植物营养与肥料学报 2007,13(2): 213 - 222
Plant Nutrition and Fertilizer Science

25 年来种植业结构调整驱动的县域养分平衡状况的变化
——以山东惠民县为例

甄 兰[1], 崔振岭[1], 陈新平[1*], 张福锁[1*], 寇长林[1], 巨晓棠[1],
康存水[2], 王卫东[2], 王月琴[2], 朱同贵[2]
(1 农业部植物营养与养分循环重点实验室,教育部植物—土壤相互作用重点实验室,
中国农业大学资源与环境学院,北京 100094; 2 山东省惠民县农业局,惠民 251700)

摘要: 本文以山东省惠民县为例,采用 1984 年全国第二次土壤普查和 2004 年土壤调查的实测数据以及历年农户调查结果和统计数据,系统分析了过去 25 年来惠民县种植业结构调整对该县养分平衡和土壤养分特征的影响。结果表明,惠民县种植业结构由以粮棉为主演变为以棉粮菜为主; 该县的养分平衡状况为氮盈余 6089 ~19405t,磷盈余 259 ~7001t,钾亏缺 2532 ~6712t; 该县土壤有机质含量、全氮含量、速效磷含量分别增加了 57%、22%、303%,速效钾含量则降低了 6%。种植业结构的改变影响了农田氮、磷、钾养分的投入,进而影响到整个县域的养分收支平衡和土壤的养分含量,因此如何合理进行作物种植布局并优化不同种植体系的施肥技术将成为今后区域农业生产优质高效的主要方向。

关键词: 种植业结构; 养分平衡; 土壤养分特征
中图分类号: S158. 3　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2007)02-0213-10

The changes of nutrient balances driven by adjusting crop structure at county level during 25 years
—A case study in Huimin County, Shandong Province

ZHEN Lan[1], CUI Zhen-ling[1], CHEN Xin-ping[1*], ZHANG Fu-suo[1*], KOU Chang-lin[1], JU Xiao-tang[1], KANG Cun-shui[2], WANG Wei-dong[2], WANG Yue-qin[2], ZHU Tong-gui[2]
(*1 Key Laboratory of Plant Nutrition, MOA, Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, MOE, Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2 Beareu of Agriculture in Huimin County, Shandong Province, Huimin 251700, China*)

Abstract: The impact of cropping structure on nutrient balance and soil nutrients were investigated in Huimin County in Shandong Province. Data analysis were based on the results of the household survey, the local statistical data, the national soil survey carried out in 1984 and in 2004. In last 25 years cropping systems in Huimin was changed from cereals-cotton to cotton-cereals-vegetables. The calculation of nutrient balance sheet in Huimin County showed that surplus of soil nitrogen and phosphorus were 6089-19405 t and 259-7001 t respectively, whereas deficiency of potassium was 2532-6712 t. Soil organic matter, total nitrogen and Olsen-P were increased by 57%, 22% and 303%, respectively, while NH_4OAC - K was decreased by 6%. It was indicated that changes of the cropping systems had large impact on nutrient inputs in the soil, and further on the nutrient balance and soil nutrient content at regional level. Therefore, the optimization of the

收稿日期: 2006-08-21　　**修改稿收到日期**: 2006-09-29
基金项目: 国家"十五"攻关重大专项(2002BA516A02); 农业部"引进国际先进农业科学技术"项目(2003-Z53); 国家自然科学基金重大项目(30390084)资助。
作者简介: 甄兰(1975—),女,河北无极人,博士研究生,主要从事养分资源综合管理研究。Tel: 010-62731459, E-mail: cqli@cau.edu.cn
* 通讯作者 Tel: 010-62733454, E-mail: chenxp@cau.edu.cn　zhangfs@cau.edu.cn

cropping systems and the fertilization technique is the key issue for the integrated nutrient management at regional scale in future.

Key words: crop structure; nutrient balance; soil nutrient characters

20世纪80年代以来,特别是在90年代,我国的种植业结构发生了深刻的变化。1980年我国粮、棉作物的播种面积占总播种面积的83%,1994年和2004年分别下降为70%和77%,而蔬菜和果园等经济作物的播种面积1980年仅占3%,1994年和2004年分别上升到12%和18%。种植业结构的调整,在增加农民收入的同时也对土壤的养分平衡状况带来了显著影响。

已有大量研究表明,经济作物种植比例的增加导致了施肥量的增加。80年代初至90年代中期,我国粮食作物的化肥增施量大于其他作物[1],随后粮食作物的施肥量占化肥总投入的比例逐年下降[2],河北、山东、山西、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等地均有蔬菜、果园、棉花的投肥比例多于粮食作物的报道[3-7]。种植作物的空间布局会造成区域上施肥量的不均衡,目前普遍认为区域养分收支平衡状况为氮、磷盈余钾亏缺[6, 8-10]。已有结果表明,不同的种植模式对土壤有机质平衡的影响有正有负[3],华北平原的河北、山东、山西等地土壤有机质含量呈现逐年增长的趋势[3, 6, 11],而三江平原有机质随种植年限延长呈逐年下降趋势[12]。有机肥和化肥的施用对土壤有机碳、全氮、有效磷等养分含量的提高也有显著影响[13-15]。然而,在区域尺度上,种植业结构调整对整个区域养分投入、产出和平衡的驱动作用,以及对土壤质量的影响尚缺乏研究。

本文以山东省惠民县为例,根据惠民县历年的统计资料、土壤调查和农户调查,对种植业结构的变化及其对县域养分收支平衡和土壤养分变化的影响进行了研究,以期从养分管理角度为优化区域种植业结构布局提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

本文选择山东省惠民县为研究区域,该县位于黄河北岸,北纬37°6′~37°36′,东经117°16′~117°49′,平均海拔12.8 m,地面坡度六千分之一,无霜期182 d,平均气温12.3℃,年均降雨量578 mm(30年平均),主要集中在6、7、8三个月。全县总面积1357 km^2,耕地面积为7.35万 hm^2,主要土壤类型为壤质潮土和砂质潮土。

1.2 数据来源与研究方法

1.2.1 惠民县种植业结构及不同年代主要作物的施肥状况 种植业结构:数据来自惠民县历年农业统计年鉴,由惠民县农业局提供,其中1981~1984年数据缺失,1987~1989年没有蔬菜数据,1993年没有小麦、玉米和蔬菜数据,1997年没有小麦、玉米和棉花数据。

不同年代主要作物的施肥状况:1980、1983~1985年和1991年的数据来自山东省惠民县农业局历年进行的农户调查,2002年与2004年的数据来自农户调查,调查选用的方法分别为分层抽样[16]和网格取样法[17],调查内容包括主要作物的种植面积、常年平均产量、肥料品种及用量等。农户调查中肥料投入的计算,化肥养分含量按农户所施肥料包装袋上标示的养分含量进行计算,有机肥料的养分含量根据所施肥料种类参考《中国有机肥料资源》(全国农业技术推广服务中心,1999)的参数(以鲜基计)(表1)。

1.2.2 养分收支平衡的计算 不同作物种植体系养分收支平衡的计算:即不同种植体系养分输入与养分输出之差,养分输入考虑化肥、有机肥、灌水、种子、湿沉降,其中1980、1983~1985年和1991年灌溉水和湿沉降输入的氮、磷、钾量参考张瑞清[18]的结果,2002年与2004年湿沉降、灌溉水所带入的氮量按实测值计算;养分输出主要指作物收获带走,不同作物收获带走的氮、磷、钾量参考张瑞清[18]的结果。

全县养分收支平衡的计算:即全县有机肥和化肥的投入养分量与作物收获带走养分量之差。有机肥养分估算根据惠民县农业统计年鉴中人、牛、猪、羊、家禽的数量参考排泄物的养分含量及收集利用率来计算[18],化肥中氮、磷、钾养分来自农业统计资料提供的折纯量,复合肥中氮磷钾比例参照李庆逵[19]历年复混肥中养分含量参数;作物收获带走的养分量参考张瑞清[18]的结果,其中蔬菜与果园均按平均值计算,粮食作物以历年统计年鉴的小麦、玉米的单产及其播种面积计算产量,其余作物按年总产量计算。秸秆还田按小麦秸秆全部还田计算,其余作物秸秆全部不还田,不考虑饼肥还田、灰分还田等。

表 1　不同年代主要作物施肥状况调查的样本量

Table 1　Sample numbers of fertilizing status for major crops in different years

年份 Year	样本总量 Sample No.	小麦样本量 Wheat No.	玉米样本量 Maize No.	棉花样本量 Cotton No.	蔬菜样本量 Vegetables No.	果园样本量 Fruits No.
1980	24	24	24	18		
1983	24	24	24	21		
1984	24	24	24	24		
1985	24	24	24	24		
1991	200	197	197	192		
2002	189	188	188	149	41	70
2004	370	337	337	356	- -	- -

注 (Note)："- -"表示数据样本量少，下同"- -" means a few samples, the same as following.

1.2.3　惠民县土壤养分状况的变化　土壤普查：数据来自 1984 年惠民县农业局土肥站的第二次土壤普查调查报告，其中惠民县土壤图经过数字化、地理坐标校正后作为分析用的底图，制作出以土属为单位的有机质、全氮、速效磷和速效钾含量的专题图，根据典型土壤剖面的测定结果划分养分含量等级。

取样调查：2004 年将惠民县划分为 107 个均匀的网格，利用 GPS 在网格中点采集 0—30 cm 土壤样品，并记录该点的地理坐标，每点按 10 cm 直径圆在圆心和周边采集 8～12 个土壤样品，混合为 1 个基础土样，取样深度为 0—30 cm。所取土壤样品采用与第二次土壤普查相同的土壤农化常规分析方法测定，其中土壤有机质采用重铬酸钾氧化法，全氮采用凯氏定氮法，速效磷（Olsen-P）采用 0.5 mol/L 的 $NaHCO_3$ 浸提—分光光度法，速效钾采用 1 mol/L 的 NH_4OAC 浸提—火焰光度法。根据 1984 年土壤图，采用 ArcGIS 8.3 软件制作新的土壤有机质、全氮、速效磷及速效钾的专题图。

2　结果

2.1　惠民县种植业结构与施肥状况的变化

惠民县的耕地面积从 1980 年的 76627 hm^2 逐年持续缓慢地降低，2004 年为 73421 hm^2，25 年降低了 4%；总播种面积从 1980 年的 100667 hm^2 增加到 2004 年的 109751 hm^2，变化幅度不大。自 1980 年以来，小麦、玉米和棉花是惠民县主要的种植作物，其历年播种面积总和占总播种面积的 70% 以上。25 年来，该县种植业结构发生了三次大的调整（图 1），具体表现为 80 年代棉花种植比例的增加和 90 年代初的急剧下降；90 年代中后期蔬菜和果园种植比例的明显增加；90 年代末及以后小麦种植比例的持续下降和棉花种植比例的持续上升。

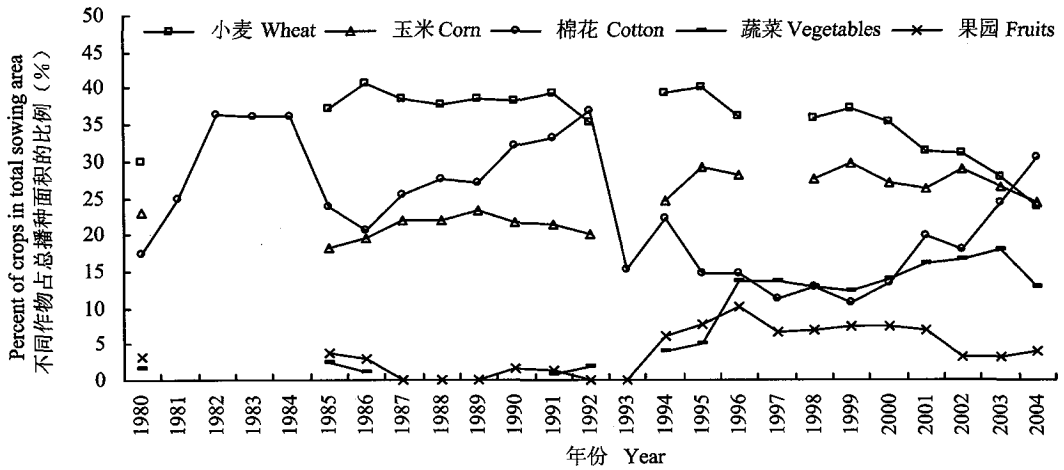

图 1　惠民县 25 年来种植结构的变化

Fig.1　Changes of cropping structure in last 25 years in Huimin County

该县化肥总施用量呈逐年增加趋势(图2)。1980年全县化肥施用量不到2万吨,1984年迅速增加到3万吨以上,随后稍有回落并在2.0～2.6万吨之间波动。表2调查结果表明,80年代小麦、玉米和棉花的化肥施用量和有机肥施用量均逐年增加,因此1985年之前全县化肥施用量的增加是由于主要作物种植面积和主要作物单位面积施肥量的同时增加造成的。

种植业结构调整第二阶段,果菜所占比例大幅度上升,蔬菜种植面积迅速从1994年的3.9%增加到1996年的13.7%,果蔬种植面积的扩大是90年代后期该县化肥施用量增加的主要动因。

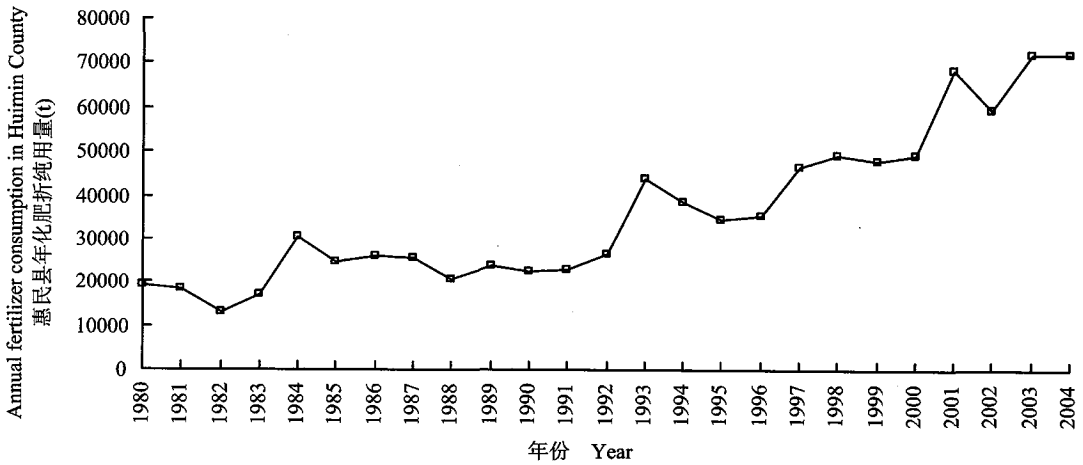

图2 惠民县年化肥施用量的变化

Fig.2 Changes of annual chemical fertilizer consumption in Huimin County

表2 要作物不同年份施肥量的变化

Table 2 Changes of average fertilizer amount for major crops in different years

年份 Year	小麦 Wheat(kg/hm²)		玉米 Maize(kg/hm²)		棉花 Cotton (kg/hm²)	
	有机肥 Manure	化肥 Fertilizer	有机肥 Manure	化肥 Fertilizer	有机肥 Manure	化肥 Fertilizer
1980	90 ± 60	139 ± 68	27 ± 37	108 ± 46	107 ± 69	153 ± 62
1983	127 ± 68	213 ± 66	27 ± 46	130 ± 54	152 ± 61	247 ± 53
1984	173 ± 79	258 ± 66	32 ± 54	159 ± 57	194 ± 80	268 ± 72
1985	185 ± 94	292 ± 69	32 ± 56	149 ± 63	193 ± 96	279 ± 72
1991	182 ± 116	409 ± 240	7 ± 11	293 ± 174	179 ± 101	398 ± 249
2002	187 ± 191	591 ± 156	49 ± 58	275 ± 96	195 ± 227	423 ± 175
2004	38 ± 64	698 ± 279	0	336 ± 168	26 ± 64	518 ± 235

注:表2的有机肥量为N+P+K之和,化肥量为N+P_2O_5+K_2O之和。

Note: Manure amount of table 2 is the summation of N, P and K, while chemical fertilizer amount is the summation of N, P_2O_5 and K_2O.

2.2 惠民县养分收支平衡的变化

表3结果表明,25年来惠民县的养分平衡状况为氮盈余6089～19405 t,磷盈余259～7001 t,钾亏缺2532～6712 t。氮养分的输入量与输出量远高于磷钾,但是同年份氮的输入量高于输出量,因此氮素平衡是在大量盈余的基础上呈现逐年增加的趋势,2004年稍有下降;磷养分的盈余是由于粮棉种植体系磷盈余的逐年增加与蔬菜种植体系的大量磷盈余共同造成的;钾养分的收支平衡也是不同种植体系共同造成的结果,只是果蔬种植体系带来的钾素盈余弥补不了其他作物体系造成的钾素亏缺,从而在整个县域表现为钾亏缺。

分析不同种植体系的养分平衡可以明了该县养分收支平衡变化的原因。表4结果表明,小麦—玉米、棉花、蔬菜和果园四个种植体系的氮盈余量均呈逐年增加的趋势,小麦—玉米和棉花2004年的氮素盈余量分别为N 526、153 kg/hm²,与1980年相比分别增加了5.1倍和1.2倍,近年来蔬菜和果园两种

表 3　惠民县养分收支平衡年际间的变化

Table 3　The annual changes of nutrient inputs and outputs of Huimin County

年份 Year	养分输入(t) Nutrient inputs			养分输出(t) Nutrient outputs			养分平衡(t) Nutrient balances		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1980	18279	956	557	4399	698	3088	13879	259	-2532
1985	17103	4142	1582	11014	1746	7676	6089	2396	-6094
1990	16578	5557	1905	9975	1617	7040	6603	3941	-5135
1995	25430	8103	3856	13337	2186	9620	12092	5917	-5764
2000	34556	7915	4670	15151	2459	11382	19405	5456	-6712
2004	31164	9614	5980	16430	2613	12142	14734	7001	-6162

表 4　不同作物种植体系的养分平衡

Table 4　Nutrient balances in different cropping systems

年份 Year	氮盈余 N surplus (kg/hm²)				磷盈余 P surplus (kg/hm²)				钾盈余 K surplus (kg/hm²)			
	小麦—玉米 Wheat-Maize	棉花 Cotten	蔬菜 Veget	果园 Fruit	小麦—玉米 Wheat-Maize	棉花 Cotten	蔬菜 Veget.	果园 Fruit	小麦—玉米 Wheat-Maize	棉花 Cotten	蔬菜 Veget	果园 Fruit
1980	116	132			47	58			-94	-3		
1983	163	120			70	82			-108	-44		
1984	221	139			92	92			-108	-47		
1985	232	157			94	92			-116	-32		
1991	361	252			80	69			-80	8		
2002	442	171	2240	837	79	65	615	330	-59	19	745	283
2004	526	153	3496[20]	841	56	66		596	-187	-45		108

种植体系的氮盈余量均高于小麦—玉米和棉花，其中 2002 年蔬菜种植体系的氮盈余量为 N 2240 kg/hm²，分别为小麦—玉米和棉花两种体系的 5.1 和 13.1 倍，果园的氮素盈余量为 N 837 kg/hm²，分别为小麦—玉米和棉花两种体系的 1.9 和 4.9 倍。2004 年蔬菜、果园两种种植体系的氮素盈余量均有增加。

四种种植体系的磷素平衡均表现为磷盈余，这与该县磷素盈余的状况是一致的。80 年代小麦—玉米和棉花两种种植体系的磷素盈余量逐年增加，90 年代初略有下降，2000 年以后小麦—玉米体系的磷盈余量持续下降，而棉花体系变化不大。这是由于近年来小麦—玉米体系有机肥投入量明显减少，化肥投入的磷量也降低了 $P_2O_5$10 kg /hm²，小麦—玉米的产量却在增加，因而作物收获带走的磷量也在增加所致。2002 年蔬菜和果园两种体系的磷盈余量分别为 P 615 和 330 kg /hm²，分别是同年小麦—玉米体系的 7.8 和 4.2 倍，由于这两种种植体系投肥量大而蔬菜和果园收获所带走的磷量比较少，因此蔬菜和果园的磷盈余量高于小麦—玉米和棉花。

不同种植体系的钾素平衡状况不同。小麦—玉米种植体系 25 年来一直表现为钾亏缺，这是因为该体系钾肥投入量低于小麦玉米收获所带出的钾量所致，例如 2004 年钾(K)亏缺比 2002 年增加了 128 kg/hm²，一方面是因为 2004 年小麦、玉米的产量与 2002 年分别增加了 7.6%和 7.5%，作物收获带走的钾量增多，另一方面是因为 2004 年小麦—玉米种植体系的钾肥比 2002 年减少了 70%。尽管在棉花体系的历年变化中，1991 年和 2002 年钾素略有盈余，但这两年不同农户间钾素平衡的变异非常大，分别为 -114～289 t 和 -144～711 t。蔬菜和果园两种体系均表现为钾盈余，这是由于蔬菜和果园收获带走的钾量比较少，而有机肥和化肥所投入的钾量很高的缘故。

2.3　惠民县耕层土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量 20 年的变化

根据 1984 年惠民县第二次土壤普查结果，全县土壤有机质含量介于 2.4～12.3 g/kg 之间，平均值为 8.6 g/kg，有机质含量小于 10 g/kg 的占全县土壤总面积的 76.1%；2004 年土壤有机质含量介于 2.2～20.6 g/kg 之间，平均值为 13.5g/kg，有机质含量大于 10 g/kg 的占全县土壤总面积的 99.7%。20 年来

惠民县土壤有机质平均含量增加了57%(图3)。

惠民县1984年土壤全氮含量介于0.2～7.5 g/kg之间,平均值为0.6 g/kg,全氮含量小于0.6 g/kg的占全县土壤面积的51.8%;2004年土壤全氮含量介于0.1～1.2 g/kg之间,平均值为0.7 g/kg,全氮含量小于0.6 g/kg的占全县土壤面积的0.28%。与1984年相比,2004年全县土壤的全氮平均含量增加了22%。

惠民县1984年土壤耕层速效磷含量介于0.4～20.6 mg/kg之间,平均值为5.8 mg/kg,速效磷含量小于5 mg/kg的占全县土壤面积的55.4%,大于20 mg/kg的仅占0.4%;2004年土壤速效磷含量介于16.1～260.2 mg/kg之间,平均值为23.3 mg/kg,速效磷含量大于20 mg/kg的占全县土壤面积的55%。与1984年相比,2004年全县土壤速效磷的平均含量增加了303%。惠民县1984年土壤耕层速效钾含量介于21.0～328.0 mg/kg之间,平均值为110.7 mg/kg,速效钾含量小于70 mg/kg的占全县土壤面积的20%,大于100 mg/kg的占55.5%;2004年土壤速效钾含量介于7.3～203.0 mg/kg之间,平均值为103.8 mg/kg,速效钾含量大于100 mg/kg的占全县土壤面积的70%,小于70 mg/kg的占7%。与1984年相比,虽然2004年全县土壤的速效钾平均含量降低了6%,参考《土壤普查技术暂行规程》规定的70 mg/kg为缺钾指标,全县的缺钾情况已经减少了13个百分点,速效钾含量大于100 mg/kg的土壤面积增加了14.5%。

3 讨论

3.1 种植业结构的变化对肥料施用量的影响

国家农业政策、农产品价格与生产资料的市场价格及其供求状况、科学技术对农民种植决策、土地利用分配以及农田养分的投入有一定影响。本文结果表明,惠民县的种植业结构从80年代初的以粮棉为主转变为现在的以棉粮菜为主。80年代初,家庭联产承包制的推行很大程度上促进了农民种粮种棉的积极性,国家对棉花的统购政策以及山东省售棉奖粮、售棉奖肥等措施,促进了惠民县棉花的生产[21-23]。种棉效益高于或低于种粮或其他经济作物则直接影响着棉花或其他作物的种植面积及农田的养分投入[24-26]。90年代棉铃虫爆发、黄萎病严重发生[26]以及不利气候在客观上造成棉花生产滑坡,2000年抗虫棉的种植与推广、棉纺企业用棉量增加[25-26]又促进了棉花生产。90年代中期国家提倡菜篮子工程,促进了蔬菜种植面积的迅速扩大,同时无公害蔬菜生产技术的推广也激发了菜农的积极性,露地菜和大棚菜的种植面积都有增加,而2004年的蔬菜大棚比2003年增加了3759个,说明蔬菜的种植在向集约化管理模式发展。

25年来惠民县种植业结构的变化与同期全国的变化趋势是一致的。本文研究结果表明,在以粮棉为主的种植结构中,主要作物的施肥量均逐年增加。高祥照分析了1981年到1996年间我国不同作物化肥施用量的分配[1],结果表明粮食作物、棉花、瓜菜、果园的化肥增施量分别占总化肥增施量的57%、3%、16%、10%,这与本文结果是一致的。据1999年在河北曲周的农户调查[3],蔬菜种植体系的氮磷肥投入量为931 kg/hm^2,而小麦—玉米、小麦—棉花、小麦—蔬菜的氮磷肥的投入量则分别为589 kg/hm^2、658 kg/hm^2、721 kg/hm^2。这与本文果菜比例增加则更多有机肥与化肥投入增加的观点是一致的。在不同种植体系的氮肥施用量上,据2002年在山东桓台的农户调查[28],小麦—玉米和蔬菜种植体系的氮肥施用量分别为634 kg/hm^{2}和884 kg/hm^2,而棉花和果园的氮肥施用量分别为183 kg/hm^{2}和492 kg/hm^2,过量施氮也是很明显的。过量施肥还会引起肥料的增产效果和利用率降低,以小麦玉米为例,过去每kg氮肥(N)可增产9.4 kg小麦、8.5 kg玉米[29],如今仅分别增产2 kg小麦和3 kg玉米,氮肥利用率分别为10%和6%[30]。

3.2 种植业结构调整对养分收支平衡的影响

上述结果表明,种植业结构调整驱动了不同种植体系施肥策略的改变,进而引起不同种植体系养分收支平衡的变化。国内外也有相似的报道,据北京地区蔬菜施肥的调查结果表明,有机肥施与不施都会造成氮素的大量盈余,有机肥施用的多与少对磷钾的收支平衡有着影响[31]。Zebarth等在加拿大Fraser下游流域的研究结果表明,大田作物种植面积的减少与果蔬种植面积的增加等土地利用方式的改变,导致研究区域的氮素盈余量增加了N 4 kg/hm^2,氮素平衡的变化是由不同分区氮盈余量增加的不同所致[32]。

不同种植体系养分的输入与输出,也影响着区域的养分收支平衡。本文的研究结果与山西典型县域[6]、山东兖州市[8]、吉林省[9]和东亚[33]的养分收支平衡的分析结果是一致的。Sheldrick经计算得

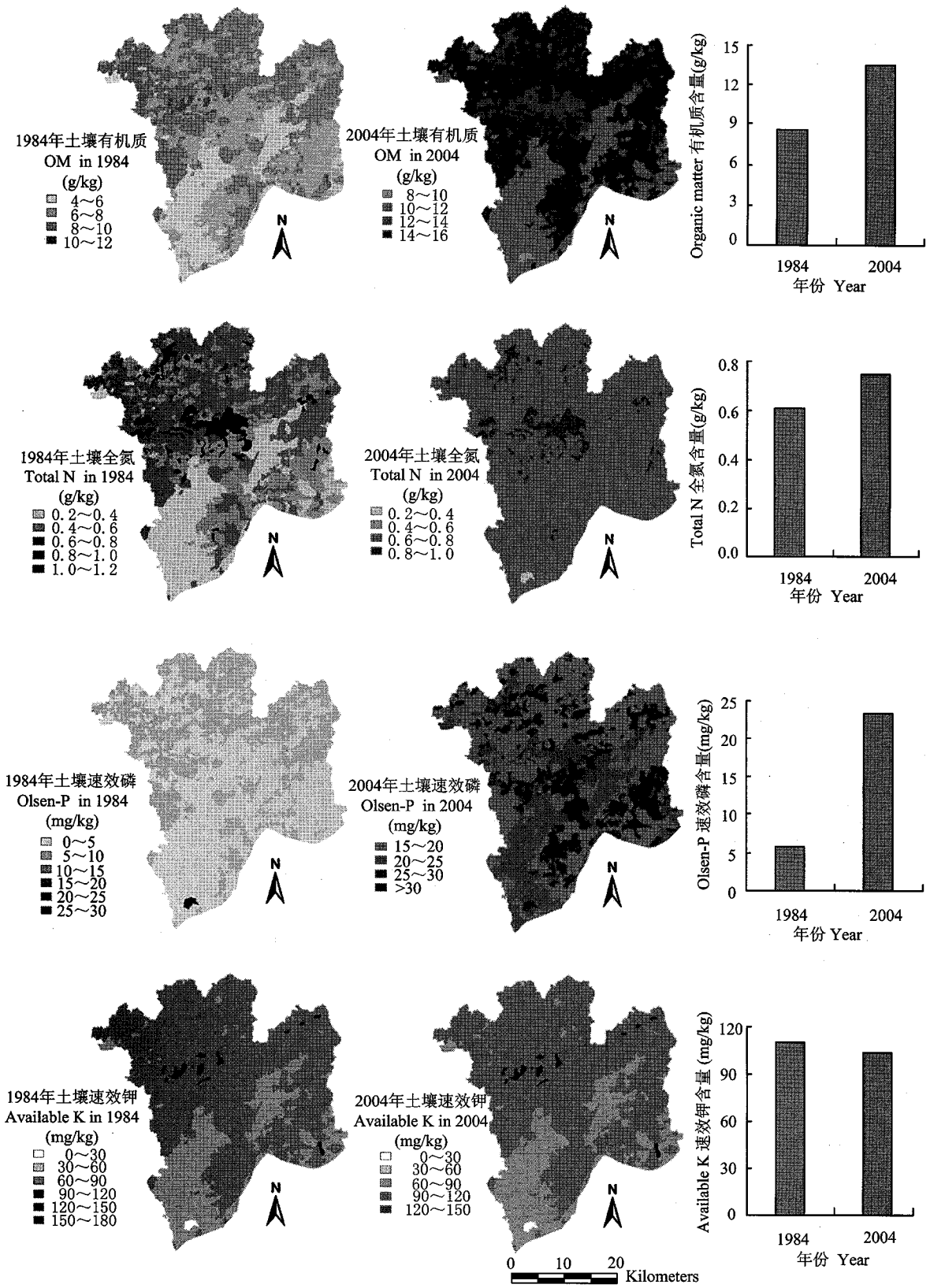

图 3　惠民县土壤有机质(g/kg)、全氮(g/kg)、速效磷(mg/kg)、速效钾(mg/kg)二十年的变化

Fig.3　Twenty-year changes of soil organic matter、total nitrogen、Olsen-P、Available K in Huimin County

出,90年代中期全世界土壤氮、磷、钾消耗量均为负值,其中东亚土壤中钾消耗比其他国家和地区最高,其值为40.4 kg/hm^2,而东亚的地表养分平衡表现为氮盈余104.1 kg/hm^2,磷盈余18.6 kg/hm^2,钾亏缺8.1 kg/hm^2[33]。通过本文计算,山东惠民2004年与2000年的氮盈余分别为137 kg/hm^{2}和173 kg/hm^2,远高于印度(N 54 kg /hm^2)与欧洲国家(N 31 kg/hm^2)[34]。而且氮磷钾养分平衡也存在着很大的空间变异,以氮为例,1999年湖南省桃源县氮素盈余10%左右,江西省余江县和江苏宜兴市均超过20%,新疆绿洲农业生态系统盈余近30%,黑龙江省则亏缺2.5%[10]。种植结构的变化必然会影响作物的空间布局,作物空间分布不同也使得养分输入与输出的空间分布存在较大变异[35],结合遥感影像处理技术就可以更精确地计算不同种植体系对整个区域养分收支平衡的贡献。

种植业结构调整对区域养分平衡的影响不可忽视,反过来,对种植业体系内的优化管理可以在一定程度上对区域的养分收支起调节作用。Zebarth用氮平衡方法算出[32],采用优化施肥技术可以将整个农业生产区域的氮盈余由68 kg/hm^{2}降为5 kg/hm^2。而且施肥策略的改进还可以促进农民增收,Matson等提出降低氮肥用量推迟施肥时间可以增加农民12～17%的税后收入[36]。还有一些科学家提出新的方法,比如空间精确景观模型[37]、养分监控法[38],分别从优化土地利用方式及施肥和不同农场体系两种角度计算不同管理措施下的养分平衡,从而能更合理地调整种植结构和合理分配肥料资源。

4 结论

综上所述,本文得出以下结论:

(1)25年来惠民县种植结构由传统的粮棉模式向粮棉菜为主的种植模式转变,1980年粮棉占该县总播种面积的91%,2004年粮棉菜占该县总播种面积的92%。

(2)种植业结构的调整,驱动了区域养分的投入与产出,对区域的养分平衡有直接作用,1980年该县投入的养分总量为19344 t,2004年投入46714 t,在区域养分投入量加大的同时养分盈亏的变化幅度加大,这主要由经济作物种植比例上升和所有作物施肥量增加两个原因造成。

因此,合理规划种植业结构,并优化不同种植体系的施肥技术,将是实现区域农业生产优质高效生态环境安全的主要途径。

参考文献:

[1] 高祥照. 中国肥料使用现状评价与发展战略研究[D]. 北京:中国农业大学,博士学位论文,2000.
Gao X Z. Study on the fertilizer application status evaluation and development strategy in China [D]. Beijing: China Agricultural University, PhD thesis, 2000.

[2] 初明光,王激清,马文奇,张福锁. 山东省粮食作物的化肥施用状况分析[J]. 土壤肥料,2006 (2): 12-15,55.
Chu M G, Wang J Q, Ma W Q, Zhang F S. Analysis of fertilizer application on grain crops in Shandong Province [J]. Soil Fert., 2006 (2): 12-15, 55.

[3] 刘云惠,宇振荣,张风荣,等. 县域土壤有机质动态变化及其影响因素分析[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(3): 294-301.
Liu Y H, Yu Z L, Zhang F R *et al*. Dynamic change of soil organic matter and its affecting factors at county level [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(3): 294-301.

[4] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, Christie P. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain [J]. Environ. Pollut., 2006, 143(1): 117-125.

[5] 马文奇. 山东省作物施肥现状、问题与对策[D]. 北京:中国农业大学博士学位论文,1999.
Ma W Q. Current status and evaluation of crop fertilization in Shandong Province [D]. Beijing: China Agricultural Univeristy, PhD thesis, 1999.

[6] 陈明昌,张强,程滨,等. 山西省主要农田施肥状况及典型县域农田养分平衡研究[J].水土保持学报,2005,19(4): 1-5,26.
Chen M C, Zhang Q, Cheng B *et al*. Fertilizer application survey and farmland nutrient balance of representative counties in Shanxi Province [J].J. Soil Water Conserv., 2005, 19(4): 1-5, 26.

[7] 刘全清,张卫峰,杜森,等. 中国西北地区肥料使用和生产现状及问题[J]. 磷肥与复肥,2005,20(5): 69-73.
Liu Q Q, Zhang W F, Du S *et al*. The status and problems of fertilizer production and application in northwest area of China and some suggestions [J]. Phos. Comp. Fert., 2005, 20(5): 69-73.

[8] 曲日涛,周长青,宋海燕,叶优良. 小麦玉米高产区肥料施用状况与养分平衡研究[J]. 中国农学通报,2005,21(12): 225-229.
Qu R T, Zhou C Q, Song H Y, Ye Y L. Fertilizer application and nutrient balance on wheat and maize in high output area [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2005, 21(12): 225-229.

[9] 黄健,王爱文,张惠琳,肖延华. 吉林省农田养分平衡的研究[J]. 吉林农业科学,2001,26(2): 36-40.
Huang J, Wang A W, Zhang H L, Xiao Y H. Study on agricultural nutrient balance in Jilin Province [J]. J. Jilin Agric. Sci., 2001, 26 (2): 36-40.

[10] 高超,张桃林,孙波,等.1980年以来我国农业氮素管理的现状与问题[J]. 南京大学学报(自然科学),2002,38(5): 716-721.
Gao C, Zhang T L, Sun B *et al*. Nitrogen management in chinese agriculture since early 1980s: Status and problems [J]. J. Nanjing Univ. (Nat. Sci.),2002, 38(5): 716-721.

[11] 杨玉建,杨劲松. 潮土区土壤有机质含量的趋势演变研究—

以禹城市为例[J]. 土壤通报，2005，36(5)：647-651.
Yang Y J, Yang J S. The trend variability of soil organic matter content in the salinity region of Yucheng City in Shandong Province [J]. Chin. J. Soil Sci., 2005, 36(5): 647-651.

[12] 曾希柏，黄雪夏，刘子刚，等. 种植年限对三江平原土壤剖面性质及碳、氮含量的影响[J]. 中国农业科学，2006，39(6)：1186-1195.
Zeng X B, Huang X X, Liu Z G *et al*. Effects of the period of wetland reclamation on the character of soil profiles, C and N contents in Sanjiang Plain[J]. Sci. Agric. Sin., 2006, 39(6): 1186-1195.

[13] 樊军，郝明德，王永功. 旱地长期轮作施肥对土壤肥力影响的定位研究[J]. 水土保持研究，2003，10(1)：31-36.
Fan J, Hao M D, Wang Y G. Effects of rotations and fertilizations on soil fertility on upland of Loes Plateau [J]. Res. Soil Water Conserv., 2003, 10(1): 31-36.

[14] 孟磊，丁维新，蔡祖聪，钦绳武. 长期定量施肥对土壤有机碳储量和土壤呼吸影响[J]. 地球科学进展，2005，20(6)：687-692.
Meng L, Ding W X, Cai Z C, Qin S W. Storage of soil organic C and soil respiration as effected by long-term quantitative fertilization [J]. Adv. Earth Sci., 2005, 20(6): 687-692.

[15] 唐继伟，林治安，许建新，等. 有机肥与无机肥在提高土壤肥力中的作用[J]. 中国土壤与肥料，2006 (3)：44-47.
Tang J W, Lin Z A, Xu J X *et al*. Effect of organic manure and chemical fertilizer on soil nutrient [J]. China Soil Fert., 2006(3): 44-47.

[16] 寇长林. 华北平原集约化农作区不同种植体系施用氮肥对环境的影响[D]. 北京：中国农业大学博士学位论文，2004.
Kou C L. Effects of nitrogen fertilization of different intensive cropping systems on environment in North China Plain [D]. Beijing: China Agricultural Universiy, PhD thesis, 2004.

[17] 崔振岭. 华北平原冬小麦—夏玉米轮作体系优化氮肥管理—从田块到区域尺度[D]. 北京：中国农业大学博士学位论文，2005.
Cui Z L. Optimization of the nitrogen fertilizer management for a winter wheat-summer maize rotataion system in the North China Plain—From field to regional scale [D]. Beijing: China Agricultural University, PhD thesis, 2005.

[18] 张瑞清. 我国农业生态系统的养分平衡[M]. 山东：莱阳农学院，硕士论文，2002.
Zhang R Q. Nutrient balance in agricultural fields of China [D]. Shandong: Laiyang Agricultural College, Master thesis, 2002.

[19] 李庆逵. 我们肥料结构和肥效的演变、存在问题及对策[A]. 李庆逵，朱兆良，于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[C]. 江西：江西农业科学技术出版社，1998.
Li Q K. The developing, problems and strategies of fertilizer structure and fertilizing effects[A]. Li Q K, Zhu Z L, Yu T R. Fertilizer problem of agricultural sustainable development in China [C]. Jiangxi: Jiangxi Agricultural Scientific and Technique Publisher, 1998.

[20] 刘维震. 日光温室黄瓜和露地洋葱氮素养分综合管理技术研究[D]. 北京：中国农业大学博士学位论文，2006.
Liu W Z. Integrated nitrogen resources management for greenhouse cucumber and open field onion [D]. Beijing: China Agricultural University, PhD thesis, 2006.

[21] 周治国，孟亚利，施培，孙学振. 山东省棉花生产分析和发展对策[J]. 山东农业大学学报，1998，29(1)：32-40.
Zhou Z G, Meng Y L, Shi P, Sun X Z. Evolving analysis and developing tactics of cotton production in Shandong Province [J]. J. Shandong Agricultural University, 1998, 29(1): 32-40.

[22] 徐道河，拱桥 .要切实搞好农业计划—山东、河南一些地区农业生产计划情况的调查[J]. 经济理论与经济管理，1982(6)：65-70.
Xu D H, Gong Q. Survey on agricultural production plan in some regions of Shandong and Henan Provinces [J]. Econ. Theory Busin. Manag., 1982(6): 65-70.

[23] 刘荣勤，包永善. 正确处理粮棉关系发挥鲁西北地区棉花优势[J]. 东岳论丛，1981(3)：85-89.
Liu R Q, Bao Y S. Regulating the relationship of food grain and cotton [J]. Dong Yue Tribune, 1981(3): 85-89.

[24] 尹宗元，董合忠. 山东省棉花生产近年状况及振兴对策[J]. 中国棉花，1994，21(8)：2-4.
Yin Z Y, Dong H Z. Current cotton production and developing strategies in Shandong Province [J]. China Cotton, 1994, 21(8): 2-4.

[25] 赵洪亮. 从生产复苏看山东棉花[J]. 山东农业(农村经济版)，2001(1)：11-12.
Zhao H L. Shandong cotton on the aspect of production recovery [J]. Shandong Agric. (agric. econ.), 2001(1): 11-12.

[26] 张共伟，房清善. 2001 年度山东棉花生产科技含量高增幅大[J]. 中国棉花加工，2001(3)：45.
Zhang G W, Fang Q S. Big increase of scientific techniques in Shandong cotton production in 2001 [J]. China Cotton Proc., 2001(3): 45.

[27] 刘振伟，范国强，尚念科，张兆干. 山东省棉花黄萎病的发生与研究现状[J]. 山东农业大学学报(自然科学版)，1999，30(4)：481-483.
Liu Z W, Fan G Q, Shang N K, Zhang Z G. Occurrence and study present situation of cotton verticillium wilt of Shandong [J]. J. Shandong Agric. Univ. (nat. sci.), 1999, 30(4): 481-483.

[28] Liu G D, Wu W L, Zhang J. Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate nitrogen in groundwater in northern China [J]. Agric. Acosyst. Environ., 2005, 107: 211-220.

[29] 吴金贵，尤德敏，娄德仁，等. 江苏省化肥试验网肥料定位试验总结(一) [J]. 江苏农业科学，1992 (5)：34-36.
Wu J G, You D M, Lou D R *et al*. The summary of fertilizer location tests in the chemical fertilizer testing net of Jiangsu Province [J]. J. Jiangsu Agric. Sci., 1992 (5): 34-36.

[30] 钟茜，巨晓棠，张福锁. 华北平原冬小麦/夏玉米轮作体系对氮素环境承受力分析[J]. 植物营养与肥料学报，2006，12(3)：285-293.
Zhong Q, Ju X T, Zhang F S. Analysis of environmental endurance of winter wheat/summer maize rotation system to nitrogen in North China Plain [J]. Plant Nutr Fert. Sci., 2006, 12(3): 285-293.

[31] 陈新平,张福锁. 北京地区蔬菜施肥的问题与对策[J]. 中国农业大学学报,1996,5(1): 63-66.
Chen X P, Zhang F S. The problems and countermeasures of vegetable fertilization in Beijing [J]. J. China Agric. Univ., 1996, 5 (1): 63-66.

[32] Zebarth B J, Paul J W, Kleeck R V. The effect of nitrogen management in agricultural production on water and air quality: Evaluation on a regional scale [J]. Agric. Acosyst. Environ., 1999, 72: 35-52.

[33] Sheldrick W F, Syers J K, Lingard J. A conceptual model for conducting nutrient audits at national, regional, and global scales [J]. Nut. Cyc. Agroecosys., 2002, 62: 61-72.

[34] Prasad V K, Badarinath K V S, Yonemura S, Tsuruta H. Regional inventory of soil surface nitrogen balances in Indian agriculture (2000-2001) [J]. J. Environ. Manag., 2004, 73: 209-218.

[35] Kobayashi H, Kubota T. A study on the spatial distribution of nitrogen and phosphorus balance, and regional nitrogen flow through crop production [J]. Environ. Geochem. Health, 2004, 26: 187-198.

[36] Maston P A, Naylor R, Otiz-Monasterio I. Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management [J]. Science, 1998, 280: 112-115.

[37] Seppelt R, Voinov A. Optimization methodology for land use patterns using spatially explicit landscape models [J]. Ecol. Model., 2002, 151: 125-142.

[38] Gachimbi L N, Keulen H V, Thuranira E G *et al*. Nutrient balances at farm level in Machakos (Kenya), using a participatory nutrient monitoring (NUTMON) approach[J]. Land Use Policy, 2005, 22: 13-22.