



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

博士学位论文

有机苹果园土壤生物多样性、果实品质与经济效益
研究

作者姓名：_____孟杰_____

指导教师：_____蒋高明 研究员_____

学位类别：_____理学博士_____

学科专业：_____生态学_____

培养单位：_____中国科学院植物研究所_____

2016 年 05 月

**Research on the Soil Biodiversity, Fruit Quality and
Economic Profits of an Organic Apple Orchard**

By

Jie Meng

A Dissertation Submitted to

University of Chinese Academy of Sciences

In partial fulfillment of the requirement

For the degree of

Doctor of Natural Science

Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences

May, 2016

关于学位论文使用授权的说明

本人完全了解中国科学院植物研究所有关保留、使用学位论文的规定，即：植物研究所有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以提供目录检索以及公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的论文在解密后遵守此规定)

学位论文作者签名：

年 月 日

经指导教师同意，本学位论文属于保密，在 年解密后适用本授权书。

| | | | |
|----------|-------|-----------|--|
| 指导教师签名： | | 学位论文作者签名： | |
| 解 密 时 间： | 年 月 日 | | |

各密级的最长保密年限及书写格式规定如下：

内部 5 年（最长 5 年，可少于 5 年）
秘密★10 年（最长 10 年，可少于 10 年）
机密★20 年（最长 20 年，可少于 20 年）

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或者没有公开发表的作品的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名：

年 月 日

摘要

常规农业中施用大量化肥和农药, 严重威胁着食品安全和农业生态系统的健康、可持续发展。苹果是我国重要的果树品种之一, 虽然总产量居世界第一位, 但由于常规苹果农残高、品质差, 在国际贸易中缺乏竞争力, 制约着苹果产业的可持续发展。本研究通过对鲁东南苹果产区苹果园采取有机管理和常规管理模式, 系统全面地探讨有机管理模式对生物多样性、苹果品质和经济效益等方面的影响, 为中国发展有机苹果产业提供理论依据和技术支持。主要研究结果如下:

1 有机管理对土壤肥力和蚯蚓的影响

有机管理模式通过施用有机肥能够快速增加土壤的有机质含量和全氮含量, 有机管理下 0-20 cm 土壤有机质含量在 2012-2014 年显著增长了 13.7 g kg^{-1} , 增幅为 50.9%, 显著高于常规管理。有机管理模式以其较高的土壤有机质含量和无农药、化肥污染的健康环境为蚯蚓生长和繁殖提供了良好的条件, 有机管理模式蚯蚓种群数量迅速扩大, 其中腐食性蚯蚓为优势类群, 占比为 83%。2012-2014 年, 有机管理模式下 0-20 cm 土壤蚯蚓年平均密度由 59 条/ m^2 增长至 317 条/ m^2 , 增长 437%, 显著高于常规管理 (13-18 条/ m^2)。

2 有机管理对土壤细菌群落结构和多样性的影响

有机管理模式显著增加了土壤微生物量碳和微生物量氮含量。通过 16S rDNA 高通量测序技术对有机和常规模式下土壤细菌测序, 共获得 1137310 条序列, 鉴定到 41 个门 119 纲 167 目 229 科 281 属, 其中变形菌门 (Proteobacteria)、放线菌门 (Actinobacteria) 和拟杆菌门 (Bacteroidetes) 为主要优势类群。主坐标分析和物种丰度聚类分析结果表明, 两种管理模式土壤细菌群落结构存在较大差异。随着土壤有机质积累, 有机管理下 0-20 cm 土壤细菌 Simpson 和 Shannon 指数高于常规管理, 并且 2014 年差异达到显著水平。有机管理土壤中一些功能细菌的相对丰度显著高于常规管理, 如假单胞菌属 (*Pseudomonas*), 黄杆菌属 (*Flavobacterium*), 出芽菌属 (*Gemmata*)。有机管理模式固氮菌群的丰度之和高于常规管理, 表明有机管理模式果园的土壤细菌固氮潜力高于常规管理。

3 有机管理模式对害虫和杂草的控制效果

本研究有机管理模式采用生物物理防治相结合的控制方法具有良好

的控虫效果：自然天敌瓢虫通过捕食有效控制蚜虫；利用频振式诱虫灯诱捕趋光害虫，对鳞翅目、鞘翅目害虫具有显著的控制效果，日均捕获害虫总量、金龟甲日均捕获量、鳞翅目害虫日均捕获量分别减少了 39%、76% 和 16%。有机管理模式通过扩繁本地物种蛇莓 (*Duchesnea indica*) 占领生态位，有效抑制了其它杂草的生长，2012-2014 年蛇莓相对盖度增加了 55%，而杂草群落多样性指数 Simpson、Shannon、Pielou 分别显著降低了 38%、54%、17%。

4 有机苹果果实品质 and 安全性分析

有机苹果和常规苹果果型指数、果实硬度、可溶性糖、总游离氨基酸、维生素 C 含量无明显差异。有机苹果单重显著小于常规苹果，而可溶性固形物含量显著高于常规苹果。有机苹果果皮中 P、S、K、Zn 含量以及果肉中的 S、K 含量显著高于常规苹果。常规苹果 Ca 及重金属 Mn、Cd 含量显著高于有机苹果。有机苹果无污染、零农残，安全品质较好。常规苹果硝酸盐含量和重金属 Cd 含量较高，并且检测到灭幼脲、毒死蜱、戊唑醇三种农药残留量超标，会威胁人体健康。

5 有机管理模式下的产量和经济效益

2012-2014 年，有机管理模式产量比常规管理低 14%-25%，呈现缓慢增长趋势；常规管理模式产量先增加后减少，表现出“大小年”趋势。虽然有机模式的产量较低，但由于有机苹果以其健康安全的品质而具有较大的市场价格优势，产值高，弥补了产量损失。有机和常规管理模式在总投入上无较大差异。2012-2014 年有机管理模式年均产值为 17150 元/亩，比常规管理模式高出 80%。有机管理模式产投比为 3.67，是常规管理的 2 倍，具有较高的经济效益。

综上所述，有机苹果种植模式可以快速有效地增加土壤有机质和全氮含量，增加土壤微生物量碳、氮含量，并且有机质丰富且零污染的土壤有助于维持较高的土壤细菌群落多样性，促进蚯蚓种群增长；有机模式采用的生物物理相结合的控虫方法和生态控草方法，对环境无污染并且效果显著；有机种植模式产出的苹果健康、安全，具有较大的价格优势，实现了高产投比。因此有机管理模式兼顾生态效益和经济效益，既有利于保护环境、促进果园生态系统的稳定和可持续发展，又能够大幅度提升经济效益，是一种环境友好、高效、可持续的发展模式，对于我国解决农业污染和食品安全问题、发展可持续农业具有重要意义。

关键词：有机管理；苹果园；16S rDNA 高通量测序；生物多样性；果实品质；产量；经济效益

Research on the Soil Biodiversity, Fruit Quality and Economic Profits of an Organic Apple Orchard

Jie Meng (Ecology)

Directed by Gaoming Jiang

Abstract

Increasing usage of chemical fertilizers and pesticides in conventional farming has posed great threats to food safety, ecosystem's health and sustainability. Apple is one of the most important fruit species in China with the yield occupying the first in the world. But, due to the pesticide residues and poor quality, China's apples lack competitiveness in the international trade and the development is restricted. In the present study, apple orchards were treated with organic (ORG) and conventional (CON) management respectively in producing area of Southeast Shandong province. The effects of ORG and CON managements on biodiversity, fruit quality, and economic profits were studied. This study may provide theoretical basis for China's development of organic apple industry. The main results are as follows:

1 Effects of organic management on soil fertility and earthworms

Applying organic fertilizer could increase soil organic matter (SOM) and total nitrogen contents. From 2012 to 2014, SOM content of 0-20 cm layer under ORG management remarkably increased 13.7 g kg^{-1} by 50.9%, which was notably higher than that of CON. In the ORG management, the rich SOM content and healthy environment provided ideal conditions for earthworms' growth and breeding and the dominant species were detritivores. The earthworms' density in 0-20 cm soil was consecutively increased from 59 m^{-2} to 317 m^{-2} by 437%, which was significantly higher than that of CON whose earthworm density was around $13\text{-}18 \text{ m}^{-2}$.

2 Effects of organic management on soil bacterial community and diversity

ORG management dramatically enhances soil microbial biomass carbon and

nitrogen. Through 16S rDNA high throughput sequencing of soil bacterial, 41 phyla, 119 classes, 167 orders, 229 families and 281 genres were identified. The dominant bacterial phyla were Proteobacteria, Actinobacteria, Bacteroidetes. PCoA and Heatmap analysis indicated large differences between ORG and CON managements in bacterial community structure. Along with the accumulation of SOM, bacteria's Simpson and Shannon indices of ORG were higher than that of CON, and the difference was significant in 2014. Some functional genus such as *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Gemmata* had higher relative abundance under ORG management than CON. It's worth attention that ORG management had richer azotobacters than CON although the difference was not prominent.

3 Effects of organic management on pest and weed control

Biophysical methods had controlled pests effectively in the ORG management. Natural enemies including *Harmonia axyridis* and *Hyperaspis repensis* controlled aphids through preying. Light traps were effective for capturing nocturnal phototactic pests, especially Lepidoptera and Coleoptera. The daily total captured pests, scarab beetles and lepidoptera pests were decreased by 39%, 76% and 16% individually. *Duchesnea indica* is an ideal ground-cover plant to control weeds by winning the niche competition and suppressing weeds growth. The relative cover of *D. indica* increased by 55% while Simpson, Shannon-Wiener and Pielou index of weeds community were markedly decreased by 38%, 54% and 17% separately.

4 Analysis of fruit quality and safety of organic apples

ORG and CON managements showed no obvious effects on external quality, soluble sugar, total free amino acids, vitamin C. Compared with CON apples, ORG apples were significantly smaller in fruit weight but larger in soluble solid content and macroelements including P, S, K. CON apples had notably higher Ca, Mn, Cd contents and lower Zn content than ORG apples. ORG apples showed had higher safety with no pesticides and herbicides used in the whole growth period. On the contrary, CON apples were insecure with higher nitrate and Cd content as well as pesticides residue including chlorbenzuron, chlorpyrifos and tebuconazole.

5 Effects of organic management on yield and economic profits

The yield of the ORG management was lower than CON by 14-25% but showed

an increasing trend. The yield of the CON management showed alternate bearing potential trend. Although the yield was low, ORG apples were sold at high price because of good quality and safety. Thus the price advantage could make up for the lack of yield. The average output of ORG management was 17150 RMB/mu (1ha=15mu), which was higher than CON by 80%. The ORG management showed higher economic benefit with output-input ratio being 3.67 which was twice the CON.

In conclusion, organic management contributes to enhancing ecological profits by increasing soil fertility, microorganisms and earthworms, enriching bacterial community diversity and controlling pests and weeds effectively with no irreversible damage to the environment. Organic management has realized higher economic benefits depending on good quality and safety of fruits. Organic management is an environmental friendly, efficient and sustainable model and has significance in promoting conventional apple industry converting into sustainable development in China.

Key Words: organic management; apple orchard; 16S rDNA high throughput sequencing; biodiversity; fruit quality; yield; economic benefits

目 录

| | |
|-----------------------------|-----|
| 摘 要..... | I |
| Abstract | III |
| 目 录..... | VII |
| 第一章 前言 | 1 |
| 1.1 研究背景..... | 1 |
| 1.1.1 苹果生产与贸易现状..... | 1 |
| 1.1.2 苹果种植污染现状..... | 2 |
| 1.2 国内外有机苹果种植研究..... | 9 |
| 1.2.1 有机苹果产业发展现状..... | 9 |
| 1.2.2 土壤肥力 | 13 |
| 1.2.3 土壤微生物 | 14 |
| 1.2.4 生物多样性 | 14 |
| 1.2.5 害虫和杂草防治 | 15 |
| 1.2.6 果实品质 | 16 |
| 1.2.7 产量和经济效益 | 17 |
| 1.3 研究目的和意义..... | 18 |
| 1.4 科学问题和研究内容 | 18 |
| 第二章 有机管理对苹果园土壤肥力和蚯蚓的影响..... | 19 |
| 2.1 引言 | 19 |
| 2.2 试验设计与研究方法 | 20 |
| 2.2.1 研究地点概况 | 20 |
| 2.2.2 试验设计 | 20 |

| | |
|--|----|
| 2.2.3 测定指标与数据分析..... | 22 |
| 2.3 结果与分析..... | 24 |
| 2.3.1 有机管理对土壤有机质的影响..... | 24 |
| 2.3.2 有机管理对土壤总氮的影响..... | 25 |
| 2.3.3 有机管理对蚯蚓密度的影响..... | 26 |
| 2.3.4 有机管理对蚯蚓群落组成的影响..... | 28 |
| 2.4 讨论 | 29 |
| 2.5 小结 | 31 |
| 第三章 有机管理对苹果园土壤微生物的影响 | 33 |
| 3.1 引言 | 33 |
| 3.2 试验设计与研究方法 | 34 |
| 3.2.1 研究地点概况 | 34 |
| 3.2.2 试验设计 | 34 |
| 3.2.3 测定指标与数据分析..... | 35 |
| 3.3 结果与分析..... | 40 |
| 3.3.1 有机管理对微生物量碳氮的影响..... | 40 |
| 3.3.2 土壤样品高通量测序及数据处理..... | 40 |
| 3.3.3 有机管理对土壤细菌群落 α 多样性的影响..... | 45 |
| 3.3.4 有机管理对土壤细菌各分类水平上的影响..... | 49 |
| 3.3.5 有机管理对土壤细菌群落 β 多样性的影响..... | 54 |
| 3.3.6 有机管理对固氮菌属的影响..... | 57 |
| 3.4 讨论 | 59 |
| 3.5 小结 | 61 |
| 第四章 有机管理对苹果园害虫和杂草控制的影响 | 63 |
| 4.1 引言 | 63 |
| 4.2 试验设计与研究方法 | 64 |
| 4.2.1 研究地点概况 | 64 |

目 录

| | |
|--------------------------------|-----|
| 4.2.2 试验设计 | 65 |
| 4.2.3 测定指标与数据分析..... | 65 |
| 4.3 结果与分析..... | 67 |
| 4.3.1 有机管理下瓢虫对蚜虫控制效果..... | 67 |
| 4.3.2 苹果园诱虫灯捕获的常见害虫..... | 68 |
| 4.3.3 有机管理下诱虫灯对趋光害虫总量控制效果..... | 70 |
| 4.3.4 有机管理下诱虫灯对金龟甲控制效果..... | 72 |
| 4.3.5 有机管理下诱虫灯对鳞翅目害虫控制效果..... | 74 |
| 4.3.6 有机管理下趋光害虫与气候因素相关分析..... | 76 |
| 4.3.7 有机管理下蛇莓控草效果..... | 77 |
| 4.4 讨论 | 78 |
| 4.5 小结 | 80 |
| 第五章 有机管理对苹果品质、产量和经济效益的影响 | 83 |
| 5.1 引言 | 83 |
| 5.2 试验设计与研究方法 | 83 |
| 5.2.1 研究地点概况 | 83 |
| 5.2.2 试验设计 | 84 |
| 5.2.3 测定指标与数据分析..... | 84 |
| 5.3 结果与分析..... | 86 |
| 5.3.1 有机管理对叶片生长和光合色素含量的影响..... | 86 |
| 5.3.2 有机管理对叶片矿质元素含量的影响..... | 87 |
| 5.3.3 有机管理对果实品质指标的影响..... | 89 |
| 5.3.4 有机管理对果实矿质元素含量的影响..... | 92 |
| 5.3.5 有机管理对苹果安全性品质的影响..... | 95 |
| 5.3.6 有机管理对苹果产量的影响..... | 103 |
| 5.3.7 有机和常规管理模式苹果园经济效益分析..... | 103 |
| 5.4 讨论 | 107 |
| 5.5 小结 | 109 |

| | |
|-----------------|-----|
| 第六章 结论与展望 | 111 |
| 6.1 结论 | 111 |
| 6.2 展望 | 112 |
| 参考文献 | 115 |
| 致 谢 | 125 |
| 个人简历 | 127 |

第一章 前言

1.1 研究背景

1.1.1 苹果生产与贸易现状

苹果是世界四大水果之一，也是我国最重要的果树品种，我国苹果种植面积、总产量与产值均居各果树之首，并且均居世界第一位(陈学森等 2010)。我国在世界苹果生产中具有举足轻重的地位，根据联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)数据，2013 年中国苹果总产量 3968 万吨，达世界苹果总产量的 49%。据国家统计局年鉴数据，我国苹果种植面积在上世纪九十年代经历过大增长，而后面积逐渐减少，自 2005 年开始有所缓慢增长，2013 年我国苹果种植总面积为 227 万公顷，2014 年总产量为 4092 万吨（图 1-1），在全国水果总种植面积和总产量中占比分别为 18% 和 16%。

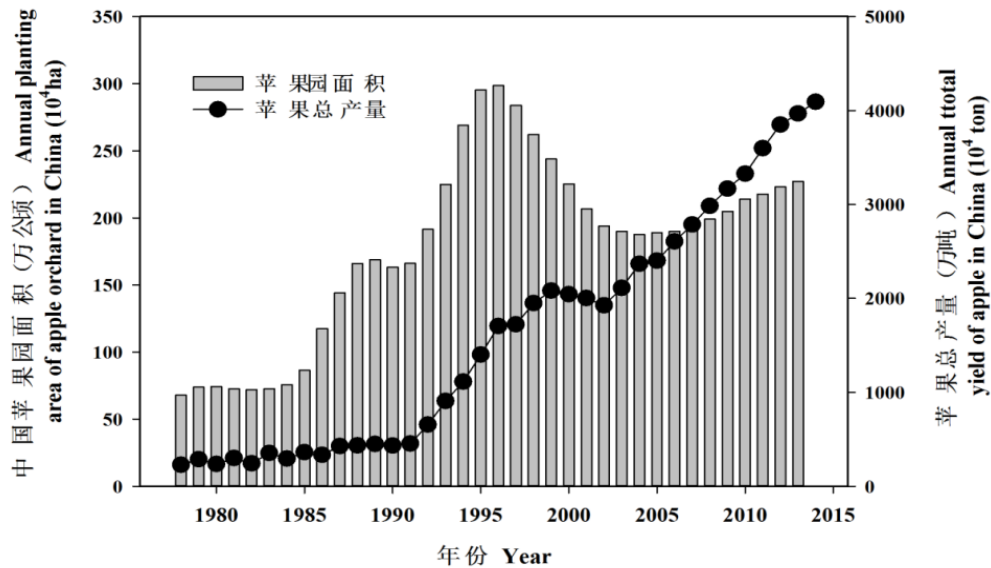


图 1-1 中国苹果种植面积和苹果总产量

Figure1-1 Total area of apple planting area and total yield of apple in China

注：数据来源为中国国家统计局年鉴数据。

Note: Data source is yearbook data collected by National Bureau of Statistics of China.

目前, 尽管我国苹果生产规模大, 产量高, 但由于化肥、化学农药及生长调节剂的施用, 形成农业立体污染(章力建等 2005a), 对环境和对人体健康造成威胁。苹果农药残留量较高, 品质较低, 尽管总产量高, 但符合出口标准的高品质苹果较少。据 2013 年 FAO 数据, 2012 年我国苹果总产量居世界第一位, 相当于位居第二位的美国苹果总产量的近 10 倍, 但是我国苹果出口量仅占总产量的 2.69%, 仅约为美国出口占比的 1/10 (表 1-1), 可以看出我国苹果在国际贸易中的总体竞争力不强。

表 1-1 2012 年苹果主产国苹果总产量与进出口量

Table1-1 The yields and exports of apples of main producing countries in 2012

| 国家 | 总产量 (10 ³ t) | 单产 (t ha ⁻¹) | 出口量 (10 ³ t) | 进口量 (10 ³ t) | 出口量/总产量 (%) |
|------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
| 中国 | 38492.52 | 160.04 | 1035.89 | 321.65 | 2.69 |
| 美国 | 4110.05 | 309.83 | 870.19 | 183.45 | 21.17 |
| 土耳其 | 2889.00 | 191.52 | 68.92 | 3.28 | 2.39 |
| 波兰 | 2877.34 | 147.80 | 958.36 | 51.45 | 33.31 |
| 意大利 | 1991.31 | 364.15 | 933.37 | 37.32 | 46.87 |
| 伊朗 | 1700.00 | 126.87 | 92.95 | 2.07 | 5.47 |
| 智利 | 1625.00 | 455.60 | 761.98 | 0.94 | 46.89 |
| 俄罗斯 | 1403.00 | 76.54 | 0.50 | 1278.55 | 0.04 |
| 法国 | 1384.85 | 336.55 | 626.32 | 206.69 | 45.23 |
| 德国 | 972.41 | 307.33 | 136.31 | 614.36 | 14.02 |
| 澳大利亚 | 471.42 | 596.13 | 3.74 | 0.33 | 0.79 |
| 新西兰 | 448.00 | 506.50 | 284.45 | 1.13 | 63.49 |

注: 数据来源为 2012 年 FAO 报告。

Note: Data source is FAO report in 2012.

1.1.2 苹果种植污染现状

中国人均耕地面积小, 消费者对食品需求的压力日益增大, 施用化肥和利用农药除虫防病等措施逐渐成为农民用来提高农作物产量的重要方法, 对于苹果种植生产也不例外。但是, 伴随着工业化的发展, 农民大量使用化肥、杀虫剂、除草剂及各类植物生长调节剂, 农产品质量安全和环境可持续发展都受到严重威胁(Pimentel et al. 1992)。

1.1.2.1 化肥污染

据国家统计局年鉴数据，2014 年中国化肥总施用量为 5996 万吨，是 1978 年的 6.8 倍，化肥施用总量年均增长率约为 5.5%（图 1-2），我国化肥施用总量占世界的三分之一。据 FAO 数据，2010 年我国化肥平均使用量为 413 kg ha^{-1} ，约是发达国家设置的安全用量（ 225 kg ha^{-1} ）的两倍；而我国化肥利用率水平仅在 35% 左右，比发达国家低 5%-10%（章力建等 2005b）。

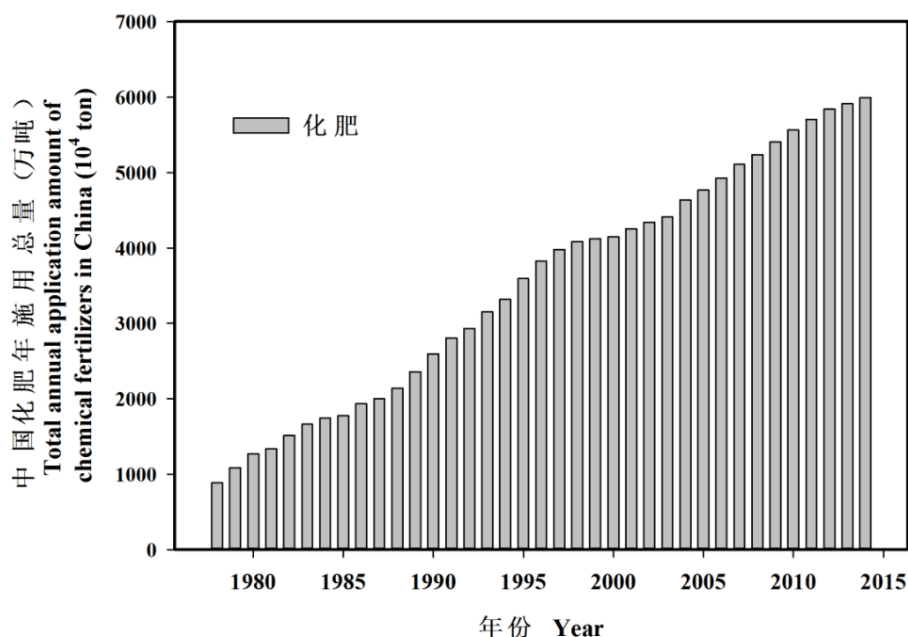


图 1-2 中国化肥年施用总量增长图

Figure1-2 Increase of total amount of chemical fertilizers used in China

注：数据来源为据国家统计局年鉴数据。

Note: Data source is yearbook data collected by National Bureau of Statistics.

合理配施化肥对于提高作物产量有一定的帮助，但是过量施用或者不合理施用化肥会引起严重的环境污染，主要包括以下方面：

（1）过量施用化肥对土壤的污染

我国化肥施用量高，但是利用率相对较低，由表 1-2，不同地区的化肥施用量及利用率差异很大，高施肥量区化肥利用率仅有 27%（陈同斌等 2004）。未被农作物吸收的化肥大量残留于土壤中，易造成土壤板结、酸化、盐渍化，硝态氮、亚硝态氮在土壤中大量累积，重金属残留严重，土壤碳氮循环失衡，单一施用化

肥造成土壤中有机质含量不断下降，土壤肥力降低(Haynes and Naidu 1998; 李东坡和武志杰 2008; 王红茹 2009)。

表 1-2 中国 1991-1999 年三个化肥施用量区化肥利用率比较，引自(陈同斌等 2004)

Table1-2 Fertilizer use efficiency of three fertilizer application areas of China in 1991-1999

| 地区 | 化肥利用率 (%) | |
|-------|-----------|-------|
| | 按地区平均 | 按县平均 |
| 全国 | 34.17 | 31.34 |
| 高施肥量区 | 27.39 | 26.14 |
| 中施肥量区 | 36.04 | 33.19 |
| 低施肥量区 | 39.83 | 34.81 |

化肥主要包括氮素化肥、钾素化肥和磷素化肥，它们对土壤的污染机制有所不同。氮肥主要包括硫酸铵、尿素、硝酸铵等。长期施用大量氮肥，高浓度的铵会抑制固氮作用，而促进硝化作用，影响土壤中的硝态氮含量，容易造成土壤酸化，氮素的分解和转化产物对土壤和作物也会产生毒害，引起土壤中硝态氮淋失(葛鑫等 2003; Kibblewhite et al. 2008)。在氯化钾、硫酸钾等钾肥施用中，由于 Cl^- 、 SO_4^{2-} 在土壤中大量积累，在酸性土壤中加剧土壤酸化，在碱性土壤中则由于 CaSO_4 的形成而引起土壤板结(李东坡和武志杰 2008)。磷肥在生产过程中，由于其生产原料为氟磷灰石，会释放出大量氟化氢，土壤遭受氟污染，并危害动植物的生存。磷肥中常含有重金属元素及放射性元素，如镉、铅、锌、砷、锶、铀、镭等，引起土壤重金属残留超标和放射性污染问题，重金属会通过食物链富集，并且危害植株生长和人体健康(张中一等 2003; 王红茹 2009)。

由于化肥的施用，土壤微环境遭到破坏，如无脊椎动物包括蚯蚓、土壤线虫等土壤动物生存受到较大影响，此外，根际土壤微生物群落结构和功能受到影响(Yu et al. 2015)，土壤微生物均匀度、丰富度及微生物多样性发生降低(姚健等 2000)。

(2) 过量施用化肥对水体的污染

大量施用化肥是水体污染的一个重要成因。我国化肥施用量较高，但利用率相对较低。未被作物吸收的化肥除被土壤吸附的部分以外，会由径流、淋溶进入地下水，进而汇入江河湖泊，造成更大面积的水体污染(van der Werf 1996)。其中，硝态氮是淋失的主要氮源，易造成水体中的硝酸盐和亚硝酸盐超标(张中一

等 2003)。氮、磷污染是水体富营养化如水华、赤潮等发生的重要成因，水体自净能力下降，引起水生动物缺氧致死，影响水生生态系统的平衡，也会影响人们饮用水安全和渔业养殖安全等；此外，有害物质也会通过食物链的富集作用不断积累，危害人类健康。

（3）过量施用化肥对大气的污染

氮肥经过反硝化作用会被分解形成一氧化二氮和氮气，氮分解后引起氨挥发，进入大气，是氮肥损失的一个重要途径。其中，一氧化二氮进入高层大气后，会与臭氧发生双重反应生成一氧化氮和二氧化氮，降低了臭氧浓度，造成臭氧层变薄(张中一等 2003; 王红茹 2009)。臭氧层被破坏后，紫外线辐射会危害地面人类及动植物的生存。

（4）过量施用化肥对果树生长和果实品质的影响

化肥的过量施用不但污染环境，也会影响果树生长和水果品质。果园氮素化肥施用量过高，造成土壤硝酸盐含量增加，进一步引起果实中硝酸盐含量增加，通过食物链富集，最终在人体内转化形成亚硝酸盐，危害健康和生存。过量地施用磷肥，会影响果实的外在品质如果型、单果重以及内在品质如糖酸含量、维生素含量等(张中一等 2003)。并且如前所述，磷肥中常伴有重金属物质，因而施磷肥后易造成果实重金属含量超标。过量施用钾肥易引起土壤酸化，其中氯化钾型钾肥中 Cl⁻危害果实品质(韩素贞 2015)。

1.1.2.2 农药污染

我国化学农药生产量和使用量均居世界第一位，并且农药使用量连年增加。据中国国家统计局年鉴数据，2013 年中国农药施用总量达 180 万吨（图 1-3），占世界的 20%，单位用量比世界平均水平高 250%-500%。

在农药施用过程中，仅有 0.1%的农药实际作用于害虫，其余未能发挥实际效用的农药挥发到大气环境中，或者进入土壤和水体中(吴春华和陈欣 2004)，残留量高，难以降解，对生态环境形成严重污染，我国每年遭到农药污染的作物面积约为 13-16 亿亩(张中一等 2003)；也有部分农药残留于作物体内尤其是果实、叶片等食用部分中，农产品中的农药残留超标问题已成为人们面临的主要食品安全问题之一。

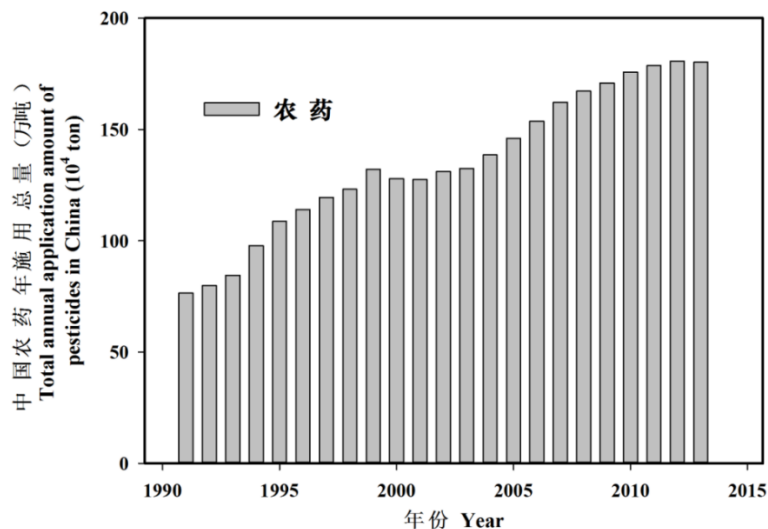


图 1-3 中国农药年施用总量增长图

Figure1-3 Increase of total amount of chemical pesticides used in China

注：数据来源为国家统计局年鉴数据。

Note: Data source is yearbook data collected by National Bureau of Statistics.

我国农作物种植中使用的农药主要包括有机磷、有机氯农药两类高毒农药，此外还包括一些低毒农药，但同样也具有慢性毒性或者三致毒性（致畸、致癌、致突变），对环境及人类并不是完全无害。据调查数据显示，我国农产品中农药残留量远高于世界发达国家的平均水平。我国农药污染严重的成因，还包括农药使用量超标，农民见虫就频繁大量地打农药，较高的施药水平，导致土壤与农产品中农残超标严重。农药污染主要包括以下几个方面：

（1）农药对大气、土壤、水体的污染

我国目前生产使用的农药以中、高毒农药为主，农药在使用过程中通常采用喷雾方式来防治病虫害，有机溶剂和部分农药进入大气和土壤，一些化学性质比较稳定、残留时间长的农药很难降解(华小梅和江希流 2000)。大气和土壤中的农药又会随着雨水进入水体，污染地下水和湖泊，影响饮水安全和养殖业发展；部分农药通过食物链富集，进一步危害渔业生产和人体健康。

我国土壤农药残留问题日益严峻。南京地区蔬菜大棚、稻田等土壤调查发现，65%的样品有机氯残留总量虽然小于 $60 \mu\text{g kg}^{-1}$ （国家《土壤环境质量标准》一级标准为 $< 50 \mu\text{g kg}^{-1}$ ），但是高于欧洲发达国家水平(安琼等 2005)。湖南东部稻

田有机氯农药残留量平均为 $49.8 \mu\text{g kg}^{-1}$ ，同时也检测到氯丹和七氯环氧化物残留(张利等 2008)。北京地区不同建园时间的果园在经过 10 年时间后，果园土壤中以滴滴涕为主的有机氯农药残留量虽然由 $1764 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 降至 $472 \mu\text{g kg}^{-1}$ ，但仍然严重超标，降解速度非常缓慢(史雅娟等 2005)。

(2) 农药对果实品质的污染

农药在喷施后，一部分有毒成分吸附在茎叶或果皮表面，其余部分会通过内吸作用和不同的传导途径转移至植株内部，并在植物体内不同营养器官之间转运，长期积累。一些重金属元素对果树具有毒害作用，通过根系吸收和叶片进入植物体，影响果树对营养元素正常吸收和植株生理代谢(聂继云和董雅凤 2002)。农药的有毒化学成分进入树体，影响果树生长，导致水果品质的降低。有研究发现施用农药处理的柑橘果实中，维生素 C、柠檬酸、蔗糖、肌醇含量均显著低于未施用农药对照组(Zhang et al. 2012)。喷施农药对西红柿果实矿质营养含量的影响较小，但是较大地影响了矿质营养与水溶性代谢物的相关关系，进而可能会影响风味及其它品质指标(Watanabe et al. 2015)。

(3) 农药对人类健康的影响

农药毒性一般为杀虫剂最大，杀菌剂居中，除草剂最小(姚建仁等 2001)。这些农药的使用，直接或者间接性地危及人们的身体健康。农民在使用农药过程中，无保护措施，直接与农药接触，并且由于目前农药施用方式以喷雾法为主，农药直接由呼吸道进入人体内，加之对皮肤和眼睛的伤害，通过不同的毒害途径，危害人体的感官系统、呼吸系统、神经系统、心血管系统及引起肺部纤维化(Margni et al. 2002; Eddleston and Bateman 2007; George and Shukla 2011)。有机磷农药具有神经致毒性，抑制乙酰胆碱酯酶活性；有机氯农药是高残毒农药，具有慢性毒性，因其具有脂溶性，易积累于人体脂肪中，并且影响某些酶类；拟除虫菊酯类、氨基甲酸酯类农药也会危害神经系统。此外，农药对哺乳动物的危害还包括降低免疫系统功能和降低生殖功能(谢永红 2003; 于娜等 2010)。

农药对于普通消费者的影响主要是由农药残留引起的食品安全问题，人们食用含有农药残留的食品，会引发轻微甚至严重中毒现象，以及一些潜在健康威胁(Laetz et al. 2009)。农药残留对人体健康的危害主要包括三致毒性、降低人体免疫系统功能、诱发多种疾病如肝脏及胃肠道疾病、肾脏病变等(韦友欢等 2010)。有机氯农药、氨基甲酸酯类、有机磷类、拟除虫菊酯类农药等已被国际癌症研究中心列为致癌物(George and Shukla 2011)。有研究表明，草甘膦会促进小鼠由

7,12-二甲基苯丙蒽诱导的皮肤癌细胞的增殖(George et al. 2010)。

(4) 农药对生物多样性的影响

常规农业生产中虫害防治所使用的杀虫剂多为广谱杀虫剂,不具有选择性,农药在快速防治虫害的同时,也会对非靶标生物产生毒害影响,致死或者抑制有益生物如蜜蜂、青蛙等的生长发育,产生不同程度的药害,降低农田系统里植物、动物、微生物的多样性(杨永华等 2000; 吴春华和陈欣 2004)。

农药危害生物多样性的报道屡见不鲜,一项关于中国东北地区农药克百威对鸟类潜在危害的研究表明,在调查的 86 种国家一级或二级保护鸟类中,有 85% 可能会受到农药克百威的危害,鸟类种群数量下降(Xu et al. 2003)。一项关于使用吡虫啉防治加拿大铁杉林中铁杉球蚜(*Adelges tsugae*)的 9 年监测研究表明,长期施用吡虫啉,会影响节肢动物的丰富度和群落组成(Kung et al. 2015)。

(5) 农药对农田生态系统稳定性的影响

通过综合分析前人关于生物多样性与生态系统稳定性关系的研究,王国宏提出生物多样性导致稳定性(王国宏 2004)。农业生产中广谱杀虫剂及除草剂的使用,使农田中的害虫或杂草大量快速地减少,但同时也使多种植物、自然天敌等有益生物无法生存,群落组成发生改变,造成农田生态系统某些物种种群数量的减少及生物多样性的降低,引起生态系统稳定性降低(尤民生等 2004)。生态系统遭到破坏以后,农作物对病虫害的抵抗力稳定性降低,而害虫及病菌逐渐产生抗药性反应,如有报道苹果黄蚜对氯氰菊酯及氧化乐果产生较高的抗性(彭波等 2010),梨黑星病菌对多菌灵产生抗性(冯明祥和邸淑艳 1999),小菜蛾对拟除虫菊酯产生高水平抗性(许小龙等 2001)等,这些会造成农民长期依赖大量农药来维持作物产量,造成恶性循环。

(6) 中国果园农药使用现状

在苹果种植管理过程中,使用化学农药防治病虫害的过程中所产生的面源污染十分严重。在常规果园的管理中,果农为了达到快速、经济的控制病虫害和除草效果,往往采用单一的化学农药防治方法。农民在使用农药过程中,往往存在对农药成分和功能缺乏准确的认识、使用方法不当等问题。

中国苹果两大主产区即渤海湾和黄土高原的 32 个县 96 个苹果园的农药使用调查结果表明,果农普遍使用的农药多达 50 余种,基本上包括低毒、中毒、高毒农药三个类别(聂继云等 2005),农药种类如表 1-3 所示。这些农药具有毒性强、难降解的特点,且存在不合理使用的现象,造成农药在果实中大量残留,并

且农药在施用过程中也污染了大气、土壤和水体环境，影响果园系统的生物多样性，威胁人体健康。

表 1-3 中国苹果主产区常用化学农药

Table1-3 Commonly used pesticides in the major apple production area of China

| 农药种类 | 农药名称 |
|------|--|
| 低毒农药 | 阿维菌素、苯醚甲环唑、吡虫啉、丙森锌、波尔多液、赤霉素、代森锰锌、啉虫脒、多菌灵、多氧霉素、恶唑菌酮、氟硅唑、氟铃脲、福美砷悬浮剂、甲基硫菌灵、腈菌唑、菌毒清、氯氟氰菊酯、马拉硫磷、灭幼脲、农抗 120、炔螨特、三氯杀螨醇、三乙磷酸铝、三唑酮、三唑锡、杀铃脲、石硫合剂、烯唑醇、辛硫磷、异菌脲 |
| 中毒农药 | 哒螨灵、毒死蜱、福美砷可湿性粉剂、高效氯、氰菊酯、甲氰菊酯、抗蚜威、乐果、氯氰菊酯、氰戊菊酯、噻螨酮、四螨嗪、溴氰菊酯、蚜灭磷 |
| 高毒农药 | 对硫磷、甲胺磷、硫丹、灭多威、杀扑磷、水胺、硫磷、氧化乐果 |

注：表 1-3 中国苹果主产区常用农药种类整理自(聂继云等 2009)。

1.2 国内外有机苹果种植研究

1.2.1 有机苹果产业发展现状

近年来，人们对食品安全的关注日益加大，已由对产量的追求转变为对品质和安全的追求。面对日益严峻的农业生产污染问题，人们开始寻求能够平衡农业生产与环境可持续发展的种植模式，越来越多的研究者与消费者开始关注有机农业(Ma and Sauerborn 2006)。有机农业的概念是由 Scofield 首先提出的(Scofield 1986)，经过多年发展，其定义为“在农业生产过程中不使用任何人工合成的农药、化肥、生长调节剂、添加剂、转基因技术及产物，基于自然规律和生态学原理，通过一系列可持续技术，来实现农业生态系统持续稳定发展的一种农业生产方式”(马世铭和 Sauerborn 2004; Luttikholt 2007)。有机农业强调整体性的概念，并且系统性地协调、整合利用系统中的每一个环节(Scofield 1986)，摒弃化学农药与添加剂，尽量减少外源投入，使用生态学方法自然而全面性地控制害虫、杂草以及管理整个系统，在获得安全农作物产品的同时，也保护了自然环境和农田生态系统(Verhoog et al. 2007)。相比于常规农业，有机农业能够有效整合、利用资

源，提高能源利用效率(Astier et al. 2014)，恢复和提高农田生态系统生物多样性水平(Fuller et al. 2005)。因此，有机农业被认为是一种用以促进农业经济效益、环境可持续及人类健康协同发展的理想模式(Azadi et al. 2011)。

目前，世界有机农业整体上呈现稳定而迅速发展的态势。根据瑞士有机农业研究所（Research Institute of Organic Agriculture, FiBL）和国际有机农业运动联盟（International Federation of Organic Agriculture Movement, IFOAM）2015 年世界有机农业报告数据，2013 年世界有机农产品总种植面积为 4309 万公顷，其中大洋洲有机种植面积最大，为 1732 万公顷，欧洲次之，为 1146 万公顷(FiBL and IFOAM 2015)（表 1-4）。

表 1-4 2013 年全球有机农业各大洲分布情况

Table 1-4 Distribution of global organic agriculture in 2013

| 地区 | 有机农业面积 (万公顷) | 占全球有机农业面积 比例(%) |
|------|-----------------|--------------------|
| 非洲 | 122.7 | 2.8 |
| 北美洲 | 304.8 | 7.1 |
| 亚洲 | 342.6 | 8.0 |
| 拉丁美洲 | 611.2 | 15.3 |
| 欧洲 | 1146.1 | 26.6 |
| 大洋洲 | 1732.2 | 40.2 |

注：表 1-4 数据来源(FiBL and IFOAM 2015)。

Note: Data source of Table 1-4 (FiBL and IFOAM 2015).

总体上，世界有机种植在总农业中的占比为 1%，从几大洲的有机农业种植面积占总农业比值来看有机农业的发展，大洋洲与欧洲的有机农业在总农业中所占的比值较高，分别为 4.1% 和 2.4%，拉丁美洲与北美发展较快，有机农业占总农业比值分别为 1.1% 和 0.7%，而亚洲与非洲发展较为落后，有机农业占比分别为 0.2% 和 0.1% (FiBL and IFOAM 2015)。欧洲有机种植面积为 1146 万公顷，其中，欧盟 2001 年经过认证的有机种植面积为 400 万公顷(Peck et al. 2005)。

全球最大的有机作物种植国家是澳大利亚，其 2013 年有机种植面积为 1720 万公顷，而中国有机种植面积为 210 万公顷，在世界排名第 4 位(FiBL and IFOAM 2015)；虽然我国排名较为靠前，但是相对于我国总体农业来说，有机农业所占比例较小，我国 2013 年有机种植面积为 210 万公顷，但仅占全国总农用地面积

（64646 万公顷）的 0.3%，与世界发达国家相比，我国有机农业发展规模较小，但是具有较大的发展前景。

表 1-5 2013 年有机农业栽培面积位居世界前列的国家

Table 1-5 Organic farming area of top countries around the world in 2013

| 国家 | 面积 (万公顷) | 国家 | 面积 (万公顷) |
|------|-------------|-----|-------------|
| 澳大利亚 | 1720 | 意大利 | 130 |
| 阿根廷 | 320 | 法国 | 110 |
| 美国 | 220 | 德国 | 110 |
| 中国 | 210 | 乌拉圭 | 90 |
| 西班牙 | 160 | 加拿大 | 90 |

注：表 1-5 数据来源 (FiBL and IFOAM 2015)

Note: Data source of Table 1-5 (FiBL and IFOAM 2015)

有机农业在果业上称为有机果园（园艺），在欧美国家发展迅速，由于消费者对于有机食品需求度剧增，许多常规种植的农场正在向有机农场转型(Rigby et al. 2001)，相对于发达国家有机农业的快速发展，发展中国家的发展速度较为缓慢(Yussefi and Willer 2003)，我国的有机果品生产尚在初级发展阶段。据 2015 年 FiBL 和 IFOAM 调查数据，2013 年世界有机苹果栽培面积为 93219 公顷，占全世界温带地区有机水果总面积的 44%，可见有机苹果在温带地区有机水果产业中的重要位置。

世界有机苹果种植面积一直处于稳定增长中，据 FiBL 和 IFOAM 2000-2015 年的调查数据（图 1-4）显示，2013 年世界有机苹果总栽培面积（含转换期）共 93219 公顷，是 2005 年（14406 公顷）的 6.5 倍，2005-2013 年世界有机苹果总栽培面积的年平均增长率为 26.3%，可见有机苹果发展态势较为稳健。世界有机苹果的主要产区包括欧洲、北美洲，其中，欧洲有机苹果栽培规模最大，并且总体呈增长趋势，2013 年欧洲有机苹果栽培面积达 63803 公顷，占世界总有机苹果面积的 68.3% (FiBL and IFOAM 2015)。值得注意的是，2013 年亚洲有机苹果种植面积较 2012 年有了大幅增加，这与有机水果市场不断扩大、果农积极转变种植方式密切相关。

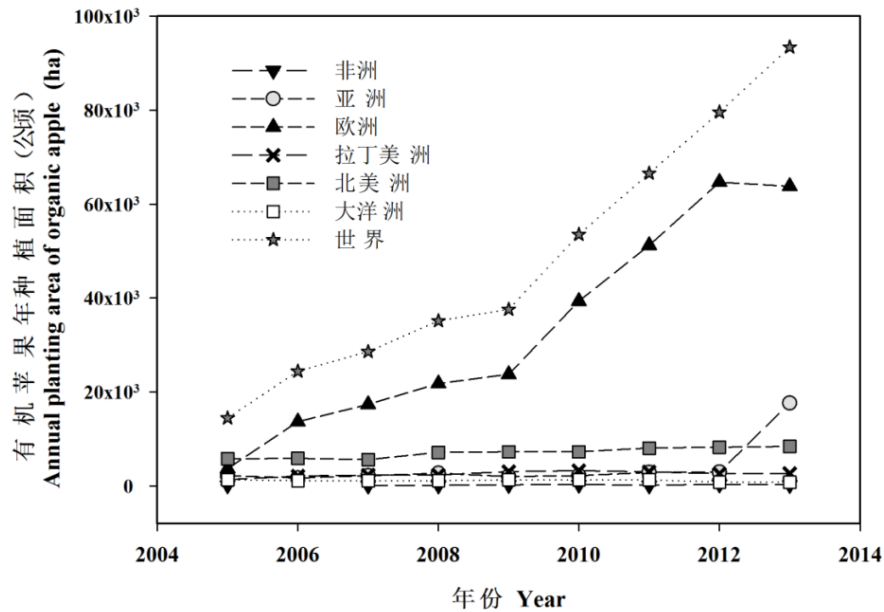


图 1-4 世界有机苹果种植面积增长图

Figure1-4 Increase of organic apple area in the world

注：种植面积包括转换期内的有机苹果；数据来源：FiBL-IFOAM 2000-2015 调查数据。

Note: Apple area consists of fully converted area and the area under conversion in the world; Data source is FiBL-IFOAM survey 2000-2015.

美国华盛顿州在 2003 年经过有机认证的苹果园面积为 4047 公顷(Peck et al. 2005)，欧盟国家对有机种植也给予资金补贴以支持发展，欧盟国家中，意大利有机苹果种植面积为 2300 公顷(张建光和刘玉芳 2005)。其中，波兰有机苹果种植面积占世界总面积的四分之一(FiBL and IFOAM 2015)。中国有机苹果栽培面积为 1580 公顷(张新生等 2009)，在全国苹果总种植面积中占比仅为 0.08%（据国家统计局年鉴数据，2009 年我国苹果种植总面积为 205 万公顷），规模较小，有待发展。

我国苹果产业是一个传统产业，在较长的发展过程中存在诸如环境污染严重、果品农残较高、品质较低、出口难等问题，未来的发展方向应定位于环境友好、质量安全、高效可持续的产业模式(翟衡等 2007)，转变以往常规农业中大化肥、大农药的种植方式，才能够提升苹果的安全质量和果实品质，提升我国苹果在国际水果贸易中的竞争力。目前我国有机苹果产业发展也受到诸多因素的制约，包括生产规模小、市场竞争力弱，产量降低，缺乏政府政策扶持、科研资金

及项目资金投入,尚缺乏规范的行业标准和严格的认证管理体系、果品质量参差不齐等(马卓 2006; 王田利 2013)。

有机农业以生产安全健康的农作物产品和保护环境为主要目的,既发展农业经济,又兼顾农业生态系统的可持续发展。因此,发展有机苹果是我国苹果产业新的发展契机,对提升果实品质、保障果农和消费者健康、保护生态环境、实现果园可持续发展、提升果园整体效益具有重要意义(赵政阳 2007)。

1.2.2 土壤肥力

土壤有机质含量是评估土壤肥力的重要指标之一。有机农业中主要通过施用有机肥来补充土壤有机质,提高土壤肥力。有机肥种类主要包括人畜粪便、堆肥、沼液、沼渣、绿肥等。施用有机肥可以改善土壤物理性质,提高土壤氮、磷、土壤有效钾、有机质含量,有机肥中的有机质分解形成腐殖酸后,与土壤中的固体颗粒粘合,利于促进土壤团聚体形成;土壤物理结构的改善,可进一步促进土壤微生物活性增加(胡诚等 2007)。

有机肥中含有苹果生长发育需要的多种营养元素,尤其是微量元素,对于果树生长的生理生化过程具有重要作用。有机肥在分解过程中会产生有机酸和腐殖酸类物质,这些酸性物质能够促进土壤中的矿质元素营养的释放(石俊雄等 2004)。与常规农业施用化肥相比,使用有机肥肥田可防止根系铵中毒的发生及氮肥挥发问题,减轻土壤矿质营养的淋溶和土壤养分挥发问题(薛峰等 2010)。

长期施用有机肥可以显著提升土壤肥力。随着有机肥施用量的提高,土壤有机质含量、土壤全氮、碱解氮、速效磷、速效钾含量随之增加(王立刚等 2004),微生物生物量碳、氮含量增加,土壤中蚯蚓丰富度和生物量增加,微生物呼吸活跃,真菌大量繁殖,并且同有机肥的施用量呈显著正相关(Werner 1997)。

Araújo 等(2009)通过比较有机果园与常规果园的土壤微生物活动发现,有机果园的土壤微生物活性和生物量明显高于常规果园,土壤有机碳含量也较高;在常规果园经过有机转化之后,土壤的土壤容重降低(Araújo et al. 2009)。有研究发现苹果园施用生物有机肥后,土壤有机质含量能够增加 75%,土壤容重降低 125%,速效磷、速效钾、全氮含量也有显著增加,土壤孔隙度增加,提高了土壤保水保肥和通气能力(路克国等 2003)。有机果园和综合管理果园的土壤质量要优于常规果园,而且对环境的负面影响低于常规果园(Reganold et al. 2001)。

1.2.3 土壤微生物

土壤微生物是农田生态系统的重要组成者，主要包括真菌、细菌、古菌等。土壤微生物是表征土壤生物性状的重要指标之一，土壤微生物对于维持土壤生态系统功能具有重要意义，在土壤物质循环中发挥着十分重要的作用，土壤微生物多样性降低会严重影响凋落物分解、养分循环和可持续发展(Cameron et al. 2014)。土壤微生物的研究主要集中于微生物量、代谢商、土壤酶（如脱氢酶、 β -葡萄糖苷酶、磷酸酶）、真菌和细菌多样性等方面。

有机模式能够快速促进土壤微生物学特性的提升，Araújo 等(2008)对巴西有机和常规樱桃园土壤进行研究，发现有机模式下，土壤呼吸和代谢商显著高于常规模式(Araújo et al. 2008)。Shannon 等(2006)对英国有机农场和常规农场土壤进行比较研究，发现有机农场土壤中总真菌数量、活性真菌数量和 ATP 含量显著高于常规农场(Shannon et al. 2006)。

孙健等(2013)通过对北京地区有 5 年有机管理的 10 个有机果园和常规果园土壤进行磷脂脂肪酸和稀释平板分析，发现有机果园微生物的丰富度高 19%(孙健等 2013)。Purin 等(2006)通过对巴西有机苹果园和常规苹果园土壤丛枝菌根真菌的研究发现，有机果园土壤总活性蛋白含量和丛枝菌根真菌的丰富度显著高于常规果园(Purin et al. 2006)。有研究表明经过 25 年单施化肥处理，会降低土壤微生物量和 PLFAs(Shi et al. 2014)。除草剂的使用对土壤生物有较大的负面影响，Zaller 等(2014)研究发现除草剂草甘膦的使用会降低根系菌根和丛枝菌根真菌孢子生物量，抑制菌根繁殖，同时降低蚯蚓活性(Zaller et al. 2014)。

近年来，测序技术飞速发展，人们利用分子手段精确研究土壤细菌、真菌的群落组成和多样性。Sapp(2015)利用焦磷酸测序技术分析比较了化肥和沼渣对土壤细菌群落的影响，其研究结果表明，施用化肥和施用沼渣的土壤中的细菌群落结构差异较大，施用化肥降低了细菌群落的生物多样性(Sapp et al. 2015)。

1.2.4 生物多样性

生物多样性是有机农业研究的重要问题之一。生物多样性水平高，有利于促进作物生产力的提高和维持农业生态系统较高的稳定性，促进可持续发展(冯耀宗 2002)。与农田相比，果园是一个相对复杂的系统，植物和动物种类较多，由于常规果园在管理中施用大量的化肥和除草剂、杀虫剂，在防治杂草和害虫的同

时,也杀死了有益的自然天敌,致使农业生态系统生物多样性下降,不利于系统平衡和可持续发展。与常规农业相比,有机农业生态系统具有较高的物种丰富度,有机模式对包括鸟类、哺乳动物、蝴蝶、蜘蛛、蚯蚓、蜜蜂、植物、土壤微生物以及其它的节肢动物等类群具有积极的促进作用(Hole et al. 2005)。Gibson 等(2007)对 10 个有机农场和 10 个常规农场植物多样性和土地利用的研究表明,在有机农业模式中的耕作地,植物物种多度、丰富度和生物多样性水平较高,而在半自然植被区域,有机农场和常规农场的植物多样性水平无显著差异。有机农场较高的半野生和边界植被利于增加较高营养级物种的多样性水平(Gibson et al. 2007)。

Simon 等(2010)综合分析多项关于苹果园、梨园和桃园生物多样性与害虫控制关系的研究,发现当果园中植物多样性水平高时,可以为自然天敌和一些节肢动物提供栖息场所,同时减少杀虫剂的使用,更有利于提升害虫控制效果(Simon et al. 2010)。果园植被多样性对于保护自然天敌和有益生物起到十分重要的作用。Fuller 等(2005)在英格兰低地进行了有机果园与非有机果园的比较性研究,通过对植物、无脊椎动物、鸟类和蝙蝠的综合性评价发现,有机果园具有较高的生物多样性水平、物种数量和丰富度;有机果园有利于农田生态系统的生物多样性保护及修复(Fuller et al. 2005)。Altieri 等(1999)的研究表明,生物多样性的生态服务功能还包括保护作物和土壤肥力,应该通过多种手段来提升生物多样性的服务功能(Altieri 1999)。McArtney 和 Walker(2004)也指出,未来有机苹果产业的发展需要提高生物控制生物多样性(McArtney and Walker 2004)。

1.2.5 害虫和杂草防治

在常规农业管理中,农民大量使用杀虫剂灭杀害虫,对生态环境和农民健康都造成了巨大危害。由于杀虫剂高毒,并且没有靶标性,致使大量自然天敌和有益物种丧失。在有机农业中,采用的病虫害防治技术主要是综合防治方法,包括物理防治和生物防治两个方面。物理防治方法主要包括人工捕杀、清除病株、黑光灯诱杀、脉冲式杀虫灯诱杀等手段。生物防治方法包括利用天敌捕杀、利用性引诱剂诱杀、喷施生物农药如苦参碱、沼液进行控制等。

在物理防治方法中,利用诱虫灯诱捕对趋光性害虫具有较好的防治效果。果园中的自然天敌包括拟寄生物、捕食者、病原体等,通过寄生或捕食来控制害虫,

也是有机果园害虫防治体系的重要组成部分。有机果园中由于地面植被多样性高,有利于调节地表微气候,有效保障自然天敌及其它有益物种的生长和繁殖,提高自然天敌的丰富度和生物多样性(Zhou et al. 2014)。

Tshernyshev(1995)提出 EPM (Ecological Pest Management) 防治方法,即害虫生态治理方法。他主张运用基于农田生态系统的自然可持续发展的综合害虫治理方法,禁止化学农药的使用,通过不同的作物栽培体系和自然植被来维持农田生态系统较高的生物多样性(Tshernyshev 1995),近年来成为新的研究热点。

Friedrich 等(2003)通过对有机果园害虫管理技术对虫害防控、病害防治的研究表明,套着色袋或白陶土膜的乔纳金苹果在生长过程中遭受的病害和虫害侵袭最少(Friedrich et al. 2003)。Delate 等(2008)提出未来有机苹果的害虫管理策略应注重研发抗疮痂病品种,增强存储能力,减少环境中负面的输入和对健康的影响(Delate et al. 2008)。

在常规农业中,较常使用除草剂除草的方法,常用的除草剂包括百草枯、草甘膦、乙草胺、精吡氟禾草灵、西玛津等,虽然除草剂经济成本低,但是对环境和果农健康造成较大危害。在有机农业中,杂草防治的方法主要包括人工或机械除草、刈割、利用秸秆或果木碎屑覆盖、种植牧草、林禽互作等。

1.2.6 果实品质

Amarante 等(2008)通过 2002-2004 年对巴西两个常规果园和有机果园的研究发现,有机管理降低了叶片中 K、Mg、N 的含量,果实个头小;但是有机苹果的成熟度较好,收获时着色面积大,可溶性固形物含量高于常规苹果;此外,有机富士苹果的发病率比常规苹果低,有机嘎啦苹果的可滴定酸含量低于常规苹果(Amarante et al. 2008)。

Reganold 等(2001)研究发现,有机苹果硬度大,果实甜度的指标包括可溶性固形物和糖度的比率高。果实矿质元素方面,常规模式苹果的 N、Cu、N/Ca、k/Ca、Mg/Ca 要高于有机苹果;有机苹果的 Ca、Mg、Na、Mn 含量要高于常规管理的苹果。果树生长量在有机模式和常规模式下无较大差异(Reganold et al. 2001)。

影响果实品质的因素很多。有研究表明,施用有机肥后,苹果的可溶性固形物含量以及外在指标如果实硬度有所增加,化肥配施绿肥和施用生物菌肥对可

溶性固形物含量和苹果着色也具有显著的促进作用(周纯等 2003;; 周天华和樊庆忠 2008)。有研究表明,叶片喷施锌肥有利于促进苹果果实中还原糖含量、可溶性固形物含量、硬度的增加,喷施锌肥的浓度达到 1%时,可以显著增加苹果果实中的维生素 C 含量和花青苷含量(刘汝亮等 2007)。

苹果果实品质也受到土壤酸碱度的影响,有研究表明土壤 pH 值下降至低于 4.5 时,平邑甜茶果实中可溶性糖含量和可溶性蛋白含量显著降低,并且果实中的超氧化物歧化酶、过氧化物酶以及过氧化氢酶的活性显著降低(王海云 2008)。

在常规苹果种植中,由于农药的使用会导致苹果果实中农药残留的问题较为普遍,影响了苹果的食用安全性。不同剂量农药配施研究表明,在施药后仍能检测到克菌丹、灭菌丹、肟菌酯等农药残留(Poulsen et al. 2009)。苹果果实中有机氯农药、有机磷农药的残留量较高(Dubey and Nath 2005)。

1.2.7 产量和经济效益

目前对有机农业产量的研究,结果不一,较多人提出有机农业产量低于常规农业,但也有结果表明有机农业产量与常规农业无显著差异甚至超过常规农业。

有研究认为,有机苹果的产量比常规苹果低,产量不稳定。Roussos 和 Gasparatos(2009)通过对比试验,发现常规模式果园的产量约为有机果园产量的两倍左右(Roussos and Gasparatos 2009)。有研究表明,有机果园产量年际变化较大,有研究结果显示有机果园两年产量差异达 2.3 倍,表现出两年一次丰产的规律(Peck et al. 2006)。不同地区有机苹果的产量差异较大,如荷兰、法国有机苹果的产量达 10-20 t ha⁻¹,而智利有机苹果产量仅为 8 t ha⁻¹,受到地域、气候等因素的影响较大(程绍南等 2002)。

也有研究认为有机种植模式能够保证产量。Reganold 等(2001)在 1994-1999 年于美国华盛顿州开展定位试验,比较研究了有机果园、常规果园及综合管理果园在产量、品质等方面的差异,其研究表明三种管理模式的果园产量并无较大差异(Reganold et al. 2001)。Peck 等(2006)在 2002-2003 年继续了 Reganold 的实验,发现有机模式、常规模式和综合管理果园的产量虽然在年际之间波动较大,但是三种模式果园 5 年的总累积产量是相近的; Delate 等(2008)提出有机果园发展的关键挑战是在减少外部输入的前提下,调控养分循环过程,以保证果树产量(Delate et al. 2008)。

Mon 和 Holland(2005)研究了美国华盛顿州有机果园和常规果园生产的经济连锁反应,认为与常规苹果种植相比,有机苹果种植是劳动密集型产业;每获得相同的单位产出,有机果园的中间投入更少,但是产出更高,有机苹果价格受到经济波动的影响更大(Mon and Holland 2005)。有研究认为,在生态环境和经济效益综合评价上,有机果园最优,销路好,经济收益高;综合方法管理的果园次之,常规果园最低(Reganold et al. 2001)。

1.3 研究目的和意义

随着果品生产中化肥和各种杀虫剂、除草剂等的大量使用,果园生态系统受到的立体污染以及水果中农药残留问题日益严重,威胁着环境的可持续发展和人们的健康。在生活水平日益提高的今天,广大消费者对安全果品的需求越来越高。我国虽然是苹果主产国,产量居世界第一位,但是由于常规种植中化肥和农药的大量使用造成苹果农残和重金属超标等质量问题,我国苹果在国际贸易中常受到出口限制,不具有竞争优势。因此,迫切需要解决水果生产中的污染问题,提高果品安全质量,发展有机苹果成为我国苹果产业转型的新契机。我国有机苹果产业尚处于初级发展阶段,种植规模远落后于发达国家,有机种植技术体系尚不完善,缺乏有机苹果种植模式对生态和经济效益影响方面的综合研究,因此,开展有机种植模式对苹果生产综合影响的系统研究具有重要意义。

1.4 科学问题和研究内容

本论文主要围绕以下科学问题进行研究:(1)有机及常规管理对土壤理化和生物学指标的影响;(2)有机及常规管理对土壤微生物多样性的影响;(3)有机管理措施对杂草和害虫的控制效果;(4)有机及常规管理对苹果果实品质的影响。

本研究在鲁东南苹果产区进行长期定位试验,通过生理生化分析、样方调查、16S rDNA 高通量测序分析等多种研究方法,探讨有机管理模式对土壤理化性质、蚯蚓种群、微生物量、细菌群落结构和多样性、杂草和害虫控制效果、果实品质、产量和经济效益等方面的影响,综合评估有机苹果园的生态效益和经济效益,旨在为推广有机苹果种植、推动常规苹果产业向有机苹果产业转型发展提供理论依据和技术参考。

第二章 有机管理对苹果园土壤肥力和蚯蚓的影响

2.1 引言

自 20 世纪 80 年代以来,在我国常规农业生产中,农民主要通过大量使用化肥来维持和提高作物产量。化肥的大量施用,虽然对作物产量起到了一定的提升作用,但是对农田生态系统产生了很多负面影响,引起严重的面源污染问题,主要包括土壤污染、水体污染。土壤受到的影响主要体现在:长期施用化肥引起土壤中硝酸盐积累(党廷辉 2005),土壤酸化(张喜林等 2008; 蔡泽江等 2011),化肥中的重金属残留于土壤中无法降解,进而被植株吸收(张磊等 2006);土壤板结、土壤物理结构遭到破坏,土壤质量下降,土壤微生物和土壤动物的多样性及活动受到影响。

土壤有机质是评价土壤肥力的一个重要指标。土壤有机质是土壤中全部的动植物残体、腐殖质及微生物的总和(武天云等 2004)。土壤有机质含量影响着土壤的理化性质。施用有机肥有助于增加土壤有机质含量,改善土壤的理化性质及土壤生物学性状(徐永刚等 2010)。王旭东在连续 21 年施肥试验中发现,长期施用有机肥可以提高有机质含量 $1.17\text{--}2.85\text{ g kg}^{-1}$ (Wang et al. 2000)。王晓娟等通过对渭北干旱平原连续 4 年施肥试验发现,施用高量有机肥能够提高土壤有机质含量和 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体的含量(王晓娟等 2012)。汪红霞等对河北冬小麦-夏玉米连续十年定位试验发现,施用有机肥和利用秸秆还田可以有效提高土壤有机质含量 8%-17% (汪红霞 2014)。有研究表明,配施有机肥比单施化肥能够减缓土壤酸化程度(乔云发等 2007)。有机肥的施用,还可以提高土壤微生物、土壤动物的丰富度和土壤肥力(Mäder et al. 2002)。

蚯蚓是土壤中具有重要作用的大型土壤无脊椎动物,属环节动物门寡毛纲单向蚓目,是生态系统中十分重要的消费者和分解者,对有机物降解、物质循环和能量流动起着关键性的作用。蚯蚓以动植物残体和碎屑为食,加速环境中有机物的降解,对土壤团聚体的形成发挥重要作用,促进物质循环,提高土壤肥力;蚯蚓通过在土壤中钻洞穴居,能够增加土壤孔隙度,改善土壤结构。由于化学物质如农药、重金属等对蚯蚓的生长和繁殖具有抑制性的影响,因此蚯蚓可以作为农田生态系统的指示生物,监测和评判土壤污染程度(黄初龙和张雪萍 2005)。

本试验通过对有机管理和常规管理设置不同的施肥方式，即分别单施有机肥和单施化肥，比较不同的施肥处理对土壤理化性质的影响，以及对土壤指示动物蚯蚓的影响。

2.2 试验设计与研究方法

2.2.1 研究地点概况

试验在弘毅生态农场进行，试验地点位于山东省临沂市平邑县蒋家庄村（35°26'34" N, 117°49'13" E），地处蒙山南麓鲁东南苹果产区。该地属暖温带季风气候区，四季分明，雨热同期，年均气温为 13.2℃，年降雨量为 770.2 mm，降雨集中在 6-8 月，平均无霜期 212 天，土壤为棕壤。试验地点 2012-2014 年的日均气温和日降水量如图 2-1 所示，气象数据由试验站的小型气象站监测获得。

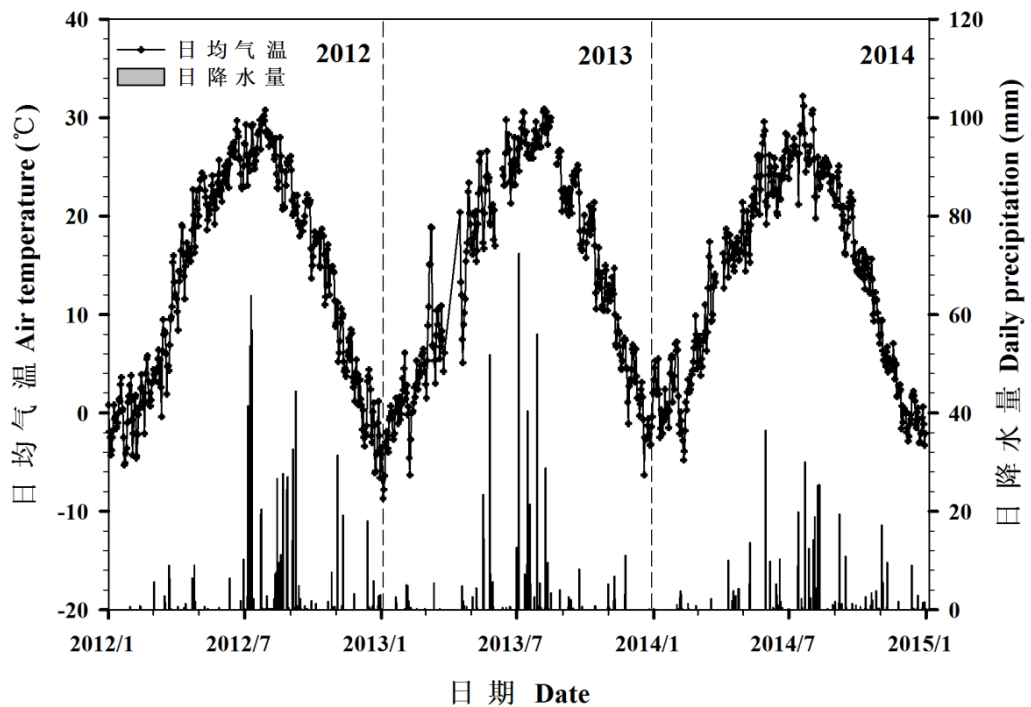


图 2-1 试验地点 2012-2014 年日均气温和日降水量

Figure2-1 Daily mean air temperature and daily precipitation in 2012-2014

2.2.2 试验设计

选取位置相邻的两个苹果园进行试验, 由于位置相邻, 可排除气候、土壤等因素的影响, 试验果园土壤本底值以及试验施肥所用牛粪的理化性质见表 2-1。两个果园面积共 8 亩, 设置有机管理和常规管理两种管理模式, 每个管理模式各设 3 个小区, 有机与常规管理中间间隔 5m 宽的机械作业路, 并种植 5m 宽的杨树林作为隔离带, 两种管理的具体周年管理措施如表 2-2 所示, 供试品种为红富士 (*Malus pumila*), 栽种于 1998 年。试验时间为 2012-2014 年 (其中 2012 年试验数据为硕士期间完成)。

表 2-1 有机管理及常规管理 0-20 cm 土壤本底值及牛粪理化性质

Table 2-1 Initial chemical and physical properties of 0-20cm soil layer in conventional and organic apple managements and nutrients of cattle manure (on dry weight basis)

| 样品 | 有机质 (g kg ⁻¹) | 总氮 (g kg ⁻¹) | 速效磷 (mg kg ⁻¹) | 速效钾 (mg kg ⁻¹) | pH | 含水量 (%) | 土壤容重 (g cm ⁻³) |
|--------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|------------|-------------------------------|
| 常规管理土壤 | 17.8±2.1 | 1.1±0.1 | 146.3±5.7 | 386.9±16.7 | 6.4±0.1 | 18.1±0.02 | 1.3±0.1 |
| 有机管理土壤 | 18.5±3.0 | 1.3±0.1 | 135.4±9.0 | 394.6±7.6 | 6.3±0.1 | 18.0±0.02 | 1.4±0.1 |
| 牛粪 | 420.5±10.3 | 20.2±0.8 | 366.5±43.5 | 207.5±42.5 | 7.7±0.5 | 66.2±3.8 | — |

注: 数据为平均数±标准差, n=3。Note: Data were means ±standard deviation.

如表 2-2 所示, 常规管理方法与当地果农的种植管理方法一致, 采取施用化肥、用化学农药除虫除草、用化学杀菌剂防治病菌的管理方式。

在施肥方面, 常规管理方法与当地果农的种植管理方法一致, 施用化肥即硫酸钾复合肥和尿素。有机管理采用施用有机肥的方法, 以养牛场的废弃物牛粪作为有机肥料, 施用量为 217.5 t ha⁻¹。

在害虫控制方面, 常规管理使用化学广谱杀虫剂, 除花期外, 3-9 月多次喷施杀虫剂。杀虫剂与当地果农使用的类型一致, 包括吡虫啉、毒死蜱、高效氯氰菊酯等, 杀虫剂的使用剂量和使用方法按照产品使用说明执行。有机管理采用生物物理防治相结合的控虫方法, 生物方法主要包括使用生物农药, 即石硫合剂和沼液, 利用自然天敌捕食害虫; 物理方法主要是利用诱虫灯捕杀夜行性趋光害虫, 并结合粘虫板捕杀小飞虫, 在秋冬季节在树干绑草把诱集成虫产卵, 而后将草把烧毁, 以减少害虫越冬数量。

在杀菌方面, 常规管理使用化学杀菌剂多菌灵、代森锰锌等; 有机管理采用有机农业允许的生物农药波尔多液和石硫合剂。

在杂草控制方面, 常规管理喷施除草剂, 杀灭地面所有杂草。有机管理尝试

扩繁本地物种蛇莓 (*Duchesnea indica*) 的生态控草方法, 在初春利用扦插的方法进行蛇莓的扩种, 种植位置集中于果树行间的排水沟两旁, 以利于蛇莓获得水分。

在授粉方面, 有机管理果园中养殖传粉昆虫凹唇壁蜂(*Osmia excavata*)为果树授粉。凹唇壁蜂为人工驯化品种, 在花期将凹唇壁蜂幼虫蜂茧放在简易蜂巢内, 盛花期气温升高时, 凹唇壁蜂飞出帮助果树授粉, 并在事先准备好的芦苇管内产卵, 传粉后, 收集芦苇管, 冷藏保存, 供次年传粉使用。

两种管理模式的具体周年管理方法和年历如表 2-2 所示。

表 2-2 有机管理与常规管理模式周年管理措施

Table2-2 Annual managements of conventional and organic treatments on fertilization, sterilization, pollination, pest control and weed control.

| 处理 | 常规管理 | 有机管理 |
|------|---|--|
| 施肥 | 硫酸钾复合肥: 5310 kg ha ⁻¹ 尿素: 1500 kg ha ⁻¹ | 牛粪: 217.5 t ha ⁻¹ |
| 控虫 | 化学杀虫剂 3 月 吡虫啉、高效氯氰菊酯; 1 次 5 月 毒死蜱、尼索朗 ; 1 次 6 月 三唑锡、吡虫啉、灭幼脲; 1 次 7-9 月 灭幼脲、尼索朗、 高效氯氰菊酯; 1 次 | 生物方法 3 月 石硫合剂, 1 次 5 月 沼液, 1 次 6 月 沼液, 1 次 自然天敌 5-10 月 频振式诱虫灯 物理方法 4-11 月粘虫板 10-11 月树干草把诱集 |
| 杀菌 | 3 月 代森锰锌、甲基托布津; 1 次 5 月 甘露糖醇螯合钙、丙森锌、戊唑醇、 多菌灵、代森锰锌; 1 次 7 月 多菌灵; 1 次 8 月 代森锰锌; 1 次 9 月 多菌灵; 1 次 | 5 月 波尔多液, 1 次 7 月 波尔多液, 1 次 8 月 波尔多液, 1 次 |
| 杂草管理 | 除草剂(百草枯): 3 次 | 生物方法: 2012 年 3 月, 扩繁蛇莓 (株距为 1 m×1 m) 物理方法: 刈割还田 |
| 传粉 | 人工辅助传粉 | 养殖传粉昆虫: 凹唇壁蜂 |

2.2.3 测定指标与数据分析

2.2.3.1 土壤样品采集与处理

试验开始后, 每个季度进行一次土样采集, 按照五点取样法, 用直径 5 cm

的土钻在每个小区随机采集 0-20 cm 土层的土样，混匀后装入自封袋并带回实验室，挑除样品中未分解的牛粪、石头、植株残体等非土壤成分后，一部分自然风干，过 100 目筛，待测土壤有机碳和全氮等指标，另一部分直接保存在 4℃ 冰箱中用来测定土壤微生物量及微生物多样性指标。

2.2.3.2 土壤有机碳和总氮含量测定

土壤有机碳含量的测定采用重铬酸钾-稀释热法(Nelson et al. 1996)。

土壤总氮含量的测定采用凯氏定氮法(鲁如坤 2000)。

2.2.3.3 土壤蚯蚓调查

在 2012-2014 年中，分别于每个季度对土壤中蚯蚓进行一次调查取样。每个小区随机设 7 个样方，样方大小为 30 cm (长) × 30 cm (宽) × 20 cm (深)，采用手拣法，将样方中的土全部挖出，逐一分拣土壤中的蚯蚓，将捕捉到的蚯蚓装入自封袋内，带回实验室进行分类、计数和称重。图 2-2 为调查取样情况。取样后，将挖出的土壤填回。计数、分类等工作结束之后，把取样的蚯蚓再放生到果园中。



图 2-2 苹果园 0-20 cm 土壤蚯蚓取样调查

Figure2-1 Sampling investigation of earthworms in 0-20 cm soil layer of apple orchards

2.2.3.4 数据分析

数据使用 Microsoft Excel 2010 进行输入和初步整理，用 SPSS 16.0 软件进行 One-way ANOVA 方差分析，并通过 *LSD* (least significant difference) test 及

Student's *t*-test 检验处理之间差异的显著性；做图使用 SigmaPlot 10.0 软件(Aspire Software Intl. Ashburn, VA, USA)，图表中数据均为平均数±标准误。

2.3 结果与分析

2.3.1 有机管理对土壤有机质的影响

有机管理下经过三年施用有机肥处理之后，土壤有机质含量显著增加。由图 2-3，有机管理下 0-20 cm 土壤的有机质含量由 2012 年 26.9 g kg^{-1} 增加至 2014 年的 39.2 g kg^{-1} ，显著增长了 13.7 g kg^{-1} ，增幅为 50.9% ($P<0.05$)。常规管理下土壤有机质含量呈现先增加后减小的变化趋势，其 2012 年和 2014 年 0-20 cm 土壤有机质含量显著低于 2013 年 ($P<0.05$)。

常规管理下长期施用无机化肥，土壤中缺乏有机物投入，有机质含量较低。由图 2-3，2012 至 2014 年，有机管理下 0-20 cm 土壤有机质的含量均显著高于常规管理，分别比常规管理高出 12.2 g kg^{-1} 、 10.3 g kg^{-1} 和 20.1 g kg^{-1} ($P<0.05$)。

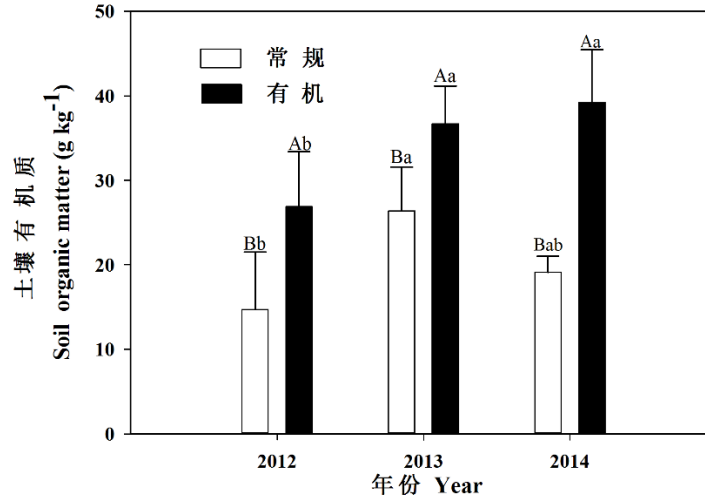


图 2-3 有机管理和常规管理 0-20 cm 土壤有机质含量

Figure2-3 Dynamics of soil organic matter of 0-20 cm soil layer under conventional and organic managements during 2012-2014

注：数据为平均值±标准误。不同大写字母表示相同年份不同处理之间的差异显著，不同小写字母表示同一处理不同年份之间的差异显著。

Note: Data are means \pm standard error. Bars with different capital letters indicate significant difference at $P<0.05$ level (Student's T-test) between two treatments, and bars with different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ (ANOVA, LSD test) among different years.

2.3.2 有机管理对土壤总氮的影响

有机管理下土壤全氮含量在试验初期呈缓慢上升趋势。

如图 2-4 所示, 有机管理下 2013 年 0-20 cm 土壤全氮含量比 2012 年增加 0.3 g kg^{-1} , 但差异并不显著 ($P>0.05$), 2014 年 0-20 cm 土壤全氮含量比 2012 年高 0.9 g kg^{-1} , 显著增加了 56.7% ($P<0.05$)。

由图 2-4, 2012 年和 2013 年, 常规管理下 0-20 cm 土壤全氮含量分别比同时期有机管理低 0.5 g kg^{-1} 和 0.4 g kg^{-1} , 但是并无显著性差异 ($P>0.05$), 2014 年常规管理下 0-20cm 土壤全氮含量比有机管理低 1.2 g kg^{-1} , 差异显著 ($P<0.05$)。

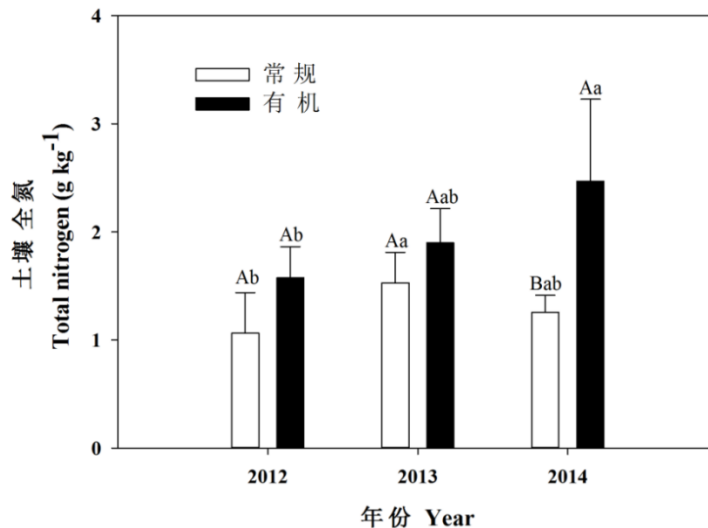


图 2-4 有机管理和常规管理下 0-20 cm 土壤全氮含量

Figure2-4 Dynamics of soil total nitrogen of 0-20 cm soil layer under conventional and organic managements during 2012-2014

注: 数据为平均值 \pm 标准误。不同大写字母表示相同年份不同处理之间的差异显著, 不同小写字母表示同一处理不同年份之间的差异显著。

Note: Data are means \pm standard error. Bars with different capital letters indicate significant difference at $P<0.05$ level (Student's T-test) between two treatments, and bars with different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ (ANOVA, LSD test) among different years.

2.3.3 有机管理对蚯蚓密度的影响

在蚯蚓调查中,对果园常见的蚯蚓进行了鉴定,有两种鉴定到种(图 2-5)。一种为异毛远盲蚓(*Amyntas heterochaetus* Michaelsen, 1869),属巨蚓科(Megascolecidae)远盲蚓属(*Amyntas* Kinberg, 1867)。另一种为日本杜拉蚓(*Drawida japonica* Michaelsen, 1892),属于链胃蚓科(Moniligastridae)杜拉蚓属(*Drawida* Michaelsen, 1900)。

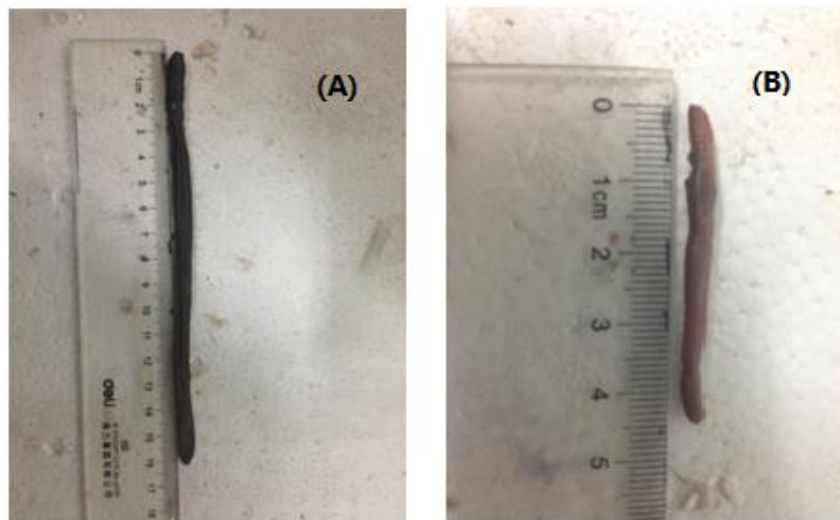


图 2-5 果园常见蚯蚓

Figure2-5 Common earthworm species in apple orchards

注: A, 异毛远盲蚓(*Amyntas heterochaetus*); B, 日本杜拉蚓(*Drawida japonica*)。

Note: A, *Amyntas heterochaetus*; B, *Drawida japonica*.

通过对果园 0-20 cm 土壤进行取样调查,发现在通过施用有机肥向土壤输送大量有机物以后,有机管理模式中蚯蚓数量持续上升;常规管理的土壤由于缺乏有机肥输入,土壤中蚯蚓数量极少。由图 2-6, 2012-2014 年,常规管理模式中蚯蚓密度一直处于较低水平,取样时,多数样方未发现蚯蚓,在 0-20 cm 土壤中,蚯蚓密度平均约为 6-33 条/m²。

有机模式摒弃化肥、农药的使用,并且施用大量有机肥,果园土壤中蚯蚓数量增长迅速。由图 2-6,自 2012 年 9 月开始,有机管理模式中蚯蚓密度显著高于常规管理模式($P<0.01$)。2012 至 2013 年,有机管理 0-20cm 土壤中蚯蚓密度增

长较快, 由 8 条/m² 连续增长到 365 条/m², 并在 2014 年春季达到最大值 369 条/m²; 随后蚯蚓密度开始下降, 在 2014 年试验结束时, 下降至 273 条/m², 总体趋势符合种群生长“S”曲线, 在达到环境可容纳最大值时, 由于受到空间和食物资源的限制, 种群密度开始下降。

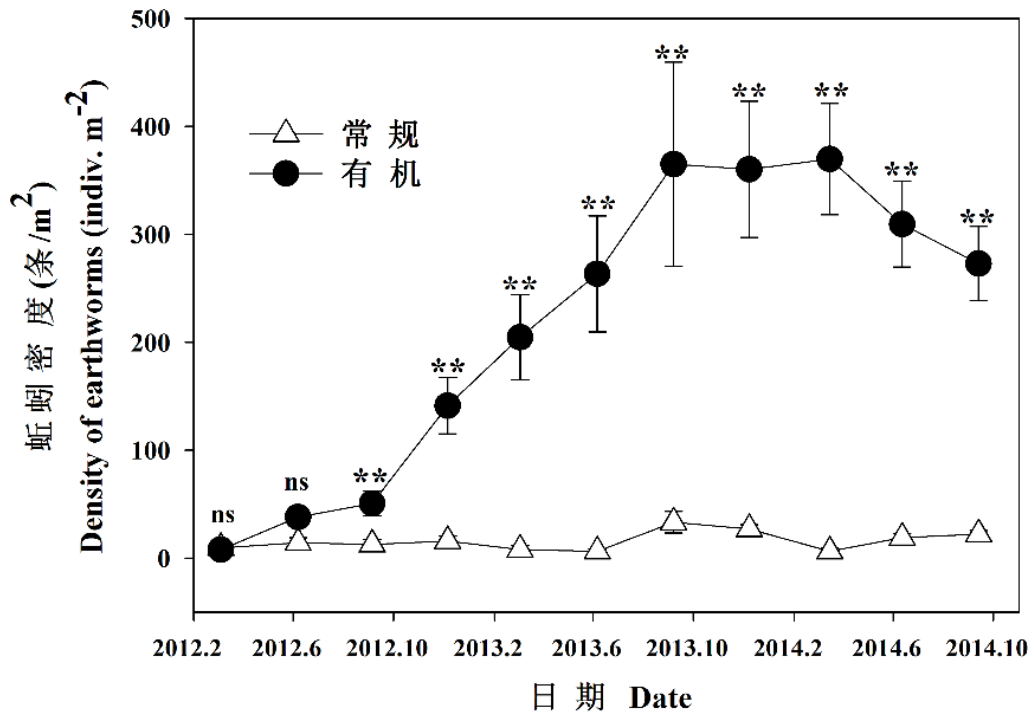


图 2-6 有机管理和常规管理 0-20 cm 土壤蚯蚓密度

Figure 2-6 Density of earthworms in 0-20cm soil of organic and conventional managements

注: 数据为平均值±标准误。**表示两处理间的差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: Data are means±standard error. ** mean significant difference at $P < 0.01$ level (Student's *t*-test) between two treatments within each sampling time.

从图 2-7 可以看出, 有机管理模式下 0-20 cm 土壤蚯蚓的年平均密度由 2012 年 59 条/m² 增长至 2013 年 298 条/m², 增长 4 倍。而 2013 年至 2014 年, 蚯蚓密度增长较小, 2014 年蚯蚓的年平均密度为 317 条/m², 达到较为稳定的水平。相比之下, 每年常规管理下蚯蚓的年平均密度仅为 13-18 条/m², 均显著低于有机管理 ($P < 0.01$), 随着时间, 差距逐渐增大。

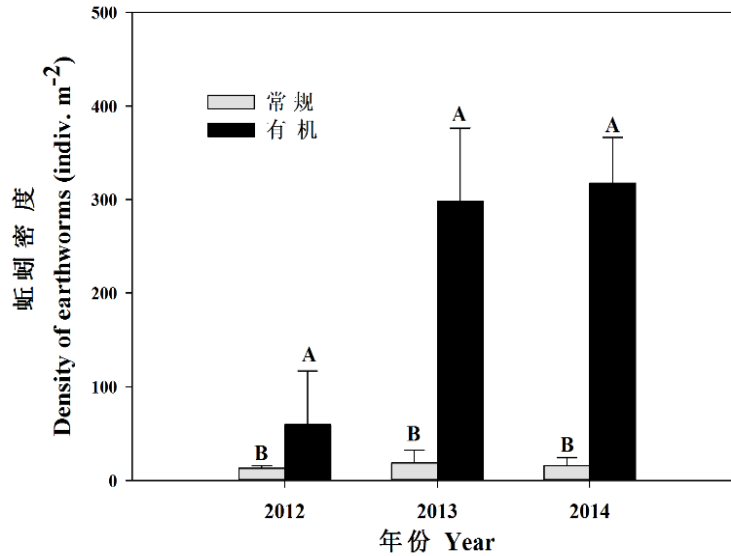


图 2-7 2012-2014 年有机管理和常规管理 0-20 cm 土壤蚯蚓年平均密度

Figure2-7 Average density of earthworms in 0-20 cm soil of organic and conventional apple managements during 2012-2014

注：数据为平均值±标准误。不同的大写字母表示两处理间的差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: Data are means±standard error. Bars with different capital letters mean significant difference at $P < 0.01$ level (Student's *t*-test) between two treatments within each sampling time.

2.3.4 有机管理对蚯蚓群落组成的影响

根据蚯蚓的食性不同，将蚯蚓分为腐食性和食土性(Lee 1985)两大类。腐食性喜好有机质含量较高的生境，主要以土壤表层植物凋落物、动物粪便为食，蚯蚓体色呈现紫红色。食土性蚯蚓，主要以深层土壤和植株根系残体为食，体色呈青黄色。

2013 年 9 月至 2014 年 9 月的调查取样发现，有机管理和常规管理土壤中的蚯蚓，均以腐食性蚯蚓为主（图 2-8）。有机管理模式下 0-20 cm 土壤中，腐食性蚯蚓数量平均占蚯蚓总量的 82.9%，常规管理 0-20 cm 土壤中，腐食性蚯蚓数量占蚯蚓总量的 83%（图 2-8A），两种管理模式下蚯蚓群落的种类构成比例极为相近。有机管理模式下腐食性蚯蚓密度是常规管理的 10-45 倍，差异达到极显著水平($P < 0.01$)（图 2-8A）。有机管理模式下食土性蚯蚓密度是常规管理的 6-21 倍，差异达到极显著水平($P < 0.01$)（图 2-8B）。有机管理和常规管理腐食性蚯蚓数量

间差异远远大于食土性蚯蚓的差异。

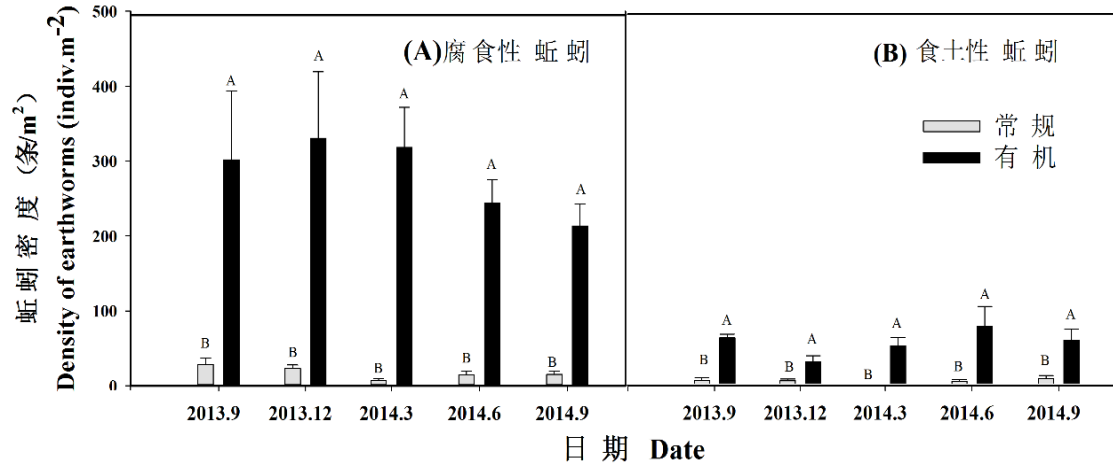


图 2-8 有机和常规管理 0-20 cm 土壤蚯蚓群落组成

(A: 腐食性蚯蚓; B: 食土性蚯蚓)

Figure2-8 Earthworm community composition consisting of detritivores (A) and geophages (B) under conventional and organic apple managements

注：数据为平均值±标准误。不同的大写字母表示两处理间的差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: Data are means±standard error. Bars with different capital letters mean significant difference at $P < 0.01$ level (Student's t-test) between two treatments within each sampling time.

2.4 讨论

土壤施用有机肥有助于增加土壤有机质含量。这与前人的研究结果一致。西北农业大学长期定位施肥试验研究表明，长期施用有机肥的土壤有机质含量升高 $1.2-2.9 \text{ g kg}^{-1}$ ，而长期单施化肥的土壤有机质含量无显著变化(王旭东等 2000)。有研究表明，长期施用有机肥，有利于增加红壤中 $0.5-1 \text{ mm}$ 水稳定性团聚体和有机质含量(李成亮等 2004)。山东禹城冬小麦-夏玉米种植的 22 年长期施肥试验表明，土壤有机质含量与有机肥施用量呈正相关关系(林治安等 2009)。

蚯蚓是果园生态系统中非常重要的分解者，对果园中的物质循环起到重要作用。蚯蚓对土壤中重金属、农药等污染较为敏感，是土壤污染的敏感指示生物，其种群数量及结构能够作为生态毒理风险评价的指标，在一定程度上可以反映其生长环境土壤的受污染程度 (高岩和骆永明 2005)。

常规管理模式土壤中蚯蚓数量极少,蚯蚓密度显著低于有机管理模式,这是由于在常规管理中,农民使用大量化肥和农药,蚯蚓对环境中的重金属、有机农药等较为敏感,蚯蚓的生长和繁殖由于受到抑制。

在常规果园管理中农药污染和重金属残留严重,蚯蚓通过体表接触或者取食土壤,造成农药和重金属在体内富集。有毒农药的使用,会危害蚯蚓的繁殖。有研究发现,当环境中杀虫剂吡虫啉的浓度大于 0.5 mg kg^{-1} (以干土计) 时,蚯蚓精子的畸变率显著升高(孔志明等 1999)。有研究报道,多菌灵和乐果均会对赤子爱胜蚓的生长和繁殖产生显著的抑制作用(Shahla and Doris 2007)。不同种类的除草剂对赤子爱胜蚓的毒害也有报道,王彦华研究了二十二种除草剂对赤子爱胜蚓的毒性影响,发现三氮苯类、酰胺类除草剂对赤子爱胜蚓的毒性危害较强(王彦华等 2012)。特丁津对赤子爱胜蚓的生长抑制要显著强于杀虫剂马拉松和杀螟硫磷的毒性作用(Jovana et al. 2014)。

有毒农药和土壤中残留的重金属,会危害蚯蚓的生长和繁殖。有机氯农药污染造成蚯蚓消化道病变,影响蚯蚓生长(郭永灿和王振中 1997)。致死剂量毒死蜱损害赤子爱胜蚓的抗氧化系统,显著降低了赤子爱胜蚓的超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶和过氧化氢酶的活性(周世萍等 2014)。土壤中重金属残留对蚯蚓生长也具有潜在的毒性危害,不同重金属对蚯蚓毒性影响的研究结果表明,重金属对蚯蚓的毒性强度大小为镉>镍>锌>锰>铅(吴声敢等 2012)。

有机管理下蚯蚓种群数量持续增长并且种群较大,以腐食性蚯蚓为主,分析原因主要是以下几个方面造成的:一是有机管理中施用有机肥即腐熟牛粪,土壤获得大量的有机质输入,为腐食性蚯蚓提供了丰富的食物,二是有机管理中由于严禁化肥、农药、除草剂的使用,为蚯蚓的生长和繁殖提供了良好的环境条件,使得蚯蚓种群不断增长,后期由于受到资源和空间的限制,蚯蚓种群密度开始出现减少。

不同施肥处理会影响土壤中蚯蚓的种群数量和多样性,这主要是受有机物含量的影响,有机肥的施用可以增加蚯蚓种群数量(乔玉辉等 2004)。这与前人研究结果一致,太湖地区水稻田连续 15 年施肥试验研究,发现长期单施化肥的水稻土中,蚯蚓种群数量和多样性都发生明显下降,配施有机肥处理和秸秆还田处理的土壤中,蚯蚓种群数量和多样性较高(向昌国等 2006)。

蚯蚓与土壤微生物、自身肠道微生物共同作用,增强微生物活性(Binet et al. 1998),可以加速有机物的分解和能量流动,促进碳、氮循环(Marinissen et al. 1993;

Scullion and Malik 2000)。水稻土接种蚯蚓试验的研究发现，蚯蚓有助于提高土壤酶包括脲酶、过氧化氢酶的活性，增加土壤肥力(杨成方 2009)。蚯蚓粪是蚯蚓的代谢产物，其腐殖质含量高，并且富含氮、磷、钾等多种矿质元素。蚯蚓在摄食牛粪后，通过过腹消化，将牛粪营养物质分解成多种氨基酸如谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、色氨酸、亮氨酸等，并形成腐殖酸，此外还含有多种微生物，是高效的有机肥料(陈宝书等 1998)。有研究从牛粪饲养获得的蚯蚓粪中提取出两种拮抗微生物，即丁香苷链霉菌和球孢链霉菌，抗病性强(胡艳霞等 2004)。一些特定土壤中的微生物类群在经过蚯蚓胃肠道消化以后，能够维持甚至增加群落多样性和相对丰度(Nechitaylo et al. 2009)。有机果园中蚯蚓数量增多以后，蚯蚓通过消化和肠道微生物作用，分解土壤中的有机物，促进有机质的形成，土壤中蚯蚓粪的含量也随之增加，又进一步促进了有机果园土壤肥力的提升(Chaoui et al. 2003)。

2.5 小结

有机管理模式中，施用大量有机肥后，土壤有机质含量和土壤全氮含量均有显著性增加。施用有机肥能够快速补充土壤中的有机质含量。有机管理下 0-20 cm 土壤的有机质含量和土壤全氮含量显著高于常规管理。有机管理下 0-20 cm 土壤有机质含量在 2012 至 2014 年显著增长了 13.7 g kg^{-1} ，增幅为 50.9%。2014 年有机管理 0-20 cm 土壤的全氮含量比 2012 年高 0.9 g kg^{-1} ，显著增加了 56.7%。

有机管理模式下，土壤中有有机质含量增加，加之没有化肥和农药的污染，为蚯蚓提供了充足的食物、良好的繁殖和栖息环境，蚯蚓种群数量迅速扩大。有机管理模式下 0-20 cm 土壤蚯蚓的年平均密度由 2012 年 59 条/ m^2 增长至 2014 年 317 条/ m^2 ，增长 4 倍，显著高于常规管理。其中，有机管理模式土壤中的蚯蚓以腐食性蚯蚓占优势(82.9%)，更有利地说明了施用有机肥、提高有机质含量对蚯蚓种群增大的促进作用。

常规管理中由于长期施用化肥和杀虫剂、除草剂，造成土壤中重金属残留和有毒物质的污染，影响土壤动物正常生长和繁殖，土壤中蚯蚓种群密度非常低，0-20 cm 土壤蚯蚓的年平均密度仅 13-18 条/ m^2 。

有机管理模式施用有机肥，土壤有机质快速增加，并且没有化肥、农药、重金属等的污染，有利于土壤动物蚯蚓的生长，蚯蚓的钻洞、取食和消化过程，进一步促进土壤肥力的提升。

第三章 有机管理对苹果园土壤微生物的影响

3.1 引言

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成者，主要包括土壤中的真菌、细菌、古菌等。土壤微生物在土壤物质循环中发挥着十分重要的作用，氮、磷、钾的循环都离不开各种微生物代谢活动的参与。

土壤微生物的活动对于植物的生长也具有积极的促进作用，有研究表明土壤微生物通过固氮、降解有害物质、产生植物激素和促进腐殖酸形成、在根冠形成粘质层阻止病菌侵害、分解矿质中的营养元素、提升植物抗性等途径来促进植物的生长(吴建峰和林先贵 2003)。

近年来，土壤微生物多样性研究成为国际研究热点。土壤微生物多样性主要包括四个层面，即微生物物种多样性、遗传多样性、结构多样性和功能多样性(林先贵和胡君利 2008)。土壤微生物多样性是衡量土壤质量的重要评价指标，影响微生物多样性的因素主要包括土壤理化性质诸如土壤中碳、氮、磷、钾含量及土壤酸碱度、土壤孔隙度，土壤生物学性状如微生物和土壤动物多样性，以及不同的管理措施如施用农药、施肥、连作轮作(胡亚林等 2006)。研究微生物多样性的技术手段有以下几类：

平板计数法，利用特定的培养基来分离环境中的微生物，具有很大的局限性，能培养分离出的微生物仅占环境中微生物总量的 1%。

BIOLOG 微平板法的原理是利用在鉴定的微孔板上放置不同的碳源和染料，在微孔上接种微生物，如果微生物能够利用微孔中的碳源而发生氧化还原反应，微孔的染料就会发生变色，即可以鉴定为是可以利用此碳源的微生物(郑华等 2004)。BIOLOG 板培养微生物的方法快速、方便，但是具有局限性和误差，有些碳源不能被某些微生物利用，有些颜色变化可能是几种微生物共同作用的结果，难以区分种类。

磷脂脂肪酸（Phospholipid Fatty Acid, PLFA）法使用也较为普遍，利用微生物细胞膜的不同磷脂脂肪酸来标记区分不同的微生物群落，在生态研究中应用广泛。PLFA 方法的稳定性不好，受提取方法和环境条件的影响比较大，此外，

由于难以区分死的和活的微生物，也造成结果误差较大(齐鸿雁等 2003)。

变性梯度凝胶电泳 (Denatured Gradient Gel Electrophoresis, DGGE) 目前广泛用于分析微生物遗传多样性。DGGE 主要原理是通过变性剂作用, DNA 分子在变性梯度凝胶电泳中沿着浓度梯度迁移, 当达到其变性的浓度时, DNA 分子解链并滞留在此浓度位置。DGGE 也存在着缺点, 比如一些不同种类的微生物 DNA 分子可能由于迁移速度一样而停留在相同的浓度位置, 容易造成对真实生物多样性的误判(马悦欣等 2003; 李丹和张秋玉 2011)。

目前高通量测序技术高速发展, 又被称为“下一代测序技术 (Next-generation sequencing technology, NGS)”, 可以一次性对大量序列进行测序, 具有通量大、准确度高的优势。高通量测序已开始应用于微生物研究, 利用高通量测序技术对特定环境的土壤微生物中的细菌和真菌群落展开研究, 可用于研究种群分布、细菌和真菌的物种鉴定及功能研究等方面, 主要代表技术包括扩增子测序和宏基因组测序(楼骏等 2014)。扩增子测序是细菌、真菌的保守区序列(如 16S/18S/ITS)进行测序。由于 16S rDNA 的序列在不同物种间具有高度差异, 16S rDNA 序列两端为保守区, 中间是可变区, 不同细菌可变区的差异较大。16S rDNA 测序是通过提取微生物 DNA 分子, 选择某一个可变区特定序列片段扩增, 再结合高通量测序分析, 与数据库进行比对分析, 鉴定表达丰度、细菌群落组成, 进行系统进化分析。

在本研究中, 采用 Illumina MiSeq (PE300)测序平台对常规和有机管理的果园土壤中细菌进行 16s rDNA V4 区高通量测序, 对土壤细菌种类及群落组成和多样性进行测定和分析。

3.2 试验设计与研究方法

3.2.1 研究地点概况

同 2.2.1。

3.2.2 试验设计

试验处理同 2.2.2, 通过 2013 年和 2014 年对有机管理模式和常规管理模式

下 0-20 cm 土壤取样，进行微生物量测定和细菌 16s rDNA 高通量测序，比较两种管理方式对微生物量及细菌群落多样性的影响。

3.2.3 测定指标与数据分析

3.2.3.1 土壤样品采集

土壤采样分别于 2013 年 6 月 21 日、12 月 22 日及 2014 年 6 月 10 日、12 月 8 日进行，按照五点取样法，用直径 5 cm 的土钻在每个小区采集 0-20 cm 土层的土样，混匀后装入自封袋，土壤样品分别标记为 2013S、2013W、2014S、2014W，以示不同年份的夏季与冬季取样（S 为夏季，W 为冬季）。将土壤样品中未分解的牛粪、石头、植株残体等非土壤成分挑除后，把样品保存在-20℃冰箱中，用来测定土壤微生物量碳氮及微生物群落多样性指标。

3.2.3.2 土壤微生物量碳、微生物量氮测定

土壤微生物量碳、微生物量氮的测定采用氯仿熏蒸提取法(Brookes et al. 1985; Wu et al. 1990; Joergensen and Müller 1996)。

3.2.3.3 土壤细菌 16s rDNA 扩增与测序分析

土壤样品中细菌多样性分析是通过基于 Illumina MiSeq (PE300)测序平台的 16s rDNA 高通量测序进行分析实现的，试验流程主要包括基因组 DNA 提取、二代测序文库构建、高通量测序等。

3.2.3.3.1 土壤基因组 DNA 提取

取 1 g 鲜土样，采用十六烷基三甲基溴化铵(Hexadecyltrimethyl Ammonium Bromide, CTAB)方法提取土壤样本的基因组 DNA，实验步骤如下：

(1)提取缓冲液的配置

按下述方法配置 CTAB 缓冲液：

| | |
|------------|-------------------|
| CTAB: | 2% (W/V) |
| NaCl: | 1.4 mol/L |
| EDTA: | 20 mmol/L (pH=8) |
| Tris-Cl: | 100 mmol/L (pH=8) |
| PVP (非水溶): | 少量 |

β -巯基乙醇: 2% (使用之前加入)

(2)称取 1 g 鲜土样放入灭菌处理的 2 mL 离心管中。

(3)加入 65℃ 预热的 CTAB 提取缓冲液 1 mL, 用封口膜将离心管封好, 将其置于 65℃ 摇床内, 200 rpm, 温浴 30-60 min。

(4)温浴后, 取出冷却至室温, 离心 12000 rpm, 离心 10 min。

(5)将上清移到干净的离心管中。

(6)加入等体积酚/氯仿/异戊醇 (25:24:1) 进行抽提, 4℃, 12000 rpm 离心 10 min。

(7)将上层溶液转移至干净离心管中, 加入 0.6 倍体积的异丙醇沉淀 DNA, 混匀, 然后放置于 -80℃ 冰箱内 30 min-2h, 沉淀 DNA。

(8)4℃, 12000 rpm, 离心 10 min。

(9)去上清液, 用预冷的 80% 乙醇洗涤 DNA 沉淀, 2 次。

(10)空气中干燥 10 min, 溶于适量的 TE, 于 -20℃ 保存。

利用 1% 的琼脂糖凝胶电泳对提取完成的基因组 DNA 进行样品的纯度和浓度检测, 根据浓度, 取适量的样品于离心管中, 使用无菌水将每个样品稀释至 1 ng/ μ L。

3.2.3.3.2 二代测序文库构建及测序

将提取得到的基因组根据二代测序要求进行文库构建, 主要包括 16s rDNA V4 区 PCR 扩增并检测混样, 进行切胶回收, 获取目的产物, 对所获得的产物进行末端修复加接头, 具体实验步骤如下:

(1) 引物设计

本试验选择 16s rDNA V4 区进行扩增, 使用 V4 区保守区域进行引物设计, 该引物设计主要包括通用引物和 Barcode 随机引物。通用引物序列如下:

515F: 5'-GTGCCAGCMGCCGCGGTAA-3'

806R: 5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3' (Bates et al. 2010)

上下游通用引物与 V4 区上下游保守区进行配对扩增, 为了测序完成后区分样品间的数据, 在上下游通用引物两端分别人为添加双末端标记序列即 Barcode 随机引物序列, 该序列由 8-13 bp 随机碱基组成。每个样品对应的上下游 Barcode 序列如表 3-1 所示。

表 3-1 有机管理与常规管理土壤细菌 16s rDNA 扩增引物双末端标记序列

Table3-1 Barcode sequences for respective samples of organic and conventional soil samples

| Sample ID | Barcode Sequence |
|------------|-----------------------------|
| CON-2013S1 | ACAGCAGA, GATGAATC |
| CON-2013S2 | TTCACGCACTA, GTCGTAGACGT |
| CON-2013S3 | ACAGCAGA, GCCACATATC |
| ORG-2013S1 | TTCACGCACTA, GATGAATC |
| ORG-2013S2 | CGAACTTAC, GTCGTAGACGT |
| ORG-2013S3 | CGCATAACAAC, GAGTTAGCGTCAC |
| CON-2013W1 | CTGGCATAGA, GATGAATC |
| CON-2013W2 | CTGGCATAGA, AACGTGATC |
| CON-2013W3 | CTGGCATAGA, GCCACATATC |
| ORG-2013W1 | CTGGCATAGA, GTCGTAGACGT |
| ORG-2013W2 | CTGGCATAGA, CCTCTATCACGT |
| ORG-2013W3 | CTGGCATAGA, GAGTTAGCGTCAC |
| CON-2014S1 | ACAGCAGA, AACGTGATC |
| CON-2014S2 | TTCACGCACTA, CCTCTATCACGT |
| CON-2014S3 | ACAGCAGA, GAGTTAGCGTCAC |
| ORG-2014S1 | TTCACGCACTA, AACGTGATC |
| ORG-2014S2 | CGAACTTAC, CCTCTATCACGT |
| ORG-2014S3 | TTCACGCACTA, GCCACATATC |
| CON-2014W1 | GACTAGTAT, AACGTGATC |
| CON-2014W2 | ATAGCGACGTACA, CCTCTATCACGT |
| CON-2014W3 | CGCATAACAAC, AACGTGATC |
| ORG-2014W1 | ACAGCAGA, CCTCTATCACGT |
| ORG-2014W2 | ATAGCGACGTACA, AACGTGATC |
| ORG-2014W3 | GACTAGTAT, GAGTTAGCGTCAC |

注：CON，常规管理；ORG，有机管理。S，取样时间为夏季 6 月；W，取样时间为冬季 12 月；数字为有机和常规处理三个重复样品的编号。后同。

Note: CON, conventional management; ORG, organic management; S, sampling time was at June in summer; W, sampling time was at December in winter; Each treatment had three replicates.

(2) PCR 扩增

以稀释后的基因组 DNA 为模板，用设计的 16s rDNA V4 区上下游引物进

行扩增，按照如下体系：

16S V4 区域 PCR 反应体系（30 μL ）如下所示：

Phusion Master Mix（2 \times ，NEB）：15 μL

Primer R/F（2 μM ）：3 μL （6 μM ）

gDNA（1 ng/ μL ）：10 μL （5-10 ng）

H₂O：2 μL

将以上反应体系反复混匀离心，放于 PCR 仪内。

PCR 反应程序如下：

| | | |
|-----|--------|------------|
| 98℃ | 1 min | |
| 98℃ | 10 sec | } 30 cycle |
| 50℃ | 30 sec | |
| 72℃ | 30 sec | |
| 72℃ | 5 min | |

（3）PCR 产物的混样和纯化

用 2% 浓度的琼脂糖凝胶对得到的 PCR 产物的扩增效果进行电泳检测，使用 Qubit DNA 定量试剂盒对样品进行定量，根据产物定量浓度进行等量混样，充分混匀后，使用 2% 琼脂糖凝胶进行电泳，100 V，1 h。

凝胶电泳结束后进行切胶，切取 V4 区目的片段 350 bp 左右的凝胶块，用 Qiagen Gel Extraction Kit(Qiagen, Germany)胶回收试剂盒回收目的片段。

（4）文库构建和上机测序

将上述回收的目的产物使用 TruSeq® DNA PCR-Free Sample Preparation Kit (Illumina, USA)建库试剂盒进行文库构建。

构建好的文库经过 Qubit 和 QPCR 定量，文库合格后，用 Illumina MiSeq (PE300)进行测序，生成 300 bp 双末端 reads。

3.2.3.3.3 数据处理及分析

（1）测序数据预处理

将得到的双末端 reads 根据以下流程进行处理。

①数据拆分：根据 Barcode 序列和 PCR 扩增引物序列从下机数据中拆分出各样品数据，然后截去 Barcode 和引物序列用于后续拼接。

②PE Reads 拼接：使用 FLASH 对每个样品的 reads 进行拼接，得到的拼接

序列为原始 Tags 数据(Raw Tags) (Magoc and Salzberg 2011)。

③Tags 过滤：拼接得到的 Raw Tags，需参照 QIIME Tags 质量控制流程 (Caporaso et al. 2010)，经过严格的过滤处理，得到高质量 Tags 数据(Clean Tags)。

④Tags 去嵌合体序列：通过比对 UCHIME algorithm(Edgar et al. 2011)检测嵌合体序列，并去除嵌合体，得到有效数据即 Effective Tags。

(2) 信息分析

①对所有样品的全部 Effective Tags 进行聚类，默认以 97%的一致性(Identity)将序列聚类成为 OTUs(Operational Taxonomic Units)，同时会选取 OTUs 的代表性序列，依据其算法原则，筛选的是 OTUs 中出现频数最高的序列作为 OTUs 的代表序列。采用 RDP Classifier(Wang et al. 2007)方法，根据 GreenGene Database(DeSantis et al. 2006)对物种进行分类注释。并分别在各个分类水平：门、纲、目、科、属，统计各样本的群落组成。

②用 QIIME 软件 (Version 1.7.0)对微生物测序数据进行 Observed-species、Chao1、Shannon、Simpson、Goods-coverage 等指数计算，用 R 软件 (Version 2.15.3) 绘制稀释曲线和秩多度曲线展示图。

多样性指数计算公式：

$$\text{Simpson 指数(Hill 1973): } D = 1 - \sum_{i=1}^s (N_i/N)^2 \quad (3-1)$$

式中： N_i 为样方第 i 种的个体数量， N 为该群落所有物种的个体数量总和。

Shannon-Wiener 指数(马克平和刘玉明 1994)：

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (3-2)$$

$$\text{式中: } P_i = N_i/N \quad (3-3)$$

N_i 为样方第 i 种的个体数量， N 为该群落的所有物种的个体数量总和。

$$\text{Pielou 指数(Pielou 1969): } E = H'/H_{\max} \quad (3-4)$$

$$\text{式中: } H_{\max} = \ln S \quad (3-5)$$

H_{\max} 为最大的 shannon-wiener 指数， S 为群落中所有物种的数量之和。

3.2.3.4 数据分析

微生物量碳氮数据及微生物 shannon 多样性指数等，使用 Microsoft Excel 2010 进行输入和初步整理，用 SPSS 16.0 软件进行 One-way ANOVA 方差分析，并通过 LSD (least significant difference) test 及 Student's t -test 检验处理之间差异的显著性；做图使用 SigmaPlot 10.0 软件(Aspire Software Intl. Ashburn, VA, USA)，

图表中数据均为平均数±标准误。

3.3 结果与分析

3.3.1 有机管理对微生物量碳氮的影响

如图 3-1A 所示, 2013 年常规管理下土壤微生物量碳含量年平均值为 134.1 mg kg^{-1} , 有机管理微生物量碳含量年平均值为 220.3 mg kg^{-1} , 比常规管理高出 64.3%, 但差异未达到显著水平 ($P>0.05$)。2014 年常规管理微生物量碳含量年平均值为 164.4 mg kg^{-1} , 有机管理模式微生物量碳含量年平均值为 376.1 mg kg^{-1} , 是常规管理的 2.28 倍, 差异显著 ($P<0.05$)。2013 至 2014 年, 有机管理土壤微生物量碳含量显著增加了 211.1 mg kg^{-1} ($P<0.05$)。

由图 3-1B, 2013 年常规管理土壤微生物量氮含量年平均值为 6.3 mg kg^{-1} , 有机管理微生物量氮含量年平均值为 15.5 mg kg^{-1} , 是常规管理的 2.4 倍。2014 年常规管理微生物量氮含量年平均值为 10.1 mg kg^{-1} , 有机管理微生物量氮含量年平均值为 31.4 mg kg^{-1} , 是常规管理的 3.1 倍, 差异显著 ($P<0.05$)。2013 至 2014 年, 有机管理土壤微生物量氮含量显著增加了 21.3 mg kg^{-1} ($P<0.05$)。

3.3.2 土壤样品高通量测序及数据处理

3.3.2.1 细菌群落高通量测序数据

采用 Illumina MiSeq/HiSeq 平台获得的下机数据为 Raw PE reads, 然后进行拼接和质控, 获得 Clean Tags, 再进行嵌合体过滤, 得到可用于后续分析的有效数据, 即 Effective Tags。数据预处理过程中各步骤得到的序列数据统计结果如表 3-2 所示。

Raw data 是原始 PE reads 的数目, Combined 是拼接后的 Tag 数, Qualified 是过滤后的 Tag 数, Effective Tag 是嵌合体过滤后的用于后续分析的有效 Tag 数, AvgLen 是 Effective Tags 的平均长度。Q20 和 Q30 分别表示序列中碱基质量大于 20 和大于 30 的碱基, GC% 是指 Effective Tags 中的 GC 碱基含量, Effective% 是指 Effective Tags 与原始下机的 PE reads 的比值。

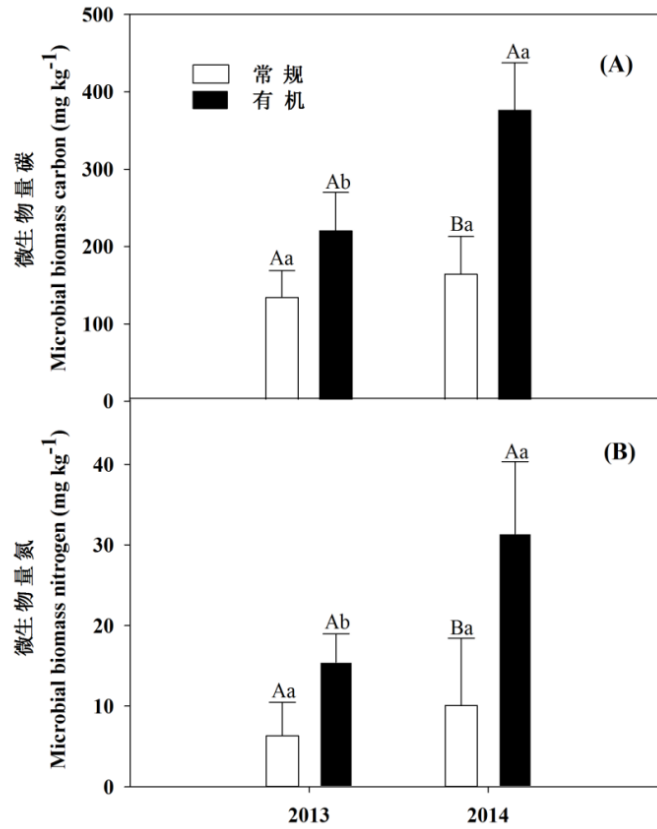


图 3-1 有机管理和常规管理 0-20 cm 土壤微生物量碳和微生物量氮含量

Figure3-1 Microbial biomass carbon (A) and microbial biomass nitrogen (B) of 0-20 cm soil layer under organic and conventional managements during 2013-2014

注：数据为平均值±标准误。不同的大写字母表示两处理间差异显著（ $P<0.05$ ），不同的小写字母表示同一处理在不同年份之间的差异显著（ $P<0.05$ ）。

Note: Data are means±standard error ($n=3$). Bars with different capital letters indicate significant difference at $P<0.05$ level (Student's T-test) between two treatments, and bars with different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ (ANOVA, *LSD* test) among different years.

通过对 V4 区测序，有机管理和常规管理下 0-20 cm 土壤不同时期的 24 个样品原始的原始序列条数为 1137310，有效序列条数为 1055366。各个样品的有效序列比例见表 3-3。所有样品的 Effective Tags 的平均长度为 253 bp。常规管理下土壤样品的 Effective% 平均为 93.1%，reads 损失率为 6.9%，其中 CON-2014W 损失较多。有机管理下土壤样品的 Effective% 平均为 92.5%，reads 损失率平均为 7.5%，其中 ORG-2014S 损失较多。

表 3-2 有机管理和常规管理土壤样品测序数据预处理统计及质控

Table3-2 Data preprocessing statistics and quality control of soil samples sequencing derived from organic and conventional managements

| 样品编号 | Raw PE | Combin ed | Qualified | Effecti ve tags | Base(nt) | AvgLe n(nt) | Q20 | Q30 | GC% | Effecti ve% |
|------------|-----------|--------------|-----------|--------------------|------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|
| CON-2013S1 | 53,587 | 52,416 | 52,221 | 50,782 | 12,855,922 | 253 | 99.48 | 98.17 | 56.14 | 94.77 |
| CON-2013S2 | 53,573 | 52,529 | 52,326 | 49,922 | 12,638,243 | 253 | 99.47 | 98.17 | 56.1 | 93.18 |
| CON-2013S3 | 65,713 | 64,603 | 64,300 | 62,152 | 15,733,562 | 253 | 99.45 | 98.07 | 56.46 | 94.58 |
| CON-2013W1 | 44,297 | 43,430 | 43,266 | 42,284 | 10,706,461 | 253 | 99.47 | 98.18 | 56.98 | 95.46 |
| CON-2013W2 | 51,068 | 49,997 | 49,786 | 47,872 | 12,121,709 | 253 | 99.48 | 98.19 | 56.96 | 93.74 |
| CON-2013W3 | 43,509 | 42,735 | 42,535 | 40,878 | 10,350,921 | 253 | 99.44 | 98.05 | 57.13 | 93.95 |
| CON-2014S1 | 61,932 | 60,445 | 60,208 | 57,556 | 14,567,820 | 253 | 99.45 | 98.14 | 56.16 | 92.93 |
| CON-2014S2 | 26,779 | 26,225 | 26,103 | 24,996 | 6,325,334 | 253 | 99.44 | 98.13 | 56.21 | 93.34 |
| CON-2014S3 | 66,474 | 65,190 | 64,904 | 62,577 | 15,838,062 | 253 | 99.42 | 97.99 | 56.3 | 94.14 |
| CON-2014W1 | 70,093 | 68,697 | 68,420 | 62,791 | 15,895,281 | 253 | 99.48 | 98.19 | 55.82 | 89.58 |
| CON-2014W2 | 35,298 | 34,664 | 34,514 | 33,549 | 8,490,770 | 253 | 99.47 | 98.13 | 55.67 | 95.05 |
| CON-2014W3 | 40,356 | 39,477 | 39,304 | 34,757 | 8,797,262 | 253 | 99.45 | 98.07 | 55.81 | 86.13 |
| ORG-2013S1 | 36,698 | 35,948 | 35,816 | 34,575 | 8,748,968 | 253 | 99.48 | 98.21 | 55.78 | 94.21 |
| ORG-2013S2 | 46,367 | 45,550 | 45,362 | 43,398 | 10,981,029 | 253 | 99.45 | 98.09 | 55.64 | 93.6 |
| ORG-2013S3 | 39,495 | 38,747 | 38,545 | 37,280 | 9,432,718 | 253 | 99.41 | 97.95 | 55.83 | 94.39 |
| ORG-2013W1 | 48,386 | 47,353 | 47,163 | 43,397 | 10,982,813 | 253 | 99.49 | 98.23 | 55.53 | 89.69 |
| ORG-2013W2 | 28,049 | 27,441 | 27,335 | 25,759 | 6,518,806 | 253 | 99.46 | 98.14 | 55.53 | 91.84 |
| ORG-2013W3 | 43,206 | 42,356 | 42,174 | 40,706 | 10,301,369 | 253 | 99.46 | 98.13 | 55.9 | 94.21 |
| ORG-2014S1 | 52,842 | 51,913 | 51,700 | 45,199 | 11,436,700 | 253 | 99.51 | 98.26 | 54.87 | 85.54 |
| ORG-2014S2 | 23,989 | 23,571 | 23,477 | 22,368 | 5,659,447 | 253 | 99.46 | 98.12 | 54.28 | 93.24 |
| ORG-2014S3 | 42,687 | 42,089 | 41,933 | 38,648 | 9,779,393 | 253 | 99.48 | 98.17 | 54.78 | 90.54 |
| ORG-2014W1 | 43,231 | 42,379 | 42,217 | 40,625 | 10,283,573 | 253 | 99.46 | 98.1 | 55.87 | 93.97 |
| ORG-2014W2 | 55,765 | 54,760 | 54,526 | 52,549 | 13,301,494 | 253 | 99.5 | 98.24 | 55.67 | 94.23 |
| ORG-2014W3 | 63,916 | 62,670 | 62,402 | 60,746 | 15,372,895 | 253 | 99.44 | 98.05 | 55.8 | 95.04 |

对所有样品的 Effective Tags 进行聚类，以 97%的一致性(Identity)将序列聚类成为 OTUs(Operational Taxonomic Units)。每个 OTU 对应一个不同的细菌种。

Total Tags: 指每个样品的总的 Tags 数目（等同于 Effective Tags，每个样品用于 OTU 聚类后续分析的有效数据）；Unique Tags: 指频数为 1，并且无法被聚类到 OTUs 的 Tags 数目（无法聚类到 OTUs 的序列将不用于后续分析）；Taxon Tags: 指用于构建 OTUs 并且获得注释信息的 Tags 数目；Unclassified Tags 指没有获得注释信息的 Tags 数目；OTUs Number 是 OTUs 的数目，OTUs: 指每个样

品得到的 OTUs 数目。由表 3-3，常规管理和有机管理各时期的 24 个 0-20 cm 土壤样品，总共产生 73500 个 OTU。

表 3-3 有机管理和常规管理果园土壤样品测序数据统计

Table3-3 Sequencing data of soil bactecials derived from organic and conventional managements

| Sample ID | Total tag | Taxon Tag | Unclassified Tag | Unique Tag | OTU number |
|------------|-----------|-----------|------------------|------------|------------|
| CON-2013S1 | 50782 | 47680 | 0 | 3102 | 3126 |
| CON-2013S2 | 49922 | 45147 | 1 | 4774 | 2991 |
| CON-2013S3 | 62152 | 56859 | 0 | 5293 | 3366 |
| ORG-2013S1 | 34575 | 32134 | 0 | 2441 | 2734 |
| ORG-2013S2 | 43398 | 39863 | 0 | 3535 | 2855 |
| ORG-2013S3 | 37280 | 34322 | 0 | 2958 | 3138 |
| CON-2013W1 | 42284 | 39387 | 1 | 2896 | 3174 |
| CON-2013W2 | 47872 | 42685 | 0 | 5187 | 3262 |
| CON-2013W3 | 40878 | 35777 | 0 | 5101 | 3116 |
| ORG-2013W1 | 43397 | 35311 | 3 | 8083 | 3402 |
| ORG-2013W2 | 25759 | 22442 | 1 | 3316 | 2651 |
| ORG-2013W3 | 40706 | 36255 | 0 | 4451 | 3637 |
| CON-2014S1 | 57556 | 53222 | 0 | 4334 | 2974 |
| CON-2014S2 | 24996 | 23176 | 0 | 1820 | 2146 |
| CON-2014S3 | 62577 | 58094 | 0 | 4483 | 3276 |
| ORG-2014S1 | 45199 | 36918 | 0 | 8281 | 2910 |
| ORG-2014S2 | 22368 | 20808 | 1 | 1559 | 2126 |
| ORG-2014S3 | 38648 | 34149 | 0 | 4499 | 2522 |
| CON-2014W1 | 62791 | 49933 | 1 | 12857 | 3730 |
| CON-2014W2 | 33549 | 31263 | 0 | 2286 | 2819 |
| CON-2014W3 | 34757 | 24668 | 1 | 10088 | 2785 |
| ORG-2014W1 | 40625 | 37057 | 0 | 3568 | 3094 |
| ORG-2014W2 | 52549 | 47356 | 0 | 5193 | 3733 |
| ORG-2014W3 | 60746 | 55970 | 0 | 4776 | 3933 |

3.3.2.2 测序深度分析

稀释性曲线 (Rarefaction curve) 是用以评价测序量能否覆盖所有物种类群，

当曲线趋向平缓或近似于平台期时，测序深度就看做已经基本能够覆盖样品中的所有物种。

图 3-2 为所有土壤样品的稀释曲线，有趋向于平坦的趋势，表明本试验取样基本合理，所取的样本量能够覆盖土壤样品的细菌群落。

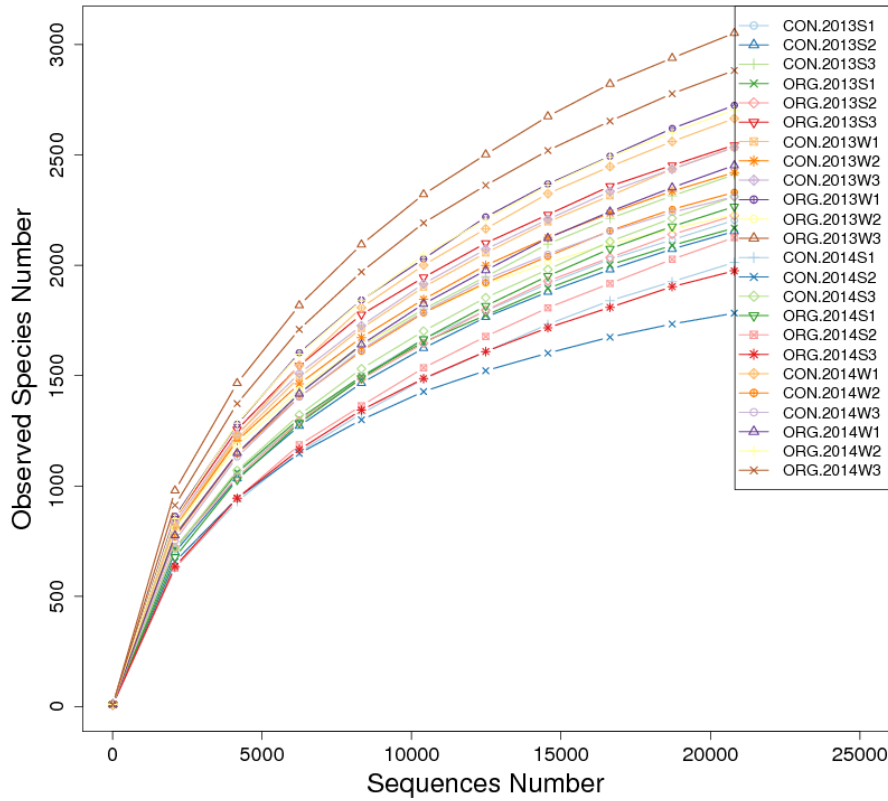


图 3-2 基于 OTU 序列 3% 差异水平的样品稀释曲线

Figure3-2 Rarefaction curves of observed species (i.e. OTUs) number clustered at the 3% phylogenetic distance level based on the 16S rDNA gene sequences of all soil samples derived from organic and conventional managements.

注：同表 3-1。Note: The same with Table3-1.

Goods coverage 是覆盖度指数，指各个样本文库的覆盖率，覆盖度指数越大，说明样本中的序列没有被测出的概率就越低，能够反映测序结果是否可以反映真实情况。

由表 3-4 看出，有机管理和常规管理的所有土壤样品测序的覆盖度指数均 ≥ 0.95 ，说明本试验测序结果基本可以真实反映土壤样品的细菌群落多样性。

表 3-4 有机管理和常规管理下 0-20 cm 土壤样品测定的细菌物种数量和覆盖度

Table3-4 Observed species and Goods coverage of bacterial samples derived from 0-20 cm soil under organic and conventional managements

| Sample ID | Observed species | Goods coverage |
|------------|------------------|----------------|
| CON-2013S1 | 2204 | 0.961 |
| CON-2013S2 | 2154 | 0.964 |
| CON-2013S3 | 2411 | 0.957 |
| ORG-2013S1 | 2169 | 0.964 |
| ORG-2013S2 | 2226 | 0.958 |
| ORG-2013S3 | 2545 | 0.958 |
| CON-2013W1 | 2536 | 0.953 |
| CON-2013W2 | 2421 | 0.96 |
| CON-2013W3 | 2534 | 0.956 |
| ORG-2013W1 | 2725 | 0.951 |
| ORG-2013W2 | 2231 | 0.973 |
| ORG-2013W3 | 3053 | 0.948 |
| CON-2014S1 | 2013 | 0.961 |
| CON-2014S2 | 1783 | 0.978 |
| CON-2014S3 | 2312 | 0.955 |
| ORG-2014S1 | 2266 | 0.957 |
| ORG-2014S2 | 2126 | 0.955 |
| ORG-2014S3 | 1975 | 0.965 |
| CON-2014W1 | 2666 | 0.954 |
| CON-2014W2 | 2331 | 0.962 |
| CON-2014W3 | 2311 | 0.967 |
| ORG-2014W1 | 2453 | 0.955 |
| ORG-2014W2 | 2705 | 0.955 |
| ORG-2014W3 | 2883 | 0.951 |

3.3.3 有机管理对土壤细菌群落 α 多样性的影响

α 多样性用来评价一个群落内物种的多样性。 α 多样性指数是反映丰富度和均匀度的综合指标，它与两个因素有关，一是种类数目，即丰富度；二是种类中个体分配上的均匀性。

3.3.3.1 群落丰富度指数

群落丰富度（Community richness）的指数，包括 Chao 指数和 ACE

(Abundance-based coverage estimator) 指数。Chao 用 Chao1 算法来估计群落中含有 OTU 的数目的指数。Chao 指数和 ACE 指数越高, 说明群落丰富度越高。由表 3-5, 有机管理和常规管理果园 0-20 cm 土壤样品中细菌的 Chao 和 ACE 指数都无显著性差异 ($P>0.05$)。

表 3-5 有机管理和常规管理 0-20 cm 土壤细菌群落丰度

Table3-5 Community richness of soil bacterial derived from 0-20 cm soil under organic and conventional managements

| Sample ID | Chao | ACE |
|------------|---------|---------|
| CON-2013S1 | 2957.99 | 3127.24 |
| CON-2013S2 | 2814.63 | 2986.34 |
| CON-2013S3 | 3342.80 | 3464.13 |
| ORG-2013S1 | 2910.35 | 2986.50 |
| ORG-2013S2 | 3165.99 | 3318.43 |
| ORG-2013S3 | 3503.76 | 3448.73 |
| CON-2013W1 | 3725.71 | 3751.43 |
| CON-2013W2 | 3197.48 | 3296.91 |
| CON-2013W3 | 3439.08 | 3552.57 |
| ORG-2013W1 | 3722.37 | 3868.51 |
| ORG-2013W2 | 2587.89 | 2651.71 |
| ORG-2013W3 | 4023.04 | 4184.53 |
| CON-2014S1 | 2977.26 | 3072.71 |
| CON-2014S2 | 2062.82 | 2140.03 |
| CON-2014S3 | 3380.91 | 3531.98 |
| ORG-2014S1 | 3169.18 | 3321.16 |
| ORG-2014S2 | 3406.76 | 3534.09 |
| ORG-2014S3 | 2727.17 | 2744.06 |
| CON-2014W1 | 3473.95 | 3674.86 |
| CON-2014W2 | 3085.79 | 3135.43 |
| CON-2014W3 | 2760.56 | 2889.71 |
| ORG-2014W1 | 3416.37 | 3607.17 |
| ORG-2014W2 | 3535.62 | 3704.32 |
| ORG-2014W3 | 3869.84 | 3982.30 |

3.3.3.2 群落多样性指数

群落 α 多样性指数, 包括 Shannon 指数和 Simpson 指数, 用来评价细菌群

落的多样性水平。

由图 3-3，在 2013 年至 2014 年四个取样时期，有机管理下 0-20 cm 土壤细菌群落的 Simpson 指数均高于常规管理，并且在 2014 年夏季和冬季的差异达到显著水平 ($P<0.05$)。

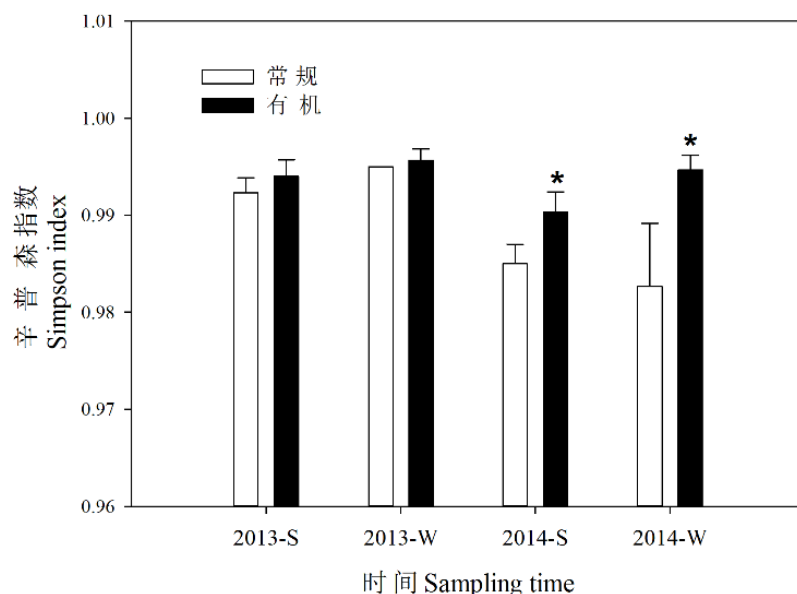


图 3-3 2013-2014 年有机管理和常规管理下 0-20 cm 土壤细菌群落辛普森指数

Figure3-3 Simpson diversity index of soil bacteria community of organic and conventional 0-20 cm soil sampled in summer and winter of 2013 and 2014 respectively

注：数据为平均值±标准误 (n=3)。*表示两处理间的差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Data are means±standard error (n=3). * indicates the significant difference between treatments at $P<0.05$ level (Student's *t*-test).

如图 3-4 所示，2013 年夏季和冬季及 2014 年冬季，有机管理 0-20cm 土壤细菌群落的 Shannon 指数高于常规管理，并且 2014 年冬季，差异达到显著水平 ($P<0.05$)。

有机管理模式下土壤细菌的多样性水平高于常规模式，并且随着有机管理的持续作用，两种管理模式土壤细菌的群落多样性差异逐渐增大。

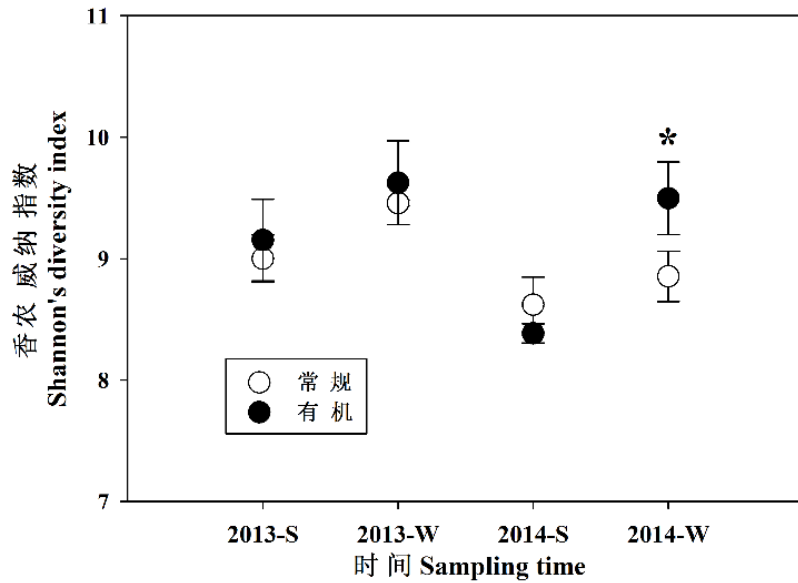


图 3-4 2013-2014 年有机管理和常规管理下 0-20 cm 土壤细菌群落香农-威纳指数

Figure 3-4 Shannon's diversity index of soil bacteria community of organic and conventional 0-20 cm soil sampled in summer and winter of 2013 and 2014 respectively

注：数据为平均值±标准误 (n=3)。*表示两处理间的差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Data are means±standard error (n=3). * indicates the significant difference between treatments at $P<0.05$ level (Student's *t*-test).

3.3.3.3 秩多度曲线

秩多度 (Rank abundance) 曲线将样品中的 OTUs 按其包含的序列数目由大到小排序, 编号, 再以编号为横坐标, 以 OTUs 中序列数的相对百分含量为纵坐标, 绘制曲线图, 即 Rank Abundance 曲线。

Rank Abundance 曲线可直观地反映样品包含的物种丰富度和均匀度。即在水平方向, 曲线宽度反映物种的丰度, 物种的丰富度越高, 曲线在横坐标上的跨度越大; 在垂直方向, 曲线的平滑程度反映物种的均匀程度, 曲线越陡, 物种分布越不均匀, 曲线越平缓, 物种的分布越均匀 (Lundberg et al. 2013)。

由图 3-5, 可以直观地看出各样品中物种的丰富度和均匀度。2014 年冬季有机管理下 0-20 cm 土壤细菌的均匀度和丰富度最高。

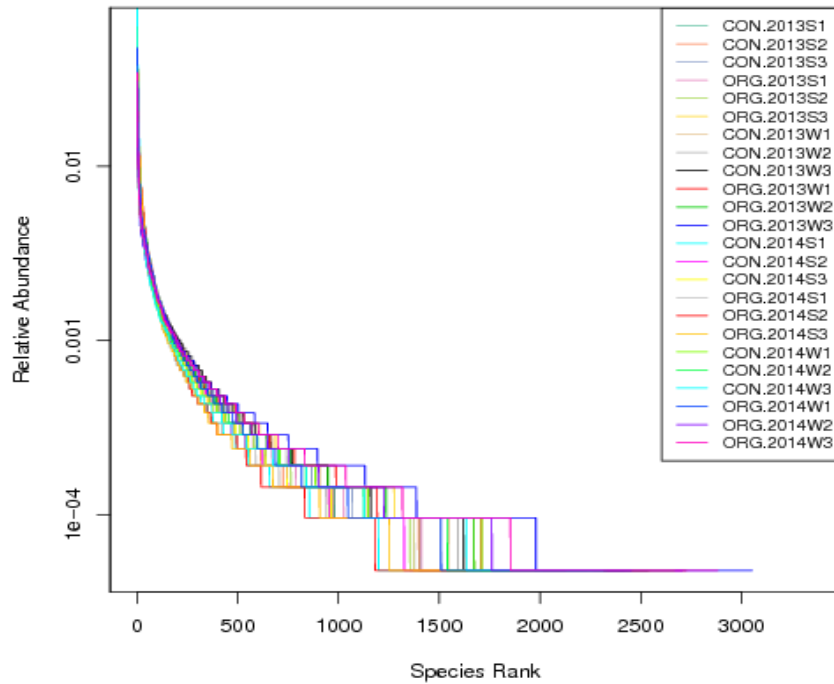


图 3-5 有机管理和常规管理下土壤细菌测序样品秩多度曲线

Figure3-5 Rank abundance curves of bacterial sequencing of organic and conventional soil sampled in summer and winter of 2013 and 2014 respectively

3.3.4 有机管理对土壤细菌各分类水平上的影响

3.3.4.1 有机管理对土壤细菌在门水平上的影响

在门分类水平上，共鉴定到 41 个细菌类群。其中在有机和常规管理所有土壤样品中均检测的细菌门共 21 个，包括变形菌门（Proteobacteria）、放线菌门（Actinobacteria）、浮霉菌门（Planctomycetes）、酸杆菌门（Acidobacteria）、拟杆菌门（Bacteroidetes）、芽单胞菌门（Gemmatimonadetes）、疣微菌门（Verrucomicrobia）、厚壁菌门（Firmicutes）、绿弯菌门（Chloroflexi）、TM6、硝化螺旋菌门（Nitrospirae）、衣原体门（Chlamydiae）、WS3, 蓝菌门（Cyanobacteria）、TM7、WPS-2、泉古菌门（Crenarchaeota）、装甲菌门（Armatimonadetes）、AD3、OD1、绿菌门（Chlorobi）。

选取在门分类水平上最大丰度排名前十的类群，绘制注释结果柱状图。由图 3-6，相对丰度排名前十的门依次为变形菌门、放线菌门、拟杆菌门、浮霉菌门、

酸杆菌门、芽单胞菌门、厚壁菌门、疣微菌门、绿菌门和 TM6。两个果园的土壤中细菌都以变形菌为主，相对丰度为 0.43-0.68。

常规管理下 2013 年冬季、2014 年夏季、2014 年冬季三个时期 0-20 cm 土壤中放线菌门的相对丰度分别为 0.15、0.13、0.11，分别高比有机管理显著高出 6%、10%、8% ($P<0.01$)。常规管理 4 个取样时期的样品中，芽单胞菌门的相对丰度均显著高于有机管理 ($P<0.05$)。有机管理下 2013 年冬季、2014 年夏季两个时期的土壤中，拟杆菌门相对丰度分别显著高于常规管理 5%、8% ($P<0.01$)。

此外，常规管理的果园土壤中变形菌、浮霉菌门的相对丰度低于有机管理，常规管理土壤中的酸杆菌门、芽单胞菌门、厚壁菌门的相对丰度高于有机管理，但是差异均未达到显著水平 ($P>0.05$)。

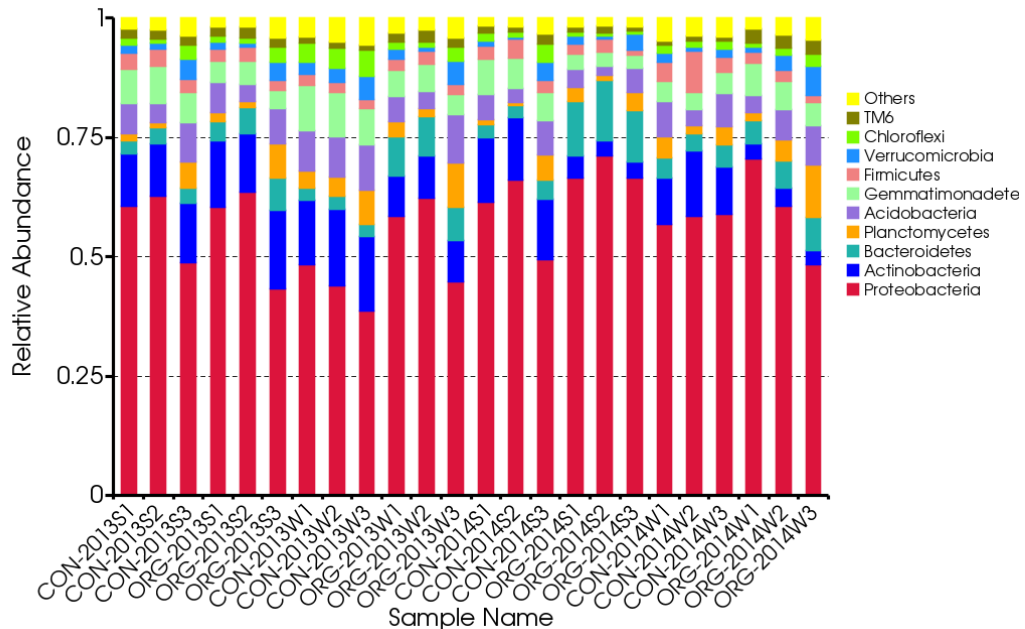


图 3-6 有机管理与常规管理下 0-20 cm 土壤细菌门水平上的物种相对丰度

Figure3-6 Relative abundance of the dominant bacterial at phylum level of 0-20 cm soil samples derived from organic and conventional managements at summer and winter in 2013 and 2014

3.3.4.2 有机管理对土壤细菌在纲水平上的影响

在纲的分类水平上，共鉴定到 119 个细菌类群。

如图 3-7 所示，样品中细菌相对丰度排名前 10 的纲依次为 α -变形菌纲 (Alphaproteobacteria)、 γ -变形菌纲 (Gammaproteobacteria)、 β -变形菌纲

(Betaproteobacteria)、放线菌纲 (Actinobacteria)、Sphingobacteriia、芽单胞菌纲 (Gemmatimonadetes)、Planctomycetia、嗜热油菌纲 (Thermoleophilia)、芽孢杆菌纲 (Bacilli)、Spartobacteria。

有机管理下 2013 年冬季和 2014 年夏季、2014 年冬季土壤中 γ 变形菌纲的相对丰度显著高于常规管理，有机管理下 2014 年夏季、2014 年冬季样品中 Sphingobacteriia 的相对丰度显著高于常规管理 ($P<0.01$)。

常规管理下 2013 年冬季和 2014 年夏季、2014 年冬季土壤中放线菌纲的相对丰度显著高于有机管理；常规管理 2013 年冬季和 2014 年夏季样品中嗜热油菌纲和芽单胞菌纲的相对丰度均显著高于有机管理 ($P<0.01$)。

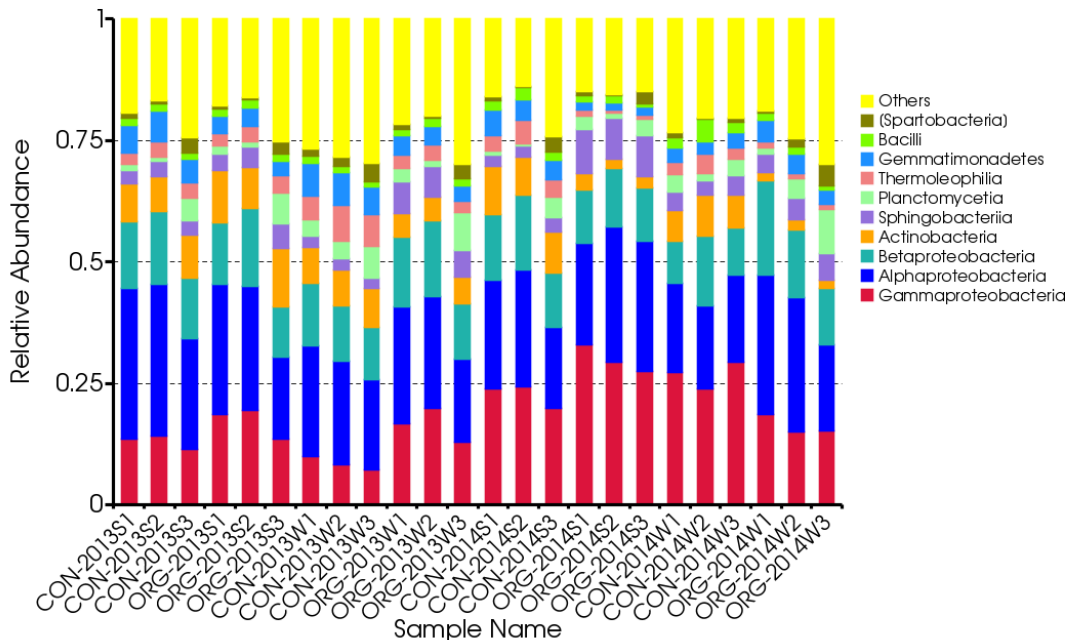


图 3-7 有机管理与常规管理下 0-20 cm 土壤细菌纲水平上的物种相对丰度

Figure3-7 Relative abundance of the dominant bacterial at class level of 0-20 cm soil samples derived from organic and conventional managements at summer and winter in 2013 and 2014

3.3.4.3 有机管理对土壤细菌在目水平上的影响

在目的分类水平上，共鉴定到 167 个细菌类群。

如图 3-8 所示，相对丰度排名前十的纲依次为黄单胞菌目 (Xanthomonadales)、鞘脂单胞菌目 (Sphingomonadales)、根瘤菌目 (Rhizobiales)、放线菌目 (Actinomycetales)、SC-I-84、鞘脂杆菌目 (Sphingobacteriales)、伯克氏菌目

(Burkholderiales)、红螺菌目(Rhodospirillales) Gaiellales、假单胞菌目(Pseudomonadales)。

2013 年冬季有机管理 0-20cm 土壤样品中黄单胞菌目、鞘脂杆菌目、伯克氏菌目、假单胞菌目的相对丰度均显著高于常规管理 ($P<0.05$)。2014 年夏季有机管理下土壤中黄单胞菌目、放线菌目、鞘脂杆菌目的相对丰度均显著高于常规管理 ($P<0.05$)。2014 年冬季有机管理下土壤中黄单胞菌目、红螺菌目的相对丰度均显著高于常规管理 ($P<0.05$)。

2013 年冬季常规管理模式下放线菌目的相对丰度均显著高于有机管理 ($P<0.05$)。2014 年夏季和冬季, 常规管理下放线菌目和 SC-I-84 的相对丰度均显著高于有机管理 ($P<0.05$)。

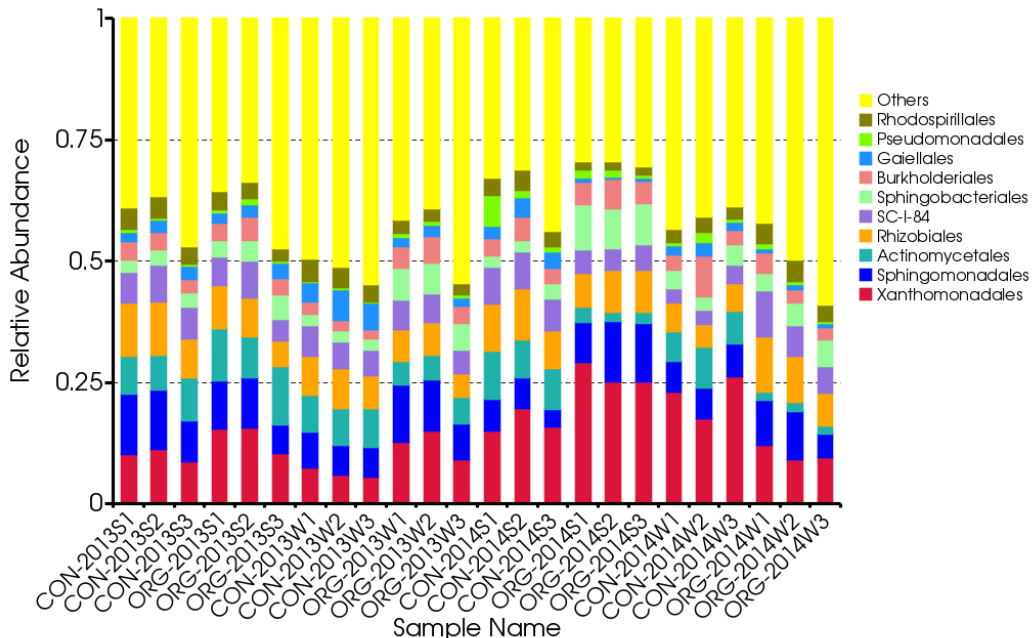


图 3-8 有机管理与常规管理 0-20 cm 土壤细菌目水平上的物种相对丰度

Figure3-8 Relative abundance of the dominant bacterial at order level of 0-20 cm soil samples derived from organic and conventional managements at summer and winter in 2013 and 2014

3.3.4.4 有机管理对土壤细菌在科水平上的影响

在科的分类水平上, 共鉴定到 229 个细菌类群。如图 3-9 所示, 相对丰度排名前十的科依次为黄单胞菌科(Xanthomonadaceae)、Chitinophagaceae、鞘脂单胞菌科(Sphingomonadaceae)、生丝微菌科(Hyphomicrobiaceae)、Gaiellaceae、

Chthoniobacteraceae、类诺卡氏菌科(Nocardioidaceae)、微球菌科(Micrococcaceae)、假单胞菌科(Pseudomonadaceae)、伯克氏菌科(Burkholderiaceae)。

如图 3-9 所示,通过对各样品不同科细菌相对丰度的计算,发现 2013 年冬季和 2014 年夏季有机管理模式下 0-20 cm 土壤黄单胞菌科、Chitinophagaceae 的相对丰度显著高于常规管理 ($P<0.01$),此外,2013 年冬季有机管理假单胞菌科的相对丰度显著高于常规管理 ($P<0.05$),2014 年夏季有机管理鞘脂单胞菌科的相对丰度显著高于常规管理 ($P<0.01$)。

2013 年冬季和 2014 年夏季常规管理 Gaiellaceae 的相对丰度均显著高于有机管理 ($P<0.01$),2013 年冬季、2014 年夏季和 2014 年冬季常规管理的类诺卡氏菌科的相对丰度均显著高于有机管理 ($P<0.01$),2014 年冬季常规管理黄单胞菌科的相对丰度显著高于有机管理 ($P<0.05$)。

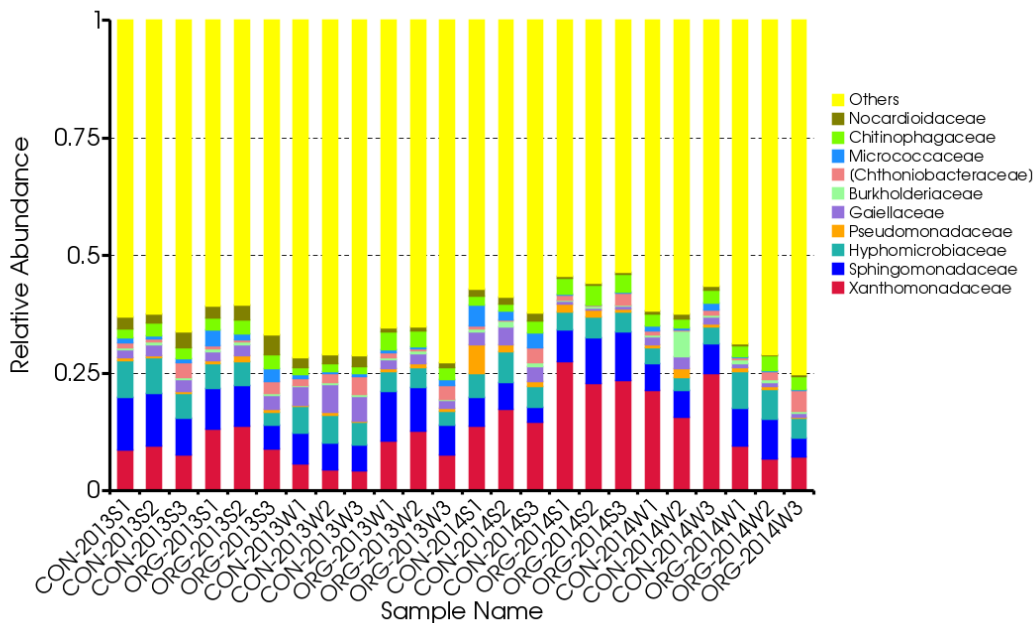


图 3-9 有机管理与常规管理 0-20 cm 土壤细菌科水平上的物种相对丰度

Figure3-9 Relative abundance of the dominant bacterial at family level of 0-20 cm soil samples derived from organic and conventional managements at summer and winter in 2013 and 2014

3.3.4.5 有机管理对土壤细菌在属水平上的影响

在属的分类水平上,共鉴定到 281 个细菌类群。如图 3-10 所示,样品中相对丰度排名前十的属依次为 *Kaistobacter*、红游动菌属(*Rhodoplanes*)、单胞菌属

(*Luteimonas*)、*Rhodanobacter*、热单胞菌属(*Thermomonas*)、DA101、假单胞菌属(*Pseudomonas*)、黄杆菌属(*Flavobacterium*)、紫色杆菌属(*Janthinobacterium*)、芽孢八叠球菌属(*Sporosarcina*)。

2013 年冬季, 有机管理下 0-20 cm 土壤中假单胞菌属 ($P<0.05$) 和黄杆菌属 ($P<0.01$) 的相对丰度分别显著高于常规管理。2014 年夏季, 有机管理下 0-20cm 土壤中 *Kaistobacter*、黄杆菌属 ($P<0.05$)、热单胞菌属、紫色杆菌属 ($P<0.01$) 的相对丰度分别显著高于常规管理。2014 年冬季, 有机管理 0-20 cm 土壤中红游动菌属和黄杆菌属的相对丰度分别显著高于常规管理 ($P<0.05$)。

2013 年冬季常规管理下 0-20 cm 土壤中红游动菌属的相对丰度显著高于有机管理 ($P<0.05$)。2014 年夏季, 常规管理 0-20 cm 土壤中 *Rhodanobacter* 和芽孢八叠球菌属的相对丰度显著高于有机管理 ($P<0.05$)。2014 年冬季, 常规管理下 0-20cm 土壤中 *Rhodanobacter* 的相对丰度显著高于有机管理 ($P<0.01$)。

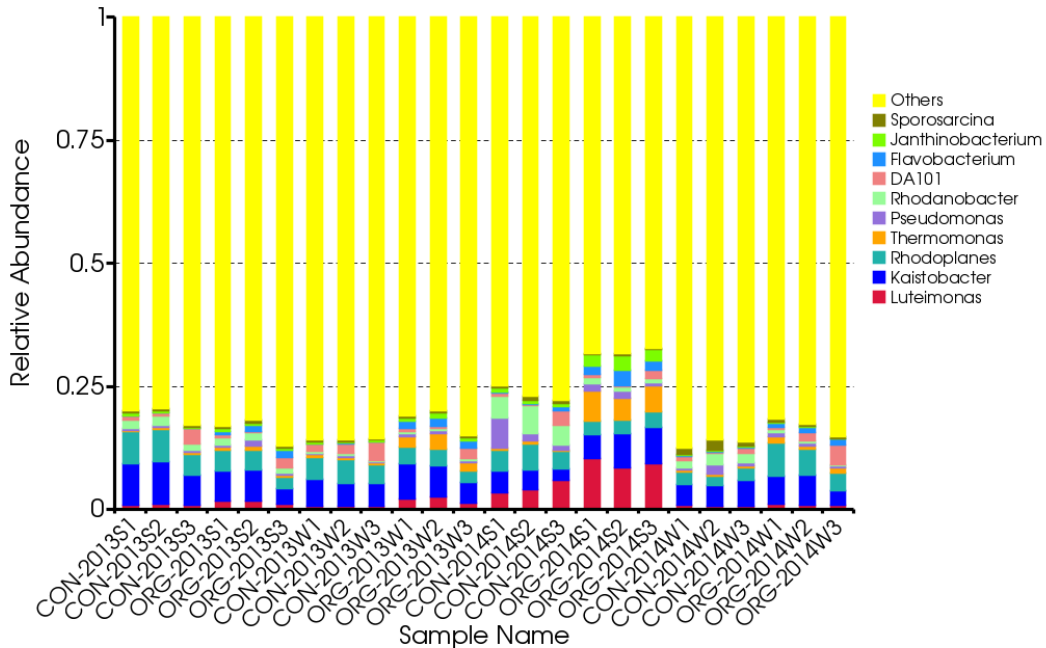


图 3-10 有机管理与常规管理 0-20 cm 土壤细菌属水平上的物种相对丰度

Figure3-10 Relative abundance of the dominant bacterial at genus level of 0-20 cm soil samples derived from organic and conventional managements at summer and winter in 2013 and 2014

3.3.5 有机管理对土壤细菌群落 β 多样性的影响

β 多样性是分析不同土壤样品细菌群落间的多样性，比较不同细菌群落的结构差异。通过对测序产生的 OTUs 进行主坐标分析 (PCoA) 和物种丰度聚类分析，来比较不同处理样品的群落组成。

3.3.5.1 PCoA 分析

PCoA 分析是一种降维排序方法，通过特征值和特征向量排序将多维数据中最主要的元素和结构提取出来。基于 Unweighted Unifrac 距离和 Weighted Unifrac 距离来进行 PCoA 分析，选择贡献率最大的主坐标组合作图。图中样品距离越近，表明群落结构组成越相似，样品距离越远，表示群落结构差异越大。

由图 3-11，加权的主坐标分析中，第一主成分的贡献率为 36.88%，第二主成分的贡献率为 22.21%。ORG-2013W、ORG-2014W 同 CON-2014W 样品距离较近，ORG-2013S 同 CON-2013S、CON-2014S 样品距离较近，说明这些样品的群落结构相似。

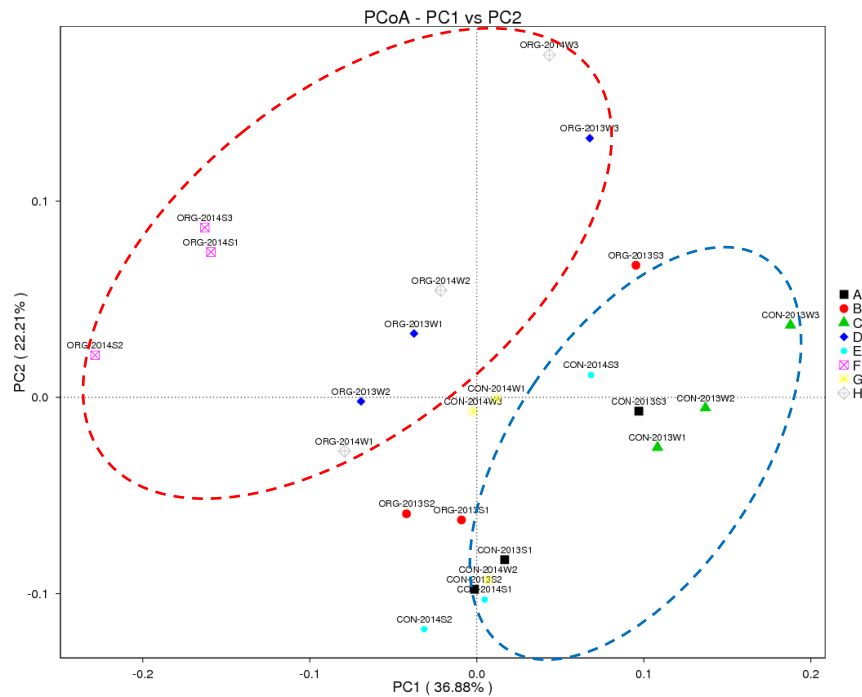


图 3-11 有机管理和常规管理土壤细菌群落结构加权 PCoA 分析

Figure3-11 Weighted PCoA analysis of bacterial structure of soil samples that derived from organic and conventional apple managements

注：A, CON-2013S; B, ORG-2013S; C, CON-2013W; D, ORG-2013W; E, CON-2014S; F, ORG-2014S; G, CON-2014W; H, ORG-2014W)。

由图 3-12，非加权的主坐标分析中，第一主成分的贡献率为 10.81%，第二主成分的贡献率为 10%。每个处理时期的样品距离较近，聚合度较好，有机管理模式和常规管理模式的土壤样品能够分离开。CON-2013W 和 CON-2014W 距离较近，CON-2013S 和 CON-2014S 有交叠趋势；ORG-2013S 和 ORG-2014S 距离较为分散，ORG-2013W 和 ORG-2014W 有交叠趋势。两个处理同时期取样的样品在 PCoA 图中的距离均较远，说明有机管理和常规管理两种模式下的土壤细菌群落结构差异较大。

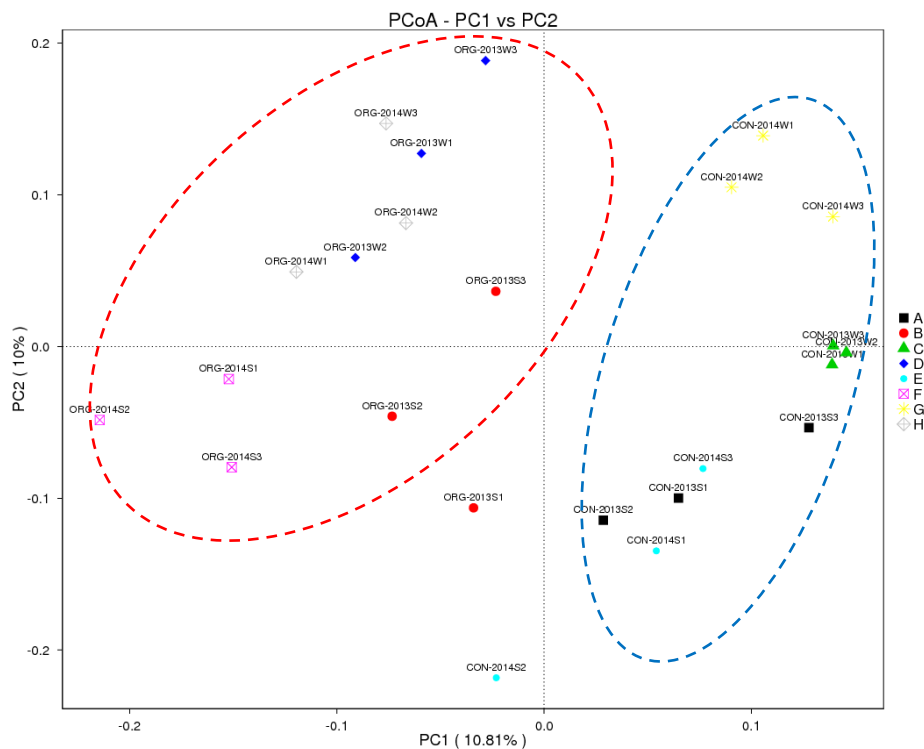


图 3-12 有机管理和常规管理土壤细菌群落结构非加权 PCoA 分析

Figure3-12 Unweighted PCoA analysis of bacterial structure of soil samples that derived from organic and conventional apple managements

注：A, CON-2013S; B, ORG-2013S; C, CON-2013W; D, ORG-2013W; E, CON-2014S; F, ORG-2014S; G, CON-2014W; H, ORG-2014W)。

3.3.5.2 物种丰度聚类分析

根据样品细菌在属水平的物种和丰度信息，对样品绘制丰度排名前 35 的属水平的丰度信息热图 (Heatmap)，并从物种属水平信息和样品间差异两个方向进

行聚类，相似度高的聚到一起。

由图 3-13，在同一取样时期，有机管理和常规管理 0-20 cm 土层中细菌群落不同菌属的丰度存在较大差异。

2013 年夏季，有机管理模式下 0-20 cm 土壤中丰度较高的细菌属包括 *Ramlibacter* 和类诺卡氏菌属(*Nocardioides*)，明显高于常规管理。

2013 年冬季，常规管理 0-20 cm 土壤中 *Candidatus_Solibacter* 和生丝微菌属(*Hyphomicrobium*)两个属的丰度明显较高。

2014 年夏季，有机管理下 0-20 cm 土壤中丰度较大的细菌属较多，包括紫色杆菌属(*Janthinobacterium*)、*Aequorivita*、假单胞菌属(*Pseudomonas*)、枝动杆菌属(*Mycoplana*)、*Luteimonas*、氨基杆菌属(*Aminobacter*)、黄杆菌属(*Flavobacterium*)、热单胞菌属(*Thermomonas*)、地杆菌属(*Pedobacter*)、气单胞菌属(*Aeromonas*)、溶杆菌属(*Lysobacter*)，有机管理下这些细菌属的丰度均明显高于常规管理。而 2014 年夏季常规管理中丰度较高的属较少，包括假单胞菌属(*Pseudomonas*)、红游动菌属(*Rhodoplanes*)、*Bacillus*。

2014 年冬季，有机管理模式下 0-20 cm 土壤中丰度较高的细菌属包括 *Aquicella*、*DA101*、出芽菌属(*Gemmata*)、浮霉菌属(*Planctomycetes*)和 *A17*。常规管理下 0-20 cm 土壤丰度较高的细菌属包括分枝杆菌属(*Mycobacterium*)和芽孢八叠球菌属(*Sporosarcina*)。

由 Heatmap 可以直观地看出，同一种管理模式土壤细菌丰度在不同时期之间也存在着差异。

3.3.6 有机管理对固氮菌属的影响

通过对土壤样品进行 16S rDNA 测序，鉴定到的固氮菌类群主要包括六个属，即德沃斯氏菌属(*Devosia*)、伯克氏菌属(*Burkholderia*)、根瘤菌属(*Rhizobium*)、贪铜菌属(*Cupriavidus*)、中慢生根瘤菌属(*Mesorhizobium*)、苍白杆菌属(*Ochrobactrum*)。

通过对根瘤菌科的 6 个固氮菌属的相对丰度进行统计，发现在 2013 年至 2014 年夏季和冬季的四个取样时期，有机管理下 0-20 cm 土壤 6 个固氮菌属的相对丰度总和均高于常规管理(图 3-14)，尽管差异没有达到显著水平，有机管理土壤中固氮菌属丰度较高仍值得关注。

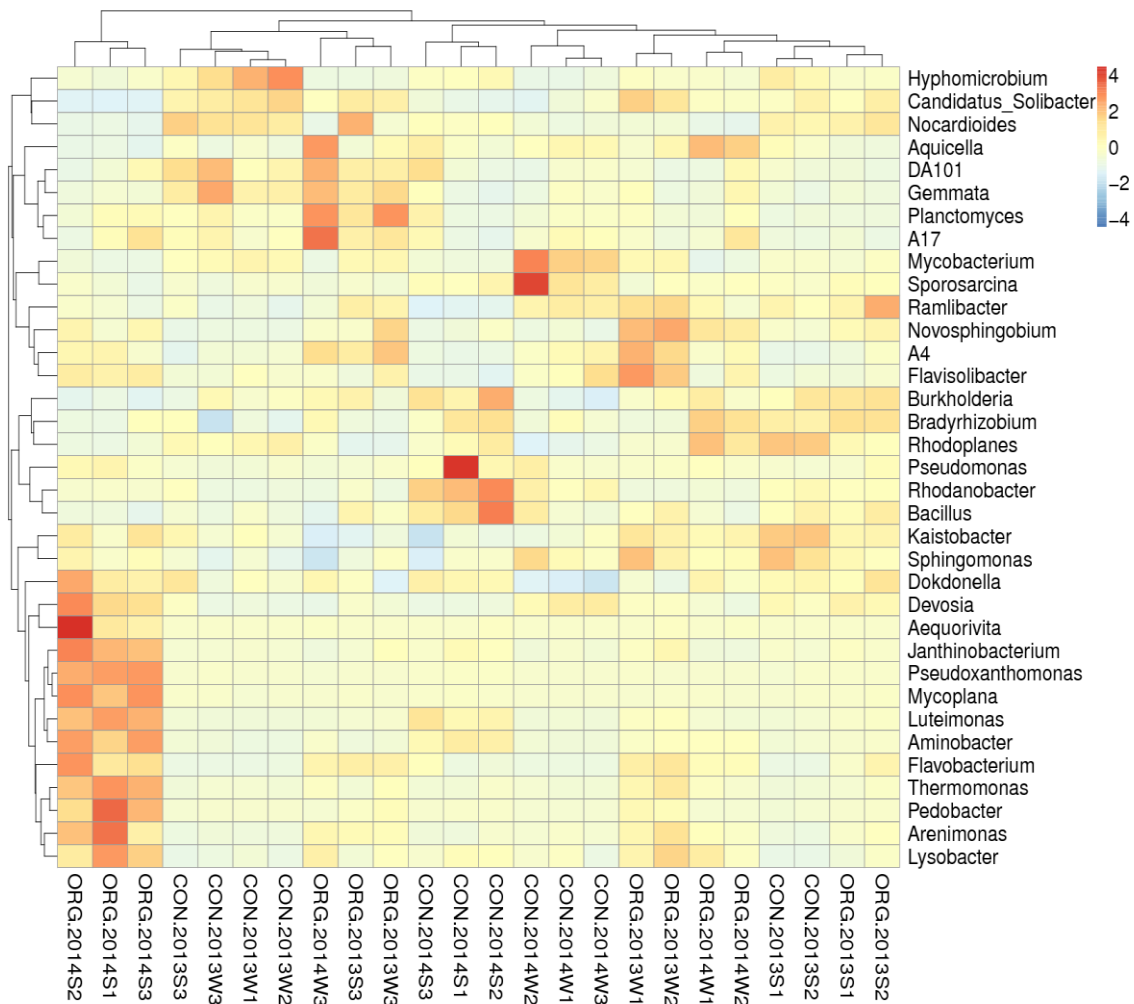


图 3-13 有机管理和常规管理 0-20 cm 土壤细菌属水平物种丰度聚类

Figure3-13 Heatmap analysis of the dominant genus of the 0-20 cm soil samples that derived from organic and conventional apple managements

注：CON，常规管理；ORG，有机管理。S，取样时间为夏季的 6 月；W，取样时间为冬季的 12 月；数字为重复的编号。

Note: CON, conventional management; ORG, organic management; S, sampling time was at June in summer; W, sampling time was at December in winter; Each treatment had three replicates.

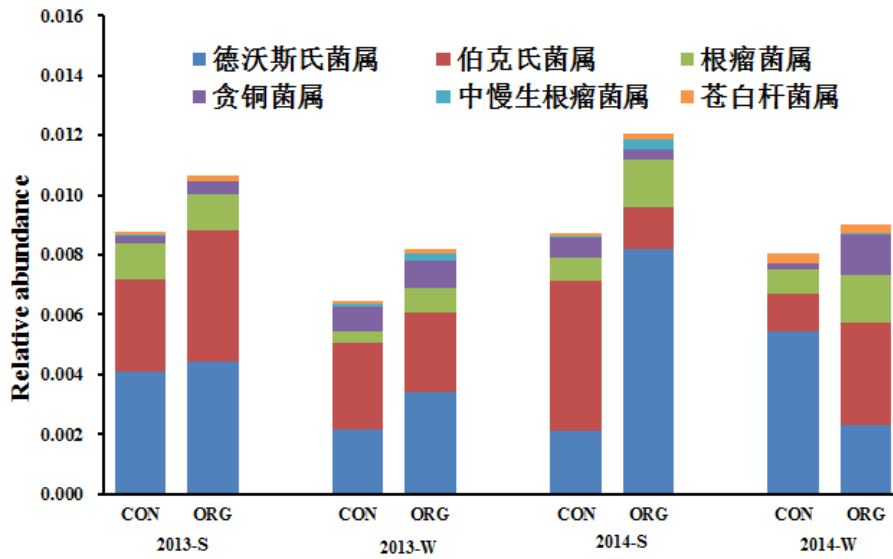


图 3-14 有机管理与常规管理 0-20cm 土壤固氮菌在属水平的相对丰富度差异

Figure3-14 Relative abundance of the rhizobia at genus level of 0-20 cm soil samples under organic and conventional managements at summer and winter in 2013 and 2014 respectively

3.4 讨论

有机管理模式中施用大量有机肥后,显著地增加了土壤微生物量。2013-2014 年,有机管理下 0-20 cm 土壤微生物量碳、微生物量氮分别增加了 211.1 mg kg^{-1} 和 21.3 mg kg^{-1} 。土壤微生物量碳、氮含量与有机质含量具有显著的正相关关系(隋跃宇等 2009)。有机管理中土壤微生物量高于常规管理,除由于有机肥补充土壤有机质外,也与两种管理模式不同的耕作管理方式有密切关系。

常规种植管理中,长期施用氮素化肥,会导致土壤有机质含量和微生物活性降低(Fauci and Dick 1994)。长期不同施肥处理对微生物群落影响的研究结果表明,与长期单施化肥的土壤相比,配施有机肥的土壤能够显著提高微生物的数量,提升土壤肥力(李秀英等 2005)。

常规种植模式中,农药和除草剂的使用对于微生物的生长也具有一定的干扰和抑制作用。有研究利用 BIOLOG 板技术探究农药对微生物的影响,结果表明,受农药污染严重的土壤中可利用碳源的微生物数量显著少于无农药污染的土壤(杨永华等 2000)。有研究报道 8 种除草剂对花生根瘤菌均会产生不同程度的毒害,引起花生根系固氮能力下降(张猛 2008)。毒性危害系数综合评价研究

表明浓度为 1 mg kg^{-1} 的甲拌磷、敌敌畏和毒死蜱，对大田中的土壤微生物产生中等程度危害(朱建雯等 2008)。有机管理模式从源头上禁止农药和除草剂的使用，为微生物提供了安全、适宜的生长环境。

细菌是微生物中数量最多的类群。本研究利用 16S rDNA 高通量测序技术分析研究两种管理模式土壤细菌群落组成和多样性差异，相比于 BIOLOG 板、PLFA 和 DGGE 方法，高通量测序技术能够准确反映细菌的种类和丰度。

物种注释结果表明，两种种植模式果园土壤细菌共检测到 41 个门 119 纲 167 目 229 科 281 属，其中变形菌门、放线菌门和拟杆菌门为主要优势类群。从各分类水平来看，两种模式果园在土壤细菌群落组成上有较大差异。两种管理模式中的优势属主要包括 *Kaistobacter*、红游动菌属、单胞菌属、*Rhodanobacter*、热单胞菌属。有机管理下土壤中一些功能细菌的相对丰度显著高于常规管理，如，假单胞菌属具有解磷、联合固氮作用，黄杆菌属具有降解纤维素作用，出芽菌属具有产生抗生素作用；另外，固氮菌群包括德沃斯氏菌属、伯克氏菌属、根瘤菌属、贪铜菌属、中慢生根瘤菌属、苍白杆菌属的相对丰度之和高于常规管理，表明有机管理下土壤细菌固氮潜力高于常规果园。

在细菌群落 α 多样性方面，两种管理模式在试验初期无显著差异，随着有机肥连续施用及果园生态的改善，有机管理模式土壤细菌群落的多样性表现出高于常规管理的趋势。2014 年夏季和冬季，有机管理下 0-20 cm 土壤细菌群落 Simpson 指数显著高于常规管理。2014 年冬季，有机管理下 0-20 cm 土壤细菌群落 Shannon 指数显著高于常规管理。土壤有机碳、土壤全氮含量是决定细菌群落组成的关键影响因素，施用有机肥有利于提高微生物群落多样性(Yu et al. 2015)。有机管理模式中为微生物提供了安全无污染的生存环境，有利于微生物生长和增殖。有机管理下土壤蚯蚓数量增加后，蚯蚓粪也能够促进细菌丰度和多样性的增加(周东兴等 2014)。土壤生物多样性的提高对于促进土壤养分循环，维持农田生态系统功能和促进可持续发展起到重要作用(Cameron et al. 2014)。

β 多样性分析用于比较不同群落之间的物种多样性方面的差异。非加权的 PCoA 分析结果表明，每个处理同时期的土壤样品距离较近，聚合度较好，有机管理和常规管理的样品能够分离开，说明差异较大。根据物种丰度聚类 Heatmap 图，直观地表明不同样品中某一属的丰度多少。随着有机肥的施入，有机管理下土壤细菌的丰度呈现上升趋势，在试验的第三年，假单胞菌属、黄杆菌属等的丰度较高。

3.5 小结

有机管理模式下载园无农药和除草剂污染，施用大量有机肥补充了土壤中的有机质，为微生物生长提供了良好的环境条件，显著地增加了土壤微生物量碳和微生物量氮。

通过 16S rDNA 高通量测序技术，共鉴定到有机和常规两种管理模式下载土壤细菌包含 41 个门 119 纲 167 目 229 科 281 属，其中变形菌门、放线菌门和拟杆菌门为主要优势类群。两种管理模式下载土壤细菌群落结构存在较大差异。有机模式中施用有机肥，有利于提高细菌群落多样性，有机管理下 0-20 cm 土壤细菌的 Simpson 和 Shannon 多样性指数高于常规管理，并且 2014 年差异逐步达到显著水平。

有机管理下载土壤中一些功能细菌的相对丰度显著高于常规管理，如，假单胞菌属、黄杆菌属、出芽菌属等。有机管理下载固氮菌群包括德沃斯氏菌属、伯克氏菌属、根瘤菌属、贪铜菌属、中慢生根瘤菌属、苍白杆菌属的丰度之和高于常规管理，表明有机管理模式下载土壤细菌固氮潜力高于常规管理。

第四章 有机管理对苹果园害虫和杂草控制的影响

4.1 引言

在果园生产中,害虫和杂草一直是困扰果农的难题。相比于大田,果园是一个较为复杂的生态系统,果园害虫种类繁多,危害苹果的常见害虫有六十余种,影响果树生长,引起果树落叶、病果率增加、果树减产等诸多问题。在常规管理中,果农对于虫害的防治,主要依赖使用化学合成农药进行灭杀,苹果生长周期较长,通常多次喷施多种农药来控制病虫害。大量化学杀虫剂为广谱性杀虫剂,施用后不仅可以有效地灭杀害虫,对自然天敌也构成危害,降低生物多样性(侯有明等 2001),不利于维持果园生态系统的稳定性;部分害虫开始产生抗药性(姚洪渭等 2002; 高占林等 2008)。由于化学杀虫剂的诸多负面影响,人们开始提倡生物物理相结合的害虫防治方法。物理防治方法主要包括利用诱虫灯、粘虫板、隔离带等进行诱捕和防控,生物防治方法主要包括利用自然天敌、生物农药、性引诱剂、种植志愿者植物等来进行害虫的防控。本研究中,在有机模式中采用生物物理相结合的方法控制虫害,探讨有机管理模式下的害虫防治效果。

杂草与果树竞争水分和营养,是在常规管理中,果农为省时省力,通常采用施用除草剂除草的方法来控制果园地面杂草。除草剂包括苯酚类、二甲醚类、苯氧羧酸类、酰胺类、脲类、均三氮苯类、氨基甲酸酯类等(孙艳丽等 2013),多为非选择性除草剂,对地面所有植物都具有杀伤性,如敌草隆、百草枯等;用于禾本科农作物除草的 2,4-D 是选择性除草剂,仅对双子叶植物有效。除草剂的使用,在灭杀杂草的同时,影响作物正常生长,降低了农田植物的生物多样性,大量除草剂进入土壤,随着地表径流和淋溶进入到水体,残留时间长,不易降解,对农田生态系统产生了严重的污染,对农产品安全质量构成威胁。随着除草剂的大量使用,一些杂草随之也产生抗药性(Zhang et al. 2003),需要持续依赖除草剂除草,进而对环境造成持续污染。同时,农民在使用除草剂的过程中,通过吸入,对身体健康构成潜在威胁和伤害。在进行本试验的地区,人们在常规果园及农田中较常使用的除草剂为百草枯,即一种非选择性除草剂,并且具有较强的毒性。

近年来,对于果园杂草控制问题,人们开始尝试利用生态和物理的方法进行

管理。主要形式包括杂草刈割、秸秆和果木碎屑覆盖、果园生草等。果园生草方法有利于增加土壤有机质含量，提高土壤含水量，降低杂草多样性，改善果园地面微气候，同时避免了除草剂污染，利于保护自然天敌。果园生草较常利用的草本植物主要包括豆科牧草如白花车轴草、紫花苜蓿、红花车轴草，禾本科植物如鼠茅草、黑麦草等。在本研究中，利用扩繁本地草本植物蛇莓来以草治草，是一种新的尝试。

4.2 试验设计与研究方法

4.2.1 研究地点概况

试验在弘毅生态农场进行，试验地点位于山东省临沂市平邑县蒋家庄村（35°26'34" N, 117°49'13" E），地处蒙山南麓鲁东南苹果产区。该地属暖温带季风气候区，四季分明，雨热同期，年均气温为 13.2℃，年降雨量为 770.2 mm，降雨集中在 6-8 月，平均无霜期 212 天，土壤为棕壤。试验地点 2012-2014 年的日均气温和日降雨量如图 4-1 所示，气象数据由试验站的小型气象站监测获得。

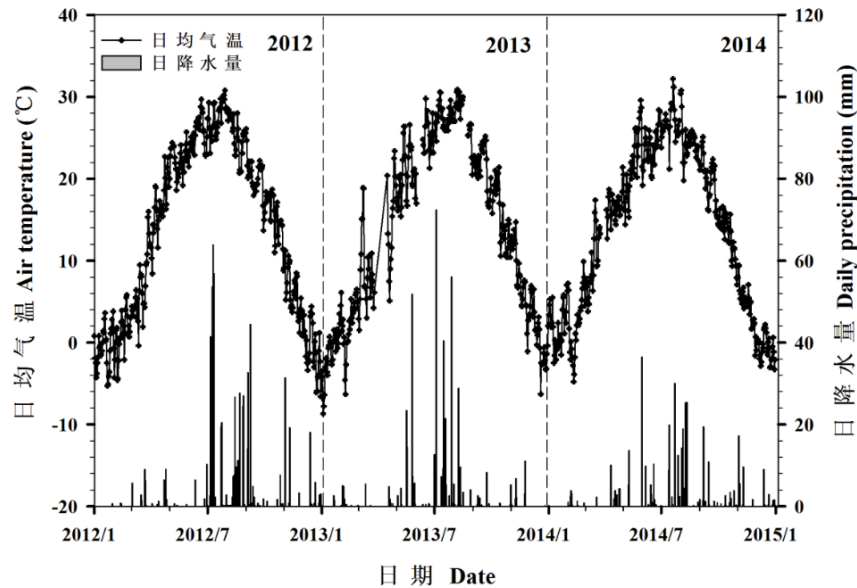


图 4-1 试验地 2012-2014 年日均气温和日降水量

Figure4-1 Daily mean air temperature and daily precipitation in 2012-2014

4.2.2 试验设计

4.2.2.1 有机管理与常规管理苹果园害虫控制方法

常规管理采取利用化学杀虫剂控制虫害的方法，如表 4-1，使用的化学杀虫剂主要包括吡虫啉、高效氯氰菊酯、毒死蜱、尼索朗、灭幼脲等。

有机管理采取生物物理防治相结合的方法来控制虫害，生物方法主要为利用生物农药沼液、石硫合剂喷施叶片和枝干，利用自然天敌捕食害虫；物理方法主要为利用频振式诱虫灯诱捕夜行性趋光害虫。

表 4-1 常规管理与有机管理苹果园害虫控制方法

Table4-1 Methods of pest control in conventional and organic apple managements

| 常规管理 | | 有机管理 | |
|--------|----------------|--------|-----------------|
| 杀虫剂 | 施用时间和次数 | 生物物理方法 | 施用时间和次数 |
| 吡虫啉 | 3、6 月，每月 1 次 | 生物农药 | 石硫合剂 3 月，1 次 |
| 高效氯氰菊酯 | 3、7-9 月，每月 1 次 | | 沼液 5、6 月，每月 1 次 |
| 毒死蜱 | 5 月，1 次 | | 瓢虫、鸟类 |
| 三唑锡 | 6 月，1 次 | 物理方法 | 苹果套袋 5 月中旬 |
| 尼索朗 | 5、7-9 月，每月 1 次 | | 粘虫板 4-10 月 |
| 灭幼脲 | 6-9 月，每月 1 次 | | 草把诱集 10 月 |
| | | | 诱虫灯诱捕 5-10 月 |

注：常规果园农药的施用量按照农药产品说明书进行。

Note: Usage was set according to the instructions of pesticides.

4.2.2.2 有机管理与常规管理苹果园杂草控制方法

常规管理采取利用化学除草剂除草的方法，即定期使用百草枯进行除草，每个果树生长周年内喷施 3 次百草枯。在有机管理模式中，通过扩繁本地地被植物蛇莓来控制杂草，在初春时利用蛇莓小枝进行扦插，种植位置集中于果树行间的排水沟两旁，以利于蛇莓获得水分，株距 1 m×1 m。

4.2.3 测定指标与数据分析

4.2.3.1 有机管理模式下的瓢虫和蚜虫调查

于 2013 年 5 月，即在蚜虫爆发期，选择有机管理下发生虫害的果树新梢，对蚜虫数量和瓢虫幼虫及成虫的数量进行调查。

4.2.3.2 有机管理模式下的频振式诱虫灯捕获害虫

在有机管理的三个小区内分别设置一盏频振式诱虫灯，在每年害虫爆发较多的 5-10 月，用以捕获夜行趋光性害虫。频振式诱虫灯波长 330 nm，由光敏开关控制，夜晚至清晨工作，此外在雷雨天气自动断电。因为果树树体较高，诱虫灯悬挂后，不便于收集害虫，本试验对原有杀虫灯进行改装，利用 PVC（聚氯乙烯）管延长了落虫通道，改良的诱虫灯如图 4-2A 所示。

每天早晨，对诱虫灯捕获的害虫进行收集，并按照金龟甲类、蛾类和其它虫类进行分类和计数、称重；将捕获的害虫作为补饲蛋白，饲喂家禽（图 4-2B）。

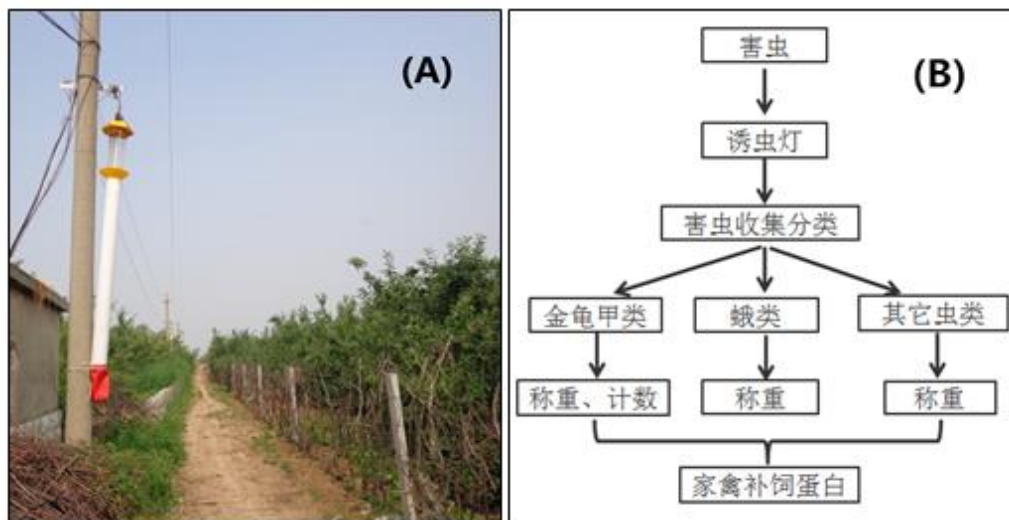


图 4-2 改良的诱虫灯及害虫监测流程

Figure 4-2 Modified light trap and the procedures of monitoring pests in the organic management

4.2.3.3 有机管理模式下的苹果园蛇莓控草试验

在 2012 至 2014 年，对有机管理的小区杂草进行调查，在果树行间分别随机选取三个样方进行调查，每个样方面积为 1 m×1 m，分别记录样方内杂草的总盖度，各杂草的分盖度及杂草的株数、株高等数据。

4.2.3.4 数据分析

杂草多样性指数计算:

$$\text{Simpson 指数(Hill 1973): } D = 1 - \sum_{i=1}^s (N_i/N)^2 \quad (4-1)$$

式中: N_i 为样方第 i 种的个体数量, N 为该群落所有物种的个体数量总和。

Shannon-Wiener 指数(马克平和刘玉明 1994):

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (4-2)$$

$$\text{式中: } P_i = N_i/N \quad (4-3)$$

N_i 为样方第 i 种的个体数量, N 为该群落的所有物种的个体数量总和。

$$\text{Pielou 指数(Pielou 1969): } E = H'/H_{\max} \quad (4-4)$$

$$\text{式中: } H_{\max} = \ln S \quad (4-5)$$

H_{\max} 为最大的 shannon-wiener 指数, S 为群落中所有物种的数量之和。

数据使用 Microsoft Excel 2010 进行输入和初步整理, 用 SPSS 16.0 软件进行 One-way ANOVA 方差分析, 并通过 *LSD* (least significant difference) test 及 Student's *t*-test 检验处理之间差异的显著性; 做图使用 SigmaPlot 10.0 软件(Aspire Software Intl. Ashburn, VA, USA), 图表中数据均为平均数 \pm 标准误。

4.3 结果与分析

4.3.1 有机管理下瓢虫对蚜虫控制效果

在常规管理中, 由于农民大量和频繁使用杀虫剂, 基本上有效遏制了蚜虫爆发, 同时由于农药的非靶标性和较大的毒害作用, 瓢虫难以生存, 几乎绝迹。

在有机管理中停止使用农药以后, 每年五月份春末夏初天气较为干旱时, 蚜虫大规模爆发, 而在蚜虫爆发的同时, 蚜虫的天敌—瓢虫的数量也随之逐渐增多, 这部分瓢虫以捕食性居多, 主要有异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)和四星瓢虫(*Hyperaspis repensis*) (图 4-3)。瓢虫幼虫变态前无翅膀, 在叶片上捕食蚜虫, 食量大, 幼虫每天可捕食 10-20 头蚜虫, 成虫每天可捕食 100 头以上蚜虫。

通过对蚜虫爆发较为集中的枝条新梢进行取样调查, 发现瓢虫捕食对蚜虫具有非常好的控制效果。由图 4-4A, 在蚜虫爆发的高峰期, 密度达到 236 头/新梢, 由于瓢虫不断捕食, 蚜虫密度逐渐降低至 55 头/新梢, 12 天内蚜虫的减退率为 76.7%。由图 4-4B, 在蚜虫爆发开始后, 瓢虫的数量也发生增长, 由于蚜虫为瓢虫幼虫提供了丰富的食物来源, 瓢虫种群不断增长。



图 4-3 有机管理模式中瓢虫捕食蚜虫

Figure4-3 Ladybugs that prey on aphids in the organic apple management

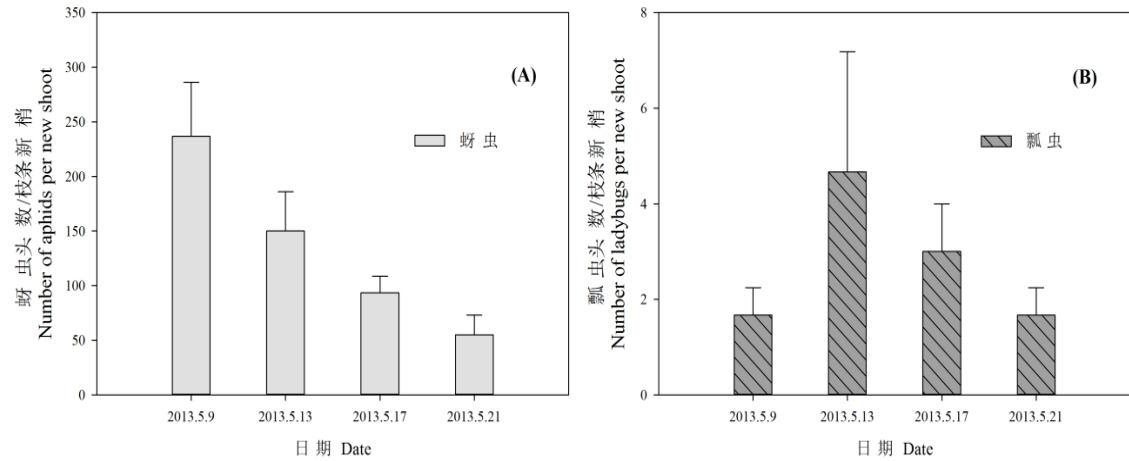


图 4-4 瓢虫对蚜虫的捕食效果（A，蚜虫数量；B，瓢虫数量）

Figure4-4 Effects of ladybugs preying on aphids (A, number of aphids; B, number of ladybugs)

4.3.2 苹果园诱虫灯捕获的常见害虫

通过在有机管理果园中架设频振式诱虫灯，捕获夜行性趋光害虫，如表 4-2 所示，调查到苹果园中常见的害虫主要包括鞘翅目、鳞翅目、直翅目和半翅目、同翅目的害虫，共 5 目 29 科 43 种。

其中，危害数量最多的为鞘翅目和鳞翅目害虫，主要有花金龟科：白星花金

龟；丽金龟科：铜绿丽金龟、苹毛丽金龟；鳃金龟科：东北大黑鳃金龟、暗黑鳃金龟；步甲科：双斑青步甲、屁步甲；夜蛾科：小造桥夜蛾、地老虎、斜纹夜蛾、银纹夜蛾；天蛾科：豆天蛾、甘薯天蛾、蓝目天蛾；卷蛾科：苹小卷叶蛾、苹小食心虫；螟蛾科：玉米螟。

频振式诱虫灯捕获的直翅目、半翅目和同翅目害虫种类较少，主要有螽斯、东方蝼蛄、蟋蟀、中华蚱蜢、椿象等。东方蝼蛄危害性较大，钻入土壤中啃食植株根部，会影响根系正常生长。

表 4-2 苹果园诱虫灯捕获的常见害虫

Table 4-2 Common pests captured by the light traps in apple orchards

| 目 | 科 | 种 | 拉丁名 |
|-----|------|---------|---------------------------------|
| 鞘翅目 | 花金龟科 | 白星花金龟 | <i>Protaetia brevitarsis</i> |
| | 丽金龟科 | 铜绿丽金龟 | <i>Anomala corpulenta</i> |
| | | 苹毛丽金龟 | <i>Proagopertha lucidula</i> |
| | 鳃金龟科 | 东北大黑鳃金龟 | <i>Holotrichia diomphalia</i> |
| | | 暗黑鳃金龟 | <i>Holotrichia parallela</i> |
| | 天牛科 | 桑天牛 | <i>Apriona germari</i> |
| | | 星天牛 | <i>Anoplophora chinensis</i> |
| | 芫菁科 | 豆芫菁 | <i>Epicauta gorhami</i> |
| | 步甲科 | 双斑青步甲 | <i>Chlaenius bioculatus</i> |
| | | 屁步甲 | <i>Pheropsophus occipitalis</i> |
| 鳞翅目 | 龙虱科 | 龙虱 | <i>Agabus bipustulatus</i> |
| | 隐翅虫科 | 黄胸青腰隐翅虫 | <i>Paederus fuscipes</i> |
| | 夜蛾科 | 小造桥夜蛾 | <i>Anomis flava</i> |
| | | 棉铃虫 | <i>Helicoverpa armigera</i> |
| | | 地老虎 | <i>Euxoa segetum</i> Schiffer |
| | | 斜纹夜蛾 | <i>Prodenia litura</i> |
| | | 银纹夜蛾 | <i>Argyrogramma agnata</i> |
| | 天蚕蛾科 | 绿尾大蚕蛾 | <i>Actias selene</i> |
| | 天蛾科 | 豆天蛾 | <i>Clanis bilineata</i> |
| | | 甘薯天蛾 | <i>Agrius convolvuli</i> |
| | | 蓝目天蛾 | <i>Smerinthus planus</i> |
| | 灯蛾科 | 美国白蛾 | <i>Hyphantria cunea</i> |
| | | 黄腹鹿子蛾 | <i>Amata perixanthia</i> |
| | 毒蛾科 | 金毛虫 | <i>Prothesia similes</i> |
| | 粉蝶科 | 菜粉蝶 | <i>Pieris rapae</i> |
| | 卷蛾科 | 苹小卷叶蛾 | <i>Adoxophyes orana</i> |

续表 4-2 苹果园诱虫灯捕获的常见害虫

Continue Table4-2 Common pests captured by the light traps in apple orchards

| 目 | 科 | 种 | 拉丁名 |
|-----|------|------------|---|
| 鳞翅目 | 卷蛾科 | 苹小食心虫 | <i>Grapholitha inopinata</i> |
| | 麦蛾科 | 麦蛾 | <i>Sitotroga cerealella</i> |
| | 潜叶蛾科 | 旋纹潜叶蛾 | <i>Leucoptera sciteila</i> |
| | 枯叶蛾科 | 苹毛虫 | <i>Odonestis pruni</i> |
| | 细蛾科 | 金纹细蛾 | <i>Lithocolletis ringoniella</i> |
| | 螟蛾科 | 桃蛀螟 玉米螟 | <i>Dichocrocis punctifetalis</i> <i>Ostrinia nubilalis</i> |
| 直翅目 | 螽斯科 | 螽斯 | <i>Longhorned grasshoppers</i> |
| | 蝼蛄科 | 东方蝼蛄 | <i>Gryllotalpa orientalis</i> |
| | 蟋蟀科 | 蟋蟀 | <i>Gryllidae</i> |
| | 剑角蝗科 | 中华蚱蜢 | <i>Acrida cinerea</i> |
| 半翅目 | 田鳖科 | 大田负蝽 | <i>Lethocerus deyrolli</i> |
| | 椿象科 | 椿象 | <i>Aspongopus chinensis</i> |
| | 缘蝽科 | 点蜂缘蝽 | <i>Riptortus pedestris</i> |
| | 飞虱科 | 灰飞虱 | <i>Laodelphax striatellus</i> |
| 同翅目 | 蜡蝉科 | 斑衣蜡蝉 | <i>Lycorma delicatula</i> |
| | | 黑蝉 | <i>Cryptotypama atrata</i> |

4.3.3 有机管理下诱虫灯对趋光害虫总量控制效果

有机管理模式连续三年使用频振式诱虫灯捕获苹果园夜行性趋光害虫，具有较好的控虫效果。

诱虫灯捕获的害虫包括害虫主要包括鞘翅目、鳞翅目、直翅目和半翅目、同翅目害虫。

由图 4-4，害虫总体爆发高峰发生在每年 6 月中旬和 8 月中下旬。在经过三年连续控虫之后，害虫日捕获总重整体上呈明显的下降趋势，害虫日捕获量峰值由 2012 年的 73 g/天降低至 2014 年 44 g/天。

由图 4-5，（按年份的日均变化量），诱虫灯日均单灯捕获害虫量由 2012 年的 20.93 g/天降低至 2014 年 12.72 g/天，减少了 39.2%。

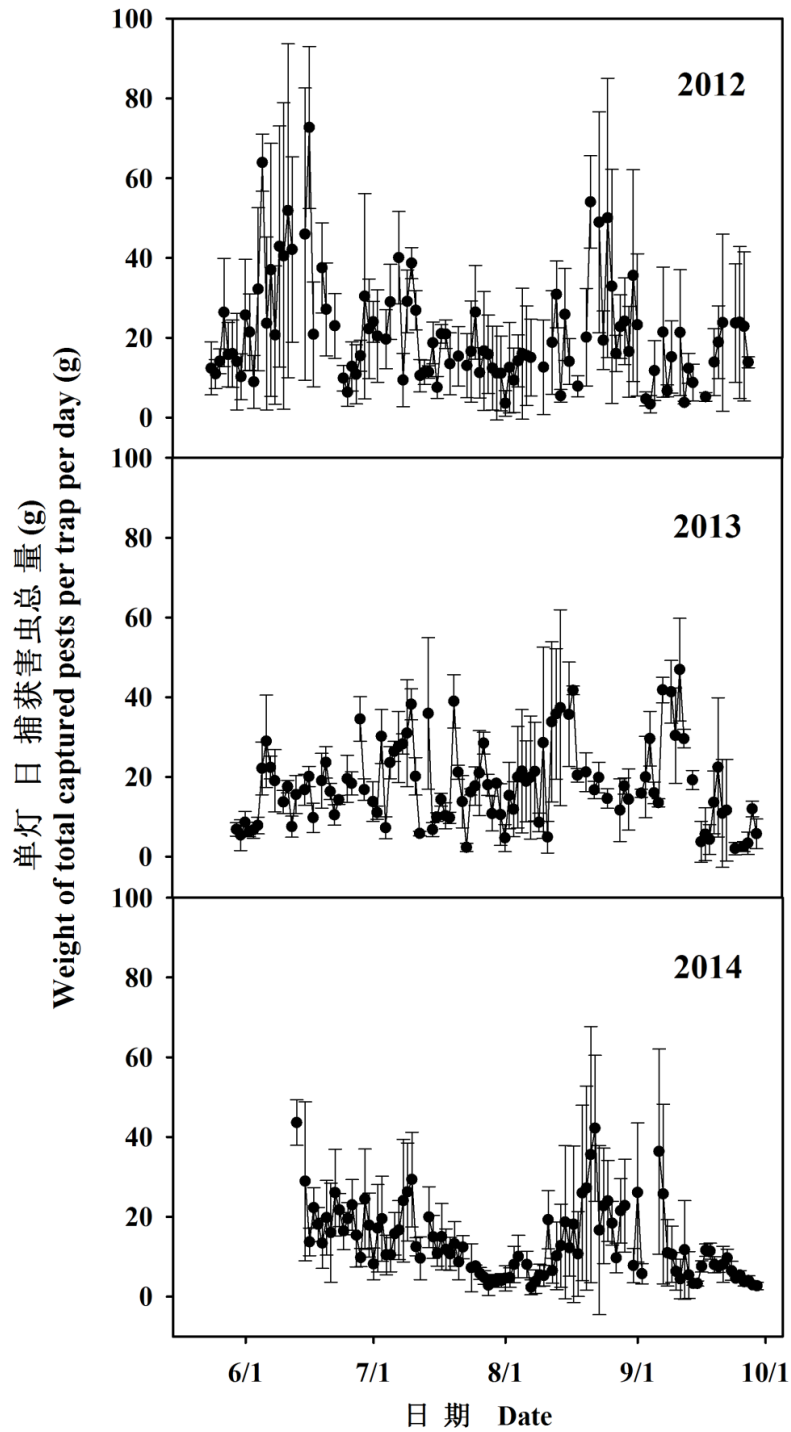


图 4-4 2012-2014 年有机管理下诱虫灯单灯日捕获趋光害虫总量动态变化

Figure4-4 Dynamics of total captured phototactic pests' weight per trap per day under organic management during 2012-2014

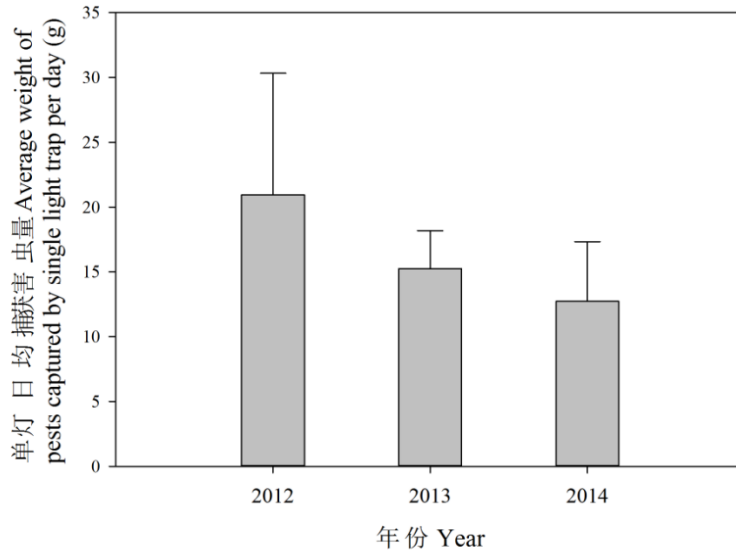


图 4-5 2012-2014 年有机管理下诱虫灯单灯日均捕获害虫量年际变化

Figure4-5 Interannual variation of average weight of pests captured by single light trap per day under organic management during 2012-2014

4.3.4 有机管理下诱虫灯对金龟甲控制效果

金龟甲是果园中常见的鞘翅目害虫，啃食果树枝条和叶片，其幼虫在土壤中啃食根系，危害果树生长。

有机管理下利用诱虫灯捕获的金龟甲种类主要包括东北大黑鳃金龟 (*Holotrichia diomphalia*)、暗黑鳃金龟 (*Holotrichia parallela*)、白星花金龟 (*Protaetia brevitarsis*)、铜绿丽金龟 (*Anomala corpulenta*)、苹毛丽金龟 (*Proagopertha lucidula*)。

由图 4-6 看出，金龟甲活跃期集中在 5 月下旬至 7 月中下旬。2012 年金龟甲的单灯日捕获量高峰值为 83 头，2014 年高峰值下降至 23 头，减少了 72.3%。

随着三年连续使用诱虫灯捕获金龟甲，金龟甲的数量连年下降，单灯日均捕获数量由 2012 年的 9.6 头/天下降至 2014 年的 2.3 头/天，减少了 76% (图 4-7A)。

金龟甲单灯日均捕获重量 (鲜重) 由 2012 年的 4.78 g/天降至 2014 年的 0.57 g/天，减少了 88.1% (图 4-7B)。

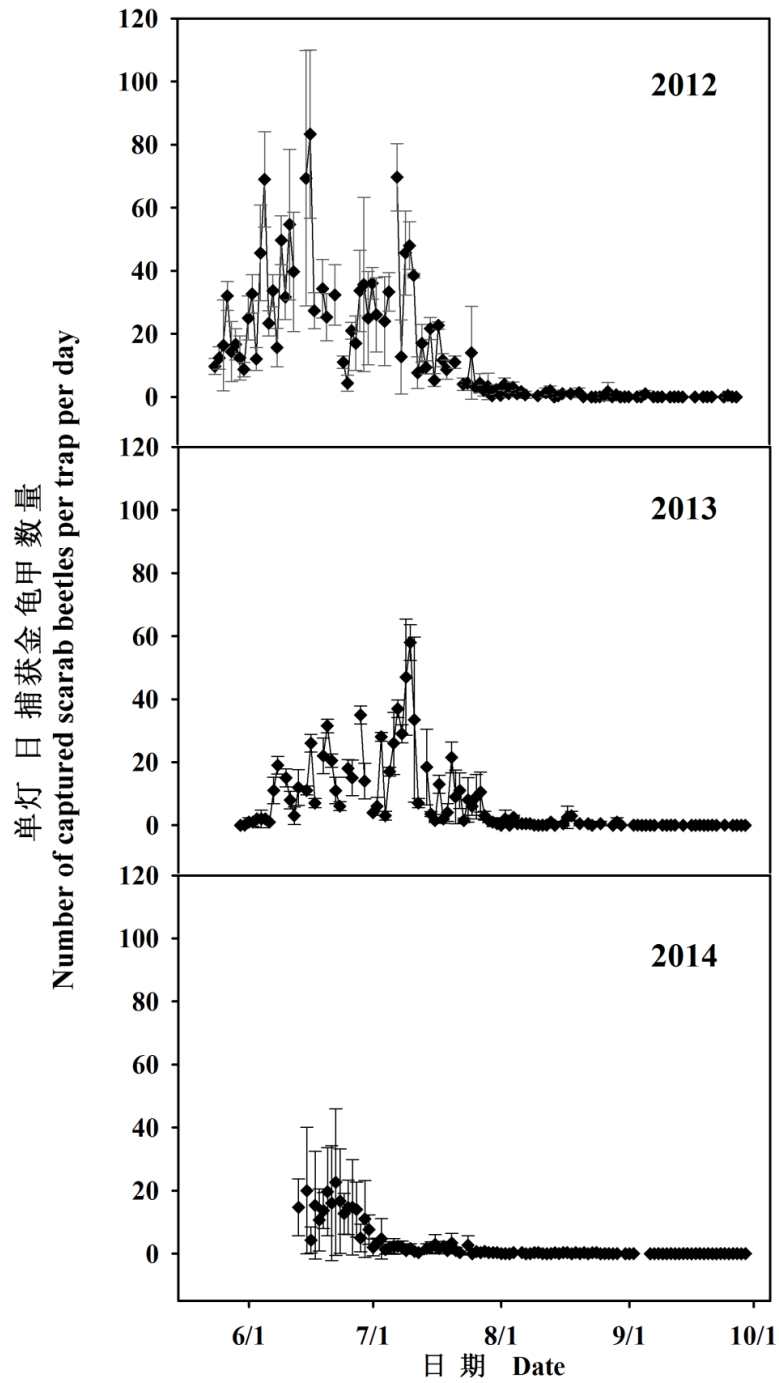


图 4-6 2012-2014 年有机管理下诱虫灯单灯日捕获金龟甲数量动态变化

Figure4-6 Dynamics of captured scarab beetles per trap per day under organic management during 2012-2014

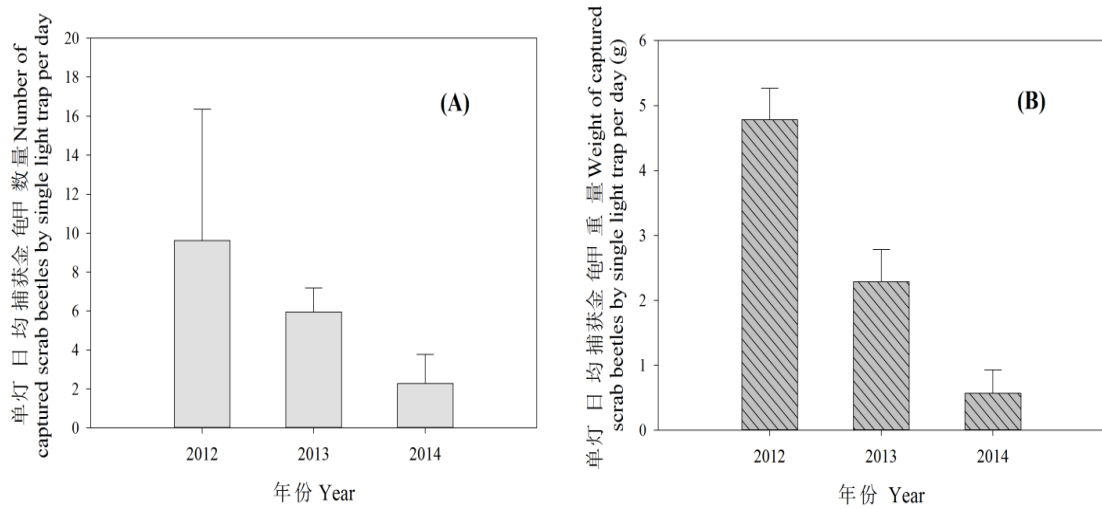


图 4-7 2012-2014 年有机管理下诱虫灯单灯日捕获金龟甲动态变化。

Figure4-7 Interannual variation of scarab beetles captured by single trap per day under organic management during 2012-2014

注：A，单灯日均捕获金龟甲数量；B，单灯日均捕获金龟甲鲜重。

Note: A, number of scarab beetles; B, fresh weight of scarab beetles.

4.3.5 有机管理下诱虫灯对鳞翅目害虫控制效果

诱虫灯捕获的蛾类害虫种类较多，包括鳞翅目 12 科 20 余种昆虫，主要包括夜蛾科：小造桥夜蛾、地老虎、斜纹夜蛾、银纹夜蛾；天蛾科：豆天蛾、甘薯天蛾、蓝目天蛾；卷蛾科：苹小卷叶蛾、苹小食心虫；螟蛾科：玉米螟。

由图 4-8，因鳞翅目害虫种类多，爆发规律不一致。2012 年鳞翅目害虫爆发集中月 6 月中旬和 8 月下旬，2013 年鳞翅目害虫爆发高峰发生在 7 月中旬至 8 月中旬，2014 年鳞翅目害虫爆发集中在 7 月上旬和 8 月下旬。

经过连续三年利用诱虫灯控制害虫，鳞翅目害虫爆发高峰期峰值由 2012 年的 49.6 g/天降低至 2014 年的 35.8 g/天，减少了 27.8%。鳞翅目害虫日均捕获量由 2012 年的 9.6 g/天降至 2014 年的 2.2 g/天，减少了 77.1%（图 4-9）。

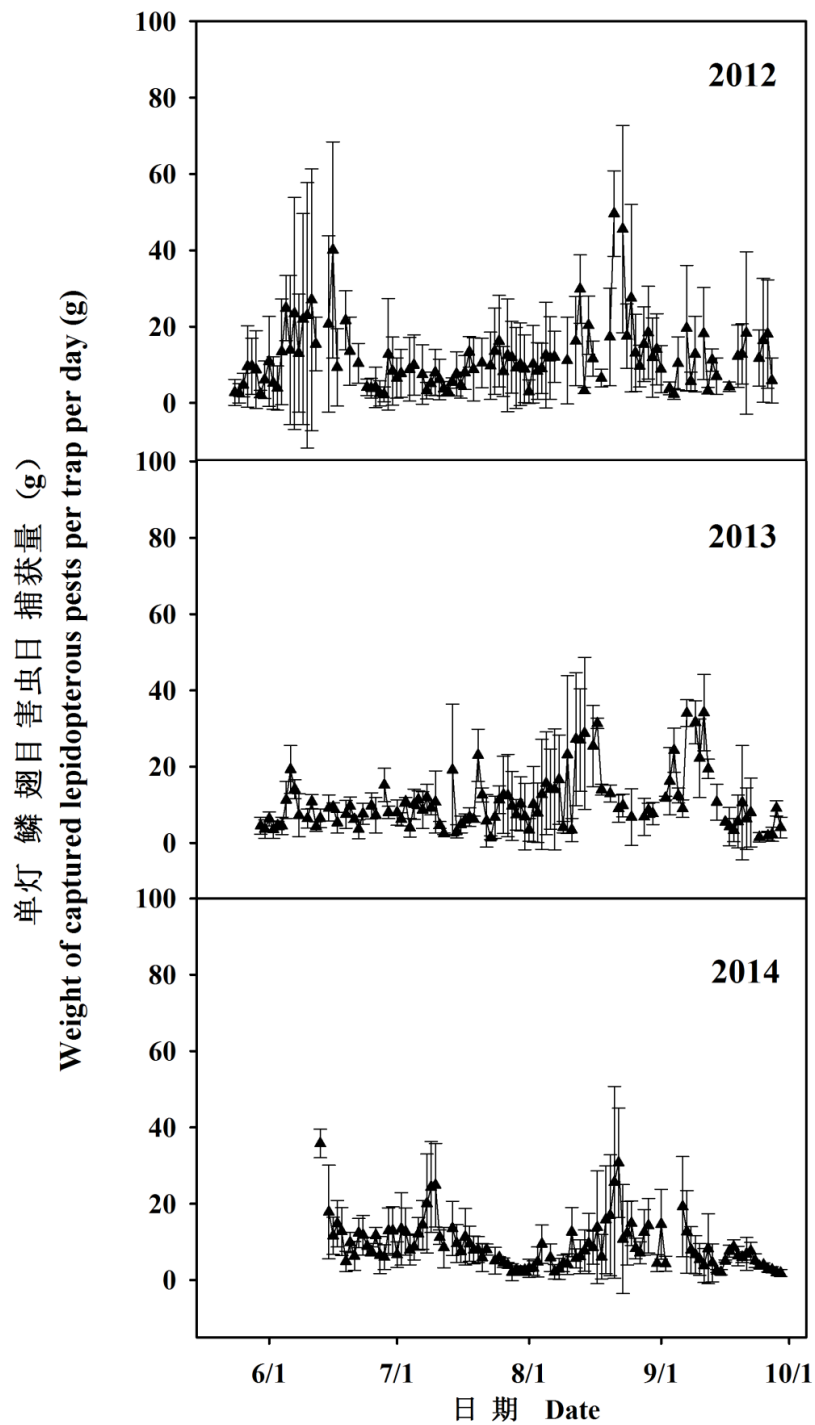


图 4-8 2012-2014 年有机管理下诱虫灯单灯日捕获蛾类害虫总量动态变化

Figure4-8 Dynamics of total captured moths' weight per trap per day under organic management during 2012-2014

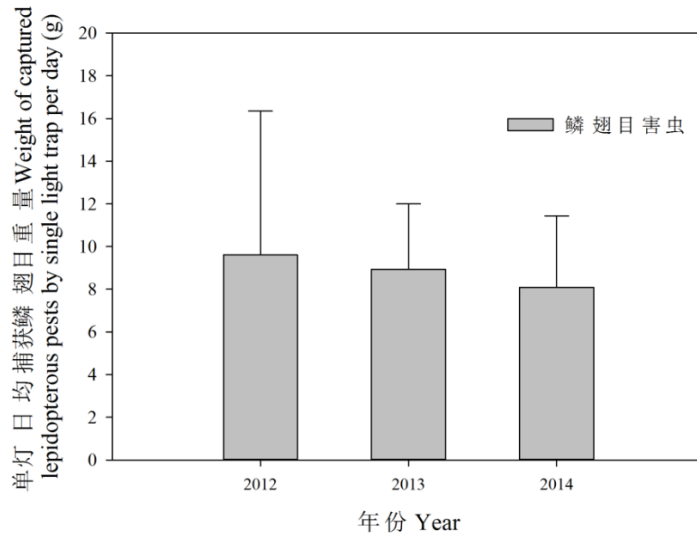


图 4-9 2012-2014 年有机管理下诱虫灯单灯日捕获鳞翅目害虫量动态变化

Figure4-9 Interannual variation of lepidopterous pests captured by single light trap per day under organic management during 2012-2014

4.3.6 有机管理下趋光害虫与气候因素相关分析

由表 4-3，有机管理模式利用诱虫灯捕获的趋光性害虫总量与控虫天数呈显著负相关，说明诱虫灯捕虫效果较好，随着诱虫灯控虫时间的延长，害虫日捕获总量下降，害虫得到有效的控制。害虫总量与温度呈显著正相关，说明气温升高时，害虫数量也随之增加。害虫总量与降水量无明显的相关关系。

表 4-3 有机管理下害虫日均捕获总量与控虫时间和气象因素的相关关系

Table4-3 Correlation analysis between total pests' weight and time as well as climate under organic management

| 相关系数 | 日均捕获总量 | 控虫天数 | 温度 | 降水量 |
|--------|-------------|----------|----------|-----|
| 日均捕获总量 | 1 | | | |
| 控虫天数 | -0.23342 ** | 1 | | |
| 温度 | 0.166826 ** | -0.0902 | 1 | |
| 降水量 | -0.07685 | -0.11554 | 0.028262 | 1 |

注：**，极显著，在 $P<0.01$ 水平。

Note: ** indicates highly significant at $P<0.01$ level.

4.3.7 有机管理下蛇莓控草效果

在有机管理模式下面果园杂草管理中，通过扩繁本地物种蛇莓来抑制杂草生长，控草效果较好。图 4-10 为蛇莓扩繁生长的情况。图 4-10A 是蛇莓扩种初期照片，图 4-10B 和图 4-10C 是蛇莓扦插后一年的生长情况，图 4-10D 是蛇莓苗扦插后两年的长势，可以看出地面覆盖效果良好。



图 4-10 有机模式扩繁蛇莓的生长和抑制杂草情况

Figure 4-10 Growth of *D. indica* and effects of suppressing weeds in organic apple management

通过调查蛇莓扩繁以后蛇莓的生长情况和杂草的多样性发现蛇莓具有很好的克隆繁殖和控草效果。

在试验小区内，蛇莓的相对盖度由 2012 年 16.9% 显著增加至 2013 年 55.6% ($P<0.05$)，2014 年增加至 72.1%，有效地覆盖地面。蛇莓的无性繁殖速度快，2012 年至 2014 年蛇莓相对盖度增加了 55.2% (图 4-11)。

通过样方调查，在扩繁蛇莓以后，有机管理模式中果园地面杂草的多样性指数均呈现下降的趋势。由图 4-11，杂草 Simpson 指数由 2012 年的 0.82 下降至 2014 年的 0.51，2014 年 Simpson 指数比 2012 年显著降低了 38.2% ($P<0.05$)。Shannon-wiener 指数也发生了显著性下降，由 2012 年的 1.82 下降至 2014 年的 0.84，减少了 53.8% ($P<0.05$)。Pielou 指数下降趋势较为缓慢，由 2012 年的 0.92 减少至 2014 年的 0.77，降幅为 16.9%，其中 2014 年与 2013 年相比，Pielou 指

数发生了显著的下降，减少了 15.3% ($P<0.05$)。

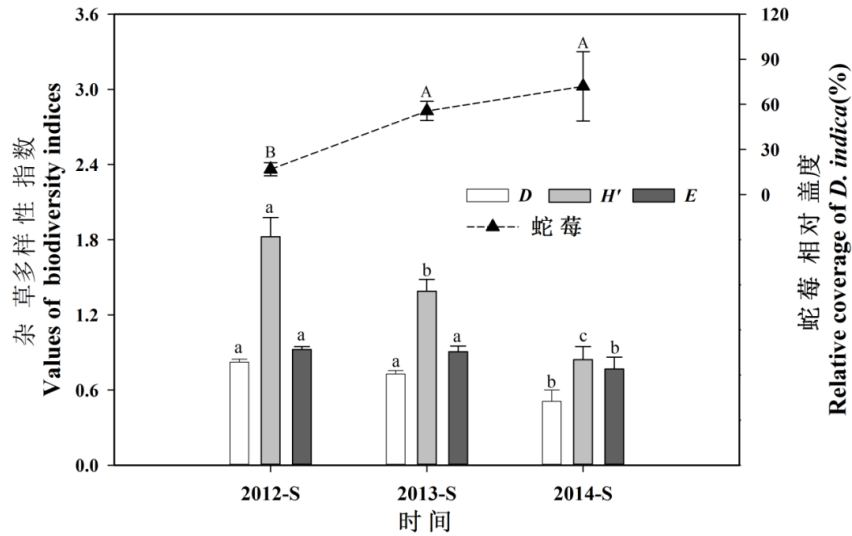


图 4-11 2012-2014 年有机管理模式下扩繁蛇莓对杂草多样性的影响

Figure4-11 The *D. indica*'s relative coverage and its propagating influences on the biodiversity indices of weed communities at summer during 2012 to 2014 under organic management

注: *D*, Simpson 多样性指数; *H'*, Shannon-wiener 多样性指数; *E*, Pielou 指数。S 表示取样时间在每年夏季。数据是平均数±标准误。图中不同的大写字母表示蛇莓相对盖度在不同年份之间的差异性显著 ($P<0.05$); 不同的小写字母表示多样性指数在不同年份之间的差异性显著 ($P<0.05$)。

Note: *D*, Simpson index; *H'*, Shannon-Wiener index; *E*, Pielou index. S for sampling time means summer at mid-July. Data are means ± standard error (n=3). Different capital letters indicate significant difference of the relative coverage of *D. indica* and lowercase letters indicate significant difference of each biodiversity index at $P<0.05$ level among sampling years separately (ANOVA, LSD test).

4.4 讨论

常规管理的果园长期依靠杀虫剂和除草剂来进行害虫和杂草的防治，在除虫除草的过程中，也灭杀了大量自然天敌，降低了果园生态系统的生物多样性。常规管理使用除草剂后，造成“光板地”现象，地面无植被覆盖，既不利于保持土壤水分、维持地表小气候，也造成了自然天敌缺乏栖息场所和食物来源的不良后果，威胁土壤微生物及土壤动物包括节肢动物、无脊椎动物等的生长。

有机管理模式不使用杀虫剂和除草剂，而采用生物物理防治相结合的方法来控制害虫，没有环境污染，有利地保护了自然天敌，鸟类、两栖类青蛙、节肢

动物、瓢虫等捕食动物的数量显著增加。自然天敌通过对害虫的捕食作用，能够有效地控制害虫数量，如本研究中，在蚜虫爆发期，有机管理模式瓢虫大量繁殖，种群快速增长，异色瓢虫、四星瓢虫等瓢虫对蚜虫具有很好的捕食效果，自幼虫阶段，就以蚜虫为食，能够有效控制蚜虫数量。而常规果园管理中依赖大量农药灭杀害虫，虽然能够控制蚜虫等害虫，但也杀死了害虫天敌，需要频繁喷施农药，治标不治本，并不利于维持系统的稳定。

有机果园管理中采用诱虫灯诱捕趋光性害虫的物理方法具有较佳的控虫效果。频振式诱虫灯具有诱杀虫谱广、捕获量大、无污染、成本低、对害虫天敌影响较小的特点，有研究调查诱虫灯对害虫和益虫的捕获比例为 16:1 (王清忠和王次燕 2004)。频振式诱虫灯捕获的夜行性趋光害虫主要包括鳞翅目、鞘翅目、直翅目、半翅目等害虫。这些害虫危害果树生长，如鞘翅目金龟甲类啃食枝条，鳞翅目害虫啃食叶片，直翅目的东方蝼蛄啃食植株根系；也有的危害自然天敌，如屁步甲捕食瓢虫。

频振式诱虫灯对金龟甲具有较好的控制效果，已有很多研究利用诱虫灯来监测金龟甲的种群发生动态和消长规律。本试验研究地区的金龟甲以暗黑鳃金龟、东北大黑鳃金龟、白星花金龟、苹毛丽金龟为主。金龟甲的爆发期集中在夏季，秋季气温降低后，入土产卵，数量减少。由于金龟甲一年 2-3 代，并且不同种类的金龟甲出土时间不同，导致一年内出现多个爆发高峰。

频振式诱虫灯对鳞翅目害虫也具有良好的诱捕效果，有报道诱虫灯对金纹细蛾、卷叶蛾、天幕毛虫、梨小食心虫等捕虫效果显著(王清忠和王次燕 2004)。在本研究地区，鳞翅目害虫以地老虎、斜纹夜蛾、银纹夜蛾、豆天蛾、甘薯天蛾、金毛虫、苹小卷叶蛾、玉米螟为主，由于种类较多，发生规律呈现多样化。

利用诱虫灯进行虫害防治，能够在当年有效减少成虫数量，从而减少害虫产卵量，控制次年害虫爆发规模，随着多年使用诱虫灯进行防治，达到有效防治害虫的效果，本研究中害虫日均捕获量与控虫时间呈现显著的负相关关系，说明控虫灯有效地控制了害虫的爆发，减少害虫种群数量。

害虫的爆发和消长也受到气候因素的影响。本研究中，害虫日均捕获量与气温具有显著的正相关关系。气候变暖使得害虫的发育周期缩短，气温升高，害虫每年繁殖数量增加，加重了对作物的危害(霍治国等 2012)。

有机管理模式中利用本地植物蛇莓进行杂草防治，起到了良好的控草效果。蛇莓是克隆植物，利用枝条进行无性繁殖(罗学刚和董鸣 2001)，具有耐阴性强、

繁殖性强、适应性强、生长速度快、成坪快等优势，在早春季节，蛇莓的生长要早于其他恶性杂草，因此在快速扩繁后覆盖地面，相对盖度高，郁闭度强，能够抑制其它杂草幼苗的生长，通过有效占据生态位来达到控制杂草的目的。蛇莓植株低矮，并不影响果树生长和田间管理，耐踩踏，是良好的地被植物，并且蛇莓对地表的覆盖，有利于改善果园地面小气候，保持土壤水分，凋落物返还到土壤中增加土壤有机质，蛇莓地被层也为害虫天敌和多种节肢动物提供良好的栖息环境和食物来源。

在有机管理模式下，由于没有使用农药和除草剂，地面植被得到保护，在试验中发现，植食性昆虫马铃薯瓢虫（*Henosepilachna vigintioctopunctata*）也大量繁殖，马铃薯瓢虫取食茄科植物叶片，食量较大，试验中发现马铃薯瓢虫大量取食果园中的茄科杂草龙葵（*Solanum nigrum*），有效地抑制了龙葵的生长。

4.5 小结

有机管理模式下不使用化学杀虫剂和除草剂，避免了有害物质对环境的污染，自然天敌如鸟类、瓢虫的种群快速增长。生物物理相结合的虫害控制方法具有良好的控虫效果，并且无污染，无农药残留，有利于果园生态系统可持续发展。

有机管理模式下，捕食性昆虫异色瓢虫和四星瓢虫种群数量增大，对蚜虫的捕食效果显著，有效地控制了蚜虫的爆发。利用物理方法即使用频振式诱虫灯诱捕趋光害虫，对鳞翅目、鞘翅目的害虫具有显著的控制效果。2012年至2014年，诱虫灯单灯日均捕获害虫量由减少了39.2%，金龟甲爆发期的高峰值降低了72.3%，金龟甲的单灯日均捕获量降低了76%，鳞翅目害虫爆发期的高峰值降低了27.8%，鳞翅目害虫的单灯日均捕获量减少了15.6%。

有机管理模式下利用扩繁蛇莓作为地被植物，蛇莓以其快速进行克隆繁殖、适应性强、郁闭度高的优势，成功竞争生态位，2012-2014年相对盖度增加了55.2%，有效地抑制其它杂草的生长，降低杂草生物多样性，同时可以改善地表微环境，保持土壤水分，保护自然天敌，是一种有效控制杂草的环境友好型的生态方法。此外，有机管理模式下植食性昆虫马铃薯瓢虫种群增长较快，有效地抑制了茄科杂草龙葵的生长。

诱虫灯捕虫、利用蛇莓竞争生态位控草的方法成本较低，可以大面积推广，此外，也可以开发生物技术，将捕食性瓢虫和植食性瓢虫等有益物种引入山东苹

果产区果园，为果农提供生态环保的控虫控草技术。在害虫和杂草防治中，要积极运用生物物理相结合的方法，整合生态学原理，以期达到果园生产的高效、安全、可持续发展的目标。

第五章 有机管理对苹果品质、产量和经济效益的影响

5.1 引言

近年来,随着生活水平日益提高,人们更多地开始注重食品品质和营养健康。在我国,食品安全问题屡见不鲜,诸如膨大剂西瓜、神农丹姜、甲醛白菜、蓝矾韭菜、苹果药袋等事件频繁曝光,严重危害着百姓的身体健康。目前主粮及果蔬作物迫切需要进行供给侧改革,实现由求产量到抓质量的提升。

在常规果园管理中,果农一味追求高产出,投入大量化肥、农药、除草剂,对环境造成严重污染。在山东省平邑县,当地政府在上世纪 90 年代大力推广苹果栽培,果农开始大面积使用大化肥、大农药的生产方式,经过多年积累,造成土壤中重金属残留、土壤肥力下降、环境中农药残留污染等问题,进一步危害果树的生长,降低果实品质,造成普通苹果市场竞争力较弱的问题。

在有机苹果种植模式中,从生产源头上控制污染,严禁使用各种化学肥料、农药、除草剂等,采用有机肥肥田、生物物理防治相结合控制虫害、利用生态学原理控草、秸秆还田等方法,来维持果园生态系统的平衡,保证了苹果的安全、健康品质。

随着人们对健康、安全饮食的追求,有机食品逐渐受到消费者的欢迎和喜爱,而人们除了关心有机食品的安全性以外,也关注有机食品的营养成分与普通食品是否存在差别。本研究通过对常规和有机两种管理模式的苹果进行品质、重金属含量、农药残留量等的测定,比较两种管理模式对于苹果生长和果实品质产生的影响。

5.2 试验设计与研究方法

5.2.1 研究地点概况

同 2.2.1。

5.2.2 试验设计

试验设计同 2.2.2。

5.2.3 测定指标与数据分析

5.2.3.1 叶片样品采集

试验于 2013 年 8 月和 2014 年 8 月，分别对常规管理和有机管理两种管理下的红富士叶片进行取样。在每个小区内选取五株长势相近的果树，取叶片时，摘取树体的东、西、南、北、中方向的枝条中部的成熟叶片，每个部位取 4 片，每棵树共 20 片，五株树共 100 片。将叶片装入自封袋内带回，先测定叶面积、鲜重、叶绿素含量等指标，将剩余鲜叶用蒸馏水擦净后，放烘箱内于 80℃ 烘干至恒重，然后用万能粉碎机粉碎，以备测矿质元素等指标。

5.2.3.2 果实样品采集

试验于 2012-2014 年苹果收获期，在每个小区内选取 5 株长势相近的果树，分别对有机苹果和常规苹果取样。取样时，考虑到光照、通风等因素对果实生长造成的影响，摘取树体东、西、南、北、中五个方位枝条上的苹果。果实取下后装入自封袋，带回实验室，称重。鲜样用于测定维生素、可溶性固形物等，剩余果实部分，分成果皮与果肉，切成直径 1 cm 小块，放入烘箱，于 80℃ 烘干至恒重，然后用万能粉碎机粉碎，以备测矿质元素等其它指标。其中，2012 年为测定硬度和可溶性固形物含量变化动态，在收获前期多次取样，取样时间为 2012 年 9 月 12 日、10 月 3 日、10 月 10 日、10 月 15 日、10 月 20 日。

5.2.3.3 叶面积、比叶重测定

叶片的叶面积用剪纸称重法进行测定。取质量均匀的报纸，计算固定面积的纸重，换算出每克纸重代表的面积数值。沿叶片边缘画在纸上，然后将纸片剪下，称重，即可根据纸的重量换算出叶面积。

比叶重是指单位面积的叶片重量（以鲜重计），通过测定叶片的叶面积和鲜重后，计算二者比值求得。

5.2.3.4 果实生长指标测定

果实的单果重通过天平称重测定。

果型指数是指果实纵横径之比。果实的纵径和横径通过游标卡尺测定，然后通过计算二者比值求得果型指数。

果实去皮硬度通过艾德堡 GY-1 果实硬度计进行测定，在果实侧面分别选取 4 个点，削去表皮，使用 GY-1 果实硬度计测量每个点的硬度。

5.2.3.5 果实品质指标测定

可溶性固形物，是指果实中溶解于水的所有化合物。可溶性固形物含量，通过 FG113 手持糖量仪进行测定。

可溶性糖含量，采用蒽酮比色法进行测定(李合生 2000)。

维生素 C 含量，采用二甲苯萃取比色法进行测定(李合生 2000)。

游离氨基酸含量，采用茚三酮显色法进行测定(李合生 2000)。

5.2.3.6 叶片、果实矿质元素含量测定

叶片和果实的矿质元素含量使用电感耦合离子体发射光谱仪(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer, ICP-OES)进行测定。叶片、果肉、果皮烘干至恒重后，用万能粉碎机粉碎。称取干样 0.1 g 于消解管内，加 5 mL 浓 HNO_3 ，盖好内盖，过夜，次日加入 2 mL 的 H_2O_2 ，5 mL 蒸馏水，并盖好内盖和外盖，然后进行微波消解。消解后待冷却之后在通风橱操作赶酸，然后将消化液过滤、转移至 50 mL 容量瓶中，加蒸馏水定容。同时做空白对照。制备各矿质元素的标准溶液，最后上机进行矿质元素含量测定(姜杰等 2015)。

5.2.3.7 安全性评价指标测定

果实和叶片的硝酸盐含量，使用硝基水杨酸比色法进行测定(李合生 2000)。

果实和叶片的重金属含量，使用 ICP-MS 电感耦合离子体质谱法(温慧敏等 2006)进行测定，样品制备及微波消解同 5.2.3.6。

果实农药残留检测，委托诺安检测服务公司进行测定，测定方法主要为液相色谱法和气象色谱法，每种农药对应的农残测定方法在结果分析表 5-4 中标注。检测标准依据农业部与国家卫生计生委联合发布的食品安全国家标准《食品中农药最大残留限量》(GB2763-2014)。

5.2.3.8 常规管理和有机管理模式产量测定

在 2012-2014 年每年苹果成熟收获时, 每个小区内选取 3 棵树, 称取每棵树所有苹果的重量, 再根据栽培密度, 计算单位面积产量。

5.2.3.9 常规管理和有机管理模式经济效益分析

在常规管理和有机管理生产中, 记录所有的投入, 包括农药、肥料、设备和人工投入等, 并根据当地普通苹果和有机苹果的销售价格, 计算苹果园单位面积产值。通过计算产出与投入的比值得出产投比, 来比较两种种植模式的经济效益。

5.2.3.10 数据分析

同 3.2.3

5.3 结果与分析

5.3.1 有机管理对叶片生长和光合色素含量的影响

有机管理和常规管理方式对苹果叶片生长指标如百叶重、叶面积的影响较小。由表 5-1, 常规种植的苹果叶片, 其百叶重、叶面积均高于有机苹果叶片, 但是差异并不显著 ($P>0.05$)。常规苹果叶片的含水量比有机苹果叶片高出 1.57%, 差异显著 ($P<0.01$)。常规苹果叶片的比叶重比有机苹果叶片高 11.7%, 达到显著水平 ($P<0.05$)。

表 5-1 有机管理对叶片百叶重、叶面积、比叶鲜重及含水量的影响

Table5-1 Effects of organic management on leaves weight, leaf area, specific leaf fresh weight and water content

| 处理 Treatment | 百叶重 100 leaves weight (g) | 叶面积 Leaf area (cm ²) | 比叶重 Specific leaf weight (g cm ⁻²) | 含水量 Water content (%) |
|-----------------|---------------------------------|--|--|-----------------------------|
| 常规 | 80.02±2.20a | 41.93±0.77a | 0.019±0.00a | 35.23±0.20A |
| 有机 | 74.05±3.71a | 41.26±0.92a | 0.017±0.00b | 33.66±0.25B |

注: 比叶重以鲜重计。数据为平均值±标准误。不同小写字母表示两处理间差异显著($P<0.05$), 不同大写字母表示两处理间差异极显著($P<0.01$)。

Note: Specific leaf weight is on fresh weight basis. Data were means±SD. Different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ level; Different capital letters mean highly significant difference at $P<0.01$ level.

叶片光合色素是植物细胞中参与光合作用的色素，高等植物的光合色素主要包括叶绿素 a、b 及类胡萝卜素，光合色素含量反映着叶片光合作用的能力。

由图 5-1，苹果叶片中含量最高的光合色素为叶绿素 a，叶绿素 b 次之，类胡萝卜素含量最少。

有机和常规管理对叶片光合色素含量没有显著影响 ($P>0.05$)，常规苹果叶片叶绿素 a 含量为 2.14 mg g^{-1} ，略高于有机苹果叶片 (2.10 mg g^{-1})；有机苹果叶片叶绿素 b 和类胡萝卜素含量略高于常规苹果，常规苹果叶片叶绿素 b 含量为 1.387 mg g^{-1} ，有机苹果叶片叶绿素 b 含量为 1.391 mg g^{-1} ；有机苹果叶片类胡萝卜素含量为 0.253 mg g^{-1} ，常规苹果叶片类胡萝卜素含量为 0.258 mg g^{-1} 。

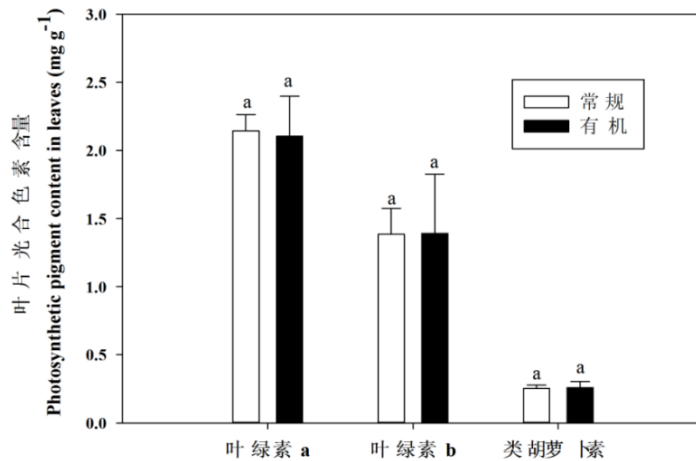


图 5-1 有机管理对苹果叶片光合色素含量的影响

Figure 5-1 Effects of organic management on photosynthetic pigment content of apple leaves

注：数据为平均值±标准误，图中*表示两处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Data are means ± standard error (n=3). Different letters indicate significant difference at $P<0.05$ level.

5.3.2 有机管理对叶片矿质元素含量的影响

由图 5-2，在 2013 年苹果生长的花期、果实膨大期和收获期，叶片矿质元素含量有不同的变化。从整体上看，随着果实生长和新枝条生长对磷、钾等元素的需求量增加，叶片中的磷、钾含量呈下降趋势。常规苹果叶片的磷含量和镁含量显著高于有机苹果，钾含量均显著低于有机苹果 ($P<0.05$)，钙、硫含量在不同时期的差异并不一致。

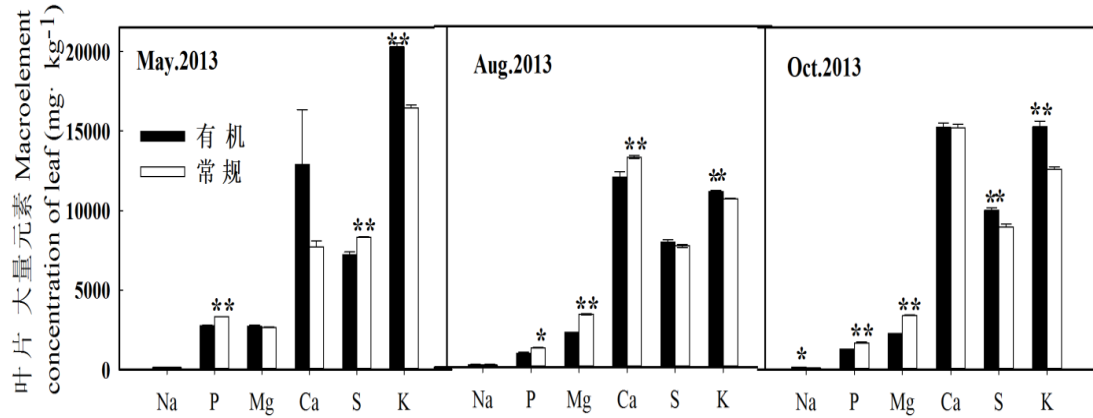


图 5-2 有机管理对苹果叶片大量元素含量的影响

Figure5-2 Effects of organic management on macroelement contents in apple leaves

注：数据为平均值±标准误，图中*表示两处理间差异显著($P<0.05$)，**表示两处理间差异极显著($P<0.01$)。
Note: Data were means±SD. * indicates significant difference at $P<0.05$ level, ** indicates highly significant difference at $P<0.01$ level.

由图 5-3，在 2013 年苹果生长的花期、果实膨大期和收获期，苹果叶片微量元素变化不同。常规苹果叶片的锰含量为 $177\text{--}240\text{ mg kg}^{-1}$ ，显著高于有机叶片的锰含量 ($P<0.05$)。由于在入夏后，为防病菌给果树喷施波尔多液，波尔多液是由硫酸铜和熟石灰配制而成，引起常规苹果和有机苹果的叶片 Cu 含量均显著增加，分别高达 568 mg kg^{-1} 、 617 mg kg^{-1} ，在经过雨水冲刷作用后，两种叶片的含 Cu 量都有所下降，但仍处较高水平。

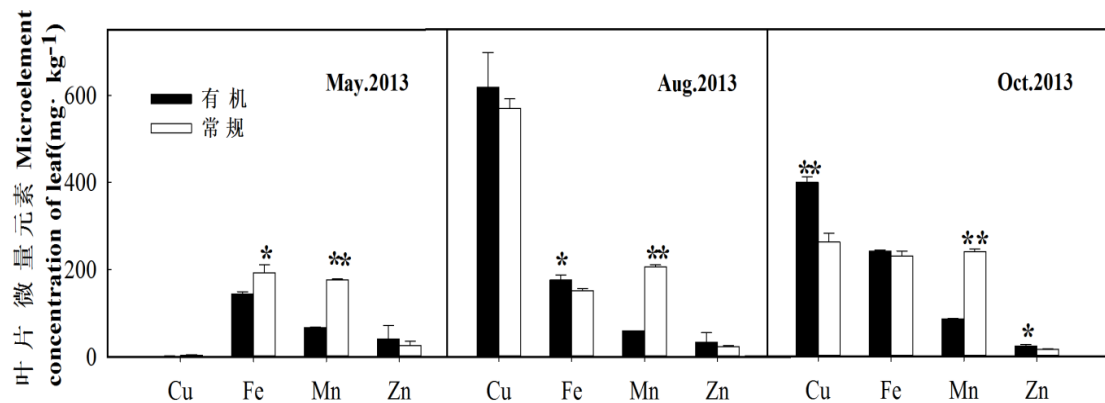


图 5-3 有机管理对苹果叶片微量元素含量的影响

Figure5-3 Effects of organic management on microelement contents in apple leaves

注：同图 5-2。Note: the same with Figure5-2.

叶片中金属含量如图 5-4 所示,常规苹果叶片中的 Cr 含量为 0.193 mg kg^{-1} , 高于有机苹果 5.3%, 达显著水平 ($P<0.05$)。此外, 常规苹果叶片中的 Ni、As、Cd 含量也普遍高于有机苹果叶片, 分别高出 68%、140%、71%。

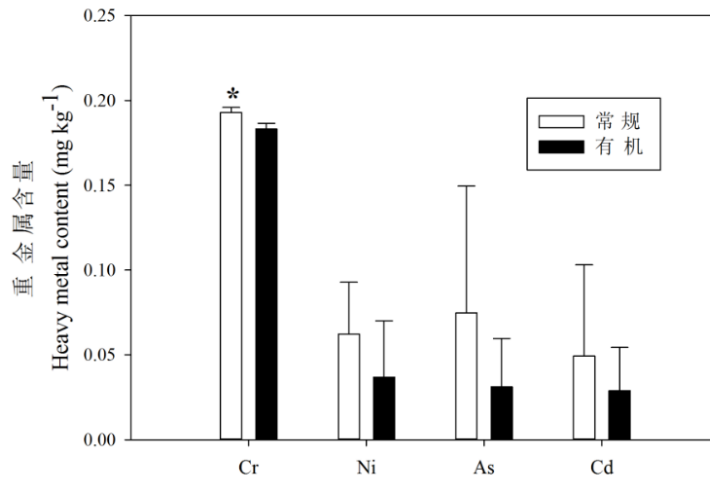


图 5-4 有机管理对苹果叶片重金属含量的影响

Figure 5-4 Effects of organic management on heavy metal contents in apple leaves

注: 数据为平均值±标准误, 图中*表示两处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Data were means±SD. * indicates significant difference at $P<0.05$ level.

5.3.3 有机管理对果实品质指标的影响

2012 年 9-10 月对苹果的单果重、果型指数、硬度、可溶性固形物进行连续测定, 从图 5-5A, 常规苹果的单果重高于有机苹果, 并在成熟期达到显著水平 ($P<0.05$)。果型指数是果实的纵横径之比, 是苹果外观品质的参考指标, 果型指数趋向于 1, 表明果型越周正。由图 5-5B, 看出, 常规苹果和有机苹果的果型指数总体呈上升趋势, 大于 0.8。硬度随生长时间逐渐下降, 果实在成熟期的硬度最小。由图 5-5C, 有机苹果的果肉硬度高于常规苹果, 在收获之前达到显著水平。

可溶性固形物是果实中可溶解于水的所有矿物质、糖类等的总称, 可溶性固形物含量随着生长时间逐渐增加, 由图 5-5D, 有机苹果收获时果肉可溶性固形物含量为 14.9%, 可溶性固形物在收获前增长较快, 增幅为 37%。有机苹果的可溶性固形物含量高于常规苹果, 并且达到显著水平和极显著水平 ($P<0.05$ 和

$P<0.01$)。

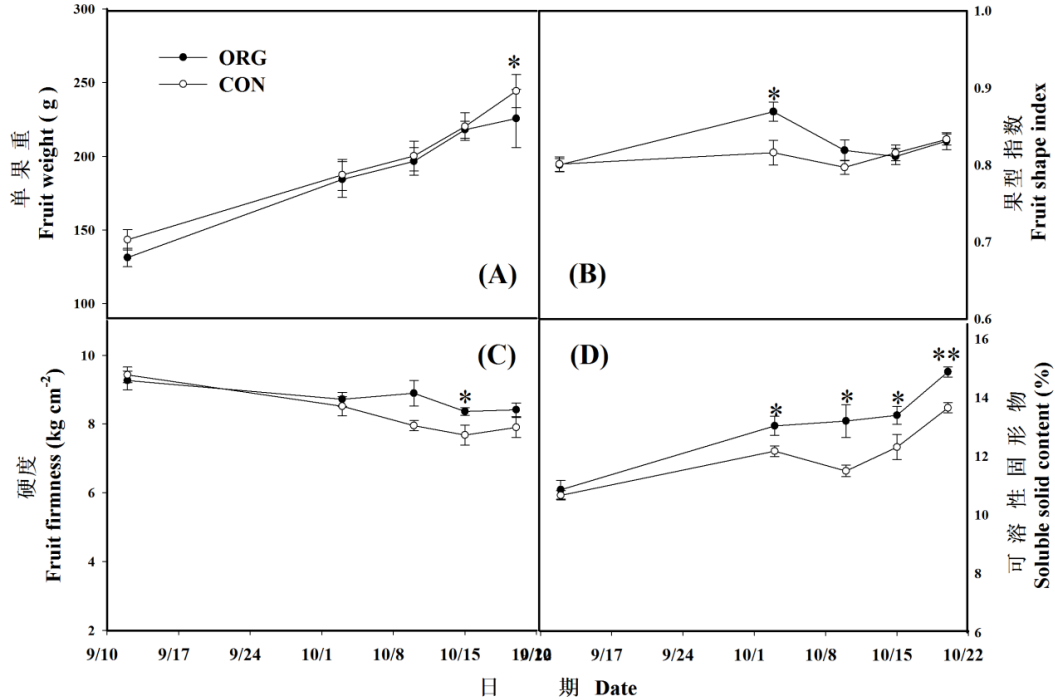


图 5-5 有机管理对苹果果实外在品质和可溶性固形物含量的动态变化

Figure5-5 Effects of organic management on apples' external quality and soluble solid content during the growth period

注：数据为平均值±标准误，图中*表示两处理间差异显著($P<0.05$)，**表示两处理间差异极显著($P<0.01$)。

Note: Data were means±SD. * and ** indicate significant difference at $P<0.05$ and $P<0.01$ level respectively.

在 2012-2014 年每年苹果收获期，测定苹果的品质。由表 5-2，有机管理和常规管理对苹果的单果重、果实硬度、可溶性固形物含量具有显著影响，对果型指数无显著影响。

2012 年常规苹果单果重显著高于有机苹果 ($P<0.05$)，2013 年常规苹果单果重比有机苹果高 20%，达到极显著水平 ($P<0.01$)。2014 年，有机苹果的果实硬度显著高于常规苹果 22.6% ($P<0.01$)。

2012 年有机苹果的可溶性固形物含量显著高出常规苹果 9% ($P<0.01$)，2013 年有机苹果的可溶性固形物含量显著高出常规苹果 12.9% ($P<0.05$)。2013 年有机苹果的总酸含量显著高于常规苹果 ($P<0.01$)，高出 53%。

表 5-2 有机管理对苹果果实品质的影响

Table 5-2 Effects of organic management on apple fruit quality

| 品质指标 | 收获年 | 常规苹果 | 有机苹果 |
|-----------------------------|------|---------------|---------------|
| 单果重 (g) | 2012 | 244.23±11.20a | 210.08±7.80b |
| | 2013 | 216.17±6.72A | 180.24±5.84B |
| | 2014 | 240.53±20.63a | 204.17±14.71a |
| 果型指数 | 2012 | 0.833±0.008a | 0.832±0.011a |
| | 2013 | 0.841±0.02a | 0.835±0.01a |
| | 2014 | 0.815±0.03a | 0.828±0.01a |
| 果实硬度 (kg cm ⁻²) | 2012 | 7.89±0.29a | 8.42±0.20a |
| | 2013 | 10.52±0.76a | 9.24±0.22a |
| | 2014 | 8.26±0.22B | 10.13±0.37A |
| 可溶性固形物 (%) | 2012 | 13.65±0.17B | 14.88±0.17A |
| | 2013 | 12.37±0.47a | 12.41±0.35a |
| | 2014 | 12.61±0.43b | 14.24±0.37a |
| 总酸 (g kg ⁻¹ FW) | 2012 | - | - |
| | 2013 | 0.43±0.00B | 0.66±0.00A |
| | 2014 | - | - |

注：数据为平均值±标准误。不同小写字母表示两处理间差异显著($P<0.05$)，不同大写字母表示两处理间差异极显著($P<0.01$)。

Note: Data were means±SD. Different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ level, and different capital letters indicate highly significant difference at $P<0.01$ level.

2014 年 10 月，在收获期对苹果进行取样测定，图 5-6 结果表明，有机模式和常规模式对果皮和果肉部分的可溶性糖、总游离氨基酸、维生素 C 含量没有产生显著的影响。有机苹果果皮、果肉内的可溶性糖含量分别为 16.75% 和 19.93%，均略高于常规苹果，但是差异不显著 ($P<0.05$)。有机苹果与常规苹果果肉中的可溶性糖含量均显著高于果皮 ($P<0.05$) (图 5-6A)。有机苹果和常规苹果果皮、果肉中的总游离氨基酸含量、维生素 C 含量无明显差异 ($P<0.05$)。有机苹果与常规苹果果肉中的维生素 C 含量分别为 152.2 mg 100g⁻¹、147.4 mg 100g⁻¹，均显著高于果皮 ($P<0.05$) (图 5-6B, C)。

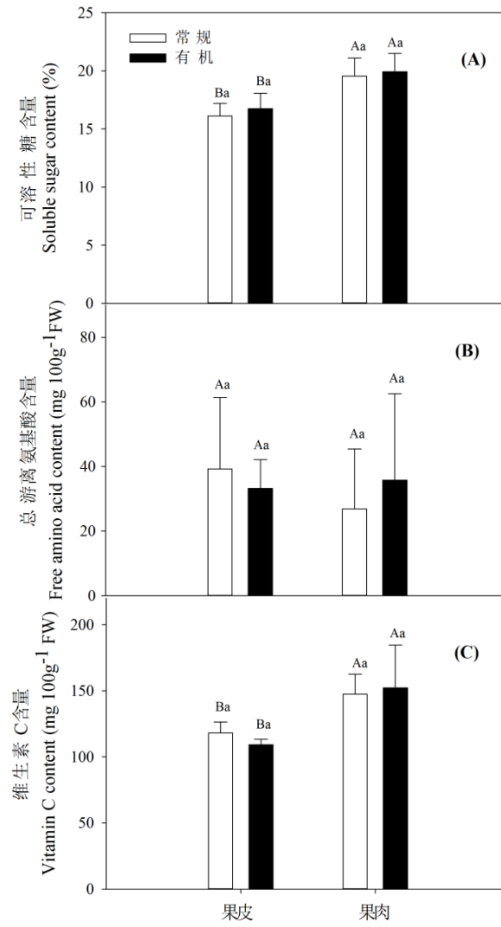


图 5-6 有机管理对苹果果皮、果肉营养物质含量的影响

Figure5-6 Effects of organic management on nutrients content in apples' flesh and peel

注：数据为平均值±标准误。不同小写字母表示两处理间差异显著($P<0.05$)，不同大写字母表示相同处理的果实不同部位间的差异显著($P<0.05$)。Note: Data were means±SD. Different lowercase letters indicate significant difference between the two treatments at $P<0.05$ level; different capital letters indicate significant difference between peel and flesh under the same treatment at $P<0.05$ level.

5.3.4 有机管理对果实矿质元素含量的影响

5.3.4.1 有机管理对果实大量元素的影响

由图 5-7，苹果果实的大量元素中，N 和 K 含量较高，P、S、Ca、Mg 含量相对较少。果皮中的 N、S、Ca、Mg 含量高于果肉。

在果实 S 含量方面，有机苹果果皮和果肉 S 含量呈上升趋势，显著高于常

规苹果。2013 年有机苹果果皮和果肉 S 含量分别为 2.92 g kg^{-1} 和 1.43 g kg^{-1} ，分别比常规苹果高出 87.6% 和 31.1% ($P<0.05$)；2014 年有机苹果果皮和果肉 S 含量分别为 3.99 g kg^{-1} 和 2.08 g kg^{-1} ，分别比常规苹果高出 19.6% 和 25.6% ($P<0.05$)。

在果实 K 含量方面，2013 年有机苹果果皮和果肉 K 含量分别为 8.29 g kg^{-1} 和 9.90 g kg^{-1} ，分别比常规苹果高出 104.9% 和 19.3% ($P<0.05$)；2014 年有机苹果果皮和果肉 K 含量分别为 9.11 g kg^{-1} 和 11.37 g kg^{-1} ，46.1% 和 30% ($P<0.05$)。2014 年有机苹果的果皮和果肉的 K 含量分别比 2013 年增加了 9.8% 和 14.8%。

在果实 N 含量方面，2013 年有机苹果果皮的 N 含量为 6.0 g kg^{-1} ，显著高于常规苹果 ($P<0.05$)。

在果实 P 含量方面，2013 年有机苹果果皮和果肉 P 含量分别为 0.72 g kg^{-1} 和 1.16 g kg^{-1} ，分别是常规苹果的 1.19 倍和 1.08 倍，差异达到显著水平 ($P<0.05$)。

在果实 Ca 含量方面，2014 年常规苹果 Ca 含量显著高于有机苹果，果皮和果肉 Ca 含量分别为 1.61 g kg^{-1} 和 0.61 g kg^{-1} ，分别比有机苹果高 10.7% 和 28.6% ($P<0.05$)。

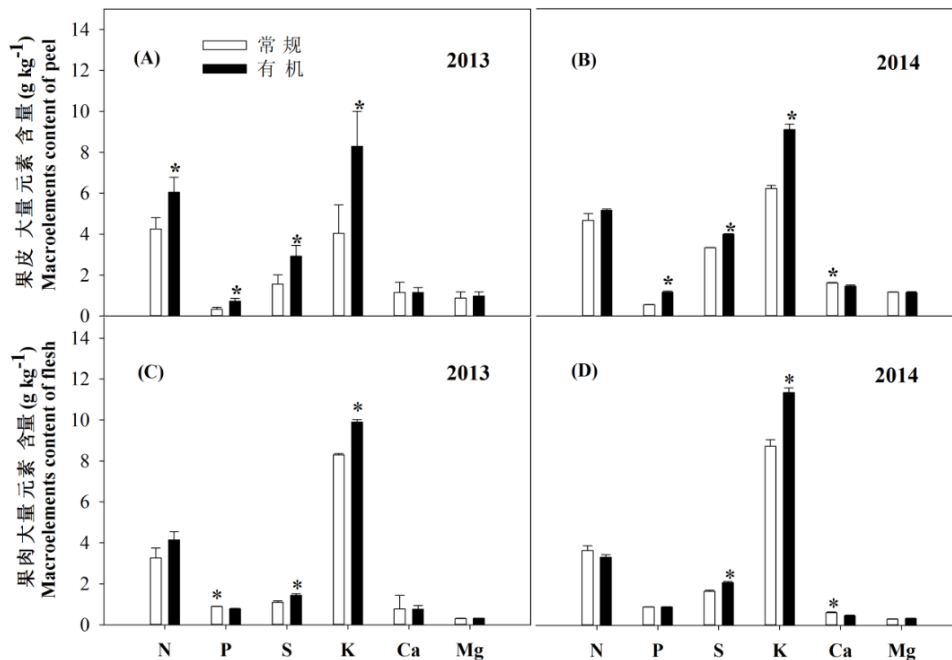


图 5-7 有机管理对苹果果实大量元素含量的影响

Figure 5-7 Effects of organic management on macroelements of apple fruits

注：数据为平均值±标准误，图中*表示两处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Data were means±SD. * indicates significant difference at $P<0.05$ level.

5.3.4.2 有机管理对果实微量元素的影响

由图 5-8, 苹果果实中的微量元素中, Fe 的含量相对较高, Mn、Cu、Zn 的含量相对较少。果皮中的 Mn 和 Cu 含量高于果肉。

在果实 Fe 含量方面, 2013 年和 2014 年有机苹果果皮和果肉 Fe 含量均高于常规苹果, 但差异未达到显著水平 ($P>0.05$) 图 (5-8)。

在果实 Mn 含量方面, 2013 年常规苹果 Mn 含量高于有机苹果, 但无显著差异 ($P>0.05$); 2014 年常规苹果 Mn 含量显著高于有机苹果 ($P<0.05$), 其果皮和果肉的 Mn 含量分别为 14.2 g kg^{-1} 和 4.87 g kg^{-1} , 分别比有机苹果高出 71.7% 和 119% (图 5-8B、图 5-8D)。

在果实 Cu 含量方面, 果皮中 Cu 含量高于果肉。有机苹果由于喷施波尔多液导致 Cu 含量高于常规苹果 ($P<0.05$), 2013 年有机苹果果皮和果肉的 Cu 含量分别为 9.06 g kg^{-1} 和 9.41 g kg^{-1} , 分别是常规苹果的 6.9 倍和 1.36 倍; 2014 年有机苹果果皮和果肉的 Cu 含量分别为 4.61 g kg^{-1} 和 8.72 g kg^{-1} , 分别是常规苹果的 12.5 倍和 2.1 倍(图 5-8)。在 Zn 含量方面, 2014 年有机苹果果皮 Zn 含量显著高于常规苹果 ($P<0.05$) (图 5-8B)。其它无显著差异。

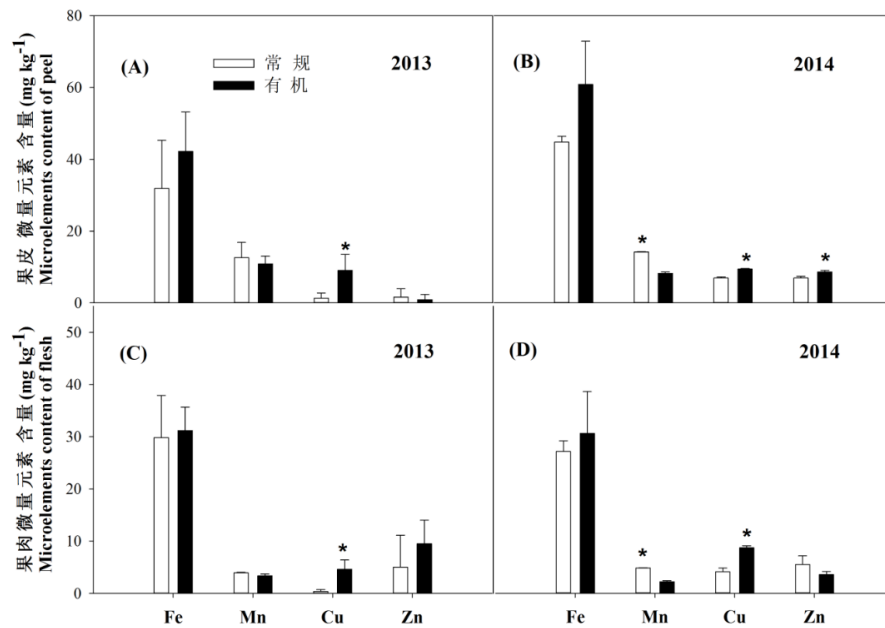


图 5-8 有机管理对苹果果实微量元素含量的影响

Figure 5-8 Effects of organic management on microelements of apple fruits

注: 同图 5-7; Note: the same with Figure 5-7.

5.3.5 有机管理对苹果安全性品质的影响

5.3.5.1 有机管理对果实硝酸盐含量的影响

联合国粮农组织和世界卫生组织规定，人体每日硝酸盐的允许摄入量为 3.6 mg/kg 体重，我国《农产品安全质量无公害水果蔬菜安全要求》规定果蔬中硝酸盐含量 $\leq 400 \text{ mg kg}^{-1}$ (庞荣丽等 2006)。由测定结果来看，有机和常规苹果硝酸盐含量均未超标。

由图 5-9，常规苹果果皮和果肉中的硝酸盐含量分别为 70.8 mg kg^{-1} 和 76.2 mg kg^{-1} ，分别比有机苹果果皮和果肉硝酸盐含量高出 7% 和 5%，但是差异均未达到显著水平 ($P>0.05$)。测定结果表明，两种苹果果肉中硝酸盐的积累量均高于果皮。其中，常规苹果果肉硝酸盐含量比果皮显著高出 7.7% ($P<0.05$)。

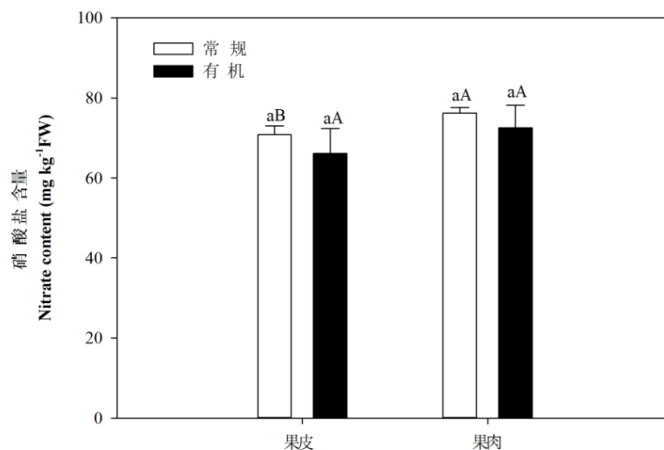


图 5-9 有机管理对苹果果实硝酸盐含量的影响

Figure 5-9 Effects of organic management on nitrate content of apple fruits

注：不同的小写字母表示两处理间硝酸盐含量差异显著 ($P<0.05$)，不同的大写字母表示同一处理果皮和果肉硝酸盐含量差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different lower letters indicate significant difference in nitrate content of apple between two treatments at $P<0.05$ level; Different capital letters indicate significant difference in nitrate content between apple peel and flesh in the same treatment at $P<0.05$ level.

5.3.5.2 有机管理对果实重金属含量的影响

2014 年收获期的苹果进行取样，测定果皮和果肉中重金属 Cr、Ni、As、Cd 的含量。由图 5-10 看出，常规苹果果皮和果肉中的重金属含量普遍高于有机苹

果。其中，常规苹果果肉中 Ni 含量为 0.13 mg kg^{-1} ，比有机苹果高出 50.8%，达到显著水平($P<0.05$)。常规苹果果肉中 As、Cd 含量分别比有机苹果高出 49.9%、54.6%，但是差异不显著 ($P>0.05$)。

两种模式栽培的苹果，果肉中的重金属含量都普遍高于果皮中的重金属含量；有机苹果果皮中的重金属含量最低。

常规苹果果肉中 Cd 含量为 0.07 mg kg^{-1} ，超出水果重金属限量标准 40%（表 5-3），此外，常规苹果果皮中 Cd 含量为 0.05 mg kg^{-1} ，也达到安全限量标准的临界值。有机苹果和常规苹果其余几项重金属含量都符合水果重金属限量标准。

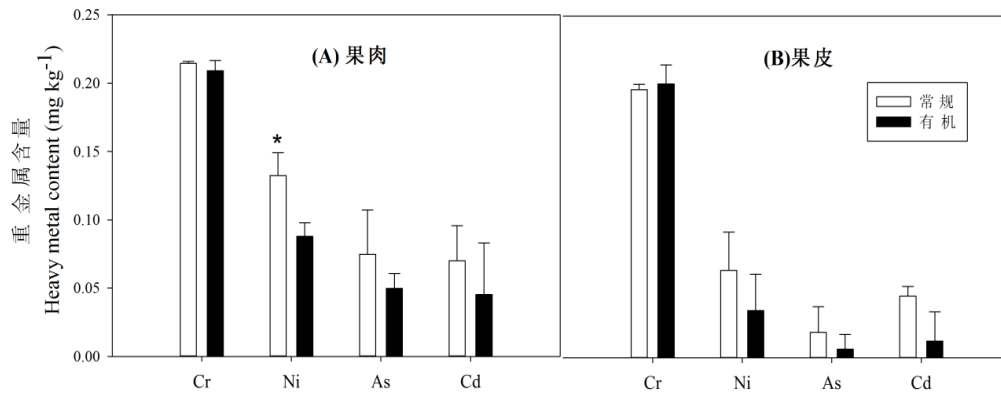


图 5-10 有机管理对苹果重金属含量的影响

Figure5-10 Effects of organic management on heavy metal contents of apple

注：数据为平均值±标准误，*表示两处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Data were means±SD. * indicates significant difference at $P<0.05$ level.

表 5-3 水果中重金属含量限量标准

Table5-3 Maximum levels of heavy metals in fruits

| 重金属 | 限量标准 | 依据 |
|-----|--------------------------------|---------------------------|
| Cr | $\leq 0.5 \text{ mg kg}^{-1}$ | 《食品中铬限量卫生标准》（GB14961-94） |
| Ni | $\leq 0.2 \text{ mg kg}^{-1}$ | （1994 年全国食品卫生标准委内控标准） |
| As | $\leq 0.5 \text{ mg kg}^{-1}$ | 《食品中砷限量卫生标准》（GB4810-1994） |
| Cd | $\leq 0.05 \text{ mg kg}^{-1}$ | 《食品中污染物限量》（GB2762-2012） |

注：国内尚未出台正式的水果 Ni 含量的安全标准，本文以 1994 年全国食品卫生标准委内控标准作为参考。

5.3.5.3 有机管理对果实农药残留的影响

在成熟收获期，对有机和常规苹果取样后，测定 191 项农药残留含量。由表

5-4, 根据农药最大残留限量标准(聂继云等 2009), 有机苹果未检测到任何农药残留超标。常规苹果检测到灭幼脲残留量为 0.14 mg kg^{-1} , 超出安全标准 (0.01 mg kg^{-1}) 13 倍; 毒死蜱残留量为 0.01 mg kg^{-1} , 已达到安全标准临界值; 戊唑醇残留量为 0.01 mg kg^{-1} , 也已达到安全标准临界值。

表 5-4 有机苹果和常规苹果农药残留检测结果

Table5-4 Determination of pesticide residues of organic and conventional apples

| 分析物 (mg kg^{-1}) | 测定方法 | 常规 苹果 | 有机 苹果 |
|--|---|----------|----------|
| 001 2-phenyl-phenol 邻苯基苯酚 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 002 Acephate 乙酰甲胺磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 003 Acetamiprid 啉虫脒 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 004 Acetochlor 乙草胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 005 Aldicarb 涕灭威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 006 Aldicarb-sulfone/Aldoxycarb 涕灭 虱威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 007 Aldicarb-sulfoxide 涕灭威亚砷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 008 Atrazine 莠去津 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 009 Azinphos-methyl 保棉磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 010 Azoxystrobin 啞菌酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 011 Benalaxyl & Benalaxyl-M 苯霜灵 和精苯霜灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 012 Bendiocarb 噁虫威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 013 Benfluralin 乙丁氟灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 014 Benfuracarb 丙硫克百威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 015 Benoxacor 解草嗪 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 016 Bensulfuron-methyl 苄嘧磺隆 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 017 Bifenthrin 联苯菊酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 018 Boscalid 啉酰菌胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 019 Bromopropylate 溴螨酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 020 Bupirimate 乙嘧酚磺酸酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 021 Buprofezin 噻嗪酮 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 022 Butachlor 丁草胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 023 Butocarboxim 丁酮威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 024 Cadusafos 硫线磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 025 Captan 克菌丹 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |

续表 5-4 有机苹果和常规苹果农药残留检测结果

Continue Table5-4 Determination of pesticide residues of organic and conventional apples

| 分析物 (mg kg ⁻¹) | 测定方法 | 常规 苹果 | 有机 苹果 |
|---|---|----------|----------|
| 026 Carbaryl 甲萘威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 027 Carbendazim 多菌灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 028 Carbofuran 克百威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 029 Carbofuran-3-hydroxy3-羟基克百威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 030 Carbosulfan 丁硫克百威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.05 | < 0.05 |
| 031 Chlorbenzuron 灭幼脲 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | 0.14 | < 0.01 |
| 032 Chlordane 氯丹 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 033 Chlorfenapyr 虫螨腈 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 034 Chlorfenvinphos 毒虫畏 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 035 Chlorpropham 氯苯胺灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 036 Chlorpyrifos 毒死蜱 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | 0.01 | < 0.01 |
| 037 Chlorpyrifos Methyl 甲基毒死蜱 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 038 Clethodim 烯草酮 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 039 Clothianidin 噻虫胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 040 Cyanazine 氰草津 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 041 Cyflufenamid 环氟菌胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 042 Cyfluthrin 氟氯氰菊酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 043 lambda-Cyhalothrin 高效氯氟氰菊酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 044 Cymoxanil 霜脲氰 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 045 Cypermethrin & zeta-Cypermethrin 氯氰菊酯和氯氰菊酯(ζ) | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 046 Cyprodinil 啉菌环胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 047 Cyromazine 灭蝇胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 048 DDD(o,p')o,p'-滴滴滴 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 049 DDD(p,p')p,p'-滴滴滴 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 050 DDE(o,p')o,p'-滴滴伊 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 051 DDE(p,p')p,p'-滴滴伊 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 052 DDT(o,p')o,p'-滴滴涕 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 053 DDT(p,p')p,p'-滴滴涕 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 054 054 Deltamethrin & Tralomethrin 溴氰菊酯和四溴菊酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 055 Diazinon 二嗪磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |

第五章 有机管理对苹果品质、产量和经济效益的影响

续表 5-4 有机苹果和常规苹果农药残留检测结果

Continue Table5-4 Determination of pesticide residues of organic and conventional apples

| 分析物 (mg kg ⁻¹) | 测定方法 | 常规 苹果 | 有机 苹果 |
|---|---|----------|----------|
| 056 Dichlofluanid 苯氟磺胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 057 Dichlorvos 敌敌畏 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 058 Dicloran 氯硝胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 059 Dicofol 三氯杀螨醇 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 060 Diethofencarb 乙霉威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 061 Difenoconazole 苯醚甲环唑 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 062 Dimethoate 乐果 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 063 Dimethomorph 烯酰吗啉 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 064 Diniconazole 烯啶醇 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 065 Edifenphos 敌瘟磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 066 Emamectin benzoate 甲氨基阿维 菌素苯甲酸盐 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 067 beta-endosulfan 硫丹(β) | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 068 Endosulfan sulfate 硫丹硫酸酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 069 alpha-endosulfan 硫丹(α) | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 070 Ethiofencarb 乙硫苯威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 071 Ethion 乙硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 072 Ethoprophos 灭线磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 073 Etofenprox 醚菊酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 074 Etrinfos 乙啶硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 075 Famoxadone 噁唑菌酮 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 076 Fenarimol 氯苯嘧啶醇 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 077 Fenhexamid 环酰菌胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 078 Fenitrothion 杀螟硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 079 Fenobucarb 仲丁威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 080 Fenoxycarb 苯氧威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 081 Fenpropathrin 甲氰菊酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 082 Fenpropimorph 丁苯吗啉 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 083 Fenpyroximate 啉螨酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 084 Fenthion 倍硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 085 Fenvalerate & Esfenvalerate 氰戊 菊酯和 S-氰戊菊酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 086 Fipronil 氟虫腈 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 087 Fluazifop-butyl & Fluazifop-p butyl 吡氟禾草灵和精吡氟禾草灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |

续表 5-4 有机苹果和常规苹果农药残留检测结果

Continue Table5-4 Determination of pesticide residues of organic and conventional apples

| 分析物 (mg kg ⁻¹) | 测定方法 | 常规 苹果 | 有机 苹果 |
|---|---|----------|----------|
| 088 Flucythrinate 氟氰戊菊酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 089 Flufenoxuron 氟虫脲 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 090 Flusilazole 氟硅唑 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 091 Fluvalinate 氟胺氰菊酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 092 Furathiocarb 呋线威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 093 gamma-HCH(gamma-BHC or Lindane) γ -六六六(林丹) | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 094 Heptenophos 庚烯磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 095 Hexythiazox 噻螨酮 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 096 Imazalil 抑霉唑 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 097 Imidacloprid 吡虫啉 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 098 Indoxacarb 茚虫威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 099 Iprodione 异菌脲 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 100 Iprovalicarb 嘧霉威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 101 Isocarbophos 水胺硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 102 Isfenphos 异柳磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 103 Isfenphos-methyl 甲基异柳磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 104 Isoprocab 异丙威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 105 Isoprothiolane 稻瘟灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 106 Isoproturon 异丙隆 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 107 Kresoxim-methyl 醚菌酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 108 Linuron 利谷隆 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 109 Malathion 马拉硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 110 Metalaxyl&Mefenoxam 甲霜灵和精甲霜灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 111 Metamitron 苯噻草酮 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 112 Methamidophos 甲胺磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 113 Methidathion 杀扑磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 114 Methiocarb 甲硫威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 115 Methomyl 灭多威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 116 Methoxyfenozide 甲氧虫酰肼 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 117 Metolachlor&S-Metolachlor 异丙甲草胺和精-异丙甲草胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 118 Mevinphos 速灭磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 119 Monocrotophos 久效磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |

第五章 有机管理对苹果品质、产量和经济效益的影响

续表 5-4 有机苹果和常规苹果农药残留检测结果

Continue Table5-4 Determination of pesticide residues of organic and conventional apples

| 分析物 (mg kg ⁻¹) | 测定方法 | 常规 苹果 | 有机 苹果 |
|-----------------------------|---|----------|----------|
| 120 Myclobutanil 腈菌唑 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 121 Napropamide 敌草胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 122 Nicosulfuron 烟嘧磺隆 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 123 Nitrothal-isopropyl 酞菌酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 124 Omethoate 氧乐果 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 125 Oxadiazon 噁草酮 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 126 Oxadixyl 噁霜灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 127 Oxydemeton-methyl 亚砷磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 128 Paclobutrazol 多效唑 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 129 Parathion 对硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 130 Parathion-methyl 甲基对硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 131 Penconazole 戊菌唑 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 132 Pendimethalin 二甲戊灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 133 Permethrin 氯菊酯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 134 Phenthoate 稻丰散 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 135 Phorate 甲拌磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 136 Phorate-sulfone 甲拌磷砒 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 137 Phorate-sulfoxide 甲拌磷亚砷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 138 Phosalone 伏杀硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 139 Phosmet 亚胺硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 140 Phosphamidone 磷胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 141 Phoxim 辛硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 142 Pirimicarb 抗蚜威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 143 Pirimiphos-ethyl 啉啉磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 144 Pirimiphos-methyl 甲基啉啉磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 145 Prochloraz 咪鲜胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 146 Procymidone 腐霉利 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 147 Profenofos 丙溴磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 148 Promecarb 猛杀威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 149 Prometryn 扑草净 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 150 Propamocarb 霜霉威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 151 Propargite 炔螨特 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 152 Propham 苯胺灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 153 Propiconazole 丙环唑 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 154 Propoxur 残杀威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |

续表 5-4 有机苹果和常规苹果农药残留检测结果

Continue Table5-4 Determination of pesticide residues of organic and conventional apples

| 分析物 (mg kg ⁻¹) | 测定方法 | 常规 苹果 | 有机 苹果 |
|--|---|----------|----------|
| 155 Propyzamide 炔苯酰草胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 156 Pymetrozine 吡蚜酮 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 157 Pyrazophos 吡菌磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 158 Pyridaben 哒螨灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 159 Pyridaphenthion 哒嗪硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 160 Pyrimethanil 嘧霉胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 161 Quinalphos 喹硫磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 162 Quintozene 五氯硝基苯 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 163 Quinalofop-ethyl&Quinalofop-p-ethyl 喹禾灵和精喹禾灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 164 Rimsulfuron 砒啶磺隆 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 165 S421 八氯二丙醚 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 166 Simazine 西玛津 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 167 Spinosad 多杀霉素 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 168 Spiroxamine 螺环菌胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 169 Tebuconazole 戊唑醇 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | 0.01 | < 0.01 |
| 170 Tebufenozide 虫酰肼 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 171 Tetrachlorvinphos 杀虫畏 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 172 Tetradifon 三氯杀螨砒 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 173 Thiabendazole 噻菌灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 174 Thiacloprid 噻虫啉 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 175 Thiamethoxam 噻虫嗪 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 176 Thifensulfuron-methyl 噻吩磺隆 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 177 Thiodicarb 硫双威 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 178 Thiofanox-sulfone 久效威砒 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 179 Thiofanox-sulfoxide 久效威亚砒 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 180 Tolclofos-methyl 甲基立枯磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 181 Tolyfluanid 甲苯氟磺胺 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 182 Triadimefon 三唑酮 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 183 Triadimenol 三唑醇 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 184 Triasulfuron 醚苯磺隆 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 185 Triazophos 三唑磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 186 Trichlorfon 敌百虫 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 187 Triflumizole 氟菌唑 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 188 Trifluralin 氟乐灵 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |

续表 5-4 有机苹果和常规苹果农药残留检测结果

Continue Table5-4 Determination of pesticide residues of organic and conventional apples

| 分析物 (mg kg ⁻¹) | 测定方法 | 常规 苹果 | 有机 苹果 |
|----------------------------------|---|----------|----------|
| 189 Triflurosulfuron-methyl 氟胺磺隆 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 190 Vamidothion 蚜灭磷 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304LC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |
| 191 Vinclozolin 乙烯菌核利 | EURL-FV (2010-M4) SA/SOP/SUM/304GC V3.0 | < 0.01 | < 0.01 |

5.3.6 有机管理对苹果产量的影响

通过计算有机管理和常规管理的单位面积产量发现，常规管理苹果园年产量呈现先增加后减小的趋势，有机管理苹果园年产量呈现缓慢增长的趋势。

2012 年常规管理模式苹果年产量为 32250 kg ha⁻¹，比有机管理产量显著高出 20.1% ($P<0.05$)。2013 年常规管理年产量为 35700 kg ha⁻¹，比有机管理高出 25.3%。2014 年常规管理年产量降至 34350 kg ha⁻¹，比有机管理高出 13.9%。2012-2014 年有机管理产量增加了 3300 kg ha⁻¹，增长幅度为 12.3% (图 5-11)。

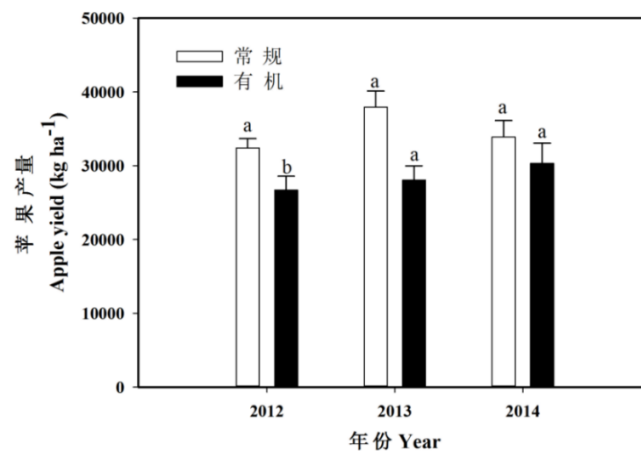


图 5-11 2012-2014 年有机管理和常规管理模式苹果产量

Figure5-11 Yield of apple under organic and conventional management in 2012-2014

5.3.7 有机和常规管理模式苹果园经济效益分析

如表 5-5 所示，苹果园有机管理和常规管理在各项投入和产出方面存在较大差异。从总体上来看，有机管理和常规管理的年投入总额差距不大，有机管理年投入为 4671 元/亩，常规管理年投入为 5247 元/亩，比有机管理高 12%。

在肥料投入方面, 常规管理施用化肥的年投入是有机管理施用牛粪年投入的 3 倍, 占总年投入的 24.8%。在病虫草害控制的材料投入方面, 有机管理的生物物理方法的材料投入比常规管理病虫害和杂草防治的农药投入高出 32%。在人工投入方面, 常规管理以病虫草害控制的人工投入占比最大, 为 70%, 比有机管理病虫草害控制的人工成本高出 78%, 主要是由于常规管理喷施农药和除草剂次数较多, 耗费较多人工。有机管理人工成本中, 以施肥和病虫草害控制的人工投入占总人工投入的比例较高, 分别占总人工投入的 47%和 40%。在果树授粉方面, 常规管理由于采用人工辅助授粉耗费人工, 而有机管理利用壁蜂传粉, 无需耗费人工。其它如灌溉、电能等投入差异不大。

表 5-5 有机和常规管理模式苹果园经济效益分析

Table5-5 Analysis on inputs and outputs under organic and conventional managements

| 项目 | | 常规管理 (元/亩) | 有机管理 (元/亩) |
|------|--------------|---------------|---------------|
| 投入 | 肥料 | 1302 | 435 |
| | 病虫害防治 | 427 | 604 |
| | 杂草防治 | 30 | |
| | 设备折旧 | 37 | 66 |
| | 其它材料(果袋、汽油等) | 53 | 270 |
| | 施肥 | 180 | 660 |
| | 病虫害防治 | 960 | 540 |
| | 杂草防治 | 45 | 150 |
| | 灌溉 | 60 | 60 |
| | 授粉 | 120 | 0 |
| | 其它日常管理 | 1620 | 1350 |
| | 灌溉(水费) | 360 | 360 |
| | 电能 | 53 | 28 |
| | 肥料运输费 | 0 | 148 |
| 年均投入 | | 5247 | 4671 |
| 产值 | 2012 年 | 9003 | 15511 |
| | 2013 年 | 10014 | 17498 |
| | 2014 年 | 9485 | 18464 |
| 年均产值 | | 9500 | 17150 |
| 产投比 | 年均产值/年均投入 | 1.81 | 3.67 |

由表 5-6, 在产值方面, 常规苹果在以普通价格出售, 价格为 2-6 元/kg。常规管理模式苹果年均产值为 9500 元/亩。有机苹果中品相较好的苹果, 按照有机水果的价格, 通过网店和订购渠道销售, 价格为 16-24 元/kg, 有机苹果中单重小和品相差的苹果在当地市场按普通价格出售。由于有机苹果较大的价格优势, 大幅提高了有机管理模式苹果的产值, 2012-2014 年年均产值为 17150 元/亩, 比常规管理模式高 80%。有机苹果管理模式的产投比为 3.67, 是常规管理的 2 倍。

表 5-6 有机和常规管理模式果园经济投入与产出明细

Table5-6 Statement of economic inputs and outputs in apple orchards under organic and conventional managements.

| 常规管理 | | | 有机管理 | | | |
|-------------|----------------------|---------|--------------------|---------|------------|-----|
| 投入 | 内容 | | (元/亩) | 内容 | (元/亩) | |
| 施肥 | 尿素:100 kg*2.4 元/kg | 240 | 牛粪: 14.5t/亩*30 元/t | 435 | | |
| | 硫酸钾复合肥:354 kg*3 元/kg | 1062 | | | | |
| 病虫害控制材料投入费用 | 3 月 | 石硫合剂 | 47 | 3 月 | 石硫合剂 | 47 |
| | | 吡虫啉 | 8 | 5 月 | 沼液 | 45 |
| | | 高效氯氰菊酯 | 6 | 5-10 月 | 诱虫灯折旧（5 年） | 240 |
| | | 代森锰锌 | 36 | 6、7、8 月 | 波尔多液 | 143 |
| | | 甲基托布津 | 38 | 5-10 月 | 粘虫板 | 60 |
| | 5 月 | 毒死蜱 | 13 | 9-12 月 | 草把诱杀 | 70 |
| | | 尼索朗 | 11 | | | |
| | | 甘露糖醇螯合钙 | 14 | | | |
| | | 丙森锌+戊唑醇 | 24 | | | |
| | | 多菌灵 | 14 | | | |
| | | 代森锰锌 | 36 | | | |
| | 6 月 | 三唑锡 | 15 | | | |
| | | 吡虫啉 | 8 | | | |
| | | 灭幼脲 | 10 | | | |
| | 7 月 | 灭幼脲 | 10 | | | |
| | | 尼索朗 | 11 | | | |
| | | 高效氯氰菊酯 | 6 | | | |
| | | 多菌灵 | 14 | | | |
| | 8 月 | 灭幼脲 | 10 | | | |
| | | 尼索朗 | 11 | | | |
| | | 高效氯氰菊酯 | 6 | | | |
| | | 代森锰锌 | 36 | | | |
| | 9 月 | 灭幼脲 | 10 | | | |
| | | 尼索朗 | 11 | | | |
| | | 高效氯氰菊酯 | 6 | | | |
| | | 多菌灵 | 14 | | | |

续表 5-6 有机和常规管理模式下载园经济投入与产出明细

Continue Table5-6 Statement of economic inputs and outputs in apple orchards under organic and conventional managements.

| 常规管理(元/亩) | | | | | 有机管理(元/亩) | | | |
|-------------------------|----------------------|---------------------------|--------|--------|--------------------|---------------------------|--------|--------|
| 除草剂 | 百草枯 10 元/亩*3 次 | 30 | | | | | | |
| 灌溉 | 水费: 90 元/亩*4 次 | 360 | | | 水费: 90 元/亩*4 次 | 360 | | |
| 电能 | 打药机 (化学杀虫剂和杀菌 | 38 | | | 打药机(生物农药) | 17 | | |
| | 打药机 (除草剂):6KWh*0.6 元 | 4 | | | 灌溉:18KWh*0.6 元/KWh | 11 | | |
| | 灌溉: 18KWh*0.6 元/KWh | 11 | | | | | | |
| 人工 | 人工价格 60 元/ labor | 30 | | | 施肥: 11 labor | 660 | | |
| | 刮树皮: 0.5 labor | | | | 控虫: 9 labor | 540 | | |
| | 剪枝: 2 labor | 120 | | | 种植蛇莓: 0.5 labor | 30 | | |
| | 清理地面: 1labor | 60 | | | 刈割:2 labor | 120 | | |
| | 人工授粉: 2 labor | 120 | | | 刮树皮: 0.5 labor | 30 | | |
| | 套袋: 6 labor | 360 | | | 剪枝: 2 labor | 120 | | |
| | 摘袋: 2.5 labor | 150 | | | 清理地面: 1 labor | 60 | | |
| | 疏花疏果: 5 labor | 300 | | | 授粉 | 0 | | |
| | 灌溉: 1 labor | 60 | | | 套袋: 5 labor | 300 | | |
| | 收获: 10 labor | 600 | | | 摘袋: 2 labor | 120 | | |
| | 病虫害控制: 16 labor | 960 | | | 疏花疏果: 4 labor | 240 | | |
| | 施肥: 3 labor | 180 | | | 灌溉: 1 labor | 60 | | |
| | 除草: 0.75 labor | 45 | | | 收获: 8 labor | 480 | | |
| 其 它 材 料 和 设 备 折 旧 | 打药机折旧 | 23 | | | 割草机折旧 | 29 | | |
| | 水泵折旧 | 14 | | | 打药机折旧 | 23 | | |
| | 苹果塑料膜袋 | 5 | | | 水泵折旧 | 14 | | |
| | | | | | 苹果纸袋 | 225 | | |
| | | | | | 壁蜂蜂巢芦苇管 | 10 | | |
| | | | | | 汽油 (割草机) | 35 | | |
| 运输费 | | | | | 运输牛粪: | 100 | | |
| | | | | | 运输沼液 | 48 | | |
| 年投入 | | 5247 | | | | 4671 | | |
| 产出 | | | | | | | | |
| 等级 | 单价 (元/kg) | 产量 (kg ha ⁻¹) | | | 单价 (元/kg) | 产量 (kg ha ⁻¹) | | |
| | | 2012 年 | 2013 年 | 2014 年 | | 2012 年 | 2013 年 | 2014 年 |
| I | 6 | 666 | 590 | 568 | 30 | 555 | 589 | 747 |
| II | 5 | 4663 | 5898 | 5108 | 24 | 1109 | 1530 | 1494 |
| III | 4 | 5328 | 5309 | 4966 | 16 | 2218 | 2472 | 2491 |
| IV | 3 | 1998 | 2064 | 2980 | 3 | 3882 | 3532 | 3861 |
| V | 2 | 400 | 590 | 355 | 2 | 2773 | 3178 | 3238 |
| VI | 0.6 | 266 | 295 | 213 | 1 | 555 | 471 | 623 |
| 总产量 | | 2150 | 2380 | 2290 | | 1790 | 1900 | 2010 |

续表 5-6 有机和常规管理模式下降园经济投入与产出明细

Continue Table5-6 Statement of economic inputs and outputs in apple orchards under organic and conventional managements.

| | 常规管理(元/亩) | | | 有机管理(元/亩) | | |
|------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | 2012 年 | 2013 年 | 2014 年 | 2012 年 | 2013 年 | 2014 年 |
| 总产值 | 9003 | 10014 | 9485 | 15511 | 17498 | 18464 |
| 年均产值 | 9500 | | | 17150 | | |
| 产投比 | 1.81 | | | 3.67 | | |

注：常规苹果和有机苹果分别根据不同的品相划分为 6 个价格等级出售。果园年均产值是 2012-2014 三年平均产值。Note: Apples were divided into six grades according to the marketable price, which was decided by the weight and appearance of the fruits. Average output was the mean of output of three years.

5.4 讨论

叶片的光合色素含量和比叶重反映着叶片进行光合作用的能力。叶片的比叶重越大，越有利于促进光合作用(范晶等 2003)。常规苹果叶片的比叶重显著高于有机苹果，说明常规苹果叶片有较好的光合能力。而有机和常规管理对叶片光合色素含量并没有产生显著的影响。叶片中叶绿素 a 含量最高。

常规苹果叶片 P、Mg 含量显著高于有机苹果叶片含量 ($P<0.05$)。有机苹果叶片的 K 含量高于常规苹果，有研究表明，叶片含 K 量和苹果的产量表现出负相关关系(徐爱春 2004; 唐晓敏 2005)。在喷施波尔多液后，有机苹果叶片 Cu 含量显著升高，波尔多液主要是依靠 Cu^{2+} 发挥杀菌作用，抑制病菌孢子增殖，能够有效防治苹果炭疽病及轮纹病等(卜元卿等 2013)，但是 Cu^{2+} 在叶片、果实及环境中不断积累，不利于果园生态系统的可持续发展，在今后的生产中应探索新型生物杀菌药。常规苹果叶片的 Mn 含量为 $177\text{--}240\text{ mg kg}^{-1}$ ，显著高于有机苹果叶片。

在果实品质指标方面，有机苹果和常规苹果的果型指数、果实硬度、可溶性糖、总游离氨基酸、维生素 C 含量无明显差异。有机苹果的单重显著小于常规苹果，而可溶性固形物含量显著高于常规苹果，这与前人研究结果一致，有研究发现有机富士苹果可溶性固形物含量显著高于常规苹果，而可滴定酸含量无显著差异(Roussos and Gasparatos 2009)。

在果实矿质元素含量方面，有机苹果果皮中的 P、S、K 含量以及果肉中的

S、K 含量显著高于常规苹果。K 参与果树生理代谢中起重要作用，是多种酶的催化剂，K 能够促进蛋白质、碳水化合物、叶绿素的合成，调节蒸腾作用，K 含量高有利于提高树体抗性，改善果实品质(李亚锋 2013)。有机苹果 2014 年 Ca 含量显著低于常规苹果，Ca 对植物体生理代谢和调控具有重要作用，苹果 Ca 含量低，容易引发水心病，苦痘病，引起果实硬度降低等问题。2014 年有机苹果果皮 Zn 含量显著高于常规苹果，Zn 是果树代谢中多种酶的结构辅助因子，在稳定生物膜、促进光合产物积累转运、改善果实品质等方面起到重要作用(张新生等 1999)。

常规苹果 Cd 含量超标，主要是由于土壤中 Cd 含量过高引起的。常规农业生产中，土壤 Cd 的来源主要为磷肥，磷肥的原料磷矿石含有大量的重金属如 Cd、As、Cr 等，世界磷肥的平均含 Cd 量约为 7 mg kg^{-1} (高志岭等 2001)，大量磷肥的施用会造成土壤中 Cd 不断积累，并进入植物体，通过食物链不断富集。Cd 含量超标，对于人体健康具有较大的危害，镉进入人体后，不断积累，会引起骨骼、肾脏损伤，Cd 在人体内的存留时间很长，达 10-30 年(薄梅花和叶亭亭 1999)，对人体的危害较大。常规苹果果实 Mn 含量显著高于有机苹果。苹果 Mn 含量高，易引发苹果粗皮病(叶优良等 2002)。常规苹果果实和叶片的 Mn 含量较高，可能是由于施用化肥引起的，果树树体吸收了土壤中的锰。

有研究表明，果实矿质元素含量与果实品质具有相关关系。K、Ca 含量与果实硬度呈正相关关系，K、Ca 含量高利于提高果实硬度和耐贮存性。Cu、Mn 含量与果实硬度呈负相关关系，与可溶性固形物含量呈正相关关系。Zn 与可溶性固形物含量呈正相关关系(李宝江和林桂荣 1994)。有通径分析研究结果表明，P 对可溶性固形物含量和硬度具有正向促进作用，N 含量高可能降低可溶性固形物含量和硬度，Mn 和可滴定酸呈负相关(徐慧等 2014)。

常规苹果在种植过程中，施用大量化肥和农药，严重影响了果品安全质量。常规苹果硝酸盐含量高于有机苹果。农药残留检测报告表明，常规苹果灭幼脲、毒死蜱、戊唑醇残留量超标。有机苹果在生产过程中严禁化学杀虫剂、除草剂的使用，而是通过生物、物理方法控制病虫草害，有效地保证了苹果的安全品质。

有机苹果产量低于常规苹果 14%-25%，但是仍呈现缓慢增长的趋势。2012-2014 年常规苹果产量先增加后减少，呈现出“大小年”的潜在趋势。有研究表明有机苹果产量低于常规苹果 (Amarante et al. 2008; Roussos and Gasparatos 2009)，但是也有研究发现有机苹果产量高于常规苹果 25%-32% (Peck et al. 2006; Swezey

et al. 2009)。在经过较长时间改良土壤、提高土壤肥力等以后，有机苹果产量仍有可能实现增长，甚至超过常规苹果。

有机管理和常规管理模式的年投入总额差异不大，而有机苹果产值显著高于常规苹果，2012-2014 年有机苹果年均产值为 17150 元/亩，比常规苹果高出 80%。有机管理模式苹果园的产投比为 3.67，是常规管理的 2 倍，经济效益较高。这主要是由于有机苹果因其健康、安全的品质具有极大的价格优势，大幅提高了有机苹果的经济产值。

5.5 小结

有机和常规管理对叶片生长和叶绿素含量无显著影响，常规苹果叶片的比叶重大于有机苹果叶片。常规苹果叶片中 P、Mg、Mn 含量显著高于有机苹果，Cu、K 含量显著低于有机苹果。

有机苹果和常规苹果的果型指数、果实硬度、可溶性糖、总游离氨基酸、维生素 C 含量无明显差异。有机苹果的单重显著小于常规苹果，而可溶性固形物含量显著高于常规苹果。

有机苹果果皮中的 P、S、K 含量以及果肉中的 S、K 含量显著高于常规苹果。常规苹果 2014 年 Ca 含量显著高于有机苹果，苹果果皮 Zn 含量显著低于有机苹果。常规苹果的 Mn、Cd 含量高于有机苹果。

常规苹果硝酸盐含量高于有机苹果。常规苹果灭幼脲、毒死蜱、戊唑醇残留量超标。有机苹果无污染、零农残，安全品质较好。

有机管理模式苹果产量比常规管理低 14%-25%，但是仍呈现缓慢增长的趋势。虽然有机苹果产量低于常规苹果，但由于有机苹果较大的市场价格优势，仍然获得很高的产值，2012-2014 年有机管理下苹果年均产值为 17150 元/亩，比常规管理高出 80%。有机管理模式苹果园的产投比为 3.67，是常规管理模式的 2 倍，具有较高的经济效益。

第六章 结论与展望

6.1 结论

本研究通过对鲁东南苹果产区苹果园采取有机管理和常规管理两种不同的管理模式,系统研究了有机管理模式对苹果园土壤理化性质、土壤微生物群落结构和多样性、害虫和杂草控制效果以及果实品质、产量和经济效益的影响,以期探索有机苹果种植模式对生态效益和经济效益的影响,为推动中国有机苹果产业发展提供理论支持。主要研究结论如下:

(1) 有机管理模式显著增加土壤肥力,改善土壤生物学性状

在有机管理模式后果园施用有机肥,显著增加土壤有机质和全氮含量。土壤有机碳含量增加,促进微生物活性提高。有机管理模式下土壤中微生物量碳和微生物量氮含量均显著上升,土壤指示性动物蚯蚓的种群迅速扩大,其中以腐食性蚯蚓占优势,有机管理下 0-20 cm 土壤蚯蚓的年平均密度由 2012 年 59 条/m² 增长至 2013 年 298 条/m²,增长幅度高达 437%。较高的有机质含量和无农药、化肥污染的土壤环境,有利于土壤微生物和土壤动物的生长与繁殖,改善土壤生物学性状。

(2) 有机管理模式维持较高的土壤细菌群落多样性

通过 16S rDNA 高通量测序技术,鉴定到有机和常规管理下土壤细菌共包含 41 个门 119 纲 167 目 229 科 281 属,其中变形菌门、放线菌门和拟杆菌门为主要优势类群。两种管理模式土壤细菌群落结构存在较大差异。有机管理下 0-20cm 土壤细菌多样性高于常规土壤细菌,2014 年差异逐步达到显著水平。有机管理下一些功能细菌的相对丰度显著高于常规管理,如假单胞菌属(解磷、联合固氮作用),黄杆菌属(降解纤维素作用),出芽菌属(产生抗生素作用)。有机管理下土壤细菌固氮潜力高于常规果园,有机管理土壤中包括德沃斯氏菌属、伯克氏菌属、根瘤菌属、贪铜菌属、中慢生根瘤菌属、苍白杆菌属的固氮菌相对丰度之和高于常规管理。

(3) 生物物理综合控虫方法和生态控草方法具有显著效果

本研究中有有机管理模式中采用的生物物理防治相结合的虫害控制方法具有

良好的控虫效果,有效地减少了以鞘翅目和鳞翅目为主的害虫数量,日均捕杀害虫总量、金龟甲日均捕获量、鳞翅目害虫日均捕获量分别减少了 39%、76%和 16%。有机管理模式中利用蛇莓作为地被植物,通过占领生态位,有效地抑制果园内其它杂草的生长,降低杂草群落多样性,是一种环境友好型的生态方法。2012-2014 年蛇莓相对盖度增加了 55%,杂草群落 Simpson、Shannon、Pielou 指数分别显著降低了 38%、54%、17%。有机管理模式采用的控虫控草方法避免了化学杀虫剂、除草剂对环境的危害,有利于果园生态系统健康可持续发展。

(4) 有机苹果品质安全健康

有机苹果种植过程中杜绝了农药、化肥使用,零农残,未检出农药残留,安全品质高。常规苹果硝酸盐含量和重金属 Cd 含量较高,并且检测到灭幼脲、毒死蜱、戊唑醇三种农药残留量超标,品质较差。有机苹果和常规苹果果型指数、果实硬度、可溶性糖、总游离氨基酸、维生素 C 含量无明显差异。有机苹果的单重显著小于常规苹果,而可溶性固形物含量显著高于常规苹果。在矿质元素含量方面,有机苹果果皮中的 P、S、K、Zn 含量以及果肉中的 S、K 含量显著高于常规苹果。常规苹果 Ca、Mn、Cd 含量显著高于有机苹果。

(5) 有机管理模式能够实现较高的经济效益

有机管理模式苹果产量比常规果园低 14%-25%,但由于有机苹果的市场价格优势,弥补了产量损失,单位经济产值高。2012-2014 年有机管理模式年均产值为 17150 元/亩,比常规苹果高出 80%。有机管理模式下苹果园具有较高的产投比,为 3.67,是常规管理的 2 倍。有机管理模式下苹果园的经济效益远高于常规管理。

综上所述,同常规模式相比,有机管理模式兼顾生态效益和经济效益,既有利于保护果园生物多样性和生态环境、促进果园生态系统的稳定和可持续发展,又能够大幅度提升果园经济产值,是一种环境友好、高效、可持续的发展模式,可以应用于苹果种植产业及其他农作物生产,帮助农民朋友转变生产方式,提高经济收入,对于我国解决农业污染问题和食品安全问题,发展可持续农业具有重要意义。

6.2 展望

(1) 本研究探讨了有机管理和常规管理分别施用有机肥和化肥对土壤微生

物量碳、微生物量氮的影响,今后还需研究土壤呼吸、土壤酶如过氧化氢酶、脱氢酶、硝酸还原酶等对不同施肥措施的响应。

(2) 本研究中采用 16S rDNA 高通量测序技术,在环境基因组学水平上,对有机和常规管理模式下土壤细菌进行了准确的分类鉴定和群落结构分析。下一步可以进行功能基因组学的研究,利用土壤宏基因组学技术,筛选和鉴定土壤细菌文库中与有机管理模式、土壤理化性质等相关的基因,展开基因功能和表达分析,进一步完善细菌群落结构分析。

(3) 在苹果品质方面,可以进一步研究分析有机管理和常规管理两种管理模式对果实抗氧化物质含量的影响,包括对果实总酚、类黄酮、抗氧化酶类含量的影响。

(4) 本试验未设置施肥梯度,施用有机肥为一次性全部施入,在以后的研究中,可以探索不同的施肥梯度和施肥时间、底肥加追肥等施肥方式对土壤理化性质、生物学性状及苹果产量的影响,为有机苹果

(5) 对有机果园推广的几点建议:

①政府应该加大对有机果园生产和科研的政策和资金扶持力度,如在农田前三年有机转换期,农产品不能按有机农产品价格销售,政府可以给农户发放补贴,以减轻农户的资金压力。

②政府应建立严格的质量监管体系,严控有机认证管理,防止虚假有机经营,维持有机农产品市场秩序。

③各地农业部门加强有机农业宣传和技术服务。本研究采用的生物物理防治相结合的控虫方法和蛇莓控草方法,可以向果农推广,建议政府出资为农户购买诱虫灯,积极推广利用生态方法来控虫、控草的管理理念,获得较高生态效益。

④建立“公司+农户”、“合作社+农户”的合作模式,形成规模化、产业化发展,开发有机水果的深加工。

⑤发展有机果园,进行生态扶贫。在贫困山区,绿水青山就是金山银山,发展有机果园,如有机橙、樱桃等,提升生产效益,帮助贫困农民创收。

参考文献

- 安琼, 董元华, 王辉, 葛成军 (2005) 南京地区土壤中有机氯农药残留及其分布特征. 环境科学学报 **25**(4), 470-474.
- 薄梅花, 叶葶葶 (1999) 镉的危害作用与生物监测. 环境与职业医学 **16**(1), 44-46.
- 卜元卿, 石利利, 单正军 (2013) 波尔多液在苹果和土壤中残留动态及环境风险评价. 农业环境科学学报 **5**, 972-978.
- 蔡泽江, 孙楠, 王伯仁, 徐明岗, 黄晶, 张会民 (2011) 长期施肥对红壤 pH、作物产量及氮、磷、钾养分吸收的影响. 植物营养与肥料学报 **17**(1), 71-78.
- 陈宝书, 陈本建, 张惠霞, 罗俊强 (1998) 蚯蚓粪营养成分的研究. 草业与畜牧 **3**, 22-24.
- 陈同斌, 曾希柏, 胡清秀 (2004) 中国化肥利用率的区域分异. 地理学报 **57**(5), 531-538.
- 陈学森, 韩明玉, 苏桂林, 刘凤之, 过国南, 姜远茂, 毛志泉, 彭福田, 束怀瑞 (2010) 当今世界苹果产业发展趋势及我国苹果产业优质高效发展意见. 果树学报 **27**(4), 598-604.
- 程绍南, 邵敏, 郑美瑜, 邢建荣 (2002) 世界有机果树业的发展动向及可借之鉴. 浙江农业科学 **6**, 265-269.
- 党廷辉 (2005) 黄土区旱地深层硝酸盐累积机理、生物有效性与环境效应. 西北农林科技大学.
- 范晶, 赵惠勋, 李敏 (2003) 比叶重及其与光合能力的关系. 东北林业大学学报 **31**(5), 37-39.
- 冯明祥, 邸淑艳 (1999) 农药对果园生态系的影响及控制对策. 烟台果树 **3**, 17-19.
- 冯耀宗 (2002) 生物多样性与生态农业. 中国生态农业学报 **10**(3), 5-7.
- 高岩, 骆永明 (2005) 蚯蚓对土壤污染的指示作用及其强化修复的潜力. 土壤学报 **42**(1), 140-148.
- 高占林, 李耀发, 党志红, 潘文亮 (2008) 河北省不同地区棉蚜对吡虫啉等杀虫剂抗药性发展动态研究. 河北农业大学学报 **31**(3), 81-84.
- 高志岭, 刘建玲, 廖文华 (2001) 磷肥施用与镉污染的研究现状及防治对策. 河北农业大学学报 **24**(3), 90-94.
- 葛鑫, 戴其根, 霍中洋, 孟立明, 许轲 (2003) 农田氮素流失对环境的污染现状及防治对策. 环境科学与技术 **26**(6), 53-54.
- 郭永灿, 王振中 (1997) 农药污染对蚯蚓的群落结构与超微结构影响的研究. 中国环境科学 **1**, 67-71.
- 韩素贞 (2015) 农药化肥对果园的污染及对策. 落叶果树 **47**(2), 58-59.
- 侯有明, 庞雄飞, 梁广文, 尤民生 (2001) 化学杀虫剂对菜田节肢动物多样性的影响. 生态学报 **21**(8), 1262-1268.
- 胡诚, 曹志平, 罗艳蕊, 马永良 (2007) 长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响. 中国生态农业学报 **15**(3), 48-51.
- 胡亚林, 汪思龙, 颜绍馥 (2006) 影响土壤微生物活性与群落结构因素研究进展. 土壤通报

- 37(1), 170-176.
- 胡艳霞, 孙振钧, 王东辉, 孙永明 (2004) 蚯蚓粪中拮抗微生物分析. 应用与环境生物学报 10(1), 99-103.
- 华小梅, 江希流 (2000) 我国农药环境污染与危害的特点及控制对策. 环境科学研究 13(3), 4.
- 黄初龙, 张雪萍 (2005) 蚯蚓环境生态作用研究进展. 生态学杂志 24(12), 1466-1470.
- 霍治国, 李茂松, 李娜, 王丽, 黄大鹏, 王春艳 (2012) 季节性变暖对中国农作物病虫害的影响. 中国农业科学 45(11), 2168-2179.
- 姜杰, 张慧敏, 林凯, 李瑞园, 丘红梅, 刘桂华 (2015) 水果中9种矿物质元素含量的电感耦合等离子体发射光谱测定法及其分布. 职业与健康 31(14), 1900-1902.
- 孔志明, 臧宇, 沈进萍, 罗屿, 钟远 (1999) 两种新型杀虫剂对蚯蚓精子形态的影响. 癌变. 畸变: 突变 1, 14-16.
- 李宝江, 林桂荣 (1994) 苹果矿质元素含量与果实品质的关系. 中国园艺学会首届青年学术讨论会论文集.
- 李成亮, 孔宏敏, 何园球 (2004) 施肥结构对旱地红壤有机质和物理性质的影响. 水土保持学报 18(6), 116-119.
- 李丹, 王秋玉 (2011) 变性梯度凝胶电泳及其在土壤微生物生态学中的应用. 中国农学通报 27(3), 6-9.
- 李东坡, 武志杰 (2008) 化学肥料的土壤生态环境效应. 应用生态学报 19(5), 1158-1165.
- 李合生 (2000) 植物生理生化实验原理和技术. 高等教育出版社, 北京.
- 李秀英, 赵秉强, 李絮花, 李燕婷, 孙瑞莲, 朱鲁生, 徐晶, 王丽霞, 李小平, 张夫道 (2005) 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系. 中国农业科学 38(8), 1591-1599.
- 李亚锋 (2013) 苹果钾素失调症的防止措施. 现代园艺 23, 98.
- 林先贵, 胡君利 (2008) 土壤微生物多样性的科学内涵及其生态服务功能. 土壤学报 45(5), 892-900.
- 林治安, 赵秉强, 袁亮, Hwart BS (2009) 长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响. 中国农业科学 42(8), 2809-2819.
- 刘汝亮, 同延安, 樊红柱, 赵营 (2007) 喷施锌肥对渭北旱塬苹果生长及产量品质的影响. 干旱地区农业研究, 25(3), 62-65.
- 楼骏, 柳勇, 李延 (2014) 高通量测序技术在土壤微生物多样性研究中的研究进展. 中国农学通报 30(15), 256-260.
- 鲁如坤 (2000) 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 128-129.
- 路克国, 朱树华, 张连忠 (2003) 有机肥对土壤理化性质和红富士苹果果实品质的影响. 石河子大学学报:自然科学版 7(3), 205-208.
- 罗学刚, 董鸣 (2001) 匍匐茎草本蛇莓克隆构型对土壤养分的可塑性反应. 生态学报 21(12), 1957-1963.
- 马克平, 刘玉明 (1994) 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(上). 生物多样性 3, 162-168.

- 马榕 (2002) 重视磷肥中重金属镉的危害. 磷肥与复肥 **17(6)**, 5-6.
- 马世铭, Sauerborn J (2004) 世界有机农业发展的历史回顾与发展动态. 中国农业科学 **37(10)**, 1510-1516.
- 马悦欣, Holmstrom C, Webb J, Kjelleberg S (2003) 变性梯度凝胶电泳 (DGGE) 在微生物生态学中的应用. 生态学报 **23(8)**, 1561-1569.
- 马卓 (2006) 中国有机农业发展现状、问题和对策. 中国农学通报 **22(11)**, 338-342.
- 聂继云, 丛佩华, 杨振锋, 李静, 张红军 (2005) 中国苹果生产农药使用调查报告. 中国农学通报 **21(9)**, 352-353.
- 聂继云, 董雅凤 (2002) 果园重金属污染的危害与防治. 中国果树 **1**, 44-47.
- 聂继云, 李静, 刘凤之, 徐国峰, 李海飞 (2009) 苹果农药最大残留限量标准研究. 浙江农业科学 **5**, 987-990.
- 庞荣丽, 何为华, 方金豹, 俞宏, 李君, 刘彦, 吴斯洋, 胡潇 (2006) 几种果品中硝酸盐和亚硝酸盐的含量. 果树学报 **23(4)**, 627-630.
- 彭波, 司树鼎, 栾炳辉, 王可伟, 王英姿 (2010) 山东省主要苹果产区苹果黄蚜抗药性水平监测. 中国果树 **5**, 48-51.
- 齐鸿雁, 薛凯, 张洪勋 (2003) 磷脂脂肪酸谱图分析方法及其在微生物生态学领域的应用. 生态学报 **23(8)**, 1576-1582.
- 乔玉辉, 曹志平, 王宝清, 徐芹 (2004) 不同培肥措施对低肥力土壤生态系统蚯蚓种群数量的影响. 生态学报 **24(4)**, 700-705.
- 乔云发, 苗淑杰, 韩晓增, 许艳丽 (2007) 不同土地利用方式对黑土农田酸化的影响. 农业系统科学与综合研究 **23(4)**, 468-470.
- 石俊雄, 郑少清, 刁朝强, 张明显, 郑伟才 (2004) 有机肥及施氮水平对烟叶质量和可用性的影响. 中国烟草科学 **25(2)**, 42-45.
- 史雅娟, 郭非凡, 孟凡乔, 吕永龙, 王铁宇, 张红 (2005) 果园土壤有机氯农药残留的时间趋势研究. 环境科学学报 **25(3)**, 313-318.
- 隋跃宇, 焦晓光, 高崇生, 程伟, 张兴义, 刘晓冰 (2009) 土壤有机质含量与土壤微生物量及土壤酶活性关系的研究. 土壤通报 **40(5)**, 1036-1039.
- 孙健, 张强, 刘松忠, 王小伟, 刘军, 魏钦平 (2013) 有机和常规苹果园的土壤微生物结构差异研究. 果树学报 **30(2)**, 230-234.
- 孙艳丽, 于喜波, 邢影辉, 刘春雷, 刘炳友 (2013) 除草剂分类及其在农林生产中实现科学选择的途径. 现代农业科技 **3**, 176.
- 唐晓敏 (2005) 土壤矿质元素对红富士苹果叶片矿质元素影响的研究. 河北农业大学.
- 汪红霞 (2014) 有机肥施用对土壤有机质变化及其组分影响的研究. 河北农业大学.
- 王国宏 (2004) 再论生物多样性与生态系统的稳定性. 生物多样性 **10(1)**, 126-134.
- 王海云 (2008) 土壤 pH 值对苹果生长发育影响及其酸害机理研究. 山东农业大学, 23-27.
- 王红茹 (2009) 化肥污染与防治. 内蒙古环境科学 **21(2)**, 15-17.
- 王立刚, 李维炯, 邱建军, 马永良, 王迎春 (2004) 生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究. 中国土壤与肥料 **5**, 12-16.
- 王清忠, 王次燕 (2004) 频振式杀虫灯诱杀苹果园害虫结果初报. 甘肃农业科技 **10**, 47-48.

- 王田利 (2013) 中国的有机苹果产业. 山西果树 **2**, 39-40.
- 王晓娟, 贾志宽, 梁连友, 韩清芳, 丁瑞霞, 杨保平, 崔荣美 (2012) 旱地施有机肥对土壤有机质和水稳性团聚体的影响. 应用生态学报 **23**(1), 159-165.
- 王旭东, 张一平, 吕家珑, 樊小林 (2000) 不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响. 中国农业科学 **33**(2), 75-81.
- 王彦华, 俞卫华, 杨立之, 苍涛, 俞瑞鲜, 王强, 赵学平 (2012) 22 种常用除草剂对蚯蚓 (*Eisenia fetida*) 的急性毒性. 生态毒理学报 **7**(3), 317-325.
- 韦友欢, 黄秋婵, 谢燕青 (2010) 农药残留对人体健康的危害效应及毒理机制. 广西民族师范学院学报 **27**(3), 9-12.
- 温慧敏, 陈晓辉, 董婷霞, 詹华强, 毕开顺 (2006) ICP-MS 法测定 4 种中药材中重金属含量. 中国中药杂志 **31**(16), 1314-1317.
- 吴春华, 陈欣 (2004) 农药对农区生物多样性的影响. 应用生态学报 **15**(2), 341-344.
- 吴建峰, 林先贵 (2003) 土壤微生物在促进植物生长方面的作用. 土壤 **35**(1), 18-21.
- 吴声敢, 王彦华, 吴长兴, 陈丽萍, 苍涛, 俞瑞鲜, 安雪花, 李岗, 赵学平 (2012) 6 种重金属对赤子爱胜蚓的急性毒性效应与风险评价. 生物安全学报 **21**(3), 221-228.
- 武天云, Schoenau JJ, 李凤民, 钱佩源, 张树清, Malhi SS, 王方 (2004) 土壤有机质概念和分组技术研究进展. 应用生态学报 **15**(4), 717-722.
- 向昌国, 张平究, 潘根兴, 邱多生, 储秋华 (2006) 长期不同施肥下太湖地区黄泥土蚯蚓的多样性、蛋白质含量与氨基酸组成的变化. 生态学报 **26**(6), 1667-1674.
- 谢永红 (2003) 农药污染对人体健康的危害. 四川农业科技 **11**, 30-31.
- 徐爱春 (2004) 红富士苹果叶片主要矿质元素与果实产质量关系的研究. 河北农业大学.
- 徐慧, 陈欣欣, 王永章, 刘成连, 原永兵 (2014) ‘富士’苹果果实矿质元素与品质指标的相关性与途径分析. 中国农学通报 **30**(25), 116-121.
- 徐永刚, 宇万太, 马强, 周桦 (2010) 长期不同施肥制度对潮棕壤肥力及微生物活性的影响. 生态学杂志 **29**(6), 1135-1142.
- 许小龙, 顾中言, 韩丽娟, 苏建坤, 刘琴, 张红梅 (2001) 小菜蛾对菊酯类农药抗性水平及高效农药应用研究. 生物安全学报 **10**(2), 86-90.
- 薛峰, 颜廷梅, 杨林章, 乔俊 (2010) 施用有机肥对土壤生物性状影响的研究进展. 中国生态农业学报 **18**(6), 1372-1377.
- 杨成方 (2009) 蚯蚓对土壤养分及微生物学特性的影响. 华南农业大学.
- 杨永华, 姚健, 华晓梅 (2000) 农药污染对土壤微生物群落功能多样性的影响. 微生物学杂志 **20**(2), 23-25.
- 姚洪渭, 叶恭银, 程家安 (2002) 同翅目害虫抗药性研究进展. 浙江农业学报 **14**(2), 63-70.
- 姚建仁, 郑永权, 董丰收 (2001) 浅谈农药残留污染、中毒与控制策略. 植物保护 **27**(3), 31-35.
- 姚健, 杨永华, 沈晓蓉, 陆维忠 (2000) 农用化学品污染对土壤微生物群落 DNA 序列多样性影响研究. 生态学报 **20**(6), 1021-1027.
- 叶优良, 张福锁, 于忠范, 姜学玲 (2002) 苹果粗皮病与锰含量的关系. 果树学报 **19**(4), 219-222.

- 尤民生, 刘雨芳, 侯有明 (2004) 农田生物多样性与害虫综合治理. 生态学报 **24(1)**, 117-122.
- 于娜, 邹琳琳, 孟红英 (2010) 蔬菜农药残留超标对人体健康的危害及预防. 现代农业科技 **4**, 381.
- 翟衡, 史大川, 束怀瑞 (2007) 我国苹果产业发展现状与趋势. 果树学报 **24(3)**, 355-360.
- 张建光, 刘玉芳 (2005) 欧盟成员国有机苹果生产情况. 西北园艺: 果树专刊 **1**, 38-40.
- 张磊, 宋凤斌, 崔良 (2006) 化肥施用对土壤中重金属生物有效性的影响研究. 中国生态农业学报 **14(4)**, 122-125.
- 张利, 刘红玉, 张慧, 曾光明, 刘婕丝, 张林达 (2008) 湖南东部地区稻田土壤中有机氯农药残留及分布. 环境科学研究 **21(1)**, 118-123.
- 张猛 (2008) 几种除草剂对花生—根瘤菌共生固氮的影响. 山东农业大学.
- 张喜林, 周宝库, 孙磊, 高中超 (2008) 长期施用化肥和有机肥料对黑土酸度的影响. 土壤通报 **39(5)**, 1221-1223.
- 张新生, 陈湖, 王召元, 付友 (2009) 世界有机苹果生产与科研进展. 河北果树 **3**, 4-5.
- 张新生, 熊学林, 周卫, 林葆 (1999) 苹果钙素营养研究进展. 中国土壤与肥料 **4**, 3-6.
- 张中一, 施正香, 周清 (2003) 农用化学品对生态环境和人类健康的影响及其对策. 中国农业大学学报 **8(2)**, 73-77.
- 章力建, 蔡典雄, 王小彬, 张建君, 金轲 (2005a) 农业立体污染及其防治研究的探讨. 中国农业科学 **38(2)**, 350-357.
- 章力建, 朱立志, 蔡典雄, 包菲 (2005b) 农业立体污染防治中循环经济的运作机制及模式. 农业技术经济 **3**, 2-5.
- 赵政阳 (2007) 陕西苹果质量安全影响因素及其控制研究. 西北农林科技大学.
- 郑华, 欧阳志云, 方治国, 赵同谦 (2004) BIOLOG 在土壤微生物群落功能多样性研究中的应用. 土壤学报 **41(3)**, 456-461.
- 周纯, 李武兴, 郭佩芬, 周学明 (2003) 绿肥配施化肥对苹果生长、产量和品质的影响. 山西果树 **1**, 6-7.
- 周东兴, 宁玉翠, 徐明明, 王兵 (2014) 蚯蚓粪对温室黑土土壤酶活性及细菌多样性的影响. 土壤通报 **4**, 835-840.
- 周世萍, 段昌群, 刘守庆, 杨发忠 (2014) 土壤中亚致死剂量毒死蜱对蚯蚓抗氧化防御系统酶活性的影响. 土壤学报 **51(2)**, 389-393.
- 周天华, 樊庆忠 (2008) 有机肥对红富士苹果生长及品质的影响. 中国土壤与肥料 **2**, 52-55.
- 朱建雯, 黄晓梅, 李宏宇 (2008) 4种有机磷农药对土壤 CO₂呼吸的影响及其危害性评价. 土壤通报 **39(2)**, 459-461.
- Altieri MA (1999) The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* **74**, 19-31.
- Amarante CVTD, Steffens CA, Mafra ÁL, Albuquerque JA (2008) Yield and fruit quality of apple from conventional and organic production systems. *Pesq. Agropec. Bras.* **43**, 333-340.
- Araújo ASF, Leite LFC, Santos VB, Carneiro RFV (2009) Soil Microbial Activity in Conventional and Organic Agricultural Systems. *Sustainability*. **1**, 268-276.
- Araújo ASF, Santos VB, Monteiro RTR (2008) Responses of soil microbial biomass and activity

- for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. *Eur. J. Soil Biol.* **44**, 225-230.
- Astier M, Merlín-Urbe Y, Villamil-Echeverri L, Garcíarreal A, Gavito ME, Masera OR** (2014) Energy balance and greenhouse gas emissions in organic and conventional avocado orchards in Mexico. *Ecol. Indic.* **43**(8), 281-287.
- Azadi H, Schoonbeek S, Mahmoudi H, Derudder B, De Maeyer P, Witlox F** (2011) Organic agriculture and sustainable food production system: main potentials. *Agric. Ecosyst. Environ.* **144**, 92-94.
- Bates ST, Berg-Lyons D, Caporaso JG, Walters WA, Knight R, Fierer N** (2010) Examining the global distribution of dominant archaeal populations in soil. *ISME J.* **5**, 908-917.
- Binet F, Fayolle L, Pussard M, Crawford JJ, Traina SJ, Tuovinen OH** (1998) Significance of earthworms in stimulating soil microbial activity. *Biol. Fertil. Soils* **27**, 79-84.
- Brookes PC, Landman A, Pruden G, Jenkinson DS** (1985) Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.* **17**, 837-842.
- Cameron W, S Franz B, Franco W, Heijden MGA** (2014) Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **111**, 5266-5270.
- Caporaso JG, Kuczynski J, Stombaugh J, Bittinger K, Bushman FD, Costello EK, Fierer N, Pena AG, Goodrich JK, Gordon JL, Huttley GA, Kelley ST, Knights D, Koenig JE, Ley RE, Lozupone CA, McDonald D, Muegge BD, Pirrung M, Reeder J, Sevinsky JR, Turnbaugh PJ, Walters WA, Widmann J, Yatsunenko T, Zaneveld J, Knight R** (2010) QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. *Nat. methods* **7**, 335-336.
- Chaoui HI, Zibilske LM, Ohno T** (2003) Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil. Biol. Biochem.* **35**, 295-302.
- Delate K, Mckern A, Turnbull R, Walker JTS, Volz R, White A, Bus V, Rogers D, Cole L, How N** (2008) Organic Apple Systems: Constraints and Opportunities for Producers in Local and Global Markets: Introduction to the Colloquium. *Hortscience* **43**, 6-11.
- DeSantis TZ, Hugenholtz P, Larsen N, Rojas M, Brodie EL, Keller K, Huber T, Dalevi D, Hu P, Andersen GL** (2006) Greengenes, a chimera-checked 16S rRNA gene database and workbench compatible with ARB. *Appl. Environ. Microbiol.* **72**, 5069-5072.
- Dubey JK, Nath A** (2005) Monitoring of apple for pesticide residue contamination-a survey report. *Acta Hort.* **696**, 441-447.
- Eddleston M, Bateman DN** (2007) Pesticides. *Medicine (Baltimore)* **35**, 646-648.
- Edgar RC, Haas BJ, Clemente JC, Quince C, Knight R** (2011) UCHIME improves sensitivity and speed of chimera detection. *Bioinformatics* **27**, 2194-2200.
- Fauci ME, Dick RP** (1994) Soil Microbial Dynamics: Short and Long-Term Effects of Inorganic and Organic Nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **58**, 801-806.

- FiBL, IFOAM** (2015) The world of organic agriculture: statistics and emerging trends 2015.
- Friedrich H, Delate K, Domoto P, Nonnecke G, Wilson L** (2003) Effect of Organic Pest Management Practices on Apple Productivity and Apple Food Safety. *Biol. Agric. Hortic.* **21**, 1-14.
- Fuller RJ, Norton LR, Feber RE, Johnson PJ, Chamberlain DE, Joys AC, Mathews F, Stuart RC, Townsend MC, Manley WJ, Wolfe MS, Macdonald DW, Firbank LG** (2005) Benefits of organic farming to biodiversity vary among taxa. *Biol. Lett.* **1**, 431-434.
- George J, Prasad S, Mahmood Z, Shukla Y** (2010) Studies on glyphosate-induced carcinogenicity in mouse skin: a proteomic approach. *J. Proteomics* **73**, 951-964.
- George J, Shukla Y** (2011) Pesticides and cancer: Insights into toxicoproteomic-based findings. *J. Proteomics* **74**, 2713-2722.
- Gibson R, Pearce S, Morris R, Symondson W, J** (2007) Plant diversity and land use under organic and conventional agriculture: a whole-farm approach. *J. Appl. Ecol.* **44**, 792-803.
- Haynes R, Naidu R** (1998) Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **51**, 123-137.
- Hill MO** (1973) Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology* **54**, 427-432.
- Hole DG, Perkins AJ, Wilson JD, Alexander IH, Grice PV, Evans AD** (2005) Does organic farming benefit biodiversity? *Biol. Conserv.* **122**, 113-130.
- Joergensen RG, Müller T** (1996) The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the value. *Soil. Biol. Biochem.* **28**, 33-37.
- Jovana M, Tanja M, Mirjana S** (2014) Effects of three pesticides on the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny1826) under laboratory conditions: Assessment of mortality, biomass and growth inhibition. *Eur. J. Soil Biol.* **62**, 127-131.
- Kibblewhite MG, Ritz K, Swift MJ** (2008) Soil health in agricultural systems. *Phil. Trans. R. Soc. B* **363**, 685-701.
- Kung WY, Hoover K, Cowles R, Trotter RT, Iii** (2015) Long-Term Effects of Imidacloprid on Eastern Hemlock Canopy Arthropod Biodiversity in New England. *Northeast Nat.* **22**, 40-55.
- Laetz CA, Baldwin DH, Collier TK, Hebert V, Stark JD, Scholz NL** (2009) The synergistic toxicity of pesticide mixtures: implications for risk assessment and the conservation of endangered Pacific salmon. *Environ. Health Perspect.* **117**, 348-353.
- Lee KE** (1985) Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use. *Academic Press, Orlando, FL*. 411.
- Lundberg DS, Yourstone S, Mieczkowski P, Jones CD, Dangl JL** (2013) Practical innovations for high-throughput amplicon sequencing. *Nat. methods* **10**, 999-1002.
- Luttikholt LWM** (2007) Principles of organic agriculture as formulated by the International Federation of Organic Agriculture Movements. *NJAS-Wagen. J. Life Sci.* **54**, 347-360.
- Mäder P, Fliessbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U** (2002) Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*. **296**, 1694-1697.

- Ma SM, Sauerborn J** (2006) Review of History and Recent Development of Organic Farming Worldwide. *Agr. Sci. China* **5**(3), 169-178.
- Magoc T, Salzberg SL** (2011) FLASH: fast length adjustment of short reads to improve genome assemblies. *Bioinformatics* **27**, 2957-2963.
- Margni M, Rossier D, Crettaz P, Jolliet O** (2002) Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* **93**, 379-392.
- Marinissen JCY, Ruiter PCD** (1993) Contribution of earthworms to carbon and nitrogen cycling in agro-ecosystems *Agric. Ecosyst. Environ.* **47**, 59-74.
- McArtney SJ, Walker JTS** (2004) Current situation and future challenges facing the production and marketing of organic fruit in Oceania. *Acta Hortic.* **10**, 387-396.
- Mon PN, Holland DW** (2005) Organic Apple Production in Washington State: An Input-Output Analysis. *Renew. Agr. Food Syst.* **21**, 134-141.
- Nechitaylo TY, Yakimov MM, Godinho M, Timmis KN, Belogolova E, Byzov BA, Kurakov AV, Jones DL, Golyshin PN** (2009) Effect of the earthworms *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea caliginosa* on bacterial diversity in soil. *Microb. Ecol.* **59**, 574-587.
- Nelson DW, Sommers LE, Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH** (1996) Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis Part—chemical Methods*, 961-1010.
- Peck GM, Andrews PK, Reganold JP, Fellman JK** (2006) Apple orchard productivity and fruit quality under organic, conventional, and integrated management. *Hortscience* **41**, 99-107.
- Peck GM, Andrews PK, Richter C, Reganold JP** (2005) Internationalization of the organic fruit market: The case of Washington State's organic apple exports to the European Union. *Renew. Agr. Food Syst.* **20**, 101-112.
- Pielou EC** (1969) An introduction to mathematical ecology. *Bioscience* **78**, 7-12.
- Pimentel D, Acquay H, Biltonen M, Rice P, Silva M, Nelson J, Lipner V, Giordano S, Horowitz A, D'Amore M** (1992) Environmental and economic costs of pesticide use. *Bioscience* **42**, 750-760.
- Poulsen ME, Naef A, Gasser S, Christen D, Rasmussen PH** (2009) Influence of different disease control pesticide strategies on multiple pesticide residue levels in apple. *J Hortic. Sci. Biotech.* **84**, 58-61.
- Purin S, Filho OK, Stürmer SL** (2006) Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. *Soil Biol. Biochem.* **38**, 1831-1839.
- Reganold JP, Glover JD, Andrews PK, Hinman HR** (2001) Sustainability of three apple production systems. *Nature* **410**, 926-930.
- Rigby D, Young T, Burton M** (2001) The development of and prospects for organic farming in the UK. *Food Policy* **26**, 599-613.
- Roussos PA, Gasparatos D** (2009) Apple tree growth and overall fruit quality under organic and conventional orchard management. *Sci Hortic.* **123**, 247-252.
- Sapp M, Harrison M, Hany U, Charlton A, Thwaites R** (2015) Comparing the effect of digestate

- and chemical fertiliser on soil bacteria. *Appl. Soil Ecol.* **86**, 1-9.
- Scofield AM** (1986) Organic farming-the origin of the name. *Biol. Agric. Hortic.* **4**, 1-5.
- Scullion J, Malik A** (2000) Earthworm activity affecting organic matter, aggregation and microbial activity in soils restored after opencast mining for coal. *Soil. Biol. Biochem.* **32**, 119-126.
- Shahla Y, Doris DS** (2007) Effect of pesticides on the reproductive output of *Eisenia fetida*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **79**, 529-532.
- Shannon D, Sen AM, Johnson DB** (2006) A comparative study of the microbiology of soils managed under organic and conventional regimes. *Soil Use Manage.* **18**, 274-283.
- Shi P, Wang SP, Jia SG, Gao Q** (2014) Effect of 25-year fertilization on soil microbial biomass and community structure in a continuous corn cropping system. *Arch. of Agron. & Soil Sci.* **61**, 1303-1317.
- Simon S, Bouvier JC, Debras JF, Sauphanor B** (2010) Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **30**, 139-152.
- Swezey SL, Werner MR, Buchanan M, Allison J** (2009) Comparison of conventional and organic apple production systems during three years of conversion to organic management in coastal California. *Am. J. Altern. Agric.* **13**, 162.
- Tshernyshev WB** (1995) Ecological pest management (EPM): general approaches. *J. Appl. Entomol.* **119**, 379-381.
- van der Werf HMG** (1996) Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agric. Ecosyst. Environ.* **60**, 81-96.
- Verhoog H, Bueren ETLV, Matze M, Baars T** (2007) The value of 'naturalness' in organic agriculture. *Njas-Wagen. J. Life Sci.* **54**, 333-345.
- Wang Q, Garrity GM, Tiedje JM, Cole JR** (2007) Naive Bayesian classifier for rapid assignment of rRNA sequences into the new bacterial taxonomy. *Appl. Environ. Microb.* **73**, 5261-5267.
- Wang XD, Zhang YP, Lü JL, Fan XL** (2000) Effect of Long Term Different Fertilization on Properties of Soil Organic Matter and Humic Acids. *Sci Agric Sin.* **33**, 75-81.
- Watanabe M, Ohta Y, Sun L, Motoyama N, Kikuchi J** (2015) Profiling contents of water-soluble metabolites and mineral nutrients to evaluate the effects of pesticides and organic and chemical fertilizers on tomato fruit quality. *Food Chem.* **169**, 387-395.
- Werner MR** (1997) Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. *Appl. Soil Ecol.* **5**, 151-167.
- Wu J, Joergensen RG, Pommerening B, Chaussod R, Brookes PC** (1990) Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction-an automated procedure. *Soil. Biol. Biochem.* **22**, 1167-1169.
- Xu H, Qian Y, Peng BZ, Jiang X, Hua XM** (2003) Environmental Pesticide Pollution and Its Countermeasures in China. *Ambio* **32**, 78-80.
- Yu C, Hu XM, Deng W, Li Y, Xiong C, Ye CH, Han GM, Li X** (2015) Changes in soil microbial community structure and functional diversity in the rhizosphere surrounding mulberry subjected to long-term fertilization. *Appl. Soil Ecol.* **86**, 30-40.

- Yussefi M, Willer H** (2003) The world of organic agriculture 2003: Statistics and future prospects. Statistics and emerging trends. *IFOAM, Bonn; FiBL, Fric; ITC* **10**, 17.
- Zaller JG, Heigl F, Ruess L, Grabmaier A** (2014) Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem. *Sci Rep.* **4**, 5634.
- Zhang HJ, Jia FQ, Zhang J, Li XJ** (2003) The Resistant Weeds of No Selective Herbicide-Paraquat. *Pestic. Sci. Adm.* **24**, 26-29.
- Zhang XT, Breksa AP, Mishchuk DO, Fake CE, O'Mahony MA, Slupsky CM** (2012) Fertilisation and pesticides affect mandarin orange nutrient composition. *Food Chem.* **134**, 1020–1024.

致 谢

香兰亭亭，临风皎皎，春日融融，万象更新。转眼间这已是在植物所度过的第五个春天。在这里求学和生活的岁月，让我的生命倍感充盈。在求学期间，我不仅培养了自己的科研能力和学习能力，也收获了宝贵的精神财富，在论文即将完成之际，心中感慨良多，对一路走来引领我、帮助我的导师、师长、同学感谢万千。

饮其流者怀其源，学有成时念吾师。本论文是在导师蒋高明研究员的悉心指导下完成的。在我硕博学习期间，科研上的每一点进步无不凝聚着恩师的心血。恩师对事业的无比执着、孜孜不倦的工作热情、严谨的治学态度、平易随和的待人方式、乐观向上的人生态度和心系民生的高尚品格深深地影响了我，并将鞭策我在今后的学习和工作中奋发努力，不断进取。恩师常与我们交流思想、畅所欲言，以“做人做事做学问 100 条”准则教育我们，给予我们为人处世方面的指导，令我受益终生。值此论文即将完成之际，谨向恩师表达最崇高的敬意和最诚挚的感谢！

在本研究立题和试验过程中，得到了中国科学院植物研究所郑延海副研究员、刘美珍副研究员、于顺利副研究员、山东农业大学宁堂原教授、杨洪强教授的指导和帮助，在此深表谢意！感谢植被与全球变化国家重点实验室刘伟老师、闫志丹老师、朱小琴老师和张淑敏老师在仪器使用方面给予的诸多帮助和热心指导。感谢植被与全球变化国家重点实验室赵志勇老师、韩文武老师、毛志宏老师以及研究生处赵宣老师、许心老师、李蕊梅老师、杨红娟老师给予的无私帮助！

特别感谢在试验过程中，课题组的师兄师姐师弟师妹们给予的无私帮助，没有他（她）们，实验就不会顺利完成。感谢师兄吴光磊、韦继光、李勇、李霄、郭立月、唐海龙、曾祥伟，师姐李彩虹、甄珍、李静、博文静、战丽杰，师弟刘海涛、李立君、梁啸天、王成栋、谷仙，师妹丁娜、虞晓凡、程达、徐磊、岑宇、宋彦洁以及留学生 Muhmud 在试验及生活中给予的帮助，特别感谢李立君师弟非常辛苦地帮助我完成了大量的剪枝、疏花疏果、灌溉等果园管理工作。同时也感谢大家在我生病时给予的关心与照顾，相伴如兄弟姐妹一样温暖的一家人，是我宝贵的人生财富。

感谢弘毅生态农场科研主任曾彦在试验田管理上提供的大量帮助和支持；感谢弘毅生态农场蒋高亮叔叔、周全艾阿姨给予的大力帮助，在试验站生活的日子得到了他们的辛苦照顾，在此一并表示衷心的感谢！感谢蒋胜林夫妇和蒋光远在果园日常管理中给予的帮助！

感谢中国农业大学孙振钧教授在蚯蚓鉴定方面给予的无私帮助！

感谢对论文进行盲审评阅的老师 and 答辩委员会的各位老师，感谢他们百忙之中抽出时间来审阅论文，并对我的论文给予宝贵的指导意见。

在求学道路上，家人一直是我坚强的后盾，给予我极大的理解、支持和鼓励，使我能有更多的精力投入到学习和科研工作中去。谁言寸草心，报得三春晖，感谢我的父亲母亲对我的辛劳养育和无私付出！感谢我的爱人朱海浩对我的无限包容、关怀与支持，陪伴我走过风雨阳光，给我前行的力量！

最后，再次向在我生活、学习和试验中给予无私帮助和支持的老师、同学、朋友和亲人们表达最诚挚的谢意！

孟杰

2016年3月 于北京香山

个人简历

基本信息:

姓名: 孟杰 民 族: 汉族
性别: 女 出生年月: 1987 年 4 月
籍贯: 山东枣庄 政治面貌: 中共党员

教育背景:

| | | | |
|-----------------|------------|--------|------|
| 2006.09-2010.07 | 鲁东大学 | 生物科学专业 | 理学学士 |
| 2010.09-2013.03 | 中国科学院植物研究所 | 生态学专业 | 理学硕士 |
| 2013.03-2016.07 | 中国科学院植物研究所 | 生态学专业 | 理学博士 |

在学期间发表论文:

Meng J, Li LJ, Liu HT, Li Y, Li CH, Wu GL, Yu XF, Guo LY, Cheng D, Muminov MA, Liang XT, Jiang GM (2016) Biodiversity management of organic orchard enhances both ecological and economic profitability. *Peer J*. Accepted.

Liu HT, Meng J, Bo W, Cheng D, Li Y, Guo LY, Li CH, Zheng YH, Liu MZ, Ning TY, Wu GL, Yu XF, Feng SF, Wuyun TN, Li J, Zeng Y, Liu S, Jiang GM (2016). Biodiversity management of organic farming enhances agriculture sustainability. *Sci Rep*. Accepted.

Li CH, Meng J, Guo LY, Jiang GM (2015). Effects of ozone pollution on yield and quality of winter wheat under flaxweed competition. *Environ. Exp. bot.* In press.

孟杰 (2014) 让苹果园告别农药. 高科技与产业化 **10(4)**, 71-73.

Zhen Z, Liu HT, Wang N, Guo LY, Meng J, Ding N, Wu GL, Jiang GM (2014). Effects of manure compost application on soil microbial community diversity and soil microenvironments in a temperate cropland in China. *PLoS One* **9(10)**.