

小麦育种进展与分子技术应用

何中虎

中国农业科学院作物科学研究所

提 纲

- 国际进展概况
- 国内新挑战
- 分子育种进展

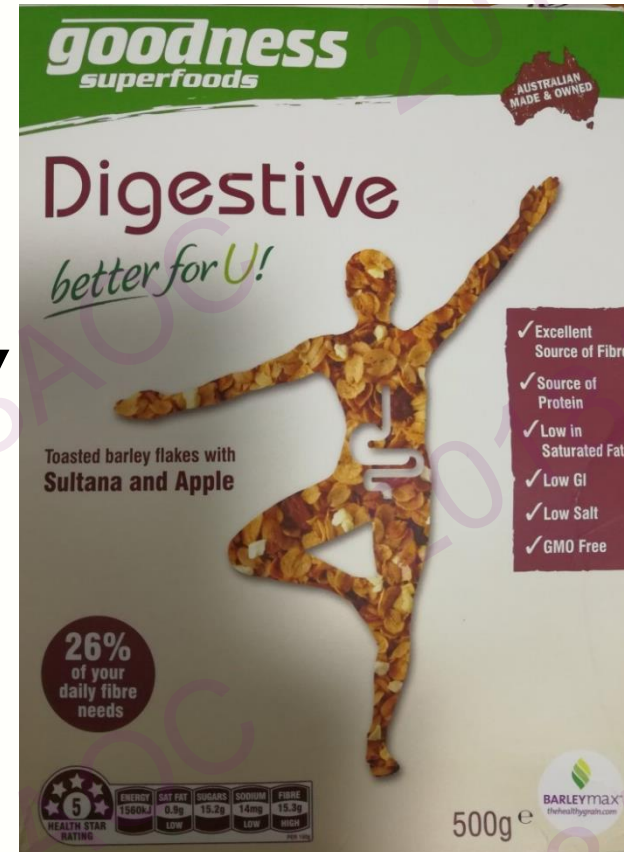
国际进展概况

国际进展-1新技术

- 基因组学、基因克隆和基因编辑取得显著进展
- **Japanese Tobacco**遗传转化取得突破
- **SNP** 标记广泛应用, 分子育种效率大幅提高
- **小麦基础研究和应用基础研究进入新时代**

国际进展-2营养健康

- 小麦与健康关系成为热门话题, 无面粉产品(gluten free)新时尚? 对产业严重负面影响
- 乳糜泄(celiac disease)0.5-2%, 与 $\alpha/\omega/\gamma$ 醇溶蛋白有关, 过敏症0.2-0.5%
- 原因复杂, 基因编辑改良显成效
- 全麦粉是最佳选择, 抗性淀粉和铁锌等健康营养性状成为品质改良主体



国际进展-3新病害

- 赤霉病成为美国第一大病害, 加拿大、欧洲加重
- 气候变化、高感品种、玉米面积扩大和推广免耕技术是主要原因
- 抗秆锈Ug99进展快, 麦瘟病威胁小麦生产



国际进展-4表型鉴定

- 节水抗旱
- 抗热耐高温
- 高通量表型鉴定技术如无人机等广泛应用
- 培育广适性品种是应对气候变化的重要途径



国际合作平台

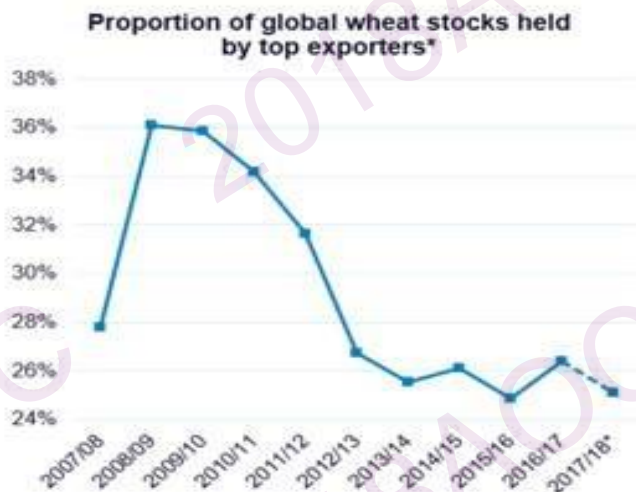
- 共同应对挑战，国际合作发挥更大作用
- 国际小麦协作网 **Wheat Initiative**
- 提高小麦产量潜力国际协作网 **Wheat Yield Consortium**
- 国际小麦基因组学协作网 **International Wheat Genome Sequencing Consortium**

小麦供应潜在危机

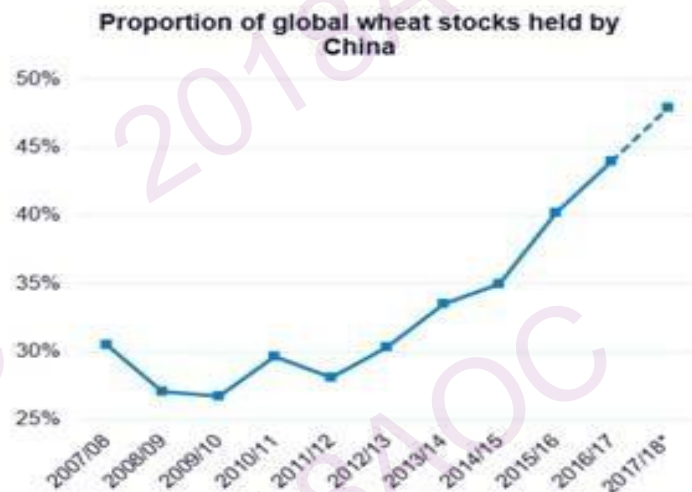
- 气候有利，连年丰收，6大出口国库存占国际26%
- 中国库存占国际44% (Agriculture and Horticulture Development Board)

Decline in accessible global wheat stocks

AHDB



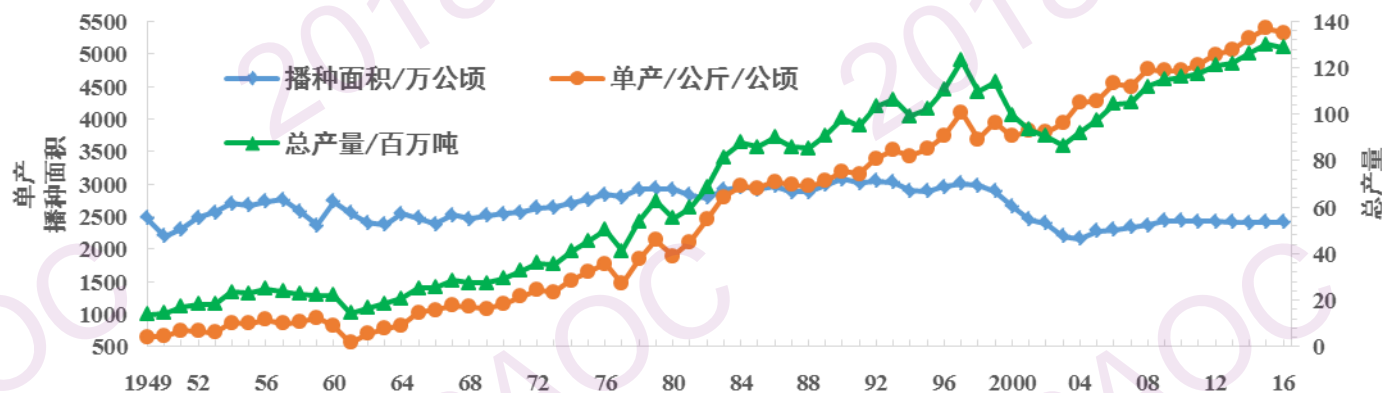
*Australia, Canada, EU, Russia, Ukraine, USA



Source: USDA

国内新挑战

小麦发展4个阶段



时期	特点	技术
1949-57	恢复增长	优良地方品种
1958-78	稳定增长	高产抗锈品种与栽培
1979-99	快速增长	半矮秆品种、栽培、责任制
2000-16	产量质量同步提升	高产矮秆优质品种

育种进展

- 矮秆与株型基因及1B/1R易位系利用
- 株高从120cm降到80cm
- 株型由松散变为紧凑
- 千粒重从38g提高到48g
- 1985年后重视品质改良



矮秆紧凑型 $Rht8+Rht24+TaIPa1$ 高秆披散型 $Rht\ 8+Taipa1$

挑战-1 品质

- 优质麦成为供给侧改革重点，强筋面包麦缺口600万吨，中强筋需求2000万吨
- 加工品质为主，健康和营养品质研究刚刚起步
- 全麦粉产品很少，不能满足市场需求
- 加强品质研究与育种

挑战-2病害

- 赤霉病成为黄淮麦区常发病害
- 条锈新小种V26使Yr26和Yr10丧失抗性, 叶锈和白粉非常严重
- 纹枯病成为主要病害, 抗病育种缺乏有效方法
- 病越来越多, 要求多抗与兼抗

挑战-3缺水

- 缺水制约北方小麦发展, 气候不确定性增大
- 2013年4月中旬安徽河南极端低温, 3000万亩减产
- 2014年5月底35-38度高温, 北京成熟期提前7天
- 2016年涝害穗发芽
- 2017年5月下旬大风暴雨, 大面积倒伏
- 品种抗多种逆境, 适应性广

挑战-4分子育种

- 可用标记少, 发表标记多
- 缺乏高效检测平台, 时间长、价格高
- 标记提供了重要知识和信息, 在育种中发挥了一定作用, 与期望有很大差距
- 分子标记成功用于抗病和品质育种

品种偏多

- 同质性高, 缺乏突破性品种
- 品种太多, 对科研、企业和农民都不利

国家和主产区审定品种数

年份	国家	河南	山东	河北
2017	26	27	10	19
2018	77	52	12	33

生产成本高

- 中国小麦生产成本较美国高33%，劳动力占成本比例比美国高32%
- 自2000年以来，汇率变化占国内外农产品价格差60%（周慧和王济民）
- 成本高与国家政策、生产规模和技术有关

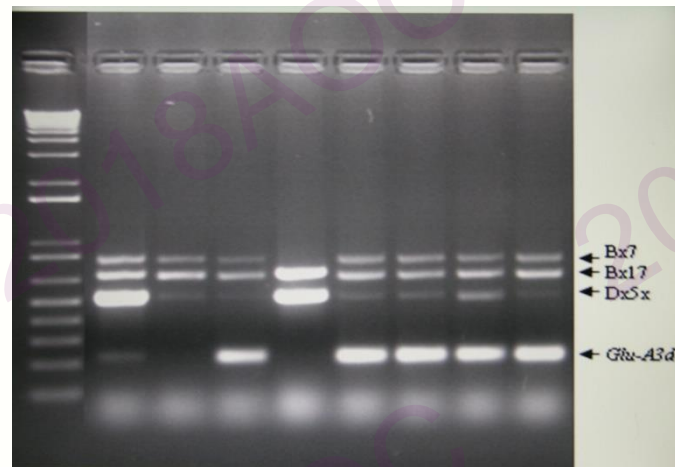
分子育种进展

育种技术

- 常规育种居主导地位, 但需改进完善
- 分子标记成功用于品质育种
- 兼抗型持久抗性育种
- 节水省肥等广适性鉴定技术

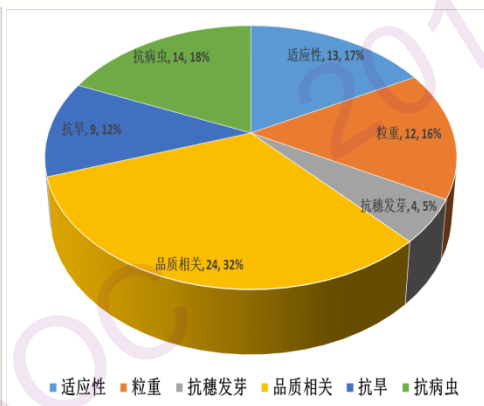
用基因组学技术发掘验证基因标记60个, 占国际品质育种可用标记50%, 有效用于面筋强度和色泽改良, 18个国家应用

面筋强度	19个标记
色泽性状	21个标记
抗穗发芽等	5个标记
硬度等	15个标记



高通量KASP标记检测平台

- 高通量：2-3天完成1500份品种150个育种可用标记检测，较传统方法提高100-150倍
- 费用：约为传统方法50%



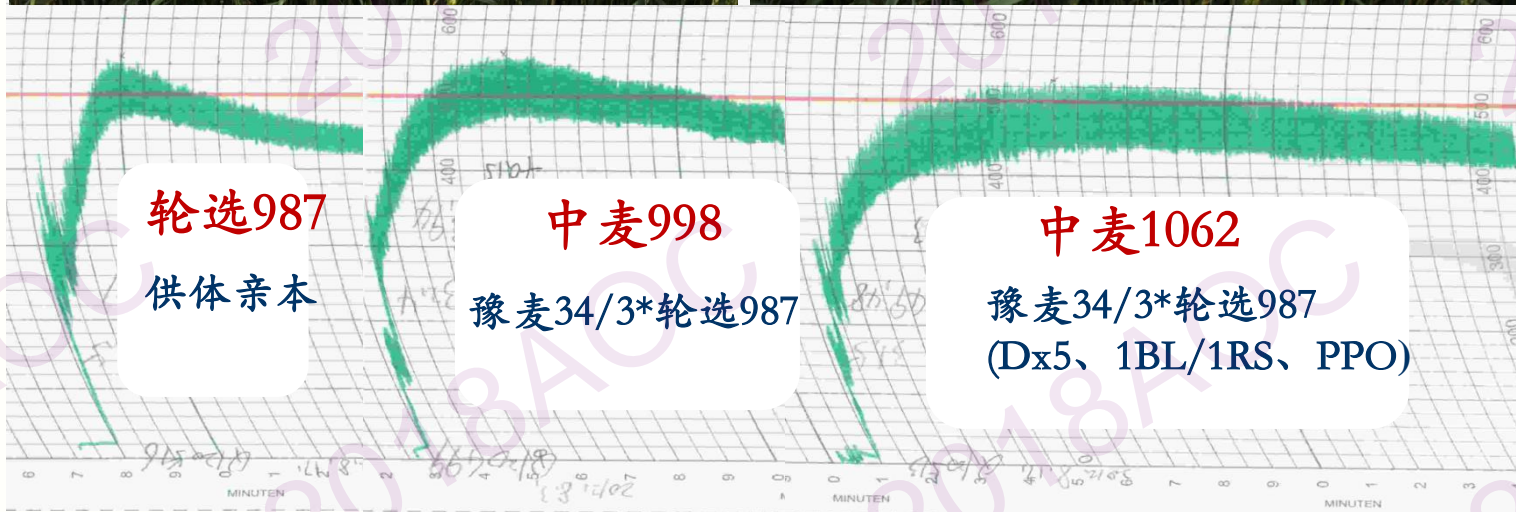
分子育种方案

- **大群体**, F1回交30-50穗, 每组合400-500粒种子
- **BC1F1选择农艺性状优良单株50个**进行编号, 每株选1穗第二次回交, 根据分子检测结果安排种植计划
- **BC2F1按照常规方法选择**, 中选单株随机取10粒进行分子检测, **BC2F2及后续按常规方法进行**, **BC2F3及BC2F4中选株行结合和面仪品质测试筛选**
- **进入产量鉴定品系进行全面品质分析和基因型鉴定**

分子育种显成效

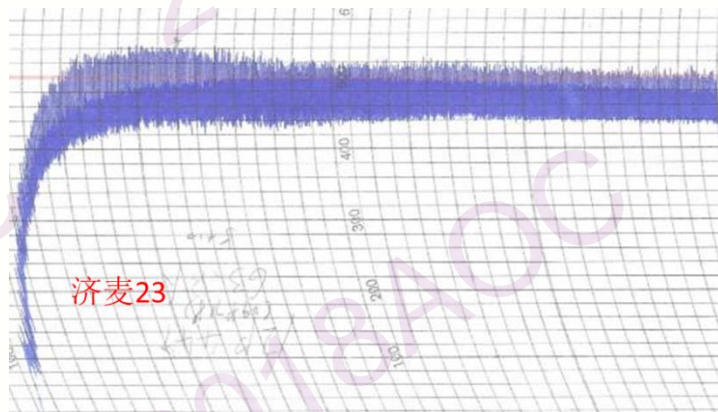
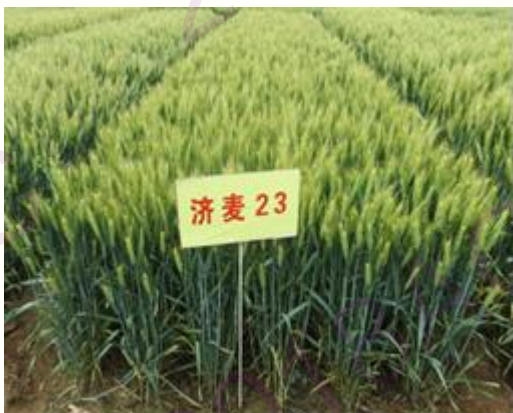
- 中麦996、中麦998和中麦1062（豫麦34 /轮选987³）审定
- 济麦23（豫麦34 /济麦22³）山东省审定
- 中麦29（济麦22/师栾02-1）河北审定
- 中麦578（中麦255 /济麦22）河南生产试验
- CA12107（中麦175 /CA0459//CA0518）北京区试
- CA16015（豫麦34/中麦175³）第二年产比
每年10个组合, 用分子标记有效改良面筋强度与色泽

中麦998和中麦1062



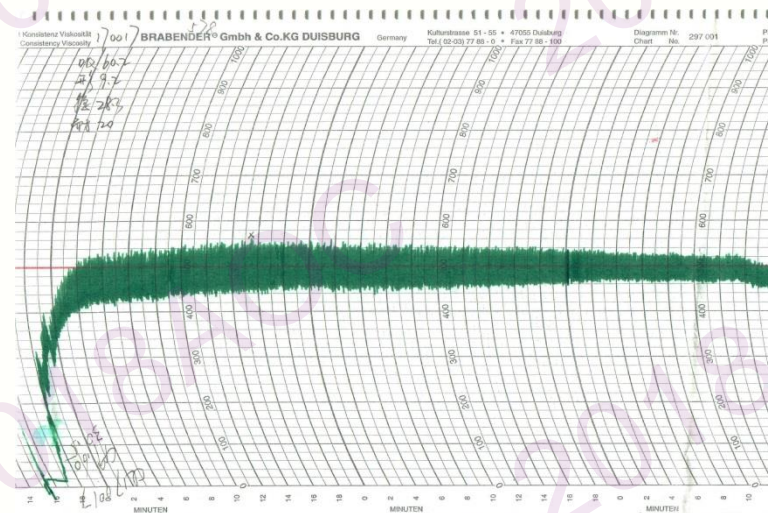
济麦23

- 黄淮麦区第一个用分子标记育成小麦品种，2016通过山东省审定（与赵振东院士合作）
- 优质高产，2016年实打验收3.1亩，平均亩产795.8公斤，创国内优质麦高产记录
- 转让鲁研公司，正在大面积示范推广



中麦578

- 优质强筋, 稳定时间18 min, 延展性163 mm, 面包品质突出
- 比对照早熟3天、增产3.2%
- 高抗条锈、叶锈和白粉病, 赤霉病中等偏轻
- 河南省生产试验和安徽省区试, 黄淮南片和北片区试



基于主效基因的锈病和白粉病抗性频繁丧失, 能否有目的育成持久抗性品种?

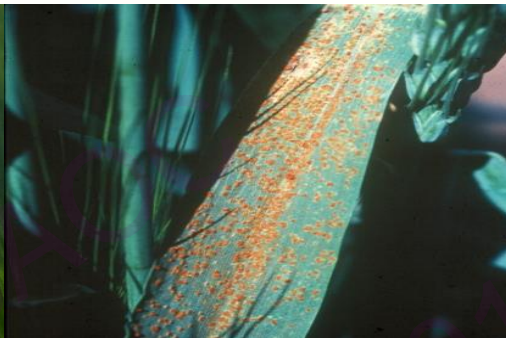
苗期抗性与成株抗性比较

分类	特点	成熟程度
苗期抗性	苗期和成株期高抗, 单基因控制, 抗性易丧失	方法成熟
成株抗性	苗期感、成株期抗, 3-5个微效基因, 抗性持久	分子与常规

条锈病



叶锈病



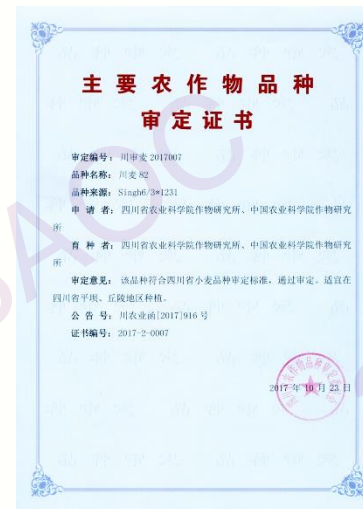
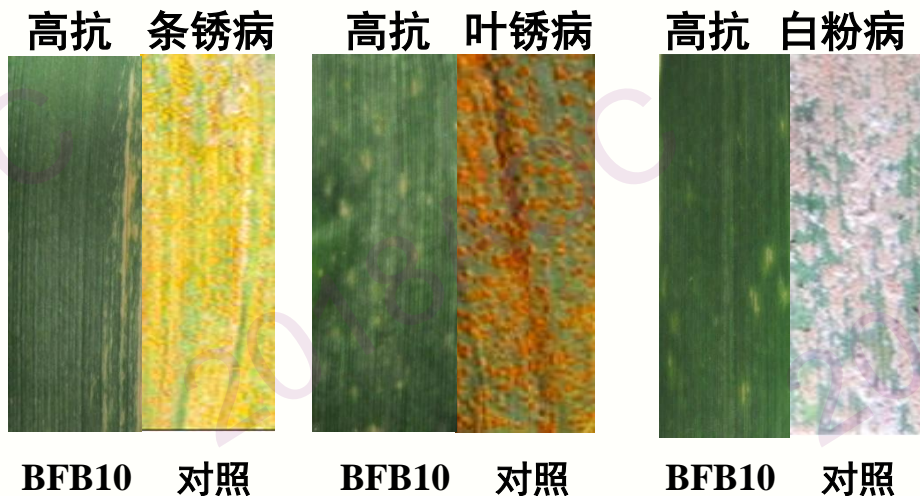
白粉病



兼抗型持久抗性基因

- 同一基因兼抗4种病害, 且为持久抗性基因
- *Lr34/Yr18/PM38/Sr57*, 抗稻瘟病/玉米大小斑病/大麦多种病害/高粱锈病与炭疽病
- *Lr67/Yr46/Pm46/Sr55*
- *Lr46/Yr29/PM39/Sr56*
- *Lr27/Yr30/Pm48/Sr2*

建立兼抗型成株抗性育种方法，在北京和四川育成含3-5个QTL新品系和新品种100份



中国农业科学, 2011, 44: 2193-2215

TAG, 2013, 126: 2427-2449

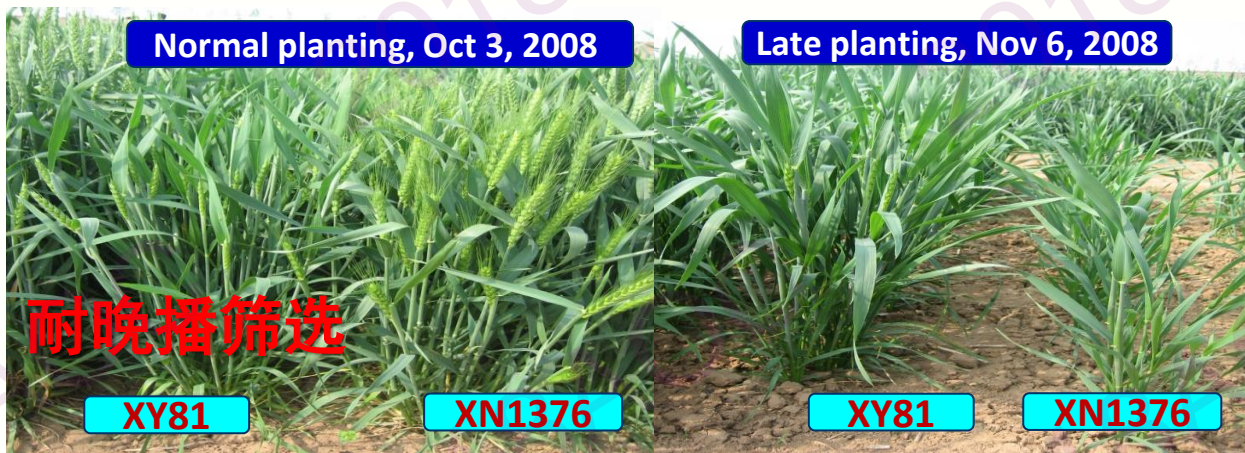
Crop Science, 2014, 54: 1907-1925

减轻赤霉病危害

- 黄淮地区小麦玉米轮作部分改为小麦豆类轮作, 可同时减轻小麦赤霉病和玉米穗粒腐病
- 分子标记与育种大群体相结合, 把高感品种改造成中感品种
- 预报与农药防治

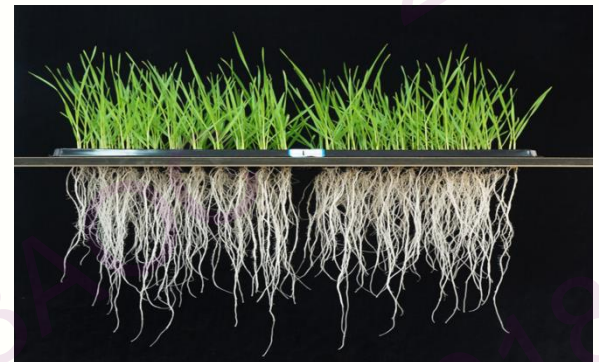


节水等广适性筛选技术

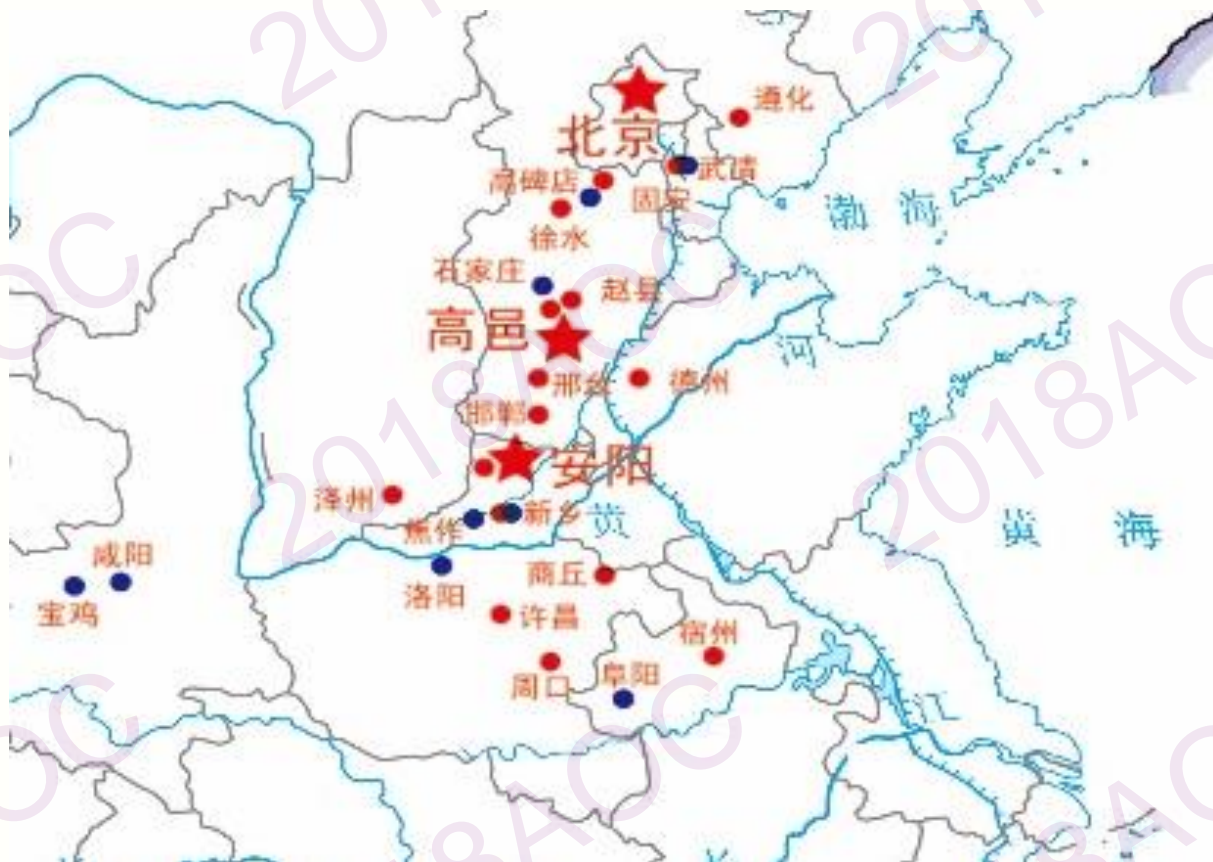


高通量表型鉴定平台

- 速度快：8分钟完成600小区(4亩)信息收集
- 通量高：5个光谱带信息/架次 (RGB、400-900nm)
- 信息量丰富：生长势、持绿性、株高、叶面积指数等
- 效率提高100倍， >6000区/1.5hr



建立3个育种站与30个新品系测试点



图例标注:

- ★ 育种站
- 品比试验点
- 展示示范点

中麦175通过三个麦区七次审定

年度

育种世代

主要技术

1994-95

BPM27 × 京411

矮秆紧凑抗病 ↓ 高秆节水广适

1995-96

F₁

水旱交替选择

1996-00

F₂-F₅

诱发抗病鉴定

2000-01

F₆

分子标记检测

2001-03

产量比较
与多点鉴定

品质综合评价

水肥高效分析

2003-12

中麦175
区域试验与审定

国家北部冬麦区水地 (2008)

国家黄淮旱肥地 (2011)

青海甘肃冬春麦兼作区 (2012)



加工与营养品质兼优

面条馒头品质达到国家优质中筋麦标准,籽粒锌含量(45.8mg/kg) 超过普通品种30%, 营养价值高

优质机理

- 面团延展性好, 面条粘弹性好
- 面粉和成品色泽亮白
- 含12个优质基因

Euphytica, 2010, 174: 303–313

BMC Plant Biology, 2012, 12: 243

农业部谷物品质监督检验测试中心
检验报告

NO. W120258 共 2 页第 2 页

样品名称: 小麦 中麦 175

检测项目	单位	检验结果	检验依据	标准值	单项判定
面条评分	分	85	LS/T3202-1993	/	/
		以下空白			

85分 75分



中麦175 京冬8号


农业部谷物品质监督检验测试中心
检验报告

NO. W120158 共 2 页第 2 页

样品名称: 小麦 中麦 175

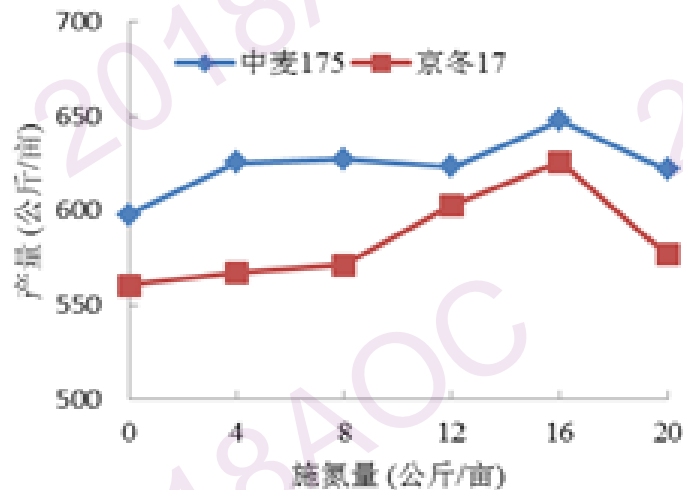
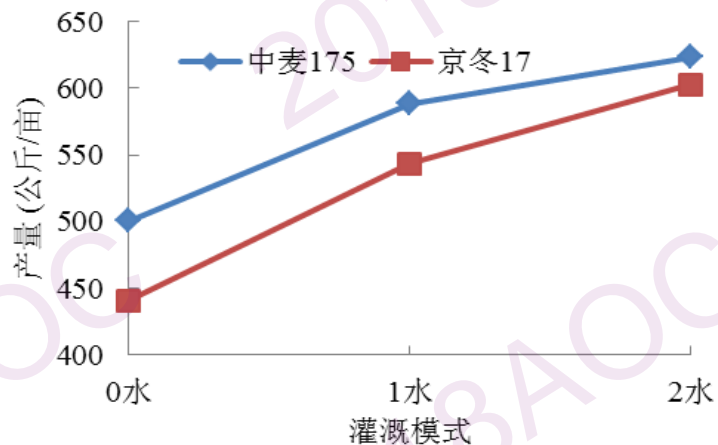
检测项目	单位	检验结果	检验依据	标准值	单项判定
馒头评分	分	92	LS/T3204-1993	/	/
		以下空白			

92分 81分



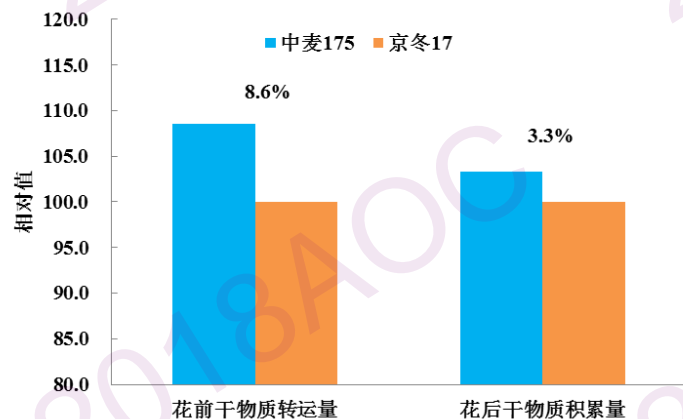
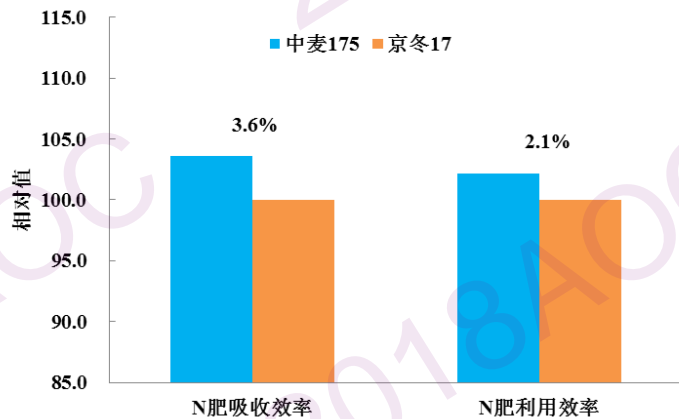
中麦175 京冬8号

中麦175水肥高效 (王志敏教授)

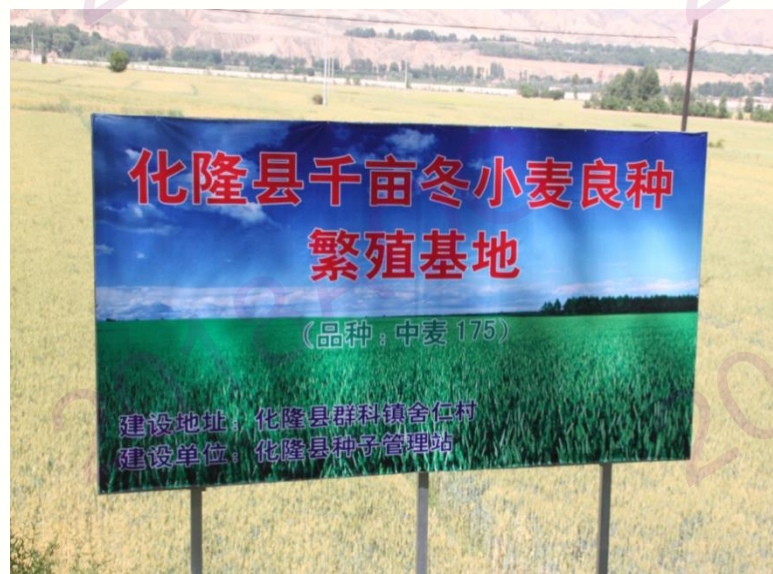


三种灌溉水平中麦175产量皆高于京冬17

六种施肥水平中麦175产量皆高于京冬17



中麦175在甘肃和青海代替春麦，增产20%，应对气候变化



国际合作

- 引进CIMMYT种质2万份, 交国家种质库保存, 鉴定后分发全国应用
- 25个合作单位育成审定品种128个, 2002年至今累计推广3.0亿亩
- 35个单位150人次到CIMMYT合作研究



未来重点

- 口粮安全、营养健康、生态绿色为总目标
- 优质抗病节水节肥品种选育, 分子标记与常规结合
- 栽培与植保、土肥、农机紧密结合, 扩大小麦豆类轮作面积, 为优质高效绿色生产提供技术支撑

小结

- 小麦生产面临品质、病害和缺水三大挑战
- 分子标记与常规育种有机融合,有效用于优质和兼抗型持久抗性品种培育
- 高通量表型鉴定、水旱交替选择、多点鉴定相结合,有效提高品种水肥利用效率和适应性
- 加强国际合作和公立研发单位与私立种业合作

小麦育种团队

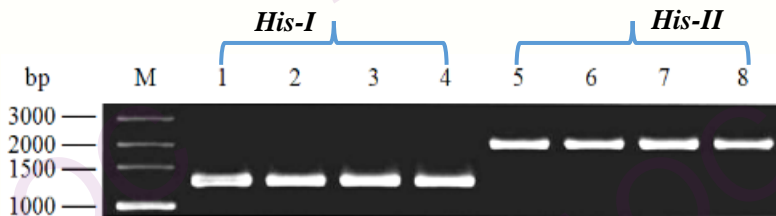
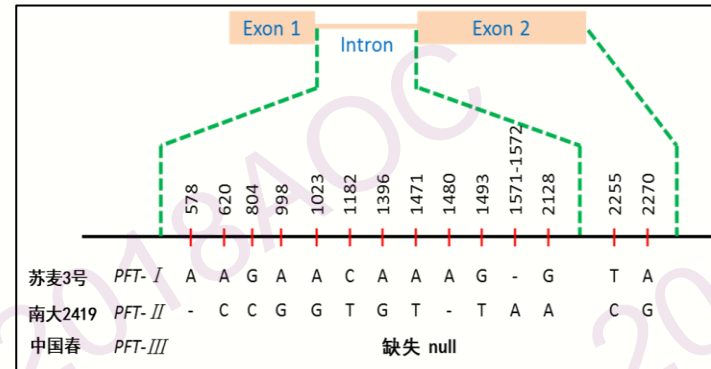
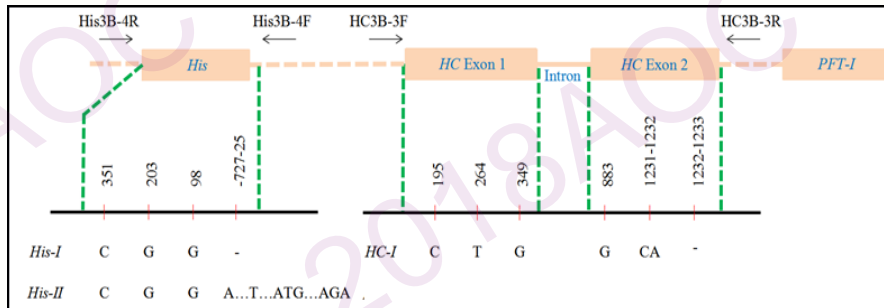
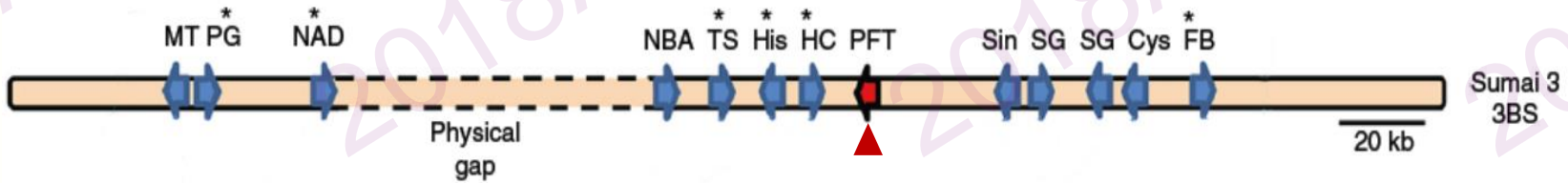


农业部、科技部和国家自然科学基金

中国农业科学院创新工程

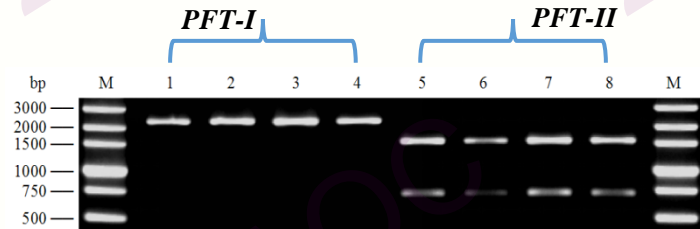
庄巧生先生指导, 国内外同行合作

抗赤霉病基因 *Fhb1* 育种标记开发验证



1. 苏麦3号, 2. 宁7840, 3. 宁麦9号, 4. 宁麦13
5. 西农9871, 6. 小偃22, 7. 郑麦9023, 8. 烟2415

His-InDel

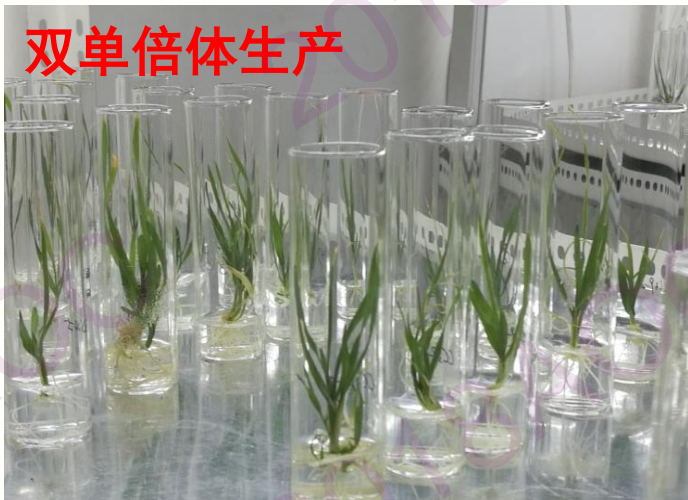


1. 苏麦3号, 2. 宁麦9号, 3. 西农9871, 4. 小偃22
5. 郑麦366, 6. 鲁麦21, 7. 衡观35, 8. 宁春4号

PFT-CAPS

双单倍体与加代技术

双单倍体生产



北京温室加代6月中-9月下



海南加代12月1日-1月30日



北京春播2月5日

