

中国农业系统碳汇功能^{*}

刘允芬

o 中国科学院 国家计划委员会 自然资源综合考察委员会, 北京 $\pi\alpha\kappa\omega\pi\rho$

摘 要 研究我国现实和未来农业系统碳汇功能, 提出该系统碳排放和碳固定清单。以 $xZZw\ xZZB$ 和 $y\alpha\alpha v$ 年为例, 对周年碳平衡进行计算分析, 绘制出全国农业系统碳平衡概图。碳的排放、固定、转移量占当年吸收量的百分比分别为 $Ey\ u\Gamma\ \% - EA\ uA\ \% , xA\ uB\ \% - xB\ u\Delta\ \%$ 和 $x\ u\omega\ \% - x\ u\Delta\ \%$, 年固碳量为 $x\ u\omega\ \times x\ u^F - x\ uA\ \times x\ u^F$ 。无论是现阶段还是气候变化后, 我国农业系统对碳的吸收均大于排放, 对大气 $\Pi\phi_y$ 而言, 不是源而是汇。在全球温室气体逐年增加的情况下, 应采取积极措施, 加强农业系统碳汇功能, 为减缓大气 $\Pi\phi_y$ 浓度的增加做出贡献。

关键词 农业系统 碳汇功能 源 汇

x 前 言

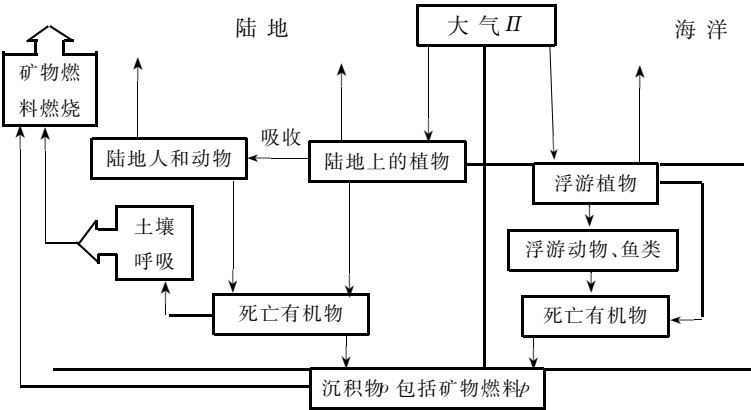
政府间气候变化专门委员会 ($Xp\ III$) $xZZw$ 年报告指出 H° 对 $\Pi\phi_y$ 源和汇的定量估算还存在不平衡……, 北半球的地球生态系统是一个显著的 $\Pi\phi_y$ 的汇, 但是这样一个汇还没有被直接证实……” ^{$\theta_{\Delta\kappa}$} , 这个不平衡叫做“丢失的碳汇”。 $xZZy$ 和 $xZZA$ 年 $Xp\ III$ 的报告对该评估没有实质性改变 ^{$\theta_y\ \varphi^{\kappa}$} 。对于“丢失汇”的研究, 使陆地生态系统的作用日益引起注意。我们初步研究曾指出我国农业系统

“对大气 $\Pi\phi_y$ 浓度而言, 不是源而是汇” ^{$\theta_{\Delta\kappa}$} , 对于农业系统的碳汇功能有必要深入探讨。

y 研究方法 与 结果

$y\ u\omega$ 碳平衡的概念及其表达模型

生物圈具有相当大的贮碳功能。绿色植物生长中, 通过光合作用吸收大气中的 $\Pi\phi_y$ 形成有机物; 继之被人和动物食用, 或加工为工业品被利用; 再通过消化(消耗)、分解, 以碳的不同形式排放到大气、土壤、水体; 然后又被植物吸收, 重新进入循环…… θ 图 $x\rho$ 。



图x 生物圈碳平衡示意图

^{*} 本文为国家八五攻关项目“ $EB-Zx\ -u\Gamma$ ”成果之一, 并得到国家教委留学回国人员基金资助。
收稿日期 $HxZZ\Delta -x\ u\upsilon -z\ x\ \theta$ 修改稿收稿日期 $xZZE -u\omega -uB$

对百年以下的时间尺度,陆地生物圈对碳汇有意义的是生长着的植物和土壤,通过形成生物量和存贮更多的土壤碳来对大气 $\Pi\phi_y$ 浓度的增加作出响应。研究我国农业系统碳汇功能,边界条件是 $Zi\Gamma \times xw^A \varphi_1^y$ 耕地、 $ziZy \times xw^E \varphi_1^y$ 草地以及近海和淡水水面上的各种农作物、牧草、畜禽、水产品的第一、二性产品及其加工品。研究该系统中碳平衡的动态过程并探讨碳汇功能,分为四个子系统即吸收子系统 H 一性生产通过光合作用对碳的吸收同化。排放子系统 H 人畜食(饲)用消费、生物能源燃烧、以农产品为原料的日用品年内消耗及还田有机物年内分解等相当的碳量。固定子系统 H 系统内留种、库存及日用品和还田有机物年内未消耗(分解)部分所相当的碳量。转移子系统 H 出口农牧产品相当的碳量。均以日历年为时间单位。

为了得到碳在上述四个子系统中的数量,以下述公式表示它们之间的关系 H

农业系统吸收的碳量 (β^s) K 排放量 (Σ^s) + 固定量 (T^s) + 转移量 (α^s) (x)

从碳平衡 (O^s) 的角度考虑,则可以下式表示 H

$$O^s K \beta^s - \Sigma^s - \alpha^s \quad (y)$$

式中 s 为年序(下同)。如果 $O^s \Delta w$, 则 $\beta^s \Delta (\Sigma^s + \alpha^s)$, 说明系统周年内有碳积累,对大气而言吸收多于排放,为碳汇,否则为碳源。

根据以上对农业碳循环动态过程的分析,遵循系统动力学原理,以数学方程及函数关系模拟农业系统中的碳循环规律,并预测未来气候条件下碳的源汇关系以及平衡状况的变化趋势。模型的基本方程包括 H

吸收子系统 $\beta(s) H$

$$\beta os p K \beta T(s) + \beta \partial(s) + \beta X(s) + \beta s(s) oz p$$

式中 βT 、 $\beta \partial$ 分别为种植业、畜牧业生产中对碳的吸收, βX 、 βs 分别为进口和上年存留农产品相当的碳量。

排放子系统 $\Sigma os p H$

$$\Sigma os p K \Sigma O(s) + \Sigma \delta x(s) + \Sigma T x(s) + \Sigma E(s) + \Sigma \phi x(s) \quad oAp$$

式中 ΣO 为生物能源燃烧、 $\Sigma \delta x$ 为还田秸秆及凋落物当年分解还原、 $\Sigma T x$ 为食用类农产品当年消费、 ΣE 为存栏畜生存耗料、 $\Sigma \phi x$ 为日用和生产消费品当年消耗的农产品相当的碳量。

固定子系统 $T os p H$

$$T os p K T \delta y(s) + T \delta z(s) + \Sigma T y(s) + \Sigma T z(s) + T \phi y(s) + T \phi z(s) \quad (B)$$

式中 $T \delta y$ 和 $T \delta z$ 为还田秸秆及凋落物当年未分解还原、 $\Sigma T y$ 和 $\Sigma T z$ 为食用类农产品当年未消费、 $T \phi y$ 和 $T \phi z$ 为日用和生产消费品中当年未消耗农产品相当的碳量。

转移子系统 $\alpha os p H$

$$\alpha os p K \alpha X(s) + \alpha E(s) \quad o\Gamma p$$

式中 αX 、 αE 分别为直接出口的一性农产品和出口畜产品相当的碳量。

yuy 现实中国农业系统的碳汇功能

根据“yua”中的模型分别计算了我国 xZZw 和 xZZB 年农业系统的碳平衡。

吸收子系统 H 计算中资料取自中国统计年鉴及调研材料。xZZw—xZZB 年全国耕地面积减少 $\Delta xuy \times xw^A \varphi_1^y$, 年均减少 $xA \times xw^A \varphi_1^y$; 由于单产提高, 同期第一性农产品吸收的 Π 量增加到 $Ew\Gamma E \times xw^A s$, 年均增长 $x yaw \times xw^A s$ 。

排放子系统 H 全部计入当年排放的是生物能源和人畜食(饲)用消耗的农产品。部分计入的有两项 H 一是日用和生产消费品中当年消耗的部分, 如棉、麻、丝、皮、毛及其加工产品, 按不同生活水平及该物的不同使用年限计算出当年消耗排放的百分比(全国加权值为 $\Gamma w\% - Ew\%$); 二是埋入土壤中的有机肥, 按不同分解速率计算当年排放还原的碳量。根据我们 xZZB—xZZA 年在中国科学院拉萨农业生态站和我会“北亚热带中高山草地畜牧业优化生产模式”课题组 xZZy—xZZz 年

在四川巫溪红池坝所作试验，并参照调研材料，加权计算了全国的分解速率系数，当年取值为 $w\Gamma\Delta-w\iota\Delta r$ 。

固定子系统包括H①农产品的库存、留种量；②生产和生活消费品中一年以上耗用量；③埋入土壤中的有机物一年以上分解量。

转移子系统是指直接出口的农产品（含加工品）。

从计算结果看， $xZZw$ 和 $xZZB$ 年农业系统的碳排放均小于碳吸收，当年碳的固定量占吸收量的 $xA\%$ 以上， $xZZB$ 年固定量 $x\gamma\Gamma BB\iota\Delta B\times xw^A$ （图y），比 $xZZw$ 年净增加 $xExw\times xw^A\Pi$ ，排放与吸收之比增加 $xw\%$ 。进一步证实了我国农业系统是碳的弱汇的结论。

yιε 我国农业系统碳汇功能的地区分布

我国地形、气候复杂，农业生产布局地域差异大，应针对不同农业气候区分别进行讨论。因资料所限，暂以省为单位模拟计算分区农业系统碳平衡状况，将各区碳的当年固

定量与吸收量之比定义为“农业碳汇功能系数”，表征各区碳汇功能强度。该系数在 $-w\iota\kappa A$ （上海） $-w\iota\Delta y$ （山东）之间，依此将全国分为四个区H低于 w 为农业碳源区，包括京津沪、广东及云贵川，这些地区碳的排放量大于吸收量，“固定量”为负值；除上述地区外该系数均高于 w 为农业碳汇区，每年有一定量的碳固定；高于 $w\iota A$ 为强汇功能区，位于冀鲁豫； $w\iota y-w\iota A$ 为中汇功能区，包括东北三省及安徽、新疆；全国多数区域为 $w-w\iota y$ 的弱汇功能区。人口密度高、人均农业土地占有少，或农业单产低的地区碳排放量高于或接近吸收量而成为农业碳源区。农业生产发达地区单产高，碳汇功能强，周年碳排放量仅为吸收量的三分之二左右。从全国农业系统看，就大多地区而言农业碳汇功能系数高于 w ，为碳汇区。

yιA 未来农业系统碳汇功能预测

气候变化后农业碳汇功能将怎样发展是人们更关心的问题。为了预测未来气候条件

图y $xZZB$ 年中国农业生态系统碳平衡图 o 单位 $xw^A\Pi p$

下农业系统碳汇的可能变化及其对大气 CO_2 浓度变化的贡献,以2050年为目标进行了预测分析,仍用1990的模型计算。对于吸收子系统,首先考虑土地利用改变造成的未来耕地特别是农业播种面积减少的影响。根据对耕地面积及各种作物播种面积进行的时间序列分析,并考虑了国家对占用耕地的控制政策以及由于自然灾害减少和开荒增加耕地,2050年耕地约为 2.4×10^8 hm^2 。以复种指数 1.5 计,农播面积 3.6×10^8 hm^2 。据现有预测^[10],从现在起到本世纪末,我国大部分地区气温略有上升并大致与本世纪90年代相似;降水变化较为复杂。由于大气 CO_2 浓度增加、气温上升和降雨在部分地区增多,单位土地面积上植物对碳的吸收及其有机物的产出亦将随之变化。根据对各种作物单产进行的动态分析,2050年单产增加幅度达 $10\% \sim 20\%$,第一性生产对碳的吸收量增加到 1.4×10^{11} g 。

对于排放子系统,由于加强了农业副产

品的资源化利用,生物能源和直接还田有机物当年排放量与2000年接近。随着经济发展对农产品的需求和消费将有不同程度提高,2050年我国将进入工业化中期阶段,全国人口将达12亿。对未来消费水平的预测参照了发达国家和前苏联相应时期的水平^[11]。人均国民收入增加到5000美元。耐用消费品和劳务支出比重提高,非耐用消费品比重下降。根据这一思路以及对20年代以来消费水平的动态分析,综合确定了消费水准。碳排放量预计为 1.2×10^{11} g 。

对于转移子系统,根据国家的进出口政策,农产品出口会稳步增长,出口相当碳量为 0.3×10^{11} g 。综合上述预测,2050年农业系统将有 0.4×10^{11} g 的碳固定,占吸收碳量的 28% ,与现实水平基本持平。说明在未来条件下农业系统仍能保持碳汇功能(图2)。

2.2 从人均角度看我国农业系统的碳汇功能
对于碳汇功能的分析还应考虑它的人

图2 2050年中国农业生态系统碳平衡图 o 单位 10^{11} g

具有迫切的现实意义和深远的政治意义，而且在理论研究上也有重要价值。

参 考 文 献

x *Xf* *III* *s* *xZZ* *us* *Ik* χ_1 $\xi^s \sigma$ *Πφξ* $\imath \nu \sigma$ *u* $\alpha \varphi \sigma$ *Xf* *III* *s* $\pi \eta \sigma^2 \cdot 8 \eta \zeta \eta$
 $\Xi^{\imath \cdot 7} \sigma^{\imath \cdot 7} \imath \sigma^2 \cdot 8$ *u* $\Phi^3 \imath \nu \varphi^{8 \cdot 3 \cdot 2}$ $\Psi \alpha$ *s* $\Psi \sigma^2 \omega \chi^{\imath \cdot 7}$ $\Upsilon \Psi$ $\xi^2 \rho$
 $\Sigma^{\imath} \varphi^s \xi^{\theta \cdot 1 \cdot 7}$ $\Psi \Psi u \sigma \rho^{\imath}$ $\imath \nu$ *u* $\Pi \xi^{\imath \cdot 1}$ $\circ^{\theta} \chi \rho \nu \sigma$ $\beta^2 \eta \sigma^{\theta \cdot 7} \eta^3$ $\imath \nu^{\theta} \sigma^{\imath \cdot 7}$,
 $\Pi \xi^{\imath \cdot 1}$ $\circ^{\theta} \chi \rho \nu \sigma$ $\wp \beta \Omega$ *Ik* *IB*

y *Xf* *III* *s* *xZZy* *H* $\Pi \chi_1$ $\xi^s \sigma$ *Πφξ* $\imath \nu \sigma$ *xZZy* *u* $\alpha \varphi \sigma$ $s^{\theta \cdot 4 \cdot 1 \cdot 0} \sigma \imath$
 $\imath \sigma^2 \cdot 8 \xi^{\theta \cdot 3}$ $\rho \sigma^4 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 8$ $\varphi \sigma$ *Xf* *III* *s* $\pi \eta \sigma^2 \cdot 8 \eta \zeta \eta$ $\Xi^{\imath \cdot 7} \sigma^{\imath \cdot 7} \imath \sigma^2 \cdot 8$ *u*
 $\Phi^3 \imath \nu \varphi^{8 \cdot 3 \cdot 2}$ $\Psi \alpha$ *s* $\Pi \xi^{00} \xi^3 \rho \sigma^{\theta}$ *O* $\Xi \xi^3 \rho$ $\gamma \xi^{\theta \cdot 2} \sigma^3$ *s* Ω *u*
 $\circ \sigma \rho^{\imath}$ $\imath \nu$ *u* $\Pi \xi^{\imath \cdot 1}$ $\circ^{\theta} \chi \rho \nu \sigma$ $\beta^2 \eta \sigma^{\theta \cdot 7} \eta^3$ $\imath \nu^{\theta} \sigma^{\imath \cdot 7}$ *s* $\Pi \xi^{\imath \cdot 1}$ $\circ^{\theta} \chi \rho \nu \sigma$ *s*
 $\beta \Omega$ *H* $\gamma \tau \alpha \nu$

z *Xf* *III* *s* *xZZA* *H* $\Pi \chi_1$ $\xi^s \sigma$ *Πφξ* $\imath \nu \sigma$ *xZZA* *u* $\rho \xi \rho \xi^s \eta^{\theta} \sigma$
 $T^3 \cdot \theta \pi \chi^{\imath \cdot 3 \cdot \tau}$ *Ik* χ_1 $\xi^s \sigma$ *Πφξ* $\imath \nu \sigma$ $\xi^2 \rho \xi^2$ $\Sigma^{\theta} \xi^{\theta \cdot 9} \xi^s \eta^2$ $\cdot 3 \tau \cdot 8$ $\varphi \sigma$
Xf *III* *Xs* *Zy* $\Sigma^{\imath} \chi^{\imath \cdot 7} \eta^2$ *s* $\pi \sigma^2 \xi^{\theta} \chi^{\imath \cdot 7}$ *u* $\Phi^3 \imath \nu \varphi^{8 \cdot 3 \cdot 2}$ $\Psi \alpha$ *s*
 $\epsilon \sigma \xi^{\xi} T \eta^{\theta} \varphi^3$ $\partial \Upsilon$ *s* $O^{\theta \cdot 9} \pi \sigma O \Psi u \sigma \rho^{\imath}$ $\imath \nu$ *u* $\Pi \xi^{\imath \cdot 1}$ $\circ^{\theta} \chi \rho \nu \sigma$

$\beta^2 \eta \sigma^{\theta \cdot 7} \eta^3$ $\imath \nu^{\theta} \sigma^{\imath \cdot 7}$ *s* $\Pi \xi^{\imath \cdot 1}$ $\circ^{\theta} \chi \rho \nu \sigma$ *s* $\beta \Omega$ *Ik* $\cdot Z$

A 刘允芬 *u* 农业生态系统碳循环研究 *u* 自然资源学报, *xZZB* $\Theta \tau \omega(x)$ *H* $-E$

B 国家科学技术委员会 *u* 中国科学技术蓝皮书 *u* 第 *B* 号, 气候, 北京 *I* 科学技术文献出版社, *xZZ* $\imath \nu HAE - xB \epsilon$

Γ 中国社会科学院世界经济与政治研究所综合统计研究室编 *u* 苏联和主要资本主义国家经济历史统计集 *u* 北京 *H* 人民出版社, *xZZ* $\imath \nu IEZ - ZB$

Δ 国外经济统计资料编辑小组编 *u* 国外经济统计资料 *u* 北京 *H* 中国财政经济出版社, *xZZ* $\imath \nu Hx \tau - x \gamma \Delta$

E 刘允芬 *u* 西藏高原农田土壤 $\Pi \phi_y$ 排放研究初报 *u* 自然资源学报, *xZZE* $\Theta \tau \omega(y)$

作者简介

刘允芬, 女, *Bx* 岁, 副研。目前从事全球变化对农业影响和响应方面的国家攻关及自然科学基金研究有关课题。

欢迎订阅 *xZZZ* 年《中国农学通报》

《中国农学通报》是由中国科学院院士、著名的农业科学家庄巧生先生任主编、中国农学会主办的农业综合性学术期刊, 也是中国科协优秀学术期刊和全国农口系统优秀科技期刊。主要报道国内外农牧业各学科的研究报告、学术交流报告、试验简报、研究进展、专题综述、新品种选育、国外农业以及农业宏观论述(农业论坛和基层论坛), 刊登种植业(农药、农膜、农机、土壤、肥料、种子、栽培、病虫害防治)、养殖业(种畜、种禽、畜牧、水产、饲料、添加剂、兽药、病虫害防治)、农产品贮藏加工业(保鲜技术、保鲜剂、食品开发、加工机械)等方面的实用新技术、新方法; 提供国内外农业科技信息及动态。适合各级农牧科技人员、农技推广人员、农业行政管理干部、农业大中专院校师生和广大农村养殖及种植专业户等参

阅。

《中国农学通报》为双月刊, 公开发行, 国内统一刊号为 $\Pi \theta$ *xx* $-xZE$ $\imath \nu s$, *xΓ* 开本, *E* $\imath \nu$ 页, 每期定价 *Bu* $\imath \nu$ 元。本刊由中国农学会编辑出版部自办征订、发行(邮局不办理)。

订购者款汇 *H* 北京市朝阳区麦子店街 *yw* 号楼

中国农学会编辑出版部

开户银行 *H* 北京市工商行朝阳支行八里庄

分理处

帐号 *H* $\imath \nu \imath y, x \tau Z - zA$

单位 *H* 中国农学通报编辑部

邮政编码 *H* $\tau \tau \alpha \imath \imath y \Gamma$

电话 *H* ($\tau \omega \tau \omega$) $\Gamma ArZAAE \imath \nu$, $\Gamma ArZAA \imath \nu B$