

玉米高产产量形成特征及其验证

王崇桃¹, 李少昆²

1. 北京联合大学商务学院, 北京 100025
2. 中国农业科学院作物科学研究所; 农业部作物生理生态与栽培重点开放实验室, 北京 100081

摘要 分析中国玉米高产田 ($\geq 15000\text{kg}/\text{hm}^2$) 的典型特征、内在规律, 提出产量突破的途径与关键技术, 并进行高产验证。结果表明, $35^\circ\text{N}\sim 44^\circ\text{N}$ 可作为中国玉米高产带。收获穗数是产量构成因素中影响和决定产量的首要因素, 按 80% 置信限计算, 在目前生产水平下, 产量实现 $15000\text{kg}/\text{hm}^2$ 的理想结构模式为: 种植密度 $70755\sim 101250$ 株/ hm^2 , 穗数 $7.01\times 10^4\sim 10.09\times 10^4$ 穗/ hm^2 , 穗粒数 453~642 粒, 千粒重 323.0~414.9g, 单穗粒重 162.5~236.2g; 高产田单株生产力以穗粒重 200g 左右的中穗型为主。选择耐密植、中晚熟品种, 增密种植, 保障水肥供应, 精细管理, 适时晚收, 创建一个高质量群体, 增加花后物质生产量和转移率, 充分挖掘当地光热资源是当前中国玉米高产突破的主要途径。

关键词 玉米高产带; 产量构成; 特征; 验证

中图分类号 F323.3

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.25.010

Characteristic Analysis and Verification for High-yielding Corn in China

WANG Chongtao¹, LI Shaokun²

1. Business College, Beijing Union University, Beijing 100025, China
2. Key Laboratory of Crop Physiology and Production, Ministry of Agriculture; Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract Based on the analysis of typical characteristics and inherent law of high-yielding corn ($\geq 15000\text{kg}/\text{hm}^2$) fields in China, the way of breaking through of the yield reaching $15000\text{kg}/\text{hm}^2$ and the key technologies are put forward. The results show that harvest ears is the most important factor in yield components factors. Under the conditions of the present production, the optimal yield components mode are planting density per hectare ($70755\sim 101250$ plants), ear number per hectare ($7.01\times 10^4\sim 10.09\times 10^4$ ears), grain number per ear (453~642 grains), 1000-grain weight (323.0~414.9g), kernel weight per ear (162.5~236.2g), and $35^\circ\text{N}\sim 44^\circ\text{N}$ can be regarded as corn high-yielding belt of China. Furthermore, the main technical ways for breakthrough of the corn yield are given, including selection of mid-late maturity hybrids with high population tolerant, higher population, wider use of chemical fertilizers to meet nutrient demands, intensive management, delay harvest, creating high-quality population, prolonging accumulating time of dry matter after flowering and increasing transfer rate of organ to grain, and taking full advantage of light-temperature resources.

Keywords high-yielding corn belt; yield components; characteristic; verification

0 引言

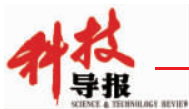
玉米是 C4 作物, 具有高产潜力优势, 自 2001 年起成为全球第一大作物, 被誉为 21 世纪的“谷中之王”, 需求量逐年增加, 单产提高是保障需求的有效途径。美国自 1914 年在印

第安纳州首次举行玉米高产竞赛。近年竞赛第 1 名的单产水平已能稳定达到 $21000\sim 22500\text{kg}/\text{hm}^2$ ^[1], 最高 $26461.5\text{kg}/\text{hm}^2$ (2011 年)^[2]。持续近 1 个世纪的高产竞赛对美国玉米种植者特别是玉米带的种植产生了很大的影响, 对全美玉米大面积

收稿日期: 2013-05-06; 修回日期: 2013-06-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(31271663); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB118601); 国家玉米产业技术体系项目(CARS-02-25)

作者简介: 王崇桃, 博士, 研究方向为创新管理与农业经济管理, 电子信箱: wangch11@sina.com.cn



提高单产起到了重要的示范、带动作用。在中国,20世纪80年代以来,随着农业生产条件的改善和技术水平的提高,在新疆、陕西、内蒙古、吉林、河北、北京和山东等省(市、自治区)陆续创造了春玉米和夏玉米单季亩产吨粮(15000kg/hm²)的高产典型。据统计,截止2005年,中国经专家验收和报道过的玉米吨粮田有36块^[3],为高产田建设提供了初步的经验^[4]。此后,随着农业科技入户示范工程、粮食丰产科技工程、高产创建等项目的实施,引领了全国玉米高产探索,高产研究不断深入,高产田的产量水平有了明显提高,高产突破的点和覆盖面增加,重复性增强^[6-11]。本文在分析2005—2008年全国57块经农业部验收玉米高产田(≥15000kg/hm²)的典型特征、内在规律基础上,提出高产进一步突破的技术途径与关键技术,并于2009—2012年开展了多年多点验证试验,为进一步挖掘中国玉米生产潜力提供依据。

1 材料与方 法

本文用于玉米产量、产量结构及高产带分析的数据来自农业部玉米专家指导组和中国作物学会玉米栽培学组正式测产验收报告,高产管理措施数据由各高产田创建单位提供。2005—2008年,经农业部现场组织验收,亩产达到或接近吨粮田(15000kg/hm²)的地块共57块,其中2005年1块,2006年7块,2007年29块,2008年20块;春播区46块,占

80.7%;夏播玉米11块,占19.3%;地膜玉米36块,占63.2%;露地玉米21块,占36.8%;灌溉田块51块,占89.5%;雨养条件、没有灌溉的地块6块,占10.5%。

高产验证于2009—2012年分别在新疆(奇台总场、71团、62团、64团、61团、87团、84团、131团、130团、温泉县)、宁夏(同心县、宁夏农科院试验站、宁夏大学南场试验基地、平吉堡农场)、甘肃(肃州区)、山东(莱州市)4省区的16个县(农场)开展,产量结果由农业部组织专家现场测产验收。

2 结果与分析

2.1 中国玉米高产田区域分布与玉米高产带

分析2005—2008年57块吨粮田的分布表明,这些高产田集中在全国17个地点,多出现在高纬度或高海拔地区。其中,北方春玉米高产主要出现在新疆伊犁,甘肃河西走廊,宁夏中部引扬黄灌区,陕北、内蒙古中、南部,河北张家口,北京延庆,吉林桦甸,辽宁中西部一线;夏玉米出现在黄淮海夏播玉米区的山东莱州、兖州和河南浚县;西南玉米区高产地出现在四川盆地山区的宣汉县,位于30°95'N,海拔高度为1100m。除四川宣汉点外,其余56块高产田所在地点平均纬度为39°18'N,按80%置信限计算,分布范围为35°36'N~42°6'N;按90%的置信限计算,分布范围为34°24'N~44°18'N,为此,本文将35°N~44°N确立为中国玉米高产带(图1)。

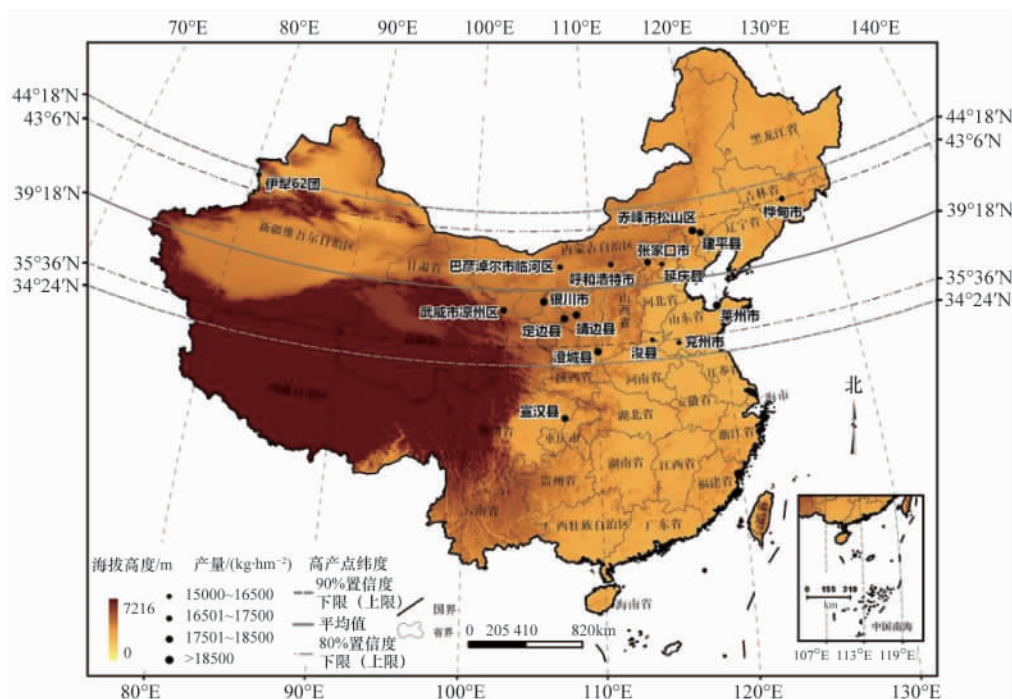


图1 玉米高产地分布与中国玉米高产带构建

Fig. 1 Distribution map of corn high-yielding sites and belt in China

2.2 高产田的产量构成

(1) 产量结构。57块高产田产量构成因素众数分布如图

2所示,实现15000kg/hm²玉米高产的产量结构为,收获穗数(平均值±标准差)(8.55±1.19)×10⁴穗/hm²,穗粒数(548±73)

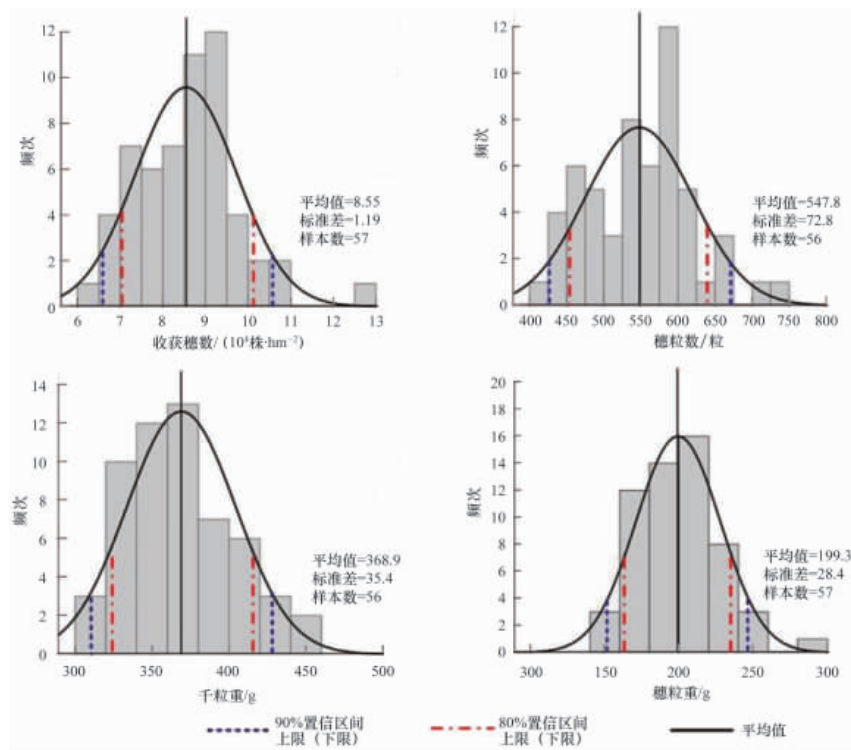


图 2 高产田玉米产量构成因素众数分布

Fig. 2 Yield components distribution of corn in high yield fields

粒,千粒重(368.9±35.4)g,穗粒重(199.3±28.4)g。按80%的置信限计算,产量构成因素的分布为,收获穗数 $7.01 \times 10^4 \sim 10.09 \times 10^4$ 穗/hm²,穗粒数453~642粒,千粒重323.0~414.9g,单穗粒重162.5~236.2g。高产田单株生产力以穗粒重200g左右的中穗型为主。

(2) 产量构成因素之间关系分析。57块玉米高产田的产

量与收获穗数的相关性达到显著水平($r=-0.297^*$),但与穗粒数($r=0.211$)和千粒重($r=0.125$)之间未达到显著水平。由图3可见,随着种植密度提高,收获穗数呈极显著增加,穗粒数、千粒重及单穗重显著下降,其中种植密度与收获穗数的相关度最高($r=0.949^{**}$),与单穗重次之($r=-0.810^{**}$),与千粒重最低($r=-0.268^*$)。

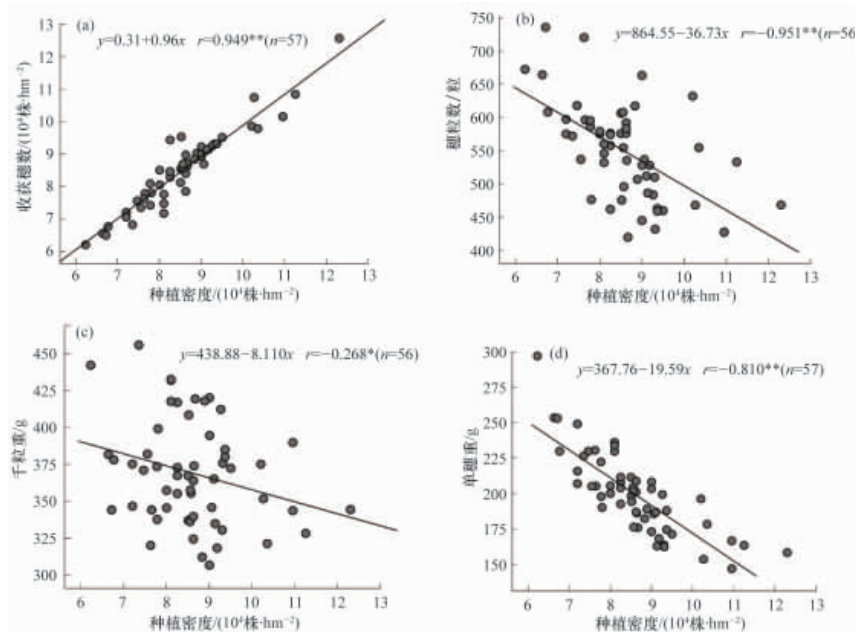
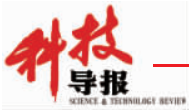


图 3 高产田玉米种植密度和产量构成因素之间的关系

Fig. 3 Relationship between planting density and yield components of corn in high-yielding fields

注:*和**分别表示在0.05和0.01水平差异显著。下同。

Notes: * and ** mean significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same as below.



单产达到 15000kg/hm² 的地块,收获穗数与穗粒数、千粒重及单穗重呈显著或极显著负相关,其中收获穗数与单穗重的相关度最高 ($r=-0.818^{**}$),与穗粒数 ($r=-0.603^{**}$)次之,与千粒重的相关程度 ($r=-0.270^{*}$)最低。在收获穗数 62025~

125670 穗/hm²之间,每增加 1 万株,单穗重、穗粒数和千粒重分别减少 19.60g、37 粒和 8.09g(图 4)。此外,穗粒数与千粒重的相关系数 $r=-0.295^{*}$,与穗粒重的相关系数 $r=0.753^{**}$,千粒重与单穗重的相关系数 $r=0.364^{**}$,均达到了显著或极显著的水平。

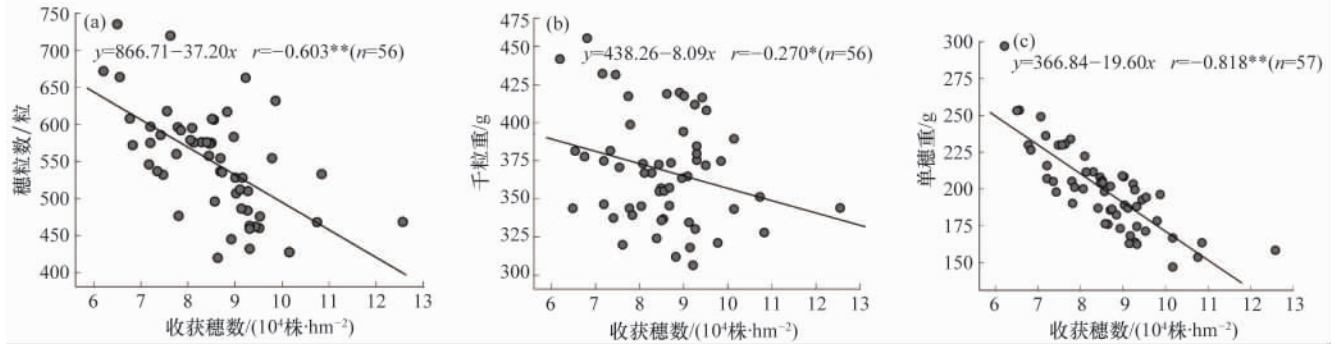


图 4 高产田玉米收获穗数与穗粒数、千粒重和单穗重的关系

Fig. 4 Relationship between ear number per hectare and kernel number per ear, 1000-kernel weight and ear weight at harvest time of high-yielding fields

途径分析(图 5)表明,3 个产量构成因素对产量的直接途径系数均为正值,并且达到了极显著水平。其中穗数对产量的直接途径系数最大,为 1.28,进一步说明收获穗数是影响和决定产量的首要因素,穗粒数次之。3 个产量构成因素对产量的间接途径系数均为负值,说明三者存在相互制约关系。

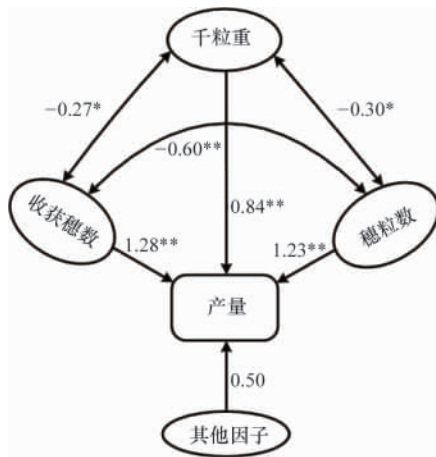


图 5 高产玉米产量性状途径

Fig. 5 Path analysis of corn yield and yield components

2.3 高产田的管理技术

(1) 品种选择。2005—2008 年创高产的 57 块玉米田共用了 20 个品种,其中郑单 958 占 8 块,先玉 335 占 7 块,内单 314 占 6 块,京单 28、辽单 565 和超试 1 号各占 5 块。这些品种共同的特点是具有较高的产量潜力,均为紧凑型或半紧凑型,抗倒、抗病、结实性好,适宜密植(表 1)。

表 1 玉米高产田所用品种及株型

Table 1 Hybrids of the high-yielding fields plant and the plant type

排序	杂交种	出现频数	株型
1	郑单 958	8	紧凑
2	先玉 335	7	紧凑
3	内单 314	6	紧凑
4	京单 28	5	紧凑
5	辽单 565	5	紧凑
6	超试 1 号	5	紧凑
7	浚单 20	3	紧凑
8	SC-704	2	紧凑
9	超试 10 号	2	紧凑
10	超试 2 号	2	紧凑
11	登海 3719	2	紧凑
12	武科 2 号	2	紧凑
13	超试 6 号	1	紧凑
14	登海 9 号	1	紧凑
15	KX1564	1	半紧凑
16	KX3564	1	紧凑
17	32D22	1	半紧凑
18	金海 607	1	紧凑
19	良玉 58	1	半紧凑
20	平泉 13	1	半紧凑

(2) 种植密度。57 块高产田种植密度(平均值±标准差)为(86011±11760)株/hm²,最低密度 62250 株/hm²,最高密度 123000 株/hm²。其中,46 块春玉米田平均密度为(86362±11697)株/hm²(62250~123000 株/hm²),11 块夏玉米田平均密度为(86048±14643)株/hm²(72000~109500 株/hm²),两者差异

不大。在 57 块高产田中，种植密度大于 75000 株/hm² 的 48 块，占 84.2%；大于 82500 株/hm² 的 37 块，占 64.9%；大于 90000 株/hm² 的 20 块，占 35.1%；大于 97500 株/hm² 的 7 块，占 12.3%；低于 67500 株/hm² 的只有 3 块，占 5.3% (图 6)。按 80%置信限计算，实现 15000kg/hm² 高产的适宜种植密度为 70755~101250 株/hm²。

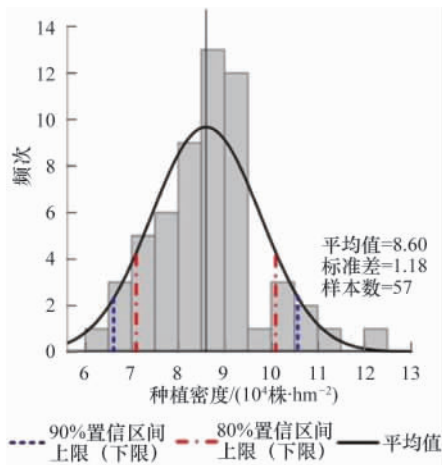


图 6 玉米高产田种植密度分布

Fig. 6 Planting density distribution map of high-yielding corn fields

(3) 株行距配置。对高产田株行距调查结果表明,57 块田有 13 种配置方式,平均行距为 (53.6±6.8)cm,平均株距 (21.4±4.0)cm。采取等行距种植的有 22 块,占 38.6%,其中,有 10 块是按 60cm 等行距种植,占 45.5%;宽窄行种植的 35 块,占 61.4%,其宽行平均为 64.4cm (最大 100cm,最小 50cm),窄行平均为 39.2cm (最大 45cm,最小 20cm),并且有 22 块田以 60cm+40cm 方式种植,占 62.9% (表 2)。由此可见,为实现增密种植,在株行距配置方面,总的趋势是缩小行距,因地制宜采取大小垄和宽窄行种植,有利于在高密度条件下群体的通风透光、田间作业和水肥集中施用。

(4) 高产田土壤肥力与肥料管理。由表 3 可见,54 块高产田土壤有机质含量在 6.7~32.2g/kg 之间,平均 16.2g/kg;速效氮 39.0~170.4mg/kg,平均 89.0mg/kg;有效磷在 7.5~118.3mg/kg 之间,平均 34.2mg/kg;有效钾在 84.0~391.5mg/kg 之间,平均 164.5mg/kg。高产田土壤养分含量总体水平高于全国平均值。有机质含量最低的陕西定边高产田只有 6.7g/kg,但该田块土壤类型为沙壤土,通透性好,通过肥料大量投入补充所需营养元素,仍然获得了 19896kg/hm² 的高产。

大量施用有机肥和化肥,培肥地力,改善土壤理化性状,满足玉米全生育期养分需求是当前高产田的共同特点。57 块高产田中 54 块施用了有机肥料,用量在 22500~90000kg/hm² 之间,还有不少田块施用了豆饼、油渣和生物有机肥。此外,部分田块采取了秸秆还田、压绿肥等培肥地力措施。调查的 55 块玉米高产田的化肥投入情况如表 4 所示,各高产田之间氮肥投入量的变异最小,磷肥次之,钾肥最大。

表 2 高产玉米田的株行距配置

Table 2 Plant-row spacing in high-yielding corn fields

配置方式	行距/cm	田块数	高产田块(年份)
等行距	40	2	甘肃凉州(2008)
	42	1	内蒙古呼和浩特市(2006)
	55	4	山东莱州登海种业(2007)
			山东莱州登海种业 3 块田(2008)
	60	15	新疆伊犁农四师 7 块田(2006、2007)
			吉林桦甸 5 块(2007、2008)
	50+20	1	山东莱州登海集团(2005)
	54+40	4	内蒙古临河(2007)
	70+30	1	陕西澄城(2007)
			内蒙古赤峰 10 块(2007、2008)
宽窄行	60+40	22	辽宁建平 5 块(2006、2007)
			宁夏银川 4 块(2008)
			陕西靖边 2 块(2007)
			北京延庆 1 块(2007)
	75+45	1	山东莱州金海种业(2007)
	80+40	3	陕西定边 1 块(2008)
			河北张家口 2 块(2007)
	93+40	1	山东兖州(2007)
	90+43	1	河南浚县(2007)
	100+33	1	四川宣汉(2008)

表 3 高产玉米田的基础肥力情况

Table 3 Soil fertility of high-yielding corn fields

项目	有机质/ (g·kg ⁻¹)	速效氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	有效钾/ (mg·kg ⁻¹)
田块数	54	54	54	54
平均值±标准值	16.2±6.3	89.0±33.2	34.2±26.0	164.5±76.5
范围	6.7~32.2	39.0~170.4	7.5~118.3	84.0~391.5

表 4 2005—2008 年高产玉米田化肥投入情况

Table 4 Fertilizer application in high-yielding corn fields from 2005 to 2008

肥料种类	N/(kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ /(kg·hm ⁻²)	K ₂ O/(kg·hm ⁻²)
田块数	55	55	55
平均值±标准值	482.3±147.5	241.5±151.4	223.7±250.7
范围	106.5~993.0	97.5~1167.0	6.0~1279.5

由表 5 可见,氮肥、磷肥和钾肥做基肥与种肥的比例分别为 34.9%、82.4%和 71.2%;氮肥做基肥、种肥、苗肥与拔节肥、穗肥和粒肥的比例分别为 21.5%、13.4%、23.8%、36.0%和 5.4%。即高产田采取了磷、钾肥以基肥与种肥集中施入为主;氮肥重施穗肥,补施粒肥,分次施入的方式。此外,钾肥有 (15.7±21.0)% 作为穗肥施入也是高产田的一个特征,有助于后期玉米的抗倒和功能期延长。

表5 2005—2008年高产田玉米不同时期的施肥比例
(平均值±标准值)

Table 5 Proportion of fertilizer application in high-yielding corn fields at different stages from 2005 to 2008 ($\bar{x} \pm s$)

施肥时期	N/%	P ₂ O ₅ /%	K ₂ O/%
基肥	21.5±22.0	42.7±40.9	35.1±38.0
种肥	13.4±18.1	39.7±44.0	36.1±45.3
苗肥与拔节肥	23.8±22.9	12.7±25.6	11.1±21.2
穗肥	36.0±22.8	4.8±11.7	15.7±21.0
粒肥	5.4±6.9	0.2±1.2	0.2±1.5

对55块高产玉米田的统计结果表明,高产田氮肥生产效率平均为(38.99±19.64)kg/kg,变幅在19.48~165.00kg/kg之间,其中有28块高产田分布在37.5~50kg/kg,占50.9%(图7)。

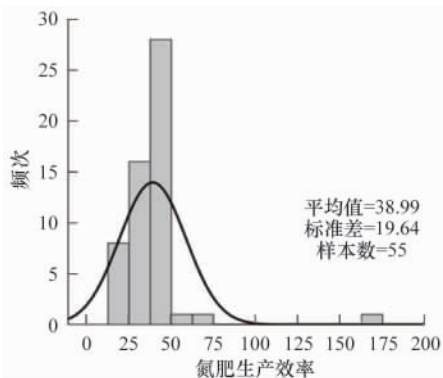


图7 高产田玉米氮肥生产效率分布

Fig. 7 Distribution of nitrogen fertilizer efficiency for grain production in high-yielding corn fields

(5) 灌溉情况。在57块高产田中,靠自然降雨的雨养田块有6块,占10.5%,主要出现在吉林桦甸和陕西澄城。吉林

桦甸和陕西澄城年均降雨量分别为748.1、549.4mm,基本可以满足玉米生长发育的需要。在自然降水量不能满足玉米高产需要的地区,实施灌溉是实现高产的关键。高产田一般在灌好底墒水的基础上,根据墒情适时足墒播种,前期适当控水,进行蹲苗,浇好孕穗至开花和灌浆阶段的关键水,保证灌浆期土壤不缺水。

2.4 玉米高产设计与验证

(1) 高产设计。基于上述研究,设计产量进一步突破的目标为22500kg/hm²,产量结构、实现途径、技术路线和关键技术如下。

产量结构:每公顷有效穗数105000~112500穗(亩穗数7000~7500),单穗重200~215g。

实现途径:“在上穗数的基础上,保粒数、增粒重”;构建良好的群体结构,培育高质量群体,防倒伏;增大花后物质生产量,延长花后光合时间和有效灌浆期。

技术路线:依据产量目标确定种植密度为前提、以防倒高效群体构建为基础的“增密防倒、前控后促”高产突破技术路线。

关键技术:高密度种植;选用耐密品种;水肥调控为主,辅助化学控制,前控后促;宽窄行种植;培肥地力,增加水肥投入;中后期增施钾肥;病虫害全程防控;适时晚收。

(2) 高产验证。2009—2012年在新疆、宁夏、甘肃、山东4省区16个试点(县/农场)进行验证试验,经农业部组织专家测产验收。2009年、2011年和2012年分别在新疆伊犁71团和奇台总场3次创造全国玉米小面积高产纪录,2010年在宁夏同心县获得当年全国玉米最高产量(表6),并于2012年在新疆伊犁71团创建平均单产16701kg/hm²的大面积(724hm²)全国玉米高产纪录,高产研究取得重要突破。

表6 玉米高产验证(2009—2012年)

Table 6 Verification for high-yielding corn from 2009 to 2012

年份	地点	验收面积/hm ²	品种	收获穗数/(穗·hm ⁻²)	亩鲜穗重/kg	鲜出籽率/%	子粒含水量/%	折14%水份后的产量/(kg·hm ⁻²)
2009	新疆伊犁71团	0.33	郑单958	122925	28617	83.25	26.38	20401.5
2010	宁夏同心河西镇艾家湾村	0.37	先玉335	98025	30884	81.17	32.33	19714.5
2011	新疆奇台总场	0.07	良玉66	95970	30678	80.84	27.97	20780.9
2012	新疆奇台总场	0.20	良玉66	101745	30719	82.25	28.61	21154.5

3 结论

(1) 生态环境的优劣是决定玉米能否高产的必备条件。中国玉米带是从东北到华北再斜向西南,纬度范围跨度相当宽,其中,有约22%的玉米种植在热带—亚热带。热带—亚热带地区昼、夜温度高、温差小,阴雨天多、病虫害重,土壤瘠薄,玉米多熟种植,产量不如温带。本研究提出35°N~44°N为中国玉米高产带。这些地区光照充足、昼夜温差大、开花授粉及子粒灌浆阶段大于35℃的高温天数少,特别是灌浆阶段正处于秋高气爽的季节,非常适合玉米的生长与产量形成,今

后应作为中国玉米生产和保障国家食物安全的优势玉米产区予以重点关注。

(2) 在高产(≥15000kg/hm²)条件下,产量构成3因素中的收获穗数与产量的相关达到了显著水平,且对产量的直接通径系数最大,是影响和决定高产形成的首要因素,也是生产中最易调控的因素。在当前生产管理条件下,实现15000kg/hm²高产的适宜种植密度为70755~101250株/hm²。合理密植,在提高玉米收获穗数的基础上,减少籽粒败育,促穗大粒多、粒重,协调3因素的关系,是实现高产突破的有效

途径。

(3) 对正式验收的 57 块高产田($\geq 15000\text{kg}/\text{hm}^2$)资料分析及高产验证后认为,选择耐密型、中晚熟品种,增密种植,保障水肥供应,精细管理,提高玉米整齐度和群体质量,适时晚收,创建一个高光效的群体,充分挖掘当地光热资源,增加花后物质生产量和转移率是中国目前玉米实现高产的共同特征。

(4) 中国玉米高产田土壤养分基础肥力并不高,但高产田块土壤质地以砂壤土和壤土为主,通透性好,而且土层深厚,土壤剖面物理结构良好,土壤类型主要是黑土、灌淤土(陕西定边,宁夏引黄灌区,内蒙古松山区)、河淤土、草原栗钙土(山西应县)、沉积土(河北张家口)、冲积土和潮褐土(山东兖州,内蒙古呼和浩特),酸碱度中至偏酸性($\text{pH } 6.5\sim 7.5$)。当前中国玉米高产田($\geq 15000\text{kg}/\text{hm}^2$)化肥的平均施入量氮肥为 $482.3\text{kg}/\text{hm}^2$, P_2O_5 为 $241.5\text{kg}/\text{hm}^2$, K_2O 为 $223.7\text{kg}/\text{hm}^2$, 高于普通农户的氮肥 ($257\text{kg}/\text{hm}^2$)^[12], P_2O_5 ($70\text{kg}/\text{hm}^2$)^[13] 和 K_2O ($90\text{kg}/\text{hm}^2$)用量^[13],也远高于美国玉米高产田的施肥水平^[1]。这与中国玉米高产田土壤养分基础肥力不高,高产需肥规律与施肥技术研究支撑不足,高产实践中主要采取投入大量肥料以充分满足作物所需营养元素有关。今后需加强地力培肥,进一步研究 $\geq 15000\text{kg}/\text{hm}^2$ 高产玉米的营养特点和需肥规律,建立综合的高产玉米—土壤管理体系,提高肥料利用率,为玉米持续高产提供理论依据。

致谢 薛吉全,高聚林,王立春,赵明,刘永红,王友德,李登海,董树亭,李潮海,赵久然,杨祁峰,王永宏等专家提供了高产验收资料,研究生刘月娥参与了数据分析,在此一并表示感谢。

参考文献(References)

- [1] 李少昆,王崇桃. 玉米高产潜力·途径[M]. 北京: 科学出版社, 2010. Li Shaokun, Wang Chongtao. Potential and ways to high yield in maize [M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [2] National Corn Growers Association. National winners—2011 corn yield contest [EB/OL]. (2011-12-30) [2013-02-07]. http://www.ncga.com/upload/files/documents/pdf/2011cyc_national_winners.pdf.
- [3] 陈国平,赵久然. 试论超级玉米的育种、栽培模式: 玉米栽培研究 50 年—陈国平先生文集[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005. Chen Guoping, Zhao Jiuran. Breeding and cultivation of the super-corn: Corn cultivation research fifty years—Mr. Chen Guoping proceedings[M]. Beijing: Chinese Agriculture Science & Technology Press, 2005.
- [4] 陈国平,杨国航,赵明,等. 玉米小面积超高产创建及配套栽培技术研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(4): 1-4. Chen Guoping, Yang Guohang, Zhao Ming, et al. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(4): 1-4.
- [5] 陈国平,赵久然,张经武,等. 春玉米创最高纪录栽培技术的研究[J]. 玉米科学, 1995, 3(3): 26-30. Chen Guoping, Zhao Jiuran, Zhang Jingwu, et al. Journal of Maize Sciences, 1995, 3(3): 26-30.
- [6] 黄振喜,王永军,王空军,等. 产量 $15000\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上夏玉米灌浆期间的的光合特性[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1898-1906. Huang Zhenxi, Wang Yongjun, Wang Kongjun, et al. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(9): 1898-1906.
- [7] 杨全胜,王永军,张吉旺,等. 三个超高产夏玉米品种的干物质生产及光合特性[J]. 作物学报, 2011, 37(2): 355-361. Yang Jinsheng, Wang Yongjun, Zhang Jiawang, et al. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(2): 355-361.
- [8] 路海东,薛吉全,马国胜,等. 陕西榆林春玉米高产田土壤理化性状及根系分布[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 895-900. Lu Haidong, Xue Jiquan, Ma Guosheng, et al. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(4): 895-900.
- [9] 陈国平,高聚林,赵明,等. 近年我国玉米超高产田的分布、产量构成及关键技术[J]. 作物学报, 2012, 38(1): 80-85. Chen Guoping, Gao Julin, Zhao Ming, et al. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(1): 80-85.
- [10] 王崇桃,李少昆,韩伯棠. 玉米高产之路与产量潜力挖掘[J]. 科技导报, 2006, 24(4): 8-11. Wang Chongtao, Li Shaokun, Han Botang. Science & Technology Review, 2006, 24(4): 8-11.
- [11] 王崇桃,李少昆. 作物产量差与玉米高产设计[J]. 科技导报, 2012, 30(7): 48-53. Wang Chongtao, Li Shaokun. Science & Technology Review, 2012, 30(7): 48-53.
- [12] Chen X P, Zhen L C, Peter M V, et al. Integrated soil-crop system management for food security[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2011, 108(16): 6399-6404.
- [13] 李兆君,杨佳佳,范菲菲,等. 不同施肥条件下覆膜对玉米干物质积累及吸磷量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 571-577. Li Zhaojun, Yang Jiajia, Fan Feifei, et al. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(3): 571-577.

(责任编辑 吴晓丽)

《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿: www.kjdb.org。