

低化肥投入下作物高产和养分高效的可行性分析

周 玲, 王朝辉, 薛 澄, 李生秀

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 对比了不同国家主要粮食作物的化肥用量与产量, 分析了西欧国家降低化肥投入并未导致粮食产量大幅下降的实例, 得出降低化肥投入实现作物高产和养分高效利用是完全可能的。结合国外成功的经验和我国的生产实际, 提出我国应通过协调养分间的平衡, 充分发挥化肥以外的其他养分的作用, 挖掘作物自身的生物学潜力三个途径实现低化肥投入条件下的作物高产和养分资源高效利用。当前, 我国急需开展低化肥投入的基础研究, 同时加强养分资源的宏观管理。

关键词: 粮食产量; 养分效率; 低化肥投入

中图分类号: S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0133-06

人口日益增长的需求决定了提高粮食产量, 保证粮食安全仍然是我国农业生产的首要目标。20 世纪 70 年代以来, 我国创造了以世界 7% 的土地养活 22% 人口的奇迹, 化肥起了关键性作用。近年来, 受“施肥越多, 产量越高”等传统观念的影响, 我国农民为了获取更高的粮食产量, 盲目过量施肥相当普遍。不仅浪费了资源, 提高了生产成本, 还对环境造成了极大威胁, 影响了农业的可持续发展。大幅度提高粮食产量和养分利用效率是农业可持续发展的关键。目前, 不少研究致力探讨如何在高化肥投入下同时实现粮食高产和养分高效。由养分效率的定义(产出与投入的比值)可得出, 高产不是高化肥投入的理由, 高化肥投入也不是高产出的必备条件^[1]。那么低化肥投入能否实现作物高产和养分高效, 从我国的实际出发该如何实现呢? 本文就此进行探讨。

1 我国农业生产中化肥施用过量

我国农业生产中化肥投资已达种植业总成本(包括种子、杀虫剂、机械和灌溉)的 50%, 是最昂贵的农业投入^[2]。联合国粮农组织(FAO)统计数据显示, 2003 年我国化肥消费量为 4 412 万 t, 占世界化肥消费总量(14 697 万 t)的 30%; 而山东省和河南省

的施用量分别达到 433 万 t 和 468 万 t, 分别接近和超过德国的施用量(448 万 t), 远超过法国用量(113 万 t)^[3]。2005 年我国化肥消费总量为 4 766 万 t(折纯养分)^[4], 一些预测表明, 2030 年我国化肥需求总量将达到 6 600 ~ 7 000 万 t^[5]。针对当前的栽培技术和产量水平, 专家推荐的氮肥最适用量为 150 ~ 180 kg/hm²^[6], 高产条件下略高, 但不超过 250 kg/hm²。2001 年和 2003 年农户调查结果分析表明, 我国水稻、小麦和玉米的平均氮肥用量分别为 215、187 kg/hm² 和 209 kg/hm²; 三大粮食作物的平均氮肥用量为 205 kg/hm², 远高于最适氮肥标准, 是世界平均水平的 3 倍, 是欧美发达国家的 2 倍^[7]。将农户氮肥用量分为三个等级, 低于 150 kg/hm² 为不足, 150 ~ 250 kg/hm² 为适中, 高于 250 kg/hm² 为过量, 那么全国 2 万多个农户调查结果表明, 仅 1/3 农户氮肥施用合理, 1/3 施氮不足, 另外 1/3 氮肥施用过量^[8]。氮肥施用不足主要分布在西南、西北地区, 施氮过量多在华北和东部沿海经济发达地区^[9]。在华北小麦主产区, 山东省小麦/玉米轮作体系氮(N)磷(P₂O₅)钾(K₂O)用量分别为 673、244 kg/hm² 和 98 kg/hm²^[10], 河北省小麦/玉米轮作周期内化肥平均用量达 711 kg/hm², 其中氮磷用量为 440 kg/hm² 和 178 kg/hm²^[11]。

收稿日期: 2010-03-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(40671107); 国家重点基础研究发展计划项目(2009CB118604); 农业公益性行业科研专项经费项目(200803030)资助。

作者简介: 周 玲(1984—), 女, 湖北十堰市人, 硕士生, 主要从事土壤植物营养方面的研究。E-mail: zhouling2008913@163.com。

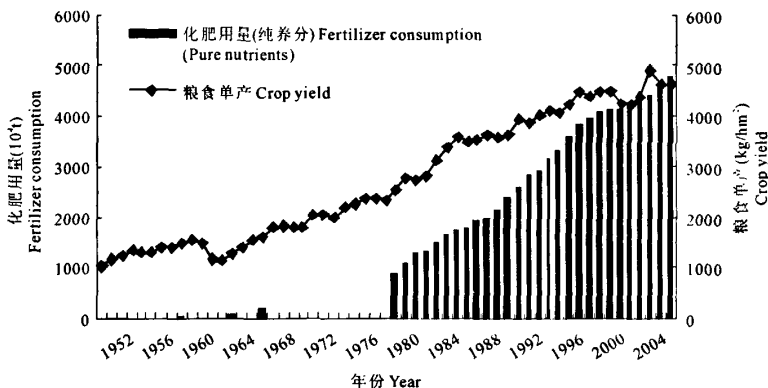
通讯作者: 王朝辉(1968—), 男, 博士, 教授, 主要从事旱地土壤和作物系统氮素动态及其生态环境效应等方面的研究。E-mail: w-zhaohui@263.net。

2 降低化肥投入是实现农业可持续发展的必然选择

2.1 过量施肥的危害

随着耕地面积逐年减少,提高粮食单产已成为增加我国粮食总量的根本出路。我国历年化肥用量和粮食单产的变化(图 1)表明,20 世纪 90 年代以前,历年粮食单产与化肥施用量呈同步增长趋势;但从 90 年代至今,15 a 时间内,化肥施用量从 2 600 万 t 增至 5 000 万 t,而粮食单产仅从 4 t/hm² 变化到了 4.6 t/hm²。化肥用量大幅度增加,粮食作物单产却

徘徊不前^[7]。与 20 世纪 50 年代末相比,80 年代每 kg N 增加的水稻从 15~20 kg 下降至 9.1 kg,小麦从 10~15 kg 下降至 10 kg,玉米从 20~40 kg 下降至 13.4 kg^[12]。农业生产水平居西北之首的陕西省,每 kg 化肥养分(N + P₂O₅ + K₂O)仅增产小麦 4.5 kg;增产最高的陕南川道与渭北旱原也仅 5.5 kg 与 7.2 kg;秦巴山区、关中灌区、长城风沙区与陕北丘陵区只有 2.9 kg、1.8 kg、0.2 kg 与 0.5 kg^[13]。粮食作物施肥增产效应的大幅度下降使我国粮食持续增产面临严峻的考验。



注:数据来自中国农业年鉴 1980~2007^[14]。

Note: The data are from China Agriculture Yearbook 1980~2007^[14].

图 1 我国历年化肥用量与粮食单产

Fig. 1 Fertilizer consumption and crop yield during past years in China

近年来全国粮食主产区的田间试验总结表明,水稻、小麦和玉米氮肥利用率平均为 28.3%、28.2% 和 26.1%,磷肥利用率分别为 13.1%、10.7% 和 11.0%,三大粮食作物的平均氮肥利用率水平从 20 世纪 90 年代的 35% 下降到了 27.5%^[8]。如此低的化肥养分增产极大地浪费了肥料资源,提高了农业生产成本,也损伤了农民施用化肥的积极性。

通过施肥虽然提高土壤养分含量,在一定程度上培肥了土壤,但过量施肥已造成部分速效养分在土壤中过量累积。对华北平原小麦/玉米轮作体系多年多点的调查表明,作物生育期内 0~90 cm 土壤剖面硝态氮平均含量高于 N 200 kg/hm²,远高于欧盟国家规定的大田作物收获后 0~90 cm 土层硝态氮最高残留量(90~100 kg/hm²)^[7]。北京市保护地菜田 0~400 cm 土壤剖面硝态氮累积达到 N 1 230 kg/hm²,果园平均为 N 1 148 kg/hm²,露地菜田为 N 697 kg/hm²;冬小麦/夏玉米轮作地块为 N 459 kg/hm²^[15]。西北旱地过去化肥投入不足,但近年来

在经济作物上的过量施肥已使得一些地区大棚菜地 0~200 cm 土层硝态氮累积达 1 521 kg/hm²,有效磷达 978 kg/hm²^[16]。杨学云等报道,陕西省关中灌区冬小麦施氮量由 165 kg/hm² 增加到 330 kg/hm² 时产量并没有增加,反而下降了 26%;而氮素淋出量却增加了 3.1 倍^[17]。据国外统计资料,施于小麦的矿质氮平均只有 40%~60% 被作物吸收^[18];随氮素投入增加,吸收比例持续下降,土壤残留持续增加。我国由于氮肥施用量高,作物吸收利用的氮素低于这一比例。未被作物吸收利用的化肥氮素会进入河流、湖泊和大气,成为重要的污染源^[19]。我国 532 条河流中,82% 都不同程度受到氮污染^[20]。

2.2 农业的可持续发展离不开化肥

农业可持续发展目标是在形成资源节约、环境友好、产业高效、农民增收的发展格局。发达国家的研究表明,不施化肥的有机农业生产模式可使产量至少降低 30%^[21]。盲目地推广有机农业生产模式会使我国粮食安全受到严重威胁。“吃好”固然

重要,但不能“吃饱”就是饥饿。因此,有机农业只能作为局部区域内或粮食作物的非主产区的一种种植方式^[21]。化肥不仅增产,在培肥土壤、发挥良种增产潜力中也有不可替代作用^[22]。有效、合理地使用化肥能改进农产品品质和改善生态^[5]。为了可持续的作物生产,以化肥形式供应的养分必须保持在总供应的 50% 以上,其中氮肥必须占到 65% ~ 70%^[5]。虽然农业持续发展绝对离不开化肥,但在现有基础上合理地降低化肥用量,实现高产和养分高效才是我国农业可持续发展的必然选择。从西方应用化肥经验来看,化肥用量达到消费高峰后必然下降^[23],这可能也是我国应用化肥的趋势。

3 低化肥投入实现高产高效的可行性

实现农业可持续发展的关键之一是通过提高养分效率提高粮食产量,而化肥投入水平与养分效率密切相关。

效率是衡量产出和投入比值的指标,与产出成正比,与投入成反比:在一定投入水平下,产出越多效率越高;在一定产量水平下,投入越少效率就越高。从理论上分析,在保证不减产前提下,减少化肥用量,必然提高效率。这一点在研究和生产实践上已得到了广泛的证实。王荣辉等用 5 个氮水平的冬小麦研究表明,氮肥用量从 240 kg/hm² 减少至 80 kg/hm²,农学效率从 7 kg/kg 上升至 14 kg/kg^[24]。其它多点试验证实,小麦、玉米、水稻等作物的氮肥从传统用量降低到适当用量后,氮肥利用率提高 7% ~ 16%^[7]。因此,低投入下实现高产高效目标归根结底是低投入下实现高产。低投入下能实现高产,效率自然就高。

低化肥投入是基于满足作物生长需求,获得较高养分效率,同时获得与高投入相当的作物产量的化肥投入水平。因此,化肥的低投入是相对的,因地域和作物种类而异。Giovanni Guarda 等在意大利北部开展的研究表明,小麦新品种在 80 kg/hm² 的施氮水平下,产量达到 7 500 kg/hm²,与 160 kg/hm² 施氮水平下的产量相比没有显著降低,而氮素回收率约上升 20%^[25],因此 N 80 kg/hm² 可认为是符合当地小麦生产的低氮投入水平。

3.1 低化肥投入实现作物高产的可能性

低化肥投入和作物高产表面上似乎是矛盾的、不可能的,但却有着统一性的基础。作物利用土壤中的水分和养分,通过光合作用从大气中吸收 CO₂ 形成自身的产量是一个非常复杂的过程。一方面,适度的资源(养分和水分)投入,能发挥作物高效吸

收利用养分水分的功能,有利于调控作物的生长发育;另一方面,高产的农作系统应具有提高土壤水分养分资源利用效率的能力。这两方面的合理结合就会降低外部投入和成本^[26,27]。

表 1 不同国家水稻、小麦和玉米的化肥用量与产量比较
Table 1 Fertilizer rates and grain yield of rice, wheat and maize in different countries(kg/hm²)

作物 Crops	国家 Countries	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	产量 Grain yield
水 稻 Rice	中国 China	226	88	90	6956
	美国 America	150	60	60	6574
	埃及 Egypt	119	36	0	8878
	韩国 South Korea	110	70	80	6596
	日本 Japan	78	92	72	6414
小 麦 Wheat	中国 China	198	103	24	4709
	英国 England	183	40	45	8049
	德国 Germany	165	30	40	7541
	比利时 Belgium	155	25	40	8096
	法国 France	80	80	70	7243
玉 米 Maize	中国 China	216	83	34	5923
	德国 Germany	85	30	30	8785
	比利时 Belgium	80	30	55	12108
	瑞士 Switzerland	72	47	62	9161
	法国 France	46	22	30	8948

注:数据来自文献[21]。
Note: The data are from the reference[21].

国际上,不少国家都在远低于我国的化肥投入水平下达到了与我国相当甚至更高的产量(表 1)。我国水稻氮(N)磷(P₂O₅)钾(K₂O,下同)用量分别为 226, 88 kg/hm² 和 90 kg/hm²,而产量高于 6 000 kg/hm² 的其他国家的用量依次为 78 ~ 150, 36 ~ 92 kg/hm² 和 0 ~ 72 kg/hm²。产量水平与我国接近的韩国,氮肥用量仅为我国的 1/2;氮肥用量仅为我国 1/2 的埃及,在施磷 36 kg/hm²,不施钾肥情况下,产量达到 8 878 kg/hm²。小麦生产中,我国氮磷钾的用量分别为 198, 103 kg/hm² 和 24 kg/hm²,产量仅为 4 709 kg/hm²。产量超过 7 500 kg/hm² 的国家除钾肥外,化肥用量均低于我国,农业生产水平整体较高的法国,氮肥用量不到我国的 1/2,产量却达到 7 243 kg/hm²。玉米上的数据更显示了低化肥投入实现高产更大的空间,我国用 216 kg/hm² 氮, 83 kg/hm² 磷和 34 kg/hm² 钾,总量高达 333 kg/hm² 的化肥仅产出 5 923 kg/hm² 玉米籽粒;而德国、比利时和瑞士仅用我国 1/3 左右的氮, 1/2 左右的磷和略多的钾,产量已超过 8 700 kg/hm²。更有甚者,比利时玉米产量达到了 12 108 kg/hm²;法国仅用了 46 kg N, 22 kg

P 和 30 kg K_2O , 产量接近 9 000 kg/hm²。这些数据表明, 我国粮食生产与高产国家还有很大差距。这些国家的经验也证实, 高化肥投入并不一定是高产的必需条件, 低化肥投入条件下实现粮食作物的高产是完全可能的。

3.2 降低化肥投入不一定减产

粮食产量较高的大多数国家化肥用量始终维持在较低水平。我国多年来采用高水肥投入的农业生产模式, 急剧降低化肥用量后是否会引起产量大幅度降低呢? 这是目前大家普遍担忧的。大量研究已证明我国化肥施用业已过量, 但用量始终居高不下, 主要由这种担忧所造成。

世界上有两类不同的经验。一是东欧国家在前苏联解体后, 化肥用量锐减, 粮食产量也大幅降低^[28]; 一是西欧各国大幅度降低化肥用量, 粮食单产不但没有降低, 反而增长。例如, 20 世纪 90 年代中期, 德国氮磷钾肥用量比 80 年代初分别下降了 18.4%、61.7% 和 58.2%, 产量却提高了 51.8% (表 2)。同期, 英国、法国、比利时化肥使用相继进入持平或下降阶段, 而化肥用量下降 17.3% 的同时, 粮食总产和单产则分别增加了 13.8% 和 80.7%^[29]。2000 年, 德国化肥投入量下降了 40%, 粮食单产增长了 130%^[8]。

表 2 德国化肥用量和粮食单产变化
Table 2 Changes of fertilizer consumption and crop yield in Germany (kg/hm²)

化肥 Fertilizer	80 年代初 (1980 ~ 1982 年 三年的平均值 Mean of early 1980s)	90 年代中 (1993 ~ 1995 年 三年的平均值 Mean of middle 1990s)	增加 (%) Increase
N	179	146	- 18.4
P ₂ O ₅	94	36	- 61.7
K ₂ O	134	56	- 58.2
粮食单产 Crop yield	4319	2284	51.8

注: 数据来自文献[29]。

Note: The data are from the reference [29].

匈牙利 Balaton 湖流域 200 多个农场 1981 ~ 2002 年的作物产量和施肥量变化也有相似趋势: 1988 ~ 1992 年, 氮肥用量从 73 ~ 173 kg/hm² 下降到 46 ~ 127 kg/hm², 磷钾肥均从 100 kg/hm² 左右下降到 20 kg/hm² 以下, 但小麦产量变化不大, 其他作物产量降低幅度不到 10%, 远低于肥料降低幅度^[23]。

为什么有些国家降低化肥用量导致严重减产, 有些国家反而提高了产量? 答案是前期施用化肥水平不同。东欧国家过去经济欠发达, 化肥投入很少,

土壤未得到应有的培肥和养分贮存。贫瘠的土壤面对着化肥的突降无异于雪上加霜, 必然引起减产。与此相反, 西欧国家过去已向土壤投入了大量养分; 特别是磷钾肥连续多年大量施用, 使土壤中累积了大量的磷、钾^[23, 29]。氮肥的投入也使土壤氮素肥力具有相当高的水平。在这种情况下, 减少肥料投入不但不会减产, 反而会使养分相对协调, 既可提高肥料效率, 也能保护生态环境。我国尤其是东部经济发达地区, 土壤累积的养分远超过当时的西欧^[7, 15], 其经验更可作为我国的前车之鉴。西欧的其他措施对我国也有启发。例如, 德国通过经济补贴、提高价格等政策鼓励农民发展生态农业, 重视有机肥和氮肥的合理施用, 降低氮肥用量以提高利用率^[29]。Balaton 湖区在专家指导下, 采取了非常合理的最小养分施肥方法, 对肥效较好的氮素进行最低限施肥, 使其用量仍然保持在适当水平, 如小麦和玉米平均用量均在 100 kg/hm² 以上^[23]。

4 我国低化肥投入实现作物高产和养分资源高效利用的途径

4.1 协调养分之间的平衡

低化肥投入条件下实现作物高产的关键是充分发挥每单位化肥资源投入的增产作用。要达到这一目标, 养分间的平衡尤为重要。平衡施肥可以充分发挥肥效, 可使少量化肥发挥以少胜多的作用。我国钾矿缺乏, 作物生产中普遍重施氮、磷化肥, 忽视钾肥, 微量元素的补充也未引起应有的重视。数据分析表明, 我国三大粮食作物的氮磷施用比例为 1:0.38 ~ 0.52; 1994 年以来一直稳定在 1:0.45 左右, 基本合理^[5]。但在多数干旱区, 氮磷不协调, 即磷素不足, 仍是问题所在, 磷素缺乏限制了作物生长, 也降低了作物对氮肥的响应。氮肥与磷肥结合施用不但可以提高氮肥效果及水分利用效率, 而且与酸性磷肥混合还可以降低氮素挥发损失^[12]。我国钾肥用量甚低, 小麦和玉米的氮钾比例分别为 1:0.12 和 1:0.16, 远低于产量高于我国的国家, 也低于世界平均水平 (1:0.26 ~ 0.31)^[5]。随着大量元素化学肥料的用量大增, 相当广泛的地区和土壤中中量元素硫、钙、镁和微量元素锌、锰、铜、铁成为作物增产新的限制因素^[6]。据中国第二次土壤普查资料, 全国缺乏中量元素的面积合计为 6 000 万 hm², 缺乏各种微量元素的面积合计为 15 733 万 hm², 仅缺 Zn, 缺 B 的耕地面积已发展到 3 700 万 hm² 和 5 300 万 hm²^[30]。诺贝尔奖获得者、绿色革命之父 Norman Borlaug 指出, 如果中国要满足粮食生产的目

标,平衡土壤养分是第一需要^[21]。

4.2 充分发挥其他养分资源的作用

Drinkwater and Snapp 指出,在全球范围内,作物系统对氮和磷利用效率不高的原因之一在于土壤碳与氮、磷的循环过程没有有效耦合^[31]。

土壤、化肥和环境提供给动物、植物生产过程的养分都可看作是养分资源,主要包括土壤、肥料和大气、水体环境中的三种养分。近年来,人们追求粮食产量主要放在大量投入化肥养分,忽视了其他养分资源的利用。

植物所需的16种必需元素中,除C、H、O外,主要依靠土壤提供;土壤是最大的养分资源库。我国土壤20 cm表层中,氮、磷、钾储量分别为1 500~6 300,400~2 600和 1.3×10^4 kg/hm²;而100 cm土层中,氮、磷储量分别为3 000~12 000 kg/hm²和4 400~6 700 kg/hm²^[32]。发掘生物潜力,充分发挥这部分养分资源(大多数是难溶态、迟效性)的巨大作用是一条宽广的途径。

有机肥可以改善土壤物理、化学和生物学性状,增加土壤养分库中的有效养分量,从而改善土壤养分状况并提高土壤对作物所需养分的供给能力^[33],合理利用有机肥还能提高土壤持水能力,提高水分利用效率^[12]。20世纪50年代以前,有机肥几乎是补充土壤养分唯一的来源。农业部2000年统计表明,粪尿肥、秸秆、饼肥和绿肥的总资源量超过40亿t,其中的N、P₂O₅、K₂O分别为2 256、1 102和2 206万t。粪尿肥类和作物秸秆资源在有机肥料的组成类别中占据绝对优势,分别达到43.9%~61.3%和31.5%~37.8%,在农田养分再循环中具有很大潜力^[21]。通过循环经济模式提高有机肥在肥料中的使用比例无疑是实现低化肥投入的主要途径。但是目前粪尿肥未得到合理使用,秸秆焚烧现象在农村仍普遍存在,它们流失在环境中,不但浪费了大量资源,而且还污染了环境。绿肥对扩大农业生态系统中的氮素循环,提高土壤肥力起着十分积极的作用。据推算,如果全国种植豆科绿肥667万hm²,其所固定的氮素相当于400~500万t标准氮肥^[34]。但近20a来,受眼前经济利益驱动,绿肥种植一直得不到应有的重视,农村绿肥种植面积急剧下降^[34,35]。

大气干、湿沉降物质含有的作物生长所必需的氮、磷、硫、硅、铁、锰等营养元素^[36],是粮食作物营养元素的一个重要来源。沉降中所有的氮(>95%)都可保存在土壤中^[37],补充作物需求的氮素。水体中蕴藏着大量的氮、磷、钾和微量元素,有的还富含硼、锂等稀有元素,是土壤营养元素重要补给源^[38]。

4.3 挖掘利用作物自身的生物学潜力

植物对养分的吸收利用与本身活化和利用养分的能力有关;不同作物甚至同一作物的不同品种间的养分吸收利用能力都存在着显著差异。“运用遗传学方法提高植物对土壤环境逆境的适应性”,既可以“降低生产成本”,又可以“减少大量施用化肥所造成的环境污染”,而且对“动物和人类的营养有益”^[39]。这就是挖掘和利用作物自身的遗传潜力,改良现有品种的营养性状,选育养分效率高的植物基因型。研究表明,养分高效型品种在现有的投入水平下,可提高产量10%~20%^[40],有非常可观的效果。1993~1996年,Giovanni Guardà等采用3个氮水平(0,80,160 kg/hm²)和16个冬小麦品种组合试验表明,90年代育成的新品种Eridano和Lampo,在80 kg/hm²的施氮水平下,产量达到7 500 kg/hm²,与施氮160 kg/hm²时的产量没有显著降低,而氮素回收率分别上升20%和22%,农学效率分别上升7 kg/kg和8 kg/kg^[25]。Brancowt Hulmal等比较了法国从1946~1992年间所选育的14个冬小麦品种的主要农艺性状,发现与老品种相比,新选育品种的氮素效率有很大程度提高,可见选育适应低氮水平小麦品种有可行基础^[41]。陈范骏等对18个玉米自交系在低氮和高氮条件下进行氮效率性状的配合力分析表明,高氮条件下氮效率受非加性效应控制,低氮条件下则受加性效应控制,而加性效应是可以遗传的,所以氮效率的选择应在低氮条件下进行^[42]。

5 目前急需研究和解决的问题

我国已经习惯了高化肥投入的养分资源管理模式,广大农民根深蒂固的“施肥越多,产量越高”的观念也很难在短期内扭转,因而要在短期内降低化肥投入很难实行。欧洲国家成功的经验给了我们重要启示,但要符合我国农业生产的实际情况,必须在广泛进行科学宣传,改变管理、经营、生产者施肥观念的基础上,从基础、应用研究和宏观调控两方面着手,发展有理论根据的技术支撑。结合我国目前的现状,急需开展以下3方面的工作:(1)低化肥投入下实现作物高产的栽培管理技术;(2)在低化肥投入条件下,作物高产和高效利用养分的营养生理机制及调控途径;(3)低投入条件下,作物的高产潜力、高产种质资源筛选及其遗传和生物学基础研究、高产品种的选择和培育及推广应用。

与西方国家相比,我国的国家层次养分资源宏观管理还非常薄弱,应尽早出台养分资源管理政策和法规,通过立法、市场和税收等方式对化肥发展进

行调控,稳定或适度发展化肥;通过补贴和价格引导农民积极科学使用有机肥,提高有机肥在农业投入中的比例,发展循环经济、扩大豆科绿肥种植和生态农业,切实把化肥用量降到合理的水平。

参考文献:

- [1] 张福锁,马文奇.肥料投入水平与养分资源高效利用的关系[J].土壤与环境,2000,9(2):154—157.
- [2] 林葆,李家康,金继运.中国肥料的跨世纪展望[C]//中国农业学会.植物保护与植物营养研究进展.北京:中国农业出版社,1999:345—351.
- [3] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [4] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [5] 李家康,林葆,梁国庆,等.对我国化肥使用前景的剖析[J].植物营养与肥料学报,2001,7(1):1—10.
- [6] 李庆逵,朱兆良,于天仁.中国农业持续发展中的肥料问题[M].南昌:江西科学技术出版社,1998:1—133.
- [7] 张福锁,崔振岭,王激清,等.中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J].植物学通报,2007,24(6):687—694.
- [8] 张福锁,等.协调作物高产与环境保护的养分资源综合管理技术研究与应用[M].北京:中国农业大学出版社,2008:1—9.
- [9] 曾希柏,李菊梅.中国不同地区化肥施用及其对粮食生产的影响[J].中国农业科学,2004,37(3):387—392.
- [10] 崔振岭.华北平原冬小麦—夏玉米轮作体系优化氮肥管理—从田块到区域尺度[D].北京:中国农业大学,2005:14—23.
- [11] 张玲敏,马文奇,刘克桐,等.河北省小麦玉米施肥状况的评价[J].中国农业科技导报(增刊),2003,5,115—120.
- [12] Li S X, Wang Z H, Hu T T, et al. Nitrogen in dryland soils of China and its management[J]. Advances in Agronomy, 2009, 101: 123—181.
- [13] 王圣瑞,马文奇,徐文华,等.陕西省小麦施肥现状与评价研究[J].干旱地区农业研究,2003,21(9):31—37.
- [14] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业年鉴[M].北京:中国农业出版社,1980—2007.
- [15] 刘宏斌,李志宏,张云贵,等.北京市农田土壤硝态氮的分布与累积特征[J].中国农业科学,2004,37(5):692—698.
- [16] 王朝辉,宗志强,李生秀,等.蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留[J].环境科学,2002,23(3):79—83.
- [17] 杨学云,王彩绒,戴万红.土壤硝酸盐淋洗的渗漏池研究[J].西北农业学报,1999,8(6):122—125.
- [18] Ladha J K, Pathak H, Krupnik T J, et al. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospects and prospects[J]. Advances in Agronomy, 2005, 87: 86—156.
- [19] Li, S X. Management of soil nutrients on drylands in China for sustainable agriculture[J]. Soil Environ, 1999, 2(4): 293—316.
- [20] 张中一,施正香,周清.农用化学品对生态环境和人健康的影响及其对策[J].中国农业大学学报,2003,8(2):73—77.
- [21] 马文奇,张福锁,张卫锋.关于我国资源、环境、粮食安全和可持续发展的化肥产业[J].资源科学,2005,27(3):34—40.
- [22] 王文善.农业要可持续发展绝对离不开化肥[J].磷肥与复肥,2003,18(4):1—4.
- [23] 马文奇, Sisak I. 施肥量剧减会造成作物大幅度减产吗? [J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1296—1301.
- [24] 王荣辉.氮磷对冬小麦产量形成和水分养分利用的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [25] Guarda G, Silvano P, Giovanni D, et al. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread wheat cultivars grown at different nitrogen levels[J]. Eur J Agronomy, 2004, (2): 181—192.
- [26] Giller K E, Bignell D E, Lavell P, et al. Soil biodiversity in rapidly changing tropical landscapes: scaling down and scaling up[C]// Bardett R, Usher M B, Hopkins D W. Biological Diversity and Function in Soils. Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 295—318.
- [27] Swift M J, Izac A M N, van Noordwijk M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes— are we asking the right questions? [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2004, 104: 113—134.
- [28] 张福锁,马文奇,陈新平,等.养分综合管理理论与技术概论[M].北京:中国农业大学出版社,2006.
- [29] 张维理,林葆,李家康.西欧发达国家提高化肥利用率的途径[J].土壤肥料,1998,5:3—9.
- [30] 崔玉亭.化肥与生态环境保护[M].北京:化学工业出版社,1999.
- [31] Drinkwater L e, Snapp S S. Nutrients in agroecosystems: Rethinking the management paradigm[J]. Advances in Agronomy, 2007, 92: 163—186.
- [32] 王激清,刘全清,马文奇,等.中国养分资源利用状况及调控途径[J].资源科学,2005,27(3):47—53.
- [33] 林大仪.土壤学[M].北京:中国林业出版社,2002:90—91.
- [34] 翁伯奇,黄毅斌.经济绿肥在现代生态农业中作用及其发展对策[J].中国农业科技导报,2002,4(4):44—49.
- [35] 何录秋,薛灿辉,张亚,等.经济绿肥在农田高效种植制度中的应用研究[J].湖南农业科学,2009,(8):53—55.
- [36] 张金良,于志刚,张经.大气的干湿沉降及其对海洋生态系统的影响[J].海洋环境科学,1999,18(1):70—76.
- [37] Grennfelt D, Hultberg H. Effect of nitrogen deposition on the acidification of terrestrial and aquatic ecosystems[J]. Water Air Soil Pollut, 1986, 30, 945—963.
- [38] 顾宗濂.中国富营养化湖泊的生物修复[J].农村生态环境,2002,18(1):42—45.
- [39] Clark R B, Duncan R R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding[J]. Field Crop Res, 1991, 27: 219—240.
- [40] 王激清,马文奇,江荣风,等.养分资源综合管理与中国粮食安全[J].资源科学,2008,30(3):415—422.
- [41] Brancow H M, Doussinault G, Lecomte C, et al. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992[J]. Crop Sci, 2003, 43: 37—45.
- [42] 陈范骏,米国华,刘向生.玉米氮效率性状的配合力分析[J].中国农业科学,2003,36(2):134—139.

(英文摘要下转第 145 页)

Analysis of temperature changes under film during cotton seedling stage in south Xinjiang

WANG Wei-hua¹, WANG Quan-jiu^{1,2}, LIU Jian-jun³

(1. Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Xinjiang Survey and Design Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

Abstract: The temperatures of film-mulched soil and that without mulching in cotton seedling stage in Xinjiang Bazhou Irrigation Experiment Station are compared. The temperature of the 5 cm soil layer under film increases from 8:00 and decreases after achieving to the peak of 44℃ at 16:00. The temperature vs. the time curve can be fitted well by the sine function and it shows that the occurrence of the peak temperature gets increasingly later with the increase of soil depth. The difference between the soil temperature under film and that between films increases first and then decreases, and the time of the peak occurrence is delayed by the depth of the soil, and the changing amplitude tends to be stable with the increase of soil depth. The temperature of the 5 cm soil layer increases by 13℃ under film from 8:00 ~ 12:00 while by 8.5℃ between films, indicating that film mulching has good effects on improving soil temperature. By analyzing soil temperature trend in seedling stage, it is found that film mulching can increase temperature and reduce the rate of temperature change thus to avoid the damage to cotton caused by excessive temperature drop.

Keywords: seedling stage; film mulching; soil temperature; under film; between films

(上接第 138 页)

Analysis for the feasibility of achieving high yield and nutrient efficiency at low fertilizer input

ZHOU Ling, WANG Zhao-hui, XUE Cheng, LI Sheng-xiu

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Overuse of chemical fertilizer has led to both high production costs and serious risk of environmental pollution. Therefore, reduction of fertilizer input while increasing its efficiency will be crucially important for sustainable agriculture. This paper compared chemical fertilizer rates and grain yield of the main crops in different countries, analysed the typical instances that decreased fertilizer use did not lead to obvious reduction of crop yield in western European countries, and found that high grain yield with high nutrient use efficiency could be realized at the same time by rational nutrient management. Based on the successful experience abroad and the agricultural practice in China, we found that balancing nutrient supply, fully use of nutrients other than that from fertilizers and further exploring the biological potential of crops are three important ways for realizing high grain yield with high nutrient use efficiency. Nowadays, basic research is urgently needed for decreasing chemical fertilizer input, and comprehensive management on nutrient resources should be enhanced at the same time.

Keywords: grain yield; nutrient use efficiency; low fertilizer input