

中国玉米产业现状与展望

Current Situation and Prospect of Corn Industry in China

—— 稳粮保供及关键技术

Stabilizing Food Supply and Key Technologies

李少昆 研究员

中国农业科学院 作物科学研究所

电话:13910325766

E-mail: lishaokun@caas.cn



报告内容 Contents

一、玉米产业发展现状

Current Situation in the Development of Corn Industry

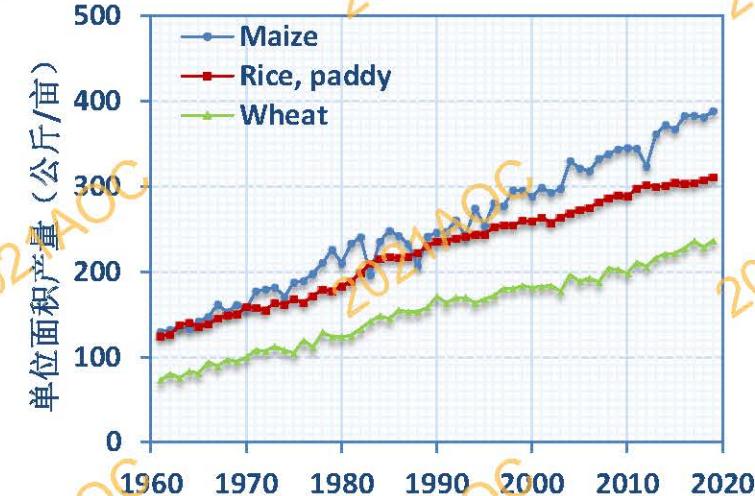
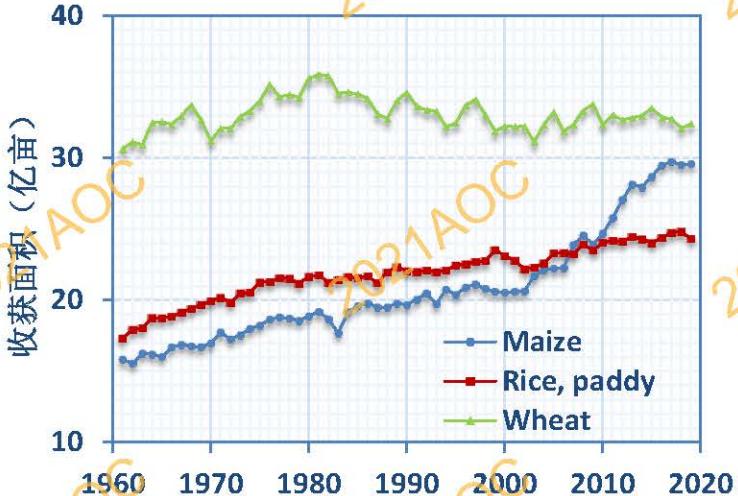
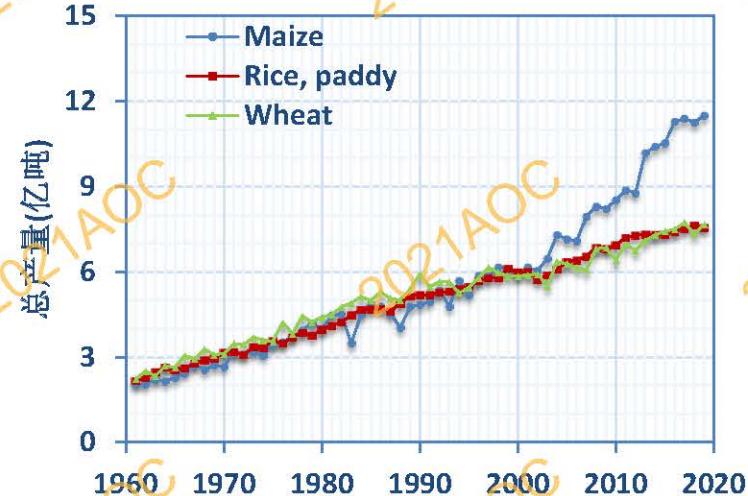
二、稳粮保供技术途径

Technical Approaches of Stabilizing Food Supply

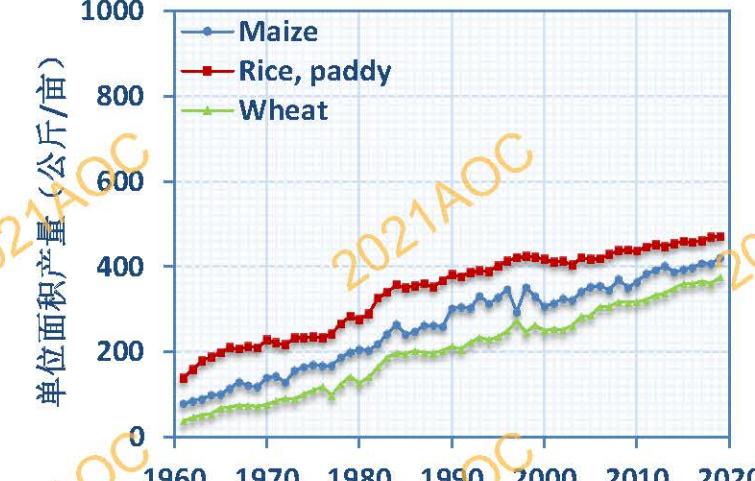
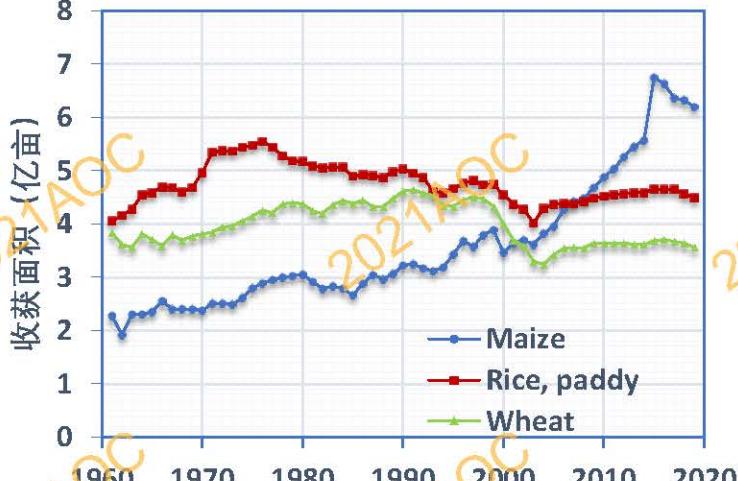
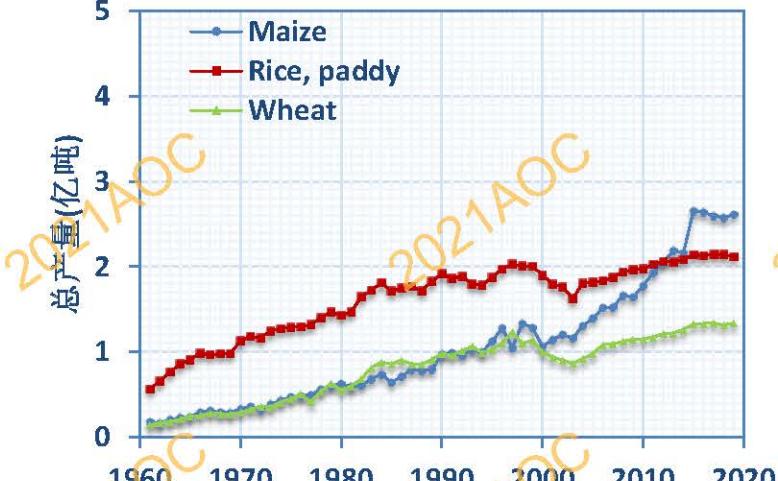
三、产量提升理论与实践

Theory and Practice of Corn Yield Increase

全球玉米、小麦和水稻收获面积、总产量及单产



中国玉米、小麦和水稻收获面积、总产量及单产

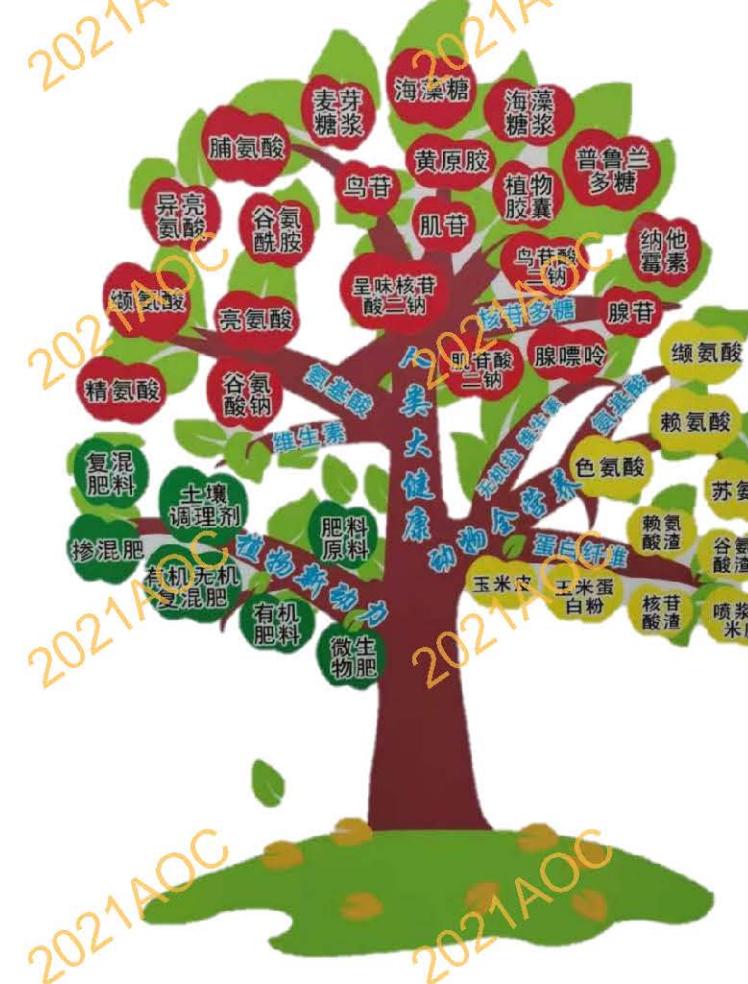


数据来源：国家统计局 / FAOSTAT



品 种：MC670
亩穗数：8642 穗
出籽率：84.2 %
含水率：27.7 %
单 产：1663.25 千克/亩
光能利用率：2.49 %
氮肥偏生产力：47.25 kg kg⁻¹
灌溉水利用效率：4.16 kg m⁻³

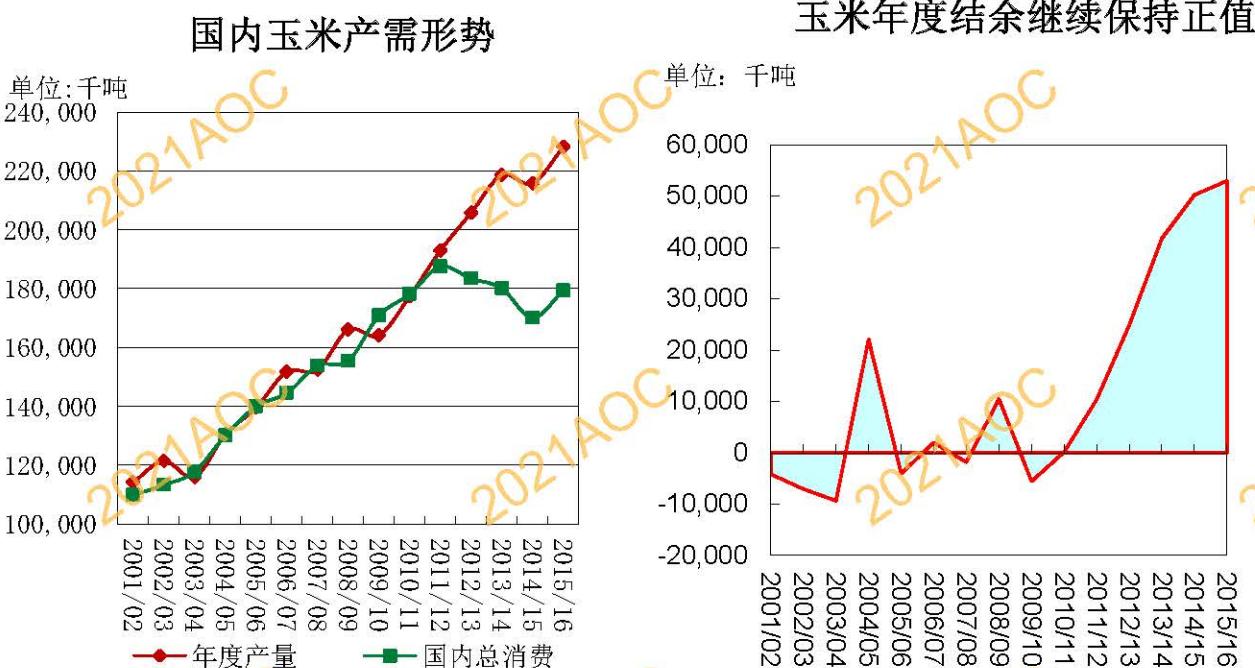




问题：1、成本高、价格高

我国玉米生产不利因素是生产成本、价格高。从2006年至2016年，我国玉米每公斤成本从0.97元增至近2元；美国和巴西每公斤玉米成本分别为1.42元和1.16元，2021年随玉米价格快速上涨，土地地价普遍上涨（300-500元/亩）、农资成本进一步提高。

	生产成本 (元/公斤)	劳动力 占成本 比例 (%)	机械费 用 (元/公 斤)	土地成本 (元/公 斤)
中国	2.0	45	0.17	0.4
美国	1.42	4.2	0.21	0.31
巴西	1.16	4.4	0.21	0.13



问题 2、产品质量不优、专用率低

- 玉米商品质量、稳定性和一致性总体不高：商品玉米混杂，收获期子粒含水量达30%以上，容重低、成熟度差。工业出粉率低，储运困难，易霉变。
- 现代饲料业、加工业发展需要玉米优质、专用化，但目前专用率低，阻碍了饲料、加工业对国内玉米的需求。

中美玉米品质比较

品质指标	China (2019)	USA (2020)
容重	737.5g/L	755g/L
含水率	25.91%*	15.80%
淀粉	71.50%	72.20%
粗蛋白质	9.20%	8.50%
粗脂肪	4.10%	3.90%

*未提供，为粒收玉米试验调查数据

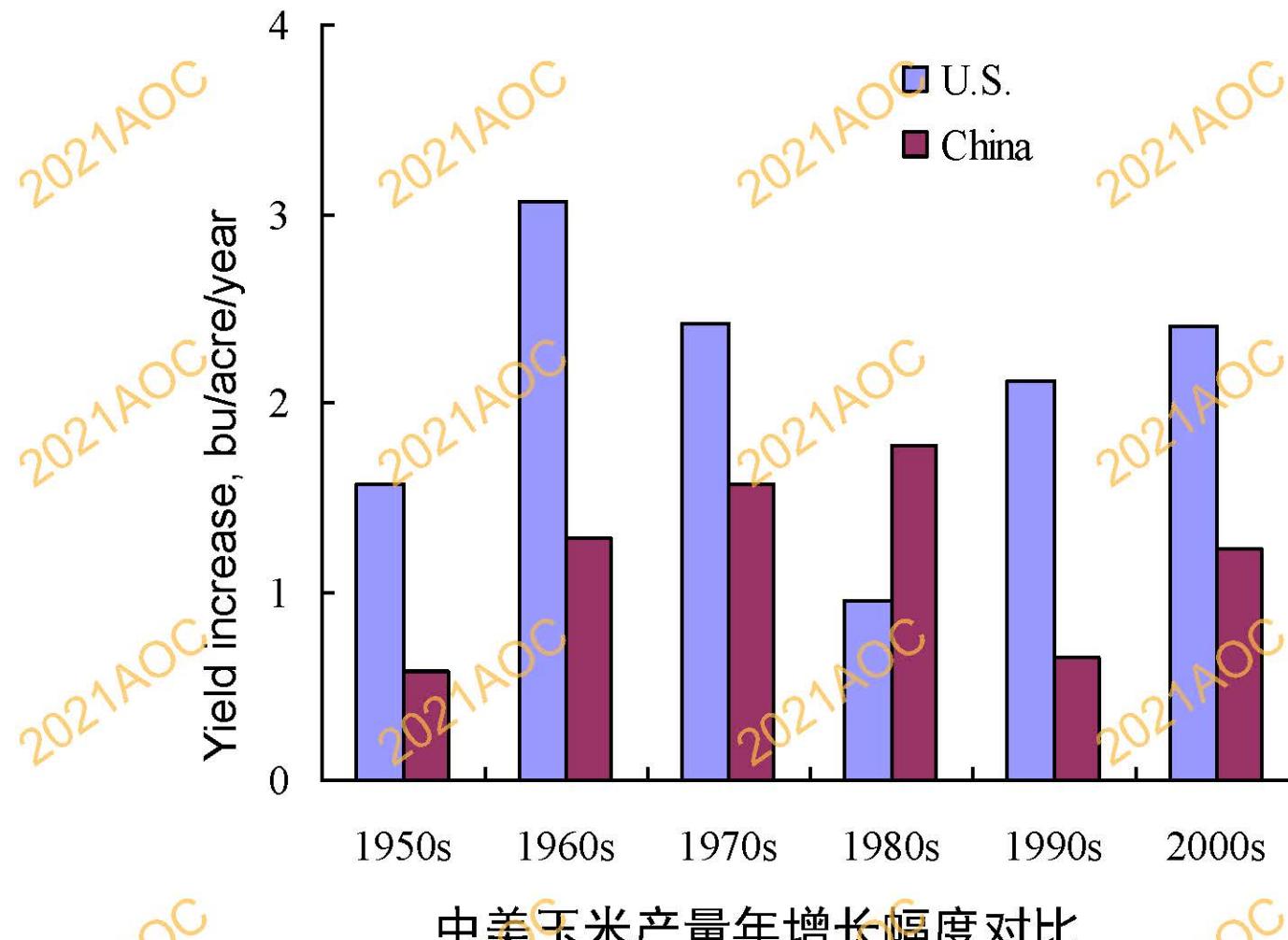
数据来源：国家粮食和物资储备局 / US Grains Council quality report



堆放霉变问题



问题 3、单产水平有待进一步提高



- 2018-2020年，我国玉米平均单产为416.7公斤/亩，美国为719.6公斤/亩，加拿大为631.4公斤/亩，法国为578.3公斤/亩。我国玉米单产相当于美国57.9%。
- 我国玉米年增长速率低于美国。

问题 4、分散的农户经营组织方式，生产机械化和规模化程度较低，新技术采用难

- ◆ 我国农户玉米生产土地规模小，84.95%农户耕地面积小于50亩，与美国家庭农场（一般50-3000亩，占71.63%）土地规模差距较大
- ◆ 玉米生产规模、集约化程度低，劳动效率低，单位面积的成本高

中美家庭种植规模比较

户均种植面积	China (N=5775, 2020)	USA (N=2042220, 2017)
<6亩	40.31%	0.00%
6亩—50亩	44.64%	13.38%
50亩—300亩	12.43%	28.55%
300亩—1000亩	2.30%	27.65%
1000亩—3000亩	0.23%	15.43%
3000亩—6000亩	0.05%	6.53%
6000亩—12000亩	0.02%	4.29%
>12000亩	0.02%	4.2%

数据来源：国家玉米产业技术体系调研 / NASS of USDA

● 玉米产业发展应对途径

◆ 当今玉米问题是市场竞争力问题，其由玉米质量、生产成本和品牌所构成，科技是贯穿这些因素的第一要素

◆ 提高玉米质量效益和竞争力，满足玉米多样化的有效供给

◆ 以提高质量、降低成本为核心，以提高农民收入和玉米产业效益为目的

- 科技进步降低生产成本 (50%)
- 玉米规模化生产降低成本 (30%)
- 节本增效的管理理念 (20%)

报告内容 Contents

一、玉米产业发展现状

Current Situation in the Development of Corn Industry

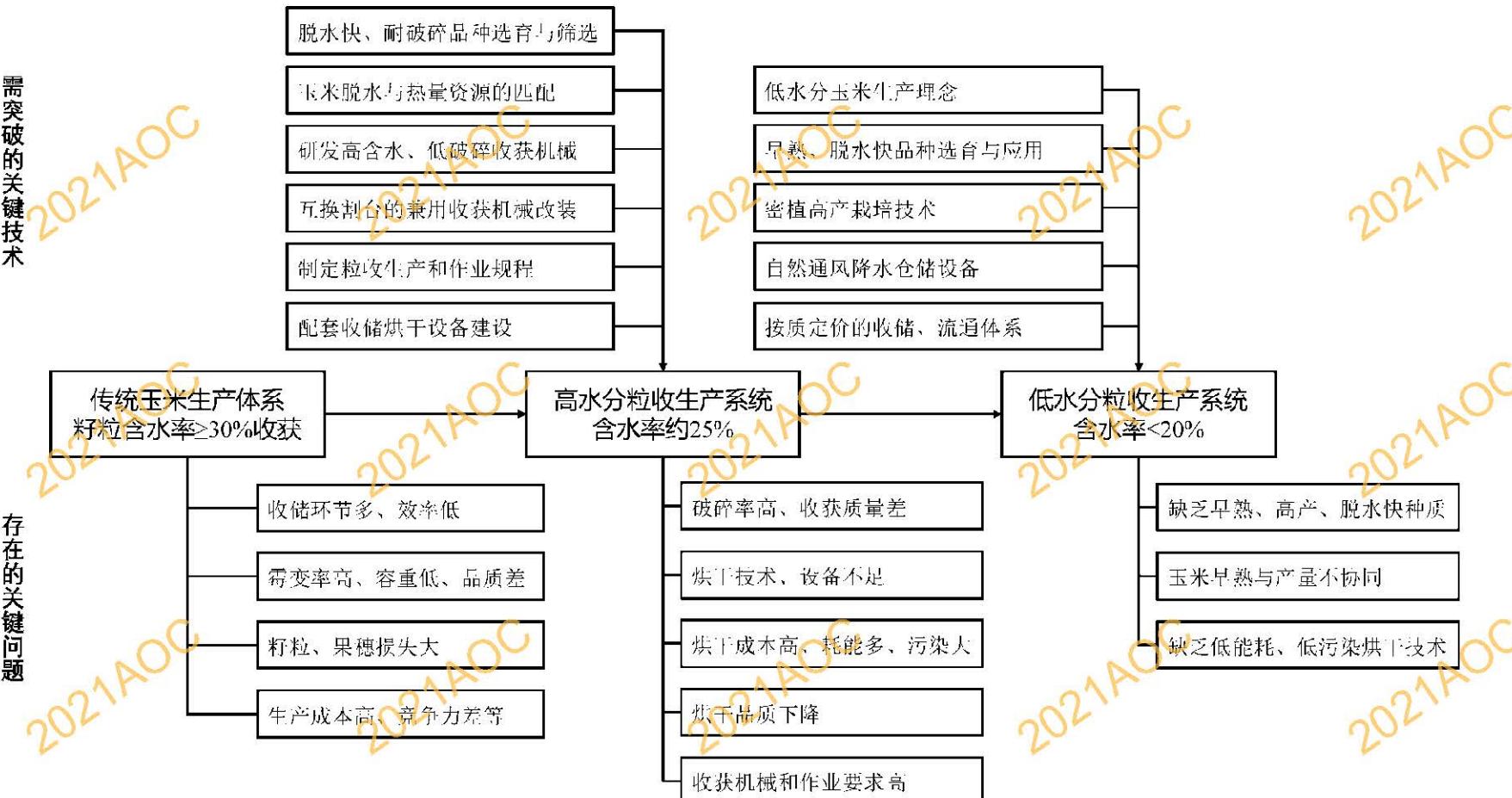
二、稳粮保供技术途径

Technical Approaches of Stabilizing Food Supply

三、产量提升理论与实践

Theory and Practice of Corn Yield Increase

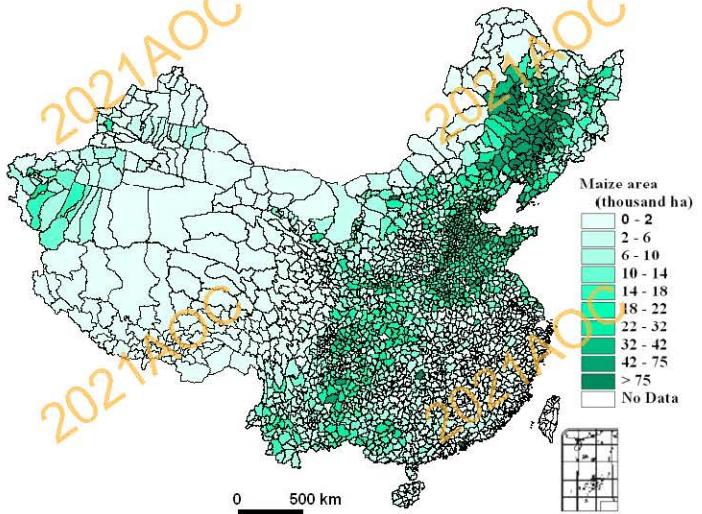
1、玉米生产系统的发展及关键



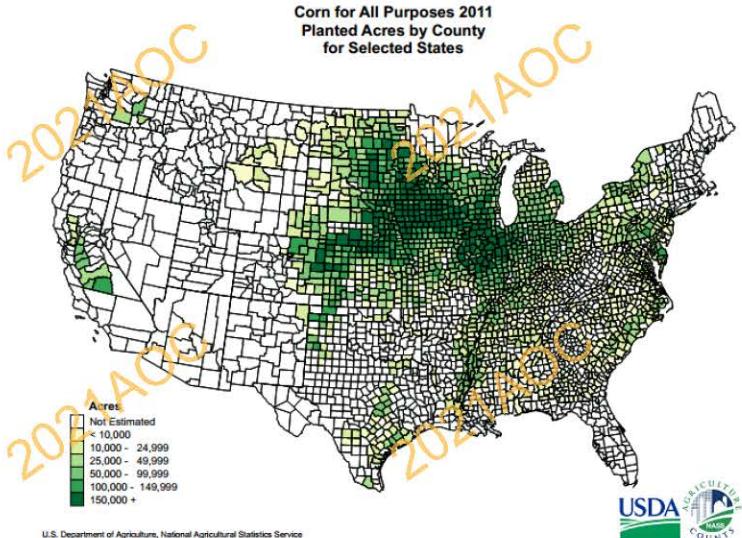
玉米生产系统发展阶段

2、玉米生产布局和结构进一步调整和优化

Maize Belt in China



Corn for All Purposes 2011
Planted Acres by County
for Selected States



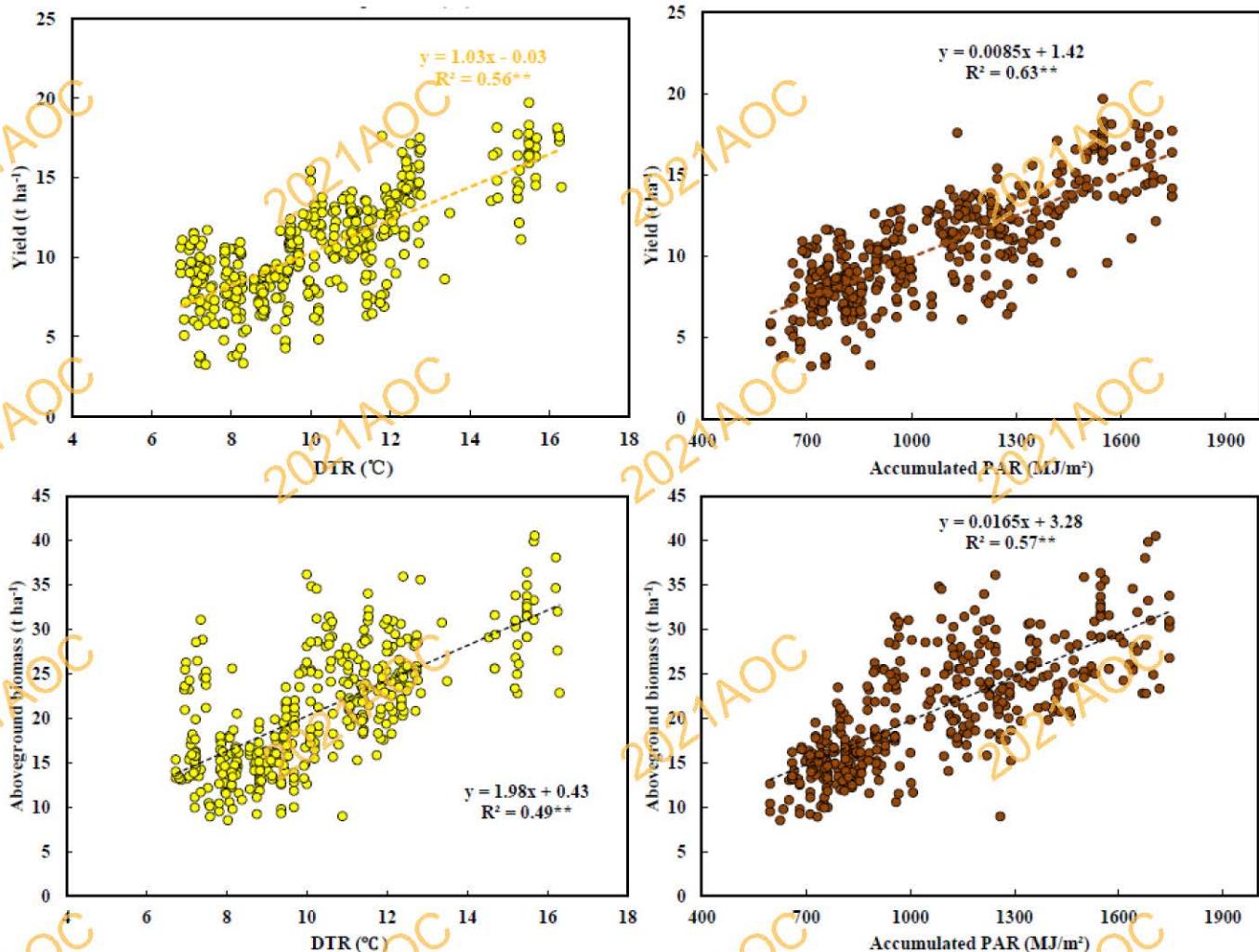
Corn agro-ecological zones

- 1, Shorter, temperate zone ($CRM \leqslant 105$)
- 2, Longer, temperate zone ($CRM 105 \sim 125$)
- 3, Tropical & subtropical zone ($CRM \geqslant 125$)

Corn area (%)

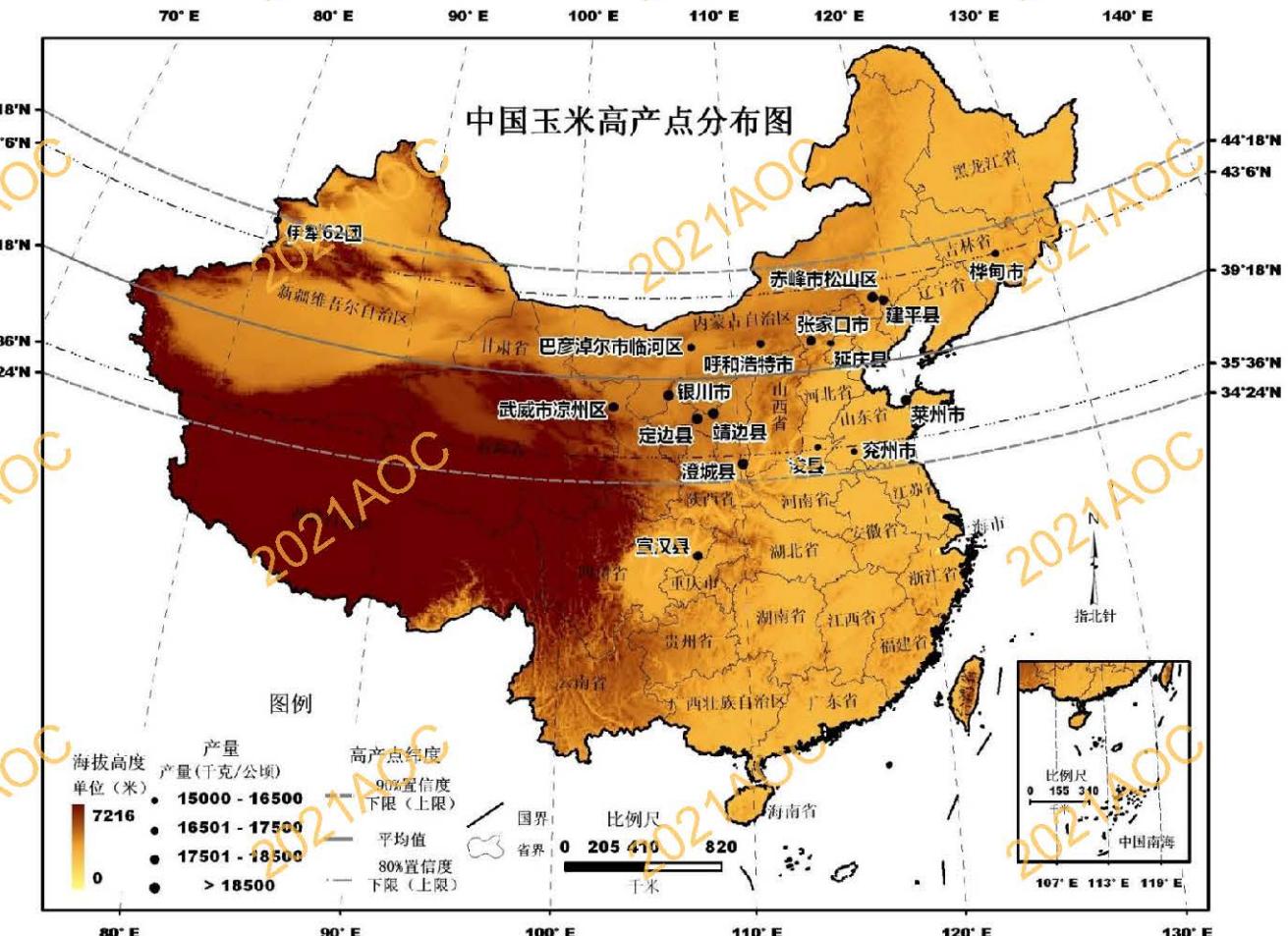
	China	U. S.
31	29	
47	69	
22	2	

光辐射与昼夜温差是影响区域产量差异的主要因素



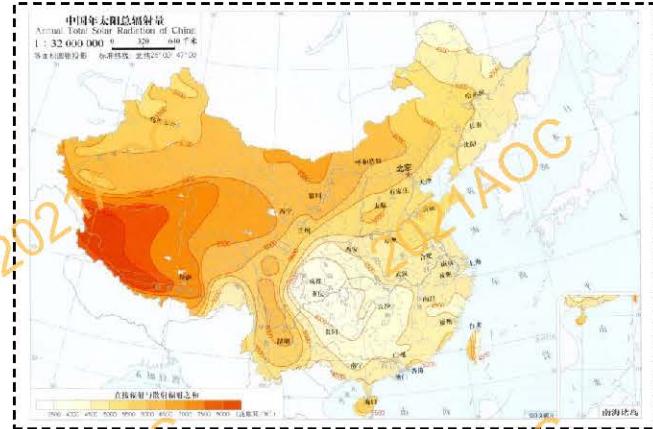
(Hou et al., 2021, submitted to GFS)

中国玉米高产带构建

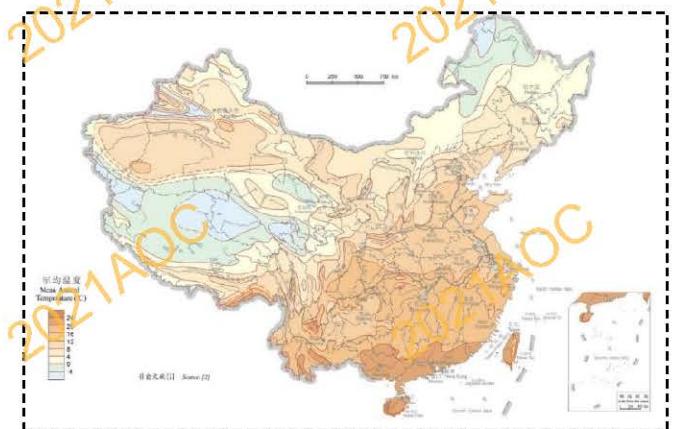


Latitude N35- N44°: the high-yield corn-belt in China

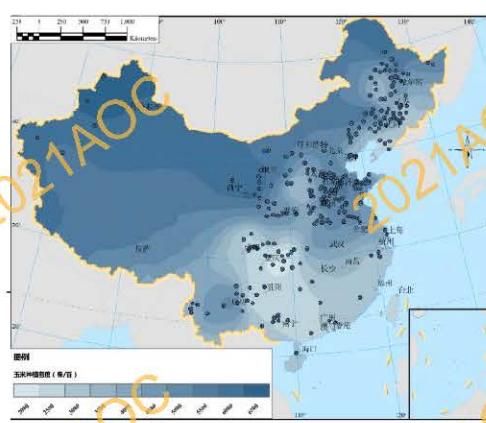
3. 区域资源与玉米群体生长定量化匹配



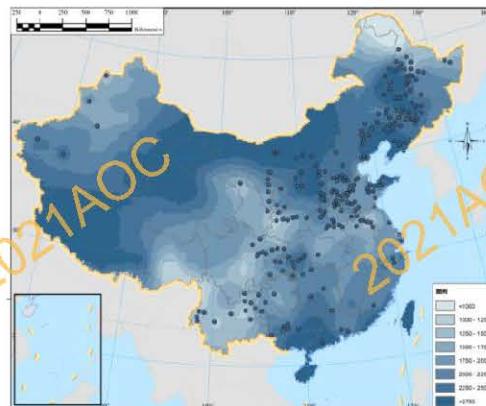
我国辐射资源的分布



我国热量资源的分布

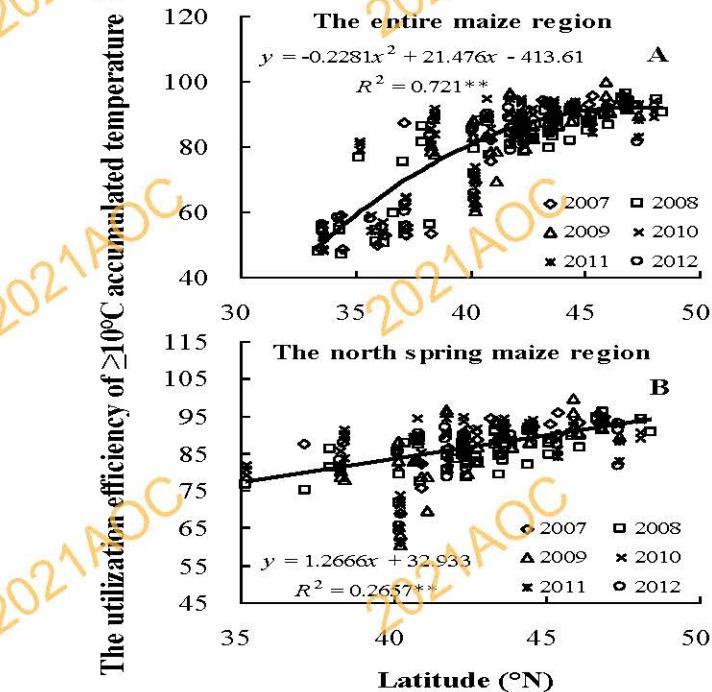


玉米种植密度分布图(2013-2015)



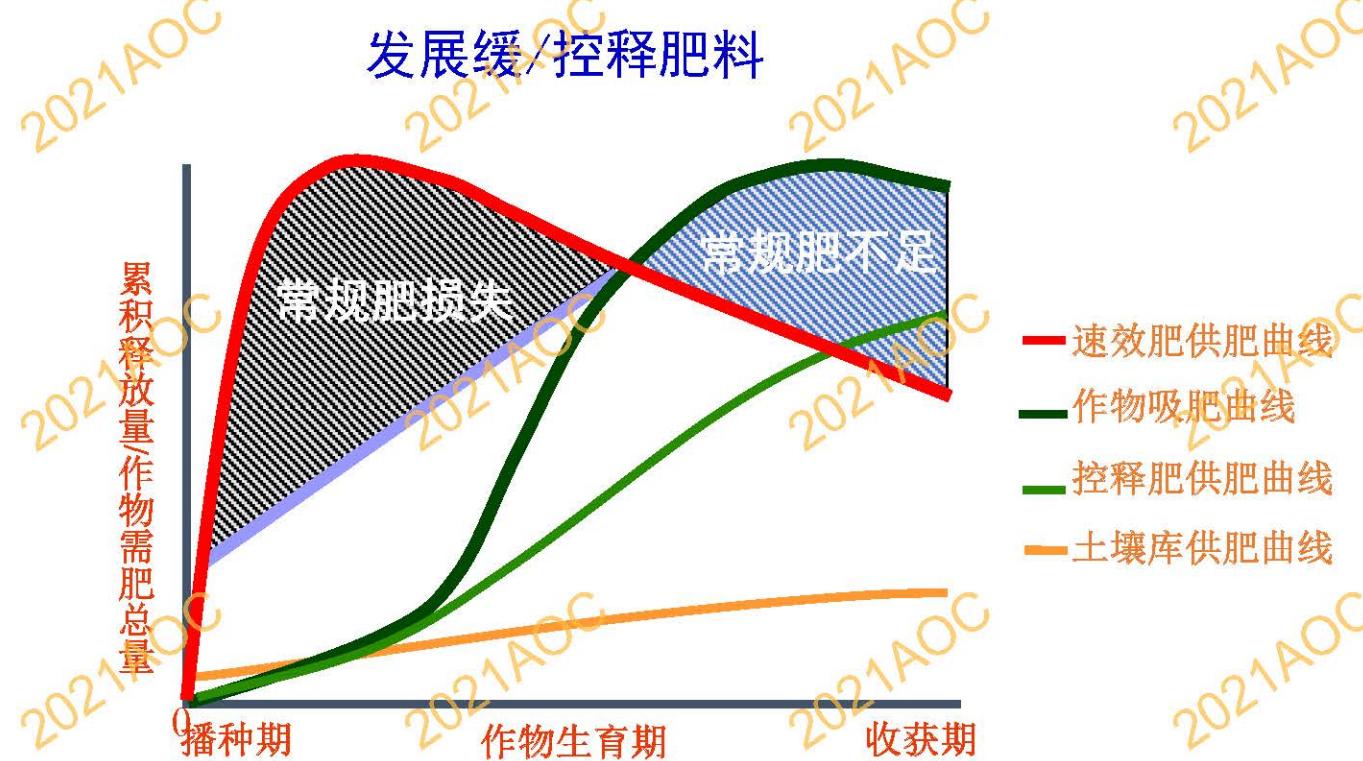
玉米理论增密的空间分布图

作物群体与光热资源定量匹配



不同区域玉米积温资源的利用率

4、水肥资源高效利用关键技术



肥料的养分释放与作物养分吸收关系示意图

(曹一平, 2002)



水肥一体化



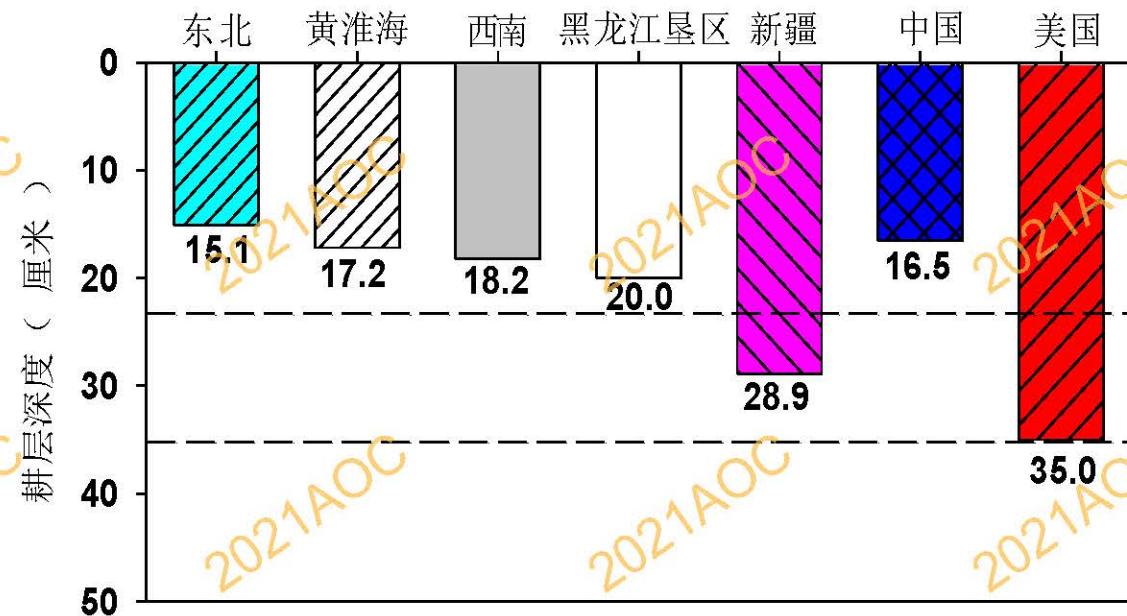
夏玉米种、肥异位一体机播种

5、耕层构建与保护性耕作

我国耕地存在明显的“浅、实、少”的问题

耕深明显变浅。全国平均耕深为16.5cm，其中东北地区仅15.1cm，远低于22cm的基本要求，与美国的35cm 相差甚远。

土壤严重板结。作物根系生长发育的适宜容重是 $1.1 \sim 1.3\text{g/cm}^3$ ，而全国平均耕层土壤容重达 1.38g/cm^3 。



6、品种选育与生物育种技术应用



抗虫品种

普通品种

7、产量与品质协同技术与专业化生产

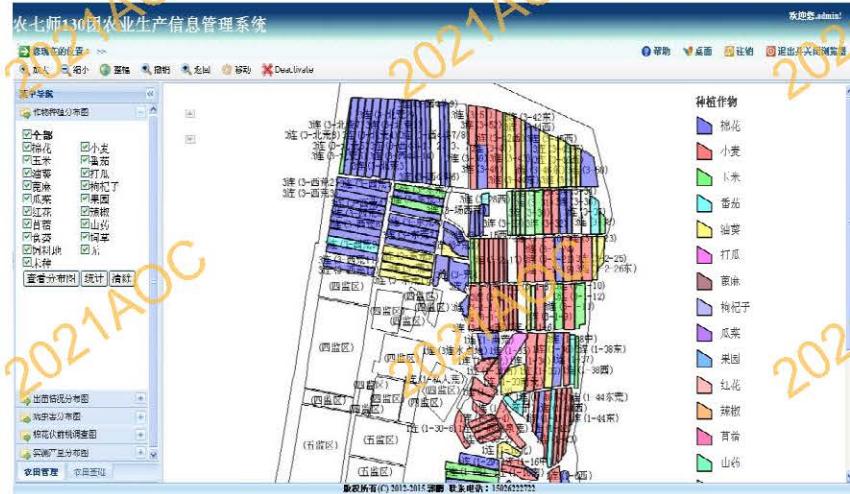


优质专用化生产

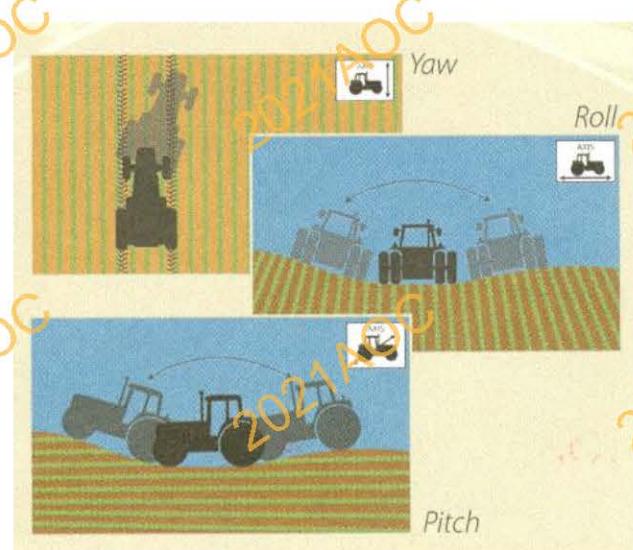
- 重点培育和研制资源高效利用的饲料专用、加工业专用新品种及配套栽培技术
- 集中发展东北和黄淮海玉米优势区，加快形成具有市场竞争力的专用玉米产业带
- 面向特色农产品优势区，建立珠三角、长三角、中原和东北鲜食玉米产业带，形成优势特色产业

控制玉米霉变

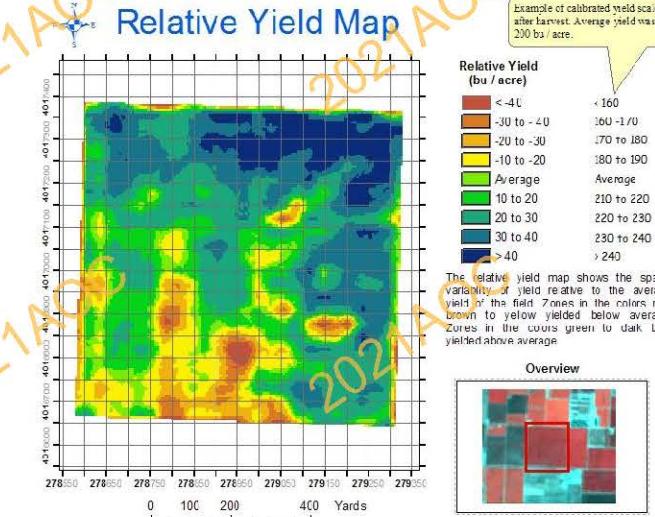
8、精准生产与管理



农场生产管理系统



GPS、北斗导航系统



产量分布图

9、全球气候变化与抗逆生产技术



玉米生产系统对大气CO₂浓度升高的实际响应研究

● 生物多样性与抗逆减灾

不同基因型玉米间混作抗逆减灾技术

以抗性互补、育性互补、当代优势为理论基础，构建不同玉米品种间混作复合群体，可大幅度提高玉米抗逆减灾能力。

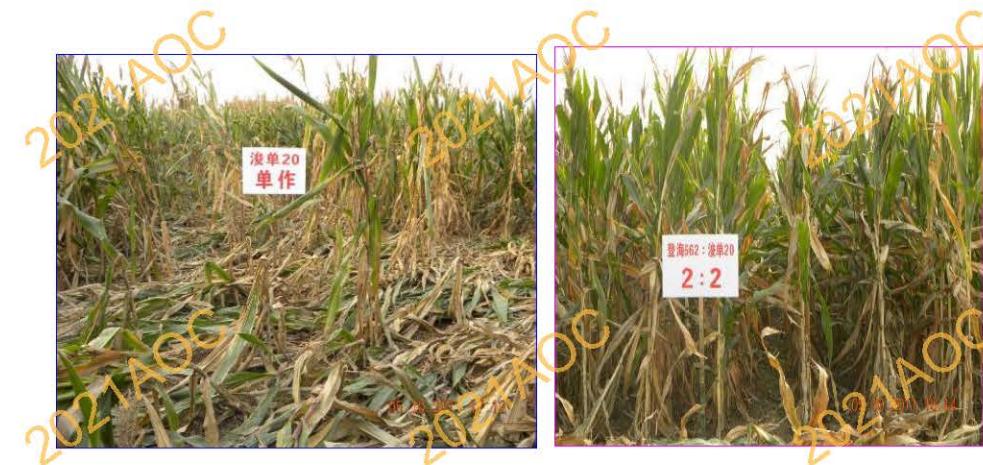


单作郑单958



与鲁单981间作的郑单958

郑单958与鲁单981间作后抗锈病能力提高40%以上



浚单20与登海662间作抗倒性提高90%以上

(王群提供)

报告内容 Contents

一、玉米产业发展现状

Current Situation in the Development of Corn Industry

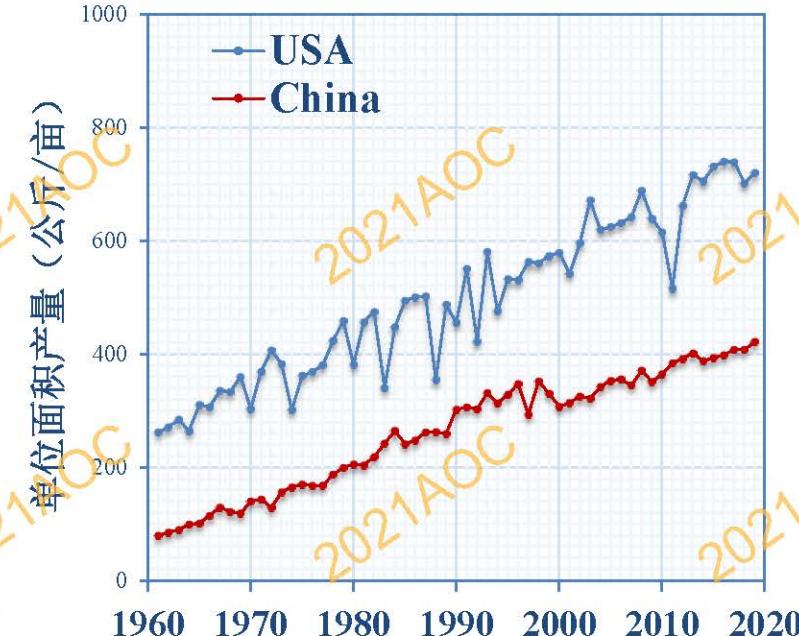
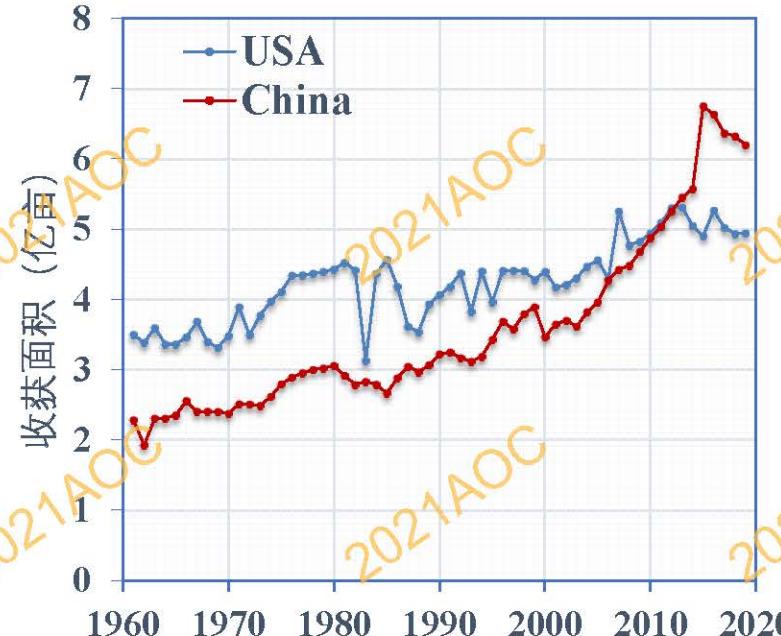
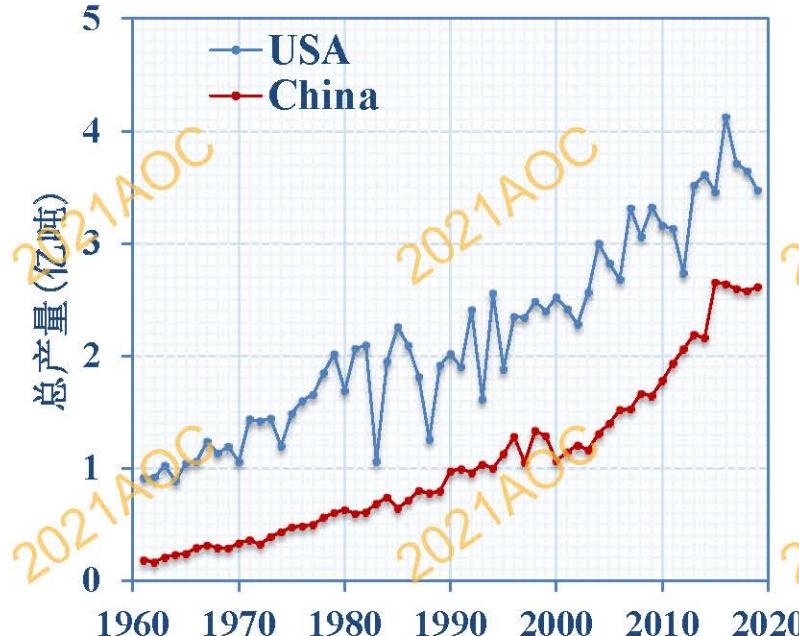
二、稳粮保供技术途径

Technical Approaches of Stabilizing Food Supply

三、产量提升理论与实践

Theory and Practice of Corn Yield Increase

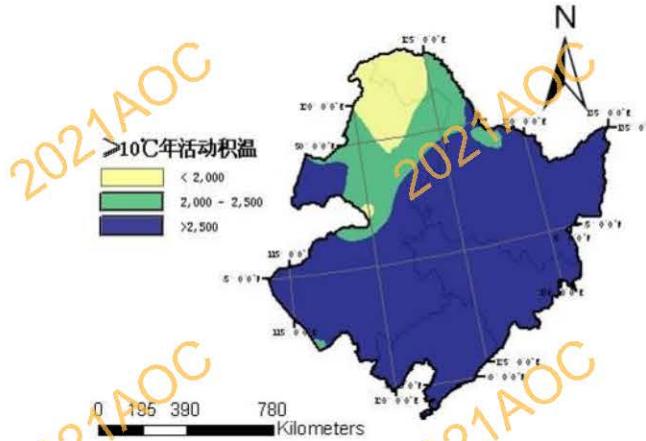
玉米单产和种植面积的贡献



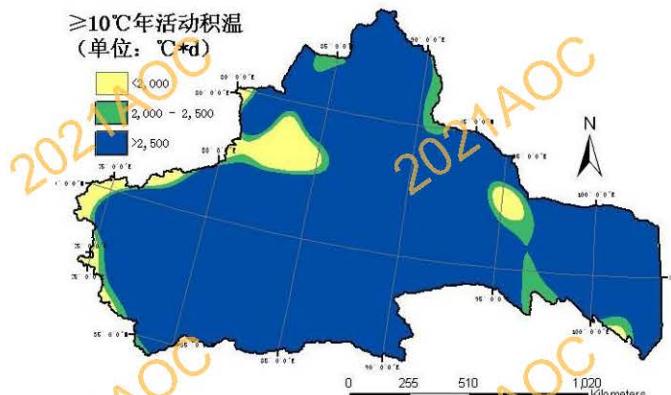
阶段	国家	面积贡献率 (%)	单产贡献率 (%)
1961-2019	USA	47.89	52.11
	China	56.90	43.10
2001-2019	USA	57.22	42.78
	China	54.55	45.45

数据来源：国家统计局 / NASS of USDA

(一) 近20年科技创新支撑玉米种植面积的扩大



Using RM 72-113 day hybrid could add 3.8 million acres in northeast (upper) and 2.7 million acres in northwest (lower) of China.



2. 农机农艺融合，机械化水平的提高



3. 节水等新技术的创新与应用



全膜双垄沟播技术



滴灌技术

4. 全球气候变暖带来的影响

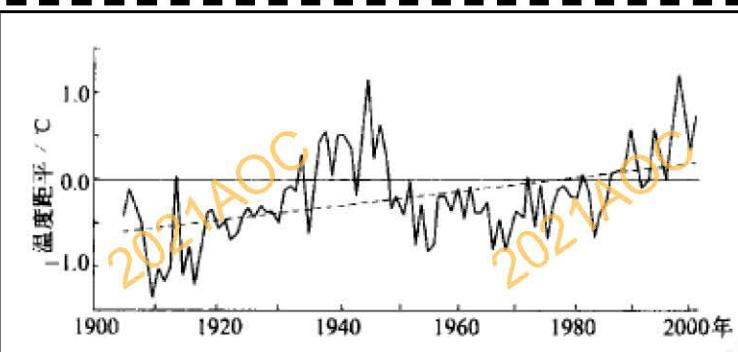
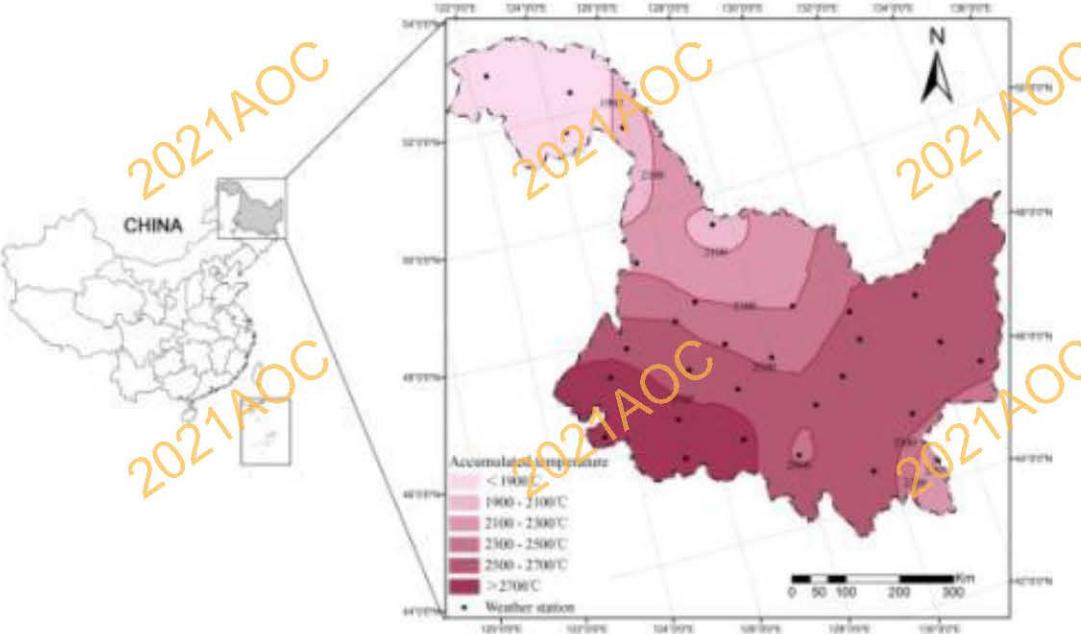
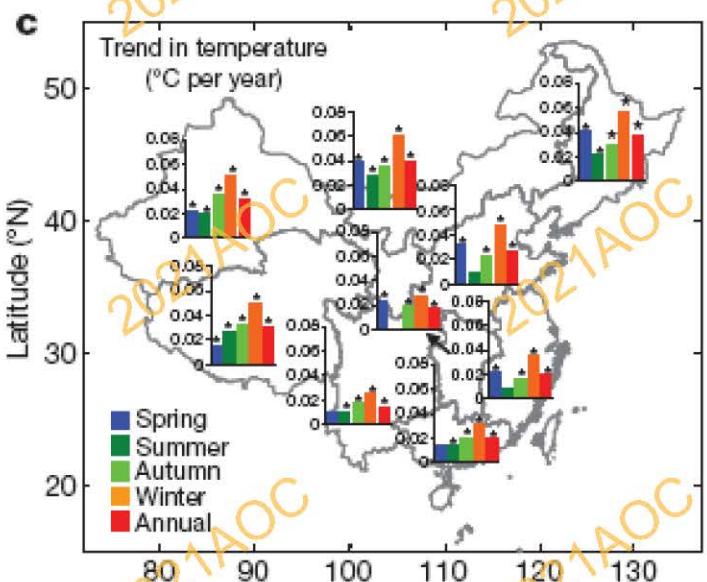


图1 中国近百年来(1905—2001年)年平均地表气温变化^[7]

Fig. 1 Change of annual mean surface air temperature over China in 1905-2001



近30年，由于气候变化玉米种植边界从北纬50度北移到52度

(Lobell and Asner, 2003; Peng et al., 2004; 丁一汇等, 2006; Piao et al., 2010; Odgaard et al., 2011, 侯鹏, 2012)

5. “望天田”改种玉米与种植技术

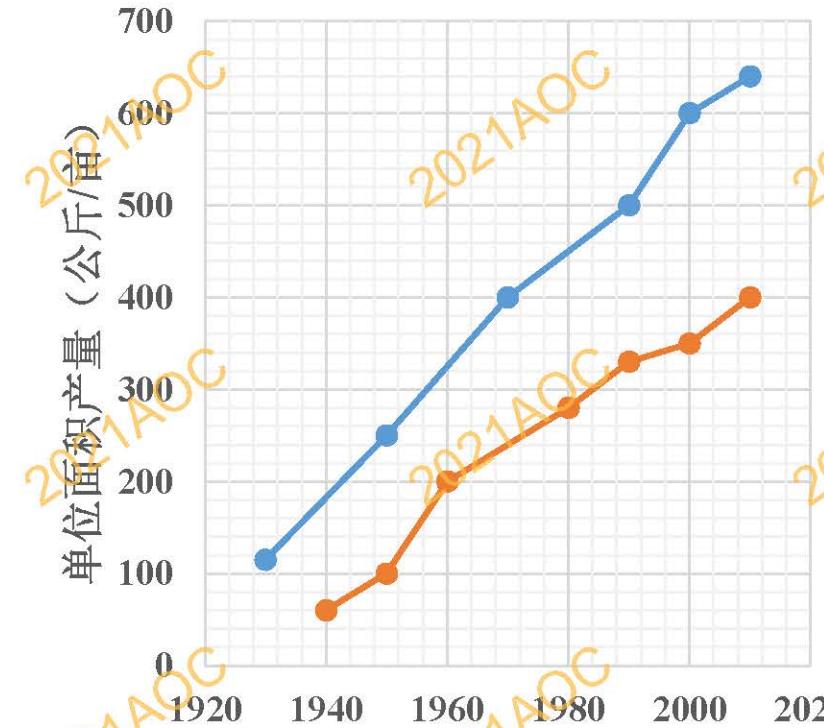
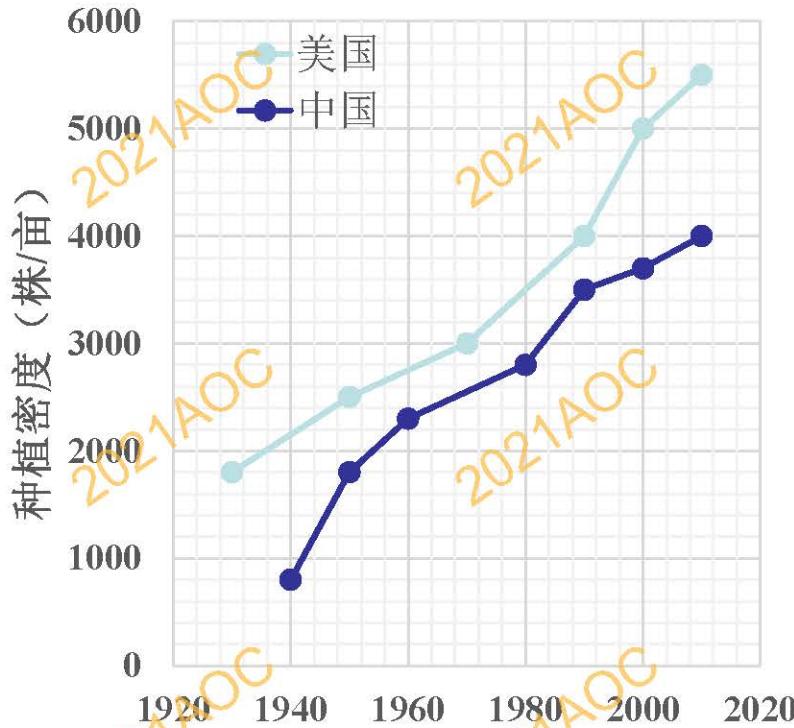


(二) 近20年来玉米单产增长的原因



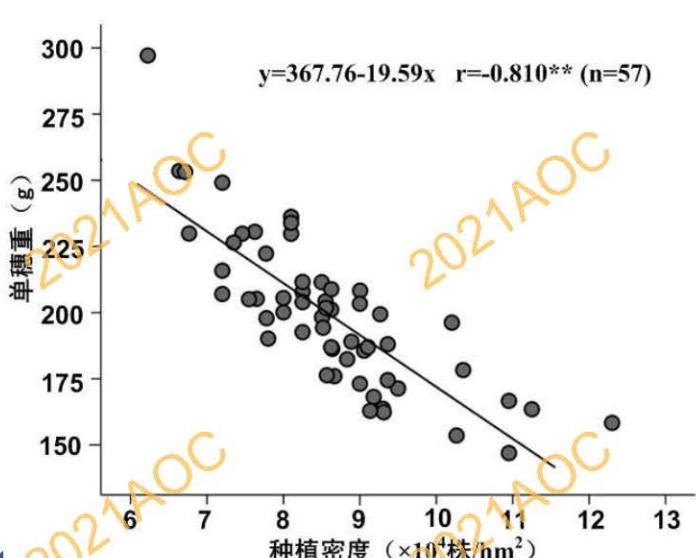
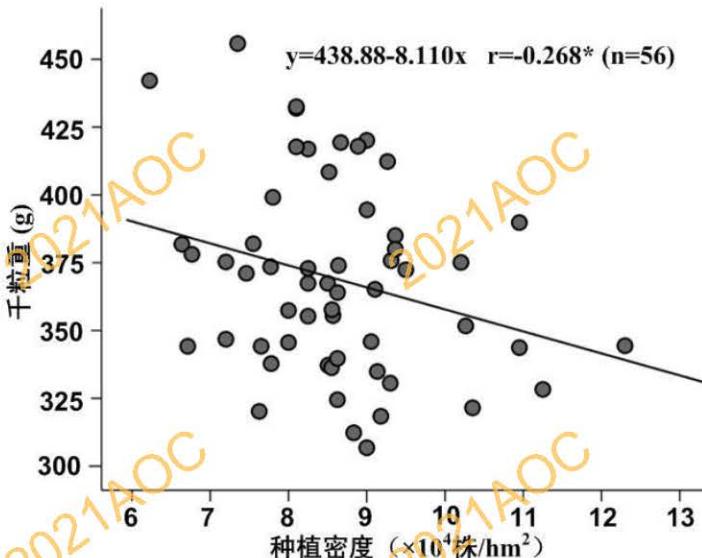
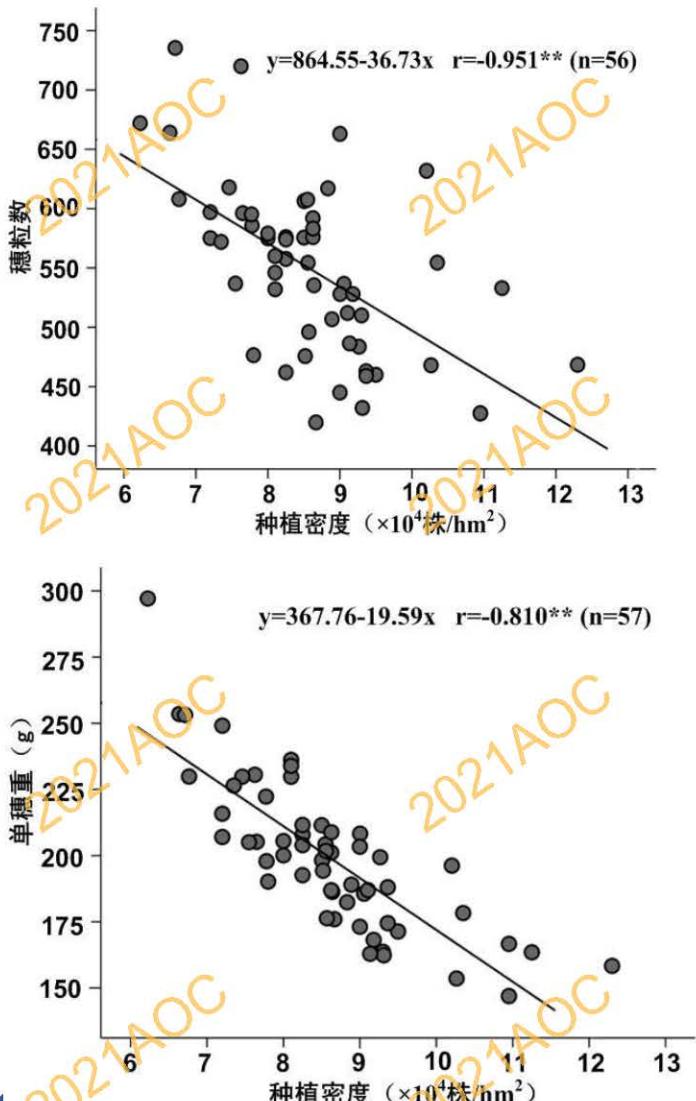
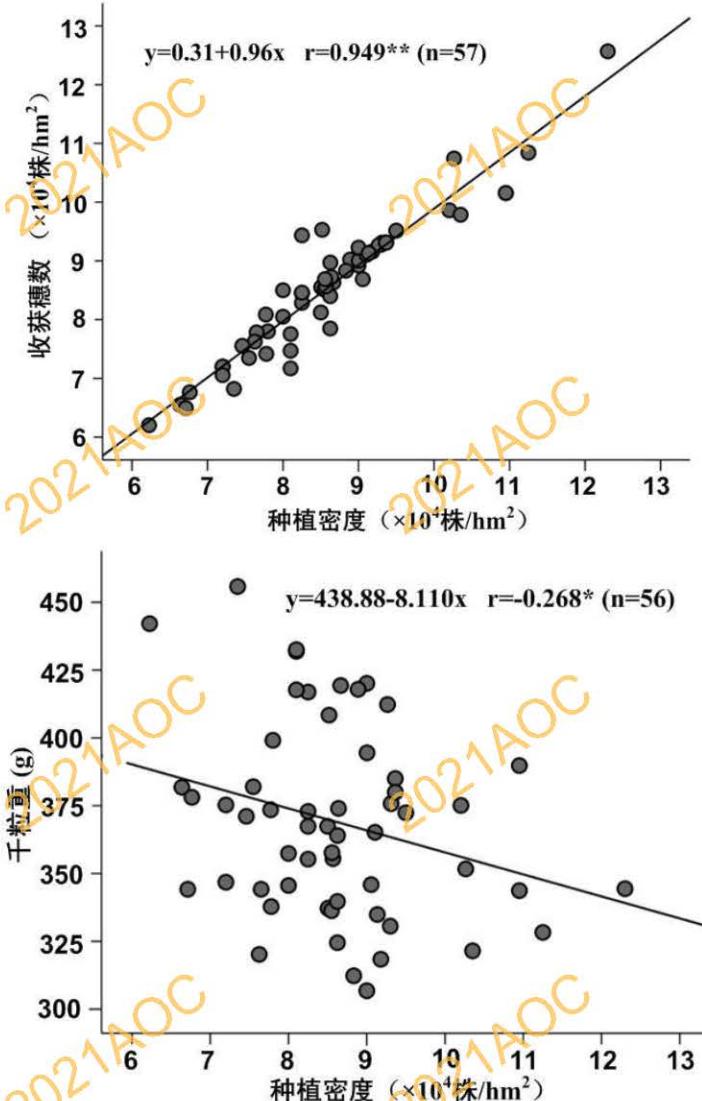
我国不同年代玉米主要种植技术的发展

(三) 玉米增产增效的主要途径-合理密植



高产的创立是气候、品种、栽培等综合因素作用的结果。提高农田单位面积产量，关键在于协调个体与群体之间的矛盾，建立合理的群体结构，使个体和群体发挥最大的效能。

种植密度与产量结构的关系

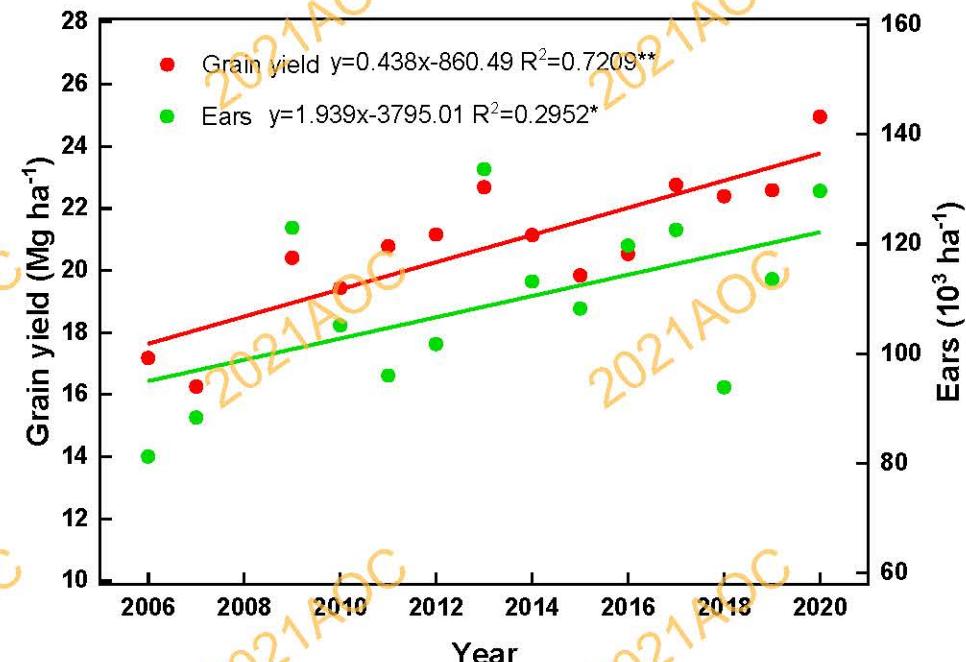




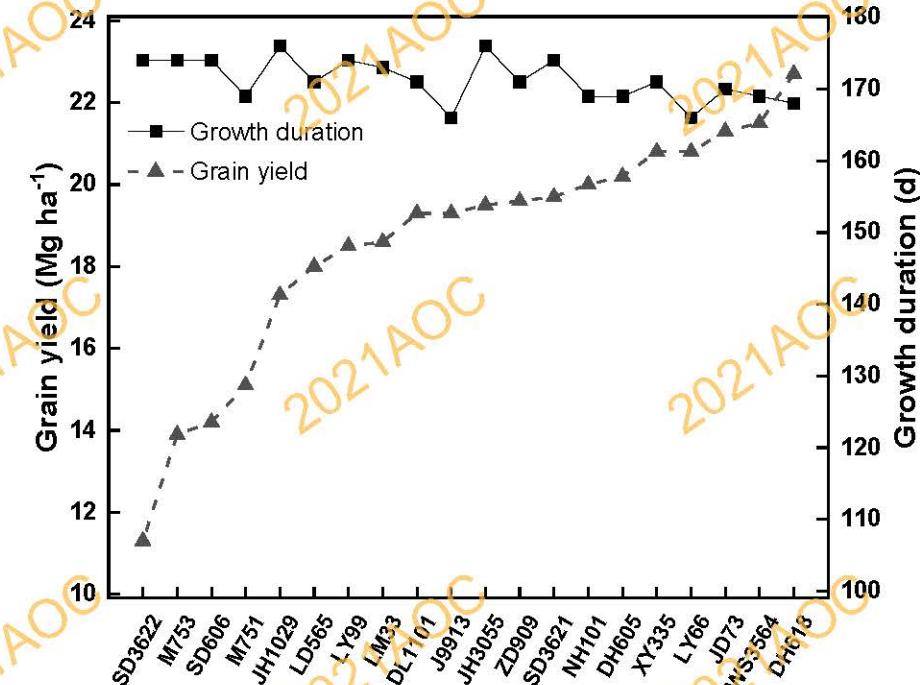
玉米高产探索历程

玉米年度最高产量与种植密度

2021AOC



玉米年最高产量及收获穗数



同年份玉米生育期及产量

● 耐密玉米品种的选育



中单2
(1970s)



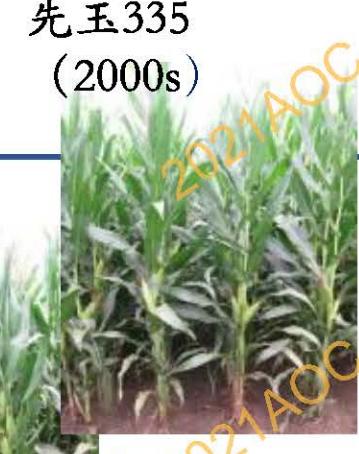
丹玉13
(1970s)



掖单13
(1990s)



郑单958
(2000s)



全国玉米高产纪录



1360.1kg/亩
(71团, 2009, 品种为郑单958)



1385.39 kg/亩
(奇台总场, 2011, 品种为良玉
66)



1410.3kg/亩
(奇台总场, 2012, 品种为良玉66)



1433.9kg/亩
(71团, 2013, 品种为晋单73)

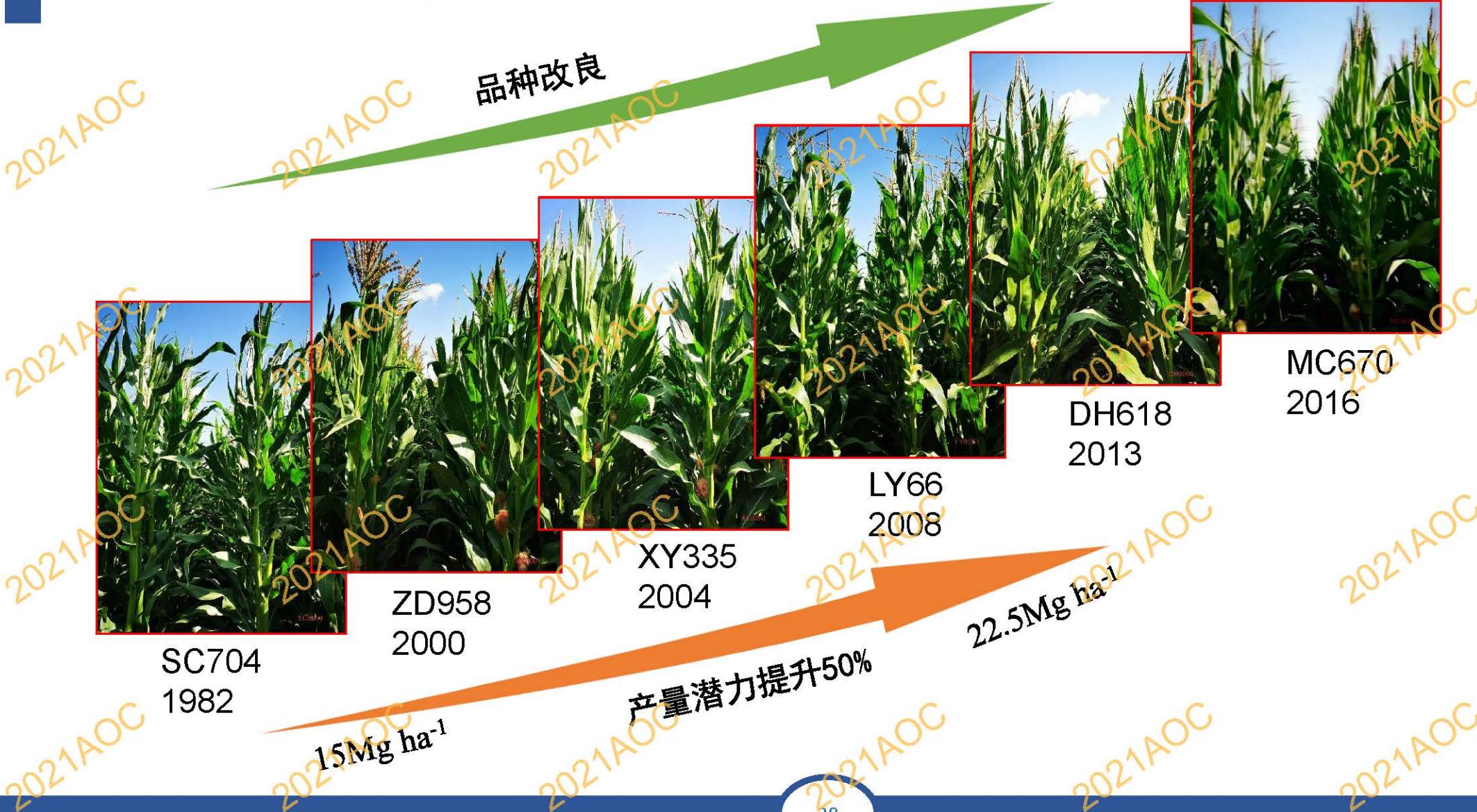


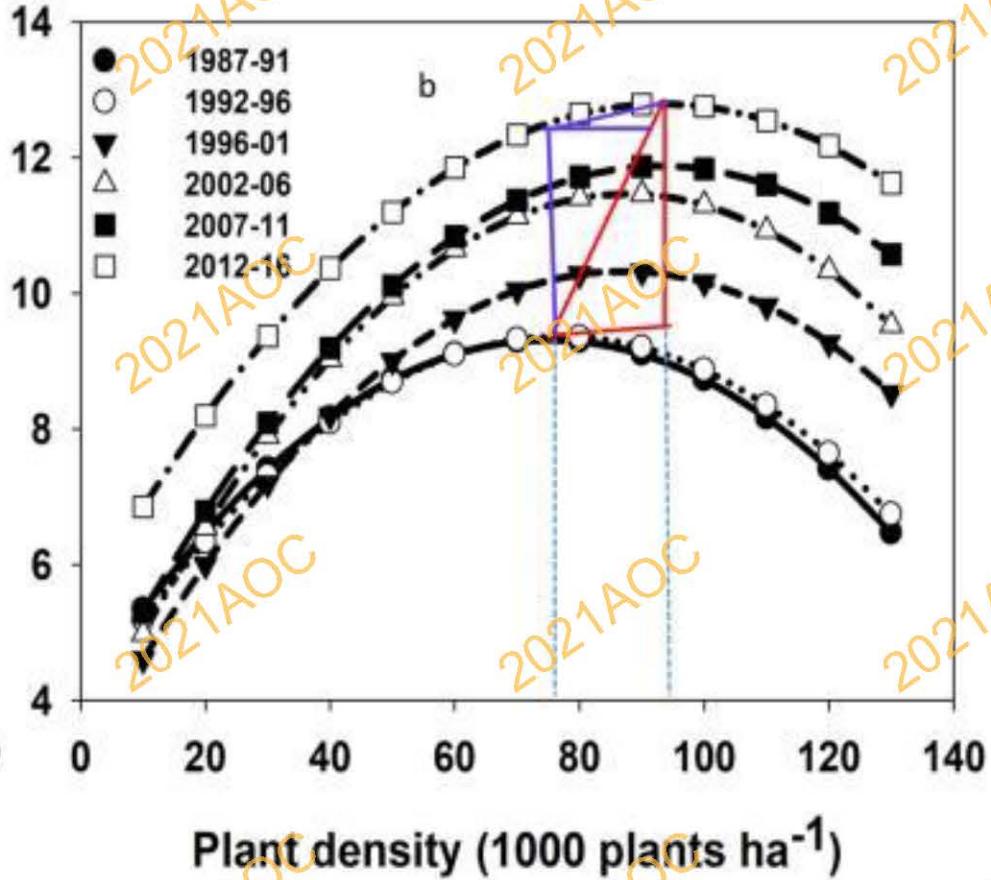
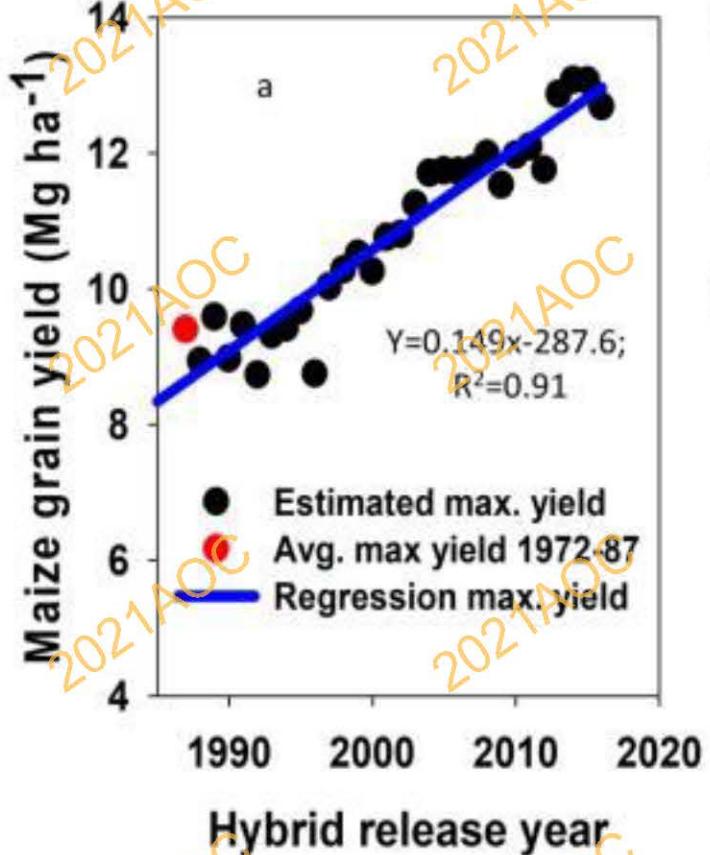
1511.74kg/亩
(奇台总场, 2013, 品种为登海618)



1517.11kg/亩
(奇台总场, 2017, 品种为登海618)

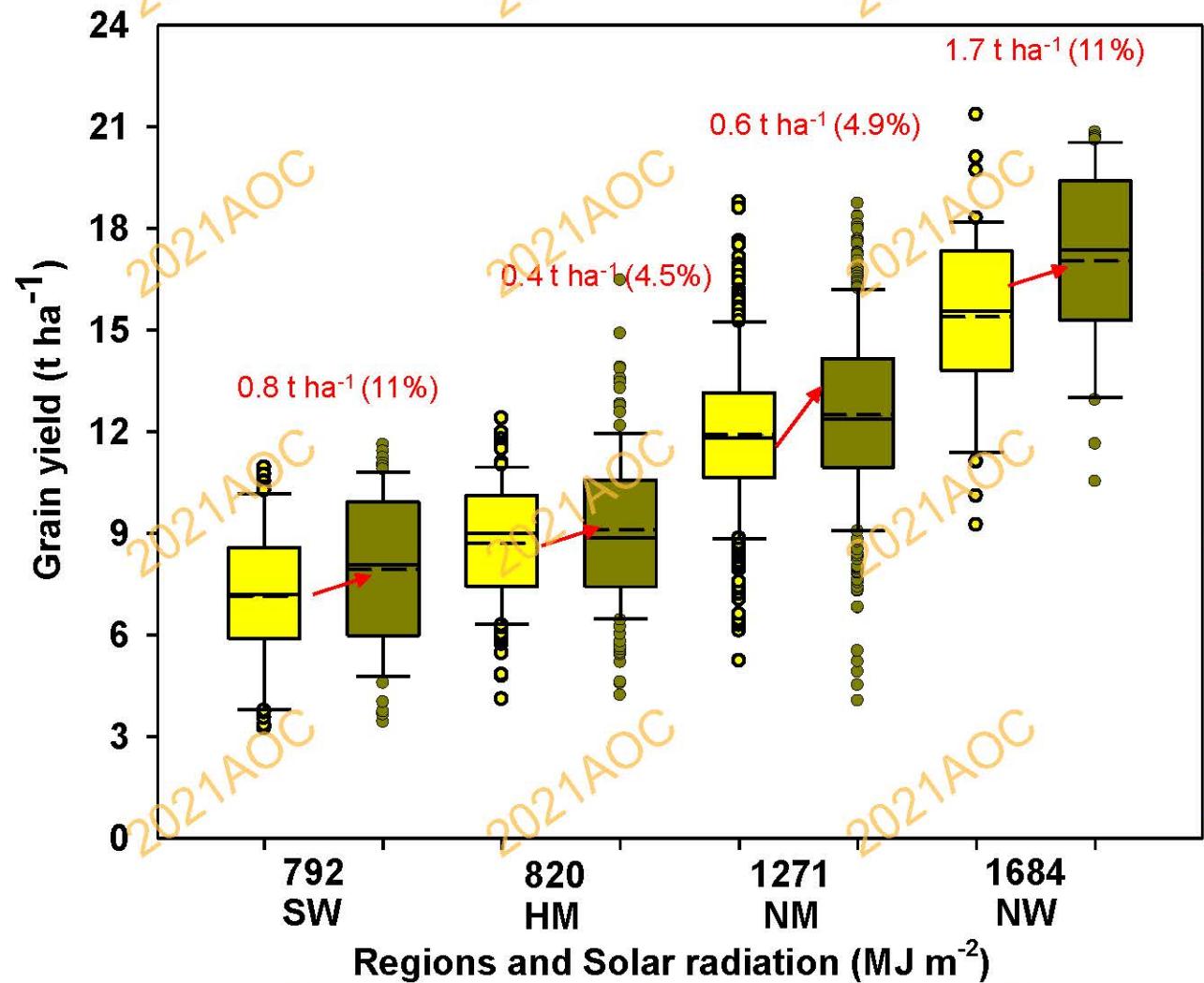
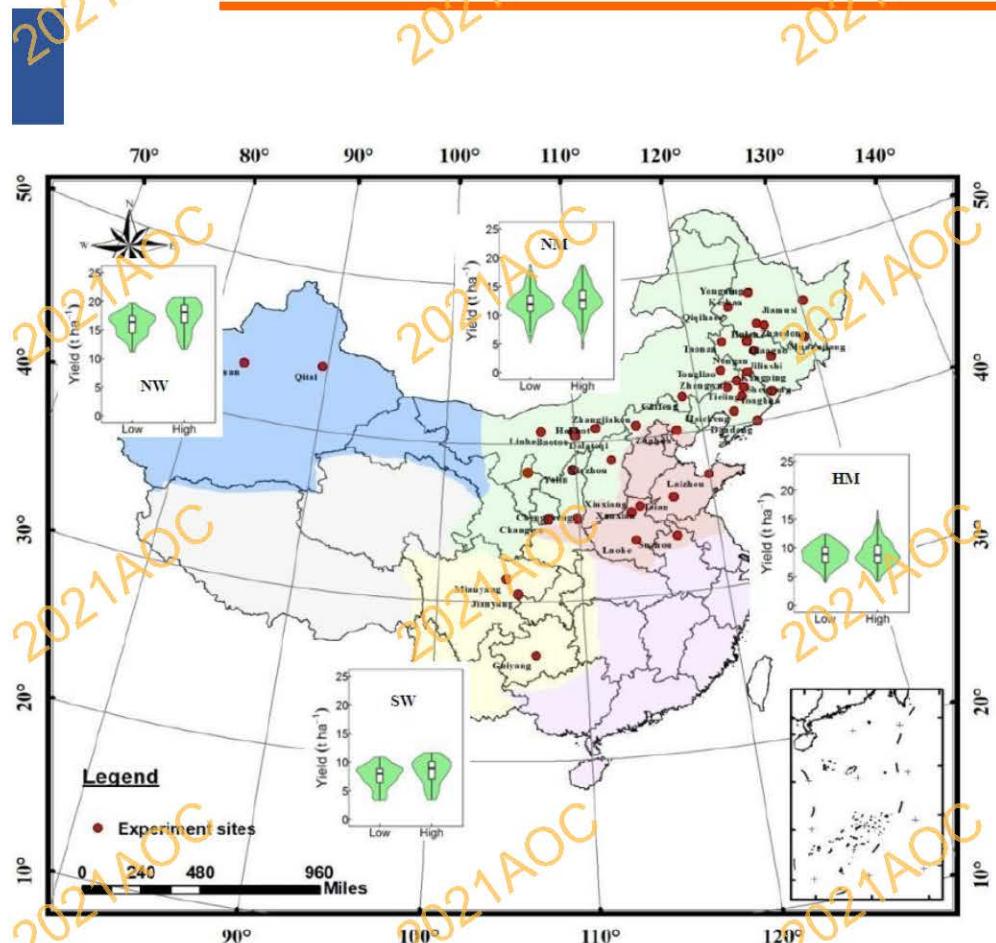
● 高产纪录品种的株型变化





玉米产量逐年提高，主要与品种耐密性和适宜种植密度的增加有关

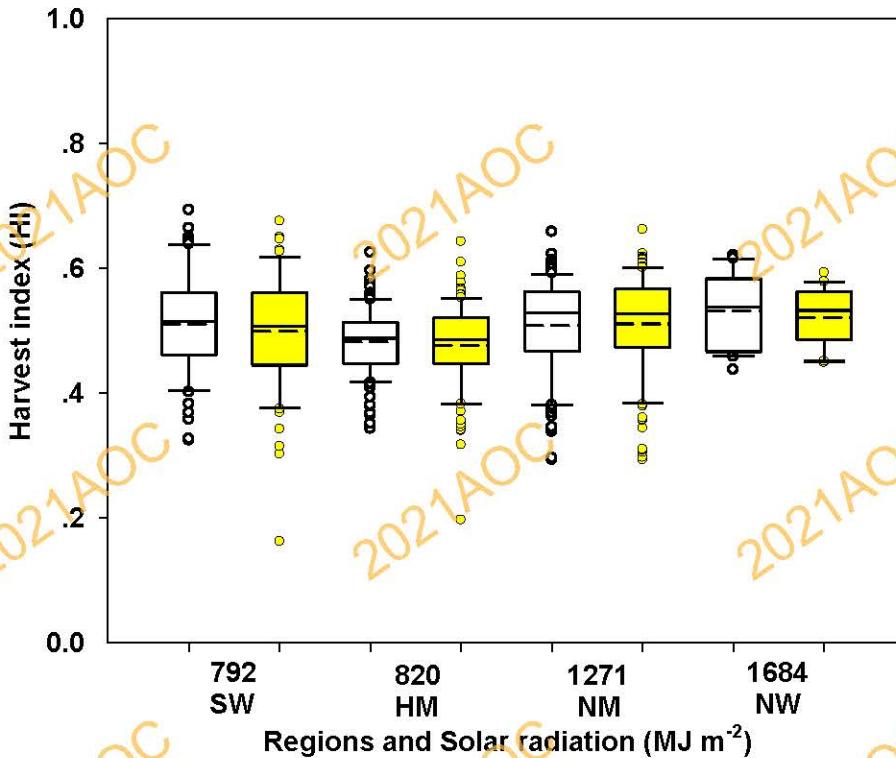
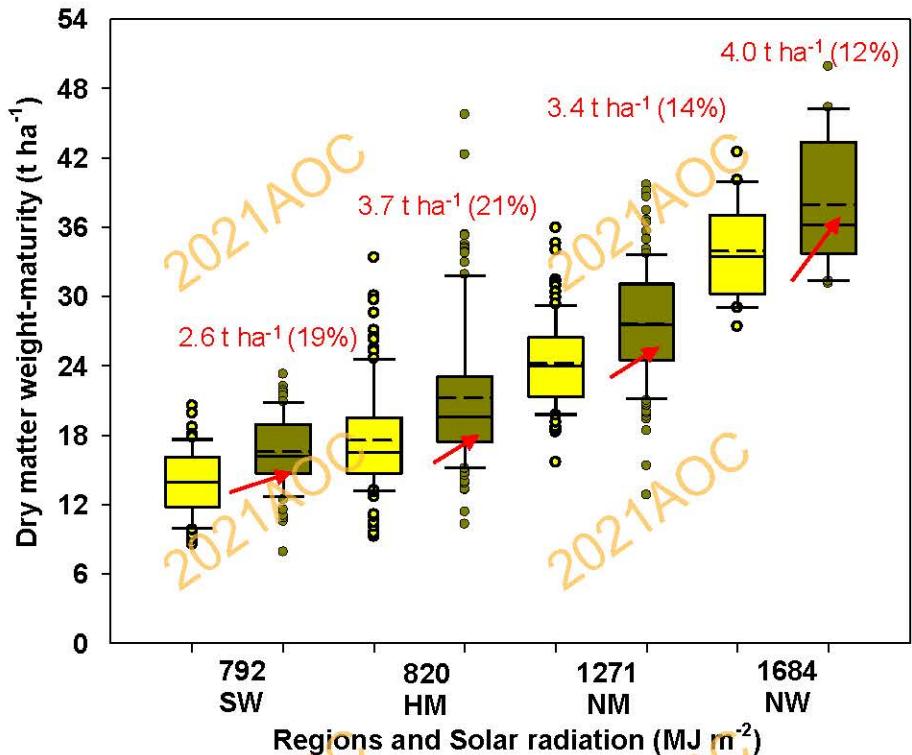
不同区域玉米增密增产效应



不同区域每亩增加1000株的增产效果

区域增密增产原因分析

2021AOC



(Hou et al., in preparation)

不同区域增密后增产原因与生物量增大相关，与收获指数相关不大。

不同区域玉米产量效 应-种植密度

不同区域最高产密

度不同，西南每亩6000

株左右，黄淮海4500-

5000株，北方春玉米区

5000-6000株，西北增

密增产幅度最大，每亩

7000株左右产量最高。

西南

黄淮海

北方

西北

$$y = -12.078x^2 + 144.72x + 210.22$$

$$R^2 = 0.1171$$

$$y = -14.156x^2 + 134.08x + 319.5$$

$$R^2 = 0.032$$

$$y = -5.5152x^2 + 78.848x + 513.51$$

$$R^2 = 0.0309$$

$$y = -37.54x^2 + 490.43x - 554.21$$

$$R^2 = 0.5206$$

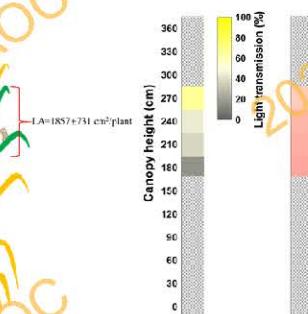
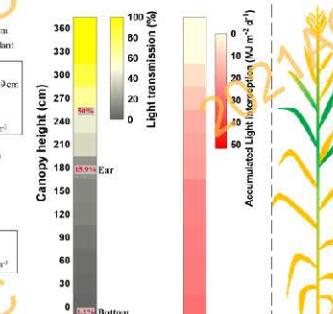
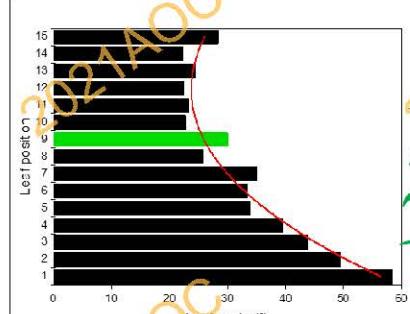
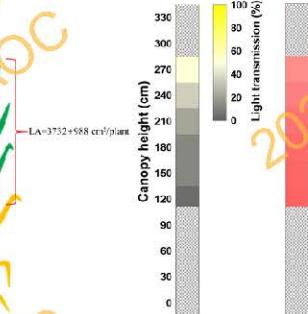
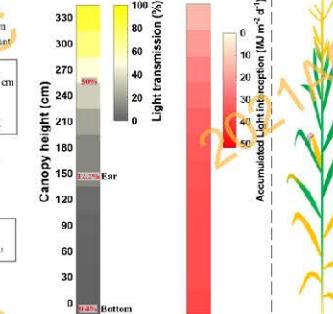
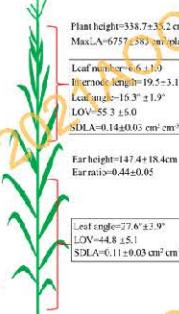
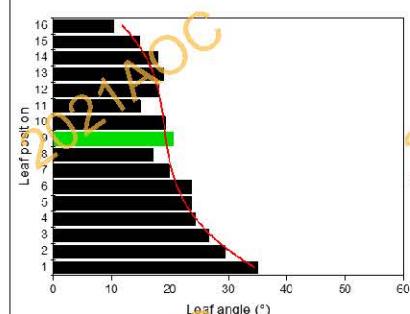
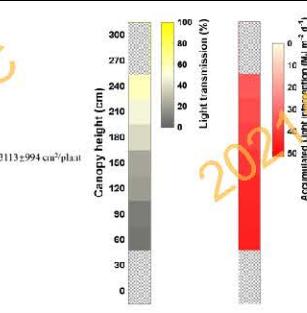
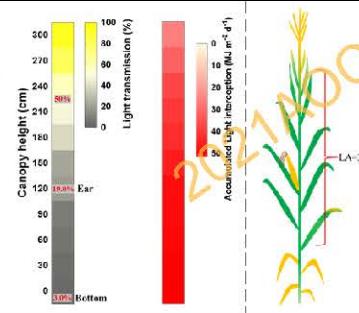
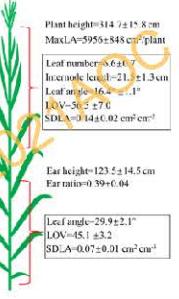
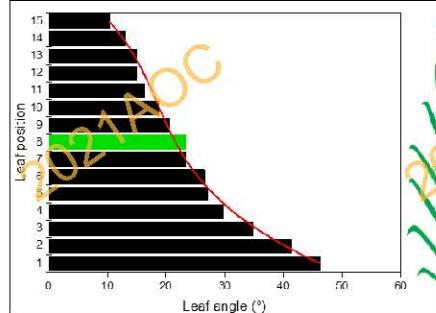
不同产量水平玉米群体的产量构成

指标	产量段 ($Mg\ ha^{-1}$)			
	> 21	18-21	15-18	< 15
产量($Mg\ ha^{-1}$)	21.73 ± 0.05	19.54 ± 0.08	16.64 ± 0.08	13.39 ± 0.10
样品数	24	114	79	30
品种	20	92	71	29
公顷穗数 ($10^4\ ha^{-1}$)	11.78 ± 1.30	10.95 ± 1.44	10.57 ± 1.44	10.41 ± 1.36
穗粒数	522.6 ± 57.81	541.3 ± 75.13	530.3 ± 94.99	522.5 ± 77.96
千粒重 (g)	378.05 ± 60.26	355.91 ± 64.78	343.51 ± 58.27	319.04 ± 63.94
单穗重 (g)	0.190 ± 0.03	0.187 ± 0.02	0.181 ± 0.03	0.166 ± 0.04
公顷粒数 ($10^6\ ha^{-1}$)	61.26 ± 7.76	57.64 ± 10.77	54.59 ± 10.51	53.91 ± 8.50

不同产量水平玉米株型结构

指标	产量段 ($Mg\ ha^{-1}$)								产量每增1吨 增加量	
	< 15		15-18		18-21		> 21			
	均值	区间	均值	区间	均值	区间	均值	区间		
穗位高 (cm)	138.1	83.5-190.7	127.9	73.8-173.3	129.0	75.0-174.0	128.4	98.3-157.0	0.01	
株高 (cm)	311.3	228.7-390.0	296.9	215.0-371.0	304.7	213-371.3	315.5	283.7-382.7	0.06 cm	
穗位系数	0.47	0.35-0.58	0.44	0.36-0.57	0.42	0.32-0.50	0.39	0.35-0.45	0.42 cm	
穗上节间长(cm)	19.6	18.2-20.3	18.2	14.3-21	19.0	15.3-22.3	20.1	-	0.06 cm	
穗下节间长(cm)	19.5	19-20.3	17.1	13.1-20.2	18.2	15.1-22.2	16.0	-	0.72	
穗上夹角	24.0	14.8-45.7	23.9	14.4-42.5	20.9	10.8-48.6	18.0	15.7-22.3	1.10	
穗下夹角	30	24.7-37.6	27.8	18.5-41.1	30.3	21.2-47.5	32.0	25.6-43.8	0.06	
穗上LOV	39.4	35.5-43.2	44.2	33.4-55.5	48.6	42.0-56.6	48.6	-	0.22	
穗下LOV	43.9	41.9-45.8	47.9	36.2-54.8	44.3	32.6-54.8	36.0	-		
吐丝期 LAI	6.7	3.0-8.5	6.9	4.3-10.9	7.0	3.4-11.5	7.2	4.6-9.4		
完熟期 LAI	2.9	1.5-4.2	3.2	0.7-6.2	3.8	1.2-9.9	4.7	2.7-6.5		

亩产1500kg玉米理想株型与群体结构特征



22.5 Mg ha⁻¹:

株高: 315 cm

穗位: 123 cm

穗上夹角: 16.4°

穗下夹角: 29.5°

穗上叶片数: 6.5

穗上节间长: 21.5 cm

50%透光率: 210-240 cm

穗位透光率: 19%

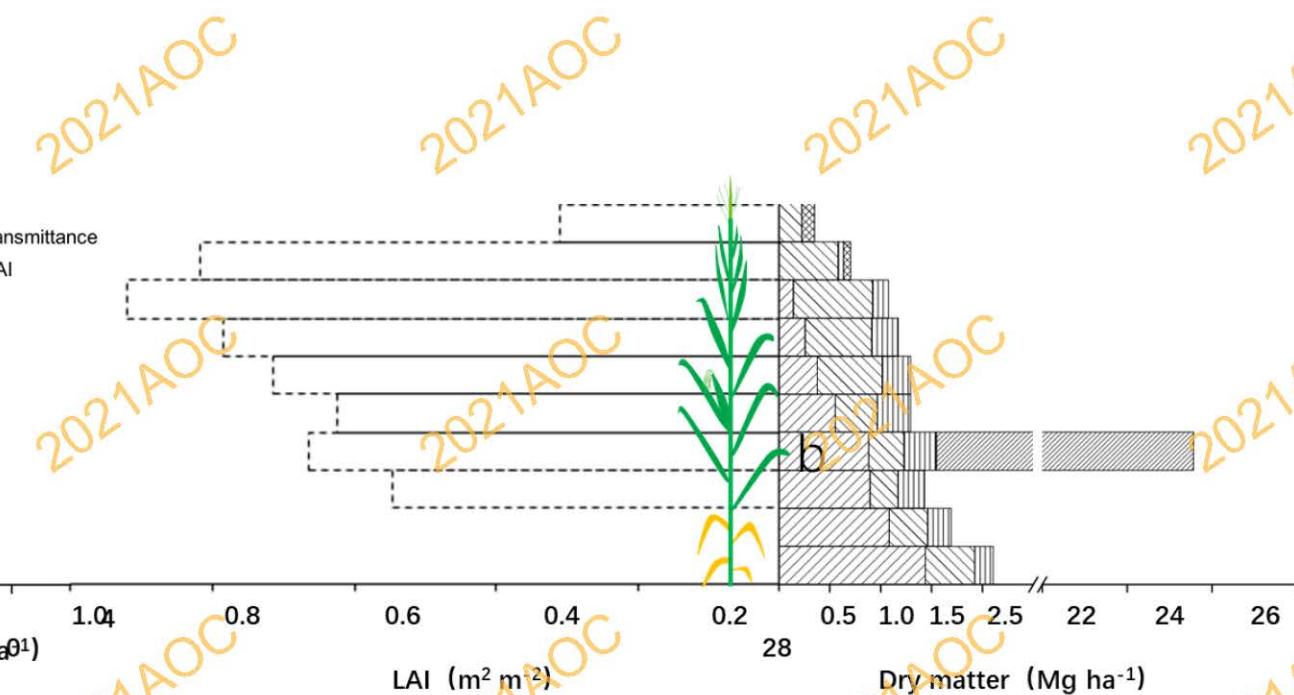
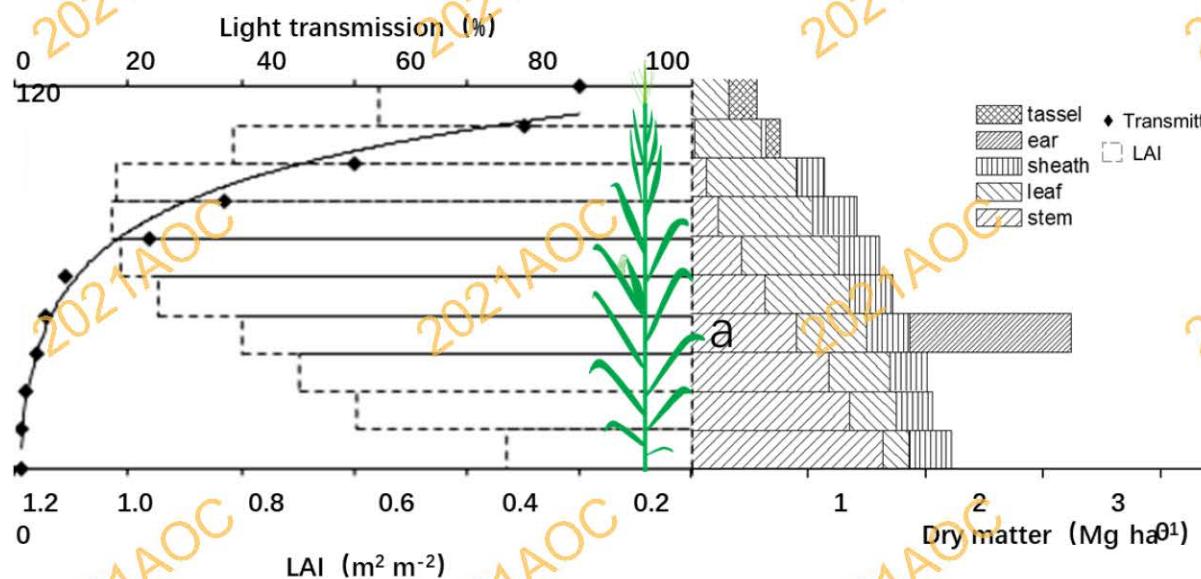
底部透光率: 3%

吐丝期群体光截获: 51.7 MJ m⁻² d⁻¹

吐丝期穗上部光截获: 49.5 MJ m⁻² d⁻¹

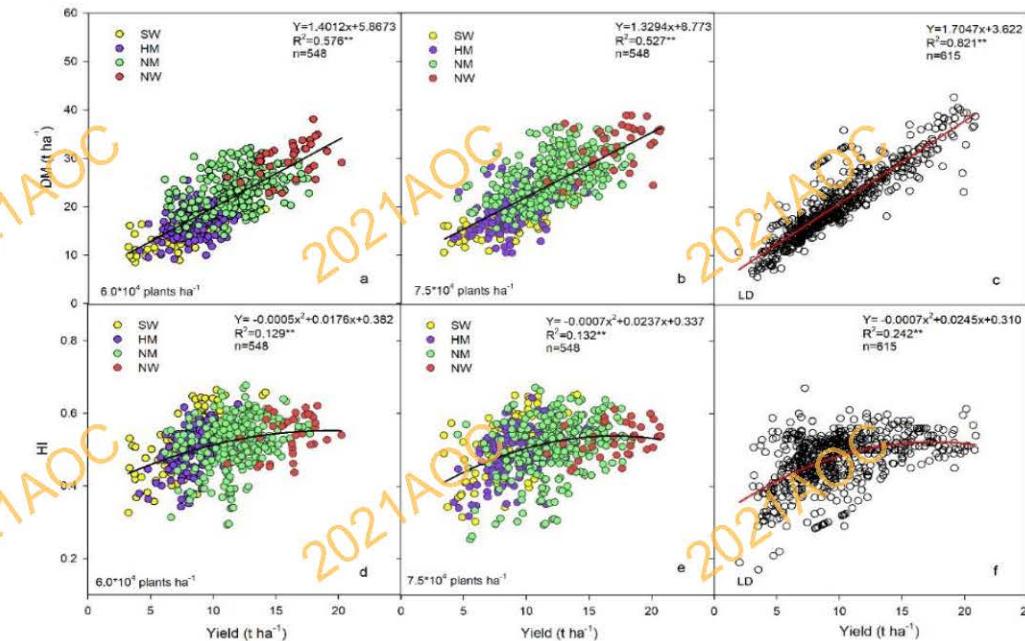
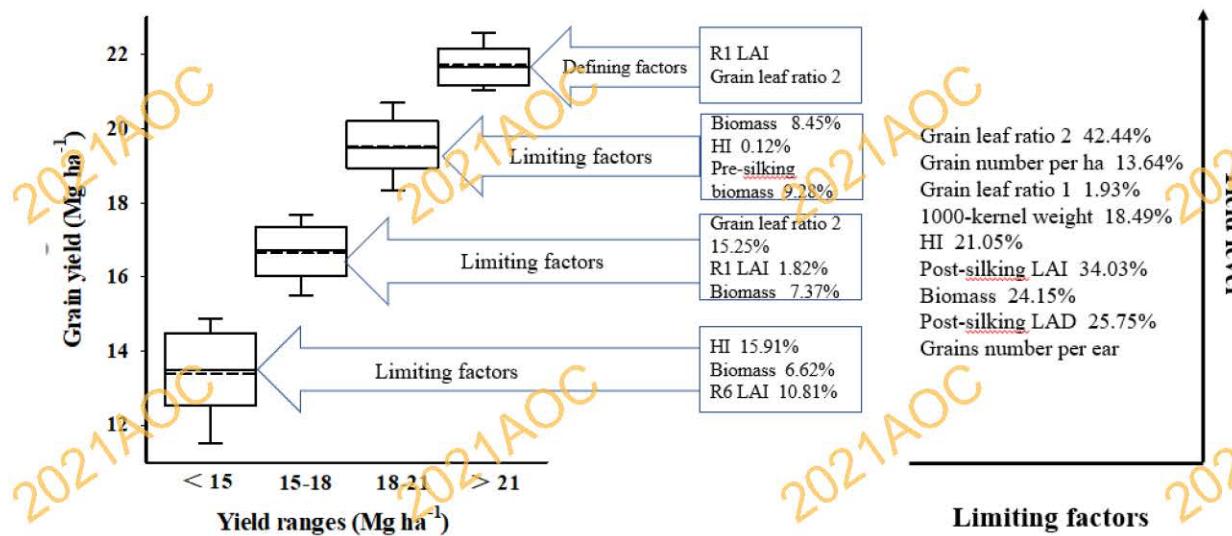
➤ **1500kg/亩产量水平群体结构特征:** 单株叶面积5108-6804 cm², 最大LAI6.2, 成熟LAI3.9, 持绿性好, 穗位透光率19%, 不同层次透光率增加, 吐丝单位叶面积光截获51.7 MJ m⁻² d⁻¹

➤ **1500kg/亩产量水平的生理机制:** 光合势增加, 灌浆中后期保持较高的光合速率, 成熟期光合速率15-20 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, 收获穗数10.7×10⁴ ha⁻¹, 库容-群体粒数489-646×10⁵ ha⁻¹, 千粒重365-429g, 总生物量32.3-43.1Mg ha⁻¹, 花后生物量22-31.8Mg ha⁻¹, 花前生物量9.2-12.4Mg ha⁻¹, 收获指数0.54-0.56, 充足的物质生产保证了源的供应, 避免或减少花前物质转移, 保持较长的功能期, 较大的库容保证了足够的接纳光合产物的能力



玉米产量突破的关键制约因素与途径

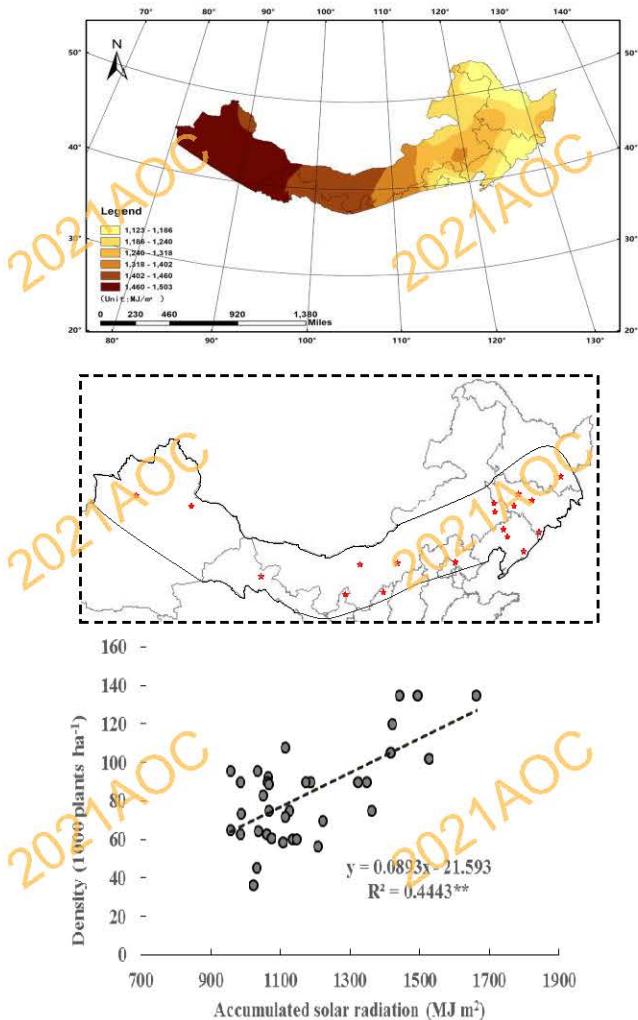
玉米产量从 $<15 \text{ Mg ha}^{-1}$ 提高到 $> 21 \text{ Mg ha}^{-1}$ 关键的生理指标是群体粒数、粒叶比（粒重）和生物量，为产量的不断突破提高了方向。



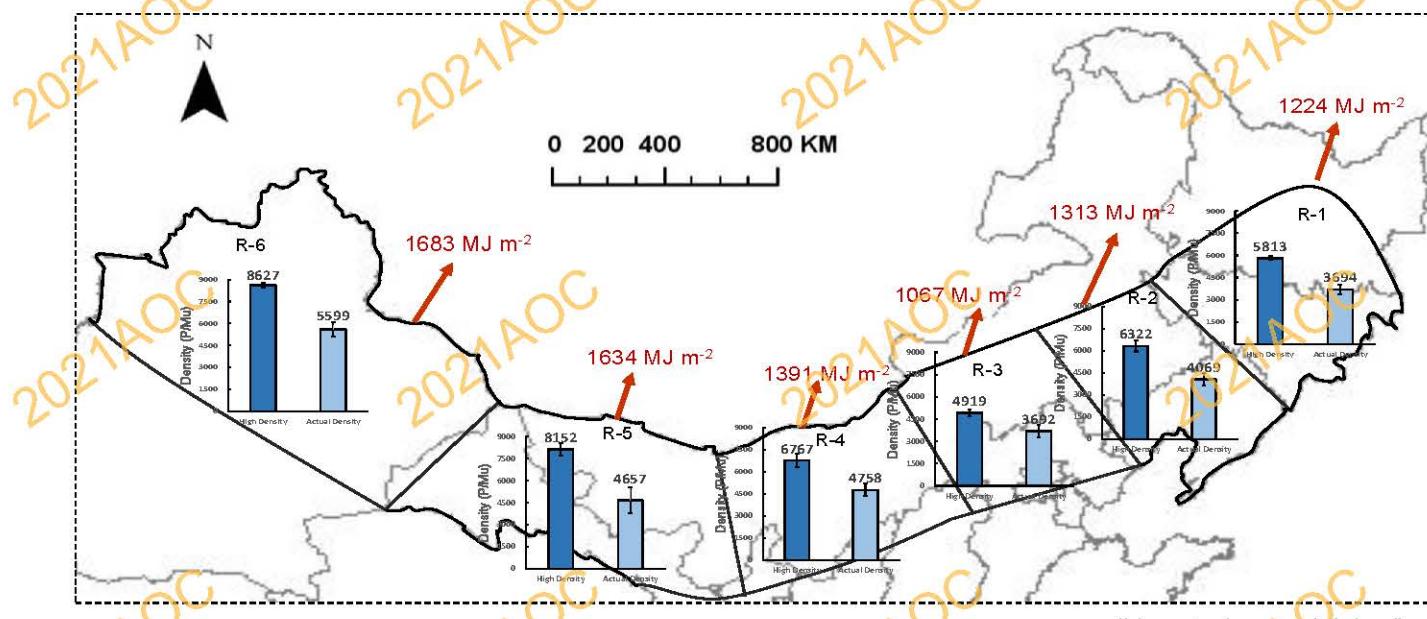
玉米群体产量提升的关键因子

群体产量与生物量、HI的关系

玉米产量突破的种植密度与光辐射量匹配



	Radiation (MJ/m ²)	Actual density (Plants/Mu)	Optimum density (Plants/Mu)	Density increase (Plants/Mu)	Yield increase %	Yield increase %
Region-1	1224	3694	5813	2119	19.6	39.9
Region-2	1313	4069	6322	2253	17.1	39.6
Region-3	1067	3692	4919	1227	15.6	23.1
Region-4	1391	4758	6767	2009	14.2	31.5
Region-5	1634	4657	8152	3495	19.3	55.7
Region-6	1683	5599	8627	3029	8.7	42.0



作物群体与辐射匹配的定量设计



1511.74kg/亩, 新疆奇台总场, 收获株数8700株/亩



1360公斤/亩, 甘肃凉州区, 收获株数7400株/亩

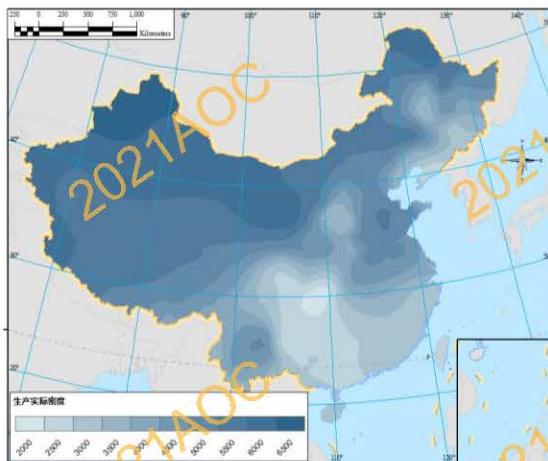


1357.29公斤/亩, 银川永宁, 收获株数7400株/亩

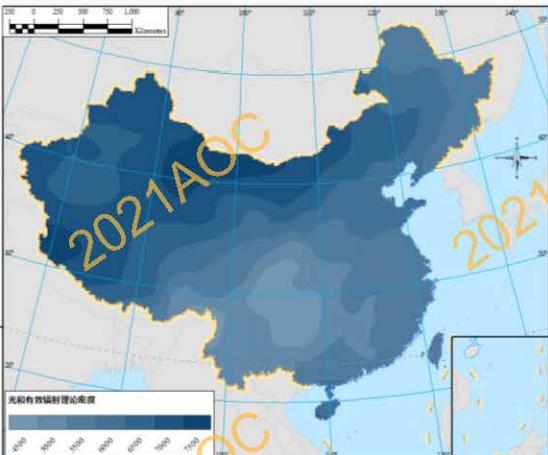


1458.4kg/亩, 陕西定边, 收获株数7300株/亩

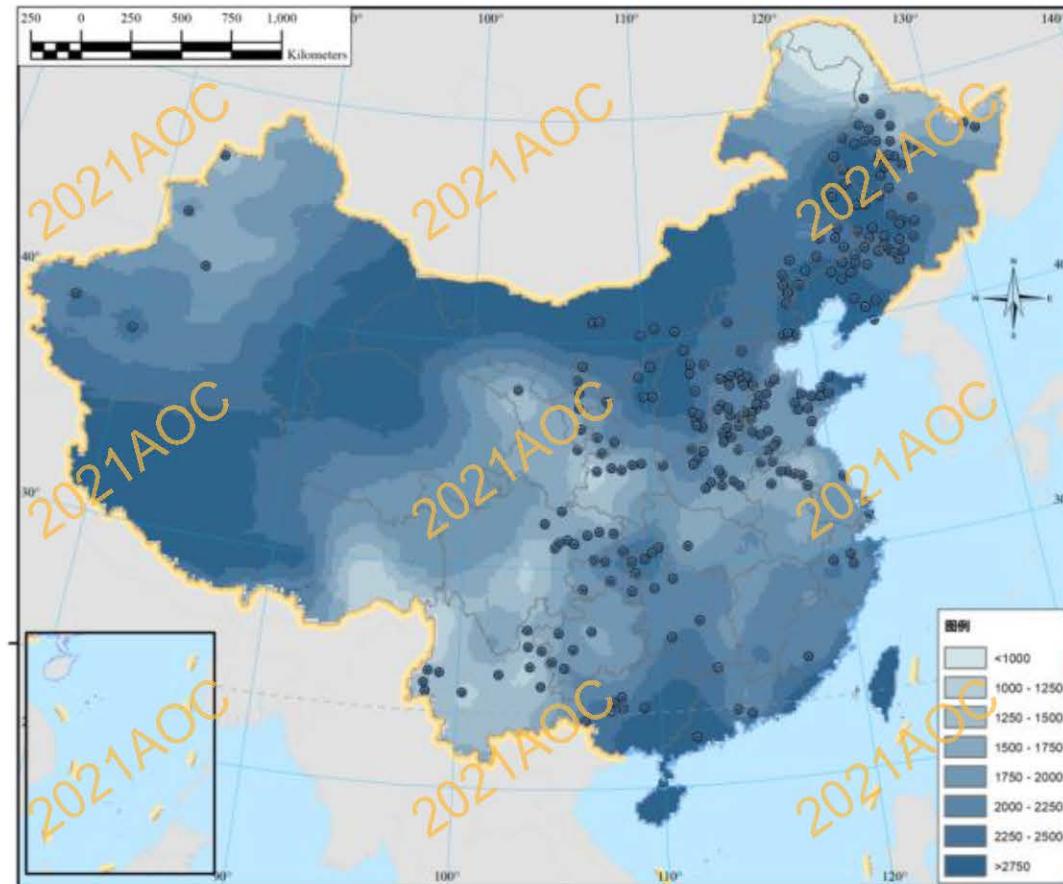
基于光匹配的玉米适宜种植密度



我国玉米的实际密度



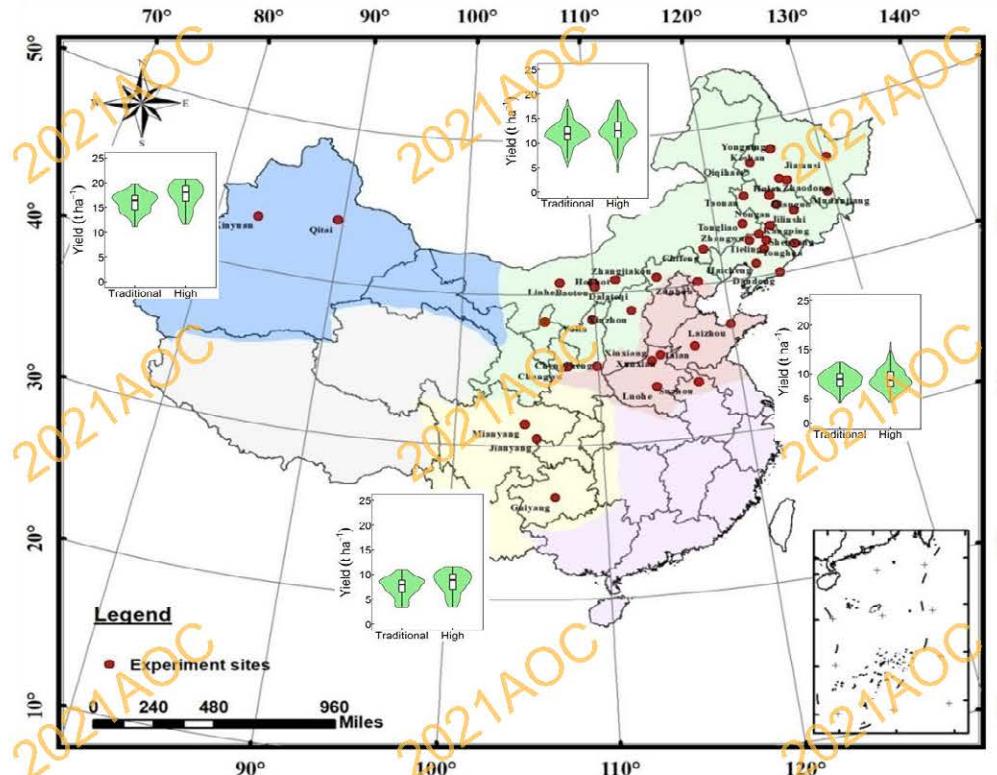
我国玉米最优密度的空间分布图



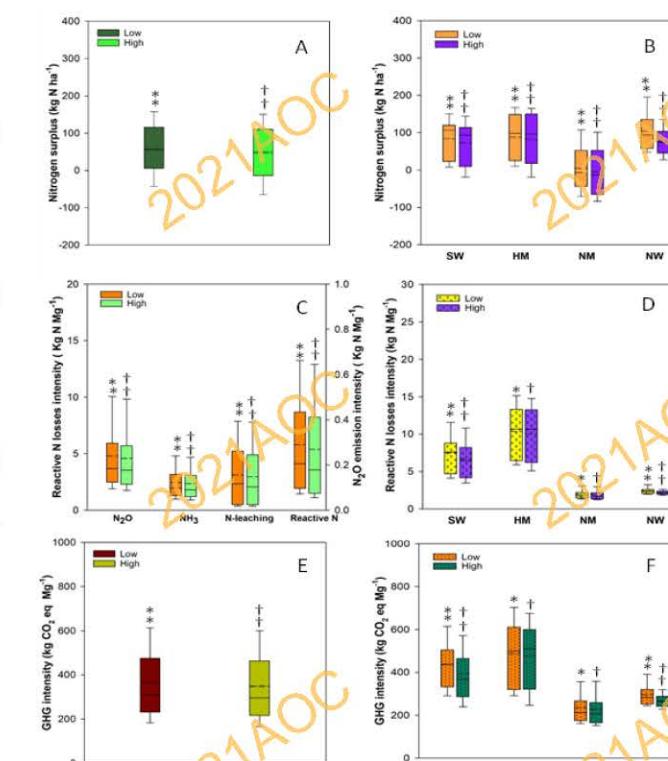
我国玉米理论增密的空间分布图

玉米增密种植提高氮肥利用效率，显著降低环境排放

- 亩增密1000株，全国各产区平均可以增产0.588t/ha (5.6%)，西南、黄淮海、北方与西北增产10.5%、2.7%、5.2%与10.3%。
- 生命周期评价(LCA)表明该技术可显著降低碳、氮排放强度2.2%-10.2%，明显降低氮盈余。



《Resources, Conservation & Recycling》: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104913>



密植栽培+滴灌水肥一体实现水资源高效利用

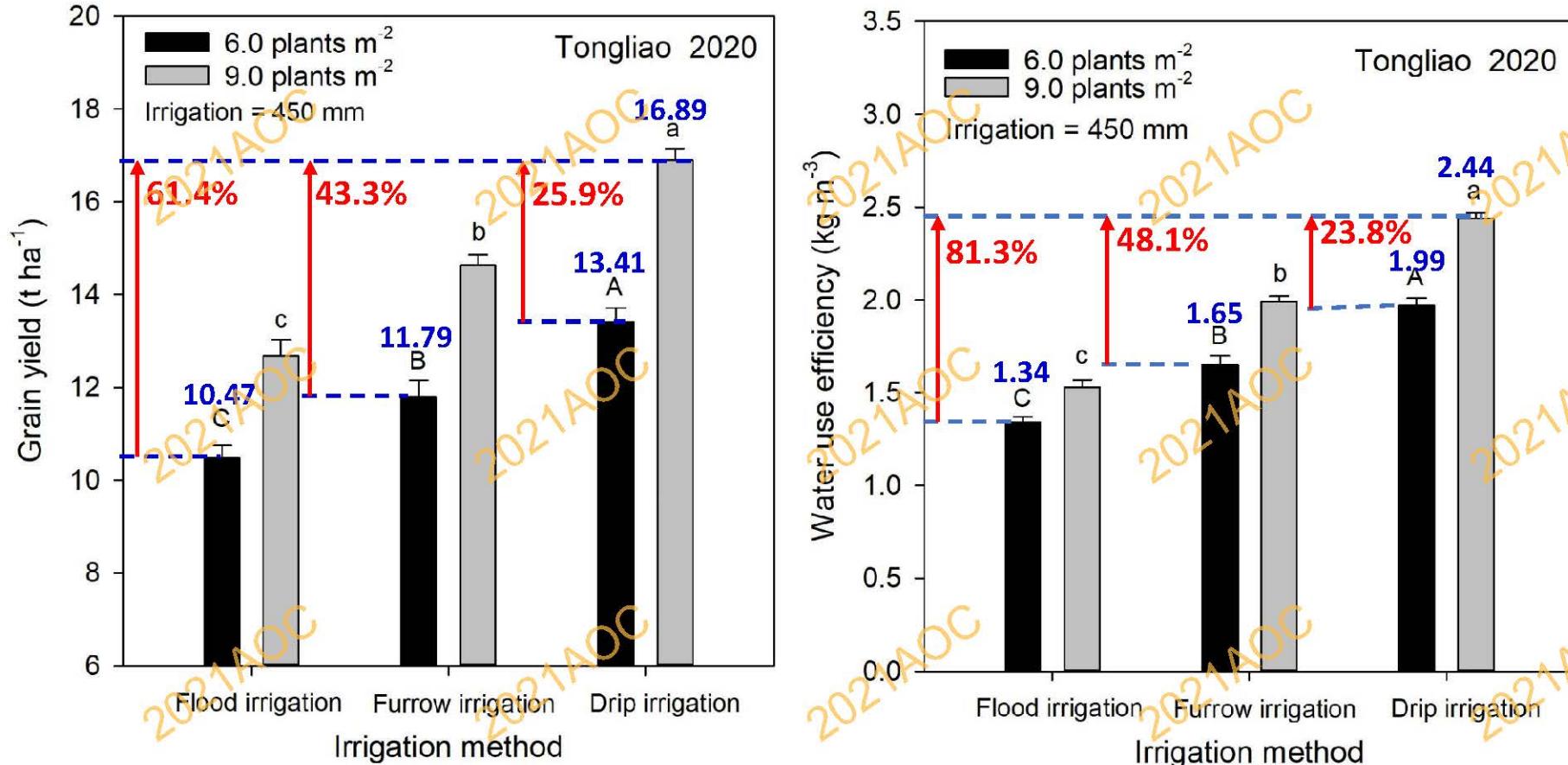
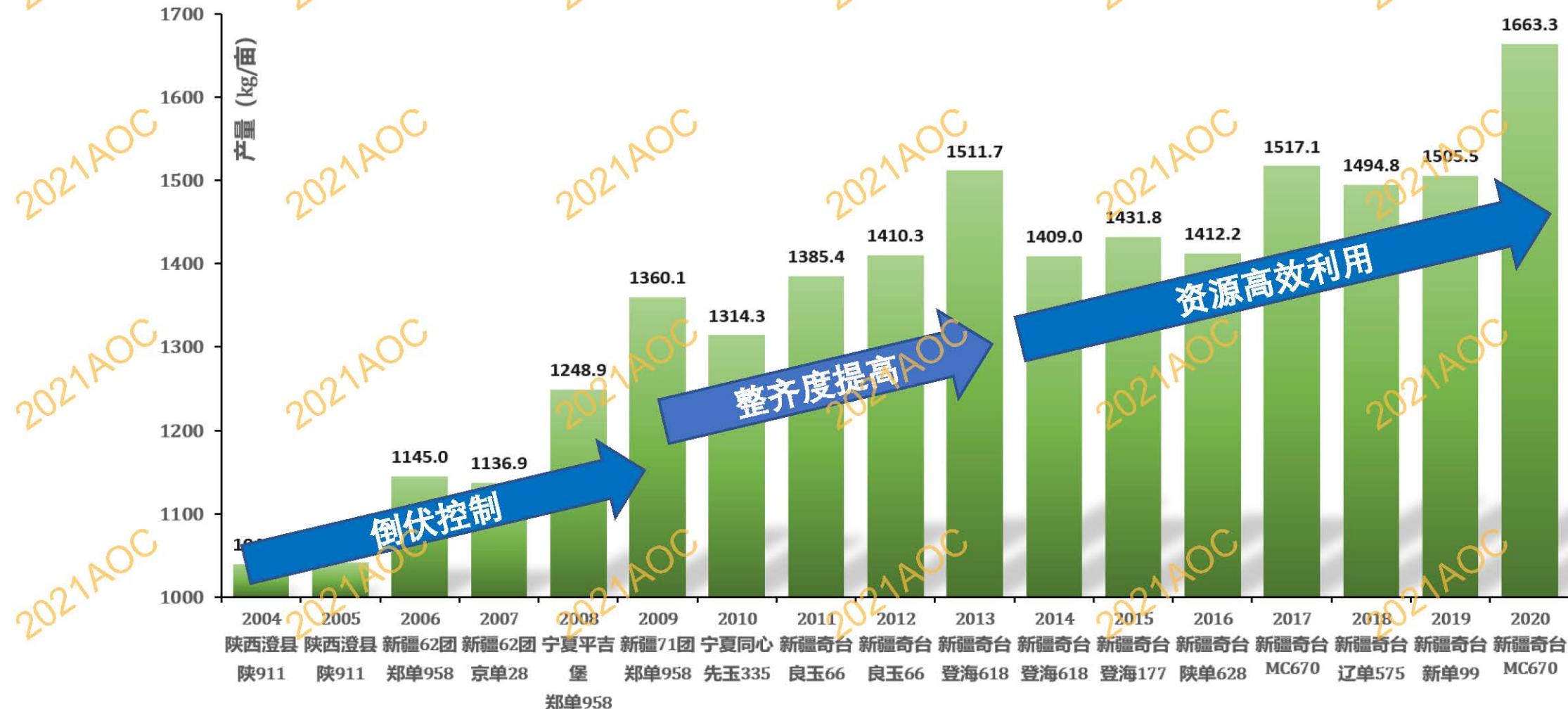
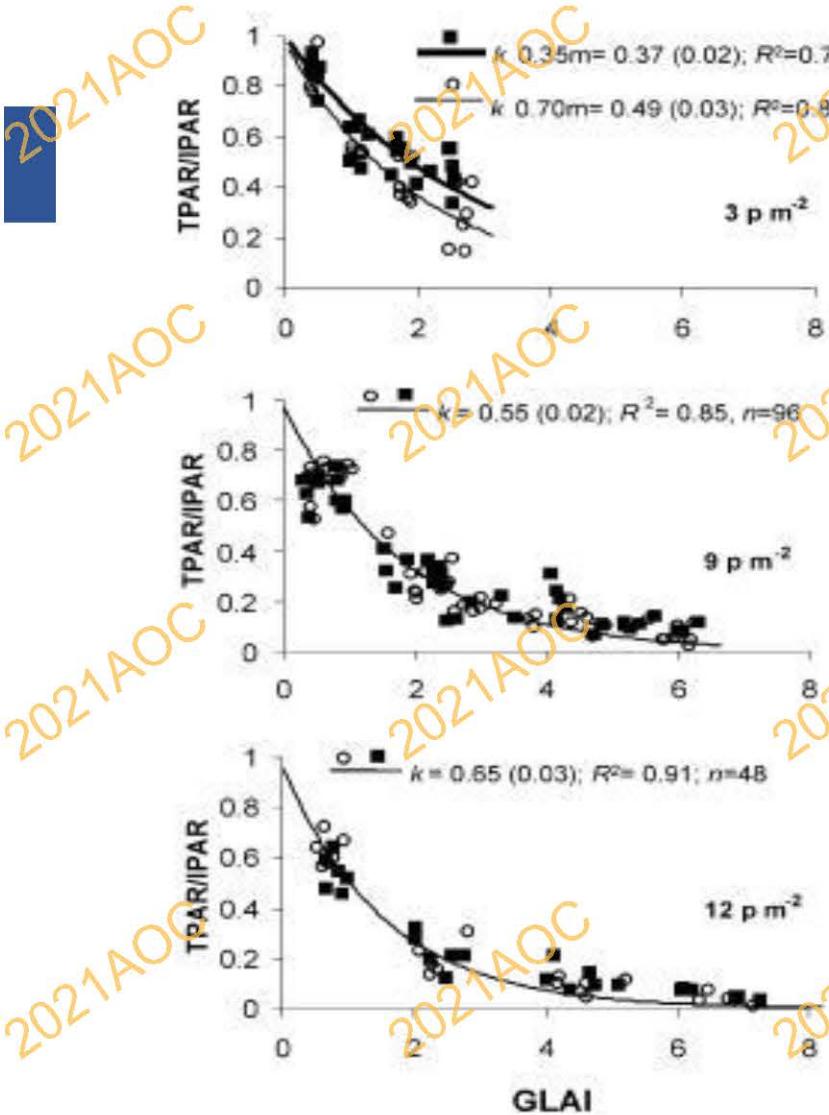


图 不同灌溉方式处理的玉米籽粒产量以及WUE

在生产条件下，农艺+工程节水有效的提高玉米籽粒产量和水分生产效率。

(四) 玉米高产关键技术





随着种植密度的增加，叶面积指数增加，群体光截获增加，但是群体不同层次透光率逐渐降低，尤其是中下部受光变差。



叶片早衰

空秆增加

败育增加

倒伏增加

构建合理的群体结构是增密增
产及产量潜力突破的关键



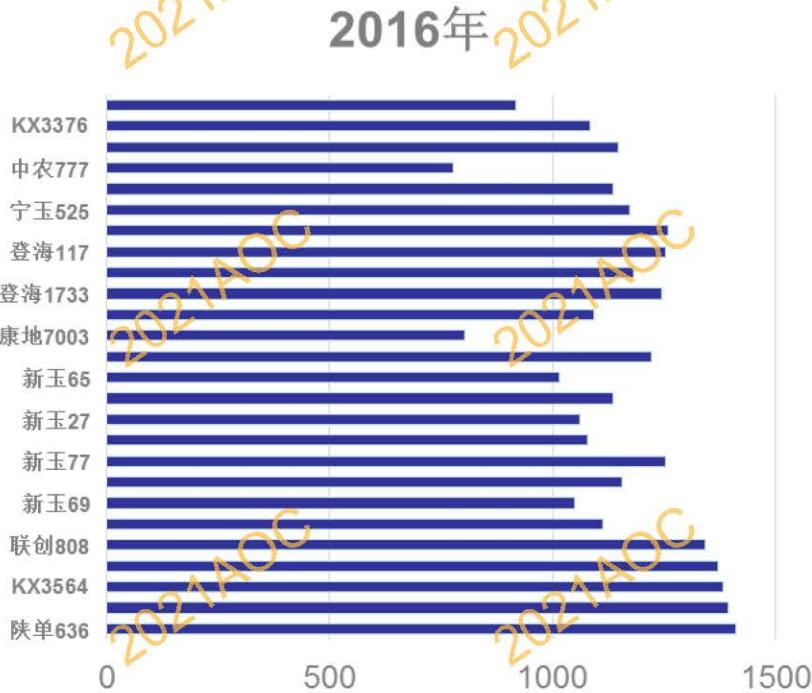


- 倒伏是全球玉米生产中普遍存在的问题，造成5-50%减产
- 加大收获难度、降低收获效率
- 降低玉米品质与效益

● 抗倒伏关键技术

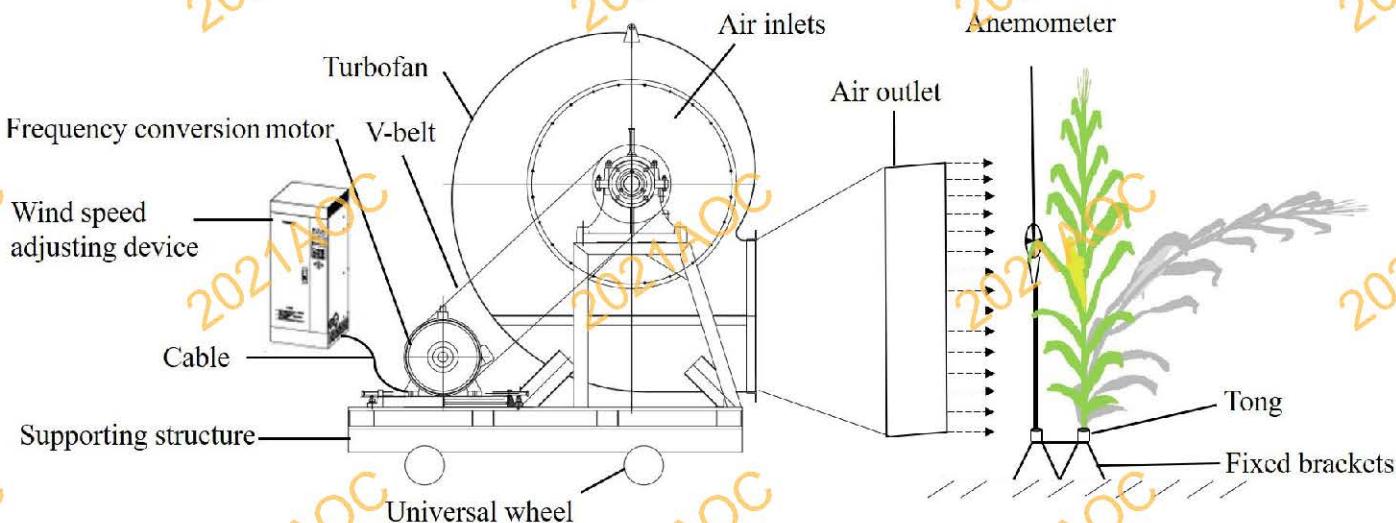
- 高密度品种筛选
- 化学控制
- 水肥调控
- 耕层调控
- 病虫害防控
- 安全密度

高密度压力下的品种筛选



每亩8000-9000株密度下筛选

玉米抗倒伏能力测定装置



● 提高整齐度关键技术

- 滴水出苗
- 精品种子
- 整地质量
- 播种质量

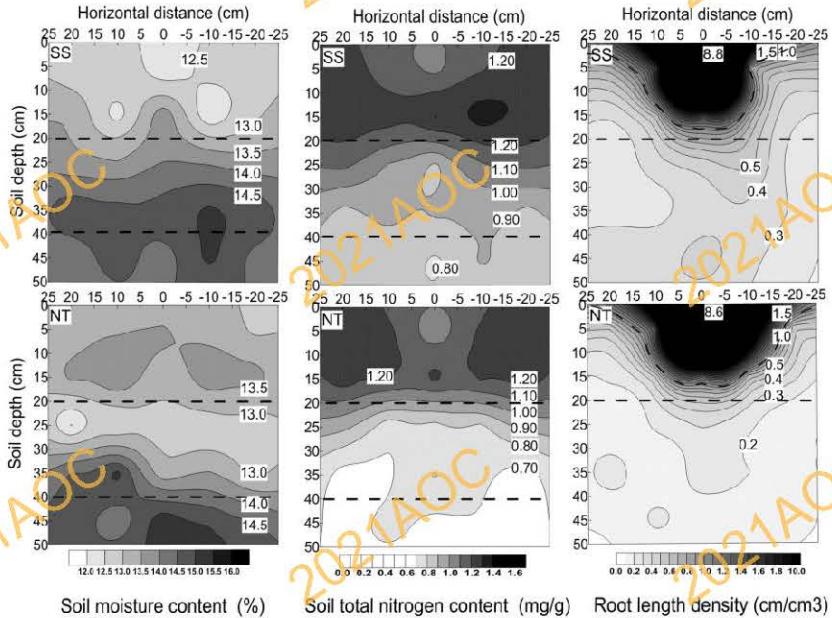


滴水出苗



● 防早衰关键技术

- 水肥一体化
- 耕层构建
- 病虫害防控



高产挖潜技术途径

- 增密增穗
- 水肥调控与化控两条线
- 培育高质量抗倒群体，增加花后群体物质生产与高效分配

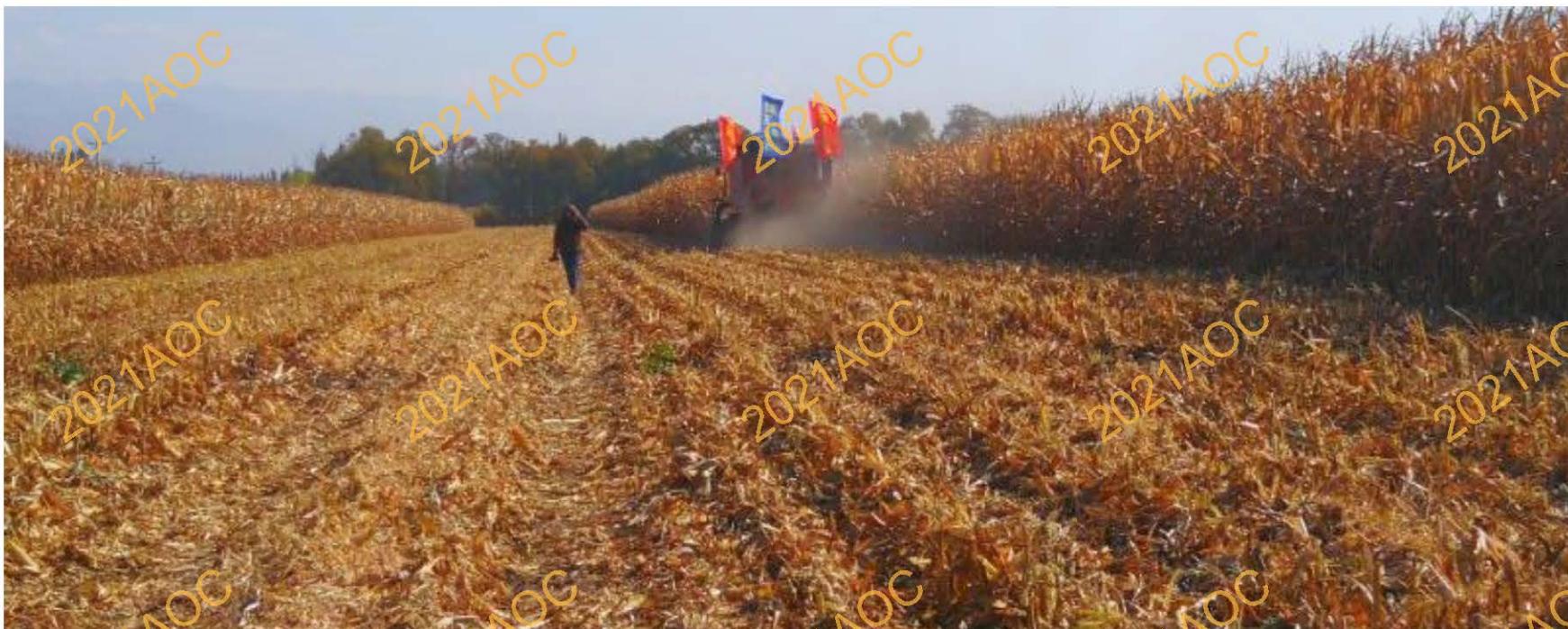
高产潜力突破关键技术

- 选用耐密、高产、适合机械化作业新品种
- 高密度种植，宽窄行配置
- 选择精品种子，单粒点播
- 适期早播，滴水出苗，一播全苗，提高群体整齐度
- 化学控制，水肥与化控相结合的调控
- 膜下滴灌，水肥一体化
- 病虫害全程防控
- 适时晚收，机械籽粒直收
- 秸秆还田、增施有机肥，培肥地力



玉米密植高产全程机械化绿色生产技术

- 全国玉米主推技术（2013-2016）
- 2014年测产，71团，万亩（700ha）单产1227.6kg/亩
- 2017年，71团6连，1100亩登海8883籽粒收获测产1229.8kg/亩



玉米成本 效益分析

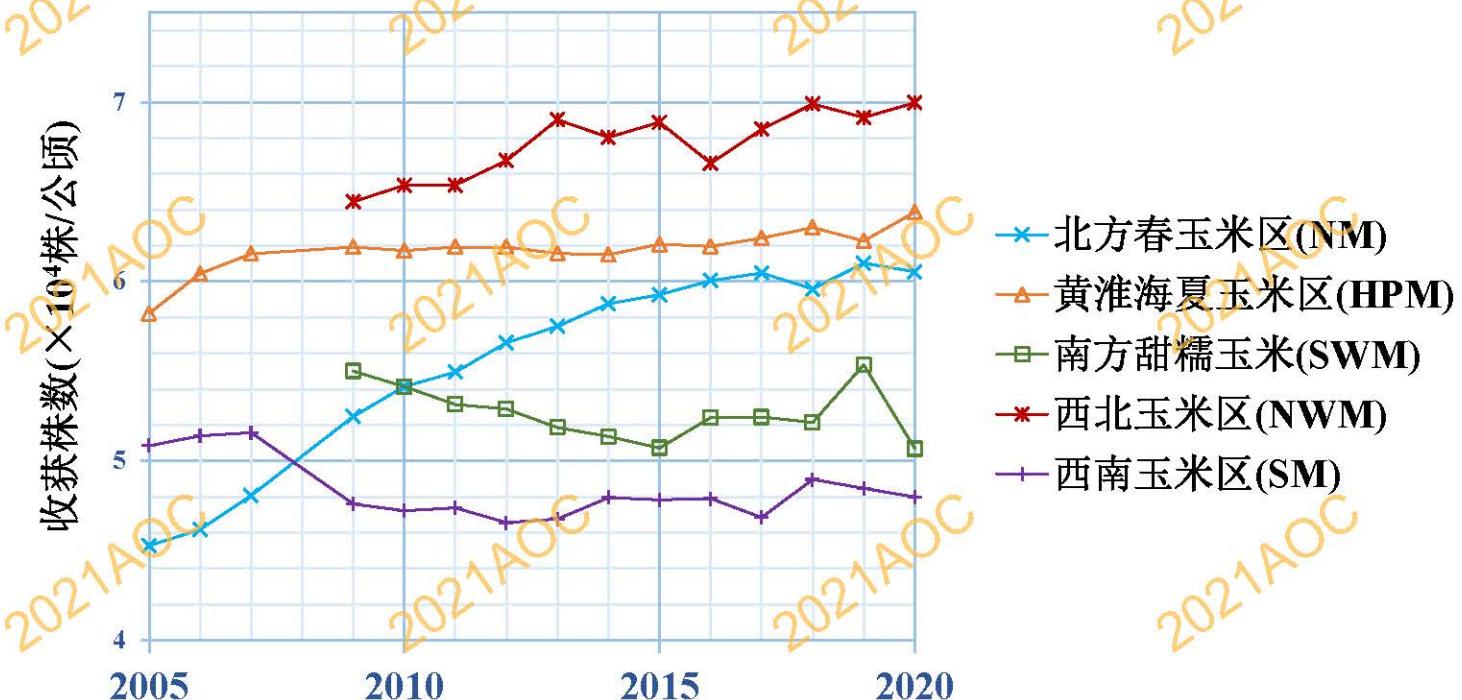
71团万亩玉
米密植高产田成
本收益表（元/
亩）

项 目		2014年	2017年
一、成本合计		621.38	568.05
1、犁地		28	24.5
2、施全层肥		6.5	4.8
3、整地	第一遍	19	19
	第二遍	13	12
4、播种		9	9
5、喷药（化除）		1.8	1.8
6、喷药（化控）		1.8	1.8
7、中耕	第一遍	7.5	7.5
	第二遍	6.5	6.5
	开沟	6.5	6.5
8、开毛渠		2	2
9、收割		75	65
10、拉运		18.5	18.5
11、粉碎秸秆		17	15.5
12、切地		11.5	9.5
小计		223.6	203.9
(二) 种子费	金 额	101.2	92.4
	磷酸二铵	117	78
(三) 肥料费	尿素	71.4	83.2
	小计	188.4	161.2
(四) 灌溉费(渠水)		33.5	45.5
(五) 农药费		4.48	5.85
(六) 保险费		25.2	25.2
(七) 雇工劳务费		45.0	34
二、土地费		164.56	166
三、亩总经营费用		785.94	734.05
四、玉米单产		1227.6	1229.8
五、产品单价		1.95	1.5
六、产值		2393.82	1844.7
七、净利润		1607.88	1110.65
补贴	10 (良种补贴)		10 (良种补贴)

- 2020年内蒙古通辽，千亩玉米田达到1078.6kg/亩，净利润1356.4元，较一般农户增产300-400kg；水肥资源效率和农民收入显著增加。
- 亩产1234.88kg，创东北春玉米机械粒收高产纪录



中国玉米种植密度变化(2005-2020)



区域 Zone	种植密度 Planting density ($\times 10^4$ plants $\cdot \text{hm}^{-2}$)				平均种植密度 Average planting density ($\times 10^4$ plants $\cdot \text{hm}^{-2}$)				趋势增长率 Trend growth rate (plnats $\cdot \text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)				
	2005	2009	2015	2020	2005-2009	2009-2015	2015-2020	2005-2009	2009-2015	2015-2020	2005-2009	2009-2015	2015-2020
NWM	/	6.58 a	6.66 a	7.00 a	/	6.70 a	6.88 a	/	354 ns	152 ns			
HPM	5.82 a	6.22 a	6.21 ab	6.39 b	6.20 a	6.18 b	6.27 b	926	-34 ns	367 ns			
NM	4.53 b	5.19 bc	5.97 b	6.05 b	5.25 b	5.62 c	6.03 c	1713 **	1130 **	742 ns			
SWM	/	5.43 b	5.24 c	5.07 c	/	5.24 d	5.26 d	/	-427*	-55 ns			
SM	/	4.76 c	4.81 c	4.80 c	/	4.75 e	4.8 e	/	105 ns	179 ns			

2021AOC

謝 謝！

