

有机农业对蔬菜产量和品质影响的 Meta 分析

孙 铭^{1,2}, 杨宏博^{1,2}, 刘发波^{1,2}, 程艳莉^{1,2},
梁 涛³, 刘敦一^{1,2}, 陈新平^{1,2}, 王孝忠^{1,2}

(1. 长江经济带农业绿色发展中心·西南大学资源环境学院 重庆 400715;
2. 西南大学农业科学研究院 重庆 400715; 3. 重庆市农业科学院 重庆 401329)

摘要: 基于数据整合分析的方法, 系统分析了有机农业对不同地区蔬菜生产产量和品质的影响, 并揭示不同田间管理措施对其效果的影响。结果表明, 与常规农业相比, 有机农业能够降低蔬菜产量 14.5%, 同时显著提高蔬菜维生素 C 含量 34.8%, 提高可溶性糖含量 39.5%, 显著降低硝酸盐含量 32.2%。露地栽培管理方式下有机农业提高可溶性糖含量 46.3%, 提高幅度高于设施栽培。与其他类型蔬菜相比, 有机农业降低叶菜类蔬菜产量和硝酸盐含量以及提高可溶性糖含量的幅度均最高, 分别为 23.9%、34.3%、53.9%; 在不同施氮量条件下, 氮肥施用量 > 250 kg·hm⁻² 时, 有机农业提高蔬菜产量和维生素 C 含量幅度均最高, 分别为 4.9%、33.2%。相比于其他区域, 北美洲地区降低产量幅度最小, 为 11.4%。主成分分析表明, 土壤全氮含量和有机质含量是有机农业条件下促进蔬菜产量形成的主要因素, 土壤速效钾含量和 pH 值是提升蔬菜品质的主要因素。综上所述, 有机农业是提高蔬菜品质, 实现蔬菜绿色可持续发展的重要生产模式。

关键词: 蔬菜类型; 有机农业; 产量; 品质; 田间管理

中图分类号: S63

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)06-091-07

Effects of organic agriculture on vegetable yield and quality: a Meta-analysis

SUN Ming^{1,2}, YANG Hongbo^{1,2}, LIU Fabo^{1,2}, CHENG Yanli^{1,2}, LIANG Tao³, LIU Dunyi^{1,2}, CHEN Xinping^{1,2}, WANG Xiaozhong^{1,2}

(1. Agriculture Green Development Research Center of Yangtze River Economic Belt/College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Academy of Agricultural Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China; 3. Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329, China)

Abstract: In this study, we have conducted a meta-analysis to systematically analyze the effects of organic agriculture on vegetable production yield and quality among different regions, and indicated the effects of different field management measures. The results showed that organic agriculture could decrease vegetable yields (-14.5%), significantly increase vegetable Vitamin C (VC) content (34.8%) and soluble sugar content (39.5%), but significantly decrease nitrate content (-32.2%). Organic agriculture increased soluble sugar (46.3%) under open-field cultivation, which were higher than those under the conditions of greenhouse. Compared with other vegetable types, organic agriculture had the highest effect on decreasing the yield (-23.9%), nitrate content (-34.3%) and increasing soluble sugar content (53.9%) for leafy vegetables. Under different application amounts of nitrogen conditions, when application amounts of nitrogen were more than 250 kg·hm⁻², organic agriculture had the highest effect on increasing vegetable yield (4.9%) and VC content (33.2%). Compared to other regions, North America had the lowest yield reduction of 11.4%. Principal component analysis (PCA) showed that soil total nitrogen content and organic matter content were the main factors in promoting the increase of vegetable yields under organic agriculture, while soil available potassium content and soil pH were the main factors in promoting the increase of vegetable quality. In summary, organic agriculture is an important production model to improve the quality of vegetables and achieve the sustainable development of vegetables worldwide.

Key words: Vegetable species; Organic agriculture; Yield; Quality; Field management

收稿日期: 2022-12-28; 修回日期: 2023-03-25

基金项目: 国家自然科学基金区域创新发展联合基金项目(U20A2047); 西南大学博士启动基金项目(SWU118077)

作者简介: 孙 铭, 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为蔬菜专用有机无机复合肥料研发。E-mail: lydia_sunming@163.com

通信作者: 王孝忠, 男, 副教授, 主要研究方向为蔬菜养分资源管理和环境效应评价。E-mail: wxz20181707@swu.edu.cn

蔬菜生产发展十分迅速,2020年全球蔬菜播种面积达到2051万hm²,总产量为2.96亿t,是仅次于粮食的第二大农作物^[1]。在传统的栽培方式中,集约化蔬菜生产过量使用化肥导致表层土壤速效养分(氮、磷等)大量富集^[2]、次生盐渍化、养分损失量大、蔬菜品质和产量下降等一系列较为严重的问题^[3-4],严重制约着蔬菜产业的可持续发展^[5-7]。因此,寻求有效措施以实现蔬菜品质提升和降低环境代价对实现蔬菜绿色可持续发展至关重要。

有机农业是一种建立和恢复农业生态系统的生物多样性和养分循环、维持农业的可持续发展为核心的生产模式^[8]。有机农业已成为国际上研究的热点问题,已有大量研究表明,有机农业相比常规农业降低了蔬菜产量^[9-11]。Ponisio等^[12]研究表明,有机农业作物产量比传统农业的作物产量低19.2%,并且对不同作物的效果不同。前人这些研究主要聚焦于粮食作物系统^[13-15],对蔬菜作物的系统研究相对较少。近年来,关于有机农业对蔬菜作物体系的田间研究越来越多,这为量化系统评价提供了可能。有机农业中有机肥含有丰富的有机质,各种养分较全面,同时可以改善土壤理化性状,能够促进蔬菜品质提高^[16-17]。Koh等^[18]研究表明,有机农业菠菜抗坏血酸和类黄酮显著高于常规农业,而硝酸盐含量明显低于常规农业。陈玉珍等^[19]研究表明,有机农业栽培下的莴苣、芹菜中维生素C、可溶性糖、可溶性蛋白质含量均显著高于常规农业。受田间管理方式、区域土壤特性、作物种类和氮肥用量等多种因素的影响,有机农业在蔬菜田间的应用效果有很大的差异。De Pascale等^[20]研究表明,不施氮肥情况下,常规农业与有机农业的番茄产量没有显著差异,而随着氮肥施用量的增加,有机农业番茄产量显著降低。以前的研究重点基于田块尺度,比较关注有机农业对产量或品质等单一指标的影响,对产量和品质的综合影响以及在不同农业生产条件下的有机农业应用效果的探究尚不清楚。因此,亟需系统评价有机农业在蔬菜不同田间生产条件下的应用效果,对推广有机蔬菜生产方式具有重要的指导意义。

笔者运用整合分析的方法,系统量化有机农业对不同地区蔬菜产量和品质的综合影响,同时,阐明区域土壤特性、氮肥用量、栽培方式和蔬菜类型等因素对其应用效果的影响,进而明确其关键驱动因子,对指导有机农业在蔬菜生产系统合理应用有借鉴意义。

1 材料与方法

1.1 数据收集及筛选

从中国知网、万方数据库和web of SCI 3个数据库收集数据,以有机、常规、蔬菜、产量为关键词,检索了截至2022年3月之前公开发表的有机农业对蔬菜生长相关的文献,并进行筛选,标准为:(1)文献中必须包括了有机蔬菜和常规蔬菜对照处理;(2)试验数据中必须含有蔬菜产量指标或者品质指标;(3)有机处理是经认证的有机处理或遵循有机认证标准;(4)有机和常规处理的时间尺度和空间尺度是一样的;(5)有机和常规处理的试验条件为田间试验。基于以上标准共收集91篇期刊论文,其中405项研究数据符合标准。在收集数据过程中,如果数据是以图的形式展示,则采用GetDate Graph Digitizer 2.24软件来获取。收集的内容包括:作者、标题、栽培类型、试验时间、土壤类型、土壤pH值、有机质含量、土壤总氮含量、产量、施肥量、维生素C含量、硝酸盐含量、可溶性糖含量等。维生素C含量、硝酸盐含量及可溶性糖含量是衡量蔬菜品质的重要指标,其含量的高低决定蔬菜的口味和营养价值。

为明确影响有机农业应用效果的主要驱动因素,笔者将这些驱动因子划分为地区、蔬菜类型、田间管理措施(栽培类型、氮肥用量),具体分类见表1。其中地区分为亚洲、北美洲、南美洲、欧洲和非洲。蔬菜类型主要分成叶菜类、瓜果类、块根类、茄果类和其他蔬菜类这5类。叶菜类蔬菜主要包括菠菜、生菜和白菜等;瓜果类蔬菜主要包括黄瓜、苦瓜和南瓜等;块根类蔬菜主要是马铃薯、胡萝卜和萝卜等;茄果类蔬菜主要包括番茄、辣椒和茄子等;其他蔬菜类主要包括西蓝花、菜豆和花椰菜等。

表1 数据分类

地区	田间管理措施		蔬菜类型
	栽培类型	N肥用量/(kg·hm ⁻²)	
亚洲	设施	<150	叶菜类
北美洲	露地	150~250	瓜果类
南美洲		>250	块根类
欧洲			茄果类
非洲			其他蔬菜类

1.2 数据分析

试验中的效应值使用自然对数的反应比:

$$RR = \ln\left(\frac{X_t}{X_c}\right) = \ln(X_t) - \ln(X_c); \quad (1)$$

式中, X_t 表示有机农业处理(处理组)的平均值, X_c 表示常规农业处理(对照组)的平均值。

另外, 权重(ω)、权重响应比(meanRR)、meanRR的标准误、95%的置信区间(CI)和由有机农业引起既定变量的变化率(C)可通过下计算:

$$\omega = \frac{1}{\frac{S_t^2}{n_t \times X_t^2} + \frac{S_c^2}{n_c \times X_c^2}}; \quad (2)$$

$$\omega = \frac{n_t \times n_c}{n_t + n_c}; \quad (3)$$

$$\text{meanRR} = \frac{\sum_{i=1}^j \omega_i \times RR_i}{\sum_{i=1}^j \omega_i}; \quad (4)$$

$$S(\text{meanRR}) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^j \omega_i}}; \quad (5)$$

$$95\%CI = \text{meanRR} \pm 1.96S(\text{meanRR}); \quad (6)$$

$$C = (e^{RR} - 1) \times 100\%。 \quad (7)$$

式中, S_t 和 S_c 分别表示处理组的标准差和对照组的标准差; n_t 和 n_c 分别表示处理组和对照组的样本量; 如果一些研究中没有给出相应的标准差, 则以公式(3)计算权重。并运用 Prism 9 作随机森林图。若效应值 95%的置信区间大于 0, 则说明产生了正效应, 表明有机农业显著提高了蔬菜的产量或品质; 若效应值 95%的置信区间小于 0, 则说明产生了负效应, 表明有机农业显著降低了蔬菜的产量或品质; 若置信区间包含 0, 则说明有机农业对蔬菜的产量或品质无显著影响。利用主成分分析(PCA), 采用 Origin2018 软件分析了土壤理化性质与蔬菜品质和产量的关系。

2 结果与分析

2.1 蔬菜产量和品质综合效应

由图 1 可以看出, 与常规农业相比, 有机农业蔬菜产量显著降低 14.5%(95%置信区间: -23.2%~ -4.9%), 蔬菜维生素 C 含量显著提高 34.8%(95%置信区间: 10.6%~64.4%), 可溶性糖含量显著提高 39.5%(95%置信区间: 13.9%~71.0%), 同时蔬菜中硝酸盐含量显著降低 32.2%(95%置信区间: -43.0%~-19.4%)。

2.2 不同生产条件下有机农业对蔬菜产量效应的影响

由图 2 可以看出, 与常规农业相比, 有机农业

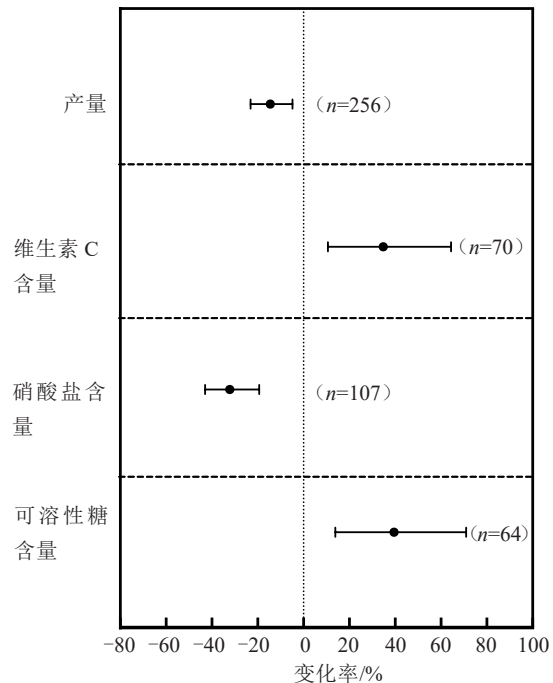
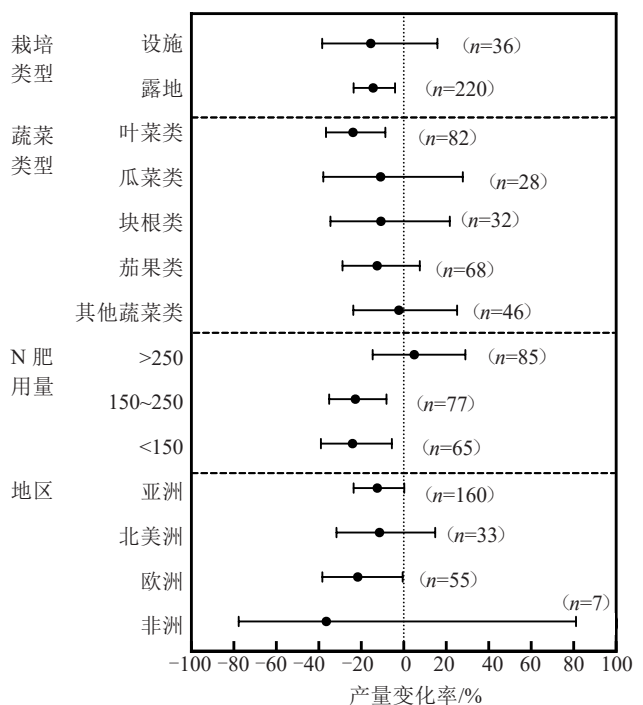


图 1 有机农业对蔬菜产量和品质的影响

在设施和露地两种管理方式下分别降低蔬菜产量 15.5%和 14.4%, 设施和露地间差异不明显。就蔬菜类型而言, 有机农业分别降低叶菜类、瓜菜类、块根类、茄果类、其他蔬菜类蔬菜产量 23.9%、10.9%、10.7%、12.5%、2.3%, 其中叶菜类和茄果类蔬菜降低产量幅度较高。在不同施氮量条件下, 当施氮量 $<150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $150 \sim 250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 分别显著降



注: N 肥用量单位为 $\text{kg} \cdot \text{hm}^2$ 。下同。

图 2 有机农业在不同生产条件下对蔬菜产量的影响

低蔬菜产量 24.1% 和 22.7%，而当氮肥施用量 $>250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时，蔬菜增产幅度为 4.9%。在不同地区，有机农业分别降低欧洲、亚洲、北美洲和非洲地区产量 21.7%、12.4%、11.4%、36.5%。

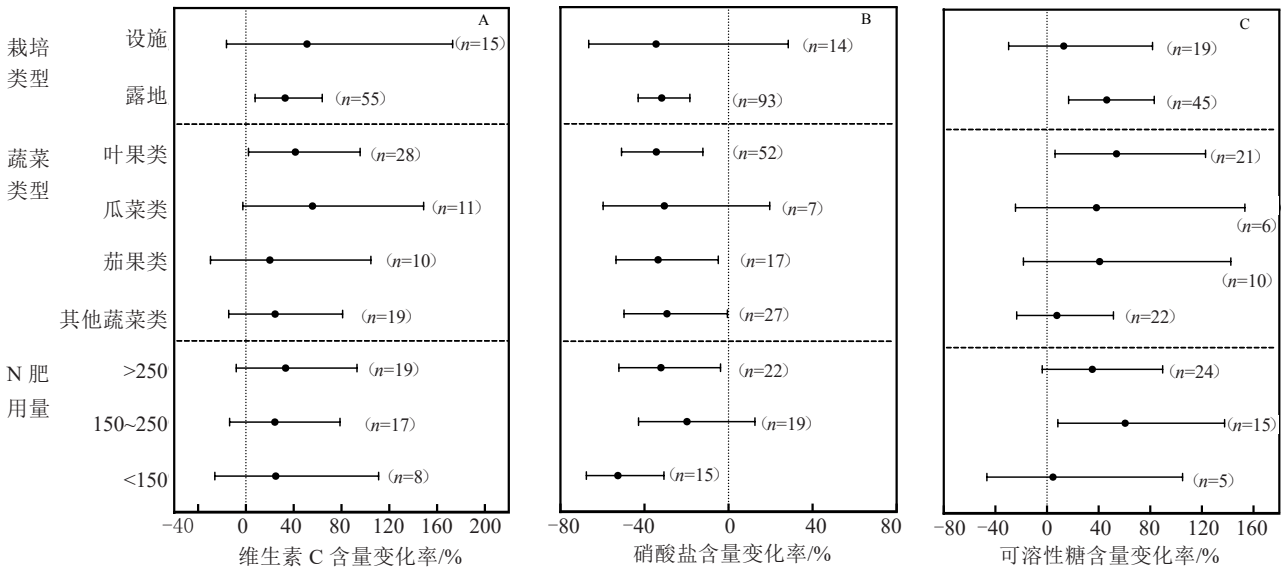
2.3 不同生产条件下有机农业对蔬菜品质效应的影响

由图 3-A 可以看出，与常规农业相比，有机农业在设施和露地两种管理方式下，蔬菜维生素 C 含量分别提高 51.2% 和 32.9%。就蔬菜类型而言，有机农业分别提高叶菜类、瓜果类、茄果类、其他蔬菜类蔬菜维生素 C 含量 41.4%、55.7%、20.1%、24.5%，其中对瓜果类提升效果最好。当施氮量 $<150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $150 \sim 250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $>250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时，

蔬菜维生素 C 含量分别提高 25.0%、24.3% 和 33.2%。

由图 3-B 可以看出，与常规农业相比，有机农业降低设施蔬菜硝酸盐含量幅度(34.4%)高于露地蔬菜(31.8%)。就蔬菜类型而言，有机农业降低叶菜类、茄果类和其他蔬菜类蔬菜硝酸盐含量效果显著，分别降低 34.3%、33.5% 和 29.3%。在不同施氮量条件下，当氮肥施用量 $<150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $>250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时，有机农业降低蔬菜硝酸盐含量效果显著，分别降低 52.6% 和 32.1%。

由图 3-C 可以看出，与常规农业相比，有机农业对提高露地蔬菜可溶性糖含量(46.3%)效果高于设施蔬菜(13.0%)。就蔬菜类型而言，有机农业显



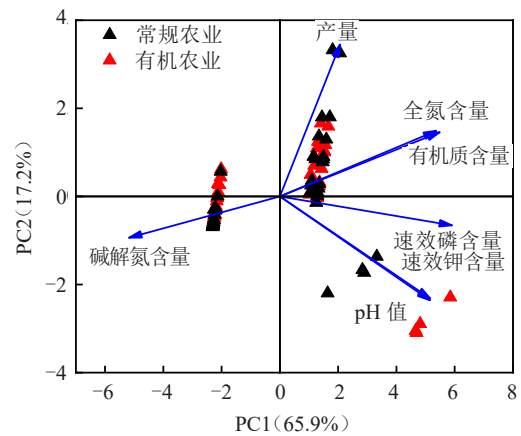
注：有关不同地区和块根类蔬菜维生素 C、硝酸盐和可溶糖含量的数据量较少，故不做统计分析。

图 3 有机农业在不同生产条件下对蔬菜维生素 C 含量(A)、硝酸盐含量(B)和可溶性糖含量(C)的影响

著提高叶菜类蔬菜可溶性糖含量 53.9%，提升效果高于瓜果类(38.4%)、茄果类(40.8%)和其他蔬菜类蔬菜(7.7%)。在不同施氮量条件下，当施氮量 $150 \sim 250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时，有机农业提高蔬菜可溶性糖含量幅度最高(60.6%)。

2.4 蔬菜产量和品质因素分析

利用主成分(PCA)分析了在有机农业中，土壤 pH 值、土壤全氮含量(TN)、有机质含量(SOM)、速效磷、速效钾和碱解氮含量与蔬菜产量的关系。由图 4 可知，主成分分析筛选出前两个主成分，累积方差为 83.1%。通过主成分分析发现，土壤中的全氮含量和有机质含量是影响蔬菜产量的主要因素，并且全氮含量和有机质含量与蔬菜产量呈正相关性。但有机农业条件下速效磷含量和蔬菜产量的关系正相关性较弱。土壤中速效钾含量、pH 值、碱



注：若响应变量和解释变量的夹角小于 90°，则表示存在正相关关系；若响应变量和解释变量的夹角大于 90°，则表示存在负相关关系。下同。

图 4 有机农业条件下土壤理化性质和蔬菜产量的主成分分析

解氮含量与蔬菜产量都呈负相关关系。

利用主成分(PCA)分析了在有机农业中,土壤pH值、土壤全氮含量(TN)、有机质含量(SOM)、速效磷、速效钾和碱解氮含量与蔬菜维生素C含量、硝酸盐和可溶性糖含量的关系。由图5可以看出,主成分分析筛选出前两个主成分,累积方差分别为77.2%、81.8%和85.0%。通过主成分分析发现,土

壤中的速效钾含量和pH值是影响蔬菜维生素C、硝酸盐和可溶性糖含量等品质的主要因素,且速效钾含量和pH值与蔬菜维生素C、硝酸盐和可溶性糖含量呈正相关性。然而,有机农业条件下速效钾与硝酸盐和可溶性糖含量的关系正相关性较弱。土壤中全氮含量和有机质含量与蔬菜维生素C、硝酸盐呈负相关关系。

3 讨论与结论

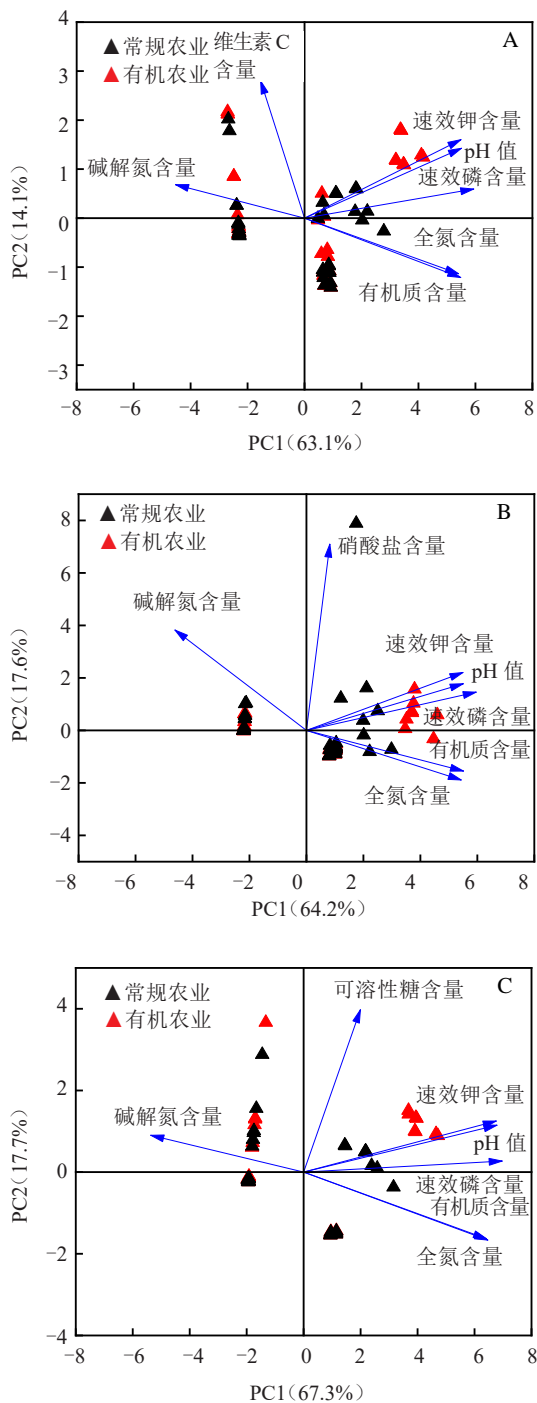
3.1 有机农业对蔬菜产量和品质的影响

有机农业主要是通过有机肥以及与豆科作物的轮作等农业措施来维持和提高土壤肥力。有机肥的施用不仅可以为蔬菜生长提供相应的养分,同时可以改善土壤理化性状、保持土壤养分平衡,从而促进蔬菜生长发育及品质性状的改善^[21]。笔者的研究结果表明,与常规农业相比,有机农业蔬菜产量降低了14.5%,这与前人研究结果一致^[22]。Ponisio等^[12]通过meta分析表明,有机农业蔬菜产量比传统管理的蔬菜产量低20.7%。有机农业中有机肥养分含量相比化肥较低,肥力发挥较慢,蔬菜生长周期短且为高养分吸收作物,在植株旺盛生长期,有机肥不能及时满足作物的需求^[23],因此对蔬菜的产量存在一定的负向效应,导致了产量的下降^[24]。

尽管有机农业能够降低蔬菜产量,但由于有机农业中有机肥养分含量丰富,可改善蔬菜品质。笔者的研究结果显示,有机农业蔬菜维生素C含量和可溶性糖含量分别提高了34.8%和39.5%,同时,显著降低蔬菜硝酸盐含量32.2%,与前人的研究结果一致^[25]。有机农业中有机肥除了含有作物生长所需的大量元素以外,还含有大量微量元素、有机物和微生物等,营养供给更加全面、均衡,可促进蔬菜维生素C、可溶性糖等物质的合成^[26]。可溶性糖含量是品质性状的重要指标^[27],可溶性糖是许多植物的渗透调节剂^[28],也是碳水化合物贮藏的主要形式。有机农业中有机肥对蔗糖代谢相关酶活性的积极作用,影响了蔬菜对碳水化合物的吸收,从而提高了蔬菜的可溶性糖含量^[29]。作物硝酸盐含量与土壤矿质氮的含量呈正相关,有机肥料中含有较多的酚、糖、醛类化合物及羧基,可对肥料中的 NH_4^+ 进行吸附和固定,抑制 NH_4^+ 的硝化作用,减少硝态氮的形成^[30-31]。

3.2 不同生产条件下有机农业对蔬菜产量和品质的影响

受田间管理方式、区域土壤特性、作物种类和



注:A,B和C分别为蔬菜维生素C含量、硝酸盐含量和可溶性糖含量与土壤理化性质的主成分分析。

图5 有机农业条件下土壤理化性质和蔬菜品质的主成分分析

氮肥用量等多种因素的影响,有机农业在蔬菜田间的应用效果有很大的差异。在不同氮肥用量下,有机农业对蔬菜的增产效应有所差异。笔者的研究结果表明,有机农业条件下,随着氮肥用量增加,蔬菜增产效应呈增强的趋势。Golubkina 等^[32]研究得出,有机农业洋葱产量随氮肥施用量的增加而不断提高,这与笔者的研究结果相一致。可能原因在于,随着有机肥施用量的增加,土壤有机质含量不断提高,同时改善土壤理化性状并增强了土壤持续供应养分的能力,有利于蔬菜的生长发育。从不同蔬菜类型来看,有机农业条件下降低叶菜类蔬菜的产量效应高于其他蔬菜。叶菜类蔬菜较其他蔬菜种类生育期短,而有机农业中有机肥的氮素释放则是一个较为缓慢的过程,前期养分浓度低,无法满足叶菜类蔬菜营养需求,因此叶菜类蔬菜产量低于其他蔬菜种类。从不同地区来看,有机农业条件下,北美洲蔬菜产量降低幅度最小。这可能是由于北美洲地区国家先进的科学技术及管理经验,在有机农业发展方面遥遥领先于其他洲的国家^[33]。

在不同氮肥用量下,有机农业对提升蔬菜品质效应有所差异。笔者研究中施氮量 $<150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,降低硝酸盐含量效应高于其他施氮量,而施氮量为 $150\sim 250\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时提升可溶性糖含量效应高于其他施氮量。Golubkina 等^[32]研究得出,有机农业下随着氮肥施用量的增加,洋葱硝酸盐含量呈现不断增长的趋势。王凤文^[34]的研究表明,有机肥用量为适量时,辣椒的可溶性糖含量最高,其后随有机肥用量增加可溶性糖含量降低,这与笔者的研究结果相一致。可能是由于随着施氮量增加,有机农业降低蔬菜硝酸盐含量和提升可溶性糖含量效果受到抑制。从不同蔬菜类型来看,有机农业条件下提升叶菜类蔬菜可溶性糖含量和降低硝酸盐含量效应高于其他类蔬菜,这与马超等^[35]发现有机农业提高叶菜类蔬菜可溶性糖含量效应高于瓜果类蔬菜的结果相一致。可能是叶菜类蔬菜土壤中 pH 值和速效钾含量较其他蔬菜高。笔者的研究结果表明,有机农业条件下土壤速效钾含量和 pH 值与蔬菜品质呈正相关关系。从不同栽培类型来看,有机农业在露地栽培中的提升可溶性糖含量效应要高于设施栽培,原因可能是设施蔬菜以茄果类蔬菜为主、露地蔬菜以叶菜类蔬菜为主。笔者的研究结果表明,有机农业对提高茄果类蔬菜可溶性糖含量效应低于叶菜类蔬菜。

3.3 不确定性分析

笔者基于 Meta 分析的研究方法,综合量化了有机农业在不同生产条件下对蔬菜产量和品质的影响程度。然而,该研究也存在一些不确定性。(1)相比于其他作物系统,有机农业在不同地区应用于蔬菜生产的样本量相对较少,且区域分布差异大。(2)有机农业在不同栽培方式及不同蔬菜类型下应用于蔬菜生产样本量不均匀,导致比较有机农业不同栽培方式和蔬菜类型的田间应用效果差异时,准确性降低。(3)目前针对有机农业蔬菜品质及其评价指标的研究相对较少,也会给该研究带来一定的不确定性。因此,为更准确的评价有机农业对不同地区蔬菜产量和品质影响,未来需要在更多区域、更多蔬菜类型开展系统全面研究。

在不同地区蔬菜生产系统中,有机农业能够显著降低 14.5% 的蔬菜产量,同时显著提高 34.8% 的蔬菜维生素 C 含量,提高 39.5% 的可溶性糖含量,显著降低 32.2% 的硝酸盐含量。

在不同的栽培类型中,有机农业在露地栽培管理方式下提高可溶性糖含量的效果优于设施栽培。在所有蔬菜类型中,有机农业降低蔬菜产量和硝酸盐含量、提高可溶性糖含量幅度最高的均为叶菜类蔬菜,降低叶菜类蔬菜产量 23.9%,降低硝酸盐含量 34.3%,提高叶菜类蔬菜可溶性糖含量 53.9%。在不同施氮量条件下,当氮肥施用量 $>250\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,提高蔬菜产量和维生素 C 含量幅度最高。在不同地区条件下,北美洲地区降低产量幅度最小,为 11.4%。

土壤全氮含量和有机质含量是有机农业条件下促进蔬菜产量形成的主要因素,土壤速效钾含量和 pH 值是提升蔬菜品质的主要因素。

参考文献

- [1] FAO . Food and agriculture organization of the united nations[DB/OL]. (2021-02-22)[2022-7-14]. <http://www.fao.org/faostat>.
- [2] LU M, POWLSON D S, LIANG Y, et al. Significant soil degradation is associated with intensive vegetable cropping in a subtropical area: A case study in southwestern china[J]. *Soil*, 2021, 7(2):333-346.
- [3] 张学军, 赵营, 陈晓群, 等. 滴灌施肥中施氮量对两年蔬菜产量、氮素平衡及土壤硝态氮累积的影响[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(11):2535-2545.
- [4] 王娟娟. 我国蔬菜施肥现状调查研究[J]. *中国农技推广*, 2016, 32(6):11-13.
- [5] SHI W M, YAO J, YAN F. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidifi-

- cation and salinity of soils and groundwater contaminations in south-eastern China[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 83(1):73-84.
- [6] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327 (5968) : 1008-1010.
- [7] 黄绍文,唐继伟,李春花,等.我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(6):1480-1493.
- [8] 刘霓红,蒋先平,程俊峰,等.国外有机设施园艺现状及对中国设施农业可持续发展的启示[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(15): 1-9.
- [9] DE PONTI T, RIJK B, VAN ITTERSUM M K. The crop yield gap between organic and conventional agriculture[J]. *Agricultural Systems*, 2012, 108: 1-9.
- [10] SEUFERT V, RAMANKUTTY N, FOLEY J A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture[J]. *Nature*, 2012, 485:229-232.
- [11] WILBOIS K P, SCHMIDT J E. Reframing the debate surrounding the yield gap between organic and conventional farming[J]. *Agronomy-Basel*, 2019, 9(2):82.
- [12] PONISIO L C, M'GONIGLE L K, MACE K C, et al. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2015, 282(1799):20141396.
- [13] RYAN M H, DERRICK J W, DANN P R. Grain mineral concentrations and yield of wheat grown under organic and conventional management[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2004, 84(3):207-216.
- [14] GABRIEL D, SAIT S M, KUNIN W E, et al. Food production vs. biodiversity: comparing organic and conventional agriculture [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2013, 50(2):355-364.
- [15] CAMPIGLIA E, MANCINELLI R, DE STEFANIS E, et al. The long-term effects of conventional and organic cropping systems, tillage managements and weather conditions on yield and grain quality of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the mediterranean environment of central italy[J]. *Field Crops Research*, 2015, 176:34-44.
- [16] 徐胜光,廖新荣,蓝佩玲,等.供肥模式对永久性菜地豇豆产量和品质的影响[J]. *云南农业大学学报*, 2005, 20(1):45-50.
- [17] 周焱,罗安程.有机肥对大棚蔬菜品质的影响[J]. *浙江农业学报*, 2004, 16(4):36-38.
- [18] KOH E, CHAROENPRASERT S, MITCHELL A E. Effect of organic and conventional cropping systems on ascorbic acid, vitamin C, flavonoids, nitrate, and oxalate in 27 varieties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(12):3144-3150.
- [19] 陈玉珍,和文龙,程慧林,等.有机与常规设施栽培下2种绿叶菜产量和品质的比较研究[J]. *江苏农业科学*, 2010, (4):155-157.
- [20] DE PASCALE S, MAGGIO A, ORSINI F, et al. Cultivar, soil type, nitrogen source and irrigation regime as quality determinants of organically grown tomatoes[J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 199:88-94.
- [21] 蔡莉莉.有机、特别和常规栽培方式下几种蔬菜产量、品质及土壤理化性质的研究[D].南京:南京农业大学,2008.
- [22] POLAT E, DEMIR H, ONUS A N. Comparison of some yield and quality criteria in organically and conventionally-grown lettuce[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2008, 7 (9) : 1235-1239.
- [23] 弓建国,穆俊祥,曹新民.氮磷钾有机肥配合施用对马铃薯产量和品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(17):7935-7937.
- [24] 夏思瑶,王冲,王新宇.施用有机肥对生菜产量和品质影响的Meta分析[J]. *中国土壤与肥料*, 2021, (6):312-318.
- [25] 沈茂华,和文龙,严少华,等.有机栽培、特别栽培对4种蔬菜产量和品质的影响[J]. *江苏农业学报*, 2010, 26(4):729-734.
- [26] 刘沙沙,李兵,张古彬,等.猪粪有机肥替代化肥对黄淮地区油麦菜品质及养分利用的影响[J]. *广东农业科学*, 2019, 46(8): 71-79.
- [27] WEGENER C B, JANSEN G, JURGENS H U, et al. Special quality traits of coloured potato breeding clones: anthocyanins, soluble phenols and antioxidant capacity[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2009, 89(2):206-215.
- [28] THORBURN P J, BIGGS J S, WEBSTER A J, et al. An improved way to determine nitrogen fertiliser requirements of sugarcane crops to meet global environmental challenges[J]. *Plant and Soil*, 2011, 339(1/2):51-67.
- [29] FENG X, XU Y Q, LIU D, et al. Effects of organic cultivation pattern on tomato production: plant growth characteristics, quality, disease resistance, and soil physical and chemical properties[J]. *Acta Scientiarum Polonorum- Hortorum Cultus*, 2020, 19 (1) : 71-84.
- [30] STEINGROVER E, WOLDENDORP J, SIJTSMA L. Nitrate accumulation and its relation to leaf elongation in spinach leaves[J]. *Journal of Experimental Botany*, 1986, 37(181):1093-1102.
- [31] TARKALSON D D, JOLLEY V D, ROBBINS C W, et al. Mycorrhizal colonization and nutrition of wheat and sweet corn grown in manure-treated and untreated topsoil and subsoil[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1998, 21(9):1985-1999.
- [32] GOLUBKINA N, AMALFITANO C, SEKARA A, et al. Yield and bulb quality of storage onion cultivars as affected by farming system and nitrogen dose[J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 293:110751.
- [33] 纪霞.中美有机农业发展的比较研究与启示[J]. *农业经济*, 2016(4):12-14.
- [34] 王凤文.有机肥料对保护地辣椒品质的影响[J]. *北方园艺*, 2006(4):33-34.
- [35] 马超,李晓慧,班甜甜,等.有机栽培与常规栽培蔬菜的营养品质分析比较[J]. *作物杂志*, 2021(5):166-171.