



# 有机种植体系的 农学及环境效应研究

---

唐 政◎著

◎吉林大學出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

有机种植体系的农学及环境效应研究 / 唐政著. —  
长春: 吉林大学出版社, 2019. 6

ISBN 978 - 7 - 5692 - 5070 - 1

I. ①有… II. ①唐… III. ①蔬菜园艺—无污染技术—  
农学—环境效应—研究 IV. ①S63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 140168 号

- 书 名 有机种植体系的农学及环境效应研究  
YOUJI ZHONGZHI TIXI DE NONGXUE JI HUANJING XIAOYING YANJIU
- 作 者 唐 政
- 策划编辑 李潇潇
- 责任编辑 刘守秀
- 责任校对 李潇潇
- 装帧设计 中联华文
- 出版发行 吉林大学出版社
- 社 址 长春市人民大街 4059 号
- 邮政编码 130021
- 发行电话 0431 - 89580028/29/21
- 网 址 <http://www.jlup.com.cn>
- 电子邮箱 [jdcbs@jlu.edu.cn](mailto:jdcbs@jlu.edu.cn)
- 印 刷 三河市华东印刷有限公司
- 开 本 710mm × 1000mm 1/16
- 印 张 12.5
- 字 数 140 千字
- 版 次 2019 年 8 月第 1 版
- 印 次 2019 年 8 月第 1 次
- 书 号 ISBN 978 - 7 - 5692 - 5070 - 1
- 定 价 45.00 元

---

版权所有 翻印必究

本书由2016国家自然科学基金-地区项目：喀斯特植被恢复过程中土壤线虫的指示作用和生态功能（编号：41661073）；

2016广西自然科学基金-面上项目：峰丛谷地大型土壤动物生物多样性及其生态功能研究（编号：2016GXNSFAA380183）资助出版。

谨以此书纪念先师邱建军研究员，淳淳教诲，永志不忘！

## 前 言

本研究针对有机蔬菜生产中由于不合理灌溉和施肥而导致的蔬菜品质下降、环境污染风险提高等问题,以北京郊区典型保护地有机蔬菜种植为对象,按照当地种植习惯的小油菜-香菜-番茄-黄瓜轮作体系,通过4茬的田间定位试验,研究不同水肥管理方式下蔬菜产量、品质的差异,施用有机肥对氮、磷、钾在土壤中的累积和分布动态的影响,以及由此带来的重金属威胁,并利用自流式农田地下淋溶收集装置揭示蔬菜地水分渗漏和有机肥中无机氮的淋洗特征,探讨有机种植氮素在土壤-作物体系中分配与表观平衡规律。主要结果如下。

(1) 有机肥不同施用量随栽培时间而逐步影响蔬菜产量。在小油菜-香菜-番茄-黄瓜轮作体系中,常规施肥处理的 $N/P_2O_5/K_2O$ 达到2.08/1.6/0.7(t/ha)。随种植年限的延长,常规施肥处理相对于减半量施肥处理的产量优势逐渐明显。由于基础肥力过高,不同水肥管理间头两茬小油菜、香菜产量差别不显著;常规施肥番茄产量比施肥量减半的稍高,但差异不显著;不同施肥量处理对黄瓜产量有显著影响。常规水肥管理方式下有机肥的

利用率以及经济效益不如减半量施肥管理方式高。试验结果表明常规模式的有机肥投入过多，在常规施肥的基础上施肥量减半是可行的。

(2) 有机肥过量施用明显影响了蔬菜品质。除蔬菜维生素 C 含量随施肥量递增外，在施肥量减半处理下，番茄红素含量、可溶性蛋白的含量、可溶性糖类含量、可溶性固形物含量、糖酸比等营养品质和口感都优于常规水肥管理。有机肥用量过大使土壤中有较高的无机氮累积是造成蔬菜硝酸盐含量超标的主要原因，小油菜、香菜中的硝酸盐含量均严重超标；在随后的种植中，通过减半量施肥，有效降低了番茄、黄瓜硝酸盐含量。尽管有机肥和土壤中重金属含量都低于有机种植标准，但施有机肥后，番茄、黄瓜和土壤中镉 (Cd)、铬 (Cr)、铅 (Pb)、汞 (Hg)、砷 (As)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、镍 (Ni) 等八种重金属含量提高，并随施肥量的增加而上升。

(3) 有机肥过量施用造成大量养分在土壤中残留。常规施肥和减半量施肥对 0~20cm 和 20~40cm 土层磷素、钾素的累积均造成了显著性差异。常规施肥条件下，表层 0~20cm 速效磷的浓度超过 400 mg/kg，0~40cm 土体中磷的累积超过 1300 kg/ha，表层 0~20cm 的速效钾浓度超过 300 mg/kg，0~40cm 土体中钾的累积超过 1400 kg/ha。

(4) 过量施用有机肥造成无机氮表观平衡值增加。土体中过剩的无机氮主要以硝态氮的形式存在；常规施肥造成无机氮在 0~20cm 土层中大量残留，常规灌溉和减量灌溉下分别为 430.23

kg/ha 和 410.12 kg/ha, 减半量施肥在常规和减量灌溉下分别为 297.99 kg/ha 和 205.96 kg/ha, 显著降低了无机氮的残留。在表层大量残留的无机氮在短时期内向 60cm 以下的土层没有出现明显迁移, 60cm 以下的土层中无机氮含量的变化幅度很小。常规施肥处理造成 0~90cm 土体的无机氮表观平衡值超过 1400 kg/ha, 减半量施肥处理下的无机氮表观平衡值可下降到 450.49kg/ha。在常规施肥量的基础上施肥量减半能在保证氮素供应的前提下较好地维持氮素表观平衡。

(5) 灌溉量过大是造成氮素淋失的最重要因素。在较短时期内, 灌溉相比施肥而言, 对氮素淋失的影响更大, 控制灌溉量比控制施肥量更能减少氮素淋溶损失。常规和减量灌溉下不施肥造成的氮素累积淋失量分别为 36.07kg/ha, 27.05 kg/ha; 常规水肥管理下氮素淋失量为 59.8 kg/ha, 施肥量减半可使氮素淋失量减少 14.51 kg/ha; 而减少 1/3 灌溉量可使氮素淋失量减少 17.89 kg/ha, 水肥同时减量则可减少 25.43 kg/ha。在常规灌溉条件下, 常规施肥和减半施肥处理下有机肥的淋失率分别为 1.18% 和 0.88%; 减量灌溉条件下分别为 0.74% 和 0.8%。

(6) 长期、大量施用有机肥容易产生土壤重金属累积。本试验的有机肥中重金属含量较低, 在短时期内还没有出现重金属污染问题。施肥条件下, 常规水肥处理下的蚯蚓数量最多, 达 46 只/m<sup>3</sup>, 高于其他各施肥处理但没有达到显著差异水平。

作者

2019 年 3 月

# 目 录

## CONTENTS

<b>第1章 绪 论</b> .....	<b>1</b>
1.1 国内外有机农业的最新发展状况 .....	5
1.2 国内外有机种植研究进展 .....	8
1.2.1 有机种植对产量的影响 .....	10
1.2.2 有机种植对作物品质的影响 .....	14
1.2.3 有机种植的水肥耦合效应与养分管理 .....	19
1.2.4 有机种植的环境效应 .....	24
1.3 研究目的和意义 .....	33
<b>第2章 研究内容与技术路线</b> .....	<b>36</b>
2.1 主要研究内容 .....	37
2.2 研究方法与技术路线 .....	38
2.3 试验方案 .....	39

2.4	数据处理与分析 .....	50
<b>第3章</b>	<b>不同水肥配置对有机蔬菜产量和品质的影响 .....</b>	<b>52</b>
3.1	不同水肥配置对蔬菜产量与生物量的影响 .....	53
3.1.1	不同水肥配置下的蔬菜茬口产量与生物量 .....	53
3.1.2	有机肥的利用效率和经济效益分析 .....	56
3.2	不同水肥配置对蔬菜 VC 含量的影响 .....	61
3.3	不同水肥配置对蔬菜硝酸盐含量的影响 .....	65
3.4	不同水肥配置对黄瓜、番茄口感品质的影响 .....	68
3.4.1	可溶性固形物 .....	69
3.4.2	可溶性蛋白 .....	70
3.4.3	糖酸比 .....	71
3.5	不同水肥配置对番茄中番茄红素含量的影响 .....	73
3.6	不同水肥配置对番茄、黄瓜中重金属含量的影响 .....	75
3.7	小结 .....	79
<b>第4章</b>	<b>不同水肥配置条件下水分和养分供应特点 .....</b>	<b>81</b>
4.1	不同水肥配置下土壤水分的动态变化 .....	82
4.2	不同水肥配置下土壤有机质变化 .....	86
4.2.1	0~20cm 土层土壤有机质含量的动态变化 .....	86
4.2.2	20~40cm 土层土壤有机质含量的动态变化 .....	87
4.3	不同水肥配置下土壤全氮含量变化 .....	88
4.3.1	0~20cm 土层土壤全氮含量的动态变化 .....	89

4.3.2	20~40cm 土层土壤全氮含量的动态变化 .....	90
4.3.3	不同有机肥施用量下土壤全氮含量与有机质含量的相关性 .....	91
4.4	不同水肥配置下土壤无机氮含量的动态变化及其矿化特征 .....	91
4.4.1	不同水肥配置下土壤铵态氮含量的动态变化 .....	92
4.4.2	不同水肥配置下土壤硝态氮含量的动态变化 .....	96
4.4.3	不同水肥配置下土壤无机氮含量的动态变化 .....	102
4.5	不同水肥配置下土壤速效磷含量的动态变化 .....	104
4.5.1	0~20cm 土层土壤速效磷 ( $P_2O_5$ ) 含量的动态变化 .....	105
4.5.2	20~40cm 土层土壤速效磷 ( $P_2O_5$ ) 含量的动态变化 .....	106
4.6	不同水肥配置下土壤有效钾含量的动态变化 .....	107
4.6.1	0~20cm 土层土壤速效钾 ( $K_2O$ ) 含量的动态变化 .....	108
4.6.2	20~40cm 土层土壤速效钾 ( $K_2O$ ) 含量的动态变化 .....	109
4.7	不同水肥配置下养分供求平衡状况 .....	110
4.7.1	无机氮的平衡状况 .....	111
4.7.2	磷素的表观平衡状况 .....	119
4.7.3	钾素的表观平衡状况 .....	121
4.8	小结 .....	122

<b>第5章 不同水肥配置下的环境效应</b> .....	<b>125</b>
5.1 不同水肥配置下的氮素淋溶损失 .....	126
5.1.1 不同水肥配置下淋洗液中无机氮浓度变化 特征 .....	127
5.1.2 不同水肥配置下淋洗液体积变化特征 .....	129
5.1.3 不同水肥配置下氮素的累积淋洗量 .....	130
5.2 土壤中的重金属累积 .....	136
5.3 不同水肥配置下蚯蚓的数量变化 .....	140
5.4 本章小结 .....	146
<b>第6章 主要结论与研究展望</b> .....	<b>148</b>
6.1 主要研究结论 .....	148
6.2 主要创新点 .....	152
6.3 研究展望 .....	153
<b>参考文献</b> .....	<b>155</b>
<b>附录 图表索引</b> .....	<b>185</b>

# 第 1 章

## 绪 论

自 20 世纪以来，全球人口增长迅速，农产品的需求不断增加，扩大耕地面积和提高产量，成为解决粮食安全问题的主要途径。二战后，发达国家兴起了以机械化、化学化为主的能源集约型现代农业革命，随后又以绿色革命的形式传播到了亚非拉等发展中国家。现代农业生产经过了一段高速度的发展后，使农业的劳动率、土地生产率和农产品的商品率大大提高，为解决全球的饥荒和发展问题做出了巨大的贡献（邱建军等，2008）。但是现代农业体系以严重消耗能源为前提，在生产中大量使用化肥、农药、生长调节剂等农用化学品，以高投入换高产出，在解决了饥饿问题的同时，过量施用化肥引起湖泊、水库富营养化，地下水受到污染，土壤严重退化等一系列环境效应（刘志场，2003；郝建强，2006）；农药，尤其是那些高毒高残留农药的施用，使粮食、蔬菜、水果和其他农副产品中有毒成分增多，食品安全得不到保障，危害人体健康（施培新，2003）。随着现代农业的规模

化、普遍化的深入发展，它对化学农药、生长调节剂和化学肥料的依赖性也不断增强，害虫天敌逐渐消失，自然生态系统被严重破坏，环境受到严重污染。不仅使土地持续生产的能力下降，农业生产能力徘徊不前，还加剧了全球性自然资源耗竭、生态环境恶化等一系列危机，成为全人类关注的焦点（Carson, 2007）。

维持或提高作物产量，减少生产风险，降低对自然资源的消耗和对土壤和水质量的破坏，实现经济、生态和环境效益三者的有机结合和统一，是可持续农业的追求目标（FAO, 1993）。有机农业（organic agriculture）遵循可持续发展原则，遵循自然规律和生态学原理，协调种植业和养殖业的平衡，采用一系列可持续发展的农业技术，维持持续稳定的农业生产过程，其核心是建立和恢复农业生态系统的生物多样性和良性循环。而早期的有机农业实践也在一定程度上证明了它可以帮助解决现代农业带来的一系列问题，诸如土壤耕地质量下降、环境严重污染和能源的过度消耗、物种多样性的急剧减少等困扰人类的问题（Boeringa, 1981；Schjonning et al., 2004）。因此，有机农业受到广泛而密切的关注，在近 30 年来风行世界各地，成为全球农业发展的新方向。

虽然各国间对有机农业存在众多定义和名称，例如“生态农业”“自然农业”“生物农业”等，但其内涵是统一的，都强调建立循环再生的农业生产体系，保持土壤的长期生产力，拒绝人工合成的化学物质投入，保证食品的健康安全（陈声明等，2006）。我国在对欧美各国有机农业考察的基础上，综合各自的优点，认

为有机农业是遵照一定的有机农业生产标准，在动植物生产过程中不采用基因工程获得的生物及其产物，不使用任何化学合成的农药、化肥、生长调节剂、饲料添加剂等物质，遵循自然规律和生态学原理，协调种植业和养殖业的平衡，采用一系列可持续发展的农业技术以维持持续稳定的农业生产体系的一种农业生产方式。其生产技术的核心是依靠有机肥料和生物肥料来满足作物生长对养分的需求，同时必须利用生物防治措施，如生物农药、天敌等进行病虫害防治（原国家环境保护总局有机产品认证中心，2007）。

有机食品是指来自有机农业生产体系，根据国际有机农业生产要求和相应的标准生产加工的，并通过独立的有机食品认证机构认证的农副产品，包括粮食、蔬菜、水果、奶制品、禽畜产品、蜂蜜、水产品、调料等（科学技术部中国农村技术开发中心组，2006）。有机食品因其源于自然、高品质、环保、安全等优点成为健康食品，深受发达国家和地区的欢迎，成为食品消费的新时尚。从世界范围看，全球有机食品销售额从2002年的230亿美元增加到2008年的384亿美元，比2000年增加了近一倍，比2007年高出50亿美元。有机食品需求最多的地区集中在欧洲和北美，占全球97%的有机食品销售份额（SOEL - FIBL，2008）。在这两个地区往往出现供不应求的现象，需要从其他国家和地区进口大量的有机食品来满足当地人们的需求。

我国的有机农业发展迅速，有机产品大部分出口国外。随着我国人民生活水平提高和环境保护意识的增强，国内市场有机产

品的需求量也逐年增长。中共中央、国务院2007年1号文件《关于积极发展现代农业扎实推进社会主义新农村建设的若干意见》指出：“转变养殖观念，调整养殖模式，积极推行健康养殖方式，从源头上把好养殖产品质量安全关；鼓励发展循环农业、生态农业，有条件的地方可加快发展有机农业。”可见，发展有机农产品已成为我国食品安全计划的重要措施。

有机食品的价格一般为其他同类产品的3~8倍，有机种植带来的经济收益远远高于常规农业（IFOAM，2008）。由于各地在种植条件、种植种类、土壤肥力上的差异，只对有机肥、天然矿物等肥料的有害物质有明确的限量标准，对投入量还没有形成明确的、统一的规定。在高收益的刺激下，种植者往往通过大量投入养分来提高产量。这种管理措施在城郊的有机种植中尤其明显。过量的养分投入不仅有违有机农业的初衷，也会对农产品的品质带来不良影响，例如硝酸盐含量超标、糖分含量下降等（李淑仪等，2005）。

我国的有机肥资源丰富，来源广泛。随着规模化、集约化养殖企业的兴起，产生和集中了大量有机废弃物，畜禽粪便成为商品有机肥的主要成分（张树清等，2005）。畜禽粪便中所含的有害元素含量高，如代谢的重金属、添加剂残余、药物残余（包括激素类），甚至还包括处理不彻底的生物成分和微生物病原体等（奚振邦等，2004）。这类商品有机肥往往是城郊有机种植中主要的肥料来源。畜禽生产中使用的饲料长期以来都存在超剂量添加金属元素、微量元素的现象，而目前的有机肥加工处理技术相对

落后,至今尚无有效去除有机肥中重金属、残留药物的有效方法(Barker et al., 2002)。虽然有机种植中使用的肥料都已通过认证,但重金属含量还是相对偏高(谭晓冬等,2006)。因此,长期大量使用有机肥的同时,容易引发重金属污染。而且,由于有机肥中的养分释放缓慢,矿化过程较长,有机肥的大量投入对氮、磷、钾等养分的过量累积有重要影响,如果管理不当,极易通过地表径流、地下淋溶、挥发等各种形式流失到作物-土壤体系外,成为环境污染的潜在威胁因素(Campbell et al., 1993; Par et al., 1999; 沈其荣,1992; 周启星等,2005)。养分的过量累积程度直接决定了有机种植耕地的使用年限,成为限制可持续有机种植的主要因素。在现有的有机肥生产、加工条件下,有效钝化有机肥中的重金属和合理控制有机肥的使用量成为制约我国有机种植产业发展和推广的瓶颈技术。

有机种植过程中的养分变化动态与养分控制及其环境效应一直是有机农业研究的重点内容和核心技术。当前我国有机种植中施肥制度及技术还不够成熟和完善,有机蔬菜种植中养分过量投入尤其突出,如何在有机种植中合理地运用田间管理措施,适当地进行水肥调控成为当前我国有机种植发展中最重要、最亟须解决的技术问题之一。

## 1.1 国内外有机农业的最新发展状况

有机农业起源于20世纪二三十年代,是针对当时刚刚起步的

石油农业而产生的一种生态和环境保护理念，最初只由个别生产者自发地进行试验和生产实践（马世铭，2004）。世界上最早的有机农场是由美国的罗代尔（Rodale）先生于20世纪40年代建立的“罗代尔农场”。随后，德国、瑞士、英国等国家陆续开始有机农业的生产实践，但总体上发展缓慢（邱建军等，2008）。

从20世纪80年代起，随着一些国际和国家有机产品标准的制定，一些发达国家才开始重视有机农业，并鼓励农民从常规农业生产向有机农业生产转换，这时有机农业的概念才开始被广泛接受（杜相革等，2002）。近30年来，有机农业在全球迅猛发展，根据最新统计资料显示（SOEL - FIBL，2008），截至2007年，全世界大约有70万个农场、3040万公顷的土地采取有机种植模式（如图1-1所示），比2005年的有机种植面积增加了180万公顷，约占全球农田总面积的2%。其中，大洋洲占42%，其次为欧洲，占24%，拉丁美洲居第三位，占16%。拥有有机土地面积最多的国家是澳大利亚（1230万公顷），占全国耕种面积的65%；然后依次为中国（230万公顷），阿根廷（220万公顷）和美国（160万公顷）。

近几年来，有机农业不仅在生产规模上发展迅猛，而且已由单一的有机种植产品发展到涉及农林牧副渔和农副产品深加工、食品配料、农资产品、纺织品、护肤用品等诸多领域。

中国的有机农业起步晚，直到20世纪80年代后期，由于国际有机食品市场对中国有机产品的需求，才开始出现有机种植，主要在江浙一带生产有机茶叶。1994年，中国第一家认证机构南