉 508	2013	—	165.1 ± 13.9a	183.6 ± 15.2a	205.0 ± 13.0a	203.8 ± 1.0a	
		2014	131.9 ± 5.1c	145.7 ± 8.1b	150.3 ± 7.1b	153.0 ± 9.6b	167.0 ± 8.2a	
	均值		2013	—	157.7	182.1	196.9	202.5
			2014	120.6	143.3	149.6	150.9	162.8
高产不耐低氮	金 13-2	2013	—	141.4 ± 5.4c	169.9 ± 4.8b	213.1 ± 21.6a	215.9 ± 15.1a	
		2014	116.7 ± 3.1c	126.1 ± 4.7c	156.3 ± 5.9b	172.6 ± 6.9a	181.4 ± 5.4a	
	金穗 98	2013	—	153.2 ± 10.8c	180.3 ± 1.5b	204.8 ± 4.2ab	211.8 ± 9.3a	
		2014	115.1 ± 10.5d	133.4 ± 7.6c	154.2 ± 6.8b	162.0 ± 5.3ab	173.2 ± 8.7a	
	均值		2013	—	147.3	175.1	209.0	213.9
			2014	115.9	129.7	155.2	167.3	177.3
低产不耐低氮	高瑞 171	2013	—	128.1 ± 3.8c	158.0 ± 5.3b	182.0 ± 6.4a	172.0 ± 12.6ab	
		2014	74.6 ± 6.5c	99.2 ± 6.3b	116.5 ± 7.1a	125.7 ± 2.8a	127.1 ± 13.5a	
	潞玉 13	2013	—	124.2 ± 5.7b	175.0 ± 16.1a	189.5 ± 1.6a	189.8 ± 8.0a	
		2014	81.6 ± 5.5c	113.8 ± 6.0b	133.5 ± 3.0a	136.6 ± 3.5a	142.5 ± 6.8a	
	均值		2013	—	126.1	166.5	185.8	180.9
			2014	78.1	106.5	125.0	131.1	134.8

注: 同列数据不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平。“—”表示低氮处理不存在。下同。

2.2 低氮对单株粒重构成性状的影响

不同施氮水平间, 同一施氮水平不同品种间的穗长、穗粗、秃尖长、行粒数和百粒重差异达显著或极显著水平, 且施氮与品种间存在极显著的交互效应 (表 3)。施氮水平对同一品种穗行数无明显影响, 但同一施氮水平不同品种间穗行数仍然存在极显著差异。说明低氮胁迫能对玉米品种除穗行数以外的其它果穗性状发育产生明显影响, 但不同品种果穗性状发育对低氮胁迫的响应有较大差异。

穗部性状平均数 (所有施氮水平平均数) 分析结果表明, 各类型品种穗长、穗粗、穗行数和行粒数平均数变异较小, 差异 [(最大值 - 最小值) / 最大值] 分别为 2.76%、3.84%、1.77% 和 9.21%,

变异系数分别为 6.1%、4.7%、5.2% 和 7.2%; 而秃尖长和百粒重平均数差异分别达 124.44% 和 9.39%, 变异系数分别为 48.2% 和 11.7%。说明低氮胁迫对不同类型玉米品种果穗穗长、穗粗、穗行数和行粒数等性状的影响相对较小, 对秃尖长和百粒重的影响相对更大。

根据笔者已有的研究^[10], 在重度低氮胁迫时 (45 kg/hm²) 不同玉米品种产量及其组成性状才表现出明显差异, 认为重度低氮胁迫是玉米品种耐低氮鉴定的适宜施氮量。因此, 本文在分析低氮胁迫对单株粒重及果穗性状的影响时以品种对重度和极端低氮胁迫的响应为依据。从表 3 可知, 穗长、穗粗、行粒数、百粒重均随着施氮量的降低呈现降低的趋势。与正常施氮水平相比, 极端低氮胁迫时高

表3 不同类型玉米品种在不同施氮水平的果穗性状比较 (2014 年)

玉米类型	基因型	氮素水平	穗长 (cm)	穗粗 (cm)	秃尖长 (cm)	穗行数 (行)	行粒数 (粒)	百粒重 (g)	
高产耐 低氮	三峡玉9号	0	20.4 ± 0.2c	4.6 ± 0.1b	1.63 ± 0.32a	18.1 ± 0.5a	35.0 ± 0.9b	19.4 ± 1.1c	
		45	22.1 ± 0.5ab	4.9 ± 0.1a	1.00 ± 0.10b	17.7 ± 0.6a	39.0 ± 0.9a	22.2 ± 1.0b	
		180	21.8 ± 0.3b	4.9 ± 0.1a	0.93 ± 0.12b	17.2 ± 0.5a	39.0 ± 0.7a	23.3 ± 0.3a	
		315	22.2 ± 0.4ab	5.0 ± 0.1a	0.70 ± 0.17bc	18.1 ± 0.2a	39.8 ± 0.9a	23.0 ± 0.6ab	
		450	22.5 ± 0.2a	5.0 ± 0.2a	0.43 ± 0.06c	18.2 ± 0.5a	40.3 ± 0.6a	23.4 ± 0.4a	
	先玉508	0	19.8 ± 0.9a	5.0 ± 0.3a	1.40 ± 0.30a	16.0 ± 0.4a	36.0 ± 0.8c	27.2 ± 1.2c	
		45	20.6 ± 0.9a	5.1 ± 0.1a	0.87 ± 0.06b	15.9 ± 0.7a	37.3 ± 0.9ab	29.1 ± 1.0bc	
		180	20.4 ± 0.2a	5.1 ± 0.1a	0.83 ± 0.15b	15.7 ± 0.8a	37.0 ± 0.7bc	30.0 ± 1.1ab	
		315	20.7 ± 0.4a	5.2 ± 0.1a	0.70 ± 0.10bc	15.9 ± 0.2a	38.3 ± 0.6a	30.3 ± 0.8ab	
		450	20.6 ± 0.1a	5.3 ± 0.1a	0.50 ± 0.20c	16.3 ± 0.4a	38.5 ± 0.1a	31.6 ± 1.4a	
	均值	—	21.1	5.0	0.90	16.9	38.0	25.9	
	高产不耐 低氮	金13-2	0	20.6 ± 0.5bc	4.8 ± 0.1b	1.43 ± 0.25a	16.3 ± 0.7a	36.2 ± 0.2c	25.7 ± 1.2b
			45	20.5 ± 0.4c	4.8 ± 0.1b	1.17 ± 0.12ab	15.9 ± 0.4a	37.4 ± 0.4c	23.6 ± 1.0c
			180	21.5 ± 0.4ab	5.2 ± 0.1a	0.97 ± 0.25bc	16.8 ± 0.6a	40.0 ± 0.7b	27.2 ± 1.1ab
			315	22.4 ± 0.5a	5.3 ± 0.2a	0.73 ± 0.06c	16.9 ± 0.4a	41.6 ± 1.7a	27.7 ± 0.8a
450			22.2 ± 0.6a	5.3 ± 0.1a	0.70 ± 0.10c	16.5 ± 0.1a	41.7 ± 0.3a	28.0 ± 1.4a	
金穗98		0	20.1 ± 0.8a	5.0 ± 0.1b	1.47 ± 0.35a	17.2 ± 0.7a	33.5 ± 1.1b	24.3 ± 0.4b	
		45	20.7 ± 0.1a	5.1 ± 0.0b	1.33 ± 0.21a	17.3 ± 0.3a	34.4 ± 0.4b	25.5 ± 0.7b	
		180	21.6 ± 0.4a	5.3 ± 0.2a	0.80 ± 0.00b	17.5 ± 1.0a	36.3 ± 1.0a	27.6 ± 0.4a	
		315	21.7 ± 0.9a	5.3 ± 0.1a	0.77 ± 0.15b	16.9 ± 0.5a	36.8 ± 1.1a	28.3 ± 1.2a	
		450	21.9 ± 0.6a	5.3 ± 0.1a	0.63 ± 0.12b	17.7 ± 0.2a	37.1 ± 0.4a	28.4 ± 0.5a	
均值		—	21.3	5.1	1.00	16.9	37.5	26.6	
低产不耐低氮		高端171	0	18.0 ± 0.8c	4.9 ± 0.1d	2.63 ± 0.31a	15.5 ± 0.4a	30.7 ± 1.5c	20.4 ± 0.0c
			45	19.7 ± 0.3b	5.1 ± 0.1c	2.07 ± 0.21b	16.3 ± 0.3a	32.9 ± 0.1b	23.0 ± 1.1b
			180	21.9 ± 0.4a	5.3 ± 0.1b	2.03 ± 0.21b	16.1 ± 0.5a	34.8 ± 1.2ab	23.8 ± 1.2b
			315	22.2 ± 0.8a	5.5 ± 0.1a	1.97 ± 0.06b	16.2 ± 0.9a	35.3 ± 1.2a	25.7 ± 0.3a
	450		21.4 ± 0.7a	5.5 ± 0.0a	1.43 ± 0.12c	16.5 ± 0.1a	35.7 ± 0.3a	25.6 ± 0.7a	
	潞玉13	0	20.6 ± 0.6c	4.8 ± 0.1c	1.60 ± 0.26a	16.8 ± 0.5a	33.5 ± 0.6c	21.7 ± 1.0b	
		45	22.1 ± 0.4b	5.0 ± 0.1b	1.80 ± 0.10a	16.3 ± 0.8a	34.4 ± 0.5bc	25.3 ± 0.9a	
		180	23.6 ± 0.2a	5.3 ± 0.1a	2.23 ± 0.21a	17.5 ± 0.2a	35.5 ± 0.7b	26.3 ± 1.8a	
		315	23.1 ± 0.3ab	5.3 ± 0.1a	2.30 ± 0.26a	17.2 ± 0.7a	35.0 ± 0.5b	26.4 ± 0.1a	
		450	23.8 ± 1.0a	5.3 ± 0.1a	2.10 ± 0.46a	17.2 ± 0.4a	36.9 ± 0.3a	25.6 ± 0.9a	
	均值	—	21.7	5.2	2.02	16.6	34.5	24.4	
	F 值	总均值		21.4	5.1	1.31	16.8	36.7	25.7
		变异系数 (%)		6.1	4.7	48.2	5.2	7.2	11.7
		主处理: 氮处理		34.26 **	87.15 **	21.23 **	1.98	53.26 **	53.83 **
		副处理: 品种		36.28 **	33.45 **	118.33 **	28.92 **	114.92 **	142.64 **
氮处理 × 品种			4.13 **	2.57 **	6.05 **	1.33	3.11 **	3.11 **	

注: ** 表示在 1% 水平上差异显著。

产耐低氮品种穗长、穗粗、行粒数、百粒重平均降低 6.5%、7.1%、9.9%、15.3%，其中三峡玉 9 号所有性状差异均达显著，先玉 508 行粒数和百粒重差异显著，其余性状差异不显著；高产不耐低氮品种平均降低 7.6%、7.5%、11.5%、11.3%，其中金 13-2 所有性状差异均达显著，金穗 98 穗长差异不显著，其余性状差异达显著；低产不耐低氮品种平均降低 14.6%、9.8%、11.6%、17.9%，所有性状差异均达显著。重度低氮胁迫时高产耐低氮品种穗长、穗粗、行粒数、百粒重平均降低 0.9%、3.6%、3.2%、6.7%，仅有百粒重差异显著；高产不耐低氮品种平均降低 6.7%、6.9%、8.9%、13.0%，只有金穗 98 穗长差异不显著，其余性状差异均达显著；低产不耐低氮品种平均降低 7.6%、6.8%、7.4%、5.8%，只有潞玉 13 百粒重差异不显著，其余性状差异均达显著。由此说明，极端低氮胁迫导致所有品种大多数穗部性状明显变劣，但高产耐低氮品种变劣的程度低于高产不耐低氮和低产不耐低氮品种；重度低氮胁迫时，高产耐低氮品种除百粒重外其余性状对低氮反应均不敏感，而高产不耐低氮和低产不耐低氮品种几乎全部性状均反应敏感。

秃尖长随着施氮量的减少而逐渐增大，与正常施氮水平相比，在极端和重度低氮胁迫时，高产耐低氮品种秃尖长分别增加 225.8% 和 101.1%，高产不耐低氮品种秃尖长分别增加 118.0% 和 88.0%，低产不耐低氮品种秃尖长分别增加 19.8% 和 9.6%。高产耐低氮和高产不耐低氮品种秃尖长增加值反高于低产不耐低氮品种增加值，但在极端和重度低氮胁迫时，高产耐低氮品种和高产不耐低氮品种平均秃尖长仍比低产不耐低氮品种短，其原因可能与低产不耐低氮品种在任何施氮水平秃尖均较长，表现为一种品种特征有关。

2.3 施氮量与果穗性状相关性分析

以施氮量为自变量，果穗性状为因变量进行相关分析。结果（表 4）表明，无论总体（3 类型品种平均数）还是分不同类型品种，施氮量与穗长、穗粗、行粒数和单株粒重均呈显著或极显著正相关；与穗行数相关不显著；与百粒重呈极显著正相关，但高产耐低氮品种相关不显著除外；与秃尖长呈极显著负相关，但低产不耐低氮品种相关不显著除外。说明低氮胁迫是引起玉米品种多数穗部性状变劣的直接原因，且进一步印证了低氮胁迫对不同玉米品种果穗性状的影响以秃尖长和百粒重最明显。

表 4 施氮水平与果穗性状相关系数（2014 年）

玉米类型	穗长	穗粗	秃尖长	穗行数	行粒数	百粒重	单株粒重
高产耐低氮	0.382 *	0.542 **	-0.810 **	0.091	0.662 **	0.304	0.744 **
高产不耐低氮	0.771 **	0.723 **	-0.832 **	0.203	0.627 **	0.806 **	0.933 **
低产不耐低氮	0.617 **	0.843 **	-0.182	0.325	0.757 **	0.676 **	0.808 **
总体	0.552 **	0.656 **	-0.354 **	0.183	0.530 **	0.456 **	0.673 **

注：* 和 ** 分别表示在 5% 和 1% 水平上显著相关。

3 结论与讨论

施氮水平对玉米果穗性状的影响前人已进行了研究，景立权等^[16]指出，施氮水平对玉米品种的总穗数、穗粒数、穗粒重、容重、总粒数、千粒重及产量的影响达到显著或极显著水平。张海燕等^[12]发现，施氮水平对不同年代玉米品种果穗的穗长、行粒数及百粒重的影响最大，而对轴粗无明显影响。本研究以 5 种施氮水平 3 种类型品种的试验结果印证了施氮水平对玉米单株粒重及相关穗部性状具有显著影响的研究结论，所不同的是，本研究同时发现不同类型玉米品种穗部性状对低氮胁迫的响应以秃尖长和百粒重更敏感。由此可以认为，

在玉米新品种培育过程中，更应关注果穗结实性和百粒重，通过减少秃尖长增加行粒数和增加籽粒长度提高百粒重来提高单株籽粒产量。

关于低氮胁迫引起玉米果穗相关性状变劣，产量降低的原因和机制问题，研究结果不尽一致。张海燕等^[12]和张卫星等^[17]研究发现低氮胁迫下玉米果穗短小，秃尖增多，行粒数减少，粒重下降，籽粒产量较正常施氮明显降低。有研究^[21-23]认为低氮胁迫首先是增加籽粒败育，其次通过改变胚珠的数目影响籽粒数，最终降低产量，而 Mozafar^[24]则认为氮胁迫不是败育的直接诱因。另有研究认为，在低氮胁迫下，高产耐低氮玉米品种积累更多的氮素，保持了较大的绿叶面积和较高的叶绿素含

量^[5], 具有较高的光合效率^[6,25], 保证了籽粒灌浆, 表现出相对较高的百粒重特征^[7]; 氮素养分吸收与转运直接影响着作物的生长发育状况和产量, 高产耐低氮玉米品种根系总量大, 深层土壤根系多, 根系活力高, 氮素吸收能力强^[6,11,25-29], 保障其高光合效率和碳氮代谢, 同时开花后氮转移量、转移效率及贡献率较高于其余类型品种, 且干物质和氮素向果穗的分配比例较高^[7,27], 果穗积累较多的同化产物, 从而能满足籽粒早期生长发育的需要, 籽粒败育相对较少^[30-31]。这些研究结果为笔者和同行们进一步研究不同类型玉米品种单株籽粒产量、果穗相关性状对低氮胁迫的应答机制提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 王宜伦, 刘天学, 赵鹏, 等. 施氮量对超高产夏玉米产量与氮素吸收及土壤硝态氮的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46 (12): 2483-2491.
- [2] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径 [J]. 土壤学报, 2008, 45 (5): 915-924.
- [3] 钱春荣, 于洋, 宫秀杰, 等. 黑龙江省不同年代玉米杂交种产量对种植密度和施氮水平的响应 [J]. 作物学报, 2012, 38 (10): 1864-1874.
- [4] Hirel B, Gouis J L, Ney B, et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches [J]. J. Exp. Bot., 2007, 58 (9): 2369-2387.
- [5] 陈范骏, 春亮, 鲍娟, 等. 不同氮效率玉米杂交种的营养生长及光合特征 [J]. 玉米科学, 2006, 14 (6): 127-130.
- [6] 李文娟, 何萍, 高强, 等. 不同氮效率玉米干物质形成及氮素营养特性差异研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (1): 51-57.
- [7] 王晓慧, 曹玉军, 魏雯雯, 等. 我国北方 37 个高产春玉米品种干物质生产及氮素利用特性 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (1): 60-68.
- [8] Chen F J, Fang Z G, Gao Q, et al. Evaluation of the yield and nitrogen use efficiency of the dominant maize hybrids grown in North and Northeast China [J]. Sci China Life Sci., 2013, 43: 342-350.
- [9] 李从锋, 赵明, 刘鹏, 等. 中国不同年代玉米亲本自交系的灌浆特性与氮素运转 [J]. 作物学报, 2014, 40 (11): 1990-1998.
- [10] 冯云超, 余志江, 霍仕平, 等. 37 个玉米品种耐低氮能力潜势分析 [J]. 华北农学报, 2014, 29 (s): 310-317.
- [11] 李强, 罗延宏, 谭杰, 等. 玉米杂交种苗耐低氮指标的筛选与综合评价 [J]. 中国生态农业学报, 2014, 22 (10): 1190-1199.
- [12] 张海燕, 孙琦, 张德贵, 等. 低氮胁迫下我国不同年代玉米品种产量及产量构成因子变化趋势研究 [J]. 玉米科学, 2013, 21 (5): 13-17.
- [13] 钱春荣, 于洋, 宫秀杰, 等. 黑龙江省不同年代玉米杂交种氮肥利用效率对种植密度和施氮水平的响应 [J]. 作物学报, 2012, 38 (11): 2069-2077.
- [14] Ding L, Wang K J, Jiang G M, et al. Effects of nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years [J]. Ann. Bot., 2005, 96 (5): 925-930.
- [15] 张仁和, 杜伟莉, 郭东伟, 等. 陕西省不同年代玉米品种产量和氮效率性状的变化 [J]. 作物学报, 2014, 40 (5): 915-923.
- [16] 景立权, 赵福成, 徐仁超, 等. 施氮水平对夏玉米籽粒及植株形态学特征的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (1): 37-47.
- [17] 张卫星, 赵致, 柏光晓, 等. 不同玉米杂交种对水分和氮胁迫的响应及其抗逆性 [J]. 中国农业科学, 2007, 40 (7): 1361-1370.
- [18] Carlone M R, Russell W A. Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different eras of breeding [J]. Crop Sci., 1987, 27 (3): 465-470.
- [19] Wu Q P, Chen F J, Chen Y L, et al. Root growth in response to nitrogen supply in Chinese maize hybrids released between 1973 and 2009 [J]. Sci China (Ser C: Life Sci), 2011, 54 (7): 642-650.
- [20] 米国华, 陈范骏, 春亮, 等. 玉米氮高效品种的生物学特征 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (1): 155-159.
- [21] Uhart S A, Andrade F H. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning [J]. Crop Sci., 1995, 35: 1376-1383.
- [22] Uhart S A, Andrade F H. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield [J]. Crop Sci., 1995, 35: 1384-1389.
- [23] Monneveux P, Zaidi P H, Sanchez P. Population density and low nitrogen affects yield-associated traits in tropical maize [J]. Crop Sci., 2005, 45 (2): 535-545.
- [24] Mozfar A. Kernel abortion and distribution of mineral elements along the maize ear [J]. Agron J, 1990, 82 (3): 511-514.
- [25] 马存金, 刘鹏, 赵秉强, 等. 施氮量对不同氮效率玉米品种根系时空分布及氮素吸收的调控 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (4): 845-859.
- [26] 高洪军, 朱平, 彭畅, 等. 等氮条件下长期有机无机配施对春玉米的氮素吸收利用和土壤无机氮的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (2): 318-325.
- [27] 崔文芳, 高聚林, 于晓芳, 等. 氮高效玉米自交系的筛选指标及其子粒氮素营养特性分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (2): 290-297.
- [28] 崔文芳, 高聚林, 孙继颖, 等. 不同氮效率的玉米自交系氮素生产效率分析 [J]. 中国土壤与肥料, 2014, (4): 61-66.
- [29] 谢孟林, 李强, 查丽, 等. 低氮胁迫对不同耐低氮性玉米

- 品种幼苗根系形态和生理特征的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23 (8): 946-953.
- [30] 申丽霞, 魏亚萍, 王璞, 等. 施氮对夏玉米顶部籽粒早起发育及产量的影响 [J]. 作物学报, 2006, 32 (11): 1749-1751.
- [31] 冯汉宇, 王志敏, 孔凡娜, 等. 基于控制授粉技术的玉米籽粒建成与碳、氮供应关系 [J]. 作物学报, 2011, 37 (8): 1415-1422.

Effects of low nitrogen levels on ear traits for the different types maize hybrids

FENG Yun-chao, YU Zhi-jiang, HUO Shi-ping*, ZHANG Xing-duan, ZHANG Jian, YAN Qing-jiu, XIANG Zhen-fan, ZHANG Fang-kui (Chongqing Three Gorges Academy of Agricultural Sciences, Chongqing Engineering Research Center of the Mountain Ecological Agriculture, Wanzhou Chongqing 404155)

Abstract: Three types of maize hybrid (6 maize hybrids) were used to study the maize ear traits response to different low nitrogen (N) application level by 2 year field experiment. The three types of maize hybrids were high yield and low N tolerance, high yield and low N intolerance, low yield and low N intolerance, respectively. The results showed that there were significant or highly significant responses of maize individual kernel weight and its component traits to N stress, except for the ear rows. The individual kernel weight, ear length, ear diameter, kernel numbers per row and 100-grain weight of the three types maize hybrids were all decreased with increasing of low N stress. Compared with the N-normal control (450 kg/hm²), the reduction in individual kernel weight, ear length, ear diameter, kernel numbers per row, 100 grain weight under serious low N level (45 kg/hm²) and extreme low N levels (0 kg/hm²) of the high yield and low N tolerant maize hybrids were 25.9% and 12.0%, 6.5% and 0.9%, 7.1% and 3.6%, 9.9% and 3.2%, 15.3% and 6.7%, respectively. The reduction were lesser than the others two types maize. There had more obvious deviation under low N stress for the barren tip length and 100-grain weight, which were reached 124.44% and 9.39%. The barren tip length was increased with increasing of low N stress. Under the serious low N level and extreme low N levels, the barren tip length of high yield and low N tolerant maize hybrids, high yield and low N intolerance maize hybrids was shorter than that of the low yield and low N intolerance maize hybrids. The longer barren tip length should be a significant feature of the low yield and low N intolerance maize. So, the fecundity and 100-grain weight should be emphasized during the low N stress maize breeding process, which could increase kernel numbers per row and 100-grain weight because barren tip length could be reduced and kernel length could be enlarged to raise grain yield.

Key words: low N stress; different types maize; individual kernel weight; ear traits