

全球环境压力下的增值肥料发展策略

许秀成, 汤建伟, 李葭萍, 张宝林, 王好斌

(郑州大学 国家钙镁磷复合肥技术研究推广中心, 河南 郑州 450002)

[摘要] 世界经济繁荣造成的富裕阶层对生活的更高要求, 成为全球环境压力的主因。生产生物燃料, 增加了耕地的产出强度。利用尽可能少的耕地生产更多粮食的强化栽培是现代农业的必然趋势。为此, 提出了基肥以有机肥为主, 以溶水性化学肥料为辅, 添加多种有益微生物; 追肥以新型非水溶性作物营养源的灌溉施肥, 提供大量营养元素的肥料发展策略。

[关键词] 环境压力; 生物燃料; 强化栽培; 有机无机微生物肥料; 灌溉施肥

[中图分类号] TQ 44 [文献标识码] A [文章编号] 1007-6220(2008)06-0005-04

Tactics for development of value-added fertilizers under the global environmental pressure

XU Xiu-cheng, TANG Jian-wei, LI Di-ping, ZHANG Bao-lin, WANG Hao-bin

(National Center of Research and Popularization for Calcium, Magnesium, Phosphate & Compound Fertilizer Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: The higher life requirements of the rich stratum caused by world economy prosperity become the main global environmental pressure. The production of biofuel increases output strength of cultivated land. The intensified cultivation for producing the more grain with the least arable land is the trend of modern agriculture. A development strategy is proposed: in base application, organic fertilizer is main, citric acid soluble fertilizer is of subsidiary role, and add many microorganism species, meanwhile, in dress application, a new type fertigation with water insoluble nutrients source for crops.

Key words: environmental pressure; biofuel; intensified cultivation; organic, inorganic and microorganism fertilizer; fertigation

1 全球环境压力

人口增长, 社会财富快速扩张, 温室气体排放剧增, 给全球环境带来了巨大的压力^[1]。这些压力也直接、间接地影响到对农作物、肥料的需求。

1.1 人口正在缓慢增长

1950年世界人口25.2亿, 2000年61.2亿, 2050年预计达89亿。前50年, 世界人口年均增长1.79%; 而后50年, 年增长将低于0.75%。世界人口增长速度在放缓。

1978年我国人口9.63亿, 2000年12.67亿, 预计2033年达最大值为14.7亿~15亿。前22年, 年均增长1.25%; 后33年, 年增长将低于0.5%。

美国www.Census.gov网站, 每分钟更新一次世界人口及美国人口的预测值。例如2008年6月12日(华盛顿时间)2时23分, 预测世界人口6 673 616 103人, 美国人口304 315 516人^[2]。不同机构选择的预测模型不同, 其结果会有较大差别。

对世界性的数据, 只能是概数。通常认为2008年世界人口为67亿。

1.2 经济繁荣正在扩展, 赤贫人口将急速减少

1950年世界经济总量(生产总值, GDP)仅6万亿美元, 人均GDP约2 400美元; 2006年为48万亿美元, 人均GDP约7 300美元; 预计2050年将达140万亿美元, 人均GDP约1.6万亿美元。100年内世界人口年均增长率1.27%, 而社会财富年均增长率为3.2%, 世界人民总体上在走向富有。

2006年我国经济总量2.65万亿美元(与美国1980年2.63万亿美元相近), 我国人均GDP 2 016美元; 美国2006年经济总量已达13万亿美元, 人均GDP 4.3万美元。

[收稿日期] 2008-05-26

[作者简介] 许秀成(1936-), 男, 安徽歙县人, 教授, 磷肥与复肥杂志主编。E-mail: pxusun@126.com

[基金项目] 国家科技支撑计划“复合(混)肥高效优化技术研究”(2006BAD10B03)项目资助

国内生产总值 (GDP) 是一个国家或地区在一定时间内 (通常为 1 年) 新生产的全部最终产品和服务的货币价值。它是以本国货币计算, 并以汇率折合美元便于各国比较。由于 1 美元汇率折合的本国货币在国际市场可以买到多于 1 美元或少于 1 美元的产品或提供的服务, 所以应注意区分: 以“汇率计算的 GDP (名义 GDP)”及以“购买力平价计算的 GDP”。“购买力平价”是对比两种货币在不同国家购买相同数量和质量商品和服务的价格比率。

2006 年世界经济总量, 按汇率计为 48 万亿美元, 按购买力平价计为 66 万亿美元。48/66 = 0.73, 这表明 2006 年世界各国购买力平价的平均值为 0.73 (2001 年为 0.69)。许多发展中国家, 为维护本国人民利益, 过低估计本国货币对美元的购买能力。因此, 当这些国家发展了, 其货币对美元升值是必然的。

对我国经济总量的评估, 也可看到不同数据: 2005 年我国按汇率计算的 GDP 总量 2.244 万亿美元 (人均 GDP 1 720 美元); 世界银行按购买力平价计算的 GDP 总量 8.819 万亿美元 (人均 GDP 6 750 美元)。即世界银行认为 2005 年中国购买力平价为 2.244/8.819 = 0.25 (2001 年为 0.22); 2007 年 12 月 17 日世界银行重新宣布, 中国经济规模被高估了 40%, 通过改进的方法估计的中国购买力平价 GDP 总量为 5.333 万亿美元 (人均 GDP 4 082 美元), 即修正后中国的购买力平价 2005 年为 2.244/5.333 = 0.42。今后, 人民币对美元升值、人民币在国内购买力的贬值将使我国购买力平价逐渐接近世界平均值 0.7 左右。因此, 人民币对美元升值及国内物价上涨是我国走向富裕国家的必然趋势。

人均 GDP 越高, 人们越富裕, 消耗的资源 (能源) 越多, 这加剧了对环境的污染。早在 1981 年美国学者 J.Rifkin 便猛烈抨击美国人的生活方式“占世界人口 6% 的美国人, 为了维持目前的生活水平, 要耗费约 1/3 世界矿物资源的年产量”^[3]。当今, 美国中等收入家庭年收入为 5 万至 8 万美元, 据比较, 年收入 10 万人民币的中国家庭就能享受到类似年收入为 4 万美元的美国家庭生活方式。目前, 全世界有 5.9% (约 4 亿人) 的人属于中产阶级, 2030 年将达 15% (约 12 亿人)。世界上如此多的富人, 将使矿物资源消耗成倍增长! 世界经济繁荣带来的后果将成为全球环境压力的主因, 富裕的人们对农作物也将提出更多、更高的需求。

1.3 温室气体排放正令人不安地增长

2006 年全球碳排放总量约 70 亿 t (折合 CO₂ 250 亿 t), 2056 年可能达 140 亿 t 碳^[4]。

荷兰某环境评估机构声称: 由于中国经济快速发展, 导致能源消费剧增。2006 年中国排放 CO₂ 62 亿 t, 而美国为 58 亿 t。我国外交部发言人秦刚在 2007 年 6 月 21 日的例行记者会上称, 中国人均 CO₂ 排放量 3.66 t。据此, 按 13.14 亿人口计, 可推算我国 CO₂ 排放总量仅为 48 亿 t。

大气中 CO₂ 含量, 世界工业革命之前为 0.028% (280 ppm, 体积分, 下同); 工业革命后, 开始燃烧煤、气、油发电, 至使 20 世纪 50 年代末达 0.0315% (315 ppm), 目前为 0.0385% (385 ppm); 若维持目前的 CO₂ 排放增长率, 2057 年将超过 0.080% (800 ppm), 大气温度将上升 5℃^[5]。据介绍, 大气中 CO₂ 在 0.05% ~ 0.06% (500 ~ 600 ppm) 能促进光合作用; 而 0.07% (700 ppm) 以上, 由于气孔的闭合, 会钝化光合作用 (武田支四郎: 环境变化对农业生态系的影响, 日本“粮食生产与环境”第 103 次总会的讲演纪录, 1989)。若一直保持目前的 CO₂ 排放量, 则 2057 年大气 CO₂ 为 0.0525% (525 ppm), 气温将上升 3℃。研究表明: 全球平均气温上升 4℃, 会有 30 多亿人面临缺水; 上升 3℃全球将增加 1 亿多人面临粮食不足窘境; 上升 1℃, 可导致海平面上升约 19 cm。

描述全球环境压力著名的 IPAT 主方程为: 环境压力 (Impact) = 人口数量 (Population) × 人均 GDP (Abound, 代表富裕程度) × (环境影响因素/全球 GDP 总量) (Technique, 反映技术水平)。

IPAT 方程式表明, 人口数量、富裕程度均增加全球环境压力, 而技术水平的高低可影响环境压力大小。反映 CO₂ 排放的技术水平是比较百万美元 GDP CO₂ 排放量。据耶鲁大学和哥伦比亚大学联合研究的《2006 年环境表现指数》, 每百万美元购买力平价 GDP CO₂ 排放量世界平均值为 363 t, 其中: 法国为 56 t、日本 57 t、德国 80 t、英国 118 t、美国 171 t、印度 621 t、中国 731 t、俄罗斯 914 t、蒙古 1 992 t。足见我国应努力提高 CO₂ 减排技术水平。

2 人口、富有、减排对作物、肥料需求的影响

2.1 人口、富有的影响

笔者曾根据 1994 年我国农产品生产状况, 为保证人均年占有粮食 (口粮、饲料粮) 380 kg、棉花 3.7 kg、油料 17 kg、糖料 22 kg、瓜菜 160 kg、水果 30 kg, 并假设农田作物所需 N、P₂O₅、K₂O 来

自化肥的比例分别为 70%、50%、40%，N、P₂O₅、K₂O 肥料利用率分别为 35%、18%、50%，考虑了一定数量的林业、牧草、水产、景观及工业用肥量，求得每增加 1 000 万人口需增加化肥用量 65 万 t (N 31.7 万 t、P₂O₅ 17.4 万 t、K₂O 15.9 万 t)^[7]。

富裕了的人们，动物食品消费量剧增。在日本每生产 1 kg 商品鸡蛋、鸡肉、猪肉、牛肉分别耗费饲料谷物（折合玉米）3、4、7 及 11 kg；美国每生产 1 磅（1 磅 = 0.454 kg）鸡肉、猪肉及牛肉，分别需耗谷物 2、4、7 磅^[8]。中科院康晓光教授比较了 100 个国家人均 GDP 与人均谷物使用量之间的关系，二者存在正相关^[9]。

2.2 CO₂ 减排导致占用更多的土地生产生物燃料

现代生活中的衣食住行，除衣大部分可用合成纤维外，食、住、行均比以往的生活方式需求更多的土地与肥料为支撑。

● 玉米乙醇 (Corn ethanol)：2006 年美国生产了 49 亿加仑（1 加仑 = 3.785 L）玉米乙醇，在美国的生产成本 1.09 美元/加仑。2007 年 7 月美国汽油零售价 3.03 美元/加仑，等能量的玉米乙醇 (E85) 价 3.71 美元；生产和使用过程中，每加仑汽油排放 CO₂ 20.4 磅，而玉米乙醇排放 16.2 磅，少排放 22%。

● 甘蔗乙醇 (Cane ethanol)：2005 年巴西生产了 40 亿加仑甘蔗乙醇，在巴西的生产成本 0.87 美元/加仑。2007 年 6 月巴西汽油（掺 25%乙醇）零售价 4.91 美元/加仑，而等能量的甘蔗乙醇价 3.88 美元；生产和使用过程中，每加仑汽油排放 CO₂ 20.4 磅，而甘蔗乙醇仅排放 9 磅，少排放 56%。

● 纤维乙醇 (Cellulosic ethanol)：正在开发的纤维乙醇，与汽油相比，仅排放 1.9 磅 CO₂，可减排 91%^[5]。

有充足可耕地的美国正在发展生物燃料，美国国会要求到 2012 年美国的生物燃料消费量至少要达到 75 亿加仑。巴西通过砍伐亚马逊热带雨林区种植甘蔗生产生物燃料。誉为“地球之肺”的 Amazon 流域热带雨林区正在变为农场，未来 20 年将毁坏 20% 的雨林区，人们惊呼应停止这种掠夺土地的斗争^[10]。

汽车每行驶 30 英里（1 英里 = 1.609 km）需 1 加仑汽油，年行驶 1 万英里需 1t 汽油，汽油燃烧将排放 3t CO₂。据估计，目前全球有汽车 20 亿辆，若世界所有的车辆都以生物燃料为动力，意味着全球耕地面积要增加 1 倍^[11]。足见发展生物燃料不

可能也不应该用以解决人们“行”所需的燃料。

3 环境压力下的增值肥料发展策略

如上所述，我国将承受人口增加、社会富有、CO₂ 减排 3 项巨大的环境压力。我国人多地少，不宜与美国一样大规模生产玉米乙醇；以破坏热带雨林发展甘蔗乙醇也是不可取的，而日本的经验可供借鉴。日本 21 世纪农业、农学研究会汇集 28 位专家编写了《奔向循环型农业·农学的展望》一书，从各方面阐述了农业、农学的未来^[12]。

现结合我们多年来的研究成果及对美、日等国经验的学习，谈谈对发展我国增值肥料的看法。

3.1 缓解环境压力要求新型肥料

长期以来人们为缓解环境压力，将注意力集中在能提高肥料利用率的肥料及施肥方法，如缓效肥料（缓释、控释肥料）、稳定肥料（含硝化抑制剂、脲酶抑制剂的肥料）、叶面施肥、灌溉施肥。这些肥料在我国称为“新型肥料”，国际上称为“增值肥料”（Value-added fertilizers）。

郑州大学乐喜施磷复肥研究推广中心长期从事开发并推广“包裹型复合肥料”（肥包肥），包括：以钙镁磷肥、磷矿部分酸化为包裹层的第一类、第二类包裹型复合肥料及以二价金属磷酸铵钾盐为包裹层的第三类包裹型复合肥料。英国《Nitrogen》杂志、《Fertilizer International》杂志均给予了较高的评价。

3.2 生态肥料工艺

生态学是研究生物与环境相互关系的科学，它正在成为人类合理利用资源、改善与保护环境质量的理论基础。

鉴于不同地区人口密度、繁华程度不同，以致污染排放量对地区环境压力各异。为将原郑州工业大学“化学工艺专业”改造为“生态工艺专业”提供理论支撑，根据描述全球环境压力的 IPAT 主方程的思路，笔者提出了评价地区环境压力强度的 IBUT 方程 ($I = B \times U \times T$)。并用此方程评价了 2003 年中国 4 地区（大陆、台湾、香港、澳门）汽车尾气排放及餐馆厨余造成的地区环境压力^[13]。

在 IBUT 方程中， I 为地区环境压力强度 (Intensity)； B 为地区财富集中度，它反映地区繁华程度 (Bustling)，可由人口密度乘以人均 GDP 求得； U 为万元产值的环境影响因素，例如：创造万元产值拥有汽车量，创造万元产值的施肥量，这在某种程度上反映环境因素的利用率 (Utilization)； T 为单位环境因素产生的污染物，则反映技术水平

(Technique)。笔者用 IBUT 方程，计算了 2002/2003 年度中、美、日 3 国氮肥对环境的污染强度分别为 1 330、339、263 kgN/km²，中国的污染强度约为美国的 4 倍、日本的 5 倍^[14]。

3.3 产业化农业的肥料策略

我国用于生产粮食的耕地将越来越少，利用尽可能少的耕地生产更多粮食的强化栽培是必然趋势。最近袁隆平院士提出的“种三产四”就是要用 3 亩（1 亩 = 667 m²）耕地产出 4 亩地的谷物。强化栽培要求高肥力、高品质的土壤，产业化要求精准、便捷的施肥。以下是在“十一五”国家科技支撑计划资助下，我们正在推进的策略。

3.3.1 基肥

为土壤提供充足的、对根系生态环境友好的具有多形态养分的有机-无机-微生物基肥。

● 以有机肥为主，注意用不同的有机肥将土壤的堆密度逐渐调节在一个适宜的范围内（例如：1.0 g/cm³ 左右）。使重质土壤变轻，轻质土壤变重，使土壤中三相（固、液、气）调节在最适宜范围内，使作物根系从土壤中大孔隙穿过，获得充足氧气；使作物根毛能从小孔隙的液相中吸取养分。

● 化学肥料以枸溶性肥料为主：从含磷废水中回收磷酸铵镁，利用钾长石、海绿石生产含钾钙镁磷肥，以提供对根系及根际微生物友好的枸溶性 N、P₂O₅、K₂O、MgO、SiO₂、CaO、FeO。

● 用化学肥料调节有机-无机-微生物肥的 C/N 比（质量比，下同）。适宜的 C/N 比（15~20），营造有利于根和微生物繁殖的环境，并调节土壤的盐基饱和度和盐基各离子的平衡。在施肥设计中，使土壤胶粒的阳离子交换量中 $n(\text{CaO}) : n(\text{MgO}) : n(\text{K}_2\text{O}) = 5 : 2 : 1$ 左右。在这种最佳的盐基平衡中，作物的品质好，且稳定。

● 基肥中的水溶性 N、P₂O₅、K₂O 应控制在微生物生存所能容许并不产生根系“避肥性”的范围内。大量的 N、P₂O₅、K₂O 通过灌溉施肥提供。

● 添加含多种有益微生物的生物菌肥，这些具有固氮、解磷、解钾及在繁殖过程中能产生大量胞外多糖的微生物，可以构建土壤的微生物肥力。

● 有机-无机-微生物基肥按能耗最低、对环境排放量最小的生态肥料工艺加工而成。

这种基肥暂定名为“根系生态调控剂”，它属于“增值肥料”之一。在“十一五”国家科技支撑计划“复合肥高效优化技术研究（2006BAD10B03）”课题中，郑州大学课题组承担了“专题 3. 复合肥

料功能升级技术研究”。研制了“6818”根系生态调控剂，在水稻、小麦、玉米、蔬菜上表现良好的节肥、省农药效果。

3.3.2 追肥

产业化农业有可能采用先进的灌溉施肥（Fertigation），郑州大学“十一五”课题组开发的新型灌溉施肥方法（Fertigation with water insoluble nutrients source）以非水溶性的作物营养源，连续向灌溉水提供多种营养元素（P₂O₅ 1~200、CaO 2~300、MgO 1~300、SiO₂ 1~300、Fe 1~100、Cu 0~5、Zn 0~5、Mn 0~5、B₂O₃ 0~5 mg/kg 以及 N 0~400、S 0~300、K₂O 0~200 mg/kg）。该方法已获中国专利并已申请国际 WPI 专利，经 WPI 检索完全符合新颖性、创造性及实用性要求。

根系生态调控剂及新型灌溉施肥方法均需与农学家、土壤学家、作物营养学家密切合作，其配方依据除测定土壤的营养元素含量外，还需测定土壤的堆密度、有机肥的 C/N 比、土壤的阳离子交换量（CEC）及阳离子构成、土壤的 pH 值等。这 5 项指标是今后改土、测土配方施肥内容的扩展与深化。

[参考文献]

[1] George Musser. The climax of humanity[J]. Scientific American, 2005(9): 44-47.

[2] U.S.Census Bureau. <http://www.Census.gov>.

[3] 杰·里夫金. 熵：一种新的世界观[M]. 吕明，译. 上海：上海译文出版社，1987.

[4] Socolow R H, Pacala S W. A plan to keep carbon in check[J]. Scientific American, 2006(9): 30.

[5] Bill Mckibben. Carbon's New Math[J]. National Geographic, 2007(10): 33-37.

[6] Graedel T E, Allenby B R. Industrial Ecology[M]//施涵，译. Pearson Education Asia Limited 2003. 北京：清华大学出版社 2004.

[7] 许秀成. 为促使我国肥料工业 21 世纪稳定持续发展的建议[M]//中国化工经济技术发展中心. 1997 年中国化学工业发展指南. 北京：化学工业出版社，1996 200-206.

[8] 许秀成. 再论“人口·粮食·环境·肥料”[J]. 磷肥与复肥 2005, 20(1): 1-5.

[9] 康晓光. 地球村时代的粮食供应策略——中国的粮食国际贸易与粮食安全[M]. 天津：天津人民出版社，1998.

[10] Scott Wallace. Farming the Amazon[J]. National Geographic, 2007(1): 40-71.

[11] Michael Parfit. Powering the future[J]. National Geographic, 2005(8): 2-31.

[12] 21 世纪农业·农学研究会. 农业·农学の展望——循环型社会に向けて一[M]. 东京：东京农业大学出版社 2004.

[13] 许秀成. How to practice the green/environmentally friendly restaurant in Hong Kong[C]//在香港饮食环保策略及环保食肆工作研讨会上的讲演. 香港 2005.

[14] 许秀成. 环境压力下的生态肥料发展策略[C]//在国家杂交水稻工程技术研究中心《生态农业与可持续发展国际研讨会》上的报告. 长沙 2008.