

南京地区大棚蔬菜生产的碳足迹调查分析

陈琳, 闫明, 潘根兴*

(南京农业大学农业资源与生态环境研究所, 南京 210095)

摘要:通过对南京郊区 5 种夏季大棚设施蔬菜生态系统的物质和管理投入进行现场问卷调查, 分析估算了不同设施蔬菜各个生产环节投入的碳成本以及碳排放强度等。结果表明, 不同设施蔬菜单季单位面积碳成本介于 $(867.1 \pm 240.6) \sim (2\,039.4 \pm 1\,163.3) \text{ kgCE} \cdot \text{hm}^{-2}$, 物质投入碳成本在整个生产投入中占极其重要的份额, 其中肥料投入的碳排放最大, 占总碳成本的 57.96%~82.37%, 而农膜投入占 11.97%~29.25%; 不同设施蔬菜单位面积碳排放、单位产量碳排放及单位产值碳排放存在差异显著。综上, 减少生产过程碳排放尤其是物质投入碳排放、提高施肥效益增加蔬菜产量、因地制宜选择蔬菜种植品种是促进蔬菜生产温室气体减排的重要途径。

关键词:设施蔬菜; 碳足迹; 温室气体减排

中图分类号: X511 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2011)09-1791-06

Evaluation of the Carbon Footprint of Greenhouse Vegetable Production Based on Questionnaire Survey from Nanjing, China

CHEN Lin, YAN Ming, PAN Gen-xing*

(Institute of Resource, Ecosystem and Environment of Agriculture, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China)

Abstract: A questionnaire survey of material and management inputs in production of five typical kinds of greenhouse vegetables from Nanjing was conducted. Carbon cost and C emission intensity involved in these vegetable production were evaluated using life cycle analysis methodology. Results showed that the total C inputs in a single growing season of the studied 5 types of greenhouse vegetables ranged from $(867.1 \pm 240.6) \text{ kgCE} \cdot \text{hm}^{-2}$ to $(2\,039.4 \pm 1\,163.3) \text{ kgCE} \cdot \text{hm}^{-2}$. While the material input possessed a predominant proportion in the total C cost, fertilizers and agricultural films were found in a proportion of 58%~82% and of 12%~29%, respectively. Furthermore, there were significant differences in the C intensity either per hectare or per ton of production between the vegetable types. Above all, reducing C input in the growing of vegetables and better application techniques to improve nutrient uptake and choosing suitable greenhouse vegetable varieties would be an effective measure to increasing carbon sequestration and mitigation in soil.

Keywords: greenhouse vegetables; carbon footprint; carbon sequestration and mitigation

自 20 世纪 70 年代以来, 土地利用温室气体排放及其对全球温室效应的影响越来越受到世界社会和学术界的关注, 而陆地生态系统固碳减排被认为是减缓全球气候变化的重要途径^[1-4]。农业是重要的人类源大气温室气体的来源, 但农业具有巨大的固碳减排潜

力^[5-7], 因而, 认识农业生产的碳足迹对于明确农业生产中温室气体排放态势和明确其减排途径和发展相应减排技术具有重要的科学意义^[8-10]。Lal^[11]调查给出了美国等西方国家农事操作的各项投入的碳成本估计, Hillier et al^[12]对英国主要食物农产品(马铃薯、西红柿及油菜等)进行了碳足迹调查分析, 提出了英国农业生产碳足迹的一般资料。最近, Cheng et al^[13]采用 1993—2007 年农业统计资料, 估计分析了中国农业生产总体温室气体碳成本。我们对粮食作物的碳足迹开展了调查研究, 利用问卷调查得到的数据初步估算了粮食生产的碳足迹(阎明等, 本专辑)。这些研究初

收稿日期: 2011-03-19

基金项目: 科技部“十一五”农田固碳减排支撑计划项目资助
(2008BAD95B13-1)

作者简介: 陈琳(1987—), 女, 硕士研究生, 主要从事农业减排技术研究。E-mail: chenlin.2007.03@163.com

* 通讯作者: 潘根兴 E-mail: pangenxing@yahoo.com

步认识到我国农业土地利用碳强度明显高于英国的估计,而单位产出的碳强度(产品碳强度)差异明显较小,同时提出了肥料在总碳成本中占70%以上。

随着农业环境工程技术的不断进步,近10年来设施蔬菜产业发展迅速,成为一种集约化程度很高的农业生产体系。目前亚欧美三大洲共有大型园艺设施209.899万 hm^2 ^[14]。我国的设施蔬菜生产发展迅速。2007年,全国蔬菜生产面积2250.20万 hm^2 ,其中设施蔬菜面积292.19万 hm^2 ,总产值3430.48亿元,净产值2193.06亿元,其总产值、净产量在蔬菜产业中的比重分别达47.13%和42.68%^[14]。人均蔬菜占有量高达240~250 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$,居世界领先水平,其中设施蔬菜人均占有量目前已达到了33 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$,比1981年增长了164倍^[15]。因此,设施蔬菜生产中温室气体排放的研究将为认识设施蔬菜产业的温室气体排放强度,探索温室气体减排的低碳蔬菜市场提供依据。

本文以南京市近郊典型夏季设施蔬菜生产为例,对蔬菜品种、产量、经济收益等农业经济指标以及生产管理中物质投入等进行问卷调查,采用文献研究的温室气体排放系数对设施蔬菜生产各个环节碳流量进行定量估算,分析不同设施蔬菜品种生产中碳足迹规模及其各项投入的构成,期望为评价设施农业碳排放强度,为发展高效低碳设施蔬菜生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查区设施蔬菜生产概况

2000年南京市蔬菜播种面积稳定在10万 hm^2 左右,年总产量26亿 kg ,蔬菜产值占种植业总产值的比重超过三分之一^[16]。至2008年末,全市设施蔬菜总面积达1.067万 hm^2 ,其中钢架大棚面积0.235万 hm^2 ;竹木大中小棚面积0.78万 hm^2 ;新型高架防虫网面积近133 hm^2 ;江宁区、浦口区、六合区、高淳县和溧水县都发展了一批以8m钢架大棚、现代新型防虫网为主的设施主产区,防虫网、遮阳网应用面积与覆盖面积快速增长,喷滴灌应用日益普及,夏季设施蔬菜生产快速发展^[16]。

本次调查选择了南京地区5种常见夏季设施蔬菜,分别为小白菜、空心菜、苋菜、黄瓜、番茄。空心菜、苋菜、黄瓜、番茄的调查区为南京雨花台区西寇无公害蔬菜基地,该基地位于雨花台区西善桥街道西寇村,面积100 hm^2 ,其中大中棚面积33.3 hm^2 ,包括钢架大棚20.67 hm^2 、竹木大棚14.67 hm^2 ,主要种植品种

为茄果类、瓜豆类、叶菜类等蔬菜;而小白菜调查区为南京江建南村。

1.2 调查研究方法

调查研究方法基本同文献[17]。调查共访问农户35家,其中小白菜、空心菜、苋菜、黄瓜、番茄各为10、7、7、7、4家农户。本研究调查对象是设施蔬菜生产,其系统边界为设施蔬菜生产系统,属于受人类活动深刻影响的“自然-经济-社会”复合农业生态系统。研究所涉及的只是特定的设施蔬菜从播种到收获产品期间的物质循环及经济价值,不涉及产品的去向。调查设施田块物质投入和产出的数据为2010年的当季值。农产品收获后的经济效益均以2010年的市场价格进行估算。

1.3 碳足迹估算方法

农业碳足迹即农产品生产系统中各项物质和能源投入产生的整体碳排放(E_h),以碳当量(CE)表示。其各分项包括:投入农用化学品涉及的能源碳排放(E_{ae})、农田人工管理物质投入的碳排放(E_m)和设施农事操作投入的人工碳排放(E_p):

$$E_h = E_{ae} + E_m + E_p \quad (1)$$

化学品投入涉及的碳排放包括杀虫剂生产碳排放(E_{in})、肥料生产碳排放(E_f)和农膜生产碳排放(E_{gf}):

$$E_{ae} = E_{in} + E_f + E_{gf} \quad (2)$$

人工管理碳排放(收获及其他人力相关的碳排放)包括灌溉活动的碳排放(E_{ir})、机耕活动的碳排放(E_{pl})和收获活动的碳排放(E_{ha}):

$$E_m = E_{ir} + E_{pl} + E_{ha} \quad (3)$$

1.4 与生产活动相关的碳排放估算及参数选择

1.4.1 人工的能量消耗排放(E_p)

$$E_p = V_{p-\text{CO}_2} \times n \times d \quad (4)$$

式中: $V_{p-\text{CO}_2}$ 为成人(默认60 kg 体重)每日呼出 CO_2 容积,取0.25 $\text{kgCE}\cdot\text{d}^{-1}$ ^[18]; $n \times d$ 为全生育期农事操作人·天数; E_p 单位为 $\text{kgCE}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{季}^{-1}$ 。

1.4.2 灌溉能源碳排放估计及参数

$$E_{ir} = V_{ir-\text{CO}_2} \times w \times h \times n \quad (5)$$

式中: $V_{ir-\text{CO}_2}$ 为发电的碳强度系数,取0.25 $\text{kgCE}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ^[19]; w 为灌溉所用的电机功(kW); h 为每次灌溉工作小时数; n 为灌溉次数; E_{ir} 单位为 $\text{kgCE}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{季}^{-1}$ 。

1.4.3 生产管理机耕投入所耗能源的碳排放

$$E_{pl} = V_{pl-\text{CO}_2} \times L \quad (6)$$

式中: $V_{pl-\text{CO}_2}$ 为假设农用机械所消耗的柴油的碳强度

系数,取 $0.72 \text{ kgCE} \cdot \text{L}^{-1[19]}$; L 为每年单位面积机耕总耗油量(L); E_{pl} 单位为 $\text{kgCE} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{季}^{-1}$ 。

1.4.4 所用肥料的能源碳排放

$$E_f = \sum_i U_{fi-\text{CO}_2} \times W_{fi} \quad (7)$$

式中: $U_{fi-\text{CO}_2}$ 为生产及施用肥料引起的碳排放强度 ($\text{kgCE} \cdot \text{t}^{-1}$); i 表示不同的肥料种类。根据逯非等^[20]对中国生产 N 肥的化石能源产生的 CO_2 的研究, N 肥生产的碳排放强度为 $1.74 \text{ tCE} \cdot \text{t}^{-1}$; P、K 肥的碳排放强度分别为 $165.09 \text{ kgCE} \cdot \text{t}^{-1}$ 和 $120.28 \text{ kgCE} \cdot \text{t}^{-1[21]}$; 而有机肥的碳排放强度估计为 $40.68 \text{ kgCE} \cdot \text{t}^{-1[22]}$ 。 W_{fi} 为施肥量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), E_f 单位为 $\text{kgCE} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{季}^{-1}$ 。

1.4.5 使用农药的能源消耗碳

$$E_{in} = V_{in-\text{CO}_2} \times W_p \quad (8)$$

式中: $V_{in-\text{CO}_2}$ 为生产化学杀虫剂排放的碳强度, 取 CO_2 ($4\,931.93 \text{ kgCE} \cdot \text{t}^{-1[23]}$); W_p 为农药使用量 ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$); E_{in} 单位为 $\text{kgCE} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{季}^{-1}$ 。

1.4.6 农膜使用的能源碳排放

$$E_{af} = V_{af-\text{CO}_2} \times W_{af} \quad (9)$$

式中: $V_{af-\text{CO}_2}$ 为农膜生产的碳排放强度, 取 CO_2 $0.68 \text{ kgCE} \cdot \text{kg}^{-1[24]}$; W_{af} 为的农膜使用量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

1.5 蔬菜生产的碳足迹评价指标

城郊蔬菜生产是高值农业生产, 我们按下列 3 个指标评价设施蔬菜生产的碳足迹。

1.5.1 土地利用碳强度

即单位面积设施蔬菜的碳排放强度 ($\text{kgCE} \cdot \text{hm}^{-2}$), 估算式如下:

$$GWP(\text{Land}) = Ch/R \quad (10)$$

式中: Ch 为调查农户的当季每种蔬菜大棚生产的碳排放总量 (kgCE); R 为大棚总面积 (hm^2)。

1.5.2 蔬菜产量的碳强度

即每生产 1 t 蔬菜产生的总碳排放, 估算式如下:

$$GWP(\text{Prod}) = Ch/Y \quad (11)$$

式中: Y 为单个蔬菜品种大棚生产总产量 (t)。

1.5.3 产业收益的碳强度

用以评价蔬菜生产的碳效益, 即每千元收益的碳代价, 按如下式估算:

$$GWP(\text{Eco}) = Ch/I \quad (12)$$

式中: I 为单个蔬菜大棚生产的总收益 (千元)。

1.6 数据处理和统计检验

所有数据均采用 Excel 软件进行统计分析, 采用 SPSS 软件进行差异显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 设施蔬菜生产总碳足迹

调查的 5 种设施蔬菜单季的平均土地利用碳排放强度介于 $(867.1 \pm 240.6) \sim (2\,039.4 \pm 1\,163.3) \text{ kgCE} \cdot \text{hm}^{-2}$, 总体平均达到 $(1\,253.68 \pm 1\,056.48) \text{ kgCE} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 1); 不同蔬菜品种生产中单季碳排放强度差异明显。其中西红柿土地利用碳排放强度平均为 $(2\,039.4 \pm 1\,163.3) \text{ kgCE} \cdot \text{hm}^{-2}$, 相当于黄瓜的 2 倍。不过, 其他 3 个设施蔬菜品种间差异不显著, 可见设施蔬菜碳排放强度因不同品种而有差异, 因为其生产管理不同而影响碳投入差异, 特别是肥料 (见下文)。

从表 1 可知西红柿番茄单位面积碳排放远高于其他 4 种设施蔬菜, 但其单位产量较高, 增加了碳汇, 因此单位产量碳排放更具有表征意义。有研究表明^[25], 作物固碳是主要的碳汇来源, 占碳汇来源的 96% 以上, 因此可以把增加作物产量的因素作为增加生态系统碳汇的重要调控措施。综合考虑碳投入和碳汇两个因素, 得出单位产量碳排放, 黄瓜、空心菜、番茄与苋菜及黄瓜、空心菜与小白菜碳排放存在显著性差异, 其中苋菜单位产量碳排放最高, 达到 $(103.7 \pm 59.0) \text{ kgCE} \cdot \text{t}^{-1}$, 黄瓜最低, 仅为 $(27.6 \pm 27.6) \text{ kgCE} \cdot \text{t}^{-1}$, 5 种设施蔬菜单位产量碳排放由高到低顺序为苋菜、小白菜、番茄、空心菜、黄瓜。

联系到蔬菜的生产和供应, 单位产量的碳强度评价蔬菜生产的碳排放可能对于发展蔬菜生产更为合理。同时, 考虑到农民的生计, 单位产值的碳强度对于蔬菜生产的经济效益可能提供参考。表 1 的数据表明, 小白菜土地利用碳强度居 5 种调查蔬菜最低, 但单位产值的碳强度却居 5 种调查蔬菜的首位, 为 $(56.7 \pm 27.4) \text{ kgCE} \cdot \text{千元}^{-1}$, 其单位产量的碳强度也较高。黄瓜最低为 $(16.3 \pm 9.2) \text{ kgCE} \cdot \text{千元}^{-1}$, 相反, 黄瓜的土地利用碳强度不高, 而产量的碳强度和产值碳强度均为最低, 不到小白菜和苋菜的 1/3, 也较大幅度低于西红柿。空心菜的产量和产值碳强度也较低。因此, 从低碳消费理念来说, 提倡食用黄瓜和空心菜比消费小白菜和西红柿能贡献温室气体减排。在普及低碳消费理念下, 可以通过调整蔬菜品种种植结构而达到大棚蔬菜温室气体减排。

2.2 设施蔬菜生产各环节碳投入分析

经计算得到设施蔬菜生产过程中各环节投入的碳排放占总碳强度的比例示于图 1。化学品物质投入的碳排放占有所有调查的蔬菜品种总碳成本的 89.4%~

表 1 调查的不同品种设施蔬菜碳排放强度
Table 1 Estimation of carbon emission in different greenhouse vegetable ecosystem

蔬菜品种	碳成本		
	土地利用/ kgCE·hm ⁻² ·季 ⁻¹	产量/ kgCE·t ⁻¹	产值/ kgCE·千元 ⁻¹
十字花科 小白菜	867.1±240.6ab	89.2 ±34.5ab	56.7± 27.4a
叶菜类 苋菜	1 536.5 ±918.2ab	103.7± 59.0a	54.7±39.6a
空心菜	1 604.1 ±1813.0ab	33.5 ±40.6c	18.6 ±19.5b
茄果类 西红柿	2 039.4±1163.3a	46.3 ±29.1bc	44.6 ±30.0ab
瓜类 黄瓜	1 093.4±443.6b	27.6±27.6c	16.3±9.2b

注:同列中不同小写字母表示在 5%水平上差异显著。
Note:Different letters in a row denoted significantly different at the level of 5%.

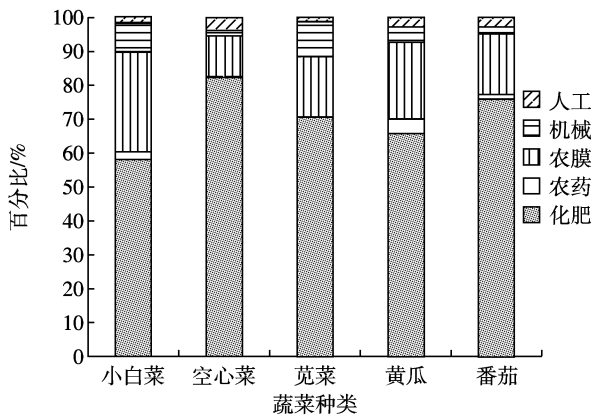


图 1 蔬菜各生产活动碳投入占总碳投入的比例
Figure 1 Ratio of different farming operation inputs in the total carbon input during greenhouse vegetable production

95.2%,其中,化肥投入的碳排放最大,占总碳投入的58.0%~82.4%;棚膜的碳投入比例在12.0%~29.2%间;机械投入的碳排放平均为74.81 kgCE·hm⁻²·季⁻¹,占总投入的8.6%。可见物质投入碳成本在整个生产投入中占极其重要的份额;农药投入和人工投入在总投入中比例相对较小,但农药和人工在整个蔬菜生产中的作用也不可忽视,可能对蔬菜产量和农户收益有一定的影响。

对不同蔬菜单位面积碳排放与 N 肥投入碳排放进行线性回归分析,结果如表 2。在调查的 5 种蔬菜样品中,除小白菜以外,其他 4 种设施蔬菜土地利用碳强度量随 N 肥投入碳排放的增加而显著线性增加规律;不过,小白菜土地利用碳强度与 N 肥施用量的线性关系并未达到显著水平。全部 5 种蔬菜的土地利用碳排放与 N 肥施用量呈极显著的线性关系(图 2),这与 Hellier et al^[12]报道的英国农作物生产中 N 肥与生产的总碳足迹的关系和 Cheng et al^[13]对中国农业

整体碳足迹与农业氮肥用量的关系的认识一致。这一结果也提示,农业中氮肥施用量控制是减缓温室气体排放的最重要途径,也为合理施用氮肥和减少单位面积施肥量提供了农业减排的契机。

表 2 不同设施蔬菜单位面积碳排放与 N 肥投入的关系
Table 2 Relation between carbon emission per area and amount of nitrogen applied to each field for each greenhouse vegetable type surveyed

蔬菜品种 Vegetable variety	调查农户数	拟合方程 Model equation	R ²
小白菜	10	Y=0.812 8X+1 715.6	0.56
空心菜	7	Y=1.023 2X+1 067.1	0.99**
苋菜	7	Y=0.983 6X+1 635.5	0.93**
黄瓜	7	Y=0.846 4X+1 140.6	0.88**
番茄	4	Y=0.923 6X+2 622.9	0.99**

注:**表示相关性达到极显著(P<0.01)水平。
Note:“**”denoted significant correlation at P<0.01 level.

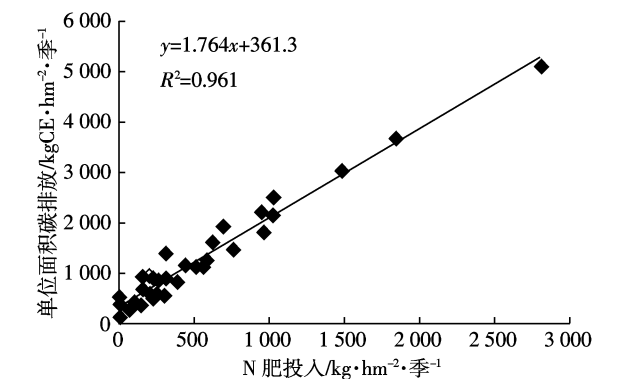


图 2 N 肥投入与单位面积碳排放的关系
Figure 2 Relation between carbon emission per area and amount of nitrogen applied to each field

2.3 大棚蔬菜碳排放施碳源、碳汇及经济效益综合比较

被调查的 5 种设施蔬菜每季每公顷总收益如图 3 所示,其中空心菜的总收益为(114.21± 90.54)千元·hm⁻²,小白菜与空心菜总收益、苋菜与空心菜总收益间存在显著性差异,空心菜总收益分别达到小白菜、苋菜的 6 倍、4 倍,可能由于空心菜生长迅速且每季可以收获多次使其产量较高,其他几种蔬菜间总收益不存在显著差异。从表 1 可以看出这 3 种设施蔬菜间的土地利用碳强度没有显著差异,但调查数据显示空心菜单位产量远远高于小白菜和苋菜,苋菜和空心菜同属叶菜类,从碳源、碳汇和经济效益 3 方面综合考虑,应优先选择碳汇和经济效益都较大的空心菜;而

西红柿的土地利用碳强度显著大于黄瓜,但两者的经济收益和单位产量没有显著差异,从低碳和经济效益综合考虑应优先选择利于碳减排的黄瓜,大棚蔬菜碳排放施碳源、碳汇及经济效益综合比较结果与上述从设施蔬菜碳足迹方面考虑得出的结论相同,因此蔬菜产量的碳强度和产业收益的碳强度可以成为相关管理决策的重要依据。

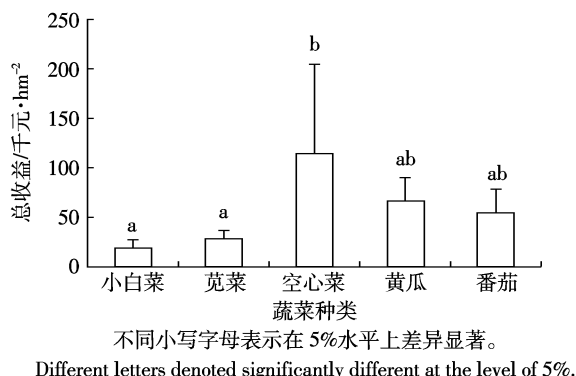


图3 不同设施蔬菜总收益比较

Figure 3 Economic benefits of each greenhouse vegetable type surveyed

3 结论

3.1 大棚蔬菜碳强度与减排

本次对南京地区大棚蔬菜的调查表明,5种大棚蔬菜的土地利用碳强度和产量的碳强度分别介于0.87~2.04 tCE·hm⁻²和0.03~0.10 tCE·t⁻¹。Hillier et al^[12]报道的英国土豆的土地利用碳强度平均为0.54 tCE·hm⁻²·a⁻¹。而阎明等(本专辑)对我国部分地区粮食作物的碳足迹分析,其土地利用碳强度为2.0~4.0 tCE·hm⁻²,单位产量的碳强度介于281.6~734.3 kgCE·t⁻¹。Cheng et al^[13]对1993—2007年间中国农业总体的土地利用碳强度估算平均为(0.67±0.08) tCE·hm⁻²·a⁻¹,看来,大棚蔬菜的土地利用碳强度可能高于大田生产,但由于设施条件控制,蔬菜产量较高,产量的碳强度可能低于大田。但Hillier et al^[12]对碳足迹的研究还分别按干物质和碳水化合物含量进行评价。蔬菜主要是获取养分和维生素,如何按蔬菜的营养价值进行碳评价对于合理指导低碳消费极其有益,但本研究还未能深入。另外,由于大棚蔬菜时多季作物而后反季节生产,其全年的碳强度的研究也有待今后展开。

对于碳足迹构成的研究得出,大棚蔬菜的碳足迹主要来自氮肥施用,其比重在58.0%~82.4%间,阎明等的研究指出粮食作物中化肥碳足迹平均占76%,与Hillier et al^[12]的报道类似。而Cheng et al^[13]研究认为中

国农业总体碳足迹中,氮肥占66%以上。Hiller等^[12]的对各种不同作物的调查结果表明,75%的碳排放来自氮肥的施用。王静^[26]对山西省各市2006年肥料生产、农业机械生产使用和灌溉过程带来的碳排放量计算,3种主要碳排放途径中,肥料生产所占比例达到了总碳排放的68%,其次是灌溉过程碳排放为27%。大棚蔬菜氮肥碳足迹比重低于种植业,并不是因为氮肥施用量低,而是大棚生产中地膜的消耗,构成了化学品碳排放的较高比例。陈卫明^[27]对南京市蔬菜地的调查指出,21世纪初南京蔬菜种植面积增长较快,但与其他作物比较,蔬菜地产量增长较慢,尽管蔬菜地化肥施用量比其他作物高60%以上、比水稻高1倍。因此,减少大棚施肥量不仅是控制大棚土壤退化,而且也是减排的需要。本次调查发现设施蔬菜施肥,菜农很少考虑温室作物种类、产量水平、土壤供肥能力、肥料利用率、气候条件等因素。因此,根据蔬菜营养需求提升施肥技术,适当控制蔬菜作物的施肥量,不仅可以减少农民投入成本,获得更多经济效益,还可以降低生产碳成本,达到减排的目的。

本次调查结果显示农膜投入所占比重也高达11.97%~29.25%。农膜为设施蔬菜增产、农民增收做出了很大的贡献,合理利用农膜对蔬菜增收减排有很大的意义。本次调查发现,设施蔬菜生产中地膜年年更换,5~7丝的厚棚膜2~3 a更换1次,但是如此多农膜并没有被回收利用,散落在自然环境中的农膜不仅破坏土壤环境而且影响对土壤赖以生存的作物生长,使其减产。应当加强农膜回收循环利用,提高农膜使用效率,开发新型环保型农膜。

蔬菜产量还与某地的土壤类型,之前土壤肥力等有关,目前还没有对相关土壤肥力、有机质、碳储量等进行测定,有必要根据当地具体情况种植适合的蔬菜以达到最大减排效应。此次调查的5种设施蔬菜单位面积产量、单位面积碳排放量、单位产量碳排放量及单位产值碳排放量有较大的差异,如苋菜单位产量碳排放显著高于黄瓜,是黄瓜单位产量碳排放的3.8倍,可以看出不同品种设施蔬菜对生产碳投入利用率相差很大。因此,在保障蔬菜安全生产和总产量不变的前提下,改变不同蔬菜种植模式,优先选择最佳碳源/汇设施蔬菜种类,从中得出最佳碳利用方案,是我国农业增汇减排的重要途径之一。

3.2 大棚蔬菜碳足迹估算不确定性与方法学问题

此次设施蔬菜生产系统碳投入估算的不确定性因素主要受调查样本量制约,调查数据的农户间变异

性较大。另外,对碳投入的估算方法还未成熟,有待完善,例如生物农药的碳强度和有机肥的碳强度的估算,还没有完善的方法学。在估算碳成本时,大棚支架作为固定设施没有考虑在总碳足迹内,是否按其使用寿命折算碳足迹还值得探讨。

参考文献:

- [1] Smith P, Martino D, Cai Z C, et al. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2007, 118(1-4): 6-28.
- [2] Smit B, Burton I, Klein R J T, et al. An anatomy of adaptation to climate change and variability[J]. *Climatic Change*, 2000, 45: 223-251.
- [3] Adams J M, Piovesan G. Uncertainties in the role of land vegetation in the carbon cycle[J]. *Chemosphere*, 2002, 49: 805-819.
- [4] Clark S B, David B, Zoe H. Carbon sink by the forest sector—options and needs for implementation[J]. *Forest Policy and Economics*, 2002, 4: 65-77.
- [5] United Nations. Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change[EB/OL]. http://unfccc.int/essential_background/kyoto_protocol/items/1678.php [1998/2009].
- [6] Follett R F. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils[J]. *Soil & Tillage Research*, 2001, 61(1-2): 77-92.
- [7] 韩冰, 王效科, 欧阳志云. 中国农田生态系统土壤碳库的饱和水平及其固碳潜力[J]. 农村生态环境, 2005, 21(4): 6-11.
HAN Bing, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun. Saturation levels and carbon sequestration potentials of soil carbon pools in farmland ecosystems of China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2005, 21(4): 6-11.
- [8] 曲建升, 孙成权, 张志强, 等. 全球变化科学中的碳循环研究进展与趋向[J]. 地球科学进展, 2003, 18(6): 980-987.
QU Jian-sheng, SUN Cheng-quan, ZHANG Zhi-qiang, et al. Trends and advances of the global change studies on carbon cycle[J]. *Advances in Earth Science*, 2003, 18(6): 980-987.
- [9] Six J, Conant R T, Paul E A, et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils[J]. *Plant and Soil*, 2002, 241: 155-176.
- [10] Lal R. Carbon management in agricultural soils[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2007, 12: 303-322.
- [11] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. *Science*, 2004, 304(5677): 1623-1627.
- [12] Hillier J, Hawes C, Squire G, et al. The carbon footprints of food crop production[J]. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2009, 7(2): 107-118.
- [13] CHEN Kun, PAN Gen-xing, Smith P, et al. Carbon footprint of China's crop production: An estimation using agro-statistics data over 1993—2007[J]. *Agric Ecosyst Environ*, 2011, 5: 12.
- [14] 张真和. 我国设施蔬菜发展中的问题与对策[J]. 中国蔬菜, 2009(1): 1-3.
ZHANG Zhen-he. Problems in greenhouse vegetables of China and their countermeasures[J]. *China Vegetables*, 2009(1): 1-3.
- [15] 刘健. 我国设施园艺工程存在的主要问题与对策[J]. 现代化农业, 2006(1): 37-40.
LIU Jian. Main issues and countermeasures of horticultural facilities in china[J]. *Modernizing Agriculture*, 2006(1): 37-40.
- [16] <http://www.njsegl.com/col746/index.php?colid=746>.
- [17] 李洁静, 潘根兴, 张旭辉, 等. 太湖地区长期施肥条件下水稻-油菜轮作生态系统净碳汇效应及收益评估[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1670-1676.
LI Jie-jing, PAN Gen-xing, ZHANG Xu-hui, et al. An evaluation of net carbon sink effect and cost/benefits of a rice-rape rotation ecosystem under long-term fertilization from Tai Lake region of China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(7): 1670-1676.
- [18] 杨士弘. 城市绿化树木碳氧平衡效应研究[J]. 城市环境与城市生态, 1996, 9(1): 37-39.
YANG Shi-hong. Primary study on effect of C-O balance of afforestation trees in cities[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1996, 9(1): 37-39.
- [19] BP China. Calculator of carbon emission[EB/OL]. (2007-02-03) [2007-11-03]. <http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?CategoryId=9011336&contentId=7025421>
- [20] 逯非, 王效科, 韩冰, 等. 中国农田施用化学氮肥的固碳潜力及其有效性评价[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2239-2250.
LU Fei, WANG Xiao-ke, HAN Bing, et al. Assessment on the availability of nitrogen fertilization in improving carbon sequestration potential of China's crop land soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(10): 2239-2250.
- [21] Smith P, Martino D, Cai Z C, et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture philosophical Transactions of the Royal Society[J]. *Biological Sciences*, 2008, 363: 789-813.
- [22] 刘洪涛, 陈同斌, 郑国砥, 等. 有机肥与化肥的生产能耗、投入成本和环境效益比较分析: 以污泥堆肥生产有机肥为例[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 1000-1003.
LIU Hong-tao, CHEN Tong-bin, ZHENG Guo-di, et al. Comparative analysis of organic and chemical fertilizer production energy consumption, input cost and environmental benefit: Sewage sludge composting as example[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(4): 1000-1003.
- [23] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, 91: 217-232.
- [24] 河南省统计局. 河南统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
Henan Statistics Bureau. Henan statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [25] 彭华, 纪雄辉, 刘昭兵, 等. 洞庭湖地区长期施肥条件下双季稻田生态系统净碳汇效应及收益评估[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2526-2532.
PENG Hua, JI Xiong-hui, LIU Zhao-bing, et al. Evaluation of net carbon sink effect and economic benefit in double rice field ecosystem under long-term fertilization[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12): 2526-2532.
- [26] 王静. 山西省农田生态系统碳源汇问题分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
WANG Jing. Analyze of carbon source/sink of farmland ecosystem for example Shanxi Province[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2009.
- [27] 陈卫明. 南京市农业可持续发展中的肥料问题与对策[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
CHEN Wei-ming. Fertilizer issues and strategies of sustainable agriculture development in Nanjing[D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2004.