



## 我国高产高效现代农业发展的战略\*

文 / 张福锁<sup>1</sup> 马文奇<sup>2</sup>

1 中国农业大学资源环境与粮食安全中心 北京 100093

2 河北农业大学资源与环境学院 保定 071001

**【摘要】** 面对人口增加、粮食单产徘徊以及集约化农业环境代价日益加剧的严峻局面,将高产和高效结合,持续提高作物单产,同时高效利用有限的资源,即实现大面积高产高效成为我国乃至世界现代农业发展的唯一选择。文章介绍了国际高产高效现代农业发展道路的探索实例,分析了我国粮食作物高产高效的潜力及需要解决的关键问题,阐述了我国发展高产高效现代农业的“两步走战略”的内涵、途径及其措施。

**【关键词】** 现代农业,高产高效,资源利用效率

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2015.Z1.013

### 1 高产高效是现代农业的必由之路

当前世界农业的发展面临前所未有的严峻挑战,既要保障粮食安全,又要进一步提高资源的利用效率,减少农业生产的环境污染。2050年,世界人口将可能达到85亿—100亿的峰值,粮食需求也要增加70%—110%,农业增产的压力巨大<sup>[1-3]</sup>。然而,世界上一些主要粮食生产国单产徘徊不前,全球粮食安全形势十分严峻<sup>[4,5]</sup>。在小麦单产较高的欧洲地区,20世纪90年代以来以法国和德国为代表的大部分国家和地区小麦产

量几乎没有增长<sup>[6]</sup>;同时,亚洲地区的水稻单产几乎没有增长<sup>[5,7]</sup>;并且,在世界其他主要粮食作物生产地区,也出现了大量的产量不增甚至下降的报道<sup>[8-10]</sup>。因此,如何提高粮食作物单产成为未来农业发展的首要问题。有关研究表明,全球范围内,当前三大粮食作物小麦、玉米和水稻分别仅实现了产量潜力的64%、50%和64%<sup>[11]</sup>,最新的研究显示,如果灌溉和养管理措施科学合理,全球粮食产量可增长45%—70%(玉米、小麦和水稻三大粮食作物将分别增产64%、71%和47%)<sup>[12]</sup>。因此,如何尽可能地缩小产量差,提高产量水平已成为未来一个时期世界范围内解决粮食安全问题的的重要途径<sup>[13,14]</sup>,

\* 基金项目: 农业科研杰出人才及创新团队(2012)

修改稿收到日期: 2015年6月2日

也是现代农业发展关注的焦点之一。

在关注粮食安全的同时,国际上也高度关注农业发展过程中带来的资源环境问题,而通过提高资源利用效率、减少对外源养分等物质输入成为解决这一问题的主要途径,因此,建立和发展高产高效的现代农业已经成为国际研究热点。在理论方面较具代表性的有2009年Vitousek等人<sup>[15]</sup>在*Science*上关于农业发展中养分利用的文章,指出农业发展必须解决好养分利用失衡问题;Tilman等人<sup>[3]</sup>和Burney等人<sup>[16]</sup>连续在*PNAS*上发表文章,指出未来解决农业粮食安全及环境协调问题的关键是发展高产高效现代农业,而不是土地扩张或不计成本的高产投入。由此可见,高产和资源高效已经成为国际现代农业发展的必由之路。

上述挑战我国更为突出。一方面,面对耕地面积持续减少和粮食种植面积扩大潜力非常有限的形势,大面积持续提高作物单产仍然是保障我国粮食安全的唯一选择。另一方面,高投入和资源利用效率低的集约化农业发展带来了巨大的环境代价(图1),进一步提高养分利用效率仍然是农业生产的重要任务。由此可见,将高产和高效结合,持续提高作物单产,同时高效利用有限的资源,即实现大面积高产高效是我国现代农业发展的唯一选择。

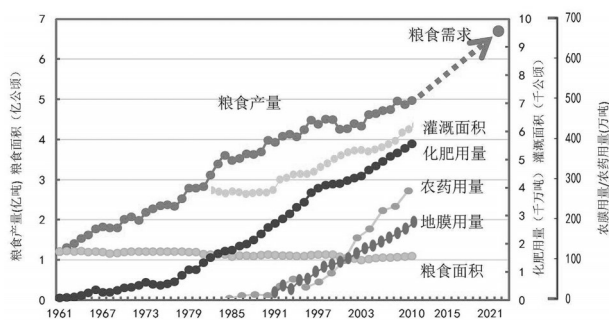


图1 我国粮食产量和各种资源投入的历史变化

## 2 高产高效现代农业发展道路的探索

在高产高效的实践道路探索方面,近年来以我国为“领头羊”,在全世界范围内掀起了探讨高

产高效现代农业道路的高潮。2011年中国农业大学在*PNAS*发表了关于通过土壤-作物系统综合管理实现高产高效的研究结果<sup>[17]</sup>,成为国际上高产高效现代农业的一个典型案例<sup>[18]</sup>;2012年美国Cassman课题组在*PNAS*发表文章,对在美国部分地区建立的高产高效玉米生产体系的环境效应进行了综合评价<sup>[19]</sup>;2014年中国农业大学在*Nature*上发表了他们联合全国13个单位历时5年,在我国玉米、水稻、小麦这三大粮食作物主产区实施了共计153个点/年的田间试验结果。他们通过大样本的田间实证研究发现,通过土壤-作物系统综合管理可以使玉米、水稻、小麦平均单产分别达到14.2吨/公顷、8.5吨/公顷、8.9吨/公顷,基本上可以达到理论最高产量的97%—99%<sup>[20]</sup>,这一产量水平与国际上当前生产水平最高的区域(如西欧的小麦、美国玉米带的玉米)相当。研究进一步证明,与当前生产体系相比,土壤-作物系统综合管理在大幅度增产的同时,并不需要增加氮肥的投入,大幅度提高了氮肥的效率。在水稻、小麦和玉米上,土壤-作物系统综合管理氮肥偏生产力(每公斤氮肥生产的籽粒)达到54—57kg N/kg, 41—44kg N/kg和56—59 kg N/kg,这一效率可与西方生态集约化的体系相媲美。研究人员进一步发现,土壤-作物系统综合管理活性氮损失,以及氨挥发、淋洗、N<sub>2</sub>O等温室气体排放,包括农资生产运输过程、农田耕作管理过程与农田直接排放等大幅度降低。进一步的综合分析表明,到2030年,我国农业只要实现这一产量水平的80%,而保持2012年的种植面积,不仅可以保证直接的口粮消费,而且可以保证不断增长的饲料粮需求;同时,减少活性氮损失30%、减少温室气体排放11%<sup>[20]</sup>。这些新进展明确回答了当前我国粮食生产的资源环境代价有多高、未来粮食增产的潜力多大、是否可以通过技术进步来保障国家粮食安全、未来粮食增产能否以更低的资源环境代价来实现等重大问题,为未来农业的可持续发展提供理论、技术和政策上强有力的支撑。

### 3 中国粮食作物高产高效潜力分析

近年来,我国粮食产量实现了“十一连增”,粮食单产也有了一定幅度的提高,主要作物高产纪录也不断刷新。但从现实产量与潜力产量的差距看,我国主要粮食作物产量提高潜力非常巨大<sup>[21-24]</sup>。根据“十二五”期间“973”项目“主要粮食作物高产栽培与资源高效利用的基础研究”的研究结果<sup>[25]</sup>,三大粮食作物小麦、玉米和水稻分别实现了理论产量潜力的46%、33%和35%,即小麦、玉米和水稻分别有117%、206%和186%的增产潜力,相当于每公顷可增产7.0吨、15.7吨和13.5吨。如果以试验中已经实现的最高产量为标准,小麦、玉米和水稻的增产潜力分别为84%、117%和73%,相当于每公顷可增产5.0吨、8.9吨和5.3吨。即使与同一肥力水平下30%高产农户的平均产量相比,小麦、玉米和水稻仍有18.2%、16.3%和14.3%增产潜力,相当于每公顷可增产1.1吨、1.2吨和1.0吨。三大作物相比,增产潜力总体玉米最高,小麦和水稻较低。区域间相比,长江流域和西北麦区增产潜力大于华北麦区;东北和西南区玉米增产潜力大于华北。由此可见,三大粮食作物仍有很大的可实现增产潜力,如果将农户平均产量提高到30%高产农户的平均产量,三大粮食作物可以增产15%以上。

同样,粮食作物也具有很大增效空间。以氮肥为例,20世纪80年代主要粮食作物氮肥利用率为30%—35%<sup>[26]</sup>,2001—2005年期间,小麦、玉米和水稻的氮肥利用率在不同地区间的变异也很大,平均为27.5%<sup>[27]</sup>和28.7%<sup>[28]</sup>,不到30%,而国际一些专家认为氮肥适宜利用率为30%—50%,管理比较好的条件下可以更高<sup>[29,30]</sup>。“十二五”期间“973”项目“主要粮食作物高产栽培与资源高效利用的基础研究”的研究结果表明,如果以氮肥

利用率40%为目标,小麦、玉米和水稻增效潜力分别为28%、18%和18%,相当于氮肥利用率分别可提高11%、7%和7%;对于小麦氮肥利用率增效潜力,华北和长江流域大于西北麦区;对于玉米,华北和西南大于东北;对于水稻,双季稻远大于单季稻;单季稻中,长江上游和长江中游大于长江下游和东北<sup>[25]</sup>。如果以氮肥生产效率(PFP)为养分效率指标,国际上认为40—80 kg/kg比较适宜<sup>[29]</sup>,我国三大粮食作物与此仍有较大差异。从PFP提高潜力看,小麦、玉米和水稻分别为45%、55%和41%,相当于每公斤氮肥生产的粮食分别增加14 kg、19 kg和16 kg<sup>[25]</sup>。可见,三大粮食作物氮肥利用效率具有很大提升空间。

### 4 实现高产高效潜力还需要解决的关键问题

要实现高产高效潜力,还需要解决以下几个关键问题。

#### 4.1 如何缩小农户间产量和效率差异

农户作为作物生产的最基本单位,其田块作物产量和效率直接决定了整体产量和效率。非洲小农户的研究表明,农户资源禀赋等特征决定了其作物产量和养分效率,给农户提供可选择的多种技术选项是提高作物产量和效率的重要途径<sup>[31]</sup>。本文课题组发现,在一个小区域(一个村或一个乡镇)内,同一作物产量和效率仍然存在很大的农户差异;而对多农户小地块,采取同一品种、同一肥料、同一技术对策的标准化管管理,连续3年增产15%、增效20%<sup>[32]</sup>。在教学科研单位和当地农业技术部门支持下,通过技术竞赛也能够大幅度提高产量和效率<sup>[33]</sup>。因此,通过综合技术集成、标准化和技术服务等,缩小农户地块产量和效率差异,实行标准化作业是实现大面积高产高效的重要途径。



中国科学院



## 4.2 区域间如何实现均衡高产高效

区域间因技术模式、管理模式和技术服务模式的不同,高产高效潜力存在很大的差异<sup>[34,35]</sup>。比较典型的例子是黑龙江农垦建三江分局57.6万公顷水稻平均产量达到8.87吨/公顷,比黑龙江省水稻(建三江除外)平均产量7.27吨/公顷提高22%;氮肥用量为105公斤/公顷,比全省平均155公斤/公顷少用50公斤/公顷,氮肥生产效率提高了近1倍<sup>[25]</sup>。说明,创新区域技术模式、管理模式和技术服务模式对于大面积实现高产高效十分重要。

## 4.3 提升土壤地力对高产高效的重要性

土壤是作物生产的基础,土壤地力水平直接影响作物的高产高效,随着地力水平提高,所获得的优化管理产量和养分效率均相应增加,两者成显著正相关关系<sup>[36]</sup>。然而,我国土壤的基础地力仍然较低。因此提高土壤的基础地力是实现我国种植业高产高效的基本保障条件,也是作物实现增产潜力的主要途径之一。

## 4.4 技术、经济 and 政策的综合管理

高产高效的实现,除依赖于关键技术创新与集成之外,还需要其与经济、政策的紧密结合。在技术层面,需要围绕“土、肥、水、种、密、保、工、管”进行各种关键技术的综合。为此,我们提出“土壤-根际-作物”三位一体综合管理的高产高效理论和技术创新与实现途径的新思路(图2)。在经营管理层面,要注重技术与经济的综合。另外,要注意技术与政策的结合,通过刺激、惩罚等政策手段来促进高产高效技术的创新和应用。

## 5 我国发展高产高效的“两步走战略”建议

“十二五”期间,“973”项目“主要粮食作物高产栽培与资源高效利用的基础研究”,以我国三大粮食作物小麦、玉米和水稻为研究对象,针对满足我国人口持续增长和经济发展对大幅度增加粮食单产、同时提高资源利用效率减少环境压力的需求,以及农业生产与科学研究中作物高产与资源

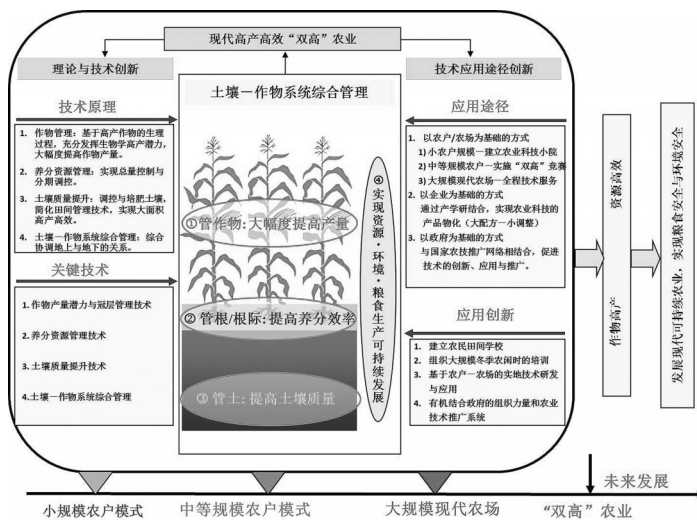


图2 高产高效现代农业土壤作物综合管理理论创新与技术实现途径示意图

高效难以协调的现状,提出实现高产高效的两步走策略(图3):第一步,在现有产量和资源效率的基础上,通过主要作物体系高产高效关键限制因子消减,大面积实现产量增加10%—15%,水肥效率提高20%;第二步,通过高产高效理论与技术创新,找到实现产量和效率同时增加30%—50%的突破口,为解决我国粮食安全和资源高效的重大需求提供切实可行的途径和决策建议<sup>[25]</sup>。

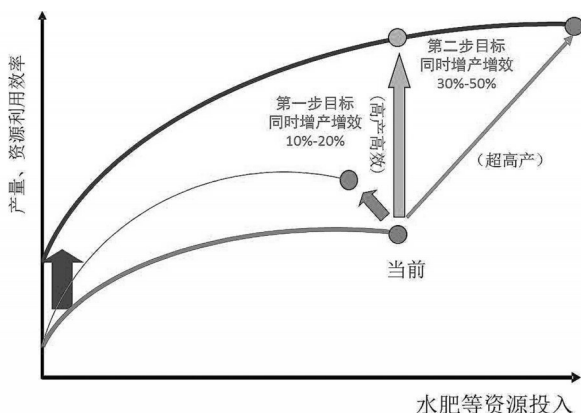


图3 我国发展高产高效农业的“两步走战略”目标

### 5.1 不同区域大面积增产增效10%—15%策略及其技术应用模式

#### 5.1.1 根据区域和作物特点,制定增产增效策略

实现增产增效10%—15%的关键是处理好产



量增加与投入水平变化的关系,这与区域和作物特点有关。因此,需要根据区域和作物特点,制定增产增效策略。

### 5.1.2 进行技术集成与创新

主要包括:(1)充分利用区域光温条件,构建理想群体,为高产高效打下基础。(2)在进一步创新水肥供应与作物需求的时空匹配技术的同时,应根据我国各个区域作物高产水平和高效目标要求,提出主要作物养分和水分总量控制指标。(3)利用现代信息和计算机技术,进行追肥、施药和灌水等苗情分类管理技术的创新,实现生育期间的优化管理。(4)进一步开展与水肥一体化技术配套的灌溉机械、肥水供应方案、肥料品种等的集成和创新,逐步建立实时高效的水肥一体化支撑技术。

### 5.1.3 进行服务模式创新

主要包括:(1)技术服务模式创新,如科技小院模式(图4)扩大试点并探索推广应用的机制。(2)农资产品销售和施用服务模式创新,重视产品服务新模式的探索和应用。同时,应加强基层经销人员的培训和管理,逐步建立准入制度,确保肥料、农药、种子等产品的质量及其适用性。(3)农机服务模式创新,急需加强对机手的培训,强调持证上岗,确保操作质量。加强培育市场化服务主体,例如农机合作社和农资经营者。探

索降低机械化服务成本的机制。

### 5.1.4 构建高产高效技术创新和服务平台

主要包括:(1)建立高产高效试验网,即根据我国区域土壤、气候和作物特点,进行区域布点,分别建立区域高产高效技术创新和服务试验站,进行主要作物的高产高效技术集成、优化和示范。(2)设置高产高效共性关键技术专项,与高产高效试验网结合,进行共性关键技术创新和新产品研制。(3)建立综合专家咨询组,对高产高效重大关键问题,开展专项调研,进行综合分析、咨询指导和成果凝练。

## 5.2 大幅度增产增效30%—50%的技术需求与重点科研领域

### 5.2.1 区域增产增效潜力及应用模式研究

建立科学的养分效率差和产量差的定量析因方法,明确不同区域作物生产与养分管理现状与提高潜力,研究气候等自然环境变化对作物生产和养分管理技术的影响,研究作物高产高效技术大面积推广实施的有效模式,构建高产高效的政策保障体系。

### 5.2.2 资源高效机理及其技术

(1)区域光温资源高效利用的机理与技术:其关键在于充分利用当地生态条件,建立合理的群体结构,协调个体与群体以及源与库之间的矛盾,使群体光合物质生产发挥

最大效能。重点应研究区域光温资源与现行作物种植体系的匹配程度,影响产量进一步提高的因素与主控过程,以及可能的提升途径。(2)高产作物水肥需求与水肥供应的时空匹配技术:以提高水肥资源利用效率、协调作物高产与环境保护为目标,在深入揭示高产作物水肥高效利用的根-土

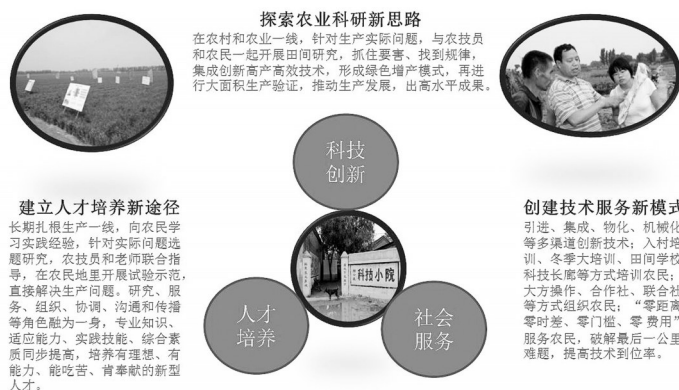


图4 现代农业科研、技术创新与服务 and 人才培养的“科技小院”新模式

互作过程机理基础上,以根层水肥的监控为抓手,研究根层水肥供应与高产作物的施肥需求在数量上匹配、空间上耦合、时间上同步的水肥管理新技术。

### 5.2.3 土壤生产力提升机理与技术创新

(1)研究大面积高产高效的关键土壤因素和过程,探索土壤肥力水平及其障碍因素对作物高产和水分养分高效利用的影响机制以及土壤生产力提升机理。(2)针对不同区域作物种植体系、土壤和气候特点,研究建立相应的秸秆还田技术;加强农机与农艺相结合的保护性耕作技术研究,加强农田有机肥料的定量化施用技术研究。(3)加强中低产田土壤改良技术的创新和应用;加强不同类型土壤调理剂及其施用技术的研究;加强土壤养分管理技术与作物轮作、栽培耕作等技术的集成研究,建立提高土壤地力的综合技术体系。

### 5.2.4 高产高效土壤-作物系统综合管理技术集成与示范

以作物高产优质、养分高效利用和生态环境安全为目标,在全国主要农区,开展农田养分高效管理、水分高效利用和作物高产栽培等技术集成创新的网络研究,以作物高产栽培技术为基础,以根层土壤养分调控为核心,着力解决多目标的综合技术体系中单项技术间的有效协同。

### 5.2.5 作物生产资源环境代价的监测与评估

建立全国性作物生产资源环境代价监测网络,在构建各个区域实现增产增效10%—15%和30%—50%的技术模式的同时,进行产量、效率、效益、环境影响等长期数据观测,为农业高产高效技术发展及其资源环境代价的评估奠定基础。同时,开展作物生产资源环境代价评价方法的研究。

**致谢** 感谢国家重点基础研究发展计划(“973”)“主要粮食作物高产栽培与资源高效利用的基础研究”(2009CB118600)和“作物高产高效群体与关键生态因子的匹配及其调控”(2015CB150400)资助及其项目组成员的辛勤劳动。

### 参考文献

- 1 Tester M, Langridge P. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 2010, 327: 818-822.
- 2 FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk. Rome and Earthscan, London: FAO, 2011.
- 3 Tilman D, Balzer C, Hill J, et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108: 20260-20264.
- 4 Ray D K, Ramankutty N, Mueller N D, et al. Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications*, 2012, 3, 1293-1299.
- 5 Ray D K, Mueller N D, West P C, et al. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE*, 2013, 8: e66428.
- 6 Brisson N, Gate P, Gouache D, et al. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, 2010, 119: 201-212.
- 7 Grassini P, Eskridge K M, Cassman K G. Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. *Nature Communications*, 2013, 4: 2918-2928.
- 8 Finger R. Impacts of agricultural policy reforms on crop yields. *Eurochoices*, 2008, 7: 24-25.
- 9 Finger R. Evidence of slowing yield growth—the example of Swiss cereal yields. *Food Policy*, 2010, 35: 175-182.
- 10 Peltonen-Sainio P, Jauhiainen L, Laurila I P. Cereal yield trends in northern European conditions: Changes in yield potential and its realisation. *Field Crops Research*, 2009, 110: 85-90.
- 11 Neumann K, Verburg P H, Stehfest E, et al. The yield gap of global grain production: A spatial analysis. *Agricultural Systems*, 2010, 103: 316-326.
- 12 Mueller N D, Gerber J S, Johnston M, et al. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 2012, 490: 254-257.
- 13 Lobell D B, Cassman K G, Field C B. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environmental*



Resources, 2009, 34:179-204.

14 van Ittersum M K, Cassman K G, Grassini P, et al. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. *Field Crops Research*, 2013, 143: 4-17.

15 Vitousek P M, Naylor R, Crews T, et al. Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*, 2009, 324: 1519-1520.

16 Burney J A, Davis S J, Lobell D B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107:12052-12057.

17 Chen X P, Cui Z L, Vitousek P M, et al. Integrated soil-crop system management for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108: 6399-6404.

18 Zhang F S, Chen X P, Vitousek P. Chinese Agriculture: An experiment for the world. *Nature*, 2013, 497: 33-35.

19 Grassini P, Cassman K G. High-yield maize with large net energy yield and small global warming intensity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109: 1074-1079.

20 Chen X P, Cui Z L, Fan M S, et al. Producing more grain with lower environmental costs. *Nature*, 2014, 514: 486-489.

21 李少昆, 王崇桃. 玉米高产潜力途径. 北京: 科学出版社, 2010.

22 Liu Z J, Yang X G, Kenneth G, et al. Maize potential yields and yield gaps in the changing climate of Northeast China. *Global Change Biology*, 2012, 18: 3441-3454.

23 李克南, 杨晓光, 刘园, 等. 华北地区冬小麦产量潜力分布特征及其影响因素. *作物学报*, 2012, 38(8): 1483-1493.

24 石全红, 陈阜, 褚庆全, 等. 长江中下游地区水稻产量差及分布特征研究. *中国农业大学学报*, 2012, 17(1): 33-39.

25 张福锁, 范明生, 等. 主要粮食作物高产栽培与资源高

效利用基础研究. 北京: 中国农业出版社, 2013.

26 李庆逵, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题. 江西: 江西科学技术出版社, 1998, 3-5.

27 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. *土壤学报*, 2008, 45(5): 915-924.

28 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展. *中国农业科学*, 2008, 41(2): 450-459.

29 Dobermann, A. Nutrient use efficiency-measurement and management. *Proc. of International Fertilizer Industry Association (IFA) Workshop on Fertilizer Best Management Practices*. Brussels, Belgium. [2007-03-07].

30 Snyder C S, Bruulsema T W. Nutrient Use Efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit. A publication of the International Plant Nutrition Institute (IPNI), <http://www.ipni.net/>. June 2007 Ref. # 07076. [2013-05-12].

31 Tittonell P, Vanlauwe B, Corbeels M, et al. Yield gaps, nutrient use efficiencies and response to fertilisers by maize across heterogeneous smallholder farms of western Kenya. *Plant Soil*, 2008, 313: 19-37.

32 张宏彦, 李晓林, 王冲, 等. 科技小院——破解“三农”难题的曲周探索. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.

33 张福锁, 米国华, 王贵满, 等. 高产高效现代农业之路探索——中国农业大学吉林梨树基地《农户玉米高产高效竞赛》纪实. 北京: 中国农业大学出版社, 2012.

34 王旭, 李贞宇, 马文奇, 等. 中国主要生态区小麦施肥增产效应分析. *中国农业科学*, 2010, 43(12): 2469-2476.

35 班红勤. 我国主要粮食作物增产增效潜力及其实现策略. 保定: 河北农业大学, 2012.

36 Fan M S, Lal R, Cao J, et al. Plant-based assessment of inherent soil productivity and contributions to China's cereal crop yield increase since 1980. *Plos One*, 2013, 8: e74617.



## Strategy to Develop High Yield and High Efficiency Modern Agriculture in China

Fusuo Zhang and Wenqi Ma

(Center for Resources, Environment and Food Security, China Agricultural University, Beijing 100193; and

College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding, 071001)

**Abstract** With the challenges posed by the population growth, per unit area yield of grain staggering, increasingly higher environmental cost of intensive agriculture, it becomes necessary to integrate high productivity and high efficiency to realize continuous growth in per unit area yield of grain, and utilize the limited resources. High yield and high efficiency (termed “double high” DH) presents the only choice for developing modern agriculture in China as well as internationally. This paper introduces international cases in exploring the DH model in modern agriculture. In addition, it analyzes the potential of DH model in China, and the key issues that need to be solved. Finally, the paper illustrates the implication of, roadmap to, and the measures for developing DH modern agriculture in China.

**Keywords** sustainable intensification, high yield and high efficiency, modern agriculture

**张福锁** 中国农业大学资源环境与粮食安全中心主任,教授,农业部测土配方施肥专家组组长、国家环保特约监察员。主要研究方向是如何协调作物高产、资源高效和环境保护之间的矛盾,最终实现国家粮食安全与农业可持续发展。20多年来,建立了一系列作物高产和养分高效利用的管理技术,在全国大面积示范推广,实现了在作物持续增产的同时大幅度减少环境污染,推动了高投入高资源环境代价的农业向可持续农业的转变。有关工作获国家自然科学奖和科技进步奖,并发表在 *Science*、*Nature*、*PNAS* 等刊物上。E-mail: zhangfs@cau.edu.cn

**Zhang Fusuo**, Professor and Director of Center for Resource, Environment and Food Security, China Agricultural university. He served as President of the International Plant Nutrition Council. Currently he is Chairman of Expert Committee for Soil Testing and Fertilizer Recommendation, Ministry of Agriculture, and Special Inspector for the Ministry of Environmental Protection, China. His main research is on how to realize high crop yield, high resource use efficiency and protect environment at the same time, in order to ensure food security and realize sustainable development in China. In last over 20 years, he developed a series of integrated crop and nutrient management technologies to increase crop yield and improve nutrient use efficiency, while reducing environmental footprint significantly. Through the vast network and governmental actions the great changes have been made to transform of agriculture from sole high input and output to high yield and high efficiency sustainable model. He has won National Awards both for Natural Science and Technology Innovations. His scientific findings were published in over 300 peer-reviewed papers, including *Science*, *Nature* and *PNAS*. E-mail: zhangfs@cau.edu.cn