

文章编号: 1005-0906(2013)05-0013-05

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

张海燕^{1,2}, 孙琦³, 张德贵², 石红良², 慈晓科², 李新海²,
白丽², 陈岩², 周志强², 董树亭¹, 李明顺²

(1. 山东农业大学农学院 / 作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018; 2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081;
3. 山东农业科学院玉米研究所, 济南 250100)

摘要: 试验以我国不同年代的 35 个玉米品种为材料, 在施氮肥和不施氮肥两个水平下对产量、穗长、穗粗、穗粒数、秃尖长、轴粗、百粒重共 7 个农艺性状进行考查比较。结果表明, 除轴粗以外, 其余几个农艺性状不同年代间差异均达到显著或极显著水平, 随年代变化玉米品种产量显著提高, 氮胁迫压力下不同年代玉米品种产量均下降。正常施氮条件下, 各年代玉米品种的穗长、穗粗、穗粒数呈上升趋势, 低氮胁迫降低了穗长、穗粗、穗粒数及百粒重, 而对轴粗无明显影响。研究还表明, 1950 年以来我国玉米品种的耐低氮能力没有明显提高。育种工作要在自交系选育中重视低氮条件, 为进一步培育耐低氮杂交种奠定基础。

关键词: 玉米; 产量; 产量构成因子; 耐低氮

中图分类号: S513.033

文献标识码: A

Trends of Grain Yield and Component Factor under Low Nitrogen in Chinese Maize Cultivars from Different Eras

ZHANG Hai-yan^{1,2}, SUN Qi³, ZHANG De-gui², SHI Hong-liang², CI Xiao-ke², LI Xin-hai²,
BAI Li², CHEN Yan², ZHOU Zhi-qiang², DONG Shu-ting¹, LI Ming-shun²

(1. College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018;

2. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

3. Maize Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: Thirty-five maize varieties from 1950 to 2000 were tested. Grain yield, kernel length, kernel diameter, kernels per ear, barren tip length, cob diameter, 100 kernel weight were measured under low nitrogen and optimal conditions. The result showed that all traits (except the cob diameter) across decades differed significantly. Maize grain yield, kernel length, kernel diameter, kernels per ear and 100 kernel weight decreased under low nitrogen. Hybrids nitrogen tolerance did not increase obviously. Therefore, the task of maize breeding is to strengthen nitrogen stress pressure in selecting inbred lines, which will establish a foundation for breeding hybrids tolerant to nitrogen.

Key words: Maize; Yield; Yield component factor; Nitrogen tolerance

氮是玉米生产最主要的限制因素^[1]。不同的品种

需氮量不同, 为了降低缺氮对玉米产量的影响, 育种家提出, 可以在低氮条件下选育氮高效或者可以有效地将氮运输到子粒中的优势玉米品种^[2]。美国玉米带的相关研究指出, 高氮水平下玉米产量的年均增益更大, 而新的杂交种产量更高^[3,4]。氮素对提高玉米产量起重要作用, 在一定范围内玉米产量随施氮量的增加而提高, 但超过一定范围增加施氮量并不能使玉米产量继续增加, 反而有所下降^[5]。陆海东等^[6]研究认为, 氮肥对不同基因型玉米品种的产量形成

收稿日期: 2013-01-18

基金项目: 国家现代玉米产业技术体系专项(CARS-02-01)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(20102)

作者简介: 张海燕 (1986-), 女, 河北衡水人, 硕士, 从事玉米生理生态及育种研究。Tel: 18810509892

E-mail: yanzi86-83@163.com

董树亭为本文通讯作者。E-mail: stdong@sdaa.edu.cn

影响显著,不同品种间的耐低氮能力存在显著差异,尤其在低氮胁迫下不同品种间的产量差异更为突出,因此,低氮条件下更有利于对不同玉米品种的氮利用效率进行研究。

在特殊的生态环境如严重的病虫害、干旱和低氮胁迫下逐渐演进而成的资源具有独特的育种利用价值^[7]。本研究以 1950 年以来生产上大面积应用的 35 个玉米品种为试验材料,在施氮和不施氮两个水平下评价玉米杂交种产量及产量构成因子的变化趋势及产量耐低氮指标的变化规律,为耐低氮玉米新品种的选育及耐低氮资源的保存和利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验选用 1950 年以来生产上大面积应用的 35 个玉米品种,包括 1950s 的农家种 4 个、1960s 的双交种 4 个、1970s 以来的单交种 27 个(表 1)。

表 1 供试玉米品种
Table 1 Tested maize cultivars

年代 Era	品种 Variety
1950s	金皇后,小粒红,白马牙,英粒子
1960s	维尔 156,四双一号,US13,HD409
1970s	新单 1 号,吉单 101,群单 105,郑单 2 号,中单 2 号
1980s	黄 417,丹玉 13,掖单 4 号,掖单 2 号,沈单 7 号,铁单 4 号,农大 60
1990s	本玉 9 号,吉单 180,掖单 13,四单 19,豫单 18,吉单 159,掖单 19,农大 3138,农大 108,鲁单 50
2000s	郑单 958,沈单 16,鲁单 981,登海 9 号,先玉 335

1.2 试验设计

试验于 2011 年冬在海南省三亚市南滨低氮圃进行。试验参照当地大田一般平均适宜氮肥用量,设置两个氮肥施用水平,低氮处理(不施氮);正常施氮处理(种肥用 $N+P_2O_5+K_2O \geq 45\%$ 的硫酸钾型复合肥 750 kg/hm^2 ,拔节期追施 300 kg/hm^2 尿素)。采用裂区设计,氮肥处理为主区,品种为副区,密度 60000 株/hm^2 ,每小区 2 行,行长 4 m,每处理 3 次重复。对试验地土壤按“V”字形取样测基础地力,低氮圃氮含量很低,全氮为 0.0558% ,水解氮 41.514 mg/kg ,有效磷 25.944 mg/kg ,有机质 0.296% ,pH 值 5.414。对玉米进行良好的田间管理使其正常生长。

田间调查和小区收获按玉米田间试验记载项目和标准进行(表 2)。成熟后每小区人工收获后考种,

测量穗长、穗粗、穗行数、行粒数,秃尖长、百粒重等并计算产量,水分按 14% 标准计算。

表 2 试验测定指标与方法
Table 2 Indexes and measurement methods

性状 Trait	测定方法 Measurement method
行粒数	小区内随机取 10 个果穗,每穗选取较整齐的一行计子粒数
穗行数	小区内随机取 10 个果穗,计子粒行数
百粒重	测 3 次 100 个子粒重量,两次测值误差不超过 0.8 g
穗长	小区内随机取 10 个果穗,测量果穗基部到穗顶部的长度
穗粗	小区内随机取 10 个果穗,测量果穗中部直径
轴粗	小区内随机取 11 个果穗,测量穗轴中部直径
秃尖长	小区内随机取 12 个果穗,测量果穗顶部秃尖长度
小区产量	风干后脱粒,测子粒总重量
单株产量	小区产量除以株数
水分	风干脱粒时子粒的水分含量

1.3 数据处理

采用 SAS9.0 进行方差分析,Excel2007 进行数据处理及作图分析。

2 结果与分析

2.1 两种氮水平下不同年代玉米品种产量的变化

对 35 个玉米品种的产量进行方差分析结果表明,不同氮水平和不同年代间的玉米品种产量差异极显著,35 个品种间产量差异显著,年代 $\times$ 氮水平、品种 $\times$ 氮水平互作效应不显著(表 3)。说明施氮肥和不施氮肥对玉米产量的影响很大,且不同年代的玉米品种对低氮的反应明显不同,各年代玉米品种耐低氮的能力不同。

表 3 产量的方差分析
Table 3 ANOVA for grain yields

变异来源 Source of variation	自由度 DF	均方 Mean square	F 值 F-value	概率 Probability
氮水平	1	75	177	<0.0001
重复	2	1	3	0.0394
年代	5	9	22	<0.0001
品种	34	1	3	0.0002
年代 $\times$ 氮水平	5	0.9	2	0.0856
品种 $\times$ 氮水平	34	0.6	1	0.1786
误差	67	0.4		

研究表明,我国不同年代的玉米品种产量

在两个氮水平下均呈上升趋势,并且正常施氮水平的玉米产量明显高于低氮水平(图 1)。低氮处理下玉米品种产量年增益达 25 kg/hm^2 ;正常施氮水平下玉米单交种产量年增益达 31 kg/hm^2 ,产量增益在两种氮水平下均呈线性正增长,但正常施氮水平下年均增益更大。在高氮和低氮条件下,对 1930s~1980s 美国玉米带典型的玉米品种比较结果也表明,产量增益在两种氮水平下均呈线性正增长,但高氮水平下年均增益更大。

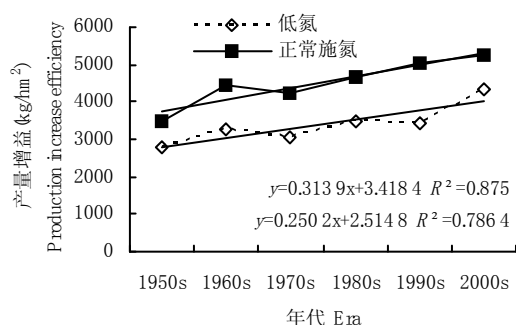


图 1 两种氮水平下不同年代玉米品种对产量的回归分析
Fig.1 Regression analysis of maize varieties in different eras on the yields under two N treatments

2.2 不同年代玉米品种产量耐低氮指数的变化

低氮区的生物产量或经济产量与高氮区的比值成为生物产量或经济产量的耐低氮胁迫指数^[9]。本试验将低氮处理下的玉米产量与对照处理下的玉米产量的比值作为产量的耐低氮指数,衡量玉米品种的耐低氮能力。

1950s~1960s 玉米品种耐低氮指数下降,1960s~1980s 玉米品种耐低氮指数有轻微增长趋势,1980s~1990s 玉米品种耐低氮指数又呈下降趋势,1990s~2000s 耐低氮指数迅速增加。总体来说,1950s~2000s 玉米品种耐低氮指数总体趋势变化不大(图 2)。说明 1950s 的品种和 2000s 的新品种具有相对较强的耐低氮能力,而 1960s 的双交种及 1970s

以来的单交种相对耐低氮能力较差。

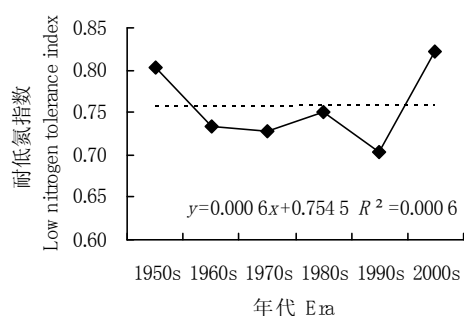


图 2 不同年代玉米品种耐低氮指数的变化趋势
Fig.2 Trend on the coefficient of the low nitrogen tolerance of the maize varieties in different eras

2.3 产量构成因子变化趋势

对各个产量相关性状进行年代间方差分析表明,除轴粗这一性状外,其余性状均达到显著或极显著水平(表 4),说明不同年代的玉米品种性状差异较大。不同氮水平间除轴粗这一性状外,其余性状均达到显著或极显著水平,说明不同氮水平下玉米品种穗部性状差异较大。其中,氮水平对穗长、穗粒数及百粒重的影响最大。低氮胁迫条件下穗粗减小 $0 \sim 0.2 \text{ cm}$,但 1980s 的杂交种穗粗反而略有增加,低氮胁迫对穗粗的影响不大。在两种氮水平下各年代品种的穗粗均呈线性上升趋势(图 3)。

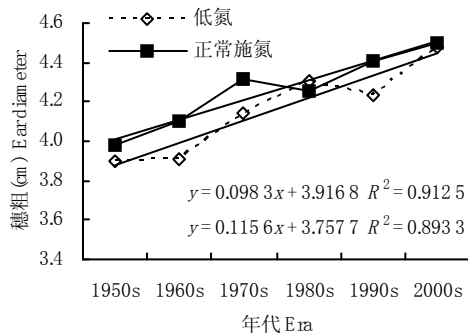


图 3 不同年代品种穗粗随年代变化趋势
Fig.3 Trends of era diameter in different eras

表 4 穗部性状的方差分析
Table 4 ANOVA for era trait

变异来源	性 状	穗 粗	穗 长	秃尖长	穗粒数	轴 粗	百粒重
Source of variation	Trait	Ear diameter	Ear length	Bald tip length	Ear grains	Axis diameter	100-grain weight
年代间	自由度	5.00	5.0	5.0	5	5.00	5.0
	均 方	1.16**	22.0**	0.6*	32 996**	0.41	32.0**
不同氮水平间	自由度	1.00	1.0	1.0	1	1.00	1.0
	均 方	0.50*	125.5**	2.0**	250 945**	0.075	50.6**

注:*,** 分别表示在 0.05 和 0.01 上的显著水平。

Note: * and ** indicated significant at 0.05 level and 0.01 level, respectively.

低氮和正常施氮环境下,各年代品种的穗长、秃尖长及穗粒数均呈线性上升趋势(图 4、5、6),低氮胁迫条件下穗长较正常施氮条件下明显降低,秃尖长明显高于正常施氮水平,低氮胁迫导致穗粒数减少 50~100 粒,低氮对穗粒数的影响比较大。Uhart 和 Andrade^[9,10]研究表明,低氮胁迫首先是通过增加子粒败育率,其次通过改变胚珠的数目来影响子粒数。低氮胁迫下大约 85% 的子粒败育发生在花后 20 d。低氮胁迫条件下的秃尖长明显高于正常施氮条件,这可能由于低氮导致授粉不良,使果穗出现秃尖。

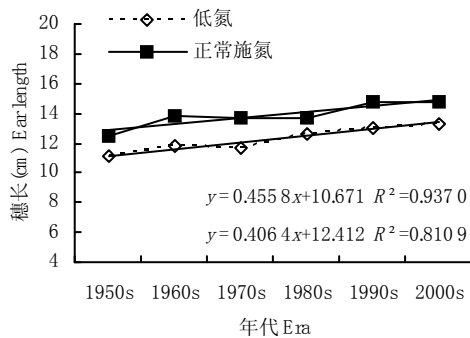


图 4 不同年代品种穗长随年代变化趋势

Fig.4 Trends of era length in different eras

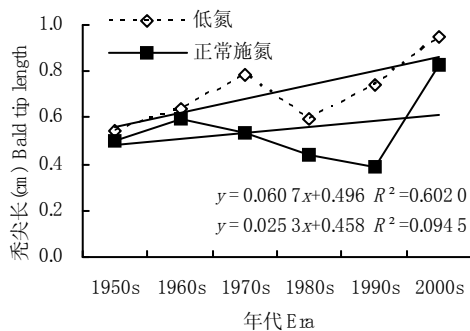


图 5 不同年代品种秃尖长随年代变化趋势

Fig.5 Trends on bare tip length of maize cultivars released in different eras

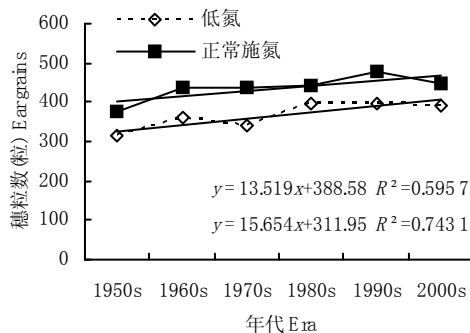


图 6 不同年代品种穗粒数随年代变化趋势

Fig.6 Trends of kernel number per ear of cultivars released in different eras

两种施氮水平下,各年代玉米品种的轴粗变化不明显且年代间差异不显著,低氮胁迫对轴粗几乎没有影响,1970s 玉米品种低氮条件下轴粗略有增加,其余年代的玉米品种低氮条件下没有明显的变化(图 7)。低氮胁迫使各年代玉米品种的百粒重降低 1 g 左右,在所有环境下百粒重均随年代呈线性上升趋势,低氮和正常施氮条件下的决定系数分别为 0.38 和 0.52,2000s 品种百粒重受低氮影响最小(图 8)。

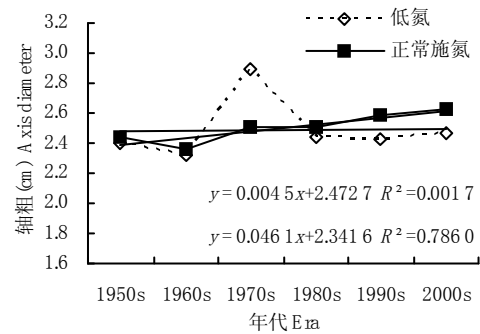


图 7 不同年代品种轴粗随年代变化趋势

Fig.7 Trends of roller diameter of cultivars released in different eras

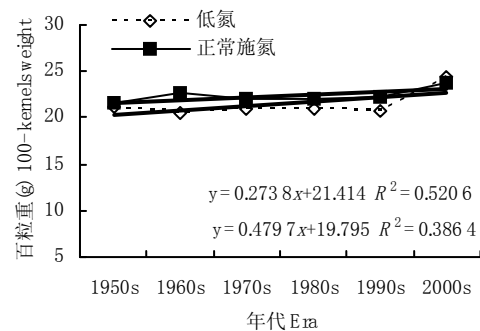


图 8 不同年代品种百粒重随年代变化趋势

Fig.8 Trends of hundred weight of cultivars released in different eras

3 结论与讨论

Ding^[11]对 6 个不同的杂交种研究结果表明,对于所有的杂交种氮缺乏降低了子粒重和植株的重量,老的杂交种降低尤为明显。Duvick 对 1940~1978 年间 5 个商业杂交种在两种氮水平下比较得出,两种氮水平下新的杂交种均得到了较高的产量。Carlone 和 Russell^[12]的试验也表明,不同年代的玉米杂交种在不同氮水平及不同密度条件下表现不同。McCullough 等^[13,14]在能够控制环境的情况下比较了两个杂交种,表明老的杂交种对低氮胁迫敏感性高于新品种。Duvick 等^[15]总结了几项研究表明,不同年

代的玉米品种随年代的延伸抗逆性逐渐增加。研究表明,1950s~2000s 玉米品种的产量随年代变化呈上升趋势,氮胁迫压力下各年代玉米品种产量均下降,但下降幅度不同。1950s 和 2000s 的玉米品种耐低氮指数总体趋势变化不大($R^2=0.000\ 6$),1960s~1990s 的品种耐低氮指数比 1950s 的品种还低,说明 1950 年以来我国玉米品种的耐低氮能力没有明显提高,这与国外的研究结果不一致。可能是因为国内育种家对低氮条件下选择玉米种质不够重视,今后的育种工作应当把耐低氮能力作为品种选育的重要方面。虽然正常施氮条件下的玉米产量高于低氮处理,但两处理间的产量差异随年代延伸而增大(除了 2000s 的品种),说明新品种由于低氮胁迫造成的产量损失大于老品种,这与新品种的耐低氮系数低于老品种的结果一致。

正常施氮条件下各年代玉米品种的穗长、穗粗、穗粒数呈上升趋势,说明 1950 年以来这些性状得到了较好的改良,此结果与前人研究结果一致^[16,17]。低氮胁迫降低了穗长、穗粗、穗粒数及百粒重,而对轴粗无明显影响。前人研究指出,氮素缺乏会显著影响穗粒数,低氮条件下的产量与穗粒数和每株穗数呈显著相关^[18]。缺氮条件下叶片的叶绿素含量减少,叶片衰老进程加快,光合作用降低,导致穗粒数降低,产量下降^[9]。Uhart 等研究认为,氮素缺乏对穗粒数的影响主要体现在降低受精率,增加子粒败育。但也有人认为,氮素缺乏对小穗小花分化有影响^[20,21]。Czyewicz 和 Below^[22]在离体条件下研究认为,缺氮对子粒早期发育有直接影响,主要是限制了子粒对碳素的利用,引起子粒败育。此外,Thiraporn 等^[23]认为,氮肥对穗粒数的影响程度也与品种有关,高肥品种的穗粒数对增施氮肥的反应大,穗粒数增加显著;低肥品种则反应小。我国玉米品种产量随年代提高,部分原因是由于穗粒数和百粒重一直在提高。

参考文献:

- [1] Knip K, Mason S. Kernel breakage and density of normal and opaque-2 maize grain as influenced by irrigation and nitrogen[J]. Crop Science, 1989, 29(1): 158-163.
- [2] Heuberger H. Nitrogen efficiency in tropical maize(*Zea Mays* L.): Indirect selection criteria with special emphasis on morphological root characteristics[M]. Grauer, 1997.
- [3] Castleberry R M, Crum C W, Krull C F. Genetic yield improvement of U.S. maize cultivars under varying fertility and climatic environments[J]. Crop Science, 1984, 24: 33-36.
- [4] Duvick D N. Genetic contributions to yield gains of US hybrid maize, 1930 to 1980[J]. Genetic Contributions to Yield Gains of Five Major Crop Plants, 1984: 15-47.
- [5] Lafitte H, Edmeades G. Improvement for tolerance to low soil nitrogen in tropical maize I. Selection criteria[J]. Field Crops Research, 1994, 39(1): 1-14.
- [6] 路海东, 薛吉全, 马国胜, 等. 低氮胁迫对不同基因型夏玉米库源性状和灌浆特性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1277-1282.
- [7] 张世煌, 田清震, 李新海, 等. 玉米种质改良与相关理论研究进展[J]. 玉米科学, 2006, 14(1): 1-6.
- [8] 曹敏建, 衣莹, 佟占昌, 等. 耐低氮胁迫玉米的筛选与评价[J]. 玉米科学, 2000, 8(4): 64-69.
- [9] Uhart S A, Andrade F H. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning[J]. Crop Science, 1995, 35: 1376-1383.
- [10] Uhart S A, Andrade F H. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield[J]. Crop Science, 1995, 35: 1384-1389.
- [11] Ding L. Effects of Nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years[J]. Annals of Botany, 2005, 96(5): 925-930.
- [12] Carlone M R, Russell W A. Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different eras of breeding[J]. Crop Science, 1987, 27: 465-470.
- [13] McCullough D E, Aguilera A, Tollenaar M. N uptake, N partitioning, and photosynthetic N-use efficiency of an old and a new maize hybrid[J]. Can. J. Plant Sci., 1994, 74: 479-484.
- [14] McCullough D E, Girardin P, Mihajlovic M, et al. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid[J]. Can. J. Plant Sci., 1994, 74: 471-477.
- [15] Duvick D N. The contribution of breeding to yield advances in maize[J]. Adv. Agron., 2005, 83: 146.
- [16] 胡昌浩, 董树亭, 王空军, 等. 我国不同年代玉米品种生育特性演进规律研究 I. 产量性状的演进[J]. 玉米科学, 1998, 6(2): 44-48.
- [17] 李召锋, 梁晓玲, 阿不来提, 等. 不同年代主要玉米品种穗部性状演变研究[J]. 玉米科学, 2010, 18(4): 27-31.
- [18] Monneveux P Z, and P. Sanchez P. Population density and low nitrogen affects yield-associated traits in tropical maize[J]. Crop Science, 2005, 45(2): 535.
- [19] Lemcoff J H, Loomis R S. Nitrogen influence on yield determination in maize[J]. Crop Science, 1986, 26: 1017-1022.
- [20] Oaki M, Shinano T, Tadano T. Redistribution of carbon and nitrogen compounds from the shoot to the harvesting organs during maturation in field crops[J]. Soil Sci. Plant Nutr., 1991, 37(1): 117-128.
- [21] Crawford T W Jr, Rending V, Broadbent F E. Sources, fluxes, and sinks of nitrogen during early reproductive growth of maize[J]. Plant Physiol, 1982, 70(6): 1654-1660.
- [22] Czyewicz J R, Below F E. Growth of maize kernel in vitro as affected by nitrogen supply[A]. Agronomy Abstracts[C]. Madison, WI, USA, 1992, 124.
- [23] Thiraporn R G, Geisler G, Stamp P. Effects of nitrogen fertilization on yield and yield components of tropical maize cultivars[J]. Agron. Crop Sci., 1987, 159: 9-14.

(责任编辑:胡娟)