

基于 GIS 技术的中国农田钾素养分收支平衡研究^①

方玉东^{1,2}, 胡业翠², 封志明^{2*}, 李新举³, 吴佩林⁴

(1 国家自然科学基金委员会, 北京 100085; 2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3 山东农业大学, 山东泰安 271018; 4 山东理工大学, 山东淄博 255049)

摘要: 基于农田养分收支平衡模型、农业经济统计数据, 结合 GIS 技术, 研究了 2000 年我国农田 K 素的平衡特征, 并利用 GIS 技术对研究结果进行了空间表达与分析。主要结论有: ①我国农田 K 素投入总量为 1.068×10^7 t, 农田 K 素总支出为 1.458×10^7 t, 农田 K 素处于亏缺状态, 亏缺量为 3.90×10^6 t, 平均单位耕地 K 素亏缺 40 kg/hm^2 ; ②在县域层面上, 农田 K 素处于亏缺的县域单元数占全部县域单元数的 77.39%, 我国绝大多数的县域单元农田 K 素处于亏缺状态; ③我国农田 K 素输入中化肥 K 素投入 4.77×10^6 t, 有机肥 K 素投入总量为 4.98×10^6 t; ④在全国层面上, 由人畜粪尿提供的 K 占全部有机 K 肥总投入的比例为 48.98%, 由秸秆提供的 K 占全部有机肥 K 素投入总量的比例为 51.02%; ⑤全国农田 K 素支出总量中 K 素生物产出总量为 1.335×10^7 t, 占农田 K 素总支出的比重为 91.56%。

关键词: 农田; 钾素; 养分收支平衡; 县域

中图分类号: S152.7

钾 (K) 是排在 N 和 P 之后居第 3 位的大量营养元素, 是植物体内最丰富的阳离子, K 能提高作物的抗旱、抗寒、抗病、抗倒伏的能力, 而且可提高抵御外界恶劣环境的忍耐力, K 有“抗逆元素”之称, 因此保证农田 K 素的足量供给对于保障粮食安全, 提高农产品产量具有重大意义。我国农田总养分平衡状况是 N、P 略有盈余, K 素整体亏缺, 严重缺 K 土壤约占全国耕地面积的 1/3, 主要分布在南方稻作区^[1]。我国土壤 K 素空间分布不均, 土壤全 K 含量呈现出从东南部地区向西北部地区逐渐增加的趋势, 缺 K 土壤主要分布于长江以南的地区, 在缺 K 地区 K 素的投入是否足量就成为影响农业生产的肥力因素之一。

国内外学者从微观与宏观两个角度对包括 K 素养分在内的农田养分平衡状况进行了很多研究^[2-9]。养分收支平衡微观层面上的研究主要是指通过土壤肥料等相关的田块试验或者是根据某一或几个农场的投入产出数据, 找出某些点上的养分变化规律来反推区域或者是国家水平上的农田养分收支平衡状况。尽管养分收支平衡研究在微观层面取得了很大成果, 得出了很多建设性结论, 但针对国家和区域层面的农业生态系统养分循环和平衡研究很少。宏观研究的意义在于能够从系统的高度把握事物运行的规律与特点, 从而为

事物的进一步发展提出战略性的对策。就农田养分收支平衡的宏观研究来说, 其研究结果对我国肥料资源的区域优化配置具有重要的指导价值。

本文基于农业宏观统计数据, 分析农田 K 素投入支出的盈亏状况, 期望为我国农田 K 素养分的投入及 K 肥资源的空间配置提供决策依据。

1 数据来源与 GIS 应用

1.1 数据来源

本文所用数据有统计数据、调查数据、图形数据以及已经公开发表的文献资料中的数据。所用数据主要来源于“中国自然资源数据库”2000 年的数据。

1.2 GIS 技术应用

在本研究中, 运用 GIS 技术, 将地理学的观点引入农田养分平衡的研究中, 强调研究结果的地理空间差异性表达, 所用软件是 ArcGIS8.3。具体方法参见作者发表的相关文章^[10]。

2 农田钾素养分收支平衡模型及研究结果

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-333) 和我国快速城市化

* 通讯作者 (fengzm@igsrr.ac.cn)

作者简介: 方玉东 (1977—), 山东莒县人, 博士, 主要从事土地资源管理、土壤养分资源的

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-333) 和我国快速城市化进程中的城镇水资源保障研究项目 (06BJL036) 资助。

* 通讯作者 (fengzm@igsrr.ac.cn)

作者简介: 方玉东 (1977—2)(1977—), 山东莒县人, 博士, 主要从事土地资源管理、土壤养分资源的宏观配置、科技组织管理等方面研究。E-mail: fyd003@163.com

$$BA_K = (K_{t-in} - K_{t-out}) / LA \quad (1)$$

$$K_{t-in} = F_K + ORG_K + IR_K + PRE_K \quad (2)$$

$$K_{t-out} = BI_K + LE_K \quad (3)$$

式中, BA_K 为单位面积耕地上 K 素盈亏量 (单位为 t/hm^2); K_{t-in} 为农田 K 素的总投入 (t); K_{t-out} 为农田 K 素的总支出 (t); LA 为某一区域的耕地面积 (hm^2); F_K 为化肥 K (单一 K 肥与复合肥 K) 投入量 (t); ORG_K 为由秸秆与粪尿还田提供的 K 素 (t); IR_K 为通过灌溉携入的 K (t); PRE_K 为降水携入的 K 量 (t); BI_K 为农田 K 素的生物产出量 (t); LE_K 为通过径流渗漏损失的 K 素 (t)。

根据式 1 计算可得, 我国农田 K 素投入总量为 $1.068 \times 10^7 t$, 农田 K 素总支出为 $1.458 \times 10^7 t$, 农田 K 素处于亏缺状态, 亏缺量为 $3.90 \times 10^6 t$, 平均单位耕地 K 素亏缺 $40 kg/hm^2$ 。

按照国家统计局对区域的划分, 我国东部地区农田 K 素投入总量为 $4.84 \times 10^6 t$, 单位耕地投入为 $150 kg/hm^2$; 中部地区农田 K 素投入总量为 $3.99 \times 10^6 t$, 单位耕地投入为 $90 kg/hm^2$; 西部地区农田 K 素投入总量为 $1.85 \times 10^6 t$, 单位耕地投入为 $80 kg/hm^2$ 。就东、中、西部单位耕地农田 K 素的亏缺量来说, 东部为 $28 kg/hm^2$, 中部为 $41 kg/hm^2$, 西部为 $58 kg/hm^2$, 西部亏缺量为东部的 2.07 倍, 中部基本上处于全国平均水平。

省域层面上, 除了广东省、西藏自治区、广西壮族自治区与福建省外, 农田 K 素投入都处于不足状态。上海市与重庆市单位耕地亏缺量处在 $100 kg/hm^2$ 以下的水平, K 素投入严重不足。

在县域层面上, 农田 K 素处于亏缺的县域单元数占全部县域单元数的 77.39%, 也就是说我国绝大多数的县域单元农田 K 素处于亏缺状态。为从宏观上方便考察我国县域农田 K 素的盈亏程度, 结合县域农田 K 素盈亏量的分布特点, 将我国县域农田 K 素的盈亏划分为 4 级 (图 1): ① $< -64 kg/hm^2$ 为严重亏缺, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 25.80%, 其耕地面积占全部耕地面积的 30.41%; ② $-64 \sim -35 kg/hm^2$ 为中度亏缺, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 29.18%; ③ $-35 \sim 0 kg/hm^2$ 之间的为轻度亏缺, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 26.52%, 其耕地面积占全部耕地面积的 30.41%; ④ > 0 的为盈余, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 20.36%。其耕地面积占全国总耕地面积的 14.85%。

29.18%; ③ $-35 \sim 0 kg/hm^2$ 之间的为轻度亏缺, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 26.52%, 其耕地面积占全部耕地面积的 30.41%; ④ > 0 的为盈余, 这部分县域单元数占全部县域单元数的 20.36%。其耕地面积占全国总耕地面积的 14.85%。

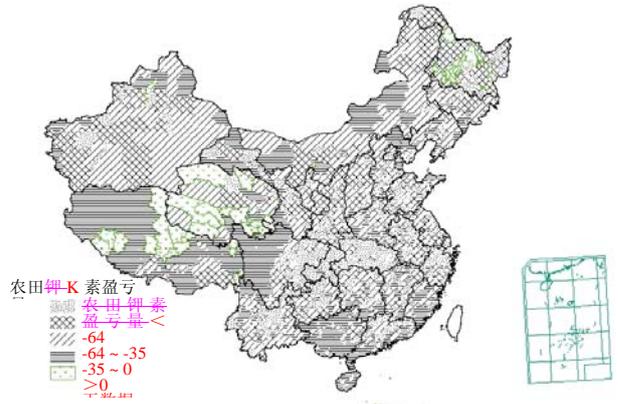


图 1 县域农田单位耕地 K 素盈亏空间分布 (kg/hm^2)

Fig.1 Spatial distribution of profit-loss ratio of potassium nutrient of farmland on county level

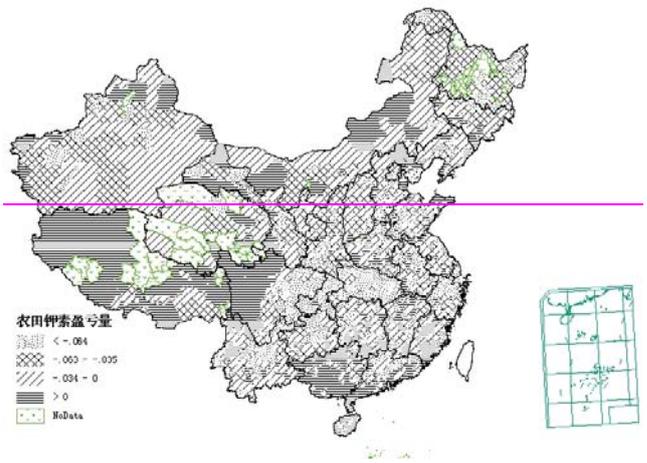
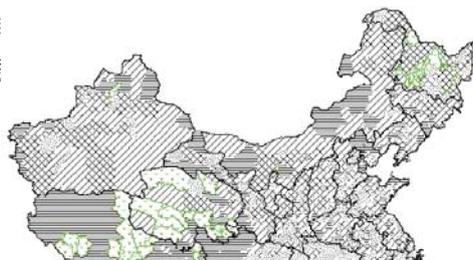


图 1—县域农田单位耕地 K 素盈亏空间分布 (t/hm^2)

Fig.1 Spatial distribution of profit-loss ratio of potassium nutrient of farmland on county level

近年来, 许多研究者从宏观层面分析了省和区域层面的农田物质循环和养分收支平衡状况, 尽管各地施肥情况和农作物生物量不同, 但所得到的结果较为一致^[13], 那就是我国农田 K 素一直处于亏缺状态, 每公顷亏缺 $37.5 \sim 340.5 kg$ 。



在空间上, 农田 K 素亏损的县域单元没有明显的分布规律, 但也有集中分布的趋势。农田 K 素处于严重亏损的县域单元集中分布在我国的中西部地区, 在东部、南疆地区以及黑龙江省内的某些县域单元内农田 K 素也处于严重投入不足的状态。农田 K 素处于盈余状态的县域单元主要分布在西藏自治区、四川省的西北部地区、广西壮族自治区、福建省、海南省等。

K 素的收支状况会反映在土壤 K 素肥力水平的消长上, 当农田 K 素的支出大于投入时, 其亏损部分是由土壤本身提供的, 长期的农田 K 素亏损必将引起土壤供 K 能力的下降。近年来各地土壤肥力监测点的系统测定结果表明, 无论南方还是北方, 农田土壤的速效 K 含量普遍呈下降趋势, 而且原来 K 素肥力较低的土壤下降得更多。由于 K 素收支不平衡, 土壤 K 的消耗加剧, 因此缺 K 矛盾日益暴露。江苏省全省平均土壤速效 K 每年以 2.3 mg/kg 的速度下降, 缺 K 面积已达 267 万公顷 $\cdot\text{hm}^2$, 占耕地面积的 70%。江苏在全国来说属于中度缺 K 的省份, 从而可以推断中国缺 K 面积可能已不是十多年前估计的 23%了^[5]。

为考察我国农田 K 素的亏缺情况以及 K 素在各作物间的分配情况, 进行如下假设: 在农田 K 素养分的消耗部分仅仅考虑粮食作物 (薯类、谷子、高粱、豆类、玉米、小麦与水稻) 而不考虑其他诸如油料、糖料等作物。

在仅考虑粮食作物 K 素生物产出的情况下, 在省域水平上, 农田 K 素盈余的省份达到 24 个, 农田 K 素亏损的省份为 7 个, 分别为上海市、重庆市、黑龙江省、浙江省、宁夏回族自治区、陕西省、江苏省。

在仅考虑粮食作物 K 素生物产出的情况下, 农田 K 素处于亏损的县域单元数占全部县域单元数的 26.94%, 农田 K 素处于盈余的县域单元数占全部县域单元数的 70.90%。在这种情况下, 农田 K 素盈余在空间分布上比较明显, 农田 K 素亏损的县域单元主要分布在我国中部、东南部、东北部以及南疆地区的某些县域单元。

3 农田钾素养分的产投结构分析

3.1 农田 K 素养分的投入结构分析

我国农田 K 素输入总量为 $1.068 \times 10^7 \text{t}$, 其中化学 K 肥投入 $4.77 \times 10^6 \text{t}$, 有机肥 K 素投入总量为 $4.98 \times 10^6 \text{t}$ 。在全国层面上, 化学 K 肥、有机 K 肥与其他来源的 K 肥养分投入占 K 素养分总投入的比例分别为 44.61%、46.58%、8.81%, 化学 K 肥的投入比有机 K

肥的稍微少一点, 基本处于一个水平上。在省域层面上, 化学 K 肥占农田 K 肥总投入的比例相对 N、P 来说变化幅度较大, 从上海市农田基本不施用化学 K 肥到天津市农田化学 K 肥投入占农田 K 肥总投入的比例近 70% 之间变化不等。总体来看, 西藏自治区、青海省、新疆维吾尔自治区、四川省、重庆市与内蒙古自治区的这些西部、西北部省份化学 K 肥投入处于比较低的水平, 基本低于 30%。化学 K 肥占农田 K 肥总投入的比重在 50% 以上的省份有陕西省、安徽省、吉林省、山东省、广西壮族自治区、广东省、福建省与天津市 (表 1)。

在全国层面上, 由人畜禽粪尿提供的 K 占全部有机 K 肥总投入的比例为 48.98%, 由秸秆提供的 K 占全部有机 K 肥总投入的比例为 51.02%, 与化学 N 肥和化学 P 肥相比, 秸秆提供的 K 素在全部还田有机 K 肥中所占的比例最大, 这也说明在我国农田 K 素普遍投入不足的情况下, 重视秸秆还田对于缓解我国农田 K 素不足的矛盾将有重要意义 (表 2)。

全国农田化学 K 肥投入总量为 $4.77 \times 10^6 \text{t}$, 单位耕地 K 肥投入为 $49 \text{kg}/\text{hm}^2$, 其中单质 K 肥投入总量为 $3.24 \times 10^6 \text{t}$, 由复合肥提供的 K 肥投入总量为 $1.53 \times 10^6 \text{t}$, 单一 K 肥与复合 K 肥投入比例为 1 : 0.47, 全国层面上, 单一 K 肥投入是复合 K 肥投入的 2 倍多, 但是

表 1 省域农田 K 肥投入结构 (%)

Table 1 Input structure of potassium nutrient of farmland on province level

行政区	化学 K 肥	有机 K 肥	其他来源 K
北京市	37.94	52.23	9.83
天津市	68.06	24.28	7.67
河北省	36.39	54.80	8.81
山西省	41.75	45.19	13.06
内蒙古自治区	28.77	48.88	22.35
辽宁省	44.33	47.97	7.69
吉林省	52.72	41.74	5.54
黑龙江省	39.81	49.98	10.21
上海市	-	77.34	22.58
江苏省	39.87	48.02	12.11
浙江省	29.27	59.17	11.56
安徽省	52.49	37.05	10.46
福建省	63.72	31.43	4.85
江西省	44.87	46.48	8.65
山东省	54.41	40.09	5.50
河南省	45.92	47.79	6.29
湖北省	42.43	47.76	9.81

湖南省	44.32	47.68	8.00	青海省	21.77	66.48	11.75
广东省	56.37	38.25	5.37	宁夏回族自治区	35.42	41.55	23.03
广西壮族自治区	55.53	38.91	5.56	新疆维吾尔自治区	24.94	52.21	22.84
海南省	43.59	49.95	6.45	全国	44.61	46.58	8.81
重庆市	27.39	59.75	12.86				
四川省	25.09	64.92	9.99				
贵州省	32.19	58.93	8.88				
云南省	33.14	55.13	11.73				
西藏自治区	18.29	66.88	14.83				
陕西省	52.35	35.87	11.78				
甘肃省	31.37	50.18	18.45				
青海省	21.77	66.48	11.75				
宁夏回族自治区	35.42	41.55	23.03				
新疆维吾尔自治区	24.94	52.21	22.84				
全国	44.61	46.58	8.81				
广东省	56.37	38.25	5.37				
广西壮族自治区	55.53	38.91	5.56				
海南省	43.59	49.95	6.45				
重庆市	27.39	59.75	12.86				
四川省	25.09	64.92	9.99				
贵州省	32.19	58.93	8.88				
云南省	33.14	55.13	11.73				
西藏自治区	18.29	66.88	14.83				
陕西省	52.35	35.87	11.78				
甘肃省	31.37	50.18	18.45				

与 N 肥和 P 肥相比,复合 K 肥的投入明显增高。根据

在全国层面上,由人畜禽粪尿提供的 K 占全部有机 K 肥总投入的比例为 48.98%,由秸秆提供的 K 占全部有机 K 肥总投入的比例为 51.02%,与化学 N 肥和化学 P 肥相比,秸秆提供的 K 素在全部还田有机 K 肥中所占的比例最大,这也说明在我国农田 K 素普遍投入不足的情况下,重视秸秆还田对于缓解我国农田 K 素不足的矛盾将有重要意义(表 2)。国家统计局对我国东、中、西部的划分,我国东部地区农田化学 K 肥投入最高,达 2.37×10^6 t,单位耕地化学 K 肥投入 80 kg/hm^2 ;中部地区化学 K 肥投入总量为 1.81×10^6 t,单位耕地化学 K 肥投入 40 kg/hm^2 ;西部地区化学 K 肥投入总量为 0.58×10^6 t,单位耕地化学 K 肥投入为 30 kg/hm^2 。在省域层面上,农田化学 K 肥的平均投入从上海市的几乎不施用化学 K 肥到福建

表 2 省域农田有机 K 肥投入结构 (%)

Table 2 Input structure of organic potassium fertilizer of farmland on province level

行政区	秸秆	人畜禽粪尿	人畜禽粪尿					合计
			大牲畜	人	猪	羊	家禽	
北京市	37.89	62.11	20.24	19.92	35.99	11.44	12.42	100
天津市	41.88	58.12	42.71	22.91	14.23	7.97	12.18	100
河北省	38.78	61.22	49.57	9.30	18.27	9.94	12.92	100
山西省	34.09	65.91	45.76	17.48	15.16	15.07	6.53	100
内蒙古自治区	43.11	56.89	32.42	14.15	26.70	22.16	4.58	100
辽宁省	23.87	76.13	49.37	10.42	22.30	4.48	13.44	100
吉林省	34.26	65.74	62.29	5.33	18.81	4.23	9.35	100
黑龙江省	47.21	52.79	57.06	10.30	20.35	5.11	7.17	100
上海市	62.12	37.88	6.05	26.66	34.00	9.81	23.49	100
江苏省	69.62	30.38	10.89	21.38	33.68	13.16	20.88	100
浙江省	71.10	28.90	6.16	34.73	44.61	6.61	7.89	100
安徽省	57.05	42.95	36.60	20.32	28.54	5.36	9.18	100
福建省	62.57	37.43	27.12	21.51	38.85	2.20	10.33	100
江西省	62.98	37.02	42.79	17.80	34.25	0.94	4.23	100
山东省	43.71	56.29	48.04	10.30	16.14	11.44	14.08	100
河南省	46.53	53.47	45.35	11.59	24.49	9.25	9.32	100

湖北省	58.50	41.50	35.88	17.48	35.61	1.81	9.22	100
湖南省	60.79	39.21	33.23	14.87	44.03	2.74	5.13	100
广东省	57.03	42.97	44.51	19.32	32.94	0.37	2.85	100
广西壮族自治区	43.31	56.69	60.92	10.14	26.18	1.83	0.93	100
海南省	37.26	62.74	70.18	7.31	18.16	3.46	0.89	100
重庆市	45.11	54.89	17.11	19.89	55.39	2.90	4.70	100
四川省	51.88	48.12	31.88	13.72	44.65	4.84	4.90	100
贵州省	33.26	66.74	48.04	14.08	34.25	2.78	0.85	100
云南省	38.51	61.49	46.25	11.38	37.00	4.56	0.81	100
西藏自治区	4.51	95.49	62.64	6.71	3.94	26.60	0.11	100
陕西省	44.29	55.71	28.13	25.51	33.41	4.29	8.66	100
甘肃省	26.69	73.31	50.93	17.81	21.57	7.58	2.11	100
青海省	6.56	93.44	69.11	8.89	7.67	13.73	0.61	100
宁夏回族自治区	40.23	59.77	39.85	17.62	23.16	12.20	7.17	100
新疆维吾尔自治区	30.23	69.77	57.90	10.85	5.20	22.81	3.24	100
全国	51.02	48.98	42.83	13.93	28.30	6.96	7.98	100

省农田单位耕地 K 肥投入 206 kg/hm² 之间变化不等。上海市农田几乎不施化学 K 肥，这与上海市农田大量施用 N 肥的现状不相协调。在空间上，农田单位耕地化学 K 肥投入总体趋势是从西北部地区向东南部地区逐渐增加。

根据农田 K 素单位耕地的产出情况，将单位耕地农田化学 K 肥的投入划分为 4 级：0 ~ 13 kg/hm² 的为 1 级，这部分县域单元占全部县域单元的 27.43%；13 ~ 36 kg/hm² 之间的为 2 级，这部分县域单元占全部县域单元的 23.97%；36 ~ 75 kg/hm² 之间的为 3 级，这部分县域单元占全部县域单元的 24.61%；>75 kg/hm² 的为 4 级，这部分县域单元占全部县域单元的 24.44%。

全国农田化学 K 肥投入总量为 4.77×10⁶t，单位耕地 K 肥投入为 49 kg/hm²，其中单质 K 肥投入总量为 3.24×10⁶t，由复合肥提供的 K 肥投入总量为 1.53×10⁶t，单一 K 肥与复合 K 肥投入比例为 1:0.47，全国层面上，单一 K 肥投入是复合 K 肥投入的 2 倍多，但是与 N 肥和 P 肥相比，复合 K 肥的投入明显增高。根据国家统计局对我国东、中、西部的划分，我国东部地区农田化学 K 肥投入最高，达 2.37×10⁶t，单位耕地化学 K 肥投入 80 kg/hm²；中部地区化学 K 肥投入总量为 1.81×10⁶t，单位耕地化学 K 肥投入 40 kg/hm²；西部地区化学 K 肥投入总量为 0.58×10⁶t，单位耕地化学 K 肥投入为 30 kg/hm²。在省域层面上，农田化学 K 肥的平均投入从上海市的几乎不施用化学 K 肥到福建省农田单位耕地 K 肥投入 206 kg/hm² 之间变化不等。上海市农田几乎不施化学 K 肥，这与上海市农田大量

施用 N 肥的现状不相协调。在空间上，农田单位耕地化学 K 肥投入总体趋势是从西北部地区向东南部地区逐渐增加。

根据农田 K 素单位耕地的产出情况，将单位耕地农田化学 K 肥的投入划分为 4 级：0 ~ 13 kg/hm² 的为 1 级，这部分县域单元占全部县域单元的 27.43%；13 ~ 36 kg/hm² 之间的为 2 级，这部分县域单元占全部县域单元的 23.97%；36 ~ 75 kg/hm² 之间的为 3 级，这部分县域单元占全部县域单元的 24.61%；>75 kg/hm² 的为 4 级，这部分县域单元占全部县域单元的 24.44%。

从数据分析来看，我国很多县域单元农田根本不施用化学 K 肥或者仅仅施用很少的 K 肥，如在我国西藏自治区的很多县域单元农田根本不施用任何化学 K 肥。空间上，化学 K 肥施用处于 1 级的县域单元占据了我国的多半壁江山，整个西北部地区包括中东部的部分地区，农田化学 K 肥的投入几乎全部处于 1 级水平上，农田 K 素（包括化学 K 肥和有机 K 肥）投入处在 3 级、4 级的县域单元主要集中分布在我国的东南部地区的县域单元内，农田化学 K 肥单位耕地投入空间分异明显。我国农田单位耕地 K 素的生物产出在 140 kg/hm² 左右，也就是说，农田 K 素投入处在 2 级与 3 级水平上的县域单元实际上也是处于化学 K 肥投入不足的状态（图 2）。

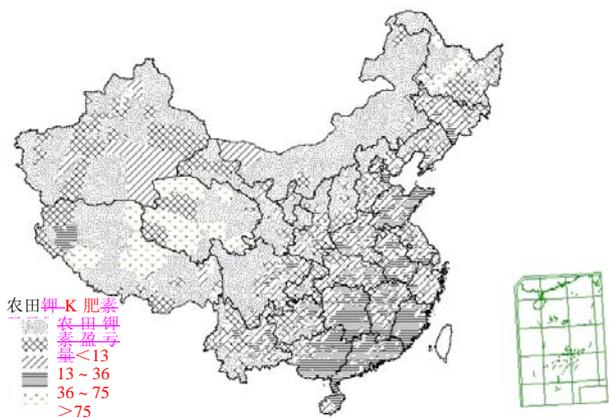


图 2 县域农田单位耕地化学 K 肥投入 (kg/hm²)

Fig. 2 Input of chemic potassium fertilizer of farmland on county level

3.2 农田 K 素养分的支出结构

全国农田 K 素支出总量为 1.458×10^7 t, 其中 K 素生物产出总量为 1.335×10^7 t, 占农田 K 素总支出的 91.56%, 其余部分通过径流渗漏等流出了农田生态系统。农田 K 素生物产出有两个组成部分: 籽实 K 与秸秆 K。籽实 K 对人们来说是有效的, 称之为 K 素有效生物产出。全国农田籽实 K 生物总产出为 2.62×10^6 t, 秸秆 K 生物总产出为 1.073×10^7 t, 二者之比为 1 : 4.1, 可见秸秆 K 是农田 K 素生物产出的主要组成部分, 同时也反映了在目前我国农田 K 素普遍投入不足的情况下, 重视秸秆还田的重要意义。

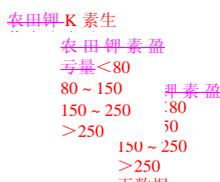
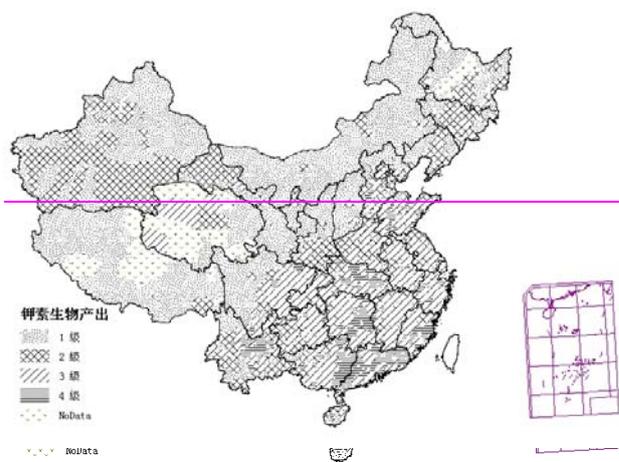
在省域水平上, 各省市之间由于主要栽培作物的不同, 籽实 K 与秸秆 K 的比重略有不同, 从天津市的农田籽实 K 占农田 K 素生物产出的比例 10.14% 到云南省籽实 K 占农田 K 素生物产出的比例 34.12% 变化不等, 但是秸秆 K 素占农田 K 素总生物产出的绝对优势没有改变。

全国农田单位耕地 K 素生物产出为 140 kg/hm^2 , 按照国家统计局对我国东、中、西部的划分, 我国东部地区农田 K 素生物产出总量为 5.39×10^6 t, 单位耕地 K 素生物产出为 170 kg/hm^2 ; 中部地区农田 K 素生物产出总量为 5.22×10^6 t, 单位耕地 K 素生物产出为 120 kg/hm^2 ; 西部地区农田 K 素生物产出总量为 2.74×10^6 t, 单位耕地 K 素生物产出为 120 kg/hm^2 。

省域水平上, K 素单位耕地生物产出从西藏自治区 30 kg/hm^2 到广东省的 270 kg/hm^2 。空间变化规律明显, 从西北部到东南部呈现出逐渐增加的趋势, 西藏自治区、青海省、宁夏回族自治区、内蒙古自治区、

山西省、甘肃省农田 K 素单位耕地生物产出都处在 50 kg/hm^2 以下的水平。粮食作物 K 素生物产出 8.8×10^6 t, 占 67.48%, 3 大类粮食作物小麦、玉米、水稻 K 素生物产出即占到了 55.5%, 占粮食作物 K 素生物产出的 82.25%。由此可知, 粮食作物是 K 素总生物产出的重要部分, 而小麦、玉米、水稻则是粮食作物中 K 素生物产出的重要组成部分。

根据单位耕地农田 K 素生物产出的数据分布特点, 将农田单位耕地 K 素生物产出分为 4 级 (图 3): $0 \sim 80 \text{ kg/hm}^2$ 之间的为 1 级; $80 \sim 150 \text{ kg/hm}^2$ 之间的为 2 级; $150 \sim 250 \text{ kg/hm}^2$ 之间的为 3 级; $>250 \text{ kg/hm}^2$ 的为 4 级。那么农田单位耕地 K 素生物产出处在 1 级的县域单元数占全部县域单元数的 24.57%, 处于 2 级的县域单元数占全部县域单元数的 23.50%, 处于 3 级的县域单元数占全部县域单元数的 37.46%, 处于 4 级的县域单元数占全部县域单元数的 12.39%, 处于 3 级也就是农田 K 素生物产出在 $150 \sim 250 \text{ kg/hm}^2$ 之间的县域单元数最多。



农田钾-K 素生

农田钾素生
 产量 < 80
 80 ~ 150 : 80
 150 ~ 250 : 80
 > 250 : 50
 150 ~ 250
 > 250
 150 ~ 250
 > 250

图 3 县域农田单位耕地 K 素生物产出 (tkg/hm^2)

Fig.3 Output of biologic potassium of farmland on county level

中国县域农田单位耕地 K 素生物产出在空间上具有明显的分异规律, 1 级区集中分布在我国西北部、北部地区, 仅有极少数的县域单元零星分布在我国东南部地区; 2 级区在我国东南部地区分布较多, 但是在南疆地区、东北 3 省的部分县域单元、甘肃省西北部地区也有零星分布。

4 结论与讨论

本文主要基于农田养分收支平衡宏观研究模型、农业经济统计数据、全国 1:100 万土壤图与 GIS 技术, 从多个层面分析了我国农田 K 素的平衡特征, 并利用 GIS 技术对研究结果进行了空间表达与分析。主要结论为:

(1) 我国农田 K 素投入总量为 $1.068 \times 10^7 \text{ t}$, 农田 K 素总支出为 $1.458 \times 10^7 \text{ t}$, 农田 K 素处于亏缺状态, 亏缺量为 $3.90 \times 10^6 \text{ t}$, 平均单位耕地 K 素亏缺 $40 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。我国东、中、西部地区单位耕地 K 素投入分别为 150、90、80 kg/hm^2 , 总体来看, 农田 K 素投入呈现从东往西逐渐减少的趋势。

(2) 在县域层面上, 农田 K 素处于亏缺的县域单元数占全部县域单元数的 77.39%, 我国绝大多数的县域单元农田 K 素处于亏缺状态。但是从另一个方面也说明尽管在全国层面与省域层面上 K 素亏缺都很严重, 但是仍然有 20% 多的县域单元农田 K 素处于盈余状态。同时也说明研究单元越小, 研究结果差异就越大, 研究难度也随之增大。

(3) 我国农田 K 素输入中化学 K 肥投入 $4.77 \times 10^6 \text{ t}$, 有机 K 肥投入总量为 $4.98 \times 10^6 \text{ t}$ 。在全国层面上, 化学 K 肥、有机 K 肥与其他来源的 K 肥养分投入占 K 素养分输入总量的比例分别为 44.61%、46.58%、8.81%, 化学 K 肥的投入与有机 K 肥的投入相当。

(4) 在全国层面上, 由人畜禽粪尿提供的 K 占全部有机 K 肥总投入的比例为 48.98%, 由秸秆提供的 K 占全部有机 K 肥投入总量的比例为 51.02%, 与化学 N 肥和化学 P 肥相比, 秸秆提供的 K 素在全部还田有机 K 肥中所占的比例最大, 这也显示出在我国农田 K 素普遍投入不足的情况下, 重视秸秆还田对于缓解我国农田 K 素投入不足的矛盾将有重要意义。

(5) 全国农田 K 素支出总量中 K 素生物产出总量为 $1.335 \times 10^7 \text{ t}$, 占农田 K 素总支出的比重为

91.56%, 也就是说农田 K 素生物产出在 K 素支出总量中占有绝对优势。而秸秆 K 是 K 素生物产出的主要部分, 因此也就注定了秸秆还田对补充农田 K 素不足的重要作用。

为深入分析 K 素盈亏问题, 本文假设在仅考虑农田粮食作物 K 素生物产出的情况下考察农田 K 素的盈亏状况, 通过假设获得的结果可以说明如下几个问题:

(1) 除粮食作物对 K 素养分的消耗外, 其他作物如油料作物、糖料作物以及蔬菜等对 K 素养分的需求也很高, 这提示我们在追求粮食产量的同时, 要想获得蔬菜、油料以及其他目标作物的理想产量, 对这些作物 K 素的投入亦不容忽视。

(2) 在研究农田养分收支平衡时, 要尽量避免仅仅考虑粮食作物的生物产出情况, 以免导致研究结果严重偏离实际值。

(3) 应该认识到我国农田 K 素的亏缺确实比较严重, 即使在仅考虑粮食作物 K 素生物产出的情况下, 仍然有 8 个省份共计 635 个县域单元农田 K 素投入不足, 这说明我国 K 素投入不足的问题非常普遍, 必须重视 K 素养分的持续投入, 否则农田 K 素的生物产出所需求的 K 素总是依靠土壤本身的 K 素供应, 必将导致土壤供 K 能力的持续降低, 影响粮食产量的提高。

参考文献:

- [1] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 钦绳武, 郑剑英, 王周琼. 全国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 III. 全国和典型地区养分循环和平衡现状. 土壤通报, 1996, 27(5): 193-196
- [2] 张福锁. 养分资源的概念及其综合管理的理论基础与技术途径 // 张福锁. 养分资源综合管理. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 7
- [3] 沈善敏主编. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998: 89-105, 474-479, 92
- [4] 文苑玉, 王凯荣, 谢小立. 红壤稻田不同施肥制度对土壤钾平衡和水稻产量的影响. 中国生态农业土壤学报, 2007, 15(3): 41-44
- [5] 谭宏伟, 周柳强, 谢如林, 黄美福. 广西亚热带岩溶地区石灰性土壤钾素特征研究. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 58-60
- [6] Stoorvogel JJ, Smaling EMA. Assessment of Soil Nutrient Depletion in Sub-Saharan Africa: 1983-2000. Vol. II: Nutrient Balances per Crop and per Land Use Systems. Report 28. Wageningen, The Netherlands: The Winand Staring Centre, 1990: 137
- [7] Folmer ECR, Geurts PMH, Francisco JR. Assessment of soil

- fertility depletion in Mozambique. *Agriculture, Ecosystems and the Environment*, 1998, 71: 159-167
- [8] Harris FMA. Farm-level assessment of the nutrient balance in northern Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and the Environment*, 1998, 71: 201-204
- [9] Henao J, Baanante C. Estimating Rates of Nutrient Depletion in Soils of Agricultural Lands of Africa. Alabama, USA: International Fertilizer Development Center, 1999: 76
- [10] 方玉东, 封志明, 胡业翠, 王霖琳. 基于 GIS 技术的中国农田氮素养分收支平衡研究. *农业工程学报*, 2007, 23(7): 35-41
- [11] 方玉东. 中国县域农田养分收支平衡研究(博士学位论文). 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2006
- [12] 封志明, 方玉东. 甘肃省县域农田氮素投入产出平衡研究. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(2): 152-158
- [13] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥. 北京: 化学工业出版社, 1998

Balance of Farmland Potassium Nutrient Input/Output in China Based on GIS

FANG Yu-dong^{1,2}, HU Ye-cui², FENG Zhi-ming², LI Xin-ju³, WU Pei-lin⁴

(1 National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;

2 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3 Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China; 4 Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China)

Abstract: Based on agricultural economy statistical data, the model of farmland nutrient balance of input/output and GIS, the balance characteristic of farmland potassium nutrient and its spatial distribution in China in 2000 was studied. The conclusions were as follows: 1) the total input of potassium for farmland was 1.068×10^7 t in China, but the output was 1.458×10^7 t, with a deficit of 3.90×10^6 t (40 kg/hm^2), 2) at county level, 77.39% of the counties in China showed a deficit supply of potassium, 3) in the total input of potassium for farmland, the chemical potassium fertilizer amounts to 4.77×10^6 t and the organic potassium fertilizer to 4.98×10^6 t, 4) at national scale, the potassium provided by the excrement and urine of human and animals and the crop straw occupy 48.98% and 51.02% of the total potassium supply, respectively, 5) the biological output of potassium from national farmland amounts to 1.335×10^7 t, was 91.56% of the total expenditure.

Key words: Farmland, Potassium nutrient, Balance of nutrient input/output, County