

# 有机无机肥料配施对叶菜产量和品质影响的 Meta 分析

于 点, 蒋 伟, 王 冲

(中国农业大学资源与环境学院 北京 100193)

**摘要:** 为了对叶菜的绿色生产及提质增效结果提供数据支撑, 采用 Meta 分析方法, 定量分析有机无机肥料配施对我国叶菜产量和品质的综合效应。通过文献检索和筛选(2000—2020 年), 共从 43 篇文献中获得 166 组数据。结果表明, (1) 与单施化肥相比, 有机无机肥料配施可提高叶菜单株鲜质量 10.57%、每  $\text{hm}^2$  产量 7.44%、维生素 C 含量 ( $w$ , 后同) 13.43%、可溶性糖含量 10.57%、可溶性蛋白含量 22.58%、氨基酸含量 7.59%、可溶性固形物含量 7.55%, 降低叶菜硝酸盐含量 20.82%、亚硝酸盐含量 23.78%、SPAD 2.82%。(2) 动物源有机肥、植物源有机肥、动植物混合源有机肥配施化肥对叶菜的增产率分别为 13.09%、8.17%、15.41%。与其他肥料相比, 动物源有机肥配施化肥更有利于提高叶菜品质。(3) 有机无机肥料配施可使普通类叶菜、结球类叶菜、辛香味叶菜产量分别提高 5.63%、11.32%、2.59%。(4) 有机无机肥料配施在露地栽培和保护地栽培条件下均可实现叶菜增产, 增产率分别为 12.70%、13.11%, 但在露地栽培条件下更有利于改善叶菜品质。

**关键词:** 叶菜; 有机无机肥料配施; 产量; 品质; Meta 分析

中图分类号: S63+S506.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)06-016-06

## Meta analysis on the effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of leafy vegetables

YU Dian, JIANG Wei, WANG Chong

(College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** To provide data support for the green production and the results of improving quality and efficiency of leaf vegetables, we used the Meta analysis to quantitatively analyze the comprehensive effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of leafy vegetables in China. Through literature retrieval and screening (from 2000 to 2020), 166 sets of data were obtained from 43 literatures. The results suggested that compared with single application of chemical fertilizer, the combined application of organic and inorganic fertilizers could increase the fresh quality by 10.57%, yield by 7.44%, vitamin C by 13.43%, soluble sugar by 10.57%, soluble protein by 22.58%, amino acid by 7.59%, soluble solids by 7.55%, reducing leafy vegetables nitrate by 20.82%, nitrous acid by 23.78%, and SPAD by 2.82%. The yield increase rates of animal manure based organic fertilizers, plant-based organic fertilizers and mixed organic fertilizer combined with chemical fertilizer were 13.09%, 8.17% and 15.41%, respectively. Compared with other fertilizers, animal manure organic fertilizer combined with chemical fertilizer was more conducive to improving the quality of leaf vegetables. The combined application of organic and inorganic fertilizers could increase the yields of common leafy vegetables, heading leafy vegetables and pungent leafy vegetables by 5.63%, 11.32%, and 2.59%, respectively. The combination of organic and inorganic fertilizers could increase the yield of leafy vegetables under the conditions of open field cultivation and protected cultivation, and the yield increase rates were 12.70% and 13.11%, respectively. However, it was more conducive to improve the quality of leafy vegetables under the condition of open field cultivation.

**Key words:** Leafy vegetables; Combined application of organic and inorganic fertilizers; Yield; Quality; Meta analysis

叶菜是以菜叶和叶柄为食用对象的一类蔬菜, 含有丰富的碳水化合物、维生素和无机盐等营养成分<sup>[1]</sup>。中国是叶菜类蔬菜生产种类和品种最为丰富的国家<sup>[2]</sup>。随着生活水平的不断提高, 人们对叶菜

收稿日期: 2021-10-15; 修回日期: 2022-05-08

基金项目: 科技支撑乡村振兴——科技小院双新双创科技示范工程(Z201100008020017)

作者简介: 于 点, 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为养分资源管理。E-mail: 492359277@qq.com

通信作者: 王 冲, 男, 教授, 主要研究方向为土壤生态学。E-mail: wangchong@cau.edu.cn

类蔬菜的需求在食物中所占的比例变得越来越高<sup>[5]</sup>。叶菜的优质高产主要取决于土壤肥力<sup>[4]</sup>,而肥料是提高土壤肥力的重要手段<sup>[5]</sup>。但在实际生产中,许多农民为追求作物高产,盲目过量施用化学氮肥的现象较为普遍<sup>[6]</sup>,这不仅造成叶菜硝酸盐富集<sup>[7]</sup>、营养品质下降<sup>[8]</sup>,还会导致一系列土壤酸化、连作障碍等问题的产生<sup>[9]</sup>,从而严重影响农业的可持续发展。因此,在叶菜种植中科学合理施肥至关重要<sup>[10]</sup>。有机肥部分替代化肥是实现科学施肥的有效途径<sup>[11]</sup>。相比化肥,有机肥肥效长、有利于改善土壤环境、活化土壤养分<sup>[12]</sup>。利用有机肥部分替代化肥不仅能够满足叶菜整个生育期对养分的需求,还能提高肥料利用率<sup>[13]</sup>。

目前,前人已经开展了一系列有机无机肥料配施对叶菜产量和品质影响的研究,大多研究表明有机无机肥料配施可以提高叶菜产量、改善品质<sup>[14-18]</sup>。然而,在有机无机肥料配施的研究中,针对不同有机肥肥源、叶菜类型以及栽培方式下有机无机肥料配施对叶菜产量和品质的影响研究较少。因此,围绕不同有机肥肥源、叶菜类型以及栽培方式等方面需要开展进一步的研究,为在叶菜种植中有机肥部分替代化肥技术的推广应用提供理论依据。笔者利用Meta分析方法消除单个研究受区域气候条件、时间、土壤质地、田间管理措施等因素的影响,将我国叶菜有机无机肥料配施独立的试验结果进行整合,定量综合评价有机无机肥料配施对叶菜产量和品质的提升效果,以期有机无机肥料配施在叶菜种植过程中的应用提供科学依据。

## 1 数据方法

### 1.1 数据来源

以“叶菜”“产量”和“有机肥”为主要关键词进行文献检索,在中国知网、万方数据和Web of Science数据库中检索了2000—2020年国内外公开发表的关于有机无机肥料配施对我国叶菜产量、品质和土壤养分影响的文献。根据Meta-analysis方法中对数据整合的要求和本研究的目的,基于以下6个标准对检索文献进行筛选:(1)研究区域位于中国;(2)同一研究中必须包含有机无机肥料配施试验组和单施化肥对照组;(3)将叶菜分为普通叶菜、结球叶菜以及辛香味叶菜,每类叶菜中至少含有两种具有代表性的叶菜品种;(4)所有施肥处理均以氮为标准进行等养分投入;(5)必须含有叶菜产量指标或者品质指标;(6)试验地、试验年份、试验作

物等基本信息清晰。基于以上标准,共筛选出43篇有效文献。

### 1.2 数据库建立与分类

经筛选获得的43篇有效文献中,叶菜主要包括:(1)生菜、菠菜、油麦菜、小白菜等普通叶菜类;(2)白菜、甘蓝等结球叶菜类;(3)葱、芹菜等辛香味叶菜类。对符合标准的文献按照单施化肥(对照组)与有机无机肥料配施(试验组)处理,提取每篇文献中各指标的数据,内容主要包括对照组和试验组所用的叶菜产量和品质等指标。如果文献中包含多年、多点或者多品种的数据,则将每一年、每个地点和每个品种所包含的各项产量、品质数据均作为一组数据。

笔者按有机肥肥源、叶菜类型和栽培方式3个亚组评价有机无机肥料配施效果。其中,将有机肥按照来源分为动物源(鸡粪、牛粪、羊粪、蚯蚓粪等)、植物源(菜饼肥、中药渣等)和动植物混合源(牛粪+秸秆等)有机肥<sup>[19]</sup>;将叶菜类型按照栽培特点分为普通类叶菜、结球类叶菜以及辛香味叶菜<sup>[20]</sup>;将栽培方式分为露地和保护地栽培。

### 1.3 数据分析

1.3.1 效应值计算 笔者使用反应比( $R$ )的自然对数( $\ln R$ )作为效应值。由于数据来源于不同地区,有着不同的田间管理模式、作物品种、土壤质地和气候条件等,研究之间存在很大的变异,因此利用随机效应模型计算效应值 $\ln R$ :

$$\ln R = \ln(X_t/X_c)$$

式中: $R$ 为反应比; $X_t$ 为有机无机肥料配施试验组产量和品质相关指标的平均值; $X_c$ 为单施化肥对照组产量和品质相关指标的平均值。

为了更加直观地反映有机无机肥料配施对叶菜产量和品质的影响以及便于对结果进行解释,将效应值转化为变化率 $Z$ <sup>[21]</sup>:

$$Z = (R - 1) \times 100\%$$

若 $\ln R$ 或者 $Z$ 的95%置信区间不包含0,说明有机无机肥料配施对叶菜产量和品质的影响效应显著;若 $\ln R$ 或者 $Z$ 的95%置信区间包含0,说明有机无机肥料配施对叶菜产量和品质无显著影响。

1.3.2 数据处理 本研究所用数据采用Excel 2007进行记录和整理。在数据搜集的过程中,如果文献中的数据是以图表形式呈现,则采用GetData Graph Digitizer软件来获得。使用SPSS 22软件进行数据计算和分析,使用Origin 2019绘图软件进行制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 有机无机肥料配施对叶菜产量和品质的影响

采用随机效应模型对叶菜产量和品质的平均效应值进行计算(图 1)。在产量方面,有机无机肥料配施叶菜的单株鲜质量和产量效应值均大于 0,且其 95% 置信区间均不包含 0,表明有机无机肥料配施对叶菜单株鲜质量和产量的影响是正效应,且增产效果显著。其中,与单施化肥相比,有机无机肥料配施可使叶菜的单株鲜质量和产量分别增加 10.57%、7.44%。在品质方面,有机无机肥料配施后,叶菜的硝酸盐、亚硝酸盐含量和 SPAD 的效应值均小于 0,但硝酸盐和亚硝酸盐含量的 95%置信区间不包括 0,而 SPAD 的 95%置信区间包括 0,表明有机无机肥料配施对叶菜的硝酸盐和亚硝酸盐含量具有显著的负效应,而对 SPAD 没有产生显著影响。其中,有机无机肥料配施可使叶菜的硝酸盐和亚硝酸盐含量分别降低 20.82%、23.78%。与单施化肥相比,有机无机肥料配施显著提高了叶菜的维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白、氨基酸和可溶性固形物含量,分别提高 13.43%、10.57%、22.58%、7.59%、7.55%。

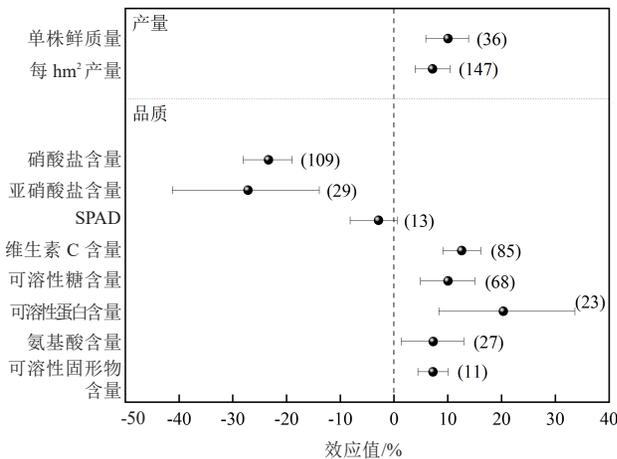


图 1 有机无机肥料配施对叶菜产量和品质的影响

### 2.2 不同肥源有机肥配施化肥对叶菜产量和品质的影响

将叶菜的产量和品质数据按照不同的有机肥源进行分类,分别分析不同有机肥源配施化肥对叶菜产量和品质的影响(图 2)。通过整合分析表明,动物源有机肥配施化肥叶菜单株鲜质量的效应值大于 0,且其 95%置信区间不包含 0,这表明动物源有机肥配施化肥对叶菜单株鲜质量具有显著正效应,而植物源有机肥配施化肥对叶菜单株鲜质量的

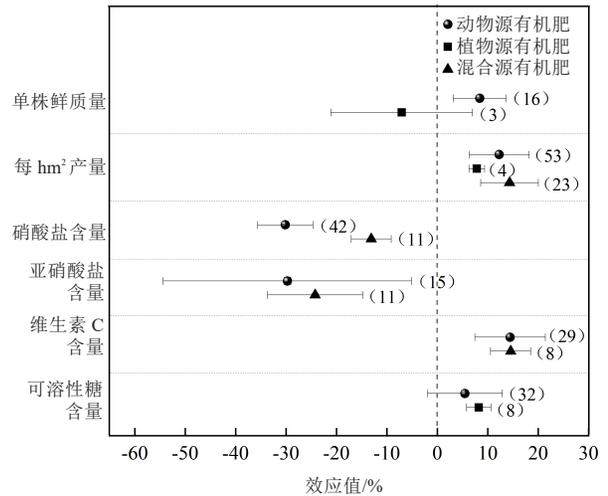


图 2 不同肥源有机肥配施化肥对叶菜产量和品质的影响

影响不显著。与单施化肥相比,动物源有机肥、植物源有机肥以及动植物混合源有机肥均能够显著提高叶菜产量。其中,动植物混合源有机肥增产率高于其他两种肥源,增产率为 15.41%,植物源有机肥增产率最低,增产率为 8.17%,动物源有机肥增产率为 13.09%。动物源有机肥与动植物混合源有机肥均能够显著降低叶菜硝酸盐、亚硝酸盐含量。其中,与单施化肥相比,动物源有机肥配施化肥可使叶菜硝酸盐和亚硝酸盐含量分别降低 26.03%、25.72%。无论是动物源有机肥配施化肥还是动植物混合源有机肥配施化肥,叶菜维生素 C 含量的效应值均大于 0,且二者的置信区间均不包含 0,这表明,与单施化肥相比,动物源有机肥配施化肥与动植物混合源有机肥配施化肥均能够显著提高叶菜维生素 C 含量。无论是动物源有机肥还是植物源有机肥配施化肥,叶菜可溶性糖含量的效应值均大于 0,而动物源有机肥配施化肥的置信区间包含 0,这表明与单施化肥相比,动物源有机肥配施化肥对叶菜可溶性糖含量影响不显著。

### 2.3 有机无机肥料配施对不同类型叶菜产量和品质的影响

将叶菜的产量和品质数据按照不同的叶菜类型进行分类,分别分析有机无机肥料配施对不同类型叶菜产量和品质的影响(图 3)。通过整合分析,表明与单施化肥相比,有机无机肥料配施均能够显著提高普通类叶菜、结球类叶菜单株鲜质量和产量,其中,有机无机肥料配施可使结球类叶菜单株鲜质量和产量分别提高 21.61%、11.32%。有机无机肥料配施辛香味叶菜的单株鲜质量和产量的效应值均大于 0,但其 95%的置信区间均包含 0,这表明

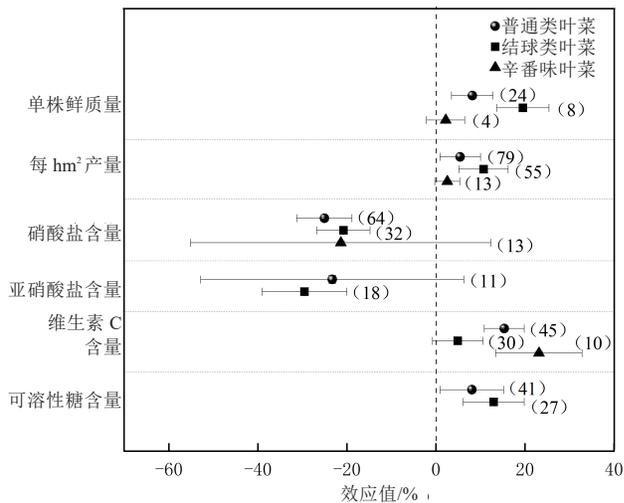


图3 有机无机肥料配施对不同类型叶菜产量和品质的影响

有机无机肥料配施对辛香味叶菜的单株鲜质量和产量均具有正效应,但影响不显著。与单施化肥相比,有机无机肥料配施均能够显著降低普通类叶菜和结球类叶菜硝酸盐含量,分别降低 22.16%、18.75%。有机无机肥料配施均能够降低普通类叶菜和结球类叶菜亚硝酸盐含量,但普通类叶菜亚硝酸盐含量 95%置信区间包含 0,这表明,与单施化肥相比,有机无机肥料配施对降低普通类叶菜亚硝酸盐含量影响不显著。有机无机肥料配施均能够显著提高普通类叶菜、辛香味叶菜维生素 C 含量,分别提高 16.62%、26.05%。此外,有机无机肥料配施有利于提高普通类叶菜和结球类叶菜的可溶性糖含量。其中,相比于普通类叶菜,有机无机肥料配施对结球类叶菜可溶性糖含量的提高作用更为明显。

#### 2.4 有机无机肥料配施对不同栽培方式叶菜产量和品质的影响

将叶菜的产量和品质数据按照不同的栽培方式进行分类,分别分析在不同栽培方式下有机无机肥料配施对叶菜产量和品质的影响(图 4)。与单施化肥相比,有机无机肥料配施在露地栽培和保护地栽培方式下均能够显著提高叶菜产量,分别提高 12.70%、13.11%。通过整合分析,表明与单施化肥相比,有机无机肥料配施在 2 种栽培方式下均能够显著降低叶菜硝酸盐含量,其中,露地栽培能够使叶菜硝酸盐含量显著降低 23.02%。在露地栽培方式下,叶菜亚硝酸盐含量的效应值小于 0,且其 95% 的置信区间不包含 0,这表明,与单施化肥相比,有机无机肥料配施能够显著降低露地栽培方式下的叶菜亚硝酸盐含量。2 种栽培方式均能够提高叶菜

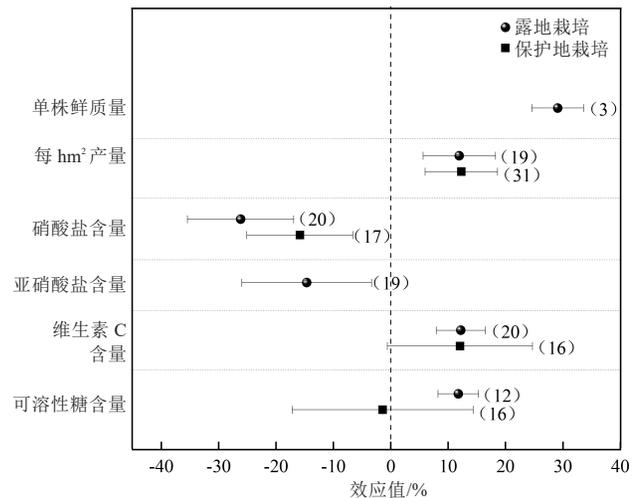


图4 有机无机肥料配施对不同栽培方式叶菜产量和品质的影响

维生素 C 含量,但保护地栽培方式下的效果不显著。在保护地栽培方式下,有机无机肥料配施降低了叶菜可溶性糖含量,与露地栽培方式作用相反。

### 3 讨论

#### 3.1 有机无机肥料配施对叶菜产量和品质的影响

与单施化肥相比,有机肥替代部分化肥可显著增加叶菜单株鲜质量和产量,这可能是由于纯化肥处理对土壤中微生物的固氮作用较弱,无机态氮极易挥发损失,从而造成后期养分供应不足,影响作物生长发育<sup>[22]</sup>,而有机肥部分替代可以改善土壤碳氮,有利于氮的矿化和转化以及微生物的生长<sup>[23]</sup>。硝酸盐和维生素 C 含量是评价叶菜营养品质的重要指标<sup>[24]</sup>。蔬菜中过量的硝酸盐会对人体造成潜在危害<sup>[25]</sup>,本研究表明,有机肥部分替代化肥可以有效降低蔬菜中的硝酸盐含量,与前人研究结果一致<sup>[26]</sup>,这是由于作物硝酸盐含量与土壤矿质氮含量呈正相关,有机肥配施不仅可以减少化肥中氮元素的输入,并且提高了土壤微生物数量和活性,固定一部分无机氮,避免叶菜吸收过多的氮素形成硝酸盐<sup>[27]</sup>。刘沙沙等<sup>[28]</sup>研究表明,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,可促进叶菜维生素 C、可溶性糖等物质的合成,这与本试验的研究结果一致。

#### 3.2 不同肥源有机肥配施化肥对叶菜产量和品质的影响

研究结果表明,动物源有机肥部分替代化肥对作物的增产效果优于植物源有机肥,这可能与植物源有机肥的氮素养分释放速率、释放量小于动物源

有机肥处理有关<sup>[29]</sup>。与动物源有机肥、植物源有机肥相比,动植物混合源有机肥部分替代化肥对提高叶菜产量、维生素 C 含量的效果最好,这可能与动植物混合源有机肥可优化碳氮比(C/N),能进一步促进叶菜生长有关<sup>[30]</sup>。碳氮比可以影响微生物的代谢活动,是影响有机肥产品质量的关键因子。畜禽粪便自身氮素含量较高,其堆肥过程中通常添加作物秸秆等辅料来提高 C/N 比<sup>[31]</sup>。与单施化肥相比,不管是动物源有机肥还是混合源有机肥,配施化肥均能显著降低叶菜硝酸盐和亚硝酸盐含量,但通过整合分析,表明混合源有机肥配施化肥对降低叶菜硝酸盐和亚硝酸盐含量的效果没有动物源有机肥配施化肥的效果好,具体原因有待进一步研究。

### 3.3 有机无机肥料配施对不同类型叶菜产量和品质的影响

与单施化肥相比,配施有机肥能够显著增加普通类叶菜和结球类叶菜单株鲜质量和产量,但对辛香味叶菜单株鲜质量和产量差异不显著。这说明进行有机无机肥料配施时应结合叶菜类型等其他因素,以达到最佳的增产效果<sup>[32]</sup>。与单施化肥相比,配施有机肥可以显著降低普通类叶菜和结球类叶菜的硝酸盐含量,而对辛香味叶菜没有显著影响,这可能是由于不同类型叶菜中叶片硝酸还原酶活性以及根系对硝酸盐的吸收速率不同造成的<sup>[33]</sup>。通过整合分析,表明与单施化肥相比,配施有机肥能够使普通类叶菜和结球类叶菜的可溶性糖含量均得到显著提高,但有机无机肥料配施在结球类叶菜上的效果比普通类叶菜好。这可能是由不同类型叶菜对有机肥中的营养物质吸收和利用能力不同所致<sup>[34]</sup>。

### 3.4 有机无机肥料配施对不同栽培方式下叶菜产量和品质的影响

有机无机肥料配施在保护地栽培下叶菜增产率高于露地栽培,这可能是因为保护地栽培不仅可以提供适宜蔬菜生长的环境,同时也可有效避免许多病虫害的发生,从而提高叶菜产量<sup>[35]</sup>。在两种栽培方式下,有机无机肥料配施均能显著降低叶菜中的硝酸盐含量,其中,在露地栽培方式下,有机无机肥料配施更有利于降低叶菜硝酸盐含量,这与刘丽鹃等<sup>[36]</sup>研究结果一致,这可能是因为叶菜的硝酸盐含量与种植环境的光照强度呈负相关<sup>[37]</sup>。

## 4 结 论

综上所述,有机无机肥料配施能够显著增加我国叶菜单株鲜质量和产量。其中,动物源有机肥和

动植物混合源有机肥配施化肥均能显著增加我国叶菜单株鲜质量、产量、维生素 C 含量,以及显著降低叶菜硝酸盐和亚硝酸盐含量,且动植物混合源有机肥配施化肥对叶菜的增产效果优于动物源有机肥配施化肥。在品质方面,有机无机肥料配施能够显著提高叶菜 SPAD、维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白、氨基酸、可溶性固形物含量以及显著降低叶菜硝酸盐和亚硝酸盐含量。其中,在露地栽培方式下,有机无机肥料配施对降低叶菜硝酸盐含量和提高叶菜维生素 C 含量的效果优于保护地栽培。

### 参考文献

- [1] 曾顺德,高伦江,曾小峰,等.不同包装材料对瓢儿菜贮运保鲜效果的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2019,41(6):1-7.
- [2] 黄丹枫.叶菜类蔬菜生产机械化发展对策研究[J].长江蔬菜,2012(2):1-6.
- [3] 李露露.不同贮藏温度和包装袋对菜心货架期品质的影响[D].广州:华南农业大学,2016.
- [4] 余小兰,李光义,邹雨坤,等.蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌互作对小白菜产量与品质的影响[J].中国土壤与肥料,2020(2):206-212.
- [5] 申向东,赵曦阳,艾鹏慧,等.传统农业施肥的不足及现代农业施肥的发展方向[J].河南农业科学,2016,45(12):77-81.
- [6] 陈玉晶.无公害栽培管理技术在农作物种植中的应用[J].新农业,2021(13):11-12.
- [7] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.
- [8] 连青龙,张跃峰,丁小明,等.我国北方设施蔬菜质量安全现状与问题分析[J].中国蔬菜,2017(7):15-21.
- [9] 孟非凡.蔬菜地肥料施用氮素流失特征及源头控制研究[D].贵阳:贵州民族大学,2020.
- [10] 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.
- [11] 刘莉.有机肥替代化肥决策机制及效果研究[D].北京:中国农业科学院,2020.
- [12] 惠富平,过慈明.近代中国关于化肥利弊的争论[J].南京农业大学学报(社会科学版),2015,15(1):114-122.
- [13] 万连杰,李俊杰,张绩,等.有机肥替代化肥技术研究进展[J].北方园艺,2021(11):133-142.
- [14] 杨静,张俊鹏,仝玉琴,等.有机肥与化肥配施对大棚叶菜产量及品质的影响[J].中国瓜菜,2020,33(9):50-53.
- [15] 赵明,蔡葵,王文娇,等.有机无机肥配施对大白菜品质及产量的影响[J].山东农业科学,2009(6):86-88.
- [16] 卢树昌,王小波,翁福军,等.不同施肥处理对设施土壤硝态氮运移和芹菜生长与品质的影响[J].天津农业科学,2015,21(11):8-11.
- [17] 郭刚,严从生,袁慢慢,等.化肥减量配施有机肥对叶菜类蔬菜产量、品质和养分吸收的影响[J].中国瓜菜,2021,34(12):58-62.
- [18] 谢言东,郁继华,吕剑,等.不同施肥处理对露地甘蓝生长、产量及品质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(12):52-57.

- [19] LIU B, WANG X Z, MA L, et al. Combined applications of organic and synthetic nitrogen fertilizers for improving crop yield and reducing reactive nitrogen losses from China's vegetable systems: A meta-analysis[J]. *Environmental Pollution*, 2021, 269: 1-12.
- [20] 许丽, 陈湘宁, 常希光, 等. 北京市4种叶类蔬菜主要供应链模式损耗率的研究[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(7): 43-47.
- [21] HEDGES L V, GUREVITCH J, CURTIS P S. The meta-analysis of responder ratios in experimental ecology[J]. *Ecology*, 1999, 80(4): 1150-1156.
- [22] 王恒祥, 高树文. 不同有机肥氮替代化肥氮比例对水稻生产的影响[J]. *农业与技术*, 2018, 38(2): 3-4.
- [23] 武星魁, 姜振萃, 陆志新, 等. 有机肥部分替代化肥氮对叶菜产量和环境效应的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, 28(3): 349-356.
- [24] KONSTANTOPOULOU E, KAPOTIS G, SALACHAS G, et al. Nutritional quality of greenhouse lettuce at harvest and after storage in relation to N application and cultivation season[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 125(2/3): 93.e1-93.e5.
- [25] 金禹彤. 硝酸盐对蔬菜污染现状调查研究[J]. *化工管理*, 2019(12): 186-187.
- [26] 苏春莲. 有机和无机肥料不同配比对大白菜产量及硝酸盐含量的影响研究[J]. *新农业*, 2020(3): 7-8.
- [27] 高宝云, 吴秀宁, 张军, 等. 大量元素水溶肥料对生菜产量及生理特性的影响[J]. *陕西农业科学*, 2018, 64(6): 40-42.
- [28] 刘沙沙, 李兵, 张古彬, 等. 猪粪有机肥替代化肥对黄淮地区油菜菜品质及养分利用的影响[J]. *广东农业科学*, 2019, 46(8): 71-79.
- [29] 王海候, 沈明星, 吴进兴, 等. 不同肥源有机肥对白菜产量及氮素吸收利用的影响[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(1): 130-132.
- [30] 张士荣, 王军, 张德龙, 等. 有机肥 C/N 优化及钾肥运筹对烤烟钾含量及香气品质的影响[J]. *华北农学报*, 2017, 32(3): 220-228.
- [31] 周学光, 张胜斌, 游纯波. 不同因素对猪粪发酵生产有机肥的影响[J]. *广西畜牧兽医*, 2020, 36(6): 260-261.
- [32] 李慧敏, 王瑞, 施卫明, 等. 菜地土壤解磷微生物特征及其在磷形态转化调控中的作用[J]. *土壤*, 2020, 52(4): 668-675.
- [33] 宫宏亮, 靳亚忠, 刘丽青, 等. 不同种类叶菜积累硝酸盐能力差异及其原因探讨[J]. *河南农业科学*, 2010(6): 104-107.
- [34] 任人, 汪李平, 杨敏, 等. 不同有机肥在盆栽绿叶蔬菜上的使用效果比较[J]. *长江蔬菜*, 2017(20): 78-83.
- [35] 石俊春. 简述温室蔬菜绿色栽培技术及发展方向[J]. *农业工程技术*, 2020, 40(5): 96.
- [36] 刘丽鹃, 冯宁沙, 陈杰, 等. 等氮条件下有机无机肥配施对大棚和露地青菜产量及品质的影响[J]. *上海农业学报*, 2014, 30(4): 29-33.
- [37] GOLUBKINA N A, SEREDIN T M, ANTOSHKINA M S, et al. Effects of crop system and genotype on yield, quality, antioxidants and chemical composition of organically grown leek[J]. *Advances in Horticultural Science*, 2019, 33(2): 263-270.