

蔬菜化肥减量增效技术途径——以重庆为例

梁 涛^{1,3}, 王 帅², 廖敦秀¹, 李红梅², 赵敬坤², 陈 媛¹, 聂 铭¹, 陈新平³, 王孝忠^{3*}

(1. 重庆市农业科学院, 重庆 401329; 2. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 401120; 3. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘 要:我国蔬菜生产上化肥投入高, 化肥减量潜力大。在对重庆化肥投入来源进行分析的基础上, 开展重庆主要蔬菜种类的施肥情况调查, 并针对性地开展多点有机肥替代试验, 研究蔬菜化肥减量和有机替代潜力以及对蔬菜产量的影响。结果表明, 2017 年蔬菜生产化肥用量占重庆总化肥用量的 35.3%, 其对 2010 ~ 2017 年重庆化肥用量增加的贡献率为 61.4%, 远高于其他农作物。469 个蔬菜种植农户施肥的调查结果表明, 重庆蔬菜种植平均化肥用量为 502.7 kg · hm⁻² (折 N、P₂O₅、K₂O 合计), 多次采收的蔬菜 (茄果类、瓜菜类) 和浅根系蔬菜 (绿叶菜类、甘蓝白菜类) 化肥投入最高, 具有较大的化肥减量潜力, 深根系蔬菜 (根菜类、薯芋类) 化肥投入较低。54 个有机肥替代试验结果显示, 通过有机肥替代化肥, 菜地土壤有机碳的投入增加 681.6 kg · hm⁻², 有机养分投入增加 47.2 kg · hm⁻², 显著提高蔬菜产量 14.7%, 每公顷化肥投入平均减少 88.0 kg · hm⁻², 占总化肥养分投入的 17.3%, 其中氮肥、磷肥和钾肥分别减少 27.26%、43.6% 和 17.2%, 磷肥减量幅度高于氮肥和钾肥。综上所述, 重庆蔬菜化肥投入普遍偏高, 多次采收和浅根系蔬菜, 具有较大的减肥潜力; 采用有机肥替代化肥技术, 不仅减少化肥投入, 还可实现蔬菜增产。

关键词: 化肥减量; 有机替代; 蔬菜生产; 重庆

自 2005 年实施测土配方施肥以来, 我国三大主粮化肥利用率提高了 7.2%, 到 2017 年, 中国农业每年化肥使用量持续增加^[1], 以蔬菜等经济作物种植驱动的化肥用量增加是造成我国化肥用量居高不下的主要原因之一^[2-3]。我国的蔬菜总产量占全世界蔬菜总产量的 51%^[4], 且每年还以 1.1% 的速度持续增长^[5], 大部分蔬菜作物根系浅^[6-7], 养分吸收能力弱, 需肥量大, 农户为了追求蔬菜高产, 不惜投入远超蔬菜需求的化肥量^[8]。我国单位面积蔬菜的单季总养分投入量是粮食作物的 2 倍^[9]。津冀两地设施蔬菜 N、P₂O₅ 和 K₂O 平均投入分别超出推荐量的 2.5、10.4 和 2.5 倍^[2], 蔬菜作物普遍化肥投入过量, 肥料利用率相对较

低, 如露地和设施蔬菜氮肥利用率分别为 25.9% 和 19.7%, 肥料损失、浪费问题突出^[10]。

随着未来人口的日益增长, 以及人们对健康膳食观念的增强, 蔬菜需求还将继续增加, 蔬菜生产系统带来的如土壤酸化效应、水体富营养化效应、活性氮损失、温室气体排放等环境问题将更加严峻^[11]。有机肥部分替代化肥, 减少化肥投入, 实施作物-土壤养分综合管理, 是实现农业绿色发展的重要途径。然而由于蔬菜经济价值高, 单位产量 (值) 施肥成本低, 农民对高化肥投入量敏感性低, 对减产风险敏感, 这给蔬菜化肥减量带来较大困难。据测算有机肥替代化肥的潜力一般在 10% ~ 30% 之间^[12-13], 但是由于蔬菜品类过多, 受气候、土壤条件的影响, 不同区域减肥潜力不同, 有机肥替代化肥水平及其对蔬菜产量的影响也存在差异^[13-14]。重庆市是我国西南地区施肥量较高的区域, 蔬菜种植比例高, 故本文以重庆为例, 采用农户调查和多点有机肥部分替代化肥试验 (示范), 探究区域有机肥替代化肥水平及其对蔬菜产量的影响, 为建立区域化肥减量技术标准和实现农业绿色发展提供技术依据。

收稿日期: 2019-12-30; 录用日期: 2020-04-30

基金项目: 鲁渝农林废弃物基质化利用协同创新中心 (CSTC2019jcsx-cyzxx0003); 功能性微生物有机肥产业化开发关键技术研究示范 (cstc2018jcsx-mszdX0056); 重庆市科研院所绩效激励引导专项 (cstc2018jxjl80029);

作者简介: 梁涛 (1985-), 男, 山西稷山人, 助理研究员, 博士, 主要从事蔬菜养分管理和区域绿色发展技术研究。E-mail: zhsliangtao@163.com。

通讯作者: 王孝忠, E-mail: wxz20181707@swu.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 研究区域

重庆市位于中国西南地区,四川盆地东部,长江上游,属于亚热带季风湿润气候,年均温 17℃,无霜期 250 ~ 275 d,年均降水 1000 ~ 1350 mm,地区海拔 175 ~ 2796 m,幅员面积 8.24 万 km²,重庆市山地多平地少(山地、丘陵、台地和平坝分别占全市面积的 75.3%、15.6%、5.3% 和 3.7%),人均耕地仅为 0.075 hm²,且耕地以坡耕地为主。重庆市蔬菜种植面积为 76.08 万 hm²,占总农作物种植面积的 21.1%,加工蔬菜在国内拥有较高的知名度。

1.2 蔬菜生产化肥投入调查

2016 ~ 2018 年针对重庆市种植面积较大的 4 种蔬菜类型(榨菜、甘蓝、鲜食辣椒和加工辣椒)开展调研,内容主要包括:蔬菜产量、肥料品种和(N、P₂O₅、K₂O)用量、种植面积等。共调研石柱县加工辣椒种植农户 160 户,武隆区甘蓝种植农户 128 户,武隆区鲜食辣椒种植农户 142 户,涪陵榨菜种植农户 74 户。

不同蔬菜种类化肥投入量来源于重庆市农业技术推广总站调查数据,调查内容由重庆市农业技术推广总站和西南大学共同设计,各区县农业技术推广中心(站)负责调查,调查的内容主要包括:蔬菜品种、种植面积、肥料(N、P₂O₅、K₂O)用量、产量、联系方式等,共调查各类蔬菜种植户 469 户,涉及 62 种蔬菜品类,参考《中国蔬菜栽培学》^[15]将调查蔬菜分为 8 个大类,分别为根菜类(n=50)、水生菜类(n=10)、茄果类(n=47)、瓜菜类(n=22)、甘蓝白菜类(n=64)、绿叶菜类(n=139)、芥菜类(n=110)、薯芋类(n=27),其中甘蓝、白菜的施肥和产量情况类似,本文将两者归为一类。

1.3 区组分析

参考 Ye 等^[16]的区组分析方法,定量不同区组农户施肥行为与作物产出的关系,将调研农户分为 4 组:高产低肥组(产量高于平均,化肥投入低于平均)、高产高肥组(产量高于平均,化肥投入高于平均)、低产高肥组(产量低于平均,化肥投入高于平均)、低产低肥组(产量低于平均,化肥投入低于平均),以评估不同的区组农户产投情况。

1.4 蔬菜有机肥部分替代化肥试验示范

试验示范设置两个处理:农户习惯施肥和有机

肥部分替代化肥处理,习惯施肥按照种植大户常年习惯施肥进行,根据当地土壤和蔬菜产量,有机肥替代化肥的比例水平为 5% ~ 35%。有机肥由当地农业技术推广中心提供。根据其原料,参考《中国有机肥料养分志》^[17]计算有机肥养分含量。记录试验化肥品种、用量、养分含量以及有机肥品种及用量。试验示范处理面积不低于 0.33 hm²。共完成试验(示范)54 个,包含根菜类、茄果类、瓜菜类等 7 类蔬菜。(表 1)。

表 1 蔬菜有机肥部分替代化肥试验(示范)

蔬菜种类	样本量	有机替代示范区平均面积 (hm ²)	产量水平 (t·hm ⁻²)	有机肥替代 化肥比例 (以替代纯氮 比例计,%)
根菜类	10	47.9 ± 65.6	43.9 ± 32.1	16.2 ± 10.1
茄果类	15	9.7 ± 11.4	56.3 ± 32.8	20.3 ± 11.8
瓜菜类	4	5.5 ± 5.9	63.6 ± 29.0	21.6 ± 7.7
甘蓝白菜类	12	27.3 ± 38.4	51.0 ± 75.2	14.5 ± 7.1
绿叶菜类	7	7.5 ± 7.5	41.5 ± 28.2	21.8 ± 7.4
芥菜类	4	30.0 ± 24.6	45.5 ± 12.2	17.9 ± 7.6
豆科菜类	2	21.7 ± 2.4	33.8 ± 31.8	11.1 ± 0.0

注:蔬菜分类方法参考《中国蔬菜栽培学》^[15]分类方法。表中数据以平均值 ± 标准差表示。

1.5 数据分析与统计比较

文中蔬菜产量、肥料养分投入量采用 Excel 2016 计算,使用 Sigma 12.0 软件进行单因素方差分析,最小显著性差异(LSD)法检验各组间的差异,以 $P < 0.05$ 为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 重庆化肥投入情况

通过计算重庆主要作物种类播种面积^[18]和单位面积化肥用量^[19]推算重庆主要作物类型化肥投入量和占比。结果表明,与 2010 年相比,重庆 2017 年蔬菜化肥投入占总化肥投入量的比例由 23.0% 增加至 35.3%,通过蔬菜化肥投入增量除以总化肥投入增量计算蔬菜化肥投入增量对总化肥投入增量的贡献率,可得 2010 ~ 2017 年重庆 61.4% 的化肥增量来源于蔬菜生产,而同期水稻、玉米、柑橘等作物化肥投入量占比均有所下降,如水稻化肥投入总量从 2010 年的 15.2% 下降至 2017 年的 11.8%,玉米同期由 16.4% 降至 9.3% (图 1)。其主要原因是

重庆市传统粮油作物种植面积降低和多年在粮油作物上开展的测土配方施肥,其化肥施用面积和单位面积施用量双双下降,造成粮食作物化肥投入占比显著下降。而2010~2017年,柑橘种植面积和单位面积化肥投入虽然相对稳定,但2017

年化肥总用量显著高于2010年,导致柑橘化肥投入占比相对下降。由此分析,蔬菜生产是造成重庆高化肥投入最主要的因素,且随着重庆人口的增长和人民生活水平的提高,还有进一步增加的趋势。

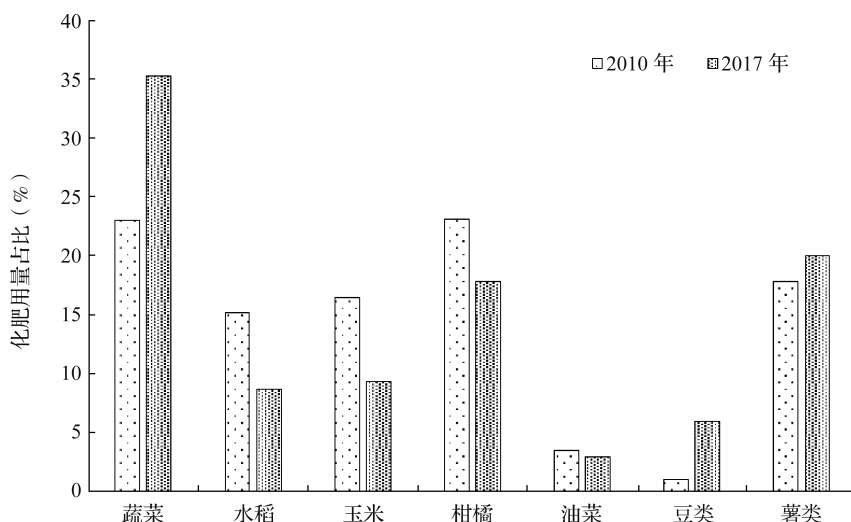


图1 2010年和2017年重庆市主要农作物化肥用量占总化肥用量的比例

注:数据来源:根据中国统计年鉴(2011和2018年)^[18, 20]和全国农产品成本收益资料汇编(2011和2018年)^[19, 21]。

重庆469个蔬菜种植户调查结果(图2)显示,瓜菜类和茄果类菜单位面积化肥总投入量最高,分别为 603.6 和 $561.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,这与其多次采收、生长周期长、施肥次数较多有关;其次甘蓝白菜类和绿叶菜类分别为 543.4 和 $507.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,根菜类、水生菜和薯芋类菜施肥量最低,分别是 387.9 、 384.0 和 $123.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

从肥料种类来看,以榨菜为主的芥菜类氮肥投入量最高($268.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),其次为甘蓝白菜类($253.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),瓜菜类($240.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),茄果类($224.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),绿叶菜类($216.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。磷肥用量较高的为茄果类($151.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、绿叶菜类($144.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、甘蓝白菜类($139.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),其次是根菜类($100.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),水生菜类($91.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和芥菜类($83.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),薯芋类($35.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)最低。瓜菜类和茄果类钾肥用量最高,分别达到 218.8 和 $185.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,而薯芋类、水生菜类、根菜类最低,这可能是钾肥单价较高,农民更愿意将高价格肥料用于经济价值较高的蔬菜种类。

2.2 蔬菜化肥减量及有机肥替代潜力

由于不同农户间肥料投入差异大,基于产量和

化肥投入的区组分析可以用于优势农户评估节肥和增产的潜力,进而指导区域绿色发展。重庆市4种主要蔬菜种类种植农户区组分析(图3)显示,优势农户(高产低肥组)能够施用较低用量化肥取得较高的产量,该组农户种植的甘蓝(鲜食)、辣椒(鲜食)、榨菜(加工)和辣椒(加工)化肥用量分别是 402 、 355 、 281 和 $495 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,分别比相应蔬菜种类所有调查农户平均化肥用量低 48.7% 、 37.4% 、 32.0% 、 28.3% ,但其产量分别为 66.9 、 38.7 、 42.1 和 $12.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,分别比相应蔬菜种类所有调查农户平均产量高 25.5% 、 29.4% 、 16.0% 和 11.0% 。这说明通过优化田间管理,特别是施肥管理可以显著提高农户生产效率和肥料利用率。

在番茄、黄瓜、榨菜等25个高施肥量蔬菜品种上开展的54个有机肥替代化肥试验示范结果(图4)显示,与习惯施肥相比,有机肥替代化肥可以显著提高蔬菜产量 14.7% ,同时每公顷化肥投入减少 $88.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,减量 17.3% ,其中氮肥、磷肥和钾肥用量分别降低 27.3% 、 43.6% 、 17.2% ,磷肥减量幅度高于氮肥和钾肥。由于有机肥投入的

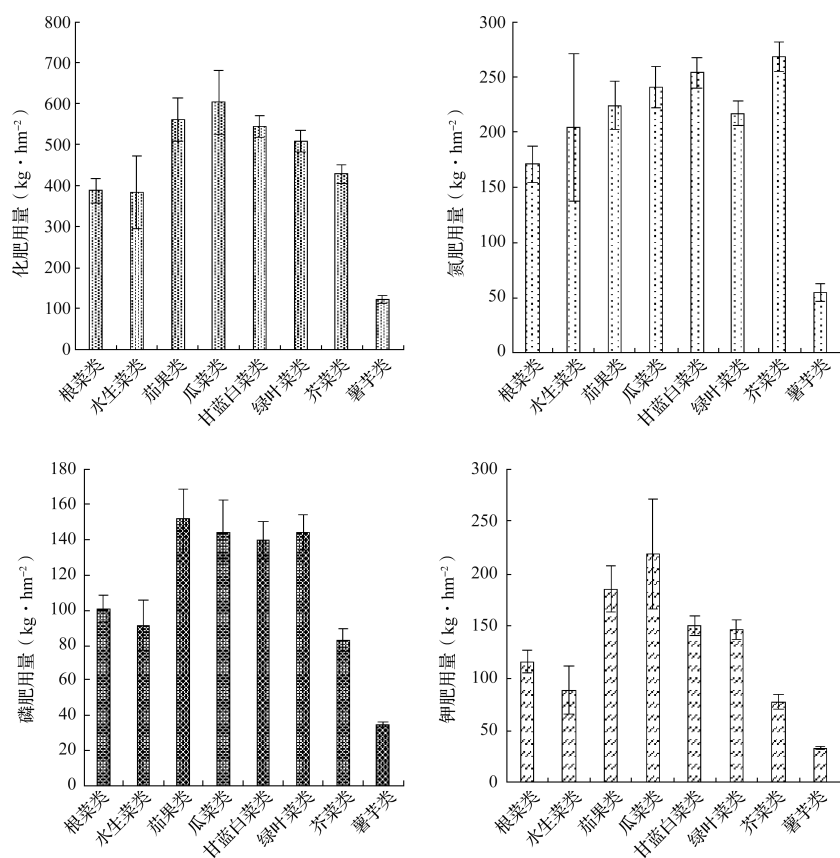
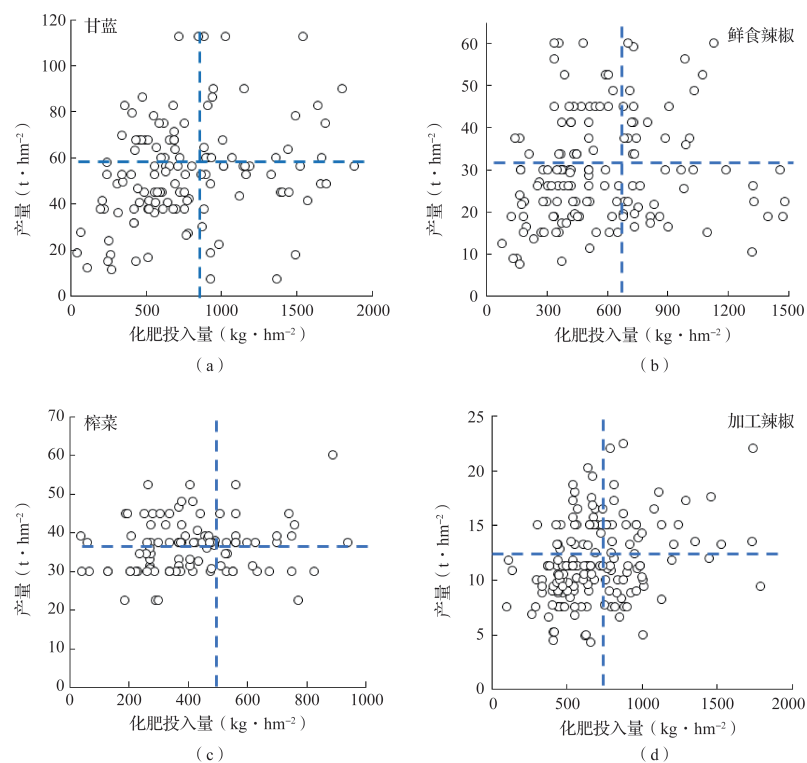


图2 重庆主要蔬菜种类化肥投入量

图3 重庆市甘蓝、鲜食辣椒、榨菜、加工辣椒产量和
化肥投入量(折N、P₂O₅、K₂O总量)关系

注: 图中纵向虚线为调查农户的平均化肥投入量, 横向虚线为调查农户的平均产量。

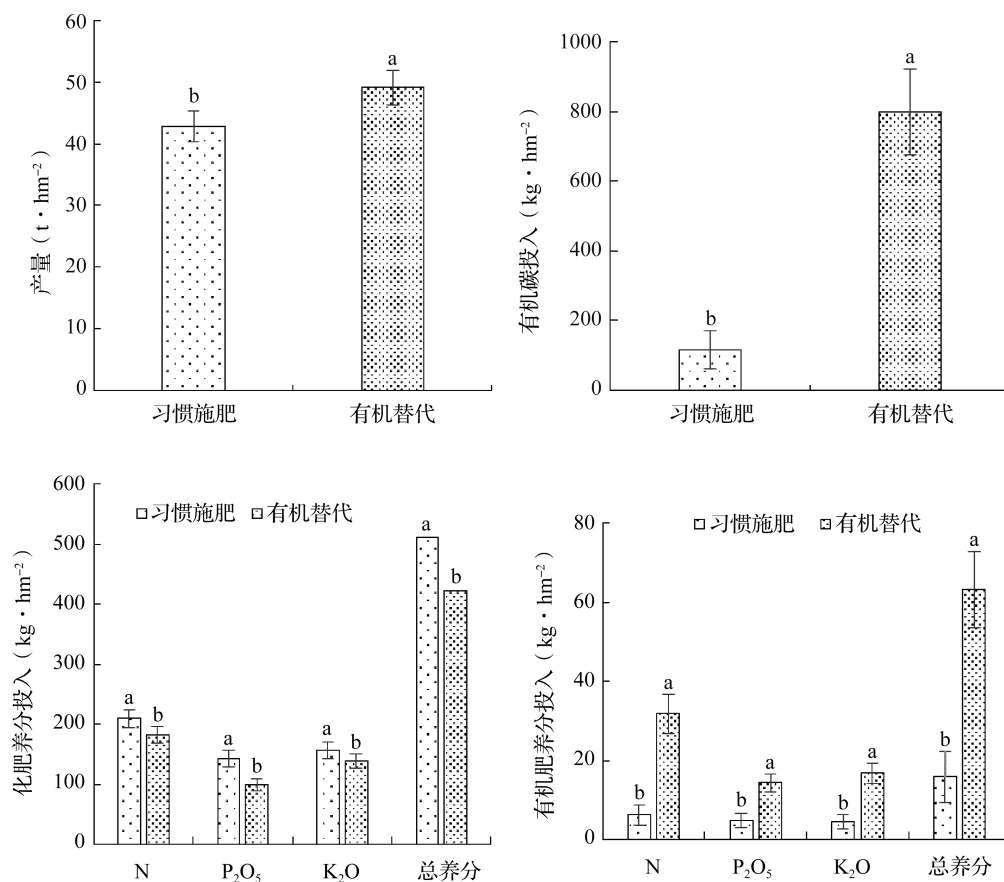


图4 重庆蔬菜农户习惯施肥和有机肥部分替代化肥产量，
有机碳投入，化肥投入和有机肥投入量

注：小写字母不同表示不同施肥处理产量、有机碳和养分投入的差异显著 ($P < 0.05$)。

增加，有机碳显著增加 $681.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，有机替代处理有机肥总养分投入增加养分 $47.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，其中氮、磷和钾养分分别增加 25.2 、 9.6 、 $12.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。以上结果表明，在蔬菜种植中有机肥替代化肥可以减少化肥用量和总养分投入，同时显著增加作物产量。

3 讨论

十九大报告指出，在农业上要实施乡村振兴战略，必须以绿色发展为引领。而农业区域绿色发展必须实现合理高产、资源投入高效和低环境代价^[9]。蔬菜生产系统是导致重庆市化肥高投入最主要的原因。同时重庆地区蔬菜种植具有复种指数高，区域降水量大、菜地坡度高等自然环境特征，使得高化肥投入的蔬菜生产系统成为区域面源污染的主要来源，给重庆地表水和三峡水库造成较大的环境压力，蔬菜化肥减量增效成为重庆实施农业绿色发展的主要目标。

3.1 蔬菜化肥投入与减量潜力

重庆地区化肥用量高。重庆469个蔬菜种植户调查结果显示，重庆蔬菜化肥总用量平均为 $502.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($123 \sim 603 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)，化肥氮、磷、钾用量分别为 $\text{N } 232.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ， $\text{P}_2\text{O}_5 128.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ， $\text{K}_2\text{O } 141.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，显著高于粮食作物 ($315.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[22]和蔬菜推荐用量^[23]。如本文调查重庆甘蓝白菜氮、磷和钾施用量分别为 $\text{N } 253 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ， $\text{P}_2\text{O}_5 139 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ， $\text{K}_2\text{O } 150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，而按照农业部春季主要农作物科学施肥指导意见^[23]，重庆甘蓝平均产量水平为 ($4500 \sim 5500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)，推荐量为 $\text{N } 210 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ， $\text{P}_2\text{O}_5 75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ， $\text{K}_2\text{O } 135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，重庆甘蓝化肥投入量高于推荐量，尤其是磷肥投入量，远超推荐量。同时，本文调查的重庆蔬菜施肥量与黄绍文等^[24]在西南地区蔬菜调查量相比，化肥用量偏低，这可能是由于后者调查对象主要是茄果类、瓜菜类和甘蓝白菜类等高施肥量蔬菜种类，且西南地区样本量 (144 个) 相对较

少,再加上西南五省间的土壤和气候条件差异较大,未能充分体现重庆蔬菜化肥投入的情况。

重庆蔬菜系统化肥减量潜力大,本文通过区组分析显示,重庆甘蓝、鲜食辣椒、榨菜和加工辣椒高产低肥区组与农户平均水平相比,化肥投入比平均低 28.3% ~ 48.7%,产量比平均水平高 11.0% ~ 25.5%。此减量潜力低于黄绍文等^[24]估算的我国蔬菜化肥减量潜力(34.8% ~ 76.8%),这与其调查的基准施肥量较高有关。

3.2 有机肥部分替代对重庆化肥减施潜力的影响

有机肥部分替代化肥是我国控制化肥用量,提高养分资源利用率,改善土壤质量的主要途径^[13, 25-26]。已有研究表明,增加有机肥投入还可以显著增加蔬菜产量,提高蔬菜品质^[26-28]。本文 54 个试验示范结果表明,蔬菜化肥投入每公顷减少 88.0 kg · hm⁻²,减量 17.3%,有机肥养分投入增加养分 7.2 kg · hm⁻²,总养分量减少 7.9%,可以显著增加蔬菜产量 14.7%。与任科宇等^[26]研究结果一致。有机肥具有增产提质的原因可能是有机肥的施用直接增加了微量元素的投入^[29],同时有机肥中的有机碳可提高作物根系生物量及根系分泌物含量,进而提高土壤微生物生物量碳氮及土壤养分有效性^[30]。研究表明,有机肥在蔬菜需氮量较少的早期会固定无机氮,生长后期促进有机氮矿化,从而提高白菜对氮的吸收,获得增产^[31],有机肥的投入还可以改善土壤质量,通过提高土壤大团聚体比例和稳定性,以及微生物量和丰度,改善土壤质量,减少养分流失,增加作物的抗逆性^[32-33],这可能也是本文中有机肥替代在总体养分减少仍然能取得高产的主要原因。本研究采用单季多点方式,受土壤养分残留影响较大,其对蔬菜产量和土壤的长期影响,还有待进一步研究。

4 结论

重庆蔬菜生产系统化肥用量高是重庆化肥用量较高的主要原因,重庆蔬菜生产系统具有较大的减肥潜力,尤其是多次采收和浅根系蔬菜。通过有机肥部分替代化肥可以降低化肥用量的同时显著提高蔬菜产量。

参考文献:

[1] 农业部. 中国三大主粮化肥利用率 10 年提高 7.2% 农业面源污染治理效果显现 [EB/OL]. (2016-07-19) [2019-09-20].

http://www.gov.cn/xinwen/2016-07/19/content_5092827.htm.

[2] 张怀志,唐继伟,袁硕,等. 津冀设施蔬菜施肥调查分析 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (2), 54-60.

[3] 武良,张卫峰,陈新平,等. 中国农田氮肥投入和生产效率 [J]. 中国土壤与肥料, 2016 (4): 76-83.

[4] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). FAOSTAT Database - Resources [R]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013.

[5] 张晶,孔繁涛. 中国蔬菜市场展望 (2019-2028) (2019-04-21) [2019-09-20] [EB/OL]. https://www.agri-outlook.cn/index/index_my/.

[6] Weaver J E, Bruner W E. Root development of vegetable crops [M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1927.

[7] Brumm I, Schenk M. Influence of nitrogen supply on the occurrence of calcium deficiency in field grown lettuce [J]. Acta Horticulturae, 1993, 339 (339): 125-136.

[8] Ti C P, Luo Y X, Yan X Y. Characteristics of nitrogen balance in open-air and greenhouse vegetable cropping systems of China [J]. Environmental Science & Pollution Research, 2015, 22: 18508-18518.

[9] Wang X Z, Zou C Q, Zhang Y Q, et al. Environmental impacts of pepper (*Capsicum annuum* L.) production affected by nutrient management: A case study in southwest China [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 171: 934-943.

[10] Wang X Z, Zou C Q, Gao X P, et al. Nitrous oxide emissions in Chinese vegetable systems: A meta-analysis [J]. Environmental Pollution, 2018, 239: 375-383.

[11] 于涛,苏黎,牛世伟,等. 化肥优化减施对芹菜产量和品质以及硝酸盐淋溶的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2012 (3): 55-58.

[12] 谢军,赵亚南,陈轩敬,等. 有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率 [J]. 中国农业科学, 2016, 49 (20): 3934-3943.

[13] 徐明岗. 我国耕地质量与肥料产业发展 [J]. 中国农村科技, 2017, 260 (1): 38-40.

[14] 宁建凤,艾绍英,李盟军,等. 化肥减量配合有机替代对赤壤常年菜地蔬菜生长及土壤氮平衡的影响 [J]. 热带作物学报, 2019, 40 (5): 1008-1014.

[15] 中国农业科学院蔬菜研究所. 中国蔬菜栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1987.

[16] Ye Y L, Wang G L, Huang Y F, et al. Understanding physiological processes associated with yield-trait relationships in modern wheat varieties [J]. Field Crops Research, 2011, 124 (3): 316-322.

[17] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.

[18] 国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

[19] 国家发展与改革委员会. 中国农产品成本收益汇编 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

- [20] 国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [21] 国家发展与改革委员会. 全国农产品成本收益汇编 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [22] 张四代, 张卫峰, 马林, 等. 我国河北、吉林、四川主要粮食作物化肥消费结构变化分析 [J]. 磷肥与复肥, 2009, 24 (1): 89-91.
- [23] 中华人民共和国农业部. 2016年春季主要农作物科学施肥指导意见 (2016-03-17) [2019-09-20]. http://jiuban.moa.gov.cn/zwlml/zwdt/201603/t20160317_5058189.htm.
- [24] 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.
- [25] 沈仕洲, 王风, 薛长亮, 等. 施用有机肥对农田温室气体排放影响研究进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2015 (6): 1-8.
- [26] 任科宇, 段英华, 徐明岗, 等. 施用有机肥对我国作物氮肥利用率影响的整合分析 [J]. 中国农业科学, 2019, 52 (17): 2983-2996.
- [27] 赵政, 陈巍, 王欢, 等. 木霉微生物肥与减量化肥配施对番茄产量、品质及土壤肥力的影响 [J]. 土壤学报, 2018, 55 (5): 1243-1252.
- [28] 秦鱼生, 涂仕华, 冯文强, 等. 有机无机肥料对蔬菜产量和硝酸盐累积的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (5): 670-674.
- [29] 杨玉爱, 何念祖, 叶正钱. 有机肥对土壤锌、锰有效性的影响 [J]. 土壤学报, 1990, 27 (2): 196-201.
- [30] 臧逸飞, 郝明德, 张丽琼, 等. 26年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35 (5): 1445-1451.
- [31] Choi W J, Ro H M, Chang S X. Recovery of fertilizer-derived inorganic-¹⁵N in a vegetable field soil as affected by application of an organic amendment [J]. Plant and Soil, 2004, 263: 191-201.
- [32] Rong Q L, Li R N, Huang S W, et al. Soil microbial characteristics and yield response to partial substitution of chemical fertilizer with organic amendments in greenhouse vegetable production [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17 (6): 60345-60347.
- [33] Zhang M K, He Z L, Calvert D V, et al. Accumulation and partitioning of phosphorus and heavy metals in a sandy soil under long-term vegetable crop production [J]. Journal of Environmental Science and Health & Part A, 2003, 38: 1981-1995.

Technical approach for inorganic fertilizer reduction and the efficiency enhancement in vegetable production: A case study in Chongqing city

LIANG Tao^{1, 3}, WANG Shuai², LIAO Dun-xin¹, LI Hong-mei², ZHAO Jing-kun², CHEN Yuan¹, NIE Ming¹, CHEN Xin-ping³, WANG Xiao-zhong^{3*} (1. Chongqing Academy of Agriculture Science, Chongqing 401329; 2. Chongqing Agricultural Technology Extension Station, Chongqing 401120; 3. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716)

Abstract: The application rate of inorganic fertilizer is high for vegetable production in China, resulting in great potential of reducing inorganic fertilizer. Based on the analysis of sources of inorganic fertilizer input in Chongqing, we conducted a survey on the fertilizer consumption in vegetable production covering main vegetable species in Chongqing. A multi-sites experiment was carried out to investigate the potential for reducing inorganic fertilizer, the partially substitution of organic fertilizers for inorganic fertilizers and the impact on yield. The result showed that vegetable production consumed 35.3% of the total inorganic fertilizer in Chongqing in 2017, and its contribution to the increase in inorganic fertilizer use in chongqing from 2010 to 2017 was 61.4%, much higher than other crops. Our survey from 469 famers in vegetable production revealed that the average total inorganic fertilizer application rate is $502.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (calculated in terms of N, P_2O_5 , K_2O). The inorganic fertilizer rate of multi-harvested vegetables (solanaceous fruit and melons vegetables) and shallow root vegetables (green leafy vegetables, cabbage and Chinese cabbage) was relatively higher, which also had the great potential for inorganic fertilizer input reduction, but deep root vegetable (rhizomes and tubers) applied relatively less inorganic fertilizer. The results of 54 experiments showed that partially substituting inorganic fertilizer with organic fertilizer significantly improved the application rate of organic carbon and organic nutrient (calculated in terms of N, P_2O_5 , K_2O) by 681.6 and 47.2 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively, simultaneously increased the vegetable yield by 14.7% and decreased inorganic fertilizer input by 88.0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, which accounting for 17.3% of the total inorganic fertilizer consumption. The nitrogen (N), phosphate (P_2O_5) and potassium (K_2O) fertilizer input were reduced by 27.26%, 43.6%, 17.2% respectively. Phosphate fertilizer had greater reduction rate than nitrogen and potassium fertilizer. In summary, the application rate of inorganic fertilizer is generally high for vegetable production in Chongqing, but multi-harvested vegetables and shallow root vegetables have greater inorganic fertilizer reduction potential. The use of organic fertilizers instead of inorganic fertilizers reduces the input of inorganic fertilizers and increases vegetable production.

Key words: inorganic fertilizer reduction; organic-substitute strategies; vegetables production; Chongqing