

实施密植高产机械化生产 实现玉米高产高效协同

李少昆¹ 王克如¹ 谢瑞芝¹ 侯鹏¹ 明博¹ 杨小霞² 韩冬生² 王玉华²

(¹中国农业科学院作物科学研究所 / 农业部作物生理生态重点实验室, 100081, 北京;

²新疆生产建设兵团第四师 71 团, 835801, 新疆新源)

摘要 为探索生产方式转变, 实现玉米产量与效益协同提高, 分析了玉米种植密度提高与单产增加的关系、不同产区玉米种植密度现状、增密种植的增产效果以及子粒机械直收技术的优势, 构建了以筛选耐密抗倒适合机械化生产品种、密植增穗增产、提高群体整齐度、构建高质量群体、全程机械化作业、强化规模种植与统一管理、实施全成本核算为核心的玉米密植高产全程机械化生产技术模式。该模式 2013 年起被农业部遴选为全国玉米主推技术, 在全国玉米主产区推广, 创建了一批高产高效典型。其中, 经农业部组织专家验收, 2014 年在新疆兵团 71 团创造了 18 414kg/hm² 的全玉米大面积高产纪录, 净利润达到 24 118.2 元/hm², 实现了玉米高产与高效协同, 为玉米生产方式转变和发展现代玉米生产提供了典型案例。

关键词 玉米; 密植; 子粒收获; 高产高效; 模式

实施多年的粮食作物高产创建、粮食丰产科技工程等引领了全国玉米高产探索和技术推广, 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, 重演性增强^[1-3]。但随着市场经济的发展、劳动力成本的增加和经营规模的扩大, 玉米生产成本高、市场竞争力差、农民种植效益低的问题日渐突出, 单纯以高产为目标的生产方式将必然会被增产增效并重、高产与高效协同为目标的方式所取代。密植、机械化生产将成为现代玉米生产技术体系的核心要素。中国农业科学院作物科学研究所和玉米主产区相关单位长期合作开展玉米高产高效生产攻关研究, 创新集成了玉米密植高产全程机械化生产技术体系, 2013-2016 年连续被农业部遴选为全国玉米主推技术, 在各地示范推广, 创建出一批当地玉米高产高效典型, 推动了玉米密植、高产和全程机械化生产技术的运用。

1 玉米增密种植与全程机械化生产

1.1 合理密植是玉米增产增效的重要途径

玉米种植密度不断增加是科学技术进步的综合作体现。多年来, 世界各地围绕种植密度开展了大量研究和实践, 增加种植密度成为提高产量的有效

和首选途径^[1-5]。由图 1 可见, 美国在 20 世纪 30 年代推广玉米杂交种之初, 种植密度不足 30 000 株/hm², 产量水平在 1 500~1 950kg/hm²; 发展至 20 世纪 70 年代, 种植密度达到 45 000 株/hm², 平均产量达到 6 000kg/hm²; 20 世纪 80-90 年代密度达到 60 000 株/hm², 产量提高到 7 500kg/hm²; 近年来, 玉米带种植密度增加至 82 500 株/hm² 左右, 产量达到 9 000kg/hm² 以上。在我国, 新中国成立之初, 玉米生产水平较低, 种植密度不到 15 000 株/hm², 产量仅 1 000kg/hm² 左右。建国 60 多年来, 随着科技进步、投入增加和生产管理水平的提高, 我国玉米的种植密度逐年增加。目前, 全国玉米主产区种植密度约为 60 000 株/hm², 仅相当于美国 20 世纪 90 年代水平, 全国平均产量接近 6 000kg/hm², 仅比美国 20 世纪 70 年代水平略高。与美国相比, 种植密度与单产均有较大差距。

1.2 不同产区玉米的种植密度

2015 年, 国家玉米产业技术体系各区域综合试验站对 203 个玉米主产县、4 793 户玉米种植户进行抽样测产, 结果 (表 1) 表明, 2015 年我国玉米主产区平均收获株数为 58 979 株/hm² (3 932 株/亩), 其中, 西北玉米区最高, 平均为 65 177 株/hm² (4 345 株/亩), 西南及南方玉米区最低, 平均为 50 690 株/hm² (3 379 株/亩), 玉米种植密度普遍较低, 与美国大田玉米相比, 还有 15 000~22 500 株/hm² 差距, 增密种植具有较大潜力。

作者简介: 李少昆, 研究员, 主要从事玉米生理生态与栽培研究
基金项目: 国家现代玉米产业技术体系; 国家自然科学基金项目 (31271663); 中国农业科学院农业科技创新工程项目

收稿日期: 2016-07-12; 修回日期: 2016-07-17

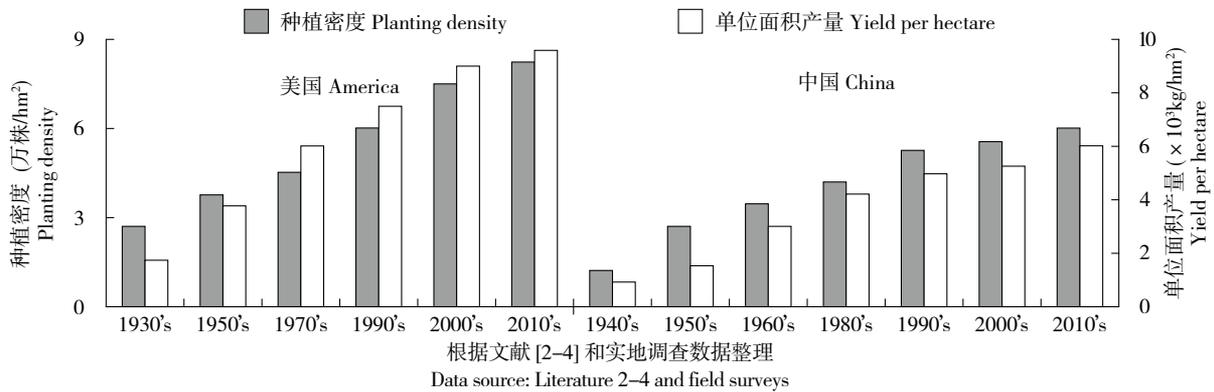


图1 中国和美国玉米种植密度与单产变化

Fig.1 Maize planting density and yield variation in China and America

表1 2015年不同玉米产区联合测产结果

Table 1 Yield test of maize in different maize regions in 2015

区域 Regions	调查样本数 Simple size	收获株数 (株/hm²) Harvest plants
东华北春玉米区 Spring sowing maize district in North and Northeast of China	64 个县(市)、1 479 户	59 075
黄淮海夏玉米区 Summer sowing maize district in Huang-huai-hai plain	59 个县(市)、1 418 户	49 850
西北玉米区 Maize district in Northwest of China	30 个县(市)、720 户	65 177
西南及南方玉米区 Maize district in Southwest and South of China	50 个县(市)、1 176 户	50 690
平均 Average	-	58 979

1.3 玉米增密种植的增产效果

为在较大尺度上解析增密种植的增产效果, 2007–2015年, 在四大玉米产区开展增密种植联合试验, 选择代表我国玉米主栽品种类型的郑单 958、中单 909、先玉 335、农华 101 与登海 11 为各试点共用品种。设置传统生产密度 52 500~60 000 株/hm² (3 500~4 000 株/亩), 其中 2007–2012 年为 52 500

株/hm², 2013–2015 年为 60 000 株/hm²; 增密种植密度 75 000 株/hm² (5 000 株/亩)。对 485 个点次的试验统计结果(表 2)表明, 所有产区增密种植后均表现出明显的增产趋势, 平均增产幅度为 4.5%~10.9%。其中, 西北灌溉玉米区和西南玉米区增产幅度最大, 达到 10.8%~10.9%, 黄淮海夏玉米区增幅最小, 为 4.5%。

表2 不同区域玉米增密种植的产量表现

Table 2 Yield performance of maize under high planting density in different regions

区域 Regions	试验点次 Simple size	传统生产密度处理 (kg/hm ²) Normal plant density treatment	增密处理 (kg/hm ²) Higher population treatment	增产幅度 (%) Yield increase rate
东华北春玉米区 Spring sowing maize district in North and Northeast of China	271	11 923	12 502	4.9
黄淮海夏玉米区 Summer sowing maize district in Huang-huai-hai plain	130	8 715	9 106	4.5
西南及南方玉米区 Maize district in Southwest and South of China	69	7 150	7 930	10.9
西北灌溉玉米区 Irrigated maize district in Northwest of China	45	15 392	17 049	10.8

1.4 玉米全程机械化生产是产业发展的方向

玉米全程机械化作业包括耕整地、播种、施肥、施药和收获等几个关键环节。通过单粒精量点播技术减少了间、定苗环节, 可节省人工投入 450~750 元/hm²。通过实施籽粒收获, 减少了果穗运输、翻晒和脱粒的成本, 与人工收获相比, 效益提高十

分明显^[5]。在黑龙江省龙江、吉林省农安、新疆自治区奇台和河南省鹤壁的调研表明, 采用机械籽粒直收费用(收粒+拉运)为 1 125~2 100 元/hm², 较机械收穗(收获+拉运+晾晒+脱粒)节约成本 375~600 元/hm², 较人工收获(收获+拉运+晾晒+脱粒)节约成本 1 050~1 650 元/hm²。按单产

6 000kg/hm² 计算, 机械子粒直收技术比目前机械收获节约 375~600 元/hm², 即降低成本 62.5~100.0 元/t; 比雇工收获节约 1 050~1 650 元/hm², 即降低成本 175~275 元/t。机械子粒直收技术是当前转变玉米生产方式、提升玉米生产效益的关键环节。

随着种植密度加大, 会大大增加人工收获的劳动时间、强度和成本, 加之农村劳动力减少、老龄化的影响, 势必导致用工成本激增、生产效益减少。因此, 生产中迫切需要实现机械化子粒直收技术, 从而为推行密植高产高效生产扫清障碍^[5]。

2 玉米密植高产全程机械化生产技术

2.1 技术途径

玉米密植高产全程机械化技术通过筛选耐密抗倒适合机械化生产品种、密植增穗增产、提高群体整齐度、构建高质量群体、全程机械化作业、强化规模种植与统一管理、全成本核算, 实现高产高效协同提高和可持续增产。

2.2 关键措施

2.2.1 选择耐密抗倒高产适合机械收粒品种 选择国家或省市自治区审定、在当地经过筛选试验表现优良的品种, 特别是耐密性好、抗倒性强、产量潜力大、适应机械精量点播和机械收获的品种。子粒机械直收要求生长后期脱水快、一般生育期短 5~7d 的品种。

2.2.2 增密种植 根据当地的气候条件、土壤条件、生产条件、品种特性以及生产目的, 合理配置株行距, 确保适宜密度。其中, 西北地区光照条件较好, 一般灌溉区中晚熟品种留苗 90 000~97 500 株/hm² (6 000~6 500 株/亩), 中早熟品种 105 000~112 500 株/hm² (7 000~7 500 株/亩); 东北地区早熟品种 90 000~97 500 株/hm² (6 000~6 500 株/亩), 中熟品种 75 000~82 500 株/hm² (5 000~5 500 株/亩); 黄淮海夏玉米区留苗 67 500~75 000 株/hm² (4 500~5 000 株/亩)。高产潜力探索田块种植密度还需进一步增加。

2.2.3 机械精量播种 单粒点播种子发芽率应高于 96%。通过足墒、适期播种等, 保证苗齐、苗匀、苗全、苗壮, 提高群体整齐度。带种肥播种时要种、肥分离。有滴灌条件的地块采取干播湿出、滴水出苗方式, 以提高出苗率和幼苗整齐度。

2.2.4 分期施肥与水肥一体化 根据各地玉米产

量目标和地力水平进行测土配方施肥, 使用各级土肥站经测土推荐的配方或配方专用肥。在有条件的地区, 施优质粗有机肥 30~45t/hm² 或精制有机肥 15t/hm² 左右; 全部磷肥、30%~40% 的氮肥 (如有种肥可相应减少用量) 和 70% 钾肥作基肥, 剩余的肥料在小喇叭口期前进行一次性机械追施。滴灌地块可在每次滴灌时随滴灌施用专用肥或其他水溶性肥料。

2.2.5 化学调控 密植种植要注意防止倒伏, 要选择抗倒伏品种和进行水肥调控。对于蹲苗时间短、有旺长趋势、多年出现倒伏的地块以及种植密度过高的田块, 在 6~9 展叶期喷洒玉米专用生长调节剂 (如吨田宝、玉黄金、羟基乙烯利等), 控制基部节间长度和植株高度, 增强茎秆强度, 预防倒伏。

2.2.6 适时晚收、机械收获 根据种植行距及作业质量要求选择合适的收获机械。玉米完熟后可果穗收获。子粒机械直收可在生理成熟 (子粒乳线完全消失) 后 2~4 周进行收获作业, 子粒水分含量应为 28% 以下, 一次完成摘穗、剥皮、脱粒, 同时进行茎秆处理 (捡拾打捆或粉碎还田) 等项作业。子粒收获后及时烘干贮藏、交售。

2.2.7 秸秆还田、施有机肥, 培肥地力 秸秆粉碎后, 施有机肥, 翻埋还田, 达到培肥土壤、改善土壤结构的目的。秸秆翻埋还田时, 耕深不小于 28cm, 耕后耙透、镇实、整平, 消除因秸秆造成的土壤架空。秸秆量大的地块可利用饲草捡拾打捆机将秸秆打捆做饲料。

化学除草、病虫害防治等其他管理同当地高产田管理措施。

3 玉米密植高产全程机械化生产技术应用

3.1 实现产量突破

“玉米密植高产全程机械化生产技术”自 2013 年起被农业部遴选为全国玉米主推技术, 在新疆、甘肃、宁夏、内蒙古、黑龙江等多省区创造了玉米小面积高产纪录 (表 3), 其中, 2013 年在新疆奇台总场创造了 22 676.1kg/hm² (1 511.7kg/亩) 的全国玉米高产纪录, 实现了玉米产量潜力的突破。同时, 还创建了一批大面积高产高效典型, 实现了产量和效益协同提高。例如, 经农业部组织专家验收, 在新疆兵团 71 团示范区, 2012 年在万亩 (724hm²) 面积上实现产量 16 701kg/hm² (1 113.4kg/亩), 创

表3 近年取得的玉米最高单产
Table 3 Maximum grain yields per unit area were reached in recent years

年份 Year	单产 Yield(kg/hm ²)	收获穗数 Harvest ears(穗/hm ²)	品种 Varieties	地点 Sites	备注 Notes
2013	21 508.8	98 096	晋单 73	新疆 71 团	全国高产纪录
2013	22 676.1	133 614	登海 618	新疆奇台总场	全国高产纪录
2014	20 359.4	90 654	晋单 73	宁夏永宁	宁夏高产纪录
2014	21 876.0	103 099	陕单 618	陕西定边	陕西高产纪录
2014	21 135.2	113 130	登海 618	新疆奇台总场	当年新疆最高单产
2014	19 280.7	109 753	DK517	甘肃凉州区	甘肃高产纪录
2014	18 639.0	89 550	良玉 99	黑龙江肇东	当年黑龙江最高单产
2015	20 431.1	85 465	京科 968	新疆 71 团	当年全国最高单产

造了全国玉米大面积高产纪录, 2014年又进一步创造了 18 414kg/hm² (1 227.6kg/亩) 的新纪录, 使我国玉米万亩单产水平迈上 18 000kg/hm² (1 200kg/亩) 的新台阶, 且较 2012 年增产 1 713kg/hm², 增幅 10.3% (表 4)。

3.2 万亩高产纪录田产量分析

新疆 71 团玉米大面积高产田产量及产量结构统计结果见表 4。分析 2014 年较 2012 年产量水平进一步提升的原因: 一是收获穗数进一步增加。2014 年收获穗数达到 106 530 穗/hm², 30 个测试点变幅为 89 070~131 415 株/hm², 较 2012 年平均增加 14.9%; 二是品种更换, 耐密品种得到大

面积推广。2012 年万亩高产田种植玉米品种主要是 KWS1568、先玉 335、KWS3564、先玉 696 和新玉 50, 以 KWS1568 为主, 2014 年更换为 M751、M753、KWS3564、德育 919、真金 8 号、先玉 335 等, 主栽品种更换为 M751、M753, 两品种占总种植面积 50% 以上。随着品种更换, 品种的耐密性进一步提高, 为密植高产奠定了基础; 三是品种的出子率提高。在子粒含水量仍高 2.2 个百分点的情况下, 2014 年高产田平均鲜出子率 83.9%, 较 2012 年提高 2.4 个百分点; 四是播种质量进一步提高。通过购置新型整地、播种和收获机械, 购置精品种子, 整地与播种质量得到明显改善, 保证了高密度条件

表4 新疆 71 团玉米密植高产全程机械化生产技术田产量与产量结构
Table 4 Yield and yield component of maize in field of higher population and full mechanization in 71st farm, Xinjiang Production and Construction Crops

项目 Items	2012 年		2014 年		增减 Increase or decrease	增减比例 (%) Rate of increase or decrease
	平均值 Average	变幅 Range	平均值 Average	变幅 Range		
收获穗数 Harvest ears(穗/hm ²)	92 700 ± 10 245	75 000~122 130	106 530 ± 10 095	89 070~131 415	+13 830	14.9
出鲜子率 Fresh kernel rate(%)	81.5 ± 2.0	78.3~85.6	83.9 ± 3.0	76.7~87.2	+2.4	2.7
子粒含水量 Grain water content(%)	26.3 ± 3.0	22.0~32.6	28.5 ± 3.0	24.2~35.8	+2.2	11.5
单穗重 Single ear weight(g)	182.0 ± 21.0	138.0~225.0	174.2 ± 19.0	138.5~214.6	-7.8	-4.3
折 14% 水分产量 Actual yield(kg/hm ²)	1 6701 ± 1 155	14 058~19 731	18 414 ± 1 290	15 344~21 185	+1 713	10.3

下玉米的出苗率和整齐度, 为高质量群体构建奠定了基础。

3.3 万亩高产纪录田经济效益分析

统一用 2014 年生产资料价格对新疆 71 团万亩密植高产全程机械化生产田进行生产成本的逐项计算, 结果见表 5。高产田生产经营费用为 11 789.10 元/hm², 按子粒价格 1.95 元/kg (14% 含水率) 计算, 产值 35 907.30 元/hm², 净利润达到 24 118.20 元/hm², 实现了高产高效。在生产经营费用 11 789.10 元/hm² 中, 包括生产成本 9 323.7

元/hm² 和土地费 2 468.4 元/hm², 其中, 生产成本占总经营费用的 79.1%, 在生产成本中, 机械作业费 3 354.0 元/hm², 占生产总成本的 36.0%, 排第 1 位; 肥料费投入 2 826.0 元, 占 30.3%, 排第 2 位; 种子费占 16.3%, 排第 3 位, 其他依次为劳务费 (播种、追肥、灌水、收获等环节辅助投工) 占 7.2%, 灌溉费占 5.4%, 保险费占 4.1%, 农药费占 0.7%。此外, 成本产品率和成本产值率是很重要的技术、经济指标, 高产田每元成本可收获 1.56kg 玉米, 可获得 3.05 元产值。

表 5 新疆 71 团玉米密植高产全程机械化
生产田作业环节与成本收益表

Table 5 Operation link and cost income of maize in
field of higher population and full mechanization in 71st
farm, Xinjiang Production and Construction Corps

项目 Items		数值 Value		
成本 Cost (元/hm ²)	机械作业	犁地	420.0	
	Mechanical operation	施全层肥	97.5	
		整地	第一遍	285.0
			第二遍	195.0
		播种	135.0	
		喷药(化除)	27.0	
		喷药(化控)	27.0	
		中耕	第一遍	97.5
			第二遍	112.5
		开沟	97.5	
		开毛渠	30.0	
		收割	1 125.0	
		拉运	277.5	
		粉碎秸秆	255.0	
		切地	172.5	
		小计	3 354.0	
	种子 Seed	金额	1 518.0	
	肥料 Fertilizer	磷酸二铵	1 755.0	
		尿素	1 071.0	
		小计	2 826.0	
灌溉(渠水) Irrigation	502.5			
农药 Pesticide	67.2			
保险 Insurance	378.0			
雇工劳务费 Labour	675.0			
其他 Others	0			
合计	9 320.7			
土地费 Cost of land(元/hm ²)	2 468.40			
经营费用 Operating cost(元/hm ²)	11 789.10			
玉米单产 Yield per hectare(kg/hm ²)	18 414.00			
产品单价 Price of maize grain(元/kg)	1.95			
产值 Gross income(元/hm ²)	35 907.30			
净利润 Net profit(元/hm ²)	24 118.20			
成本产品率 Cost product rate(kg/元)	1.56			
成本产值率 Cost income rate(元/元)	3.05			

4 结论

随着选育和推广耐密抗倒玉米品种、推行单粒精量点播技术、密植抗倒延衰群体调控技术、测土配方施肥技术, 以及改善灌溉条件、提高病虫害防治水平, 为不断加大玉米种植密度提供了技术保障, 增密种植将成为玉米生产实现大面

积高产高效的关键措施和发展趋势^[1-4]。鉴于大田种植密度受基因型、环境和管理水平等多种因素影响, 还受到最佳经济效益和种植风险的制约, 各地合理种植密度还需要依据当地条件、开展系统试验后加以明确。

直接收获子粒, 能够减少果穗储运、晾晒、脱粒等作业环节, 不仅大大降低了劳动强度, 提高了生产效率, 节约了生产成本^[5], 而且还会减轻晾晒、脱粒过程中的子粒霉烂和损失, 更适用于密植生产^[6-8]。此外, 一般子粒收获玉米品种要求成熟期略提早, 而早熟品种生物量小, 通过增密种植, 可提高群体产量。因此, 玉米密植高产和子粒收获技术有机融合是对传统玉米生产方式的重大变革, 是当前农业生产转方式、提效益的重要途径。

新疆兵团 71 团推广玉米密植高产全程机械化生产技术模式, 连续创造全国大面积玉米高产纪录, 并且获得了较高的经济效益, 其经验可概括为: 一是通过密植栽培, 选用耐密、抗倒、适合机械子粒直收品种并配以高质量群体调控技术, 充分挖掘当地的光温水肥生产潜力, 实现了增产和资源高效利用; 二是依靠全程机械化, 农机农艺高度融合, 提升农机装备水平、作业水平和管理水平, 减少劳动力投入, 提高了机械作业效率和生产效率; 三是通过秸秆还田、施用有机肥、轮作等措施培肥, 采用测土配方施肥和机械深施肥等技术, 提高了地力和施肥效果, 为降低肥料投入、实现玉米持续高产奠定了基础。新疆 71 团的实践充分证明, 玉米密植高产全程机械化生产技术是实现高产与高效协同提高和转变玉米生产方式的重要途径, 为发展现代玉米生产提供了成功案例。

参考文献

- [1]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. 作物学报, 2012, 38(1): 80-85.
- [2]李少昆, 王崇桃. 玉米高产潜力·途径. 北京: 科学出版社, 2010.
- [3]李少昆, 王崇桃. 玉米生产技术创新·扩散. 北京: 科学出版社, 2010.
- [4]李少昆, 王崇桃. 中国玉米生产技术的演变与发展. 中国农业科学, 2009, 42(6): 1941-1951.
- [5]刘石. 你真的了解籽粒收获吗? 种子科技, 2016(3): 7.
- [6]李少昆. 玉米密植高产机械收粒技术//李保国. 梨树黑土地论坛专家观点 2015. 北京: 科学技术文献出版社, 2015: 96-98.
- [7]柳枫贺, 王克如, 李健, 等. 影响玉米机械收粒质量因素的分析. 作物杂志, 2013(4): 116-119.
- [8]谢瑞芝, 雷晓鹏, 王克如, 等. 黄淮海夏玉米子粒机械收获研究初报. 作物杂志, 2014(2): 76-79.

Implementing Higher Population and Full Mechanization Technologies to Achieve High Yield and High Efficiency in Maize Production

Li Shaokun¹, Wang Keru¹, Xie Ruizhi¹, Hou Peng¹, Ming Bo¹,
Yang Xiaoxia², Han Dongsheng², Wang Yuhua²

(¹Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Eco-Physiology and Cultivation, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China; ²71st regiment, 4th division, Xinjiang Production and Construction Crops, Xinyuan 835801, Xinjiang, China)

Abstract In order to explore the transformation of the production mode, and achieve high yield and high efficiency of maize, we analyzed the relationship between the increases of planting density and yield of maize, present situation of planting density and yield increasing effects of increasing planting density in different areas, and advantages of grain mechanical harvest technique. We built higher population, high yield, and full mechanization production technology based on cultivars of lodging resistance under high planting density and suitable for mechanized production, and high planting density and high spike, and high population uniformity and quality, and full mechanization, and large-scale planting and unified management, and total cost accounting. This technology was selected as the national main maize push technology by Ministry of Agriculture. It was expanded in 71st farm of Xinjiang Production and Construction Crops which created a high yield record of 18 414 kg/hm² at a large scale and profit of 24 118.2 yuan/hm² and high yield and high efficiency were achieved. It provides a typical case for maize production transformation and development of modern maize production.

Key words Maize; Higher population; Grain mechanical harvest; High yield and high efficiency; Mode