李垄清,张季惠,杨一鸣,等. 论农业的变迁与发展对全球环境变化的驱动作用[J]. 干旱气象,2013,31(2):406-411, doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-02-0406

论农业的变迁与发展对全球环境变化的驱动作用

李垄清[1],张季惠[3],杨一鸣[3],乌 兰[3],王鹤龄[2],李 裕[2,3]

(1. 四川大学轻纺与食品工程学院,四川 成都 610064;2. 中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,甘肃 兰州 730020;3. 西北民族大学化工学院,甘肃 兰州 730030)

摘 要:上世纪全球范围的绿色革命浪潮使世界粮食产量翻倍,同时也付出了高昂的环境代价。在此形势下,农业的变迁发展成为国际社会关注的焦点问题。本文在文献综述基础上,分析了现代农业驱动全球环境变化的主要原因和重要性,讨论了正在变迁发展的替代农业可持续性,并从长远发展和现实角度对正在进行的世界农业变迁做了一些初步思考。

关键词:常规农业;有机农业;富营养化;环境变化

文章编号:1006-7639(2013)-02-0406-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-02-0406

中图分类号:S162.8 **文献标识码**:A

引 言

自20世纪60年代开始,世界范围的绿色革命浪潮推动世界粮食产量翻倍的同时,也付出了高昂的环境代价[1-4]。现代农业过度开垦和利用陆地生态系统1/3以上的土地资源,消耗了可利用的1/2淡水资源。伴随着农业上大量氮、磷的投入,现代农业增加了温室气体排放,导致湖泊富营养化和水污染,逐渐地驱动全球环境变化[1,5-6]。并且,随着农业投入力度不断加大,自然生态系统中氮、磷和杀虫剂叠加产生的生物效应,加快了生物灭绝和生物多样性丧失的速度,引发了人类种种猜测和恐慌[2-4,7-9]。面对如此严峻的环境形势,有些学者悲观地认为现代农业发展驱动的全球环境变化,毫不逊色于气候变化给环境和社会方面带来的冲击[2,7]。

然而,人类的智慧终将不会默认现代农业继续驱动全球环境变化。在一个渐变的环境条件下,虽然世界农业还没有完全走出高投入、高产量的阴影,以"有机农业"为代表的"替代农业"已经从20世纪中叶在西欧兴起,并迅速在全球掀起了另一场以环境友好为主题的绿色革命[10]。修正现代农业的弊病,合理开发和利用自然资源,走农业可持续发展道路在社会各界达成了共识。本文旨在通过文献综述,了解世界农业变迁与发展现状,讨论可持续农业研究的有关理论问题。

1 驱动全球环境变化的农业因子

现在看来,驱动全球环境变化的现代农业因子主要包括合成化肥和农药、灌溉,以及陆地过度开垦。这些绿色革命以来提高粮食产量的主要措施如何变为驱动全球环境变化的内在动因?

1.1 施肥与灌溉的作用

从1960年到1995年的35 a内,全球氮肥和磷肥的产量分别增加了7倍和3.5倍[11],到1998年,全球氮肥和磷肥的产量已分别达到87.0×10^6 Mt和34.3×10^6 Mt,其中农业投入的氮数量相当于陆地生态系统中豆科作物、微生物固氮数量的2倍。同样,农业投入的磷数量是矿质磷化物通过自然过程转化为有效磷数量的2倍[12]。2050年,如果全球N肥的施用量在现在的基础上再增长2.7倍得以实现[10],那么陆地生态系统受纳的各种自然和人类源的氮将达到年输入371×10^6 Mt。同时,按目前磷肥施用量增长趋势预计,2050年陆地生态系统中磷的

收稿日期:2013-04-07;**改回日期**:2013-05-07

基金项目:国家自然科学基金项目(41261052)、公益性气象行业科研专项(GYHY201106029)、国家重点基础研究发展计划项目2013CB430200(2013CB430206)、干旱基金项目(IAM201213)共同资助

作者简介:李垄清(1992-),女,本科在读,从事食品安全方面的研究.

通讯作者:李裕(1964-),男(汉族),甘肃会宁人,博士,教授,主要研究方向为农业生态学. Email: lifumeng@yahoo.com.cn

数量将超过现在年施磷数量的 2.4 倍,即 83.7×10^6 Mt[11],再加上全球环境变化可能加速释放的自然磷源,很可能 2050 年环境中 P 增加的规模与 N 增长相当。目前的农业技术,包括秸秆还田等只能勉强做到作物氮利用率 30% ~50%,以及磷利用率不超过 45%[13-14]。即便是发达国家,也只能做到收获农作物约 70% 都用于饲养家畜[15]。这种情况下,只有极少量的牲畜排泄物中的 N、P 元素能够参加 2 次利用。因此,如果人类到 2050 年还不能解决化肥利用率低的问题,那么每年将会有超过 111×10^6 Mt 的氮和 45×10^6 Mt 的磷进入自然环境。如此规模的合成化肥已经或正在改变农业生态系统,以至于地球生态系统的生物地球化学循环[16-17]。不仅如此,氮肥施用导致土壤严重酸化[18-19],加快了土壤中营养元素的循环速度,降低了植物对土壤水分的利用率[20-21],增加了土壤中镉、铅、锌等重金属移动性,对粮食安全、食品安全以及地下水构成了潜在的污染风险[21-22]。

中国在有限土地上创造保障 13 亿多人口粮食供应奇迹的同时,31% 的地区化肥施用量已经达到作物的最大需要量[23]。其中磷肥年施用量占世界磷肥消费量的 25%,并在 1991 ~2001 年间增加了 41.2%,达到 206×10^4 t,与氮肥施用量 435×10^4 t 构成不协调的比例[24]。目前,土壤中大量磷素盈余,与重金属污染环境问题在一些地区已经显现。

灌溉是导致水域生态系统富营养化和低洼土地盐碱化的直接驱动力。目前全球 40% 的粮食,是由包括世界重要的几大水稻产区在内的、占世界总耕地面积 16% 的灌溉农业生产的[8]。虽然人类早已意识到农业灌溉与水体富营养化之间的相关性,但在 1961 ~1973 年间,世界农业灌溉面积却还是每年以 2.2% 的速度递增[25],到 2050 年,预计世界范围内灌溉农业面积可能会再扩大 1.9 倍[11,26]。灌溉引起的富营养化与过度捕捞、水产养殖一道,正在改变水域生态系统的物种结构,威胁海岸和河口生态系统生物多样性[26]。比如墨西哥湾水域,农业投入已经引起了海岸生态系统中有毒藻类的大量繁殖,出现了大量的“低氧区”[27]。为高效利用水资源,人类修筑的数目庞大的堤坝,也严重影响到河流生态系统的正常功能[28]。我国农业有效灌溉面积 5.59×10^7 hm^2,仅占全国耕地的 43%。但全国 21 个重点湖泊、水库中,满足Ⅰ ~ Ⅲ类水质的湖库仅 5 个、占 23.8%,Ⅳ ~ Ⅴ类水质湖库有 8 个、占 38.1%,劣Ⅴ类水质湖库有 8 个、占 38.1%,重点湖泊、水库的总氮和总磷几乎都处于中度或重度富营养化状态[29]。

1.2　农药应用和作业机械化的作用

农药的施用在有效作用于标靶的同时,对非标靶物种的多样性和丰富度造成了严重影响,直接破坏了农业生态系统中各营养级之间的食物链关系[30-31]。更为严重的是目前农药施用靶标率很低,我国仅 1% 作用于靶标,70% 左右随水下渗、随空气扩散,直接污染了农业以外的环境,包括水环境和空气质量[23]。

农业机械化是现代农业的重要发展标志,也是人类从繁重体力劳动中解放出来的重要手段。然而,机械化不仅直接威胁到土壤中软体动物如蚯蚓等的生命,还对土壤动物和微生物的生存和活动产生了重要的影响,直接或间接地破坏了土壤结构。

事实上,从《寂静的春天》出版以来,人类早已认识到杀虫剂环境安全问题,但世界人口增加对粮食的需求依旧推动全球杀虫剂产量连续增长了 40 a[11]。有人预测未来杀虫剂仍将保持持续增长的态势,很可能 2050 年的产量将在目前规模上再翻 2.7 倍[11]。作为农业大国,中国化学农药的使用量在过去的 40 多 a 间保持强劲增长势态。2003 年,农药产量已达到 1.31×10^9 kg,农田单位面积农药用量高达 10 $kg \cdot hm^{-2}$,远远超过世界平均水平[32]。如果人类默认杀虫剂产量这样的增长趋势,将会面对更为严峻的环境问题。

1.3　开垦的作用

世界上大片森林、草地及其他天然生物栖息地已经被开垦为农田。一般来讲,开垦与道路开发、城乡发展一道,对包括碳储存在内的生态服务功能和物种多样性造成了严重影响[33-34]。已有学者呼吁,以侵占生物栖息地的方式扩大可耕地,是人类进行的一场“零和游戏”[11]。

按照联合国粮农组织 2001 年的规划,如果全球耕地增长趋势能够得以延续,那么全球作物种植面积将在 2020 年和 2050 年分别增加 1.2×10^8 和 3.5×10^8 hm^2。以此推算 2050 年全球耕地面积将在现有规模上再扩大 18%。即便是 2050 年发达国家退耕还林或退耕还牧放弃 1.4×10^8 hm^2 的耕地,但发展中国家的耕地需求有可能会再次开垦 10^9 hm^2 的农田,意味着地球上又要失去一片超过美国国土面积的自然生态系统,相当于全球仅存可开垦土地潜力的 50%[11]。并且,受适垦地分布的区域性限制,新的农垦很可能集中在拉丁美洲和撒哈拉以南非洲中部地区进行[1],对这些地区将带来怎样的环境问题?是今后值得及早探索的科学问题。

综上所述,合成化学品施用量的增加、灌溉和开垦强度的提高,已经并继续在驱动全球环境变化。尽管如此,我们仍不愿意承认上述2050年的预测会真的降临到未来地球上,因此人类早已开始着手寻找“替代农业”以阻止全球环境变化进程。那么现代农业将来向何方向发展?

2 现代农业发展对全球环境变化驱动作用展望

工业革命以来,世界农业经历了2次变迁发展。第一次农业变迁,绿色革命使1 hm^2 耕地仅仅能养活10个人的传统农业,实现了每公顷耕地养活40人的奇迹[35],食品的生产和消费从地方和局域融入国内以至国际食品系统[36]。基于对现代农业上述的弊病,从上世纪中叶开始的第二次农业变迁——有机农业模式[37],至今方兴未艾,其宗旨是农业的可持续性和环境友好。有机农业在世界范围内尤其是欧洲曾一度的快速发展,被寄予“替代农业”的厚望。但从过去几十年的发展来看,虽然环境友好,但是低产量的有机农业技术替代现代农业以后,难以应对未来90亿人口粮食的需求。也有人曾质疑有机农业只是“城市居民的梦想”[38]。并且,低效率利用土地的有机农业,可能迫使我们垦完世界上最后几公顷荒地!也不可能有足够的土地作为农业的缓冲地带,供各种动物、昆虫栖息,以维持有机农业要求的生态环境的稳定性。因此,有机农业替代现代农业争论一直没有停止,至今未能达成共识。

但正是受有机农业可持续性和环境友好理念的驱动,“替代农业”发挥现代科学技术优势,在宗旨不变的情况下,已经改变了有机农业的IFOAM原则、IFS(Integrate Farming System)原则和UKROFS(the United Kingdom Register of Organic Food Standards (UKROFS) part of the Department for Environment)标准等有机农业的内容,推动了有机农业的纵深发展。比如中国,创造性地开创了绿色食品的行动计划,在蔬菜、水果等高物质、高能耗的农业实践中,全面实施无公害食品战略,既兼顾可持续发展原则和有机农业的特点,又很好地符合了中国国情[39]。绿色食品的分级为A级和AA级,在国际上尚未就有机农业的理论与实践达成共识之前,限时、限品种、限量使用安全性较高的合成化学品的A级食品与生产和加工过程中完全不使用化学合成的肥料、农药、兽药、动植物生长调节剂、食品添加剂的AA级有机食品的共存,不失为是农业可持续发展探索过程中的另一条新径[40]。

不仅如此,现代科学技术基础上发展起来的各种“替代农业”,如昆虫的综合防治[41]、作物综合管理[42]、低投入可持续农业[43]、低外部投入可持续农业[44]、农业生态学[45]、生物动态农业[46]、永久种植[47]和转基因技术[48]等,肩负起改革现代农业弊病的责任,正在努力打造既环境友好,又能保障粮食和食品安全的农业新模式。

然而,正当人类积极探索农业转型发展的同时,全球气候变暖对第二次农业变迁发展提出了挑战性课题。现在预估,全球变暖将从土壤质量[49]、土壤微生物[50]、病虫害[51]以及矿质元素的生物利用率[52]等方面,全方位多层次地影响未来农业生产,引起农业季节性、可耕地的变迁,改变作物生长期和生物地理适应性[53-54]。全球而言,局部增温1~3 ℃农业产量有所增加,超过这个温度就将减产[55]。在全球变暖已经成为一个不争的事实情况下,也在科学上还在争论气候变不确定性的时候,低纬度地区,尤其是对气候变化敏感和适应性相对较弱的干旱、半干旱地区,对气候变暖的反应已经显现[56-59]。

新的挑战面前,各国科学家积极探索适应和应对气候变暖的对策。比如我国科学家提出应对和适应西北半干旱地区气候变暖的“冬小麦北移”、“压夏扩秋”和“多熟种植”等作物种植结构和种植制度调整措施,已经应用于农业生产实践[59]。虽然受科学技术和认知过程的限制,人类社会还没有从农业设施和技术方面做好应对气候变暖的充分准备,但节能减排、低碳农业已经达成共识。

因此,第二次农业变迁不仅要革新常规农业,还必须应对和适应全球变暖,谋求农业可持续发展的集约科学技术和农业模式。以目前的技术进步和农业变迁的步伐,尤其是发展中国家适应和改进农业技术的情况下,发展中国家与发达国家之间粮食产量差距将逐步缩小。那么,到2050年,我们将仅仅需要再开垦 2.0×10^8 hm^2 耕地,排放1 Gt/a温室气体和利用225 Mt/a氮足以维持将来人类对粮食的需求[60-61]。比原来的预测将少开垦 8.0×10^8 hm^2 耕地、减排2 Gt/a温室气体和减少25 Mt/a氮投入。由此看来,尽管有机农业今天并没有完全替代现代农业,全球环境变化和粮食安全仍是这个世界的焦点问题,但各种替代农业驱动的第二次世界农业变迁,终将推动世界农业走出现代农业环境影响的阴影。

3 未来农业发展展望

在全球环境变化背景下,一方面我们必须正视

现代农业驱动环境变化的事实。正如能源消费增长推动大气中温室气体浓度攀升一样,农产品需求可能成为未来全球非气候类环境变化的主要推动力。保守预计,2050 年全球人口规模至少在现有基础上再增加 50%,伴随经济发展和世界范围内富裕程度的提升,肉食消费无疑会进一步增加。若以 25 ~ 50 kg 谷物生产 1 kg 瘦肉计算,那么现在世界谷物年产量的 40% 可能作为饲料喂养家畜生产肉食供人类消费[62],意味着世界谷物的年产量将增加到现在 1 倍以上方可满足人类对粮食的需求,亦即全球谷物消费量成倍增长已成定局[61]。在淡水资源短缺、有限可开垦陆地和现有耕地面临退化的几重压力下,假如发达国家的高强度农业和发展中国家的开垦趋势都将继续的话,到 2050 年,将再开垦 1 亿 hm^2 耕地,且以 CO_2 形式排放的温室气体可能达到 3 Gt/a,氮用量将达到 250 Mt/a[61]。不仅给自然环境保护带来了巨大挑战,也严重地影响到全球气候变化。

另一方面,可以肯定地讲,人类的智慧绝不会默认农业发展继续驱动全球环境变化。各种“替代农业”及其农业技术,如害虫综合防治、测土施肥、节水灌溉、秸秆覆盖、免耕、高产品种,以及套种等,在提高作物产量的同时,降低了农业的用水量、施肥量以及杀虫剂的使用量,有效遏制了农业用地进一步向非农业区扩张[5-6,8,17,63];保护并修复湿地和河岸生态系统,不仅有效阻止了含 N 化合物流入河道,还提高土壤中 P 的利用率;精细农业不仅可以降低 N、P 的投入量,还能有效调控土壤中的有机质和微生物群落,降低营养物质的下渗,实现土壤肥力最优化等等[5]。这些农业技术的改进、适应,以及先进技术向贫穷国家的转移,将缩小发达国家与发展中国家粮食产量差距,在此形势下,相对较小的开垦,以及较少的氮利用和温室气体排放,未来农业生产很可能会对环境产生有限的影响。

并且,通过人类的精打细算在全球范围内不断累积非农土地的面积,加上土地综合利用极有可能在一定程度上缓解农业扩张造成的环境影响。而且如果发达国家未来能放弃 1.4×10^8 hm^2 的耕地,使其恢复生态系统碳储存、生物多样性保护等生态服务功能,发展中国家也能有效实施土地综合利用计划,将生态破坏程度最小化、生态系统多样性保护范围最大化。那么,目前余留下的天然土地的生态服务功能必然会不断增强。

未来 50 a 是适应和应对全球气候变化的农业发展的关键时期。虽然富裕国家主要作物产量上升的空间已经非常有限[64-65],但在贫穷国家,基础设施的改善[66]以及土壤改良、昆虫防治等技术革新,粮食产量有很大的提高潜力[67-68]。为了减小农业生产对环境的影响,当务之急需要从科学技术、管理措施和法律保障诸方面,继续探索环境友好的更为绿色的农业发展道路。未来农业生产必须从总体上权衡收益与消耗,充分考虑农业收益的同时兼顾生态产品和生态服务在饮水、生物多样性、碳储存、害虫防治和渔业诸方面的损失代价。

参考文献:

[1] Conway G. The Doubly Green Revolution[M]. London: Penguin Books Press, 1997. 6 - 18.

[2] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, et al. Human domination of Earth's ecosystems[J]. Science, 1997, 277: 494 - 499.

[3] Carpenter S R, Caraco N F, Correll D L, et al. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen[J]. Ecol Appl, 1998, 8: 559 - 568.

[4] Schindler David W. From acid rain to toxic snow[J]. Volvo Environmental Prize Lecture, Ambio, 1999, 28: 350 - 355.

[5] Matson P A, Parton W J, Power A G, et al. Agricultural intensification ecosystem properties[J]. Science, 1997, 277: 504 - 508.

[6] Matson P A, McDowell W H, Townsend A R, et al. The globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments[J]. Biogeochemistry, 1999, 46: 67 - 83.

[7] National Research Council. Global Change Ecosystems Research [M]. Washington D C: National Academy Press, 2000. 138.

[8] Postel S L, Daily G C, Ehrlich P R. Human appropriation of renewable fresh water[J]. Science, 1996, 271: 785 - 788.

[9] Pimm S L, Russell G J, Gittleman J L, et al. The future of biodiversity[J]. Science, 1995, 269: 347 - 350.

[10] Northbourne L. Look to the Land[M]. Dent, J. M. London. 1940. 17.

[11] Tilman D, Fargione J, Wolff B C, et al. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change[J]. Science, 2001, 292: 281 - 284.

[12] Carpenter S R, et al. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen[J]. Ecol Applic, 1998, 8: 559 - 568.

[13] Casman K G, Dobermann A, Walters D. Agroecosystems, nitrogen - use efficiency, and citrogen management 2001[J]. Global Biogeochem Cycl, 1999, 13: 647 - 662.

[14] Smil V. Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences[J]. Annu Rev Energy Environ, 2000, 25: 53 - 88.

[15] National Research Council, Clean Coastal Waters: Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution[M]. Washington D C: National Academy Press, 2000. 36 - 76.

[16] Vitousek P M, Matson P A. In Oremland R. Eds. Biogeochemistry of Global Change: Radiatively Active Trace Gases[M]. New York: Chapman Hall Press, 1993. 193 - 208.

[17] Matson P A, Parton W J, Power A G, et al. Agricultural intensification and ecosystem properties[J]. Science, 1997: 504 - 509.

[18] Johnston A E, Goulding K W T, Poulton P R. Acidification during

more than 100 years under permanent grassland and woodland at Rothamsted[J]. Soil Use Manage,1986,2:3.

[19] Rasmussen P E, Rohde C R. Soil acidification from ammonium - nitrogen fertilization in moldboard plow and stubble - mulch wheat - fallow tillage[J]. Soil Sci Soc Am, 1989,53:119.

[20] Johnston A E. The values of long - term field experiments in agricultural, ecological and environmental research[J]. Adv Agron, 1997,59:291.

[21] Thurston J M, et al. Modern developments in an experiment on permanent grassland started in 1856:Effects of fertilisers and lime on botanical composition and crop and soil analysis[J]. Ann Agron, 1976,27:1043.

[22] Goulding K W T, Blake L. Land use, liming and the mobilization of potentially toxic metals[J]. Agric Ecosyst Environ, 1998,67:135.

[23] 曾希柏,杨正礼.中国农业环境质量状况与保护对策[J].应用生态学报,2006,17(1):131-136.

[24] 鲁如坤.我国的磷矿资源和磷肥生产消费[J].土壤,2004,36(2):113-116.

[25] Naylor R L. Energy and resource constraints on intensive agricultural production[J]. Annu Rev Energy Environ, 1996,21:99.

[26] Naylor R L, et al. Effect of aquaculture on world fish supplies[J]. Nature,2000,405:1017-1024.

[27] Bouwman A F, Lee D S, Asman W A H, et al. A global high - resolution emission inventory for ammonia. Global Biogeochem[J]. Cycles,1997,11:561-587.

[28] Postel S. Forging a Sustainable Water Strategy[M]. In State of the World 1996, Brown L R. Ed. New York:Norton Press, 1996.40-59.

[29] 肖振华,万洪富,郑莲芬.灌溉水质量对土壤化学特性和作物生长的影响[J].土壤学报,1997,34(3):272-285.

[30] Pimentel D, Edwards C A. Pesticides and ecosystems[J]. Bioscience,1982,32:595.

[31] Pimm S L. The World According to Pimm: A Scientist Audits the Earth[M]. New York:McGraw-Hill Press, 2001.

[32] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业年鉴[M]. 北京:农业出版社,2003.193-199,253-255.

[33] Schlesinger W H. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change[M]. San Diego:Academic Press, 1997.

[34] Sala O E, Chapin F S, Armesto J, et al. Biodiversity - Globalbiodiversity scenarios for the year 2100[J]. Science, 2000,287(5459):1770-1774.

[35] Emsley J. Going one better than nature[J]. Nature,2001,410:633-634.

[36] Bawden R. Systems thinking and practice in agriculture[J]. J Dairy Sci, 1991,74:2362-2373.

[37] Ostergard E Lieblein, G. Converting to ecological agriculture in practice and research. Proceedings from the conference "Converting to organic agriculture". St Michel, Finland. NJF-utrednind/rapport nr, 1994,93:128-135.

[38] Trewavas A. Urban myths of organic farming[J]. Nature, 2001, 410:409-410.

[39] 李裕,王刚.有机农业与可持续发展[J].应用生态学报,2004,15(12):2377-2382.

[40] 李裕,王刚,王绍明,等.甘肃中部旱农耕作区生产绿色食品的可行性[J].干旱地区农业研究,2005, 23(2): 164-168.

[41] Caroll C R, Risch S. An evaluation of ants as possible candidates for biological control in tropical annual agroecosystems[A]. In: Gliessman S R (Ed.). Agroecology. Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture[M]. Springer-Verlag, New York, 1990.30-46.

[42] LEAF. Linking Environment and Farming: an Integrated Crop Management Project[M]. LEAF publications, Stoneleigh, UK. 1991.

[43] Edwards C A. The concept of integrated systems in lower input sustainable agriculture[J]. American Journal of Alternative Agriculture,1987, II(4):148-152.

[44] Reijntjes C, Bertus H, Water-Bayer A. Farming the Future:an Introduction to Low External Input and Sustainable Agriculture[M]. Macmillan,London.1992.

[45] Altieri M. Agroecology: The Scientific Basis of Alternative Agriculture[M]. Westview Press and Intermediate Technology, London. 1995.

[46] Steiner R. Agriculture. A Course of Eight Lectures[M]. 3nd Edition. Biodynamic Agricultural Association. 1924.

[47] Mollison B, Slay R. Introduction to Permaculture[M]. 2nd Edition. Tagari Publications, NSW, Australia. 2000.

[48] Phillips S C. Genetically engineered foods: do they pose health and environmental hazards[J]. CQ Researcher, 1994,4(29):673-96.

[49] Buol SW, Sanchez PA, Kimble JM, et al. Predicted impact of climatic warming on soil properties and use[A]. In:Kimball B A, Rosenberg N J, Allen Jr L H. (Eds). Impact of Carbon Dioxide Trace Gases and Climate Change on Global Agriculture[C]. ASA Special Publication Number 53. American Society of Agronomy, Madison WI, 1990,71-82.

[50] Parry M. Climatic change and world agriculture[M]. Beijing:China Meteorology Press, 1994,102.

[51] 赵鸿,孙国武.环境蠕变对农业病虫草鼠害的潜在影响[J].干旱气象,2004,22(3):69-73.

[52] Li Yu, Zhang Qiang, Wang Runyuan, et al. Temperature changes the dynamics of trace element accumulation in Solanum tuberosum L[J]. Climatic Change, 2012,112(3):655-672.

[53] IPCC. Climate Change 2007:Impacts, Adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group Ⅱ to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, UK:Cambridge University Press,2007.

[54] Solomon S, Qin D, Manning, et al. Technical summary. In: Solomon S, Qin D, Manning M, et al. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge University Press, Cambridge and New York. 2007, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-ts.pdf>.

[55] 张强,李裕,陈丽华.当代气候变化的主要特点和重点问题及其应对策略[J].中国沙漠,2011,31(2):492-499.

[56] 林而达,吴绍洪,戴晓苏,等. 气候变化影响的最新认知[J]. 气候变化研究进展,2007,3(3):125 - 131.

[57] 李裕,张强,王润元,等. 气候变化对食品安全的影响[J]. 干旱气象,2009,27(4):367 - 372.

[58] 赵鸿,王润元,王鹤龄,等. 西北干旱区棉花对气候变化响应的评价指标体系[J]. 干旱气象,2008,26(4):29 - 34.

[59] 张强,陈丽华,王润元,等. 气候变化与西北地区粮食和食品安全[J]. 干旱气象,2012,30(4):509 - 513.

[60] Alexandratos N. How to feed the world in 2050[J]. Proceedings of a Technical Meeting of Experts(FAO, Rome), 2009:1 - 32.

[61] David Tilman, Christian Balzer, Jason Hill, et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture[J]. PNAS, 2011,108(50):20260 - 20264.

[62] Macilwain C. Organic FAQs[J]. Nature, 2003,428:796 - 798.

[63] Zhu Y, et al. Genetic diversity and disease control in rice[J]. Nature, 2000,406(6797):718 - 722.

[64] Lobell DB, Field CB. Global scale climate - crop yield relationships and the impacts of recent warming[J]. Environ Res Lett, 2007,2:014002.

[65] Twomlow S. Micro - dosing as a pathway to Africa's Green Revolution: Evidence from broad - scale on - farm trials[J]. Nutr Cycl Agroecosyst, 2010, 88:3 - 15.

[66] The Government Office for Science Foresight. The Future of Food and Farming[M]. Final Project Report (The Government Office for Science, London). 2011.

[67] Licker R. Mind the gap:How do climate and agricultural management explain the 'yield gap' of croplands around the world[J]. Glob Ecol Biogeogr,2010,19:769 - 782.

[68] Neumann K, Verburg PH, Stehfest E, et al. The yield gap of global grain production: A spatial analysis[J]. Agric Syst, 2010,103: 316 - 326.

The Effect of Transforming and Developing Agriculture on Global Environmental Change

LI Longqing[1], ZHANG Qiang[2], ZHANG Jihui[3], YANG Yiming[3],

WU Lan[3], WANG Heling[3], LI Yu[2,3]

(1. *College of Light Industry, Textile and Food Engineering, Sichuan University, Chengdu* 610064, *China*; 2. *Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration; Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province; Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of China Meteorological Administration, Lanzhou* 730020, *China*; 3. *College of Chemical Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou* 730030, *China*)

Abstract: The global green revolution in the past 20th century doubled grain production in the world, but at the same time, we paid the high environmental cost, so the transforming and developing of agriculture are attracting the focus of international society. In the paper, the main reasons and importance were analyzed about global environmental change driven by modern agriculture based on literatures, and the sustainability of world transforming agricultural was discussed. Lastly, the authors gave some advices about transforming agriculture in long term development in the world.

Key words: conventional agriculture; organic agriculture; eutrophication; environmental change