

文章编号:1003-8701(2011)04-0004-05

# 气候、品种和密度对东北春玉米增产潜力的影响

高洪军<sup>1</sup>, 彭 畅<sup>1</sup>, 赵叶明<sup>1</sup>, 张秀芝<sup>1</sup>, 李 强<sup>1</sup>, 朱 平<sup>1</sup>\* , 徐明莉<sup>2</sup>

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 吉林省梨树县植保站, 吉林 梨树 136500)

**摘 要:** 近年来, 东北春玉米超高产技术研究已经取得了重大进展, 但春玉米增产潜力仍有很大空间。本文从 3 个主要方面探讨了气候、品种和密度对东北春玉米增产潜力的影响, 最后提出应深入研究综合因素对玉米增产潜力的影响, 获得更具体的粮食生产潜力, 并确定哪些因素起主导作用。

**关键词:** 气候; 品种; 密度; 春玉米; 增产潜力

中图分类号: S513

文献标识码: A

## Effects of Climate, Cultivars and Density on Yield Potential of Spring Corn in Northeast of China

GAO Hong-jun<sup>1</sup>, PENG Chang<sup>1</sup>, ZHAO Ye-ming<sup>1</sup>, ZHANG Xiu-zhi<sup>1</sup>,  
LI Qiang<sup>1</sup>, ZHU Ping<sup>1</sup>, XU Ming-li<sup>2</sup>

(1. Academy of Agricultural Sciences of Jilin Province, ChangChun 130033; 2. Plant Protection Station of Lishu County, Jilin Province, Lishu 136500, China)

**Abstract:** In the recent years, studies on super high-yielding of spring corn had made important progress in Northeast of China, but there are great spaces on yields potential of spring corn. From the three major aspects, effects of climate, cultivars and density on yield potential of spring corn in Northeast of China were explored in the paper. It suggested at last that effect of comprehensive factors on yield potential of corn should be deeply studied, and solid yield potential and dominant factors should be made clear.

**Keywords:** Climate; Cultivars; Density; Spring corn; Yield potential

## 1 引言

### 1.1 东北区玉米生产

东北地区属于温带大陆性季风气候区。其特点是四季分明, 冬季寒冷漫长, 夏季温热短促, 为典型雨养农业。自黑龙江第三积温带以南的中部半湿润区为东三省玉米种植优势区域: 其有效积温  $>2\ 300\ ^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ , 无霜期 110~200 d; 降雨量 400~1 000 mm, 大部分集中在 4~9 月的生长季, 占全年降水总量的 90%左右。

东北地区是我国具有战略意义的商品粮基

地, 粮食商品量、商品率和人均调出量均居全国首位。东北春玉米产区与美国玉米带几乎处于相同的地理纬度<sup>[1]</sup>, 是世界“黄金玉米带”之一。东北春玉米区是我国最大的玉米主产区。2007 年玉米播种面积为 866.7 万  $\text{hm}^2$  左右, 总产 4 410 万 t 左右, 分别占全国的 30%和 29%左右, 单产水平为 6 000  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 比全国平均单产高约 10%左右。随着我国粮食生产重心进一步由南方向北方和由东西部向中部地区推移, 东北地区粮食生产在国家粮食安全战略体系中地位将会更加重要<sup>[2]</sup>。

### 1.2 东北区玉米增产潜力巨大

研究表明, 东北春玉米区是我国光温生产潜力最大的地区之一<sup>[3]</sup>(表 2)。迄今为止, 世界玉米最高单产纪录<sup>[4]</sup>是由美国 2002 年创造的非灌溉条件下单季玉米产量为 27.8  $\text{t}/\text{hm}^2$ , 而我区目前的玉米平均单产水平不足 6  $\text{t}/\text{hm}^2$ , 区域试验产量不足

收稿日期: 2011-01-13

基金项目: 国家科技支撑子课题(2009BADB3B05-3-2)

作者简介: 高洪军(1975-), 男, 副研究员, 在读博士, 主要从事土壤培肥与玉米高产栽培研究。

通讯作者: 朱 平, 男, 研究员, E-mail: zhuping1962@sohu.com

10.5 t/hm<sup>2</sup>。以吉林玉米超高产为例,4 年高产连续重演,面积不断扩大,由 2006 年的 1 亩实收 1 150.4 kg/667 m<sup>2</sup>,2007 年的 10 亩连片 1 164.6 kg/667 m<sup>2</sup>,到 2008 年的百亩连片(104 亩)超高产田,平均产量 1 089.6 kg/667 m<sup>2</sup>,创造了雨养条件下我

国春玉米百亩连片亩产吨粮的新纪录。再到 2009 年全程机械化百亩连片春玉米超高产田实现平均产量 1 066.9 kg/667 m<sup>2</sup>。由此可见,我区具有不断挖掘产量潜力,赶超世界玉米最高单产水平的潜力和优势。

表 1 东北三省玉米面积与产量

	辽宁	吉林	黑龙江	合计
耕地面积(万 hm <sup>2</sup> )	408.50	553.50	1 183.84	2 145.84
玉米种植面积(万 hm <sup>2</sup> )	199.86	285.37	388.36	873.59
玉米占耕地比例(%)	49	52	33	41
粮食总产(万 t)	1 835.00	2 453.80	3 462.90	7 751.70
玉米总产(万 t)	1 167.80	1 800.00	1 442.00	4 409.80
玉米占粮食比例(%)	64	73	42	57

(2008 年中国统计年鉴)

表 2 我国三大玉米主产区产量潜力差异比较

生产区划	东北及内蒙古春玉米区		黄淮海夏玉米区		南方玉米区	
	产量范围	潜力	产量范围	潜力	产量范围	潜力
光温生产潜力	22.0~24.0	7.0	19.0~21.0	3.0	11.0~13.0	2.0
已达到的最高纪录	15.0~17.0	10.0	16.0~18.0	11.5	9.0~11.0	5.5
生产现实产量	5.0~7.0	0	4.5~6.5	0	3.5~5.5	0

(赵明等,2008)

## 2 气候条件对东北春玉米增产潜力的影响

研究表明,东北地区春玉米气候生产力大致由南向北递减,变幅在 4.5~22.5 t/hm<sup>2</sup> 之间,而光温生产力分布则主要表现为由西南向东北递增。光

温生产潜力自北向南在 9 000~27 000 kg/hm<sup>2</sup>,但是当前实际产量不足气候产量潜力的 1/3;而水分的增产潜力在东部和西部高达 45%以上,个别地区最高达 75%,即便是降水条件最好的中部地区也达到 15%。通过生物、农艺和工程措施改善水肥利用率来挖掘该区域春玉米增产潜力巨大<sup>[5]</sup>。

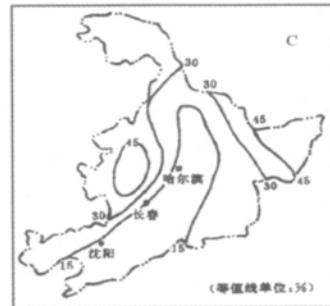
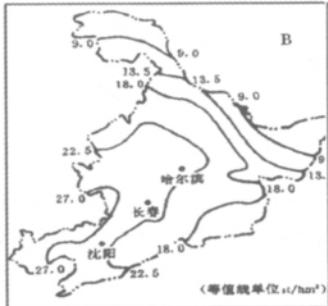
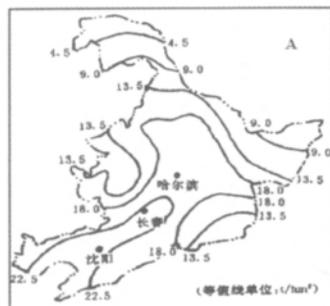


图 1 东北地区春玉米气候生产力(A)、光温潜力(B)和水分增产潜力(C)分布(刘建栋等,2000)

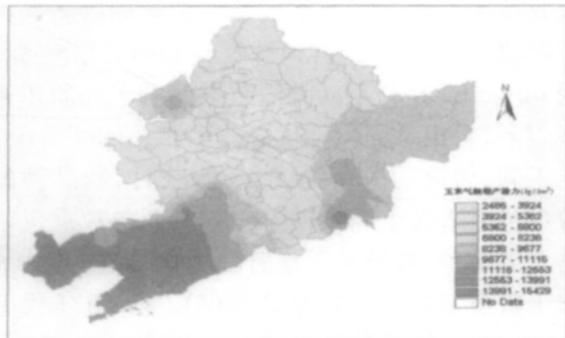


图 2 玉米气候增产潜力空间分布

张旭光选取 2004 年的实际单产产量与东北

地区 38 个站点的气候生产潜力进行作物增产潜力的空间分析<sup>[6]</sup>。由图 2 可知,玉米的气候增产潜力高值区集中在辽宁省,其次是吉林的南部和黑龙江的东部与西北部地区。增产潜力最小的地方是黑龙江的中部和吉林西部地区。这说明,在现有的气候条件下,玉米增产潜力还有很大的空间。

由图 3 和图 4 可知,在气温升高背景下,春玉米呈现增产趋势;单产年际变异大,表明极端天气的减产趋势明显;在东北土壤退化的背景下,历史增产趋势表明气候变化的贡献<sup>[7]</sup>。

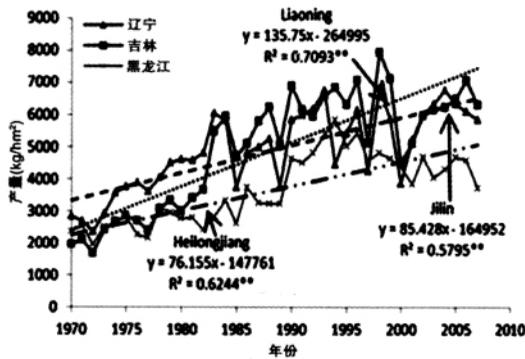


图3 三省玉米实际单产

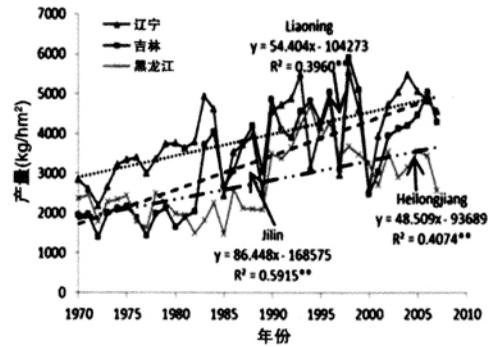


图4 (剔除技术因素产量效应后),气候及土壤单产变化趋势

Rosenzweig 和 Hillel 等研究认为,温度的升高可以延长作物的生长季,扩展作物的种植面积,所以气候变化会有利于中高纬度地区的粮食生产;反之,气候变化会不利于低纬度地区的粮食生产。张建平对东北区近 46 年来因温度导致的玉米产量波动情况进行模拟分析。发现东北三省的玉米产量波动趋势基本相一致,且随着年份的增加产量波动有减小的趋势,发生低温冷害的频率与范围都相应减少<sup>[8]</sup>。刘颖杰研究表明<sup>[9]</sup>,在未来 2011~2100 年,温度升高对东北地区玉米有显著促进作用,各地玉米增产幅度不同,大约在 15%~29%之间。二氧化碳浓度的升高对东北地区玉米在不同情景下作用不同,依据气候相似原理引进新品种,考虑 CO<sub>2</sub> 肥效作用与否都能在一定程度上降低玉米的减产幅度,甚至转减产为增产。

综上所述,近几十年,东北地区的春玉米单产一直呈现明显的递增趋势,这既表明作物的逐步适应能力,也表明升温不一定减产,春玉米气候增产潜力空间很大。温度升高有利于增产,黑龙江省和吉林省东西部地区玉米气候产量主要受温度因子的影响,随着气候变暖玉米产量逐渐增加。二氧化碳浓度的升高对东北地区玉米在不同情景下作用不同,但温度主导效应远大于 CO<sub>2</sub> 效应。

### 3 品种演变对东北春玉米增产潜力的影响

对玉米产量增长有贡献的因素包括:气候变化<sup>[10]</sup>,管理措施的改善,例如适时播种,杂草控制和肥料的施用等。但是,最主要的贡献因素是品种改良<sup>[11]</sup>。

在种植密度方面,不同玉米杂交种对种植密度的反应不同<sup>[12]</sup>。Duvick 认为新老玉米产量的区别是因为种植密度的作用<sup>[13]</sup>。Echarte 报道说在所有的密度条件下,现代的阿根廷杂交种都比老品种产量

高<sup>[14]</sup>。随着种植密度的逐渐增加,新品种比老品种表现出对高密度的较强的耐受力<sup>[15]</sup>。

在光能利用效率和光和速率方面,近期育成的杂交种比早期杂交种果穗干物质积累的速率高,单位面积最终干物质积累量随年代推移而明显增加<sup>[16]</sup>。Tollenaar 研究表明,如果种植在它们各自最适合的密度下新老品种之间作物生长速率的差别为 33%,大约 80%的差别是由于新品种具有较高的光能利用效率。即使是种植在冠层对太阳辐射吸收没有区别的密度条件下,新的玉米杂交品种的子粒生长速率也比老品种高,这表明新玉米品种干物质积累速率的增长,绝大部分归功于光能利用效率的增长<sup>[17]</sup>。王空军对我国玉米品种的研究也表明,随着玉米品种的更替,群体光合速率增强,而且在高、中、低 3 种密度条件下,当代品种均有较高的群体光合速率<sup>[18]</sup>。

在 N 素利用率方面,Ma 认为新品种在任何 N 肥水平上的产量都比老品种高<sup>[19]</sup>,但是在高 N 水平下差异比较大。而 N 素利用效率也是新品种比老品种高,而且在高 N 供应水平下差异更显著。营养吸收是与根系数量和对根系的能量供应水平相关的。新品种在子粒灌浆期间的根冠比比老品种高出大约 20%<sup>[20]</sup>。新品种与老品种相比,较高 N 素吸收速率主要是在灌浆后期。抽丝期后新品种子粒吸收的 N 素大约占到总吸收 60%,而老品种仅为 40%,这是与新品种灌浆期间的干物质积累速率较高,对根系同化物供应较多相关的<sup>[21]</sup>。

丁莉,蒋高明等研究发现,收获时,新品种的子粒数目显著大于老品种( $P < 0.05$ ),而单粒重仅略高于老品种,差异并不显著( $P > 0.05$ )。新品种的单珠子粒重量高于老品种( $P < 0.05$ )。与 50 年代品种相比,90 年代品种的植株重量提高了 44%,而收获指数仅提高了 9%<sup>[22]</sup>(表 3)。

综上所述,随着玉米品种的更替,品种的耐密

性、光能利用率、光和速率和养分利用效率等许多性状都发生了良好的体现。说明,高产育种使许多

玉米生理生态指标发生了改变,生理生态指标对育种家将成为一项有用的选育指标。

表3 不同年代玉米品种花后新合成干物质重量(NA)、植株重量(PW)、收获指数(HI)、单粒重(KW)以及单株子粒重量(GW)和子粒数目(KN)

Hybrids	NA(g)	PW(g)	HI	GW(g)	KW(g)	KN
1990s	143.07a	377.92a	0.50a	203.94a	0.30a	678a
1970s	131.00b	312.84b	0.49a	156.26b	0.27a	574b
1950s	113.92c	262.62c	0.46a	119.94c	0.26a	444c

注 相同字母表示差异不显著(P<0.05)。

## 4 密度对东北春玉米增产潜力的影响

近20年来,美国玉米品种改良在不降低或略增单株生产力的情况下大大改善了其耐密性,玉米产量的突破主要靠密度的增加(图5)。1985年

85 000株/hm<sup>2</sup>的种植密度下取得的。但在我国,玉米高产的高密度是以采用单株生产力相对较低的中穗型品种为代价的,与美国的108 900株/hm<sup>2</sup>相比,说明还有较大潜力可挖<sup>[24]</sup>。

在两次具有标志性纪录产量的突破过程中,美国玉米种植密度提高了22%,产量增加17.8%;我国种植密度提高27.96%,产量增加31.4%;该密度比一般大田生产中的密度提高接近1倍,产量增加1倍,表明玉米产量靠增加密度来提高仍处于“报酬递增”阶段,效果显著。赵明认为,在巩固已有单穗粒重或稍有减轻的前提下,逐步增加种植密度是今后超高产栽培的发展趋势<sup>[25]</sup>。

自20世纪30年代以来,美国主要通过提高品种耐密性、增加穗数实现玉米增产,而单株穗重并未增加(表4)。20世纪30年代,美国玉米种植密度不到2 000株/667 m<sup>2</sup>,产量100~200 kg/667 m<sup>2</sup>;60~70年代,密度增加到3 000株/667 m<sup>2</sup>,产量提高到300 kg/667 m<sup>2</sup>。目前,美国玉米种植密度已增至4 500株/667 m<sup>2</sup>,产量提高到600 kg/667 m<sup>2</sup>以上,而其高产田的种植密度则高达5 700~7 300株/667 m<sup>2</sup>,产量达到1 000 kg/667 m<sup>2</sup>以上。从今后发展趋势看,随着高产耐密型品种的进一步推广应用及各项配套技术措施的改进和提高,美国

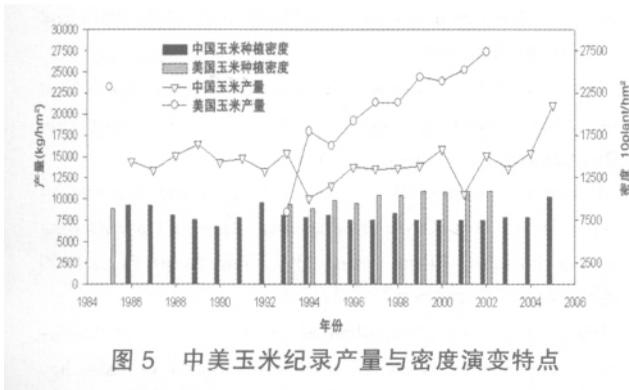


图5 中美玉米纪录产量与密度演变特点

Herman Warsaw 创单产23 220 kg/hm<sup>2</sup>纪录时实际收获密度为88 950株/hm<sup>2</sup>,而美国最近的高产纪录是Francis Childs于2002年在Iowa州创造的<sup>[23]</sup>,单季玉米产量为27 754.5 kg/hm<sup>2</sup>(合1 850.3 kg/667 m<sup>2</sup>),其收获密度达108 900株/hm<sup>2</sup>。我国李登海1989年创造的世界夏玉米纪录为16 445 kg/hm<sup>2</sup>,收获密度为75 045株/hm<sup>2</sup>,2005年再次刷新国内纪录为19 349 kg/hm<sup>2</sup>,收获密度高达98 610株/hm<sup>2</sup>。东北雨养条件下春玉米高产纪录是在

表4 玉米种植密度与产量的关系

国家	时期	种植材料	密度(株/667 m <sup>2</sup> )	产量(kg/667 m <sup>2</sup> )
美国	30年代		<2 000	100~200
	60~70年代		3 000	300
	目前		4 500~5 000	>600
	高产田		5 700~7 300	>1 000
中国	50年代	地方品种	<2 000	<100
	60~70年代	杂交种	2 000~2 500	100~200
	80年代	杂交种	2 500~3 000	200~300
	90年代	紧凑杂交种	3 500~4 000	350
	高产田	耐密杂交种	5 000	800~1 000

(赵久然,2009)

玉米种植密度还会增加<sup>[26]</sup>。

## 5 展望

玉米生产潜力的研究是一个复杂而系统的课题,因为玉米产量是多重因子共同作用形成的,且

形成过程较复杂,这本身也为研究带来一定的难度。前人研究只是初探了气候、品种和密度对东北玉米增产潜力的影响,没有对各个因素进行细致量化,并且有关对东北区玉米品种演变、气候变化和密度变化的综合因素进行系统的研究也未见报

道,这需要值得深入研究。同时,如果在考虑气候、品种和密度基础上,进一步研究灌溉、土壤、化肥、农业机械等综合因素对玉米增产潜力的影响,则可获得更具体的粮食生产潜力,并确定哪些因素起主导作用和排序,这些问题都有待进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 孙世民,卢凤君.中美两国玉米深加工发展状况综述[J].农机化研究,2002(3):20-22.
- [2] 程叶青,何秀丽.东北地区粮食生产的结构变动及比较优势分析[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):1-7.
- [3] 赵明,付金东.玉米高产性能量化分析及其技术途径[J].玉米科学,2008,16(4):8-12,16.
- [4] Nelson WL. Warsaw's High Yield Corn [J]. Crop and Soil Magazine, 2003: 6-7.
- [5] 刘建栋,傅抱璞,金之庆.东北地区春玉米农业气候资源数值模拟[J].中国农业气象,2000,21(1):5-8,13.
- [6] 张旭光.气候变化对东北粮食作物生产潜力的影响[D].湖南农业大学硕士论文,2007.
- [7] Senthold Asseng, Weixing Cao, Weijian Zhang. Crop Physiology, Modelling and Climate Change: Impact and Adaptation Strategies[J]. Crop Physiology, 2009:511-543.
- [8] 张建平,王春乙,杨晓光,等.温度导致的我国东北三省玉米产量波动模拟[J].生态学报,2009,29(10):5516-5522.
- [9] 刘颖杰.气候变化对中国粮食产量的区域影响研究—以玉米为例[D].首都师范大学博士学位论文,2008.
- [10] Martin P, Cynthia R, Ana L, et al. Günther F&Matthew L. Climate change and world food security: a new assessment [J]. Global Environmental Change, 1999(9): 51-67.
- [11] Eyhé rabide GH, Damilano AL, Colazo JC. Genetic gain for grain yield of maize in Argentina [J]. Maydica, 1994(39): 207-211.
- [12] Maddonni GA, Otegui ME, Cirilo AG. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation [J]. Field Crops Res., 2001(71): 183-193.
- [13] Duvick DN. Genetic contributions to yield gains of U.S. hybrid maize, 1930 to 1980. In: Fehr WR. (ed.) Genetic contributions to yield gains of five major crop plants [J]. Madison, WI: ASA and CSSA. 1994: 15-47.
- [14] Echarte L, Luque S, Andrade FH, et al. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1995 [J]. Field Crop Res., 2000, 68: 1-8.
- [15] Duvick DN. What is yield. In: Edmeades GO (ed.) Developing drought and low N-tolerant maize [J]. El Batán, Mexico: CIMMYT. 1997, 332-335.
- [16] 张泽民,刘丰明,牛云生.不同年代玉米杂交干物质积累与分配规律的研究[J].河南农业大学学报,1997(31):118-122.
- [17] Tollenaar M, Aguilera A. Radiation use efficiency of an old and a new maize hybrid [J]. Agron. J., 1992(84): 536-541.
- [18] 王空军,董树亭,胡昌浩.玉米品种更替过程中群体光合特性的演变[J].作物学报,2000(26):200-203.
- [19] Ma BL, Dwyer LM. Nitrogen uptake and use of two contrasting maize hybrids differing in leaf senescence [J]. Plant and Soil, 1998(199): 283-291.
- [20] Nissanka SP. The response of an old and a new maize hybrid to nitrogen, weed and moisture stress [J]. Univ. of Guelph, ON, Canada: Ph.D. thesis, 1995.
- [21] Rajcan I, Tollenaar M. Source-sink ratio and leaf senescence in maize. I. Dry matter accumulation and partitioning during the grain-filling period [J]. Field Crops Res., 1999(60): 245-253.
- [22] Ding Li. The eco-physiological mechanisms of photosynthetic capacity improvement and yield increase of maize hybrids released in different years [D]. the degree of Doctor the Chinese Academy of Science (CAS), 2005.
- [23] 刘志全,路立平,沈海波.美国玉米高产竞赛简介[J].玉米科学,2004,12(4):110-113.
- [24] 陈国平,赵久然,张经武,等.春玉米创最高产纪录栽培技术的研究[J].玉米科学,1995,3(3):26-30.
- [25] 赵明,李建国,张宾,等.论作物高产挖潜的补偿机制[J].作物学报,2006(32):1566-1573.
- [26] 赵久然,王荣焕.美国玉米持续增产的因素及其对我国的启示[J].玉米科学,2009,17(5):156-159,163.