

农业绿色发展策略与途径

张福锁

中国农业大学



国家农业绿色发展研究院 (NAGD)
中国绿色食品发展研究院 (CGFD)



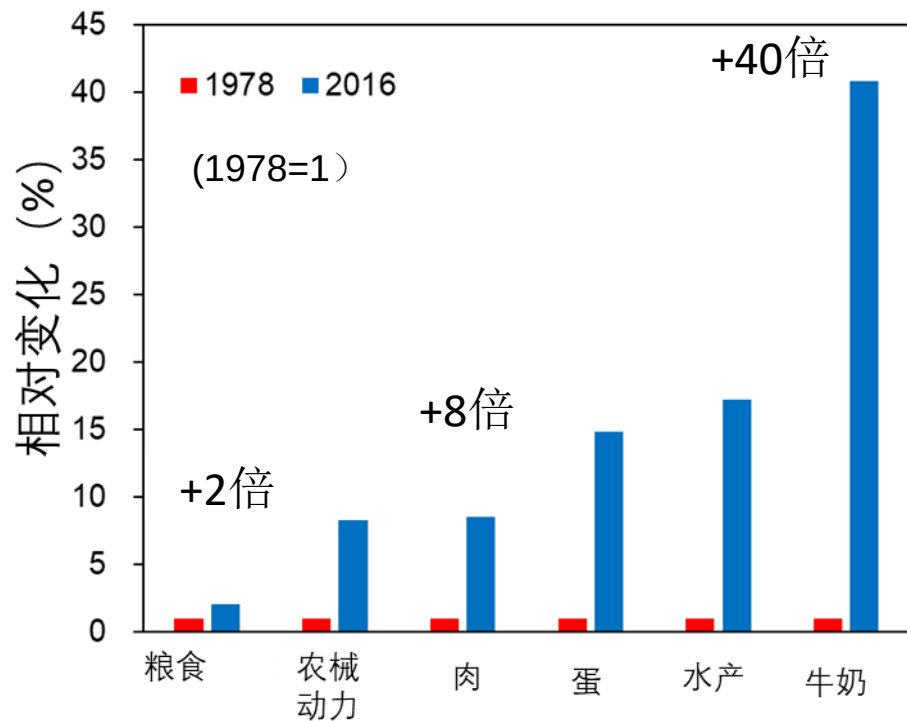
报告内容

一、三大挑战

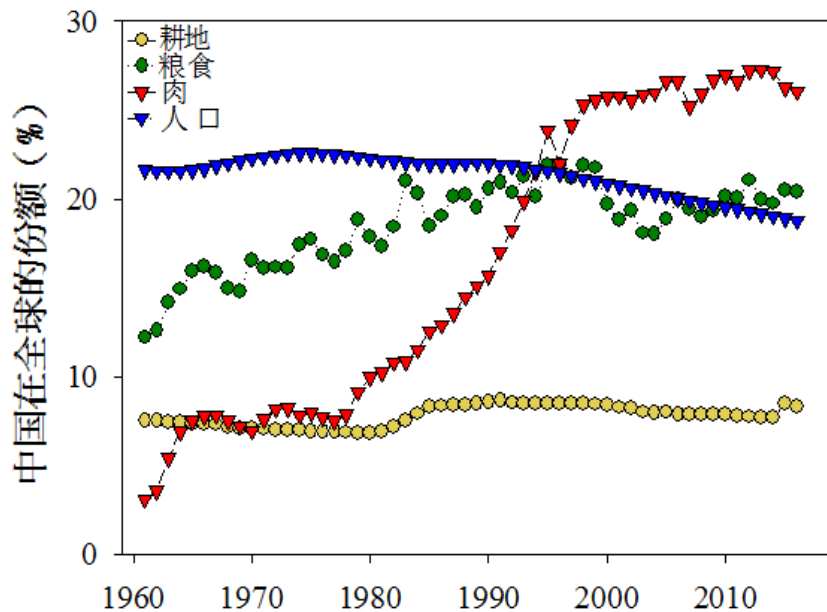
二、三步策略

三、三大行动

改革开放40多年来我国农业取得巨大成就



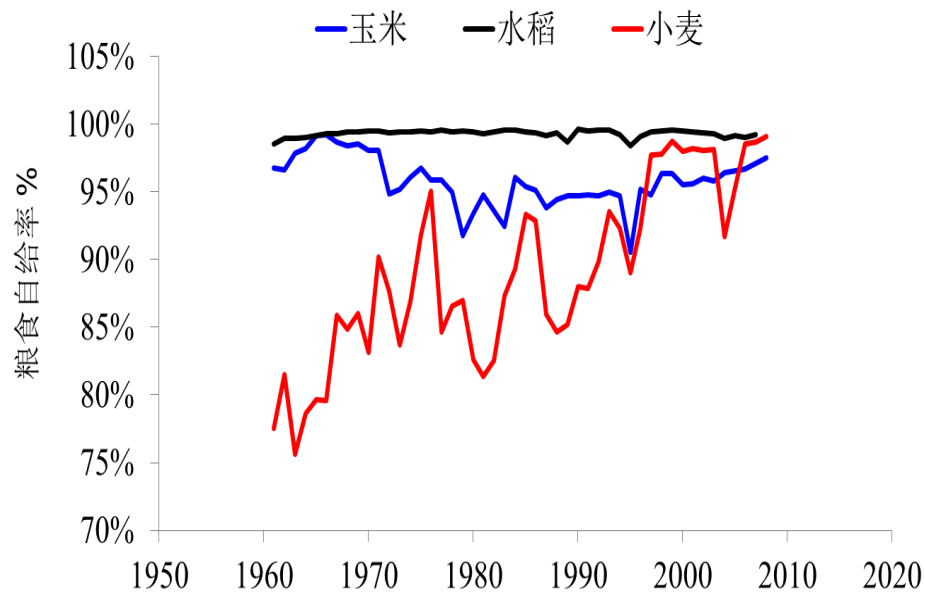
我国农业生产能力大幅提升!



我们以9%的耕地养活了全球21%的人口，生产了20%、28%、50%的粮食、肉、菜!

(Source: China Yearbook, FAO)

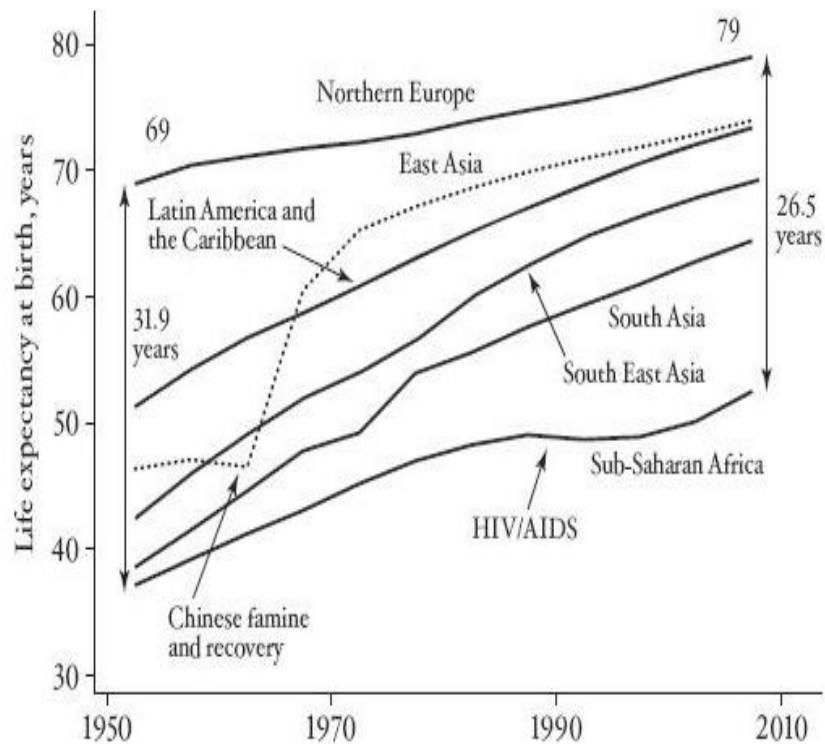
中国养活了自己



我国小麦、玉米自给率都接近95%,水稻自给率一直维持99%左右。

(FAO数据库)

中国人的寿命大幅度延长



Deaton, Angus; *THE GREAT ESCAPE*. © 2014 Princeton University Press

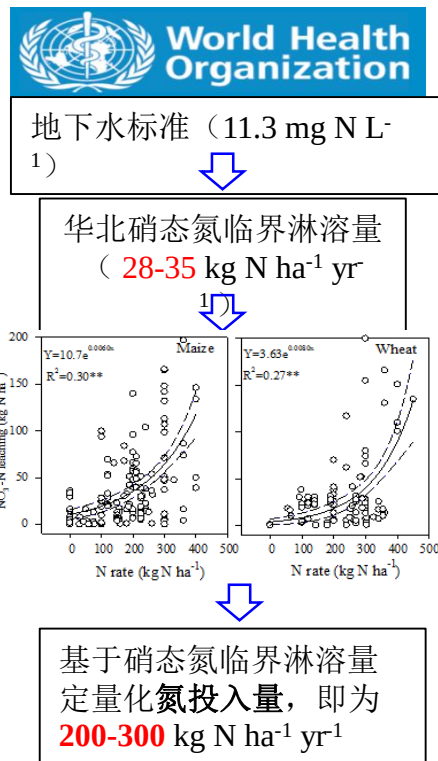
挑战1：作物生产投入大、产量和品质都有待提升，环境排放高，现有技术创新无法满足绿色发展需要

两期973建立土壤-作物系统综合管理技术模式

模型	产量(Mg/ha)	氮肥用量(kg N/ha)	淋洗(kg N/ha)
973技术	17.13 (8.47+8.66)	379 (190+189)	51 (17+34)
农民习惯	14.41 (7.21+7.20)	469 (235+234)	78 (29+49)
绿色指标		< 300	< 35

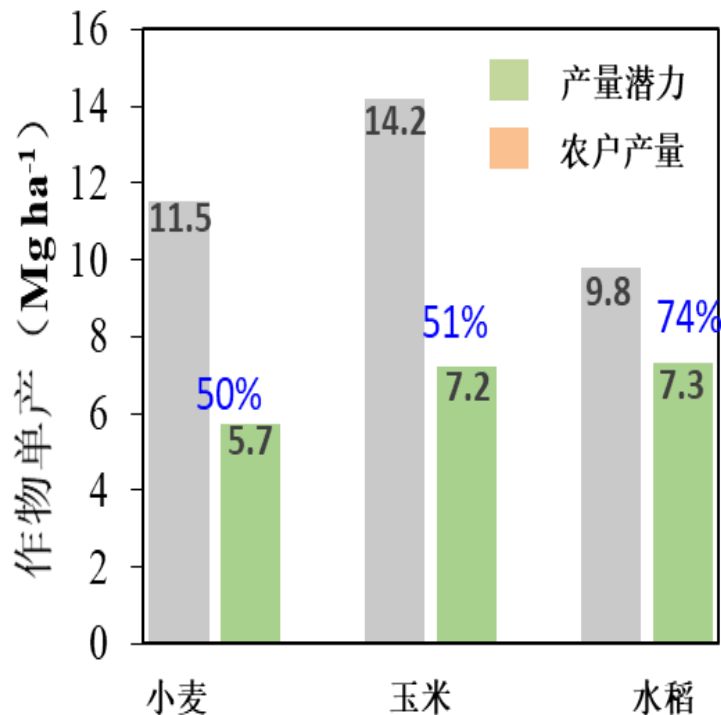
(Cui et al., 2018, Nature)

基于硝酸盐淋洗的绿色发展指标



我国农作物产量还不够高、还可增产30%

我国农民只实现了作物产量潜力的50-74%



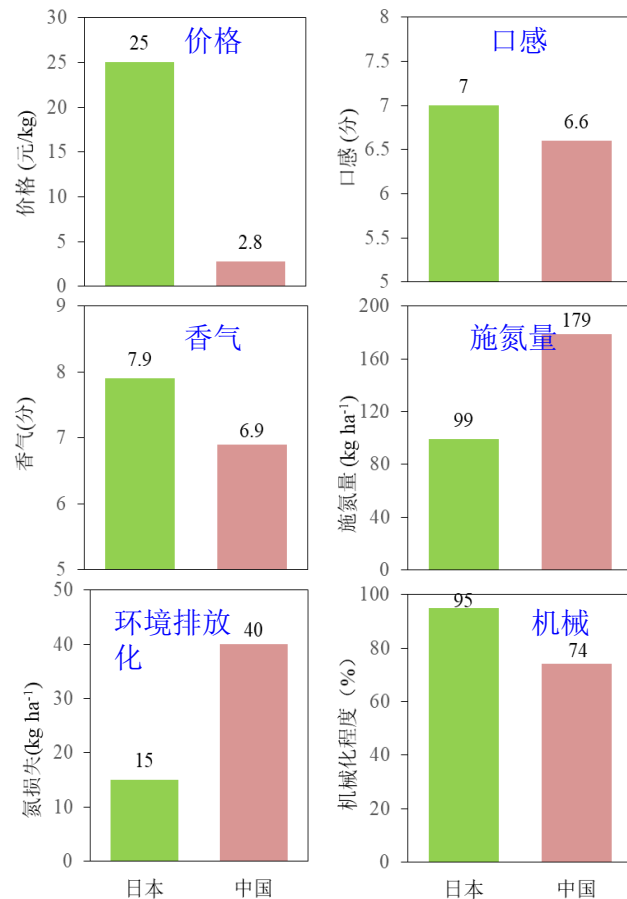
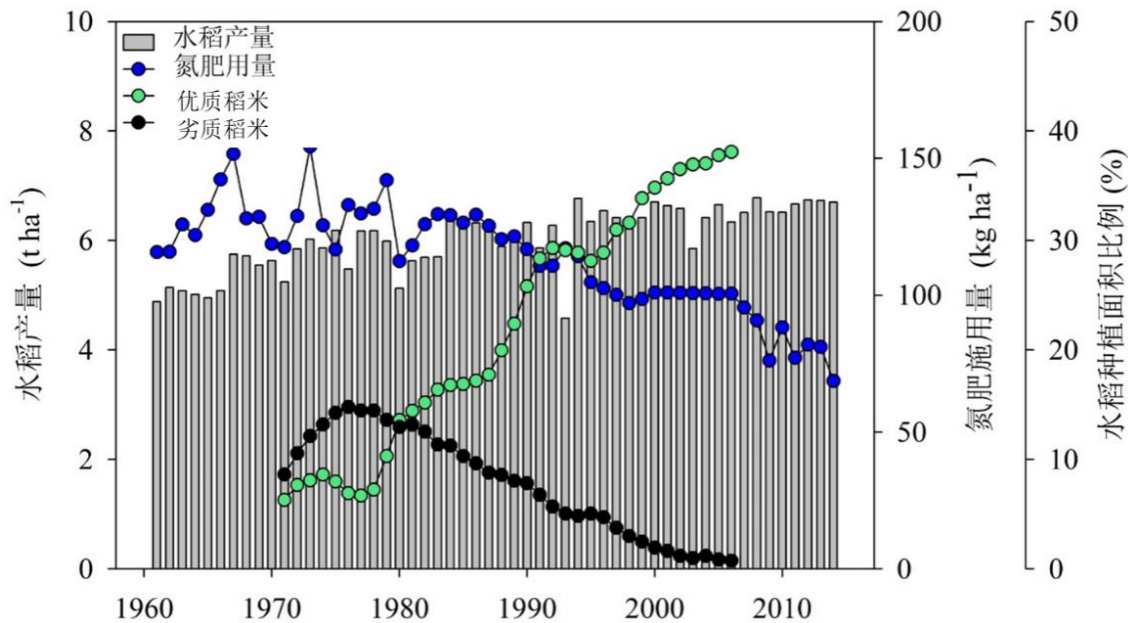
当前全世界小麦、玉米、水稻的平均产量潜力分别为 **11.5、14.2、9.8 Mg ha^{-1}** , 农户产量分别实现了产量潜力的 **50%、51%、74%**。

(Meng et al., 2013; Liu et al., 2016; 2017; Deng et al., 2019)

我国农产品品质不高，提质增效潜力很大

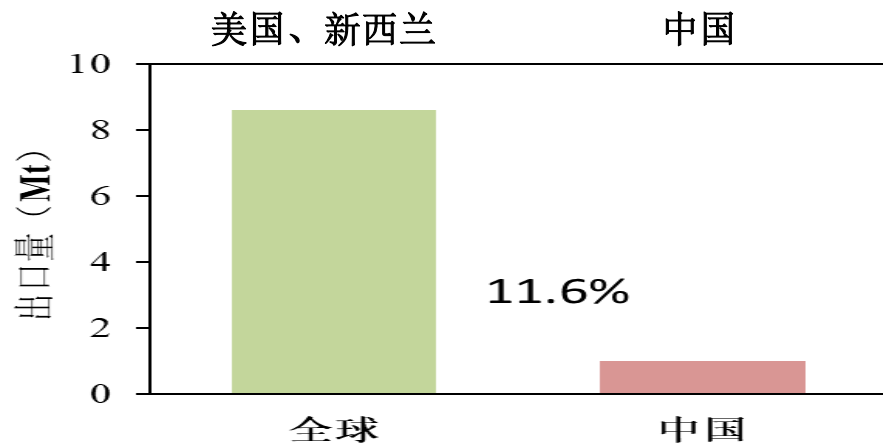
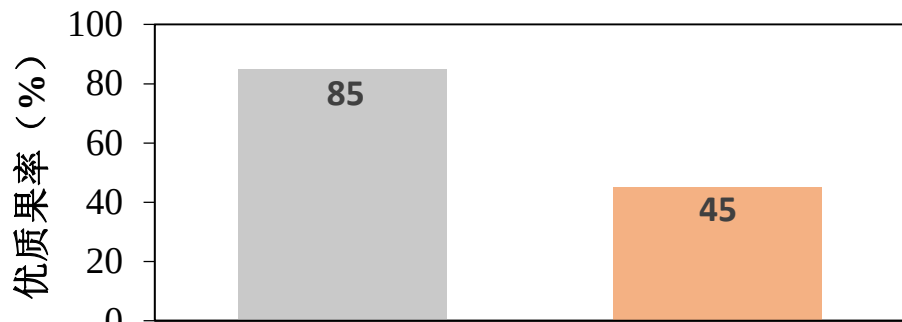
高质农业：日本水稻与中国水稻

中国水稻优质率仅为40%



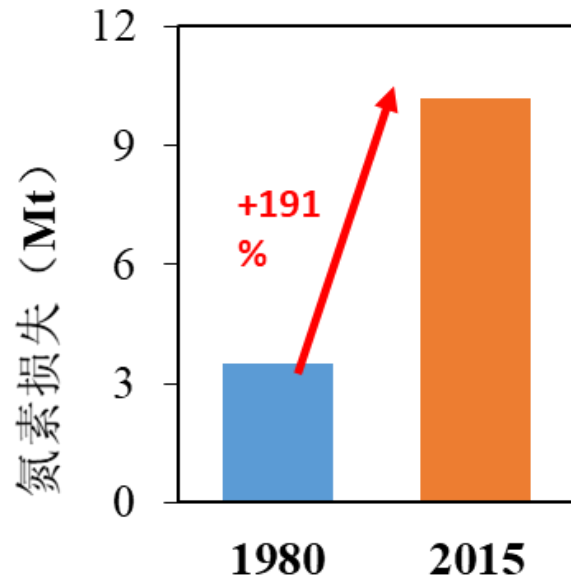
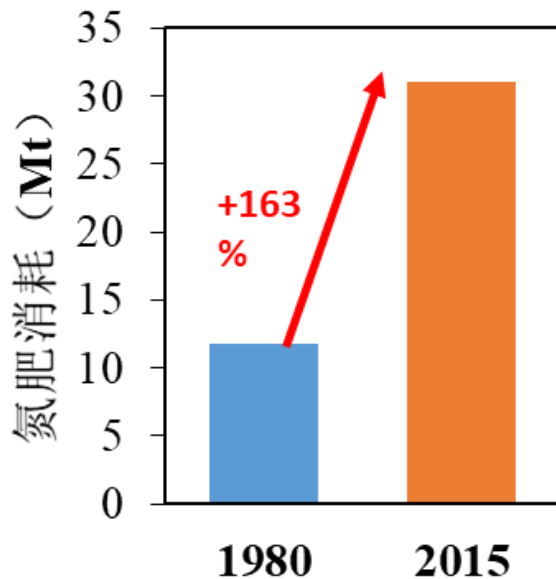
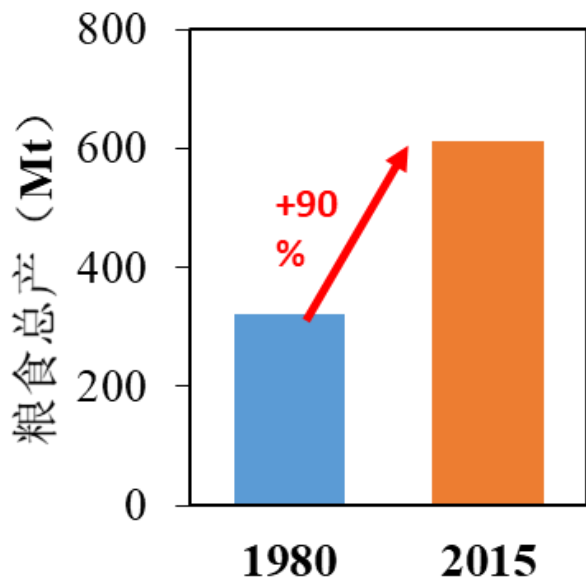
(梁正伟, 2007; 刘郁, 2015; 王亚梁, 2016; FAO, 2017; IFA, 2017)

主要果菜优质率和商品率低，进口量大



我国苹果产量占全球近50%，出口率只有不到12%

我国农业生产的投入和资源环境代价太高



粮食总产提高90%，氮肥投入提高**1.6**倍，环境代价增长**1.9**倍

(FAO, 2017)

水体富营养化

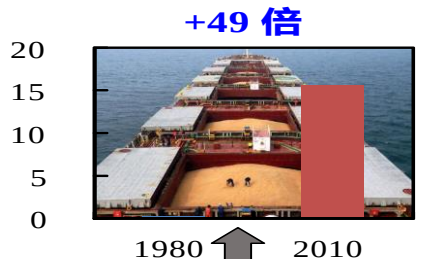


土壤富营养化

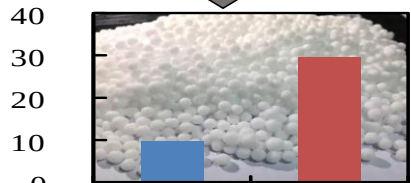


挑战2：畜牧业生产增幅快、规模大、但种养分离、效率不高，环境代价很高

饲料蛋白进口 (百万吨)



1980 2010



1980 2010

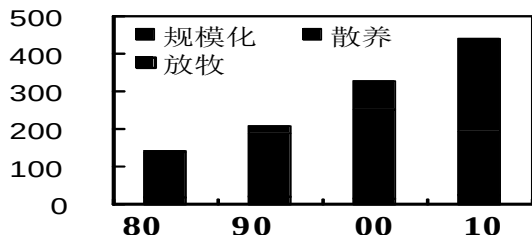
+2 倍
氮肥 (千吨 N)

1980-2010对比变化

饲料端：

高品质饲料缺乏，进口依存度高

畜禽养殖量
(折百万标准牛单位)



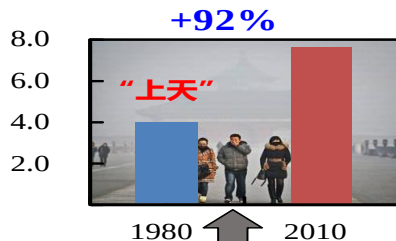
17亿吨
饲料

30 亿吨
粪尿

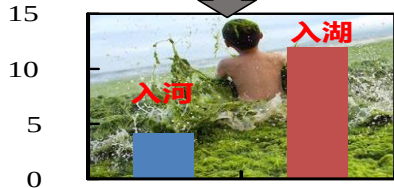
粪尿端：

循环率低，大量排放氮磷等污染物

氨挥发 (百万吨 N)



1980 2010

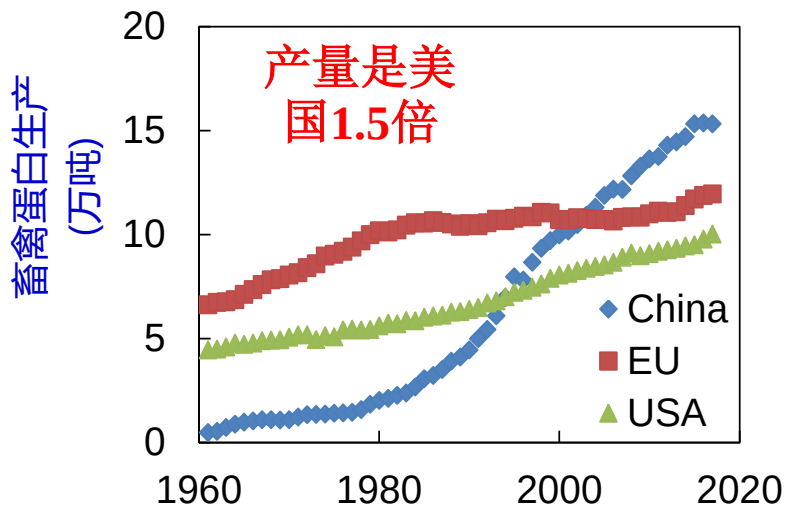


1980 2010

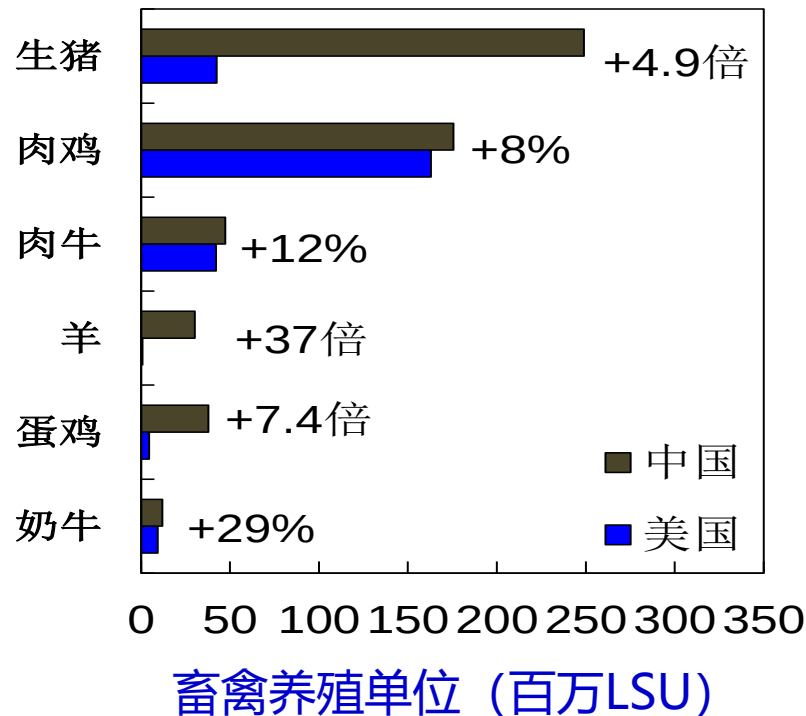
+2 倍
水体排放 (百万吨 N)

2050年畜产品需求将增长47%-165%

我国畜牧业发展更快，并超越美国和欧洲成为世界最大的畜禽养殖国

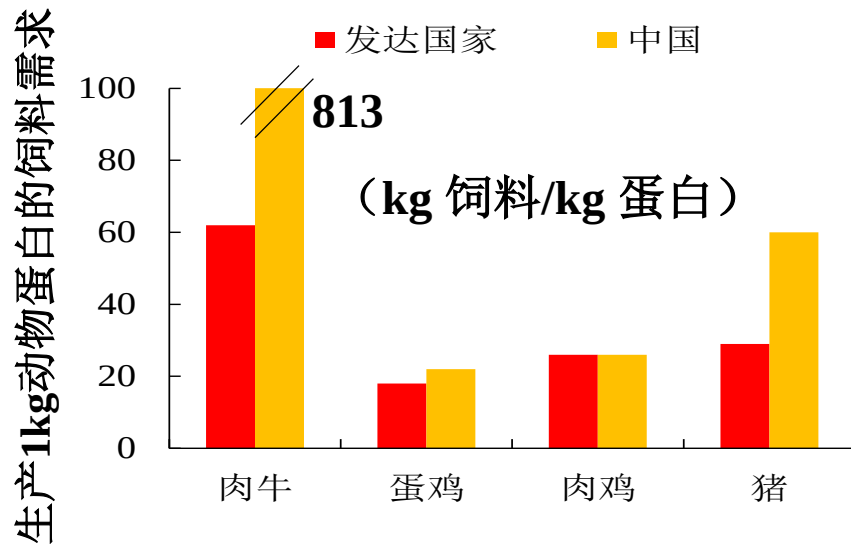
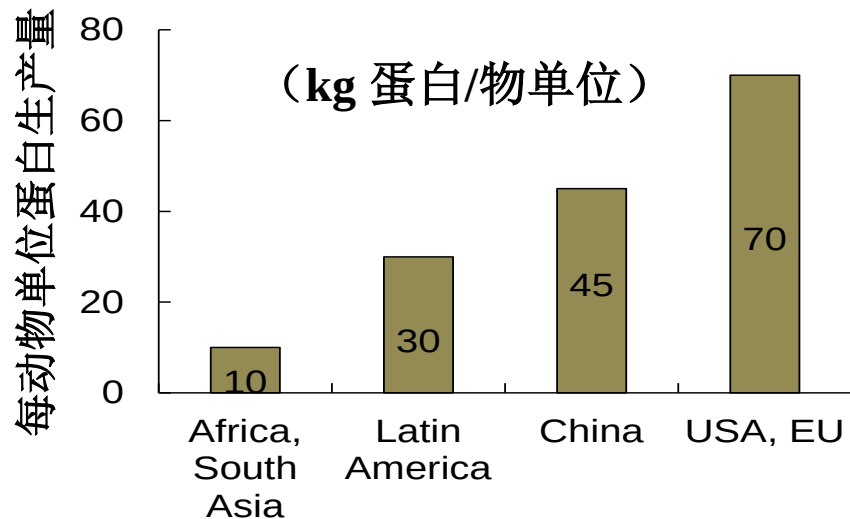


近60年 蛋白产量	中国 +32倍	欧盟 +80%	美国 +1.3倍
--------------	------------	------------	-------------



畜牧业产量不够高、投入却很高

中国畜禽养殖产量仅实现了发达国家的50-64%，
但是谷物饲料和大豆投入世界第一



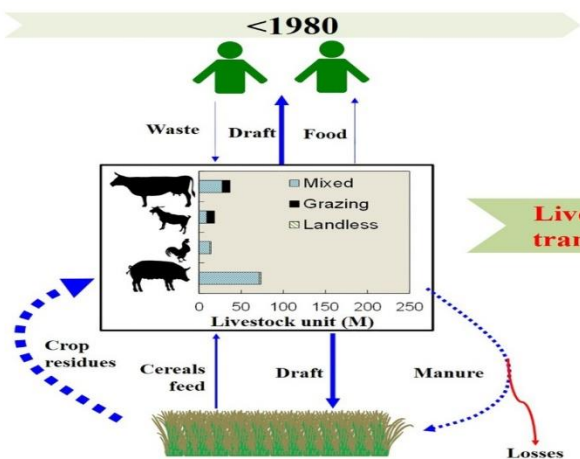
Bai et al., 2018 Science Advances
Mottet et al., 2017

畜牧生产的环境代价很高

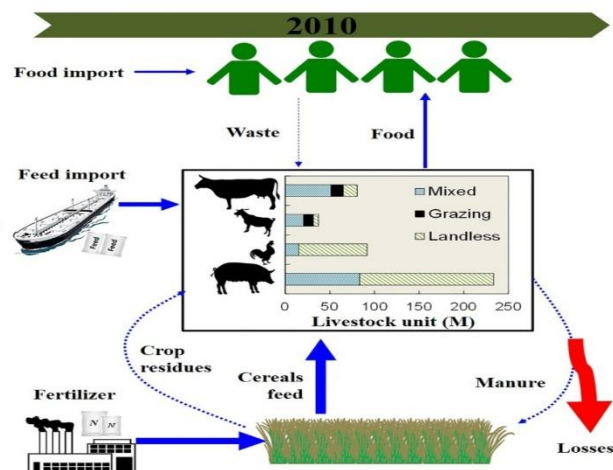
	1980	2010	增长幅度
饲料氮进口 (Mt)	<0.05	2.5	49倍
氮水体排放 (Mt)	4.0	12	197%
氨大气排放 (Mt)	3.9	7.6	92%
温室气体排放 (Mt CO ₂ eq)	233	522	123%

饲料氮进口提高49倍，环境代价增长**1-2倍**

过去30年，中国畜牧业从几千年的“农户散养复合功能型”转变为“集约化单一功能型”



Livestock transition

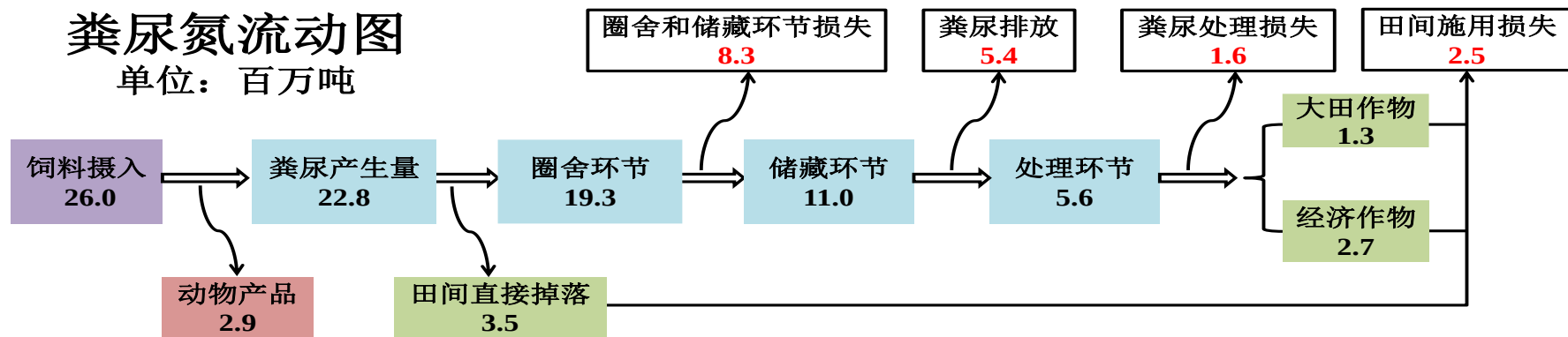


畜牧业承担着提供畜力、消纳家庭厨余垃圾、为农田提供农家肥、改善家庭收入和提供动物蛋白等功能，生态功能多样且相对稳定，但是生产力较低。

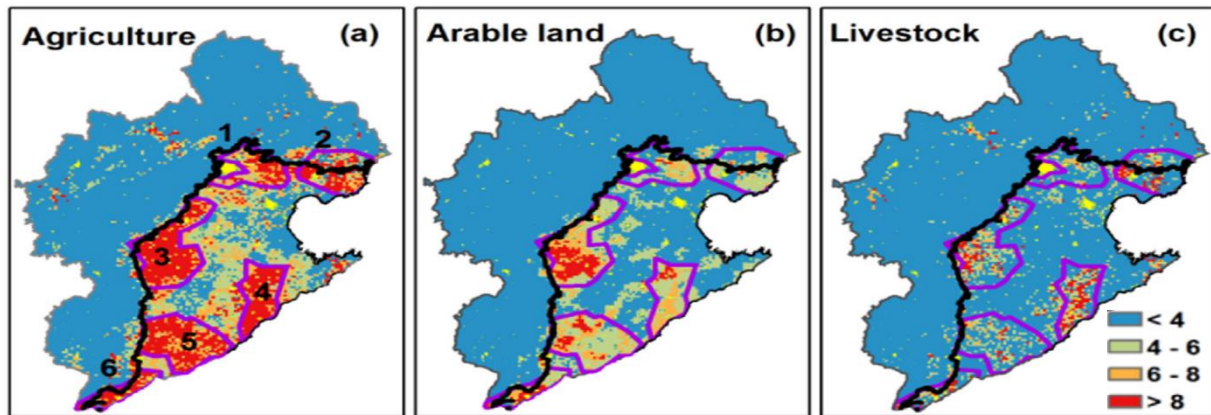
畜牧业转变为高效动物蛋白生产的工厂，其资源环境代价也大幅度增加。

畜禽粪污管理水平低下，养分循环效率低！

粪尿氮循环利用率仅为**33%**，如果仅考虑农田还田率仅为**18%**！

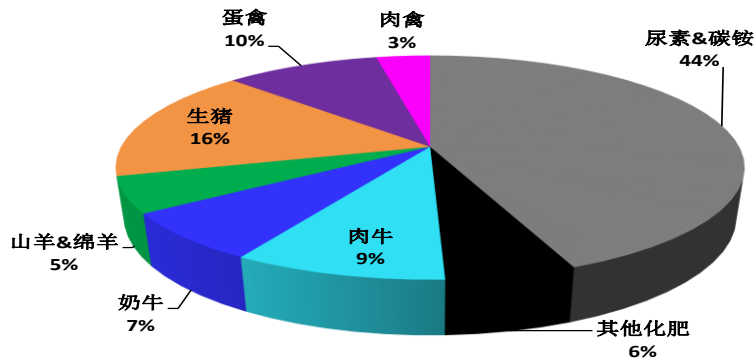


畜牧业成为华北平原氨主要排放源



氨排放热点区域与重雾霾区高度吻合

kg NH₃-N km⁻²



畜牧业占海河流域氨排放的51%



畜牧业成为水体氮磷主要排放源

过去

农牧结合



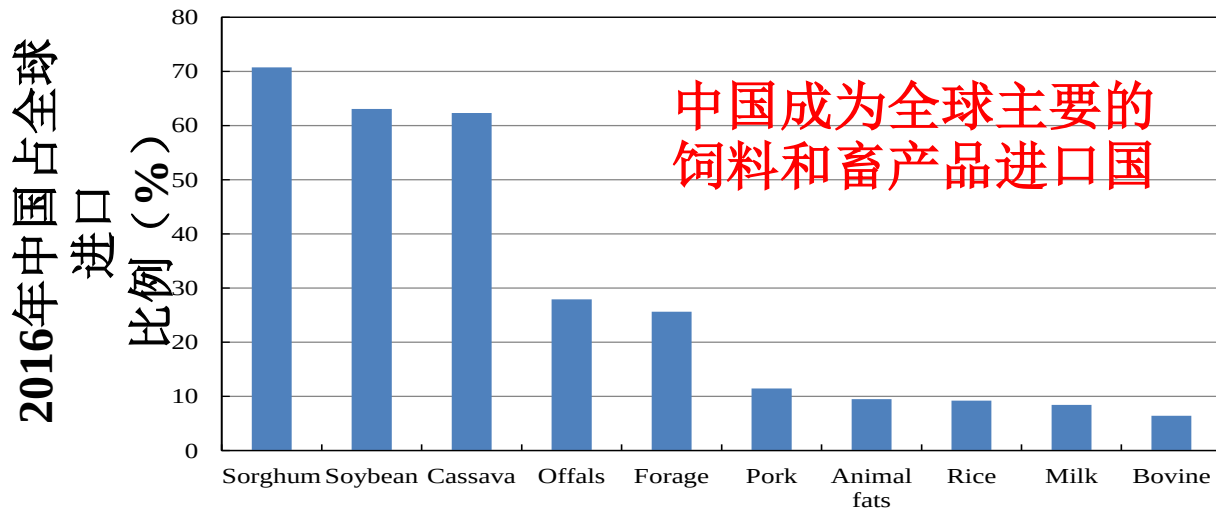
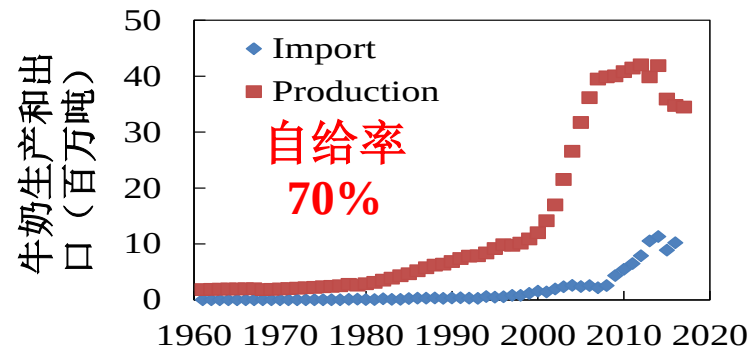
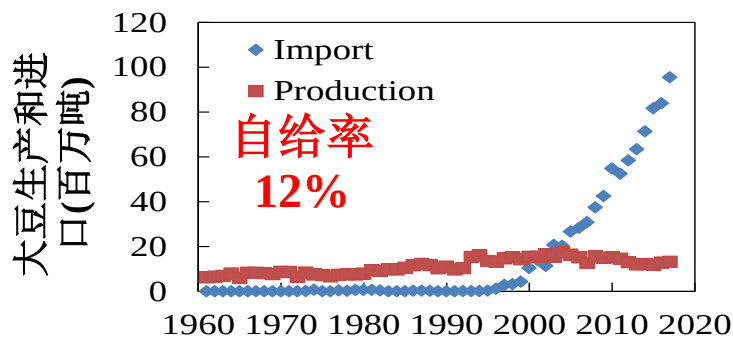
现在

农牧分离

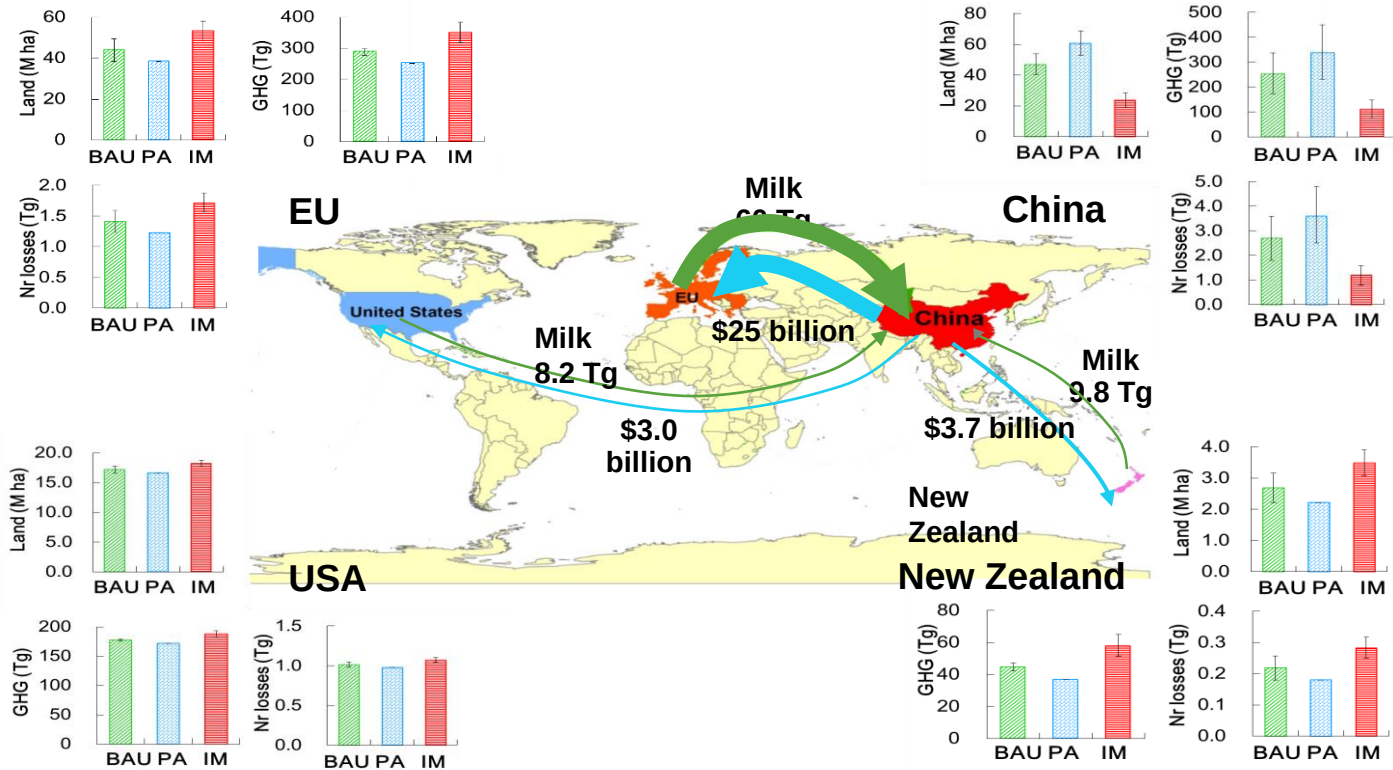


畜牧业污染对水体污染的贡献：

饲料和畜禽产品大量进口



中国畜产品进口将影响全球的土地利用变化和温室气体排放



如果未来牛奶依赖进口，欧盟和新西兰奶牛养殖的耕地需求将增加39%和57%。

未来全球贸易也不能满足中国畜产品缺口

百万吨	2010年消费	2050年需求	当前中国进口	全球贸易量
猪肉	50	75	0.9	14
鸡肉	18	36	1.9	15
鸡蛋	26	46	0.1	2.4
牛肉	6.8	12	0.4	11
羊肉	4.0	6.9	0.1	1.0
牛奶	43	116	3.2	104

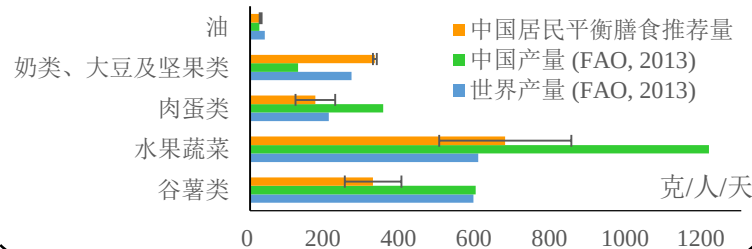
未来主要出口国将收紧农产品出口，如新西兰的1.0 billion tree政策将限制土地利用；欧盟执行巴黎协定，也将大幅度限制农业生产。



挑战3：农产品不能满足营养健康和绿色发展需求

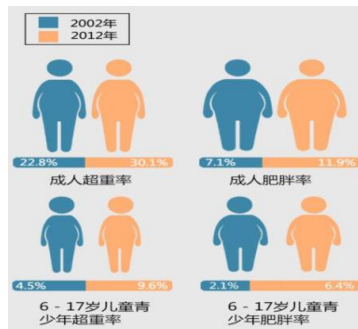
生产与需求不匹配

- 奶类和豆类需求量是目前生产量的近3倍！
- 谷薯类、肉类需求量仅为目前生产量的一半！



2002-2012

成人超重率 ↑ 7.3%



高血压患病率 ↑ 6.4%

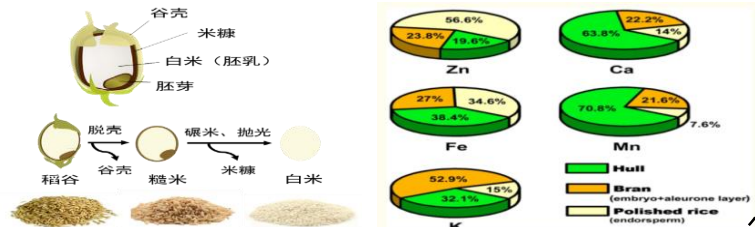
糖尿病患病率 ↑ 2倍



2012年全国居民慢性病死亡率占总死亡人数的86.6%，其中心脑血管病和癌症占总死亡的68.2%。

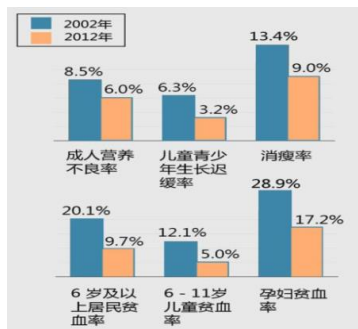
加工过程损失严重

精制大米过程使微量营养素损失43-92%！

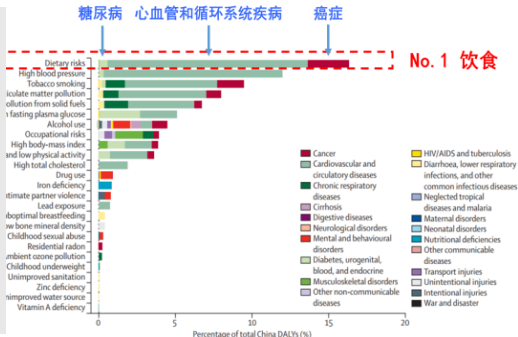


2002-2012

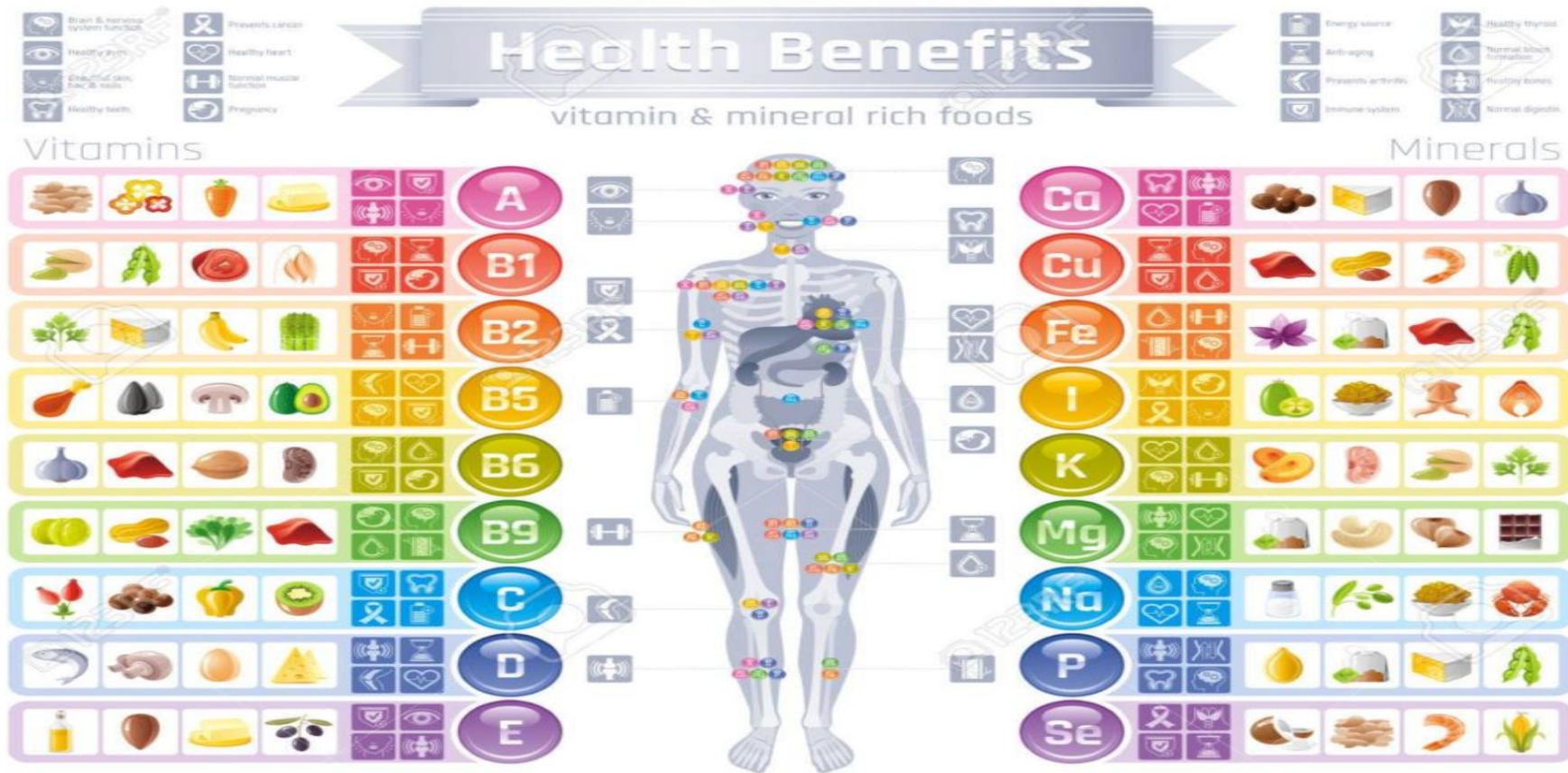
微量营养素缺乏严重

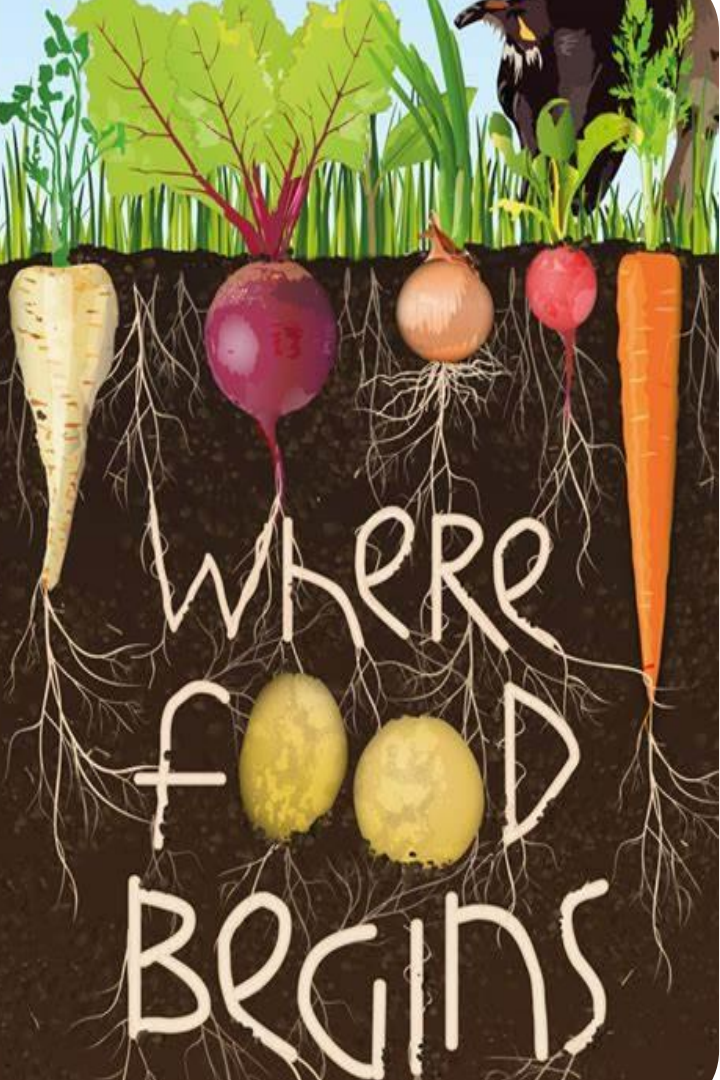


饮食问题为国人健康最大危险因素



食物提供维持我们健康所必需的—矿物质和维生素





土壤和农业提供了 植物、动物和人体 必需的矿质元素

Element	Plant	Animal
N	Yes	Yes
P	Yes	Yes
K	Yes	Yes
Ca	Yes	Yes
Mg	Yes	Yes
S	Yes	Yes
Cl	Yes	Yes
B	Yes	Suggested
Fe	Yes	Yes
Zn	Yes	Yes
Cu	Yes	Yes
Mn	Yes	Yes
Ni	Yes	Suggested
Mo	Yes	Yes
Co	Beneficial	Yes
Na	Beneficial	Yes
Se	No/Beneficial	Yes
I	No	Yes
Si	Beneficial	Suggested
Al	Beneficial	No
F	No	Suggested
Cr	No	Suggested
V	No	Suggested

全球有40%人
口缺乏一种或
多种矿质元素



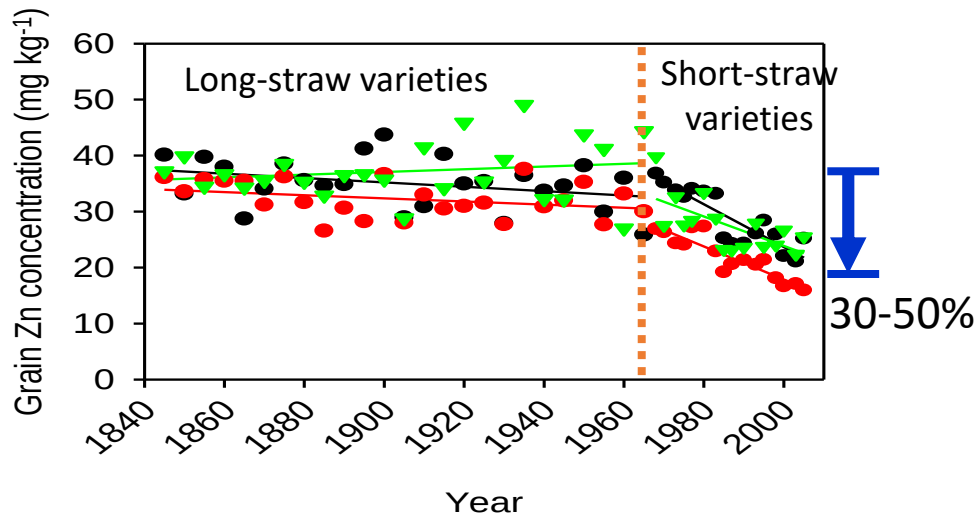
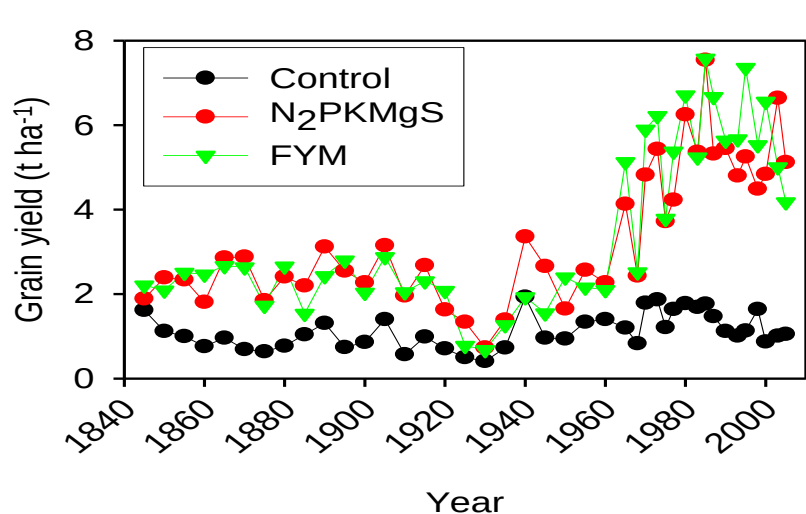
儿童缺锌免疫功能下降



老人患缺硒大骨节病

绿色革命与食品营养

高产和大量使用NPK肥料造成籽实微量元素营养含量下降



英国洛桑试验站：
Broadbalk 长期定位试验

Fan *et al.* 2008. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 22: 315-324

人体锌营养缺乏：1亿在中国！



PUBLIC HEALTH

Despite Gains, Malnutrition Among
China's Rural Poor Sparks Concern

精米中只保留了50%的
Zn，35%的Fe，14%的Ca

因为粮食作物中微量元素的含量
和生物有效性都很低，不能满足
人体生长发育的需要

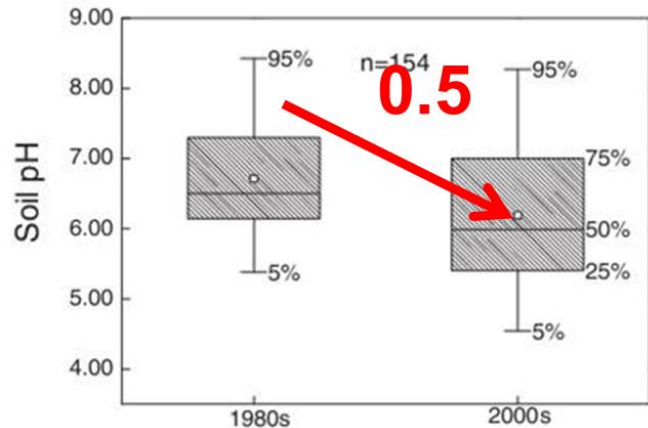
籽粒锌含量只有 **10-30 mg kg⁻¹**
40-60 mg kg⁻¹ Zn才能满足需要



过量施肥造成土壤酸化，导致作物缺Zn、缺Ca和Mg、品质下降



Significant Acidification in Major Chinese Croplands
J. H. Guo, et al.
Science **327**, 1008 (2010);
DOI: 10.1126/science.1182570

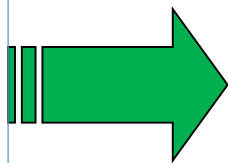
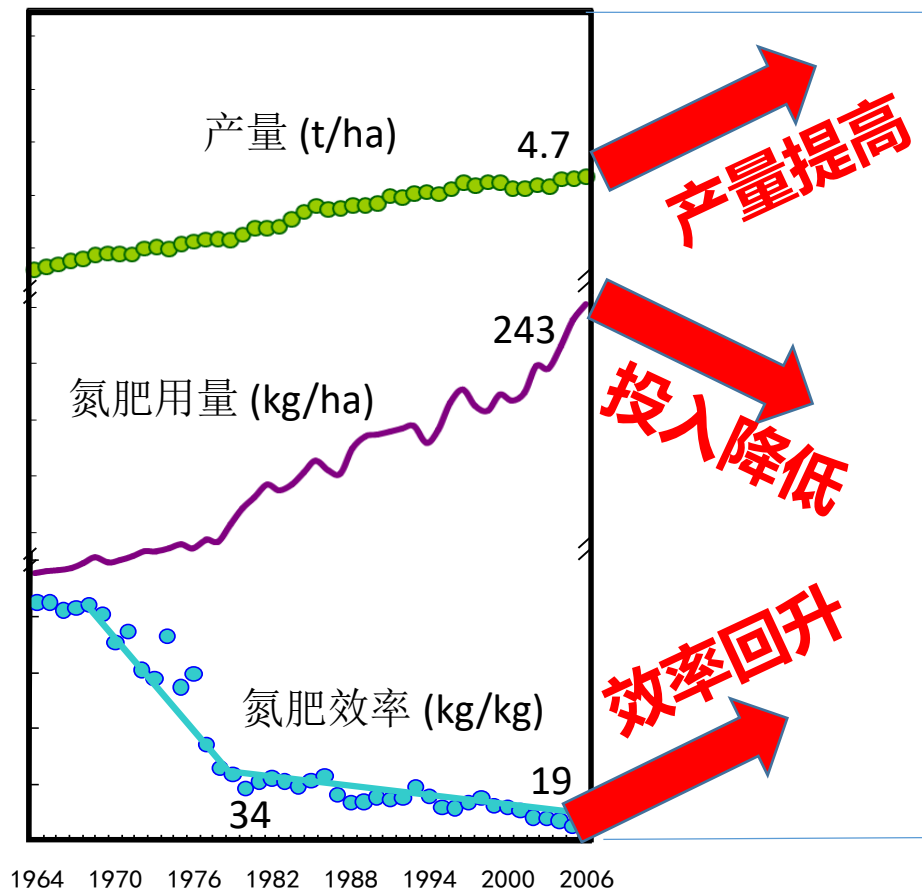


过量施氮造成农田土壤普遍酸化



广西裂果香蕉与优质果比较

转变发展方式：由高投入高资源环境代价的农业转变为



优质
高产
绿色
环保

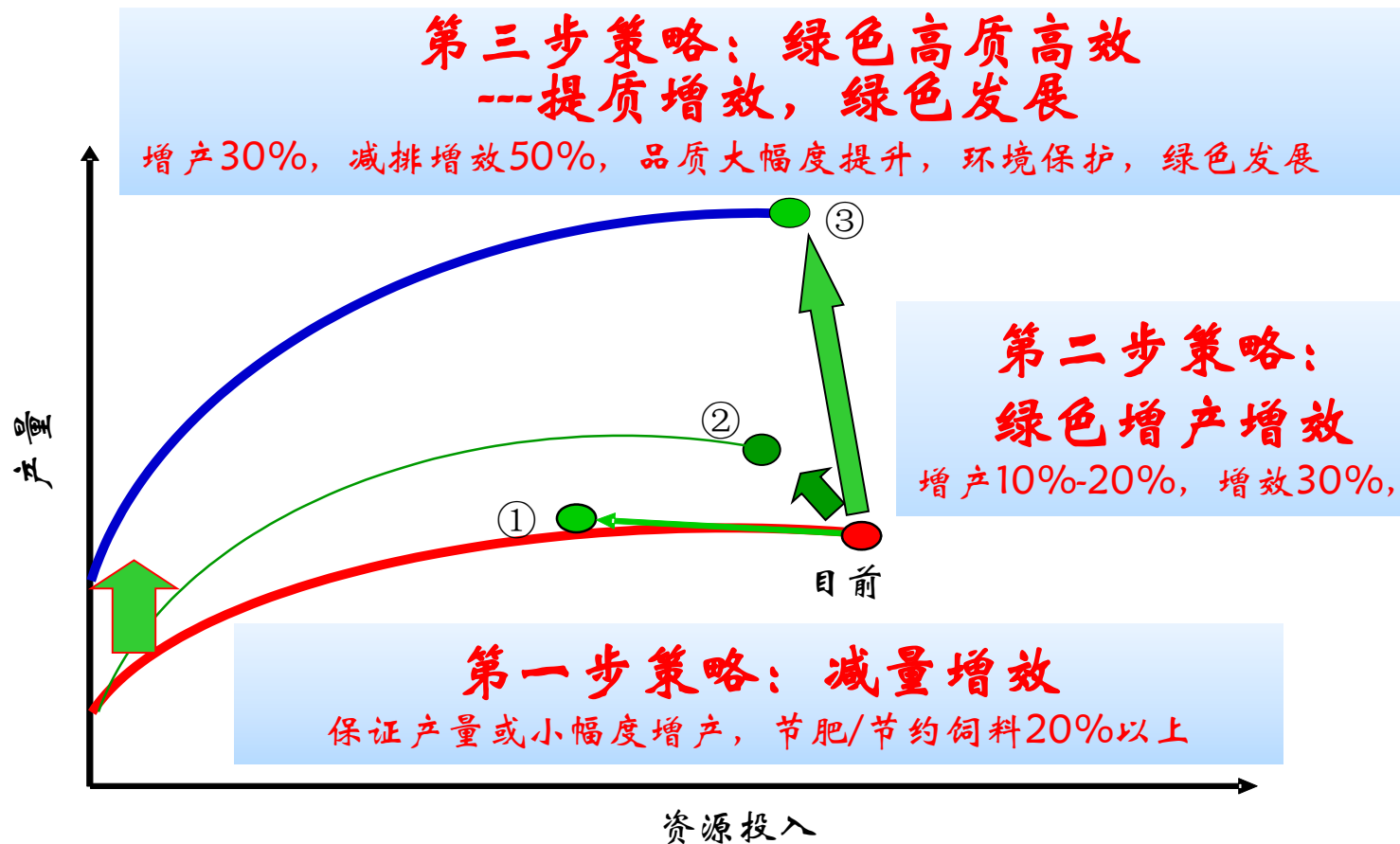


绿色可持续
现代农业!

报告内容

二、三步策略

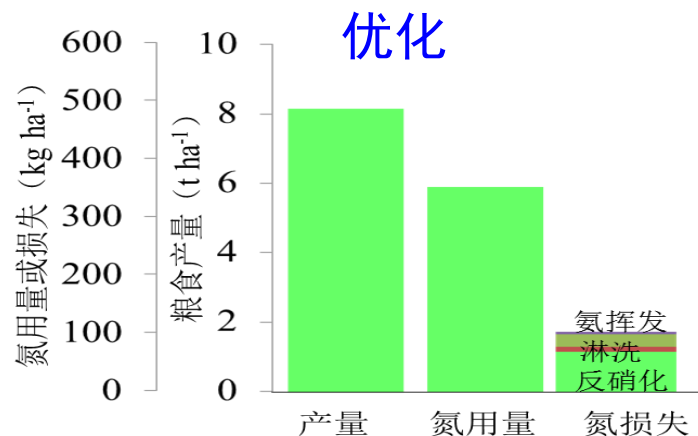
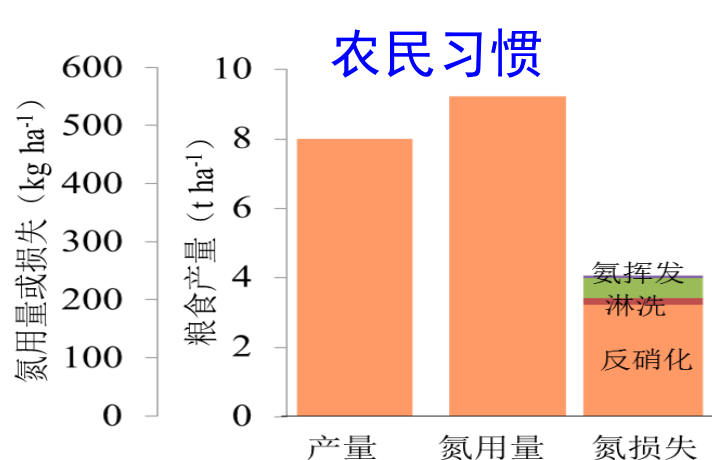
农业绿色发展三步走策略—种植业



第一步：减肥增效：三大作物氮肥减排增效潜力很大

Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems

Xiao-Tang Ju^{a,1}, Guang-Xi Xing^b, Xin-Ping Chen^a, Shao-Lin Zhang^b, Li-Juan Zhang^c, Xue-Jun Liu^a, Zhen-Ling Cui^a, Bin Yin^b, Peter Christie^{a,d}, Zhao-Liang Zhu^b, and Fu-Suo Zhang^{a,1}



Reduced N fertilizer input by 30-50%, with reduces N loss without diminishing crop yield!

减氮30-50%，产量不减，氮污染排放降低一倍以上

第二步策略：绿色增产增效： 增产增效10-20%，减排30%

在全国20个省市进行的5147试验示范结果表明，本技术**增产12%、节肥>20%、减少氮素损失>40%**。成果获国家科技进步二等奖。

Crops	<i>n</i>	Δ yields (%)	Δ N rate (%)	Δ net income (\$ hm ⁻²)
Wheat	558	10	29	92
Maize	2100	16	25	111
Rice	1861	8	21	99
Vegetable	310	6	39	397
Fruit	57	13	28	775
Rape	239	12	8	196
Cotton	22	7	36	164
average	5147	12	24	132



第三步策略：绿色发展：大幅度增产增效，大幅度减排

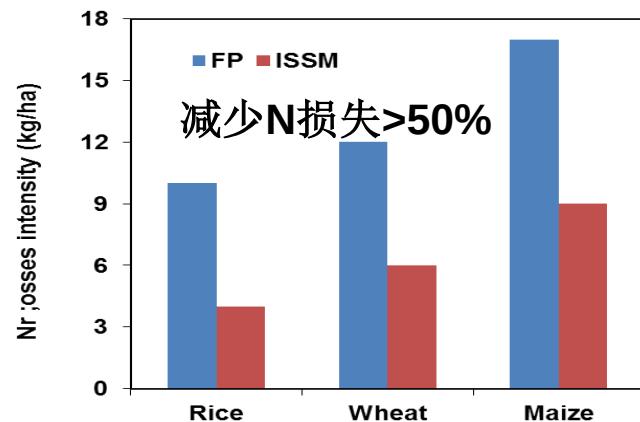
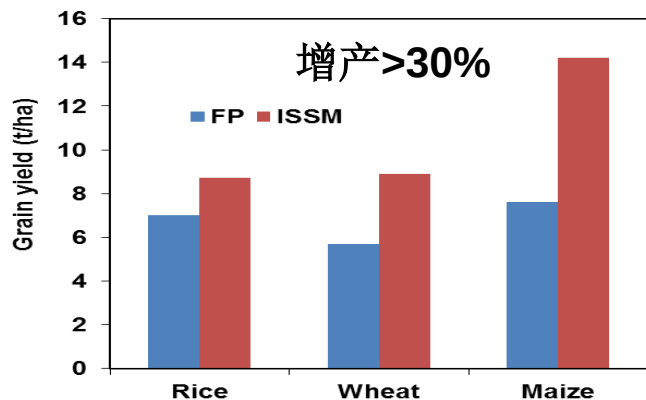
nature

Producing more grain with lower environmental costs

Xinping Chen^{1*}, Zhenling Cui^{1*}, Mingsheng Fan¹, Peter Vitousek², Ming Zhao³, Wenqi Ma⁴, Zhenlin Wang⁵, Weijian Zhang³, Xiaoyuan Yan⁶, Jianchang Yang⁷, Xiping Deng⁸, Qiang Gao⁹, Qiang Zhang¹⁰, Shiwei Guo¹¹, Jun Ren¹², Shiqing Li⁸, Youliang Ye¹³, Zhaozhui Wang¹⁴, Jianliang Huang¹⁵, Qiyuan Tang¹⁶, Yixiang Sun¹⁷, Xianlong Peng¹⁸, Jiawang Zhang⁵, Mingrong He⁵, Yunji Zhu¹³, Jiquan Xue¹⁴, Guiliang Wang¹, Liang Wu¹, Ning An¹, Liangquan Wu¹, Lin Ma¹, Weifeng Zhang¹ & Fusuo Zhang¹

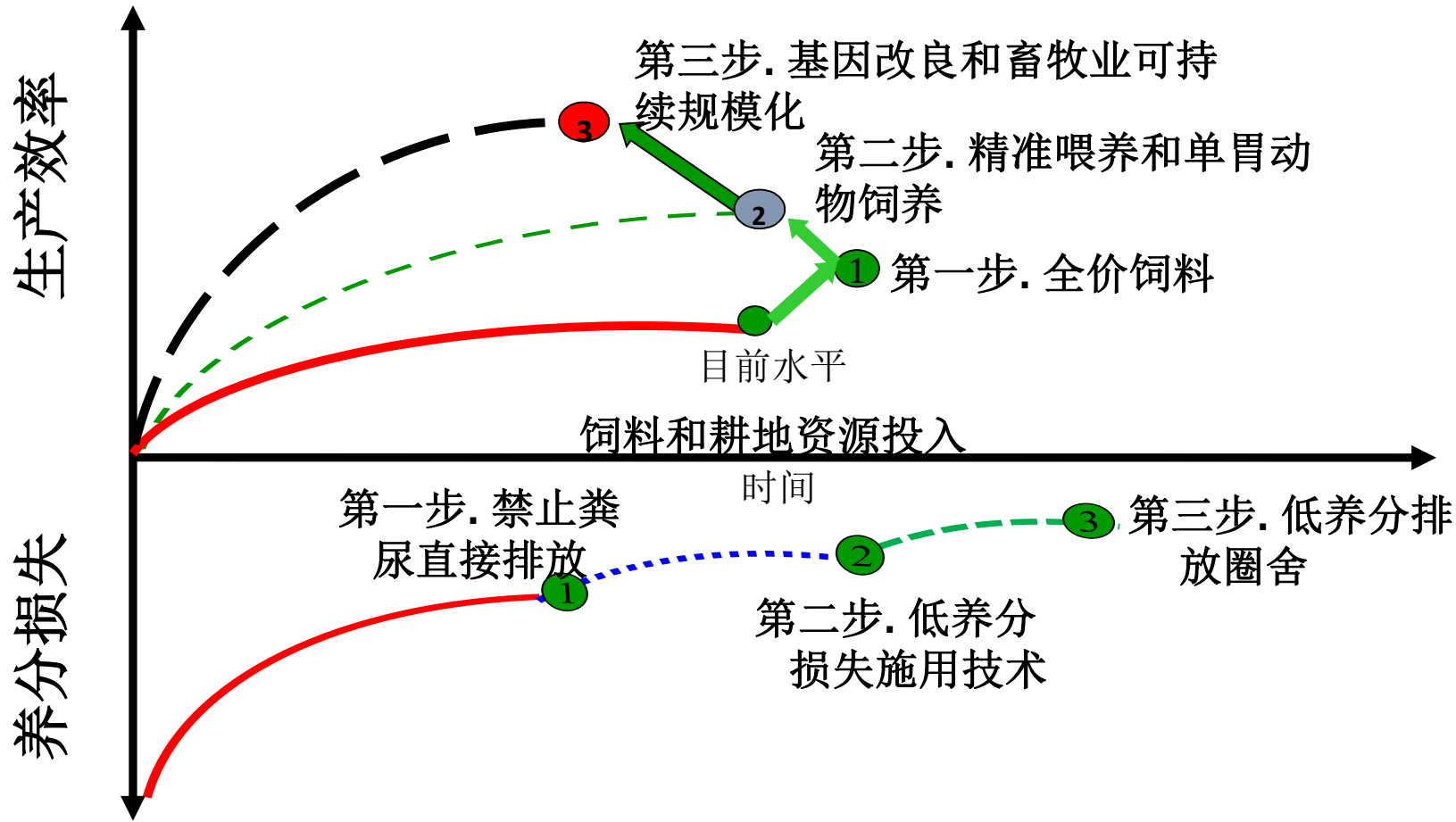
2014

三大粮食作物平均增产>30%、减排>50%



(Chen et al., 2013, Nature)

畜牧业三步走策略



种养结合破解绿色发展难题

农牧结合关键界面

绿色饲料技术
优质饲料加工
高效饲料配方

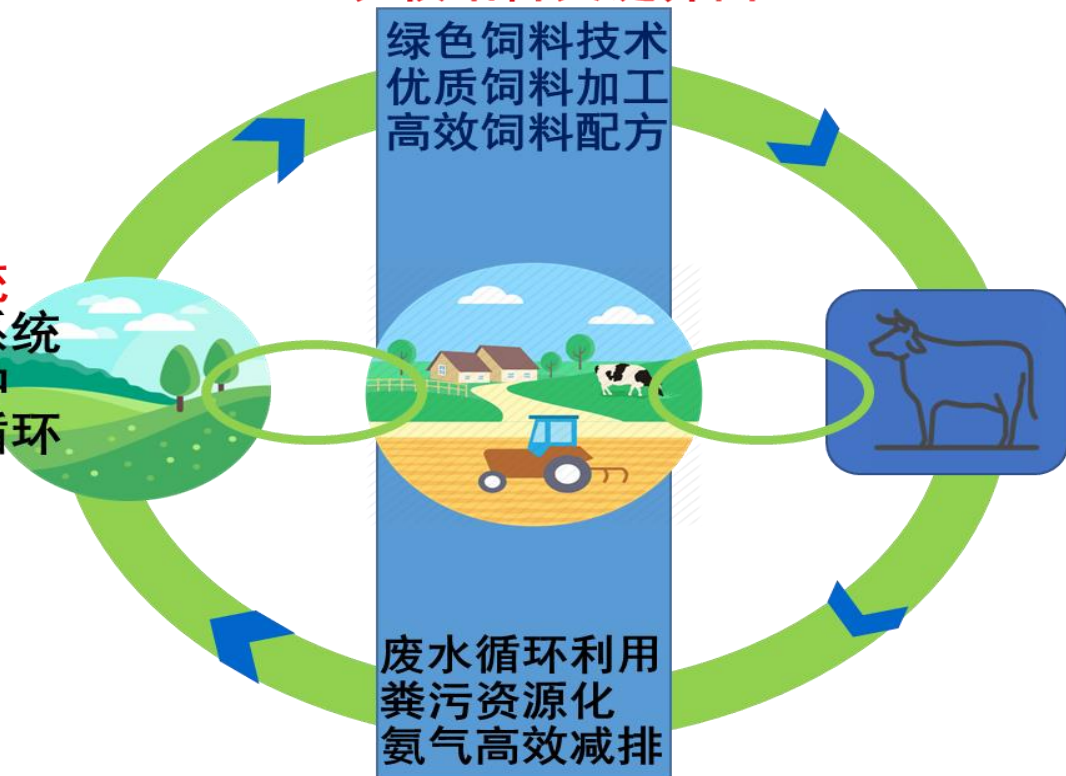


废水循环利用
粪污资源化
氨气高效减排

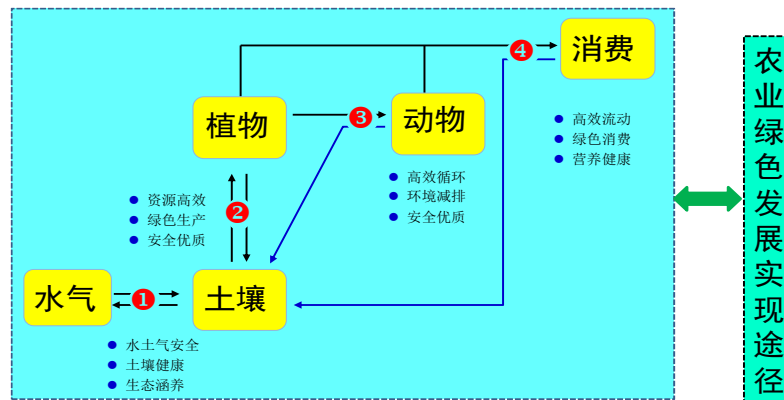
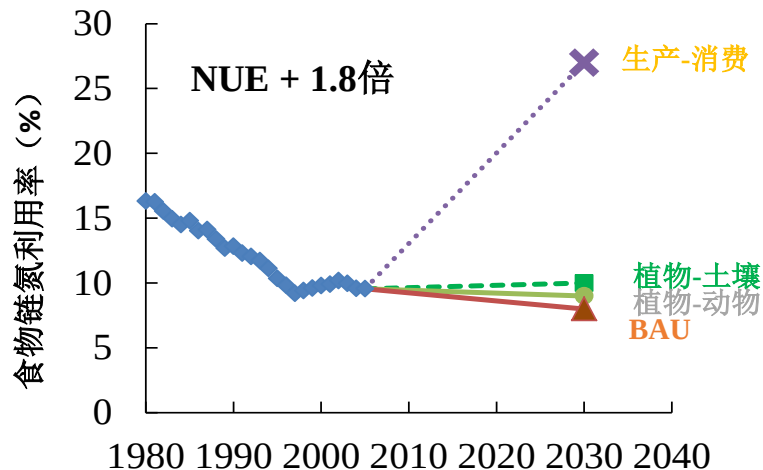
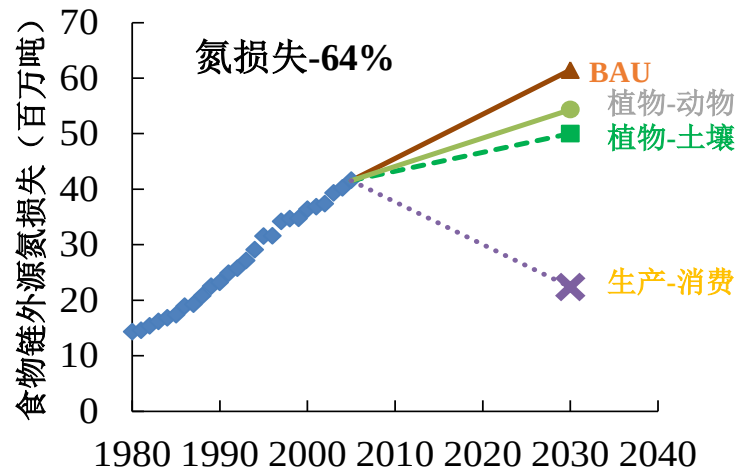
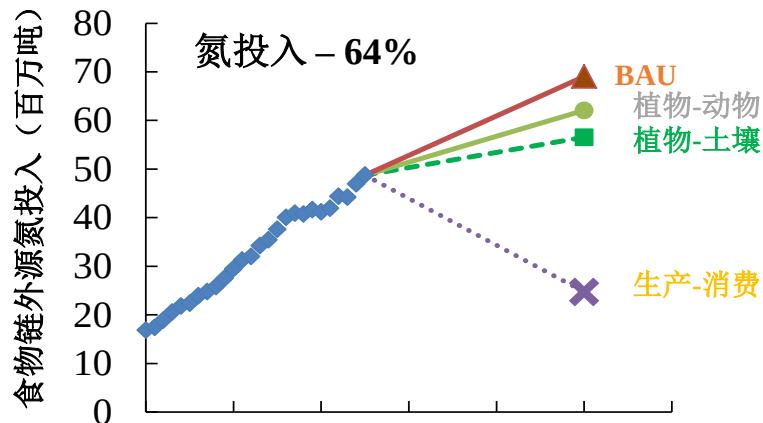
废弃物资源化技术

高效轮作系统
粮饲料轮作系统
优质饲草品种
有机肥高效循环

高效绿色养殖
培育双高品种
优质饲料
饲料利用率提升

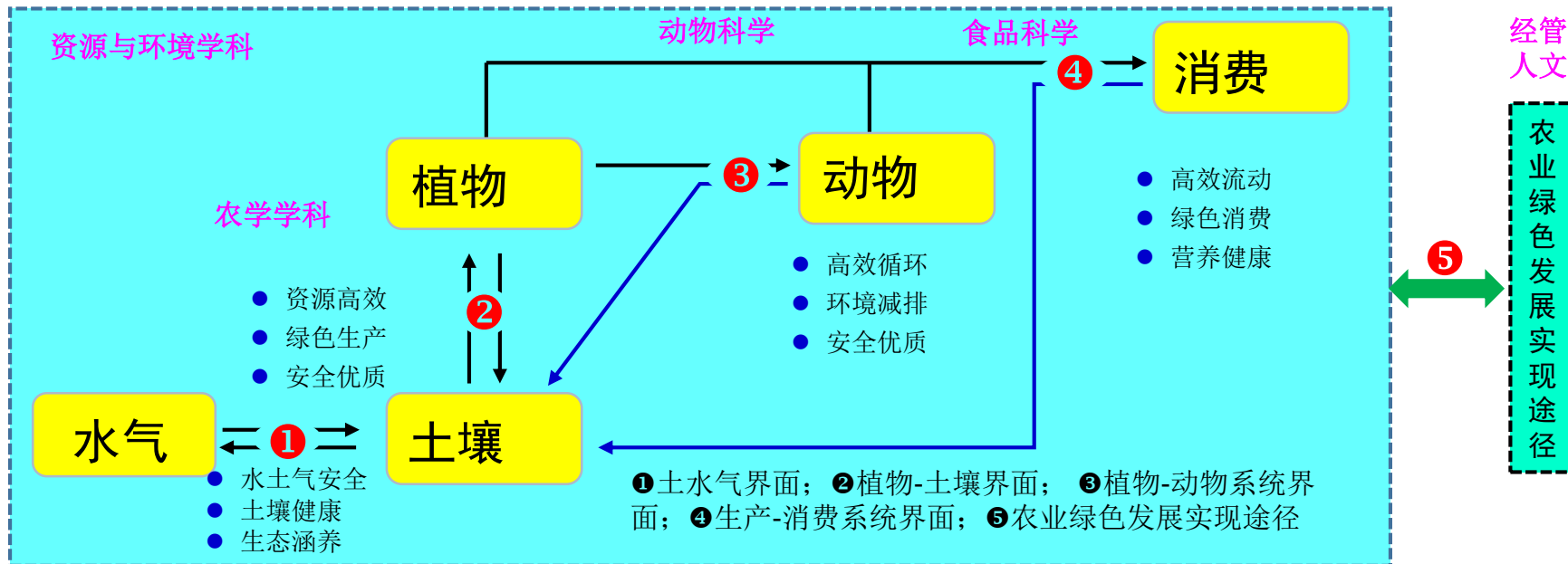


种养结合可大幅度降低畜牧业资源环境代价



农业绿色发展急需全产业链提升，多学科交叉创新

- 传统的单一学科过于强调单个因子或单一过程的研究，无法统筹协调农业绿色发展的各个环节和多个目标。
- 单一学科难以发挥系统界面的互作效应和协同增效作用。



全域、全产业链、全套解决方案的

绿色发展

M1: 绿色种植

M2: 绿色种养一体化

M3: 绿色产品与绿色产业

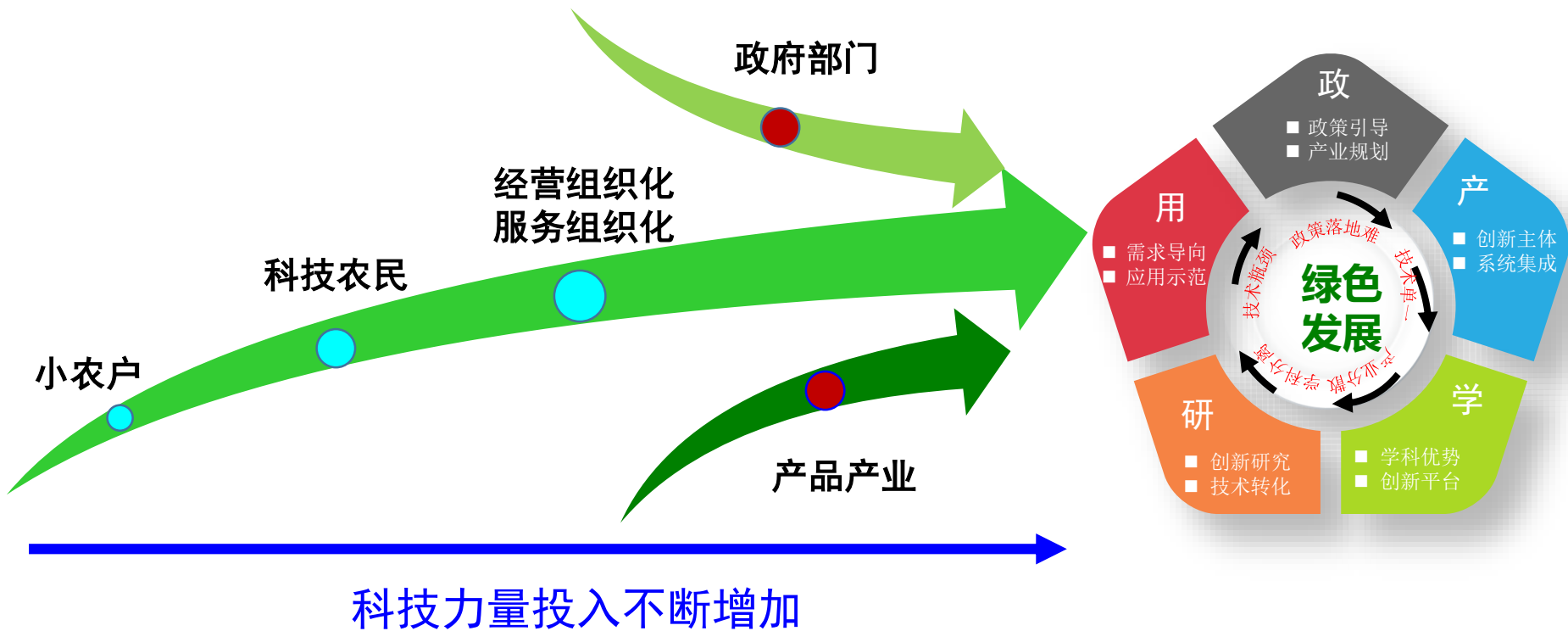
M4: 绿色生态环境与美丽乡村

环境监测

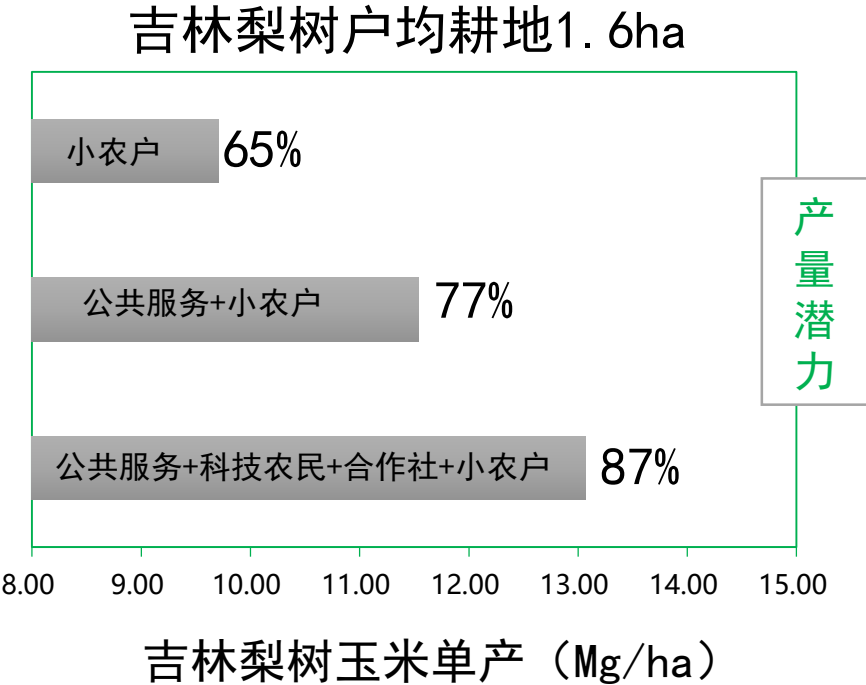
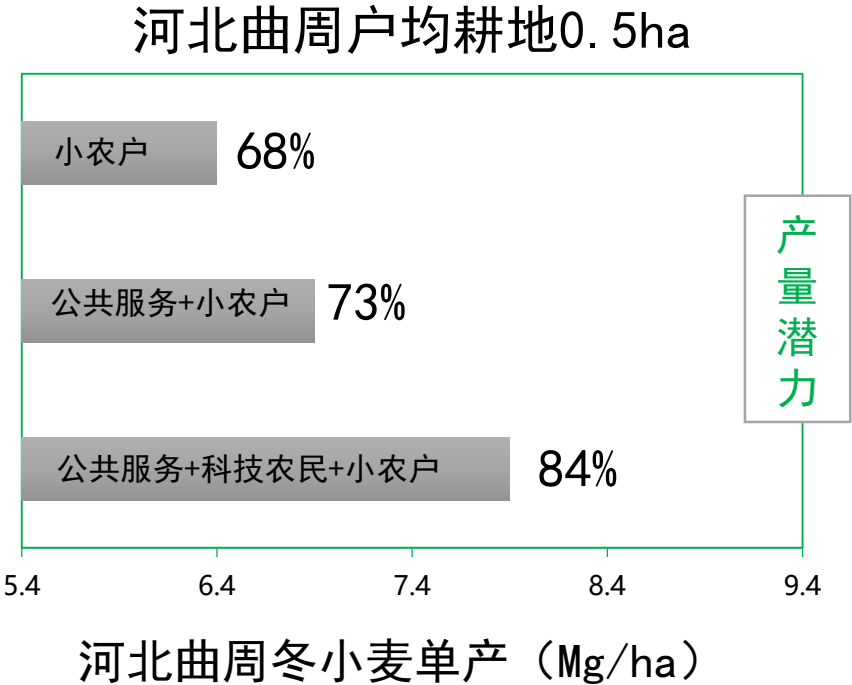
绿色生产、绿色产品、绿色产业、绿色环境、绿色政策

培养科技农民，插上组织翅膀，“政产学研用”一体

多元主体实质融合，政产学研用协同，破解县域农业绿色发展技术应用的瓶颈难题



区域实现路径： 公共服务体系+合作社+农户参与式创新是实现产量潜力的重要途径（县域案例）



科技小院 驻扎农村，与农民、企业 and 政府融合 开展科技创新、技术服务和人才培养的新模式



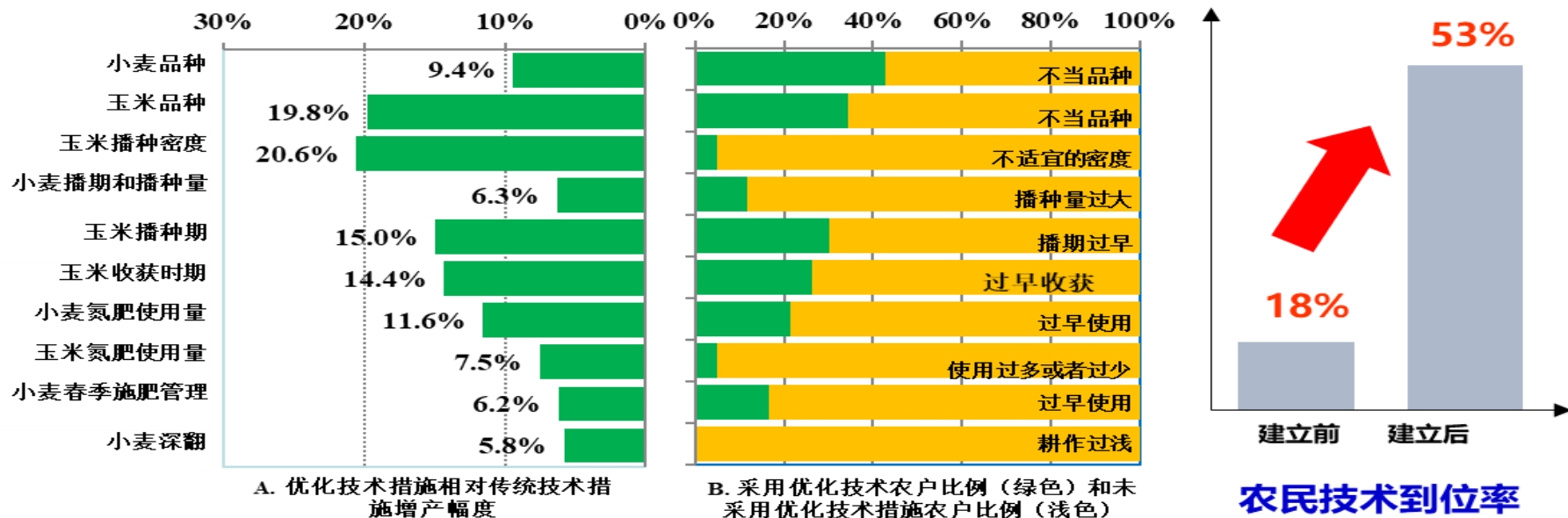
“三位一体”



“四零”服务：“零距离、零时差、零门槛、零费用”

科技小院+政府+企业+农民

使9万多农户十项关键技术到位率提高了2倍多，高产实现率达97%



(Zhang et al., Nature, 2016)

科技小院支撑全国大面积增产增效，推动国家绿色转型

nature

2018报道

Pursuing sustainable productivity with millions of smallholder farmers

Zhenling Cui¹, Hongyan Zhang², Xinping Chen¹, Chaochun Zhang², Wenqi Ma², Chengdong Huang², Weifeng Zhang¹, Guohua Mi², Yuxin Miao¹, Xiaolin Li¹, Qiang Gao³, Jianchang Yang⁴, Zhaoxue Wang⁵, Youliang Ye⁶, Shiwei Guo⁷, Jianwei Lu⁸, Jianliang Huang⁸, Shihua Lv⁹, Yixiang Sun¹⁰, Yuanying Liu¹¹, Xianlong Peng¹¹, Jun Ren¹², Shiqing Li¹³, Xiping Deng¹³, Xiaojun Shi¹⁴, Qiang Zhang¹⁵, Zhiping Yang¹⁵, Li Tang¹⁶, Changzhou Wei¹⁷, Liangliang Jia¹⁸, Jiawang Zhang¹⁹, Mingrong He¹⁹, Yanan Tong², Qiyuan Tang²⁰, Xuhua Zhong²¹, Zhaoxue Liu²², Ning Cao²³, Changlin Kou²⁴, Hao Ying², Yulong Yin¹, Xiaoqiang Jiao¹, Qingsong Zhang¹, Mingsheng Fan¹, Rongfeng Jiang¹, Fusuo Zhang² & Zhengxia Dou²⁵

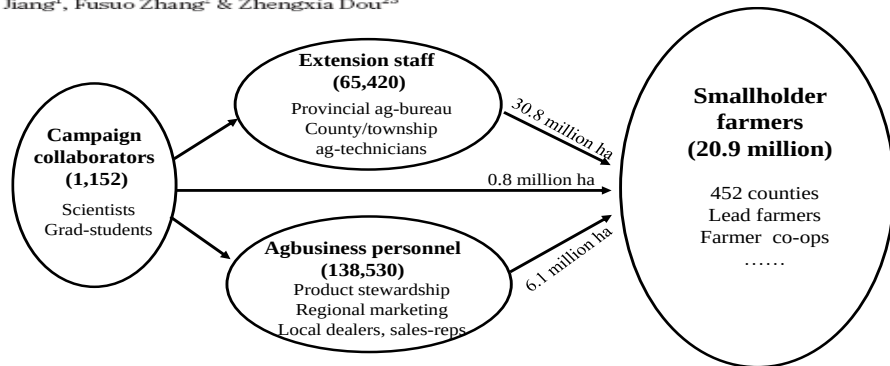
2006-2015, 历时十年

1152位科技人员

65420位政府推广人员

138530位企业服务人员

2090万农民

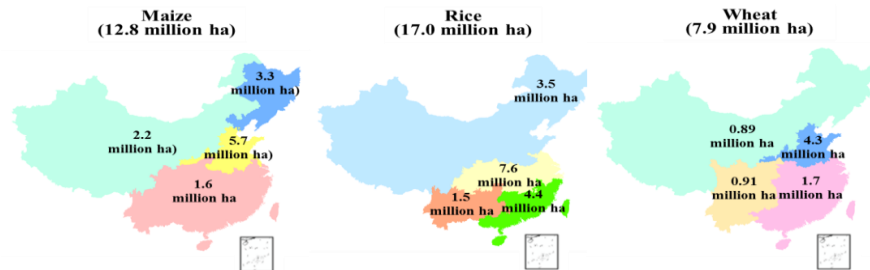


共同实现绿色增产增效：

增产：11.2%

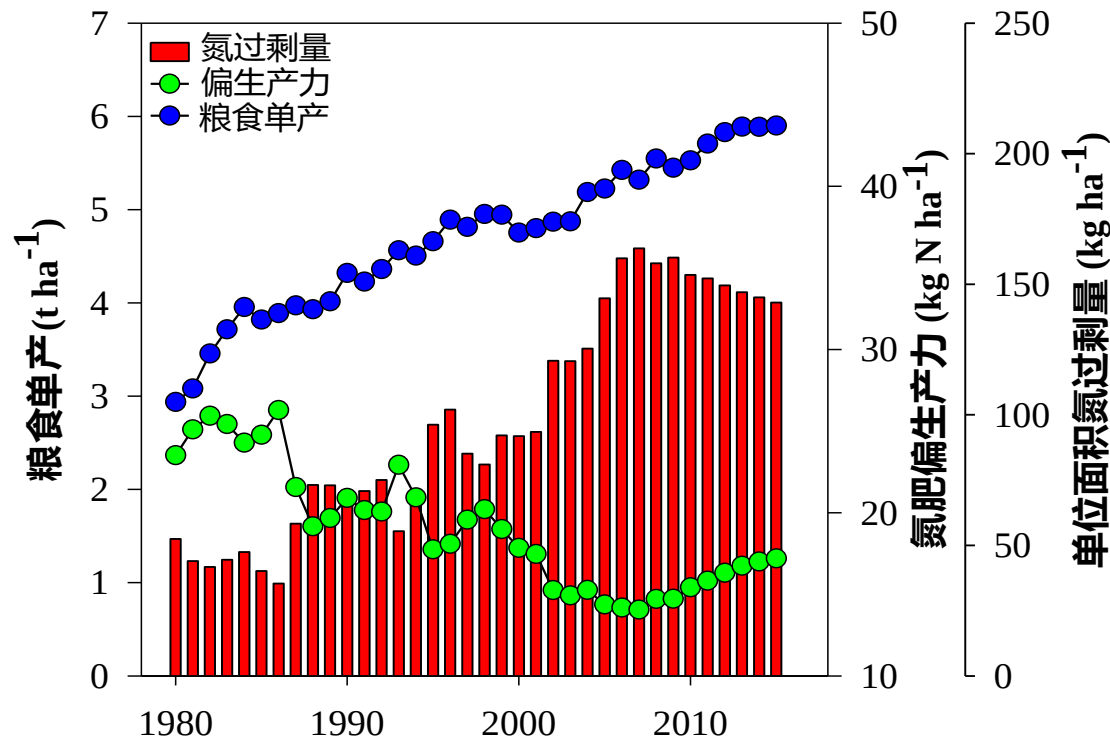
减肥：15.6%

增效：30%以上

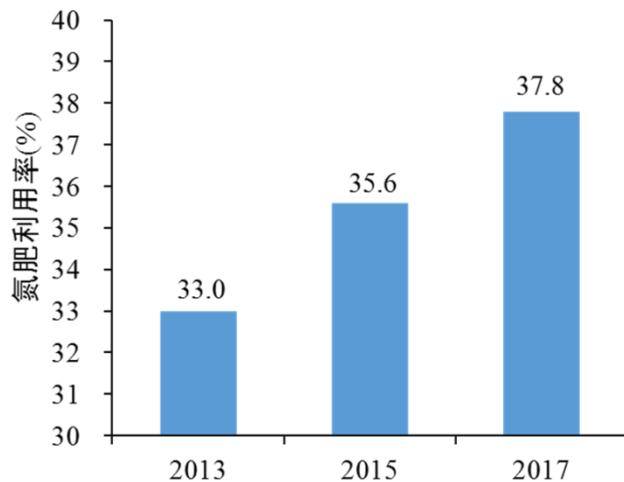


(Cui et al., Nature, 2018)

我国粮食生产向绿色发展方向转变



我国氮肥利用率仅从
2013年的33%提升到
2017年的37.8%



报告内容

三、三大行动

1、科技创新和新农科建设行动

传统的单因子析因实验研究解决不了产业发展的问题

优点：注重单一过程揭示和机理剖析，可严格对比和定量

缺点：时间短；缺少自上而下的设计，缺乏代表性和完成性，故与实际生产脱节，无法指导生产，技术难于转化。

Cropping Systems Research: Reconsidering Agricultural Experimental Approaches

Laurie E. Drinkwater (Cornell University)

SUMMARY. Systems approaches to research can be used to study characteristics of agricultural systems that cannot be addressed using conventional factorial experiments. The goal of a factorial experiment is to break down a complex system in order to isolate and study specific components and identify cause-effect relationships. In contrast, systems experiments aim to understand how a complex system functions as a whole and thus requires that intact systems be studied. Two approaches have been successfully applied to agricultural systems research: 1) field station experiments where simulated cropping systems are established in replicated plots and 2) studies of intact agroecosystems using commercial farms as study sites. These two approaches have complementary strengths and limitations and have made significant contributions to our understanding of ecological processes in agricultural systems. The development of sustainable agroecosystems will be best accomplished using an integrated research approach combining systems experiments with appropriately designed factorial experiments.

Drinkwater, HortTechnology, 2002

Factorial experiment (析因试验)

permits the deconstruction of a complex system in order to isolate specific components and identify cause-effect relationships.

Systems experiment (系统试验)

aims to understand how a complex system functions as a whole and thus requires that intact systems be studied.

新时代农业科研的特点：

综合 (Integrated)

系统 (Holistic)

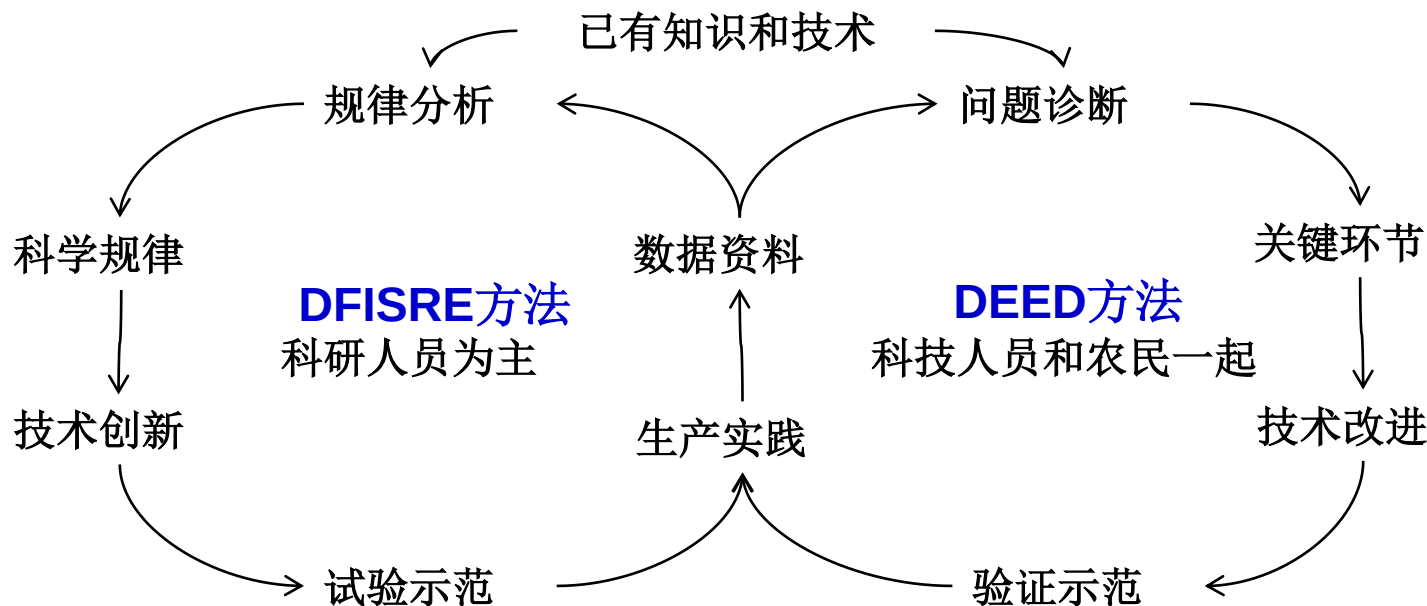
全套解决方案 (Providing solution)

顶层设计与底层全套解决方案结合

(Top down and bottom up approach)

科技创新的方法论-发现和解决卡脖子问题，升华整个系统

在产业发展和生产优化中做系统研究的DEED法



围绕规律分析、技术创新、产品创新、服务模式创新，与用户一起在发展中做研究

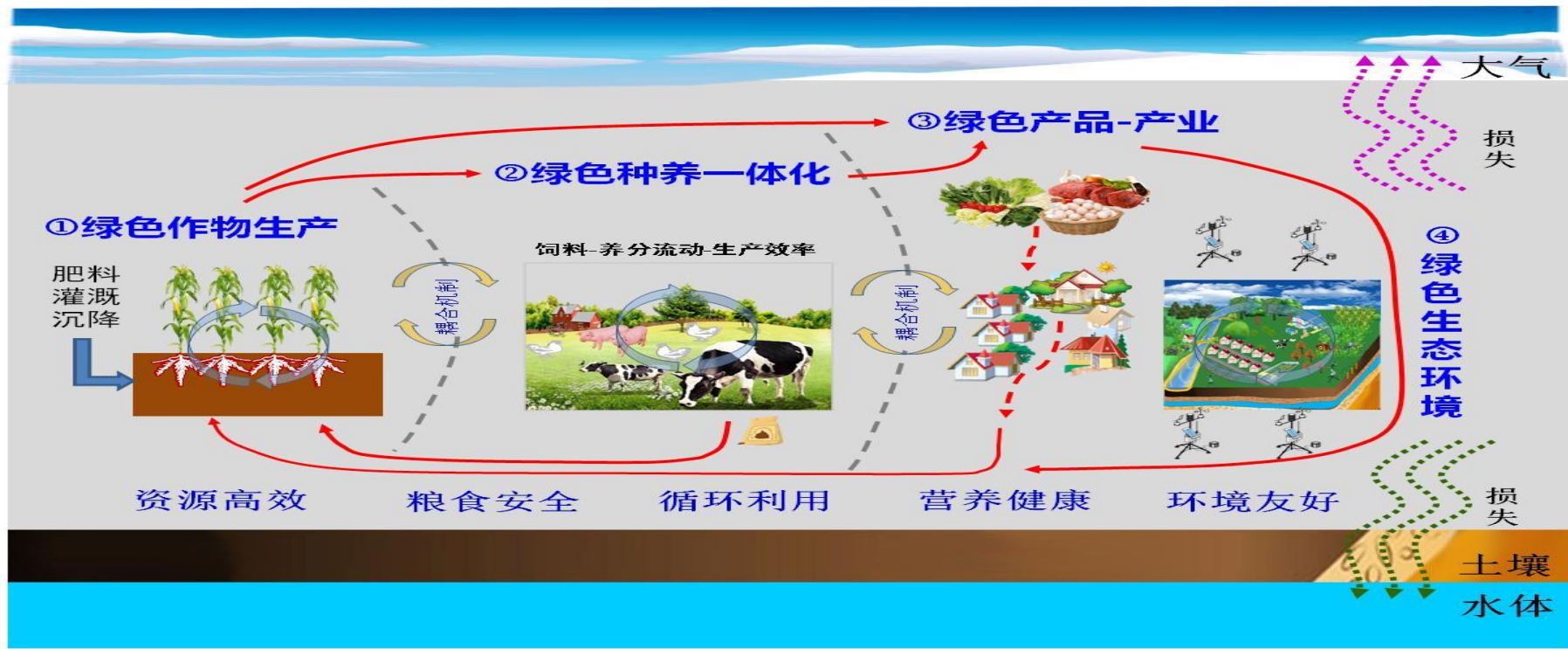
DEED (Describe, Explain, Explore, Design) 揭示问题-做出解释-深挖机理-重新设计

DFISRE (Driver - Flow - Impact - Solution - Redesign - Evaluation) 驱动因素-流动-影响-再设计-再评价

农业绿色发展急需全产业链交叉创新学科建设

1个系统、4大版块、5个交叉界面

突破口：交叉界面的互作效应和协同增效作用



2、人才培养行动：农业绿色发展急需“交叉创新-三农情怀-理实兼备-国际视野”的复合型人才

- 传统培养方式与产业脱节，不能培养既解决问题又创新的人才。
- 传统学科划分过细，不能解决农业产业链交叉理论与技术创新；

抓住国际交叉创新前沿，同时解决产业链卡脖子的关键问题



创建专业硕士研究生“科技小院”培养模式

- 通过“实践-理论-再实践”三段式专业硕士培养，从生产中发现问题的，进行科技创新，突破卡脖子技术瓶颈问题，再回到田间中验证，指导生产实践。
- 专业硕士生培养模式得到教育部领导的肯定和推广。



国家级教学成果二等奖
发表Nature等一系列文章

LETTER

nature

Closing yield gaps in China by empowering smallholder farmers

Wenling Zhang^a, Guozhen Cao^a, Xiaolin Li^a, Hongyan Zhang^a, Cheng Wang^a, Qingming Jiao^a, Xingping Chen^a, Zhenfeng Cui^a, Jianbo Shen^a, Bingfeng Jiang^a, Guohua Mi^a, Yunxin Mao^a, Fuzuo Zhang^a & Zhongxian Dou^a



零距离感受三
农之艰

艰苦环境适应
磨练

服务农民中学习
实践

农民地里搞科研

融入农村参与活
动组织

培养三农情怀

积累宝贵财富

培养实践能力

提高科研能力

增强综合素质

2017年教育部成立了全国涉农高校“科技小院”研究生创新创业教育联盟

高层次人才培养（博士、博士后、青年教师）

目标：面向农业绿色发展需求，培养多学科交叉创新、高层次复合型人才。

培养模式：国际化联合培养（“1+3”、“2+2”）、生产问题导向、多学科交叉创新、深度与广度兼备、具有综合解决实际问题的能力。

“T”型培养：广度与深度

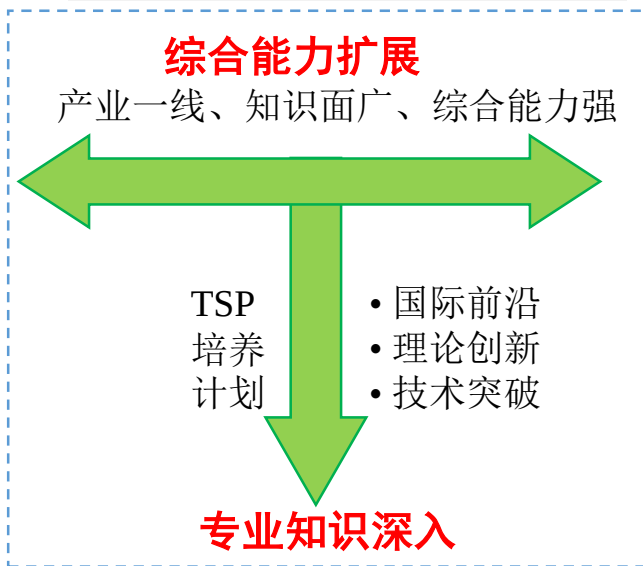
农业博士培养模式

广度：

- 开设学科交叉课程
- 开展社会实践与社会服务
- 注重科研与教学综合能力培养

深度：

- 国际热点专题报告
- 研究领域文献综述
- 国内外论文评阅
- 国际一流研究小组短期交流



高水平、多学科交叉的中外导师团队

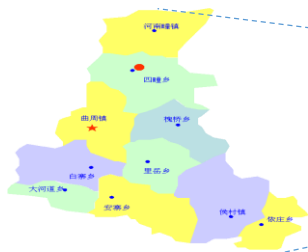
科研、教学、产业有机结合

国际A5联盟的全方位合作

博士生：30人/年

3、区域落地行动：县域实现-全国示范-全球样板

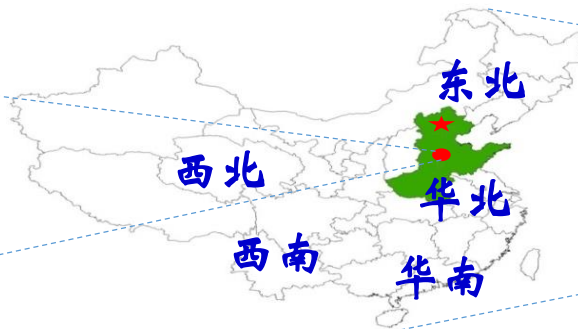
县域实现



曲周县

- 72万亩耕地
- 11.7万小农户
- 户均6亩耕地
- 生产效率低
- 收入水平低

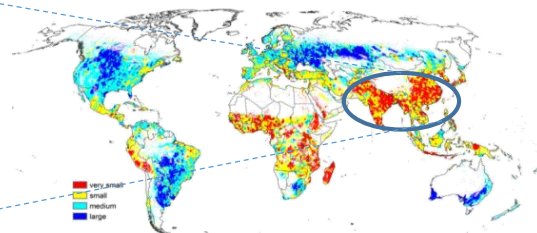
全国示范



中国

- 中国18亿亩耕地
- 2.3亿小农户
- 户均8亩耕地

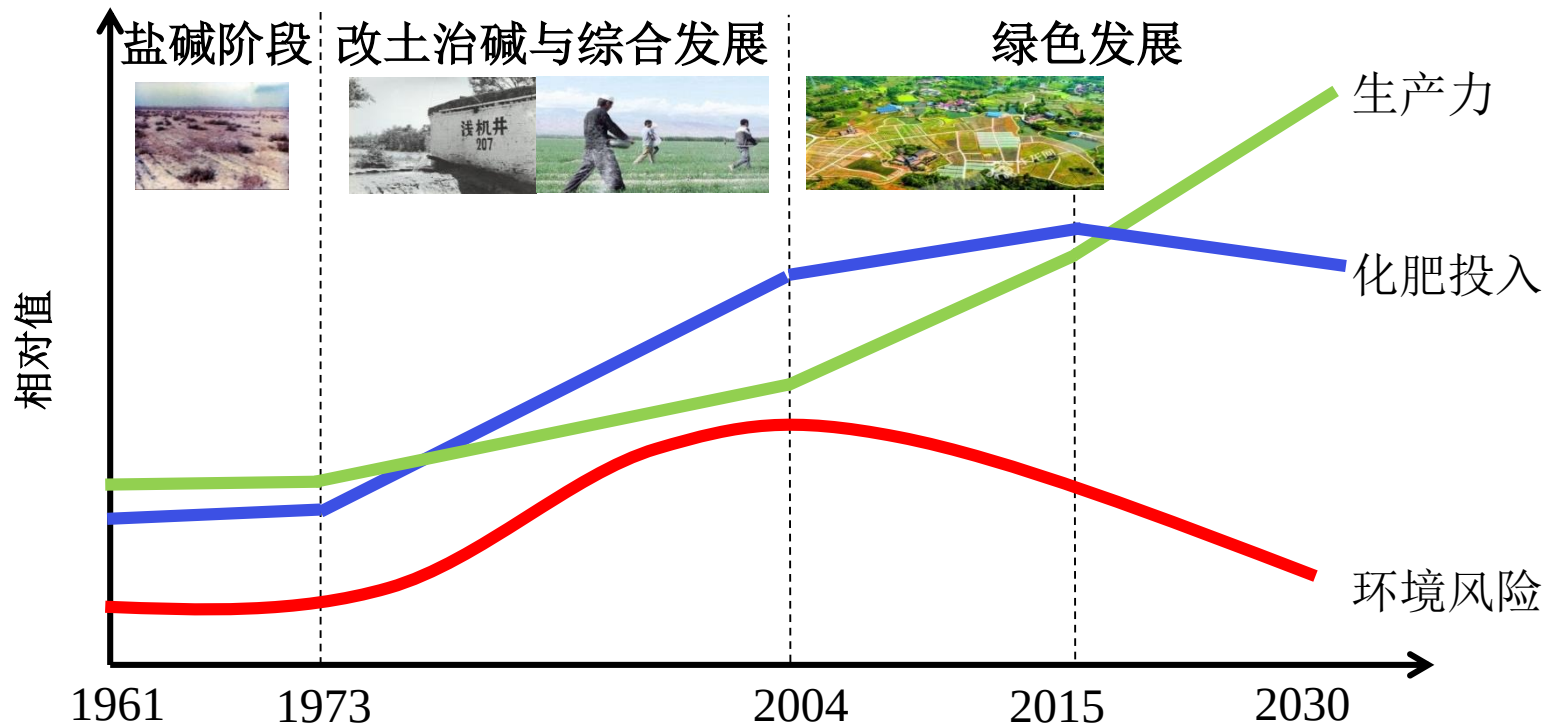
全球应用



全球

- 全球5.7亿农场,
- 84%为小农, 生产70%粮食
- 大部分为贫农

河北省曲周县农业发展历程



全国农业绿色发展行动



- 1、中德百名博士生培养项目启动
- 2、中荷CSC-AGD百名博士培养项目启动
- 3、中国工程院县域绿色发展战略项目立项
- 4、曲周县农业绿色发展示范县项目启动
- 5、国家农业绿色发展先行县建设启动
- 6、北京市高精尖交叉创新学科建设项目启动
- 7、中国科协农技协全国科技小院网络启动
- 8、全国肥料产业绿色发展联盟成立



国家农业绿色发展研究院 暨农业绿色发展学院成立大会

The Inaugural Meeting of National Academy of Agriculture Green Development and School of Agriculture Green Development

2018年7月22日两院正式挂牌



绿色生产
Green production



绿色产品
Green product



绿色产业
Green industry



绿色环境
Green environment

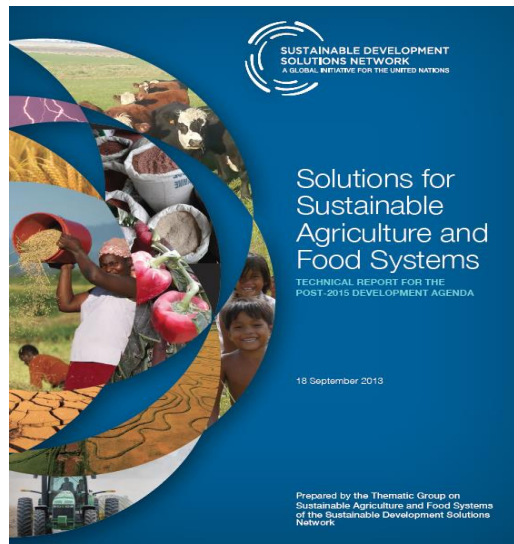


绿色政策
Green Policy



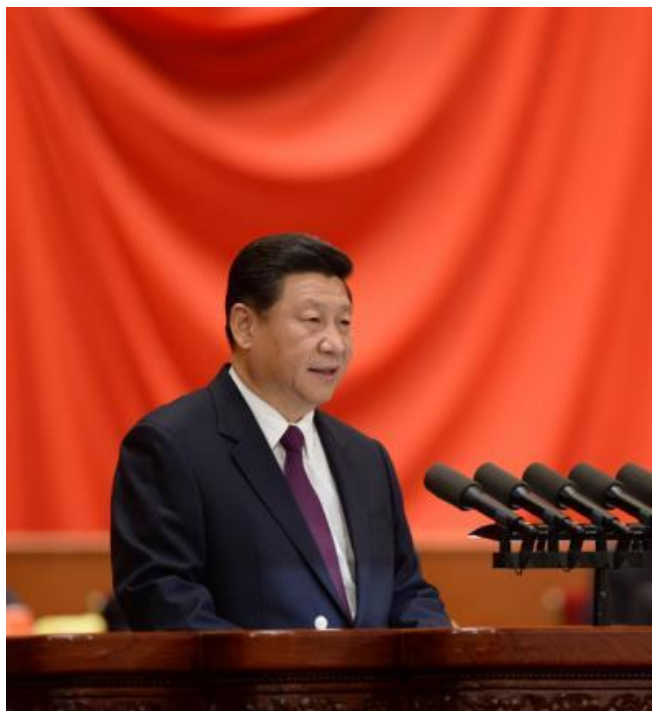
全球行动：世界进入了绿色发展的新时代

联合国可持续发展议程， 2016-2030



The Sustainable Development Goals (17 SDGs)

中国率先！中国方案和全球样板！

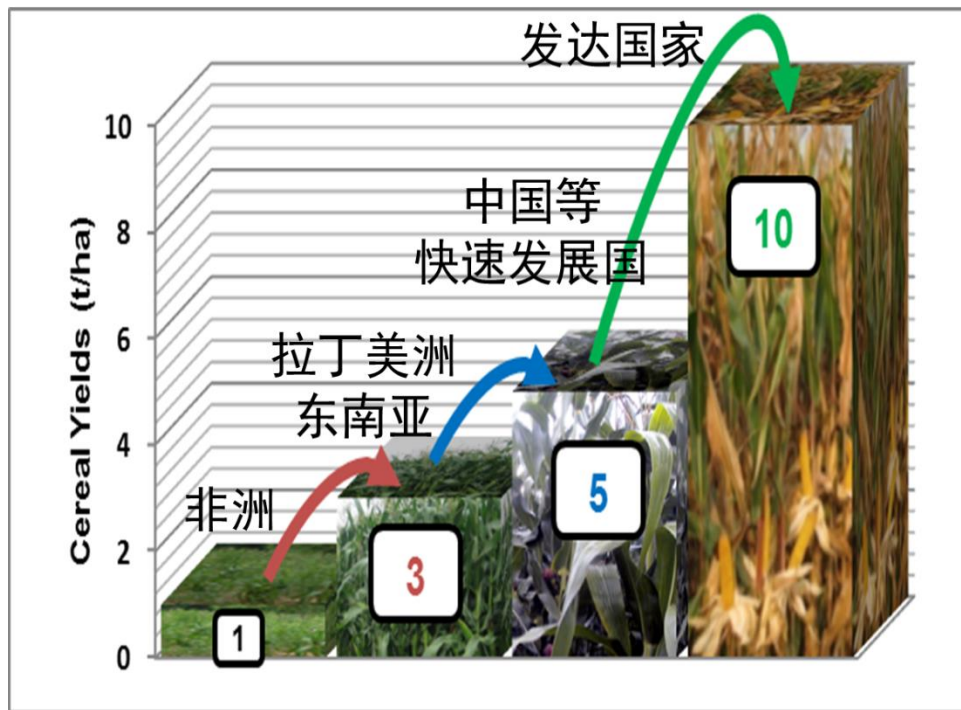


绿色-五大发展理念之一
“坚持绿色发展是发展观的一场深刻革命”

提出绿色发展“五个追求”、绿色担当、绿色繁荣；让绿色理念深入人心；我们要与世界有个绿色约定、要为全世界提供“绿色样板”！



中国方案和贡献：全球农业绿色发展



(Sanchez, 2015. Nature Plants 1. 1- 2.)

- 1、增产30%
(超过非洲1年粮食产量)
- 2、品质提升增收100%
(非洲4年的GDP)
- 3、农民增收成倍增加
- 4、资源增效30%
(非洲1.5年的氮肥需求)
- 5、环境减排50%
(欧洲37%的N排放总量)
- 6、环境友好、人类健康

谢谢!

解民生之多艰 育天下之英才