

产量与经济效益共赢的高效生态农业模式: 以弘毅生态农场为例

蒋高明^{①②*}, 郑延海^①, 吴光磊^①, 刘慧^{①②}, 池云花^{①②}, 冯素飞^③, 李勇^{①②}, 李彩虹^①, 李宗奉^③, 苏本营^③, 董群^④, 乌云塔娜^⑤, LUCAS Mario^⑥, LEFORT Zoe^⑦, REGOLINI Margot^⑦, 曾祥伟^③, 贺新华^③, 郭立月^{①②}, 战丽杰^{①③}, 唐海龙^④, 韦继光^{①②}, 周平^⑧, 曾彦^⑧, 杨煜^⑧, 宋守宽^⑧, 刘秀^⑧, 甄珍^{①②}, 刘海涛^{①②}, 孟杰^{①②}, 李静^{①②}, 李霄^{①②}, 李占^③, 丁娜^③, 博文静^{①②}, 虞晓凡^{①②}, 程达^{①②}, 梁啸天^{①②}, 李立君^{①②}, 徐磊^③, 谷仙^{①②}, 宋彦浩^{①②}, MUMINOV A. Mahmud^{①②}, 刘滨扬^{①②}, 赫晓霞^{①②}, 刘美珍^①, 宁堂原^③, 王空军^③, 徐玉新^④, 陈文浩^⑨

① 中国科学院植物研究所, 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;

② 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100040;

③ 山东农业大学农学院, 泰安 271018;

④ 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018;

⑤ 河北农业大学林学院, 保定 071001;

⑥ Natural Sciences at RWTH Aachen University, Aachen 52074, Germany;

⑦ Forestry School of Engineers, Nancy 54000, France;

⑧ 弘毅生态农场有限公司, 平邑 273305;

⑨ 中国农业大学生物学院, 北京 100094

* 联系人, E-mail: jgm@ibcas.ac.cn

2016-05-27 收稿, 2016-08-10 修回, 2016-08-10 接受, 2016-11-23 网络版发表

山东省人民政府泰山学者专项(00523902)、中国科学院重点部署项目(KSZD-EW-Z-012-2)、黄淮海有机农业(70009C2033)和德国大使馆生物能源项目资助

摘要 化学物质的大量投入以及元素不能循环导致农田生态系统退化, 耕地质量和产量均呈下降趋势, 食物链受到污染. 本研究从低产田开始, 通过秸秆养牛、腐熟牛粪还田恢复地力; 以物理+生物方法控制虫害; 以人工+机械管理杂草, 停用农药、化肥和除草剂, 同时不用地膜、人工合成激素、转基因种子生产优质安全食品, 并在线上与线下销售. 10年的长期实验结果表明, 所在村庄农田生态环境改善, 减少农药用量58.3%; 物理+生物控虫效果明显, 每盏灯年捕获量从2009年的33 kg下降到2014年的2.1 kg, 下降93.8%; 年消耗秸秆1000 t, 秸秆利用率从1.1%提高到62.5%. 有机肥还田提高了土壤生物多样性, 有机果园蚯蚓数量317条 m^{-2} , 而普通果园只有16条 m^{-2} ; 大量有机肥还田(75 t hm^{-2}), 土壤有机质从实验初期的0.7%提高到2.4%. 粮食产量从最初的11.43 t hm^{-2} 提高到目前的17.43 t hm^{-2} , 其中冬小麦(*Triticum aestivum*)、夏玉米(*Zea mays*)、大豆(*Glycine max* (Linn.) Merr.)和花生(*Arachis hypogaea* Linn.)产量分别超出山东省平均水平42.6%, 60.9%, 32.2%和38.1%. 由于质量好, 产品已销售往除西藏以外的30个省、市、自治区, 经济效益明显, 平均每公顷效益是普通农田的3~5倍, 带动所在村庄67户农民从事高效生态农业. 本研究可为国家制定生态农业发展规划、精准扶贫、农村环境保护等提供科学依据.

关键词 高效生态农业, 秸秆, 害虫控制, 杂草管理, 产量, 经济效益

引用格式: 蒋高明, 郑延海, 吴光磊, 等. 产量与经济效益共赢的高效生态农业模式: 以弘毅生态农场为例. 科学通报, 2017, 62: 289–297

Jiang G M, Zheng Y H, Wu G L, et al. High efficiency eco-agriculture model obtain both larger yield and economic benefit: A case study in Hongyi Organic Farm. Chin Sci Bull, 2017, 62: 289–297, doi: 10.1360/N972016-00646

中国 $1.2 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 农田除生产约 $6 \times 10^8 \text{ t}$ 粮外,还生产了约 $7 \times 10^8 \text{ t}$ 秸秆,如经技术处理,这些秸秆可变为牲畜优质饲料^[1].然而大部分秸秆在田间地头被农民焚烧,造成了严重的环境污染^[2,3].中国 $4 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 草原仅生产3亿多吨干物质,为传统意义上的牧草.过度放牧导致严重草原退化,国家不得不投入大量资金进行治理^[4].在农区发展禽类养殖业,由于土地面积限制,不得不将动物压缩到很小的空间内^[5].如果将传统牧区南移,将草原大量空间用于养殖禽类,则可取得双赢效果^[6].“畜南下、禽北上”的设想是,利用农区废弃的秸秆养牛,牛粪还田,增加产量并发展生态农业;利用大量草原空间及其水热资源养鸡,减少大型牲畜数量,促进自然恢复,并通过发展草原有机食品产业,增加牧民收入^[7,8].

由于现代农业违背自然规律,养分得不到循环,不得不依靠大量化学物质投入^[9].该做法导致耕地持续退化,农业生物多样性下降.由于用地不养地,中国各地农田出现了不同程度的退化,如东北黑土层消失了近半米,内地土壤有机质由30年前的2%左右下降到不足0.7%.更严重的是,化肥与农膜的大量使用,使耕地板结和酸化,高产田退化为中产田或低产田^[10~12].面对这一严重现实,采取生态学技术恢复地力,恢复土壤生物多样性,将低产田提升为高产稳产的吨粮田,就变得非常紧迫.

全球农业生产中,注册登记的农药原药已达1055种,农药产品16000多种,中国注册登记的农药活性成分达到502种,农药产品9700多种^[13].除此之外,还有人为对食物链添加激素物质,如生长素、细胞分裂素、赤霉素、脱落酸、乙烯等植物激素用于水果和蔬菜生产.动物食品中也大量使用激素,如鸡(*Gallus domesticus*)、鸭(*Anatinae*)、牛、猪(*Sus scrofa domestica*)、鱼、蟹、黄鳝等.催长激素可导致儿童性早熟、骨骼提前停止生长等^[14].对“零添加、零农残”农业模式的研究势在必行.

为国家贡献了70%以上粮食的800个种粮大县有110个为贫困县.农民大量进城,造成了农村空心化,形成了农村“三留守”(妇女、老人、儿童)现状.如果生态农业市场前景看好,农二代、大学生二代等优质劳动力会进入生态农业领域,粮食生产潜力会进一步释放.中国涉农与环保方面资金,即健康保障、社会服务的资金应向广大农村倾斜,吸引年轻人回乡创业,盘活农村市场,实现精准扶贫.

针对上述问题,本研究组于2006年在山东省平邑县蒋家庄村创建弘毅生态农场,进行了长达10年的高效生态农业实践,以期寻找产量、经济效益、环境效益与社会效益均大幅度提高的农业模式.其核心思路是充分利用生态学原理,而非单一技术提升农业生态系统生产力,创建“低投入、零污染、高产”农业模式.从秸秆综合开发利用入手,种养结合,实现元素循环与能量流动,增加生物多样性,恢复生态平衡,生产有机食品,撬动城市中高端消费市场,增加农民收入,同时实现耕地固碳.

本研究科学假设为,高效生态农业可在环境保护基础上,产量会超过普通农业模式,经济效益更明显;拟回答的科学问题为:(i)生态学办法能否实现农业高产并稳产?(ii)优质农产品能否实现良好的经济回报并调动农民生产积极性?(iii)高效生态农业大范围推广的可能性有多大?本研究可为生态农业在全国普及、并推动精准扶贫提供科学依据.

1 研究方法

(i) 研究地点.弘毅生态农场位于山东省平邑县卞桥镇蒋家庄($35^\circ 26' 34'' \text{N}$, $117^\circ 49' 13'' \text{E}$)(图1),地处中纬度区,属温带季风区大陆性气候,年平均气温 $13.6 \sim 13.9^\circ \text{C}$.研究地点为山东省降水量最丰沛地区之一,受季风影响显著,表现为冬夏降水差异悬殊,降水量的70%集中在夏秋季,年平均降水量 725.0 mm .全年无霜期为 $188.8 \sim 212.0 \text{ d}$,全年日照时数在 $2539 \sim 2490 \text{ h}$.土壤为棕壤土.该地区农耕历史悠久,耕作制度为一年两熟制,主要粮食作物为小麦(*Triticum aestivum*)、玉米(*Zea mays*),经济作物为大蒜(*Allium sativum*)、花生(*Arachis hypogaea*)、红薯(*Ipomoea batatas*)等,其中,冬小麦-夏玉米轮作体系和大蒜-花生轮作体系较为常见.全村耕地总面积 68 hm^2 ,人均耕地面积 0.073 hm^2 .

(ii) 秸秆转化为饲料.肉牛养殖,秸秆饲料加工与储备是关键.自主研发了大型遮雨式分室青贮池,每年加工“微储鲜秸草” 1500 t .由于有充足的饲料,生态农场养牛逐年增加,从2006年16头增加到目前300头.在实验农场内,腐熟的牛粪替代了化肥,供约 33 hm^2 有机大田种植使用.

(iii) 害虫控制.停止农药后,害虫控制是很大

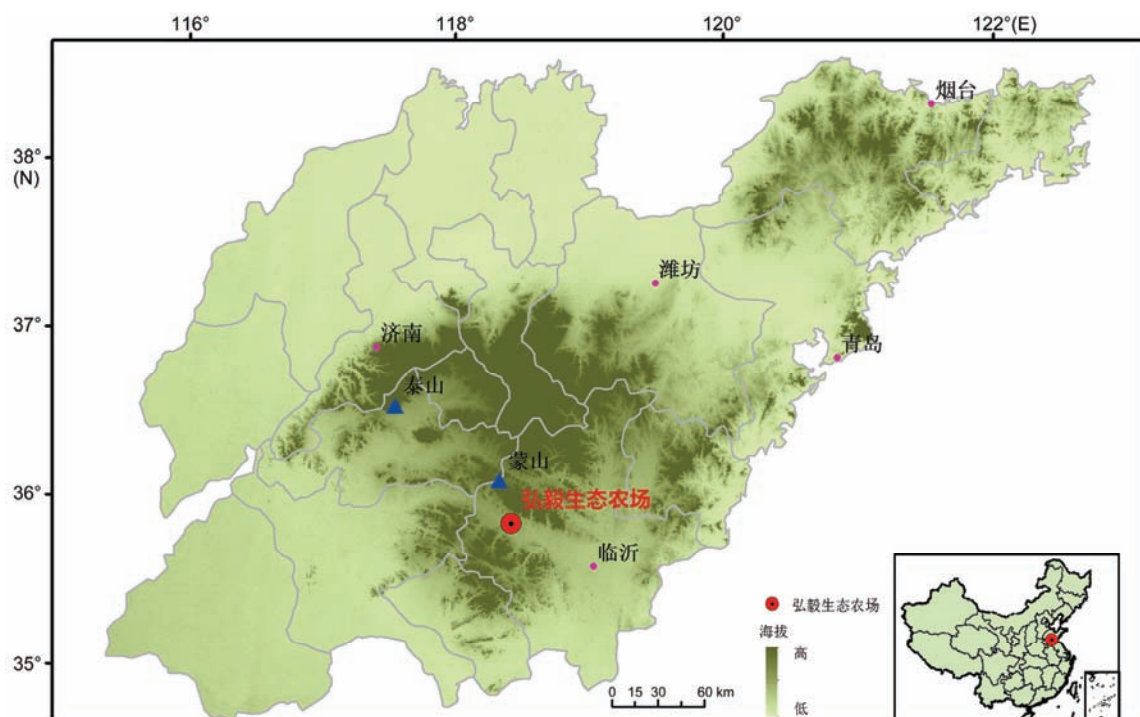


图1 弘毅生态农场位置图

Figure 1 The location of Hongyi organic farm

的难题, 经过反复实践, 成功摸索出害虫防治的物理+生物方法, 即通过脉冲式杀虫灯、鸡、天敌昆虫、野生鸟类、人工除草控制越冬害虫, 多项防治有效控制有机农田虫害^[15~17]。

针对严重的农田退化, 尤其地力下降问题, 首先停止农药、化肥、除草剂、地膜使用, 不再添加新的污染物。为吸引鸟类, 在农田周围建立乔、灌、草相结合, 由本地物种组成的防护林, 还为满足鸟类饮水, 恢复了部分湿地。

(iv) 杂草控制。 尽管除草剂对人体和土壤有不利影响, 农民还是愿意用, 因为既省事又便宜(成本 36元 hm^{-2})。为从源头停止除草剂污染, 采用人工+机械除草, 聘请经验丰富的农民承包除草工作, 两季除草费用降至 3600元 hm^{-2} 以内。物理方法锄草, 杂草越来越少, 因为杂草种源减少^[18]。除控制田间自生杂草, 采用乔灌草相结合的隔离带, 物理阻隔从外面飞进来的草籽。在果园杂草控制方面, 采取“以草治草”策略, 即种植一些高覆盖且有固氮固碳功能的本地草本植物, 形成单优种群, 占据杂草生态位。

(v) 数据处理。 数据处理使用Microsoft Excel 2010, 用SigmaPlot 10.0软件制图。

2 结果与分析

2.1 农田生态环境大幅度改善

实验是在低产田基础上开始的, 农民已连续30多年向土壤里施加了大量化肥、农药和地膜。利用自主研发的大型青贮设施将秸秆变废为宝^[19], 鲜秸秆营养好, 饲料转化率高, 肉牛10个月累计体重增加量约为300 kg, 每3.7 kg秸秆转化0.5 kg活牛重, 同时需1 kg精料^[20,21]。实验两年后, 该村用于饲料的秸秆比例增加到了62.5%, 而丢弃和在地里焚烧掉的秸秆比例分别减少到了9.2%和9.8%^[3], 保护了生态环境。

大量有机肥还田, 促进了退化耕地恢复。耕地有机质从0.7%提升到2.4%^[22]; 有机果园蚯蚓(*Pheretima*)数量 317条 m^{-2} , 而普通果园只有 16条 m^{-2} 。湿地里芦苇、菖蒲群落得以更新, 蚯蚓、蜻蜓(*Dragonfly*)、燕子(*Hirundo rustica*)、青蛙(*Rana nigromaculata*)、蟾蜍(*Bufo bufo gargarizans Cantor*)、蛇(*Dendroaspis polylepis*)、蜥蜴(*Pogona vitticeps*)、屎壳郎(*Scarabaeidae*)等有益生物回归。农田生物多样性恢复后, 生态平衡重新出现。

在自主研发的害虫防治模式下, 完全告别农药,

连续6年(2009~2014年)诱虫灯年平均捕获量从2009年的33 kg降到2014年的2.1 kg, 降幅为93.8%; 日捕获量从2009年的0.45 kg降到2014年的0.012 kg, 降幅高达97.3%(图2)^[22]. 2012年将该防虫方法在蒋家庄进行推广, 2015年农药用量由原来的1484.4 kg下降到619.2 kg, 减少农药用量58.3%(图3). 该模式还成功用于苹果园害虫防治, 停止果园喷洒农药20多遍.

2.2 耕地固碳

中国 1.2×10^8 hm^2 耕地除了满足粮食安全外, 还对温室气体排放与固持起到重要的作用. 化学农业是温室气体释放型的, 而采取有机种植模式可将作为当年捕捉的二氧化碳通过有机肥固定在土壤中, 尽管部分碳还会释放出来被作物吸收, 但年年增加有机肥可有效增加耕地固碳功能. 弘毅生态农场围绕该领域取得了明显的进展, 将传统的温室气体排放成功逆转为净吸收, 实现耕地固碳潜力 $11.5 \text{ t CO}_2 \text{ eq a}^{-1} \text{ hm}^{-2}$ ^[23].

在化学农业或转基因等现代农业模式下, 农业由碳汇变成碳源. 生产化肥、农药、农膜, 在源头即造成温室气体排放, 运输和使用这些物质也排放温室气体, 人类排放的温室气体之中的1/3来自农业^[24].

弘毅生态农场充分发挥耕地潜能, 增加土壤有

机质, 将耕地由碳源逆转为碳汇^[23], 据测算, 如将全国 1.2×10^8 hm^2 农田的土壤有机质提高1%, 可实现耕地固碳 3.01×10^{10} t, 其潜力优于在草原造林或其他碳汇形式, 且耕地固碳是有机农业的副产品. 例如, 打通城市消费环节, 可实现市民消费促进环境保护与耕地固碳.

2.3 低产田变高产田

不少学者认为, 有机农业或生态农业就是产量低的^[25~27]. 本研究组研发的弘毅农业模式, 经堆肥、深翻、人工+生物除草、物理+生物防治病虫害、保墒等措施, 实现了粮食增产. 从2011年起, 就成功将低产田改造为高产稳产的吨粮田(小麦、玉米周年产量)^[22]. 2015年, 弘毅生态农场玉米小麦周年产量 17.43 t hm^{-2} 、春花生 6.05 t hm^{-2} 、夏大豆 3.25 t hm^{-2} , 均高于周围村民的产量, 只有苹果产量低于当地产量, 但与山东省的普通产量基本持平(图4).

2.4 单位面积土地经济效益

弘毅生态农业模式面临的核心问题是产品市场接受度, 即以高价位出售到城市中高端消费人群, 实现优质优价. 在市场经济、诚信严重下降的今天, 销售问题构成生态农业的瓶颈问题. 10年来也走过弯

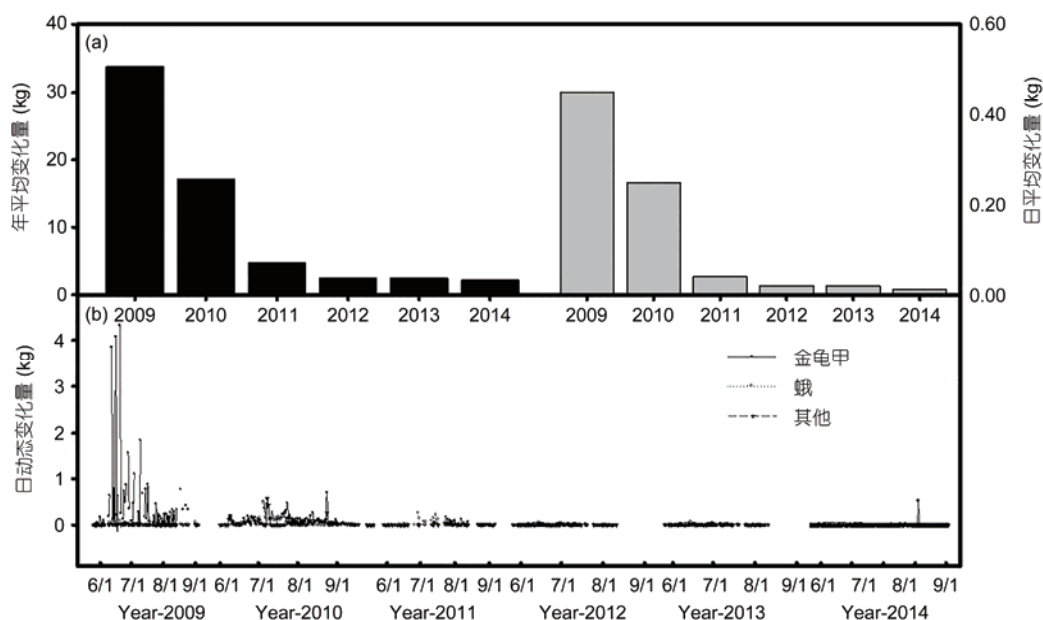


图2 太阳能诱虫灯 2009~2014 年间年捕获量变化(a)和日捕获量动态(b)^[22]

Figure 2 Annual weight reduction (a) and dynamic changes (b) of fresh weight of chafers and moths monitored by the solar pest-trapping lights from 2009 to 2014^[22]

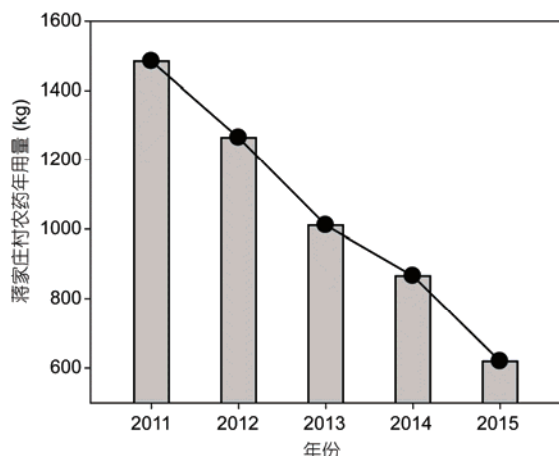


图3 2011~2015年弘毅生态农场所在村庄蒋家庄农田农药年使用量
Figure 3 The amount of pesticide used in Jiang Jiazhuang village farmland from 2011 to 2015

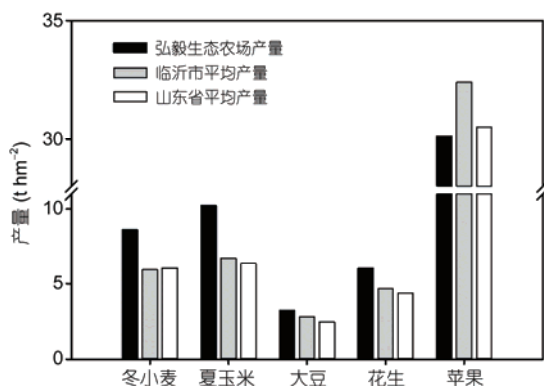


图4 弘毅生态农场部分作物产量与临沂市和山东省平均产量的比较. 产量采用2014年数据, 临沂市和山东省的产量数据来自山东省统计年鉴

Figure 4 Comparisons of crop and fruit Yields among Hongyi Organic Farm, Linyi City and Shandong Province. Yield data showed in the figure was collected from the statistical yearbook of Shandong Province

路, 直接损失经费约70万元. 经总结经验, 科学宣传, 加上农场产品过硬, 口感好, 没有农药残留, 获得了京、津、沪、穗、深等大城市消费者青睐. 目前弘毅农场较稳定的会员已增加到1672人, 且以每月100~150人的速度增加(图5). 农场常年供应的产品包括牛、猪、鸡、鸡蛋、苹果、小麦加工产品、大豆及其加工产品、花生及其加工产品、小米等35种. 城里人在花钱保障自己身体健康的同时, 有力支援了生态农业和农村环境保护, 带动了农民致富, 实现了真正意义上的“先富带后富”. 销售会员以北京、山东、广东、浙江、上海等经济发达地区为主, 占全部会员54.5%(图5), 反映了经济越发达, 市民对优质农产品

消费越渴望的市场需求.

2.5 社会效益

弘毅生态农场对当地农民带动作用很大. 某村民是该村最大的种粮户, 是40岁以后能够在村里坚守的少数壮年劳动力之一, 种植土地曾达6.67 hm²左右. 多年来他一直沿用小麦-玉米轮作办法, 大量使用化肥、农药、除草剂, 生产普通粮食, 按照市场价销售年净收入只有5万元左右. 自2013年起, 该村民与弘毅农场合作, 严格不用化肥、农药、除草剂、地膜、人工合成激素、转基因, 合作3年后取得了较大经济回报: 不仅还上所有欠款, 还购买了一辆价值12万元的轿车, 1辆5万元的拖拉机等. 该村民的成功对当地农民带动示范作用非常大, 例如, 今支部书记等几个村干部和约67户村民(占全村户数的27%), 主动加入了弘毅生产体系, 产品扩大到姜(*Zingiber officinale* Rosc.)、蒜、葱(*Allium fistulosum* L.)、毛芋头(*Colocasia esculenta* (L.) Schott)等蔬菜, 猪、牛、鸡蛋等畜禽蛋, 苹果等水果, 以及加工产品花生油、大豆油、酱油、桃酥、苹果干、水饺、山东煎饼、豆腐皮等.

弘毅生态农场实验开展10年来, 仅支付给本村农民的人工费达100万元, 修路费和太阳能诱虫灯10万元, 这些额外增加的收入都是生态科技带来的. 除此之外, 还帮村里申请到中华人民共和国环境保护部“以奖代治”农村污水处理专项资金93万元; 合作引进政府开发办农田基本改造850万元(包括周围5个村庄). 10年来弘毅生态农场带动山东、河南、河北、内蒙古、甘肃、浙江、江苏、广东、中国人民解放军总装备部某基地等企业、农民、军人从事有机农业, 充分展示了科研示范作用, 在全国累计推广有机农(草)业面积9667 hm², 充分显示了科技强大的示范作用.

3 讨论

现代农业以机械化、化学化、生物技术化为主, 该模式成功应用使全球粮食产量显著提高^[28,29]. 然而, 现代农业大量使用化肥、农药、除草剂等化学物质^[30], 破坏了生态平衡, 导致了严重的生态环境问题^[30,31]. 土壤重金属含量超标^[10]、土壤酸化严重^[11]、地下水和空气被污染^[12]、地力下降、温室气体排放增加^[24]、生物多样性丧失^[32]等问题日益突出, 食品安全也因此受到严重影响^[33]. 鉴于此, 人们开始探索

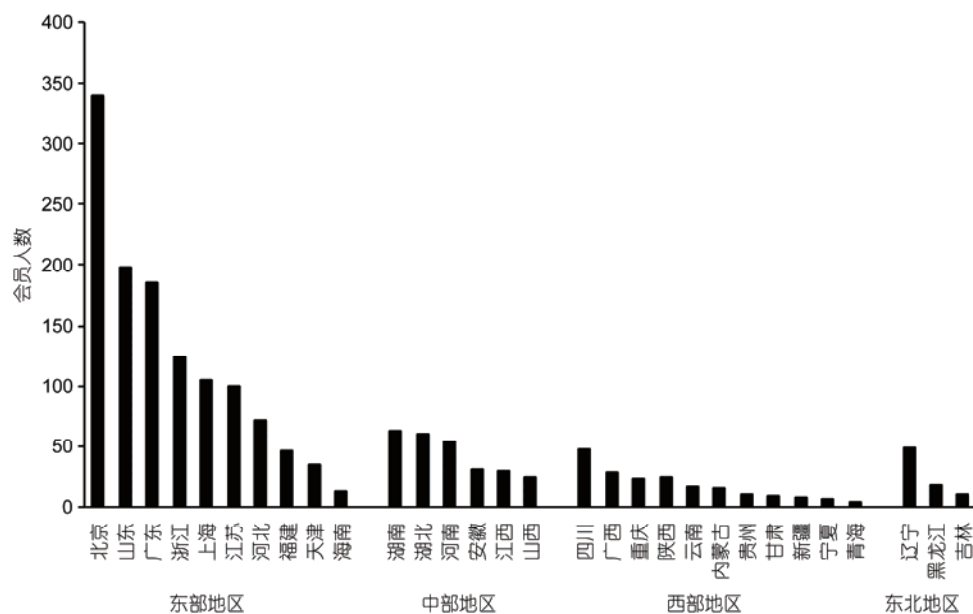


图5 中国四大经济区弘毅生态农场会员人数(2016年4月统计数据)

Figure 5 Distribution of consumers of Hongyi Organic Farm in the major economic regions of China

农业可持续发展出路问题,生态农业或有机农业作为替代农业模式被寄予厚望.有学者认为有机农业的平均产量比化学农业低19.8%~25%^[25~27,34,35].然而,最新的研究发现,如果管理得当,有机产量可以与化学产量相持平甚至超过化学产量.本研究发现,充分利用生物多样性等生态学原理,有机模式下冬小麦和夏玉米单位周年产量9年内提高了59%,成功将低产田改造为高产稳产的吨粮田^[22].

10年来,弘毅生态农场没有使用农药、化肥、除草剂、人工合成激素以及转基因种子,实现了低产田到高产稳产田的转变.其可能的机理如下:(i)大量秸秆转变成动物饲料,又转化为土壤的优质有机肥.实验2年后,通过农场肉牛养殖带动,该村用于饲料的秸秆比例增加到了62.5%,而丢弃和在地里焚烧掉的秸秆比例分别减少到了9.2%和9.8%^[3];尽管理论上计算,如果用有机肥替代化肥,有机肥施用量最少为25.5 t hm⁻²^[36],补充75 t hm⁻²有机肥,即15头牛的肥料还田,加速了退化农田生态修复.(ii)停止农药化肥和除草剂后,去除了有害化学物质对土壤微生物和动物危害,丰富了土壤生物多样性^[37],改良了土壤结构,增大了矿化能力,为作物持续提供营养,同时植株健壮,降低了病害风险.(iii)采取人工除草,切断了表土毛细管,促进根系下扎,提高了作物抗旱能力.(iv)豆科与禾本科轮作,高矮作物套种,

既增加土地营养,又通风透气,发挥群体光合作用优势;(v)深耕、浇水、及时除草、物理+生物控制虫害等,满足了作物生理生态生长需要的良好生态环境.

生态农业模式从理论与实践的效果看,产量表现并不低,且能超越普通农田产量,这在小麦、玉米、花生上都已实现(图4).尽管在弘毅生态农场本部苹果产量因管理问题,在本实验中还低于常规模式,但在山东栖霞苹果弘毅基地,有机模式的苹果产量高达68.5 t hm⁻²,超出山东省平均水平124%.

制约有机农业发展的瓶颈问题是优质优价问题,即经济效益问题.按照高于市场价3倍计算小麦与大豆的净利润(去除人工与肥料投入等),农民直接从土地上获得的收入约75000元 hm⁻²,是普通农田的3~5倍,实现了生态农业增产与增效的双赢.中国人少地多,生态农业如果突破市场瓶颈,其优势自然显露出来.

对于城市消费者,只有提供真正的有机食品,他们才愿意以高于市场3倍以上的价格购买.从跟踪结果来看,35.3%的消费者来自北京、上海、深圳、济南、广州、天津等大城市(图5),符合这些城市的消费特点.如果城市市场被撬动起来,就是市民在花钱满足自身健康需求的同时,帮助国家解决生态环境保护、节能固碳、精准扶贫等问题.政府资金应当配合这股市场力量,鼓励农民尤其青壮年劳动力从事高效

生态农业,持续增加优质农产品工业,逐渐降低转基因低价劣质粮食进口.富裕起来的农民还会购买工业品,拉动一二产业消费,从而繁荣低迷的中国 经济.

生态农业是解决农业生态环境问题的有效途径,但生态补偿制度却未在我国法律规定中得到重视.在国外,农业补偿制度已经得到了许多国家的立法支持^[38],而我国农业生态补偿政策缺乏完善的法律保障,影响了生态农业推广.在国内草原地区,国家开始实施生态补偿制度,在林业地区实现了天然林

保护制度,对天然森林保护给予资金直补;但同样具有重要生态保护功能且提供安全放心食品的高效生态的种养做法,目前国家尚没有出台政策^[38].究其原因,是因为决策者对生态农业是否能够增产存在的信心不足,没有看到长期的科学实验效果.

总之,本研究以长期的科学实验为依据,证明生态农业能够生产出更多的食物,且能够被消费者认可,农民的生产积极性也会提高.本研究可为国家的粮食安全战略、生态文明建设提供科学决策证据.

致谢 本研究获得弘毅生态农场管理人员蒋高亮、周全艾、蒋家庄村支部书记周京林、村主任蒋军、村民蒋庆礼、蒋胜林等在生活、田间管理、设施建设方面提供的大量帮助,在此一并致谢.

参考文献

- 1 Liu H, Jiang G M, Zhuang H Y, et al. Distribution, utilization structure and potential of biomass resources in rural China: With special references of crop residues. *Renew Sust Energ Rev*, 2008, 12: 1402–1408
- 2 Li Z F, Zheng Y H, Liu X L, et al. Breakthrough in exploit of rural waste biomass resources (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2009, 29: 1–3 [李宗奉, 郑延海, 刘雪莉, 等. 农村废弃生物质资源开发获重要突破. *生态学报*, 2009, 29: 1–3]
- 3 Zheng Y H, Li Z F, Feng S F, et al. Biomass energy utilization in rural areas may contribute to alleviating energy crisis and global warming: A case study in a typical agro-village of Shandong, China. *Renew Sust Energ Rev*, 2010, 14: 3132–3139
- 4 Li Q F. Grassland animal husbandry production mode—opportunities and challenges in the development of grass industry (in Chinese). *Agrest Pratac*, 2013, 25: 11–15 [李青丰. 草地畜牧业生产方式调整——草业发展的机遇与挑战. *草原与草业*, 2013, 25: 11–15]
- 5 Li D Z. The research of grassland degradation reasons and long-term effective mechanism for grassland protection (in Chinese). *Mond Ani Huns*, 2014, 5: 15–16 [李德州. 草原退化原因与草原保护长效机制的构建研究. *当代畜牧*, 2014, 5: 15–16]
- 6 Su J Y, Zhao H M. The development of the modern industry of breeding stock by “northern breeding, southern cultivation” (in Chinese). *Ani Huns Feed Sci*, 2006, 6: 40–42 [苏加义, 赵红梅. “北繁南育”发展现代种畜产业. *畜牧与饲料科学*, 2006, 6: 40–42]
- 7 Jiang G M, Wu G L, Cheng D, et al. Characteristics and designing of eco-husbandry system: A case study in Zhenglan Banner, China (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 224–230 [蒋高明, 吴光磊, 程达, 等. 生态草业的特色产业体系与设计: 以正蓝旗为例. *科学通报*, 2016, 61: 224–230]
- 8 Jiang G M, Liu M Z, Niu S L, et al. Ten-year-period demonstration project in Hunshandake Sandland and prospect for the future development of eco-stock farming industry (in Chinese). *Sci Technol Rev*, 2011, 29: 19–25 [蒋高明, 刘美珍, 牛书丽, 等. 浑善达克沙地 10 年生态恢复回顾与展望. *科技导报*, 2011, 29: 19–25]
- 9 Liu Q S, Liu Q G, Chen H R. Advance, development trend and per spective of studies on bio-pesticide (in Chinese). *Agrochem Res Appl*, 2007, 11: 17–22, 25 [刘清术, 刘前刚, 陈海荣, 等. 生物农药的研究动态、趋势及前景展望. *农药研究与应用*, 2007, 11: 17–22, 25]
- 10 Tang W, Shan B, Zhang H, et al. Heavy metal sources and associated risk in response to agricultural intensification in the estuarine sediments of Chaohu Lake Valley, East China. *J Hazard Mater*, 2010, 176: 945–951
- 11 Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 2010, 327: 1008–1010
- 12 Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, 106: 3041–3046
- 13 Chen B, Wu F Q, Wu W D, et al., Determination of 27 pesticides in wine by dispersive liquid-liquid microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Microchem J*, 2016, 126: 415–422
- 14 Li S Y. Population Dilemma: China’s Ability to Bear Population (in Chinese). Beijing: China Economy Press, 2004 [李尚勇. 人口困局: 中国能否承受人口之重. 北京: 中国经济出版, 2014]
- 15 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. A kind of double dual band solar light which can kill the insects. PRC Patent, 201420565686.4, 2015-04-29 [中国科学院植物研究所. 一种双灯双波段太阳能诱虫灯. 中华人民共和国专利, 201420565686.4, 2015-04-29]
- 16 Wuyun T N, Li Y L, Jiang G M, et al. Comparison of productivities between “chicken-corn-wheat” organic pattern and “corn-wheat”

- conventional pattern: A case study from Hongyi organic farm (in Chinese). *J Agr Univ Hebei*, 2010, 33: 10–16 [乌云塔娜, 李玉灵, 蒋高明, 等. “鸡-玉米-小麦”有机模式与“玉米-小麦”常规模式生产力之比较研究: 以弘毅生态农场为例. 河北农业大学学报, 2010, 33: 10–16]
- 17 Guo L Y. Study on environment-friendly insect control and fertilizer application technologies in a winter wheat-summer maize rotation system in Yimeng Mountainous Region of Eastern China (in Chinese). Doctor Dissertation. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2015 [郭立月. 沂蒙山区环境友好型冬小麦-夏玉米害虫防控与肥料配施技术效益研究. 博士学位论文. 北京: 中国科学院大学, 2015]
- 18 Ding N. Effect of fertilizing and pest-weed controlling ways on ecological and economic benefits in wheat-maize cropping system (in Chinese). Master Dissertation. Tai'an: Shandong Agriculture University, 2014 [丁娜. 施肥与害虫杂草防控措施对小麦-玉米两熟农田生态和经济效益的影响. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学, 2014]
- 19 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. A kind of separated micro reservoir of fresh straw silage pool which can shed rain. PRC Patent, 201420629637.2, 2015-03-18 [中国科学院植物研究所. 一种遮雨分隔式微储鲜秸秆青储池. 中华人民共和国专利, 201420629637.2, 2015-03-18]
- 20 Feng S F, Jiang G M, Kong L J. Utilization and fiber apparent digestibility of crop straw in feeding process of beef cattle (in Chinese). *Shangdong Agric Sci*, 2009, 6: 93–96 [冯素飞, 蒋高明, 孔令杰. 秸秆在肉牛饲养中的利用及其纤维表观消耗率. 山东农业科学, 2009, 6: 93–96]
- 21 Feng S F, Jiang G M, Kong L J, et al. Agricultural biomass resources in the application of ecological agriculture: Research on the conversion efficiency of crop residues/straw (in Chinese). *J Engineer Stud*, 2012, 4: 10–18 [冯素飞, 蒋高明, 孔令杰, 等. 农业生物质资源在生态农业中的应用: 秸秆转化效率研究. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2012, 4: 10–18]
- 22 Liu H T, Meng J, Bo W J, et al. Biodiversity management of organic farming enhances agricultural sustainability. *Sci Rep*, 2016, 6: 23816
- 23 Liu H T, Li J, Li X, et al. Mitigating greenhouse gases emissions through replacement of chemical fertilizer with organic manure in a temperate farmland. *Sci Bull*, 2015, 60: 598–606
- 24 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Organic farming and climate change mitigation. A report of the Round Table on Organic Agriculture and Climate Change. Rome, December 2011
- 25 Badgley C, Moghtader J, Quintero E, et al. Organic agriculture and the global food supply. *Renew Agric Food Syst*, 2007, 22: 86–108
- 26 Connor D. Organic agriculture cannot feed the world. *Field Crop Res*, 2008, 106: 187
- 27 Seufert V, Ramankutty N, Foley J A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 2012, 485: 229–232
- 28 Tilman D, Cassman K G, Matson P A, et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 2002, 418: 671–677
- 29 Pretty J. Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Phil Trans R Soc B*, 2008, 363: 447–465
- 30 Kannan K, Tanabe S, Giesy J P, et al. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in foodstuffs from Asian and oceanic countries. *Rev Environ Contam T*, 1997, 152: 1–55
- 31 Tilman D. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, 96: 5995–6000
- 32 Gill H, Garg H. Pesticide: Environmental impacts and management strategies. In: Solenski S, Larramenday M L, eds. *Pesticidestoxic Effects*. Rijeka: Intech, 2014. 187–230
- 33 Jiang G M. Where is China's future agriculture—“ecological agriculture: Test and prospect” (in Chinese). *J Engineer Stud*, 2012, 4: 7–9 [蒋高明. 中国未来农业向哪里去——“生态农业: 试验与前景”专栏主持人语. 工程研究-跨学科视野中的工程, 2012, 4: 7–9]
- 34 De Ponti T, Rijk B, van Ittersum M K. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agr Syst*, 2012, 108: 1–9
- 35 Ponisio L C, M'Gonigle L K, Mace K C, et al. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc Biol Sci*, 2015, 282: 20141396
- 36 Zhen Z, Bo W J, Wu G L, et al. Important effect of the organic fertilizer on soil fertility and yield of crop: A case study in Zhende Organic Farm, Henan, China (in Chinese). *J Eng Stud*, 2012, 4: 19–25 [甄珍, 博文静, 吴光磊, 等. 有机肥对土壤地力和作物产量的影响及应用示例. 工程研究-跨学科视野中的工程, 2012, 4: 19–25]
- 37 Zhen Z. Effect of compost treatments on soil microbial properties, soil fertility and crop yields in the wheat-maize rotation cropping system (in Chinese). Doctor Dissertation. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2014 [甄珍. 堆肥处理对农田土壤微生物特性、土壤肥力和作物产量的影响. 博士学位论文. 北京: 中国科学院大学, 2014]
- 38 Mei L L, Feng S D, Wang B, et al. Study on the establishment agriculture ecological compensation system in Heilongjiang Province (in Chinese). *Chin Agric Sci Bull*, 2013, 29: 103–108 [梅琳琳, 冯树丹, 王冰, 等. 黑龙江省健全农业生态补偿制度初探. 中国农学通报, 2013, 29: 103–108]

Summary for “产量与经济效益共赢的高效生态农业模式：以弘毅生态农场为例”

High efficiency eco-agriculture model obtain both larger yield and economic benefit: A case study in Hongyi Organic Farm

JANG GaoMing^{1,2*}, ZHENG YanHai¹, WU GuangLei¹, LIU Hui^{1,2}, CHI YunHua^{1,2}, FENG SuFei³, LI Yong^{1,2}, LI CaiHong¹, LI ZongFeng³, SU BenYing³, DONG Qun⁴, WUYUN TaNa⁵, LUCAS Mario⁶, LEFORT Zoe⁷, REGOLINI Margot⁷, ZENG XiangWei³, HE XinHua³, GUO LiYue^{1,2}, ZHAN LiJie^{1,3}, TANG HaiLong⁴, WEI JiGuang^{1,2}, ZHOU Ping⁸, ZENG Yan⁸, YANG Yu⁸, SONG ShouKuan⁸, LIU Xiu⁸, ZHEN Zhen^{1,2}, LIU HaiTao^{1,2}, MENG Jie^{1,2}, LI Jing^{1,2}, LI Xiao^{1,2}, LI Zhan³, DING Na³, BO WenJing^{1,2}, YU XiaoFan^{1,2}, CHENG Da^{1,2}, LIANG XiaoTian^{1,2}, LI LiJun^{1,2}, XU Lei³, GU Xian^{1,2}, SONG YanJie^{1,2}, MUMINOV A. Mahmud^{1,2}, LIU BinYang^{1,2}, HE XiaoXia^{1,2}, LIU MeiZhen¹, NING TangYuan³, WANG KongJun³, XU YuXin⁴ & CHEN WenHao⁹

¹ State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

² College of Resources and Environment, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100040, China;

³ College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

⁴ College of Natural Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

⁵ College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China;

⁶ Natural Sciences at RWTH Aachen University, Aachen 52074, Germany;

⁷ Forestry School of Engineers, Nancy 54000, France;

⁸ Hongyi Organic Farm Co., LTD, Pingyi 273305, China;

⁹ College of Biological Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China

* Corresponding author, E-mail: jgm@ibcas.ac.cn

Due to the input of a large number of chemical substances and the termination of elements cycling, the farmland ecosystem has been seriously degraded, with the quality of farmland and yield being decreased. High efficiency eco-agriculture has been believed to be capable of curtailing some hazardous effects associated with chemical agriculture. However, debates also exist on whether eco-agriculture can feed a world with increasing human population. We hypothesized that some improvements on high efficiency eco-agriculture may produce adequate foods and reduce environmental pollutions from chemical agriculture. This study began with feeding cattle by bio-processed corn straw, restoring the soil fertility by manure returning in Hongyi Organic Farm 2 hm² low yield cropland. We applied physical+biological methods for pest control; artificial+mechanical for weed management, thus to put an end to pesticides, fertilizers and herbicides pollution. Meanwhile, without using plastic films, synthetic hormones, genetically modified seeds, we guaranteed the food quality and safety, and soled the products online and offline. The results of the 10 years experiment are as follows: The weight of pests captured by insect-trapping lamp reduced from 33 to 2.1 kg, reducing the amount of pesticide by 93.8%. The annual consumption of straw by cattle reached to 1000 t per year, increasing straw utilization rate from 1.1% to 62.5%. Organic fertilizer has been tested to improve soil biodiversity, for instance, the number of earthworms in organic orchard was 317 earthworms m⁻², while only 16 earthworms m⁻² in ordinary orchard. The soil organic matters in 0–20 cm depth layer increased from 0.7% to 2.4%, thank to great amount of cattle manure being applied (75 t hm⁻²). The grain production also increased greatly from the initial 11.43 t hm⁻² to 17.43 t hm⁻². The wheat, corn, soybean and peanut yield were 42.6%, 60.9%, 32.2% and 38.1% higher than ordinary farmland around. Due to the excellent quality of products, our products have been sold to 30 provinces except Tibet of China, with the average benefit per hectare being 3–5 times of ordinary farmland. Some 67 local households have been engaged in the high efficient eco-farming industry. Now the products extended to the ginger, garlic, onion and other vegetables; pork, beef and poultry eggs, apple and other fruits, peanut oil, soybean oil and processing products, walnut cake, dried apples, dumplings, etc. The regular consumers of Hongyi Organic Farm has increased to 1672 people and increased at a speed of 100–150 people a month. This high efficiency eco-agriculture in paper has been used by entrepreneurs, farmers, soldiers in Shandong, Henan, Hebei, Inner Mongolia, Gansu, Zhejiang, Jiangsu, Guangdong and other provinces, the farmland area was about 9667 hm². This study provides a scientific basis for the national eco-agricultural development designing, poverty alleviation and rural environmental protection.

high efficient ecological agriculture, straw, pest control, weed management, yield, economic

doi: 10.1360/N972016-00646