

基于地区和土类的吉林省农田耕层土壤氮素时空变化特征

陈敏旺, 王缘怡, 陈健, 王寅, 高强, 焉莉, 冯国忠

(吉林农业大学资源与环境学院, 吉林省商品粮基地土壤资源可持续利用重点实验室, 长春 130118)

摘要: 为明确吉林省农田耕层土壤氮素营养的时空变化特征, 基于 2005—2013 年间测土配方施肥项目测定的土壤全氮和碱解氮数据, 分析吉林省不同地区、土类农田耕层土壤氮素养分的空间变异特征, 并与第 2 次土壤普查数据对比, 探讨土壤氮素养分的时间变化趋势。结果表明, 目前吉林省农田耕层土壤全氮含量为 0.4~3.9 g/kg, 平均为 (1.62 ± 0.60) g/kg, 碱解氮含量为 15~360 mg/kg, 平均为 (145.0 ± 59.5) mg/kg。不同土类之间全氮和碱解氮含量的高低顺序一致, 均以暗棕壤最高, 平均分别为 (2.02 ± 0.57) g/kg 和 (190.2 ± 72.80) mg/kg, 其后依次为白浆土、水稻土、黑土、草甸土、黑钙土和风沙土; 空间变异方面, 吉林省农田耕层土壤氮素营养水平呈自东向西逐渐下降的分布特征, 全氮和碱解氮含量在县域尺度上存在显著正相关关系; 时间变化方面, 吉林省农田耕层土壤全氮和碱解氮含量相比第 2 次土壤普查均呈明显上升趋势, 中部地区变化最显著, 西部地区变化相对较小。不同土类之间, 黑土、黑钙土、草甸土和风沙土呈上升趋势, 而暗棕壤、白浆土和水稻土出现下降, 其中以风沙土的增加和暗棕壤的下降最明显。综上所述, 吉林省农田耕层土壤氮素营养状况在空间上存在显著差异, 时间上也发生了巨大变化。建议中部粮食主产区应严格控制作物施氮量以提高氮肥效率, 降低环境风险, 东、西部地区应因地制宜优化氮肥管理以提升地力, 实现增产增效。

关键词: 吉林省; 农田耕层土壤; 土壤氮素; 土类; 时空变异

中图分类号: S158.5; S155.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)02-0237-09

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.02.035

Temporal and Spatial Variability of Nitrogen Status in Cropland Topsoil in Jilin Province Based on Regions and Soil Types

CHEN Minwang, WANG Yuanyi, CHEN Jian, WANG Yin, GAO Qiang, YAN Li, FENG Guozhong

(College of Resources and Environment, Key Laboratory of Sustainable Utilization of Soil

Resources in the Commodity Grain Bases in Jilin Province, Jilin Agricultural University, Changchun 130118)

Abstract: The temporal and spatial variability of topsoil nitrogen (N) status across the different regions and soil types in Jilin province was evaluated by using traditional statistic method combines with GIS technique, based on the data of topsoil total N and alkali-hydrolyzable N in soil testing and recommended fertilization program during 2005—2013. Moreover, the historic changing trend of topsoil N status was also discussed by compared with the data obtained during the second national soil survey. Results showed that the total N content in topsoil ranged between 0.4 and 3.9 g/kg with a mean of (1.62 ± 0.60) g/kg, and the alkali-hydrolyzable N content ranged between 15 and 360 mg/kg with a mean of (145.0 ± 59.5) mg/kg in the present Jilin province. The total N and alkali-hydrolyzable N contents in topsoil showed same orders among the various soil types, these were highest in dark brown soil with the values of (2.02 ± 0.57) g/kg and (190.2 ± 72.8) mg/kg, and followed by albic soil, paddy soil, black soil, meadow soil, chernozem, and aeolian sandy soil. In view of the province as a whole, the spatial distribution of N status in topsoil was characterized by being high in the east and low in the west, and a positive and significant correlation was shown between the total N content and the alkali-hydrolyzable N content in the county scale. Compared with the second soil survey, the total N and the alkali-hydrolyzable N contents in topsoil showed obviously ascending trends in the scale of whole Jilin province, the change magnitude of topsoil N status were mostly significant in the

收稿日期: 2017-11-09

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200101); 国家现代农业玉米产业技术体系项目(CARS-02)

第一作者: 陈敏旺(1992—), 男, 硕士研究生, 主要从事作物养分管理与施肥研究。E-mail: a15643012801@126.com

通信作者: 王寅(1986—), 男, 博士, 副教授, 主要从事作物养分管理与施肥研究。E-mail: wy1986410@163.com

高强(1966—), 男, 博士, 教授, 主要从事作物养分管理与施肥研究。E-mail: gyt199962@163.com

central region but relatively low in the west region. The great discrepancies were also observed in the change trends of topsoil N status among various soil types. Of which, black soil, chernozem, meadow soil, and aeolian sandy soil showed increasing trends, while dark brown soil, albic soil, and paddy soil showed decreasing trends. Compared with other soil types, the increasing magnitude was significant in aeolian sandy soil, and the decreasing magnitude was significant in dark brown soil. In conclusion, there were enormous differences in spatial distribution and historic change in the N status of cropland topsoil in Jilin province. Based on the temporal and spatial characteristics of topsoil N status between regions and soil types, we suggested that N fertilizer rate in crop production should be strictly controlled in the major grain producing areas of the central region to improve N use efficiency and reduce environmental risk, and crop N fertilizer management should be improved according to local conditions in the east and west regions to enhance soil fertility and to achieve high yield and high efficiency.

Keywords: Jilin province; cropland topsoil; soil nitrogen; soil type; temporal and spatial variability

农田土壤氮素营养状况是影响作物生长和产量最重要的因素之一^[1], 表观评估显示当前我国粮食作物氮素吸收量的 50%~80% 来自于土壤氮素供应^[2-6]。但是, 农田土壤氮素累积过多易引发水体富营养化、氨挥发、氧化亚氮排放等污染问题^[7-9], 对生态环境和人体健康造成不良影响。因此, 优化区域的作物氮肥管理措施和维持适宜的农田土壤氮素营养水平对促进农业生产和环境保护具有重要意义。这其中, 明确农田土壤氮素营养的空间变异特征及时间变化趋势是重要的基础和依据^[10-13]。大量研究表明, 农田土壤氮素养分的空间变异受到其母质类型、气候特征、地形地貌、成土过程、利用类型、农业生产管理等因素的影响, 而且会随不同历史阶段农业生产管理方式的变迁而发生显著变化^[12-21]。

吉林省作为我国重要的农业大省和商品粮基地, 近 5 年农田种植面积和粮食产量分别达 544.9 万 hm^2 和 3 449.0 万 t, 占全国的 3.4% 和 5.8%^[22]。1980 年至今的 30 余年间, 吉林省在农田面积增加约 30% 的基础上粮食产量增长超过了 3 倍, 化肥的大量使用发挥了重要作用。据统计, 全省化肥用量由 30.3 万 t 增加至 215.3 万 t, 增长 6.1 倍, 其中单质氮肥由 24.5 万 t 增加至 70.3 万 t, 而复合肥由 1.3 万 t 增加至 123.4 万 t^[23]。长期的大量氮肥投入和籽粒产品收获养分的带走显著影响着农田土壤的氮素营养状况^[10,24], 而不同地区农业发展模式及种植结构的变化也必然导致区域间农田土壤氮素变化趋势出现差异。为明确吉林省农田土壤氮素营养状况在时、空两方面的变化特征, 本研究整理了 2005—2013 年共 9 年间测土配方施肥项目在吉林省采集测定的土壤全氮和碱解氮数据, 分析全省、地区及县域尺度上农田耕层土壤氮素营养的空间变异特征, 并与第 2 次土壤普查数据进行对比探讨时间上的变化趋势, 以期为区域农田土壤氮素营养评估和作物氮肥优化管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

吉林省地处我国东北地区中部, 是东北亚地理中心。全省处于 $40^{\circ}52'—46^{\circ}18'N$ 和 $121^{\circ}38'—131^{\circ}19'E$ 之间, 土地面积为 $18.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。全省现辖长春市、吉林市、四平市、辽源市、通化市、白山市、白城市、松原市和延边朝鲜族自治州(以下简称延边州)(图 1), 共包括 48 个县级单位(市辖区、县、县级市), 各地州所辖县区见表 1。

吉林省地势东南高, 西北低, 属温带大陆性季风气候, 年平均日照时间 2 260~3 000 h, 平均降水量 400~600 mm, 无霜期 100~160 d。根据地形、气候和自然植被条件, 全省可分为 3 大生态区, 自东西向依次为东部山地丘陵区、中部松辽平原区和西部风沙草原区。东部山地丘陵区主要土壤类型为暗棕壤、白浆土等, 中部平原区主要为黑土、黑钙土、白浆土等, 西部平原区主要为草甸土、风沙土、黑钙土等。

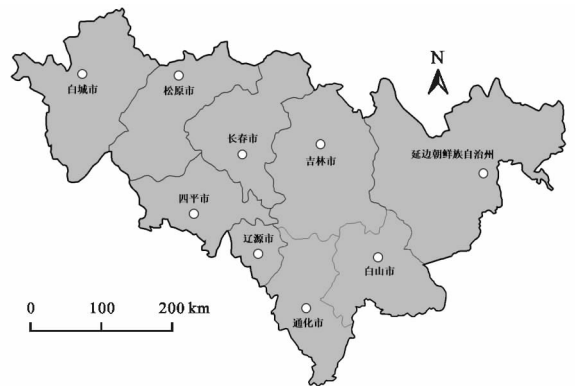


图 1 吉林省行政区

1.2 数据来源

本研究中测土配方施肥项目数据由吉林省土壤肥料总站提供。2005—2013 年间, 吉林省测土配方施肥项目按照技术规程^[25]采集分析了大量农田耕层土壤样品, 其中全氮含量采用半微量开氏法—标准酸滴定法测定;

碱解氮含量采用 1.0 mol/L NaOH 扩散法测定。收集测土配方施肥项目的土壤全氮和碱解氮数据样本数分别为 2 542 和 1 742 个。第 2 次土壤普查数据资料来自吉林省土壤肥料总站编著的《吉林土壤》^[26],普查时间为 1979—1982 年(记为 1980s),数据包括全省及各地区的全氮和碱解氮分级比例数据,不同土类的全氮和碱解氮均值及范围数据。尽管有研究显示碱解氮并不是反映土壤速效氮素水平的最佳指标,其与作物施氮反应的相关性偏低^[27],但考虑与历史数据对比,本研究仍选取碱解氮作为表征土壤速效氮素的指标。

1.3 数据统计分析

为提高大样本数据的准确度,采用拉依达法^[18-19]对数据离群值进行检验并剔除。全氮和碱解氮数据分别剔除离群值 23 和 33 个,剩余有效数据样本分别为 2 519 和 1 709 个(表 1)。为提高数据结果的指导性与实用性,本研究以县域单元作为土壤氮素营养属

性承载的基本单位,以县界作为图斑的划分边界。取县域内所有采样点耕层土壤全氮和碱解氮含量的算术平均值为县域图斑赋值,表征农田耕层土壤氮素营养状况在县域尺度上的空间分布差异。相似地,不同地区、土类的耕层土壤全氮和碱解氮含量均值为该地区或该土类所有采样点数据的算术平均值。

为方便进行土壤氮素养分状况的历史变化比较,本研究参照吉林省第 2 次土壤普查时的分级标准,将全氮和碱解氮进行分级^[26],均划分为编号 I—VI 的 6 个等级,全氮分别为<0.5,0.5~0.75,0.75~1.0,1.0~1.5,1.5~2.0,>2.0 g/kg,碱解氮分别为<30,30~60,60~90,90~120,120~150,>150 mg/kg。

运用 Excel 2013 和 SPSS 17.0 软件对数据进行统计分析,采用 LSD 法比较地区间或土类间农田耕层土壤全氮和碱解氮在 $P=0.05$ 水平上的差异显著性,利用 ArcGIS 9.3 软件制作地图。

表 1 吉林省不同地区农田耕层土壤全氮和碱解氮的样本数分布情况

地区	县/区
白城市(402,273)	市辖区(57,15),大安市(207,149),洮南市(38,33),通榆县(33,12),镇赉县(67,64)
松原市(282,143)	市辖区(52,56),长岭县(48,10),扶余市(42,30),乾安县(56,37),前郭县(84,10)
长春市(317,251)	市辖区(150,129),德惠市(34,33),九台市(41,22),农安县(46,31),榆树市(46,36)
四平市(363,213)	市辖区(18,10),公主岭市(96,41),梨树县(90,53),双辽市(100,70),伊通县(59,39)
辽源市(139,66)	市辖区(14,10),东辽县(36,28),东丰县(89,28)
吉林市(365,264)	市辖区(49,96),磐石市(49,21),舒兰市(102,46),永吉县(39,20),桦甸市(33,34),蛟河市(93,47)
通化市(186,168)	市辖区(17,17),辉南县(40,45),集安市(17,33),柳河县(38,14),梅河口市(47,38),通化县(27,21)
白山市(79,134)	市辖区(29,27),长白县(10,26),抚松县(17,32),靖宇县(14,25),临江市(9,24)
延边朝鲜族自治州(386,197)	延吉市(45,10),安图县(50,36),敦化市(103,51),和龙市(29,12),珲春市(49,17),图们市(33,24),龙井市(39,29),汪清县(38,18)

注:括号内数字分别为各地区土壤全氮和碱解氮的样本数。

2 结果与分析

2.1 吉林省农田耕层土壤全氮和碱解氮的空间变异特征

目前吉林省农田耕层土壤全氮含量为 0.4~3.9 g/kg,平均为(1.62±0.60)g/kg,变异系数为 36.9%,属低等变异;碱解氮含量为 15~360 mg/kg,平均为(145.0±59.5)mg/kg,变异系数为 41.0%,属中等变异(表 2)。基于地区和县域尺度均可看出,吉林省农田土壤的全氮和碱解氮具有明显的空间分异,整体上呈现自东向西逐渐下降的空间分布特征。

地区尺度上(表 2),土壤全氮含量以白山市最高,而后为通化市≈延边州>吉林市>辽源市>长春市>白城市>松原市>四平市,土壤碱解氮含量也以白山市最高,但其后顺序与全氮不同,依次为辽源市>吉林市≈延边州≈通化市>长春市>四平市≈松原市≈白城市。各地区中全氮的变异系数以白城市(32.4%)最高,辽源市最低(14.8%),碱解氮的变异系数以四平市(41.3%)最高,松原市最低(21.8%)。

县域尺度上(图 2),土壤全氮以靖宇县最高(3.45

g/kg),双辽县最低(0.79 g/kg)。多数县市的土壤全氮分布在 1.0~2.5 g/kg,占总数的 79.2%,超过 2.5 g/kg 的县市仅有 6 个,且全部分布在东部地区,低于 1.0 g/kg 的县市有 4 个,主要分布在中、西部地区。土壤碱解氮以靖宇县最高(274.3 mg/kg),通榆县最低(76.6 mg/kg),70.8%的县市分布在 100~200 mg/kg。全省有 6 个县市土壤碱解氮高于 200 mg/kg,主要分布在中、东部地区,有 7 个县市低于 100 mg/kg,其中 6 个分布于西部地区。分析发现,土壤全氮和碱解氮在县域尺度上具有显著正相关关系,线性方式为 $y=61.5x+42.6$ (y 为碱解氮含量(mg/kg); x 为全氮含量(g/kg)),决定系数 $R^2=0.6049$ 。

2.2 吉林省不同地区农田耕层土壤全氮和碱解氮的时间变化趋势

第 2 次土壤普查时,吉林省农田耕层土壤全氮含量 I~VI 级的分布频率分别为 1.5%,5.4%,6.7%,53.3%,24.5%和 8.6%(图 3),碱解氮含量 I~VI 级的分布频率分别为 0.3%,4.0%,18.3%,37.5%,17.5%和 22.4%(图 4)。目前,吉林省农田耕层土壤

氮素营养状况总体上明显提高(图 3、图 4),省域尺度上全氮 I~VI 级的分布频率分别为 0.2%,3.1%,9.4%,35.7%,28.7%和 22.9%,碱解氮 I~VI 级的分布频率分别为 0.5%,1.9%,11.6%,26.1%,22.8%和 37.2%。全氮和碱解氮的分布高峰均发生后移,两者在 IV 级的分布频率下降最多,分别达到 17.6,11.4 个百分点,而 VI 级的增加最多,分别达 14.3,14.8 个百分点。

尽管全省农田耕层土壤氮素营养明显增加,但地区间的增减趋势存在差异。全氮以长春市、吉林市、辽源市、通化市和延边州明显上升,白山市明显下降,而白城市、松原市和四平市基本持平;碱解氮以长春市、辽源市和四平市明显上升,吉林市、白山市和通化市明显下降,而白城市、松原市和延边州基本持平。可见,吉林省中部地区农田耕层土壤氮素营养变化最显著,其次为东部地区,西部地区相对较小。

表 2 吉林省不同地区农田耕层土壤全氮和碱解氮含量的描述性统计

地区	样本数	全氮			样本数	碱解氮		
		变幅/ (g·kg ⁻¹)	平均值±标准差/ (g·kg ⁻¹)	变异 系数/%		变幅/ (mg·kg ⁻¹)	平均值±标准差/ (mg·kg ⁻¹)	变异 系数/%
白城市	402	0.6~3.9	1.33±0.43f	32.4	273	39~254	100.4±24.2f	24.1
松原市	282	0.5~2.7	1.24±0.33g	26.6	143	15~162	101.3±22.1ef	21.8
长春市	317	0.6~3.1	1.49±0.33e	22.2	251	74~254	142.9±38.1d	26.7
四平市	363	0.4~2.0	1.08±0.32h	29.9	213	16~271	110.9±45.8e	41.3
辽源市	139	1.3~2.5	1.72±0.26d	14.8	66	66~319	200.1±51.0b	25.5
吉林市	365	0.7~3.8	1.92±0.50c	25.9	264	80~353	168.1±53.3c	31.7
通化市	186	1.3~3.2	2.10±0.38b	18.2	168	65~349	161.0±47.8c	29.7
白山市	79	0.6~3.9	2.61±0.75a	28.8	134	83~360	222.0±74.9a	33.8
延边州	386	1.0~3.9	2.09±0.58b	27.9	197	54~357	161.1±57.2c	35.5
全省	2519	0.4~3.9	1.62±0.60	36.9	1709	15~360	145.0±59.5	41.0

注:同一列平均值后的小写字母表示不同地区之间的差异显著(P<0.05)。

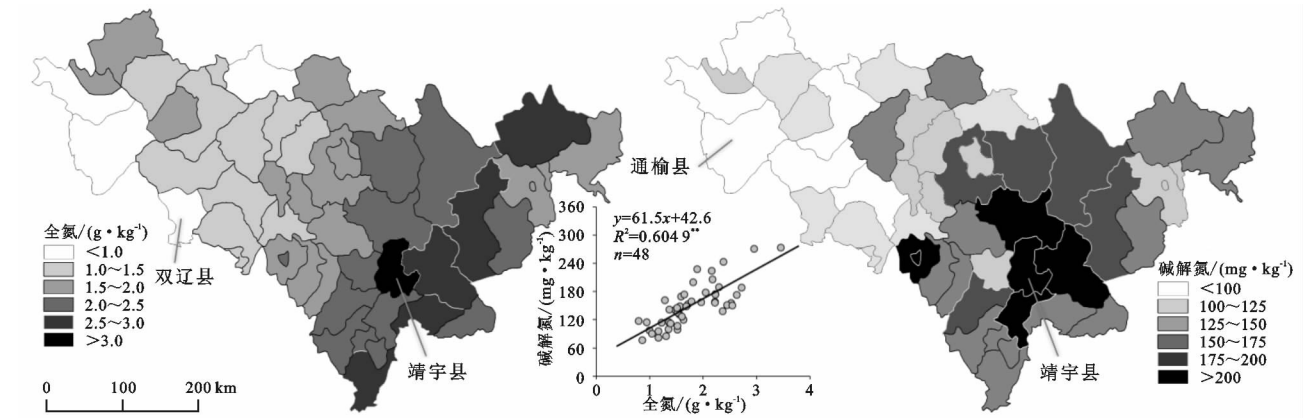
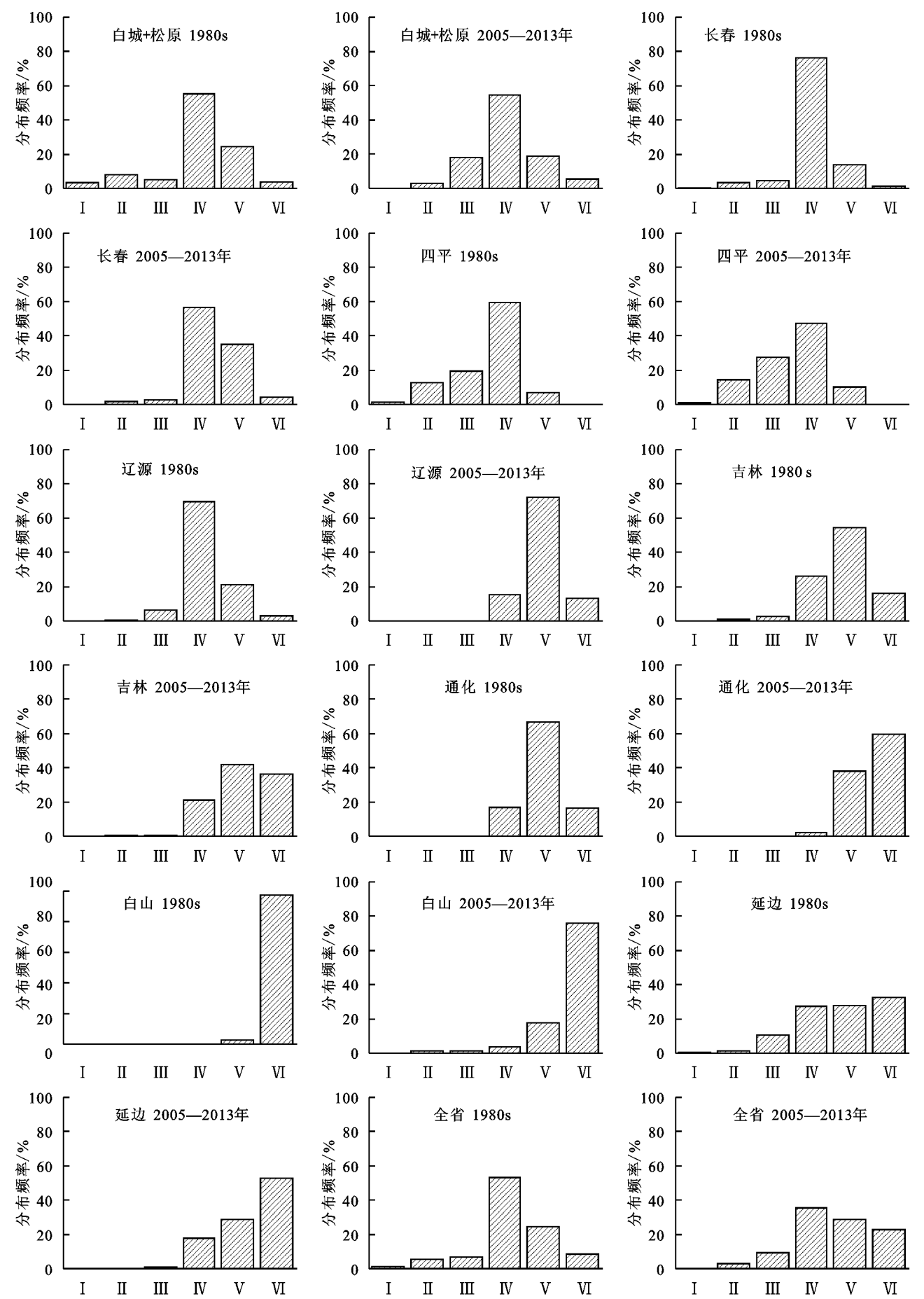


图 2 吉林省农田耕层土壤全氮和碱解氮含量的县域均值分布

2.3 吉林省农田不同土类全氮和碱解氮的变异特征

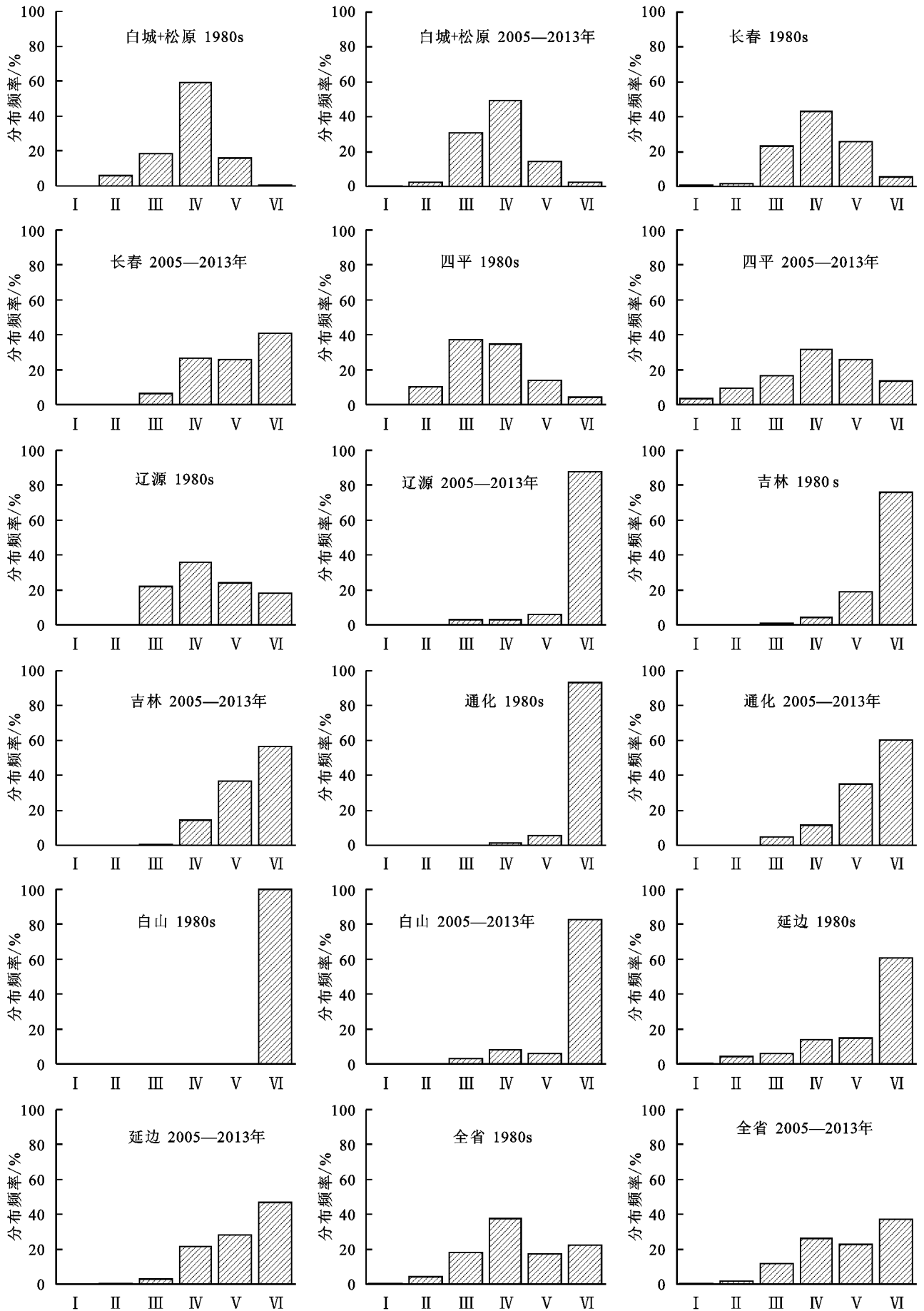
从图 5 可以看出,吉林省不同土类农田土壤的氮素营养状况差异显著,全氮和碱解氮含量的高低顺序基本一致。其中,暗棕壤的全氮和碱解氮含量最高,平均分别为 2.02 g/kg(0.89~3.89 g/kg)和 190.2 mg/kg(70.4~360 mg/kg),而后依次为白浆土(1.92 g/kg 和 178.3 mg/kg)、水稻土(1.78 g/kg 和 152.3 mg/kg)、黑土(1.50 g/kg 和 136.3 mg/kg)、草甸土(1.50 g/kg 和 131.4 mg/kg)、黑钙土(1.35 g/kg 和 104.8 mg/kg)和风沙土(1.06 g/kg 和 93.8 mg/kg)。分布频率方面,暗棕壤、白浆土和水稻土全氮含量大多高于 1.5 g/kg(V 和 VI 级),占比分别为 79.6%,75.7%和 64.4%,黑土、黑钙土、

草甸土主要分布在 1.0~2.0 g/kg(IV 和 V 级),占比分别为 75.0%,73.1%和 71.9%,风沙土则主要分布在 0.75~1.5 g/kg(III 和 IV 级),占比达 74.0%。对于碱解氮,暗棕壤和白浆土主要分布在 150 mg/kg 以上(VI 级),占比分别为 65.0%和 58.7%,黑土和水稻土主要分布在 120 mg/kg 以上(V 和 VI 级),占比分别为 60.5%和 76.5%,草甸土主要分布在 90~150 mg/kg(IV 和 V 级),占比 61.9%,黑钙土和风沙土主要分布在 60~120 mg/kg(III 和 IV 级),占比分别为 76.6%和 45.9%。不同土类中,全氮和碱解氮含量均以风沙土的变异系数最高,分别为 40.0%和 54.0%,最低分别为暗棕壤(28.1%)和黑钙土(27.0%)。



注:全氮 I~VI 级分别表示 <0.5, 0.5~0.75, 0.75~1.0, 1.0~1.5, 1.5~2.0, >2.0 g/kg。

图 3 吉林省不同地区农田耕层土壤全氮含量分级频率的分布变化



注: 碱解氮 I~VI 级分别表示 $<30, 30\sim60, 60\sim90, 90\sim120, 120\sim150, >150$ mg/kg。

图 4 吉林省不同地区农田耕层土壤碱解氮含量分级频率的分布变化

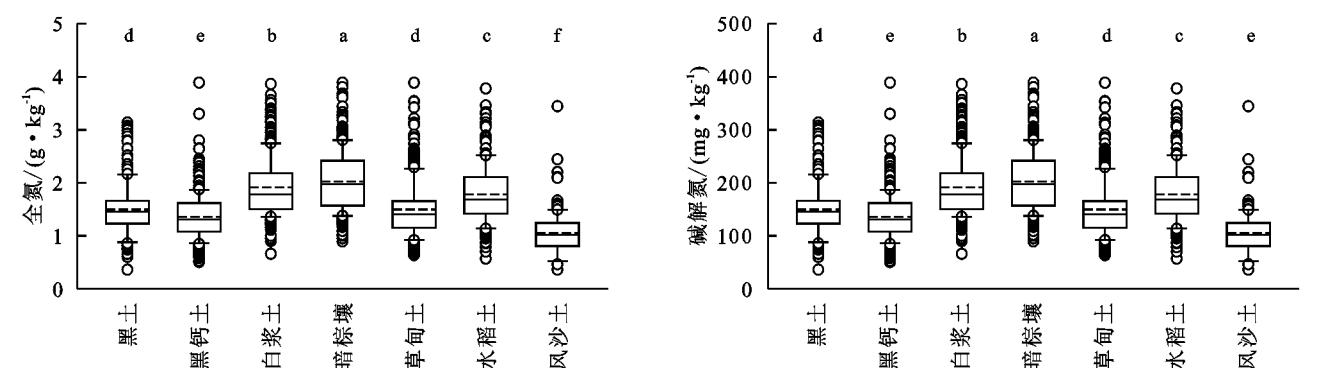


图 5 吉林省不同土类农田耕层土壤全氮和碱解氮含量的分布状况

2.4 吉林省农田不同土类全氮和碱解氮时间变化趋势

20 世纪 80 年代至今的 30 年间,吉林省不同土类农田土壤的氮素营养变化趋势存在明显差异(图 6)。黑土、黑钙土、草甸土和风沙土的氮素营养水平明显提高,全氮均值分别提升了 5.6%,12.9%,6.9%

和 60.0%,碱解氮均值分别提升了 11.7%,6.9%,30.1%和 21.0%。暗棕壤、白浆土和水稻土的氮素营养状况有所下降,全氮均值降幅分别为 19.1%,2.7%和 0.9%,碱解氮均值降幅分别为 10.4%,2.8%和 4.2%。总体来看,风沙土的氮素营养水平增加最为明显,而暗棕壤的降幅最高。

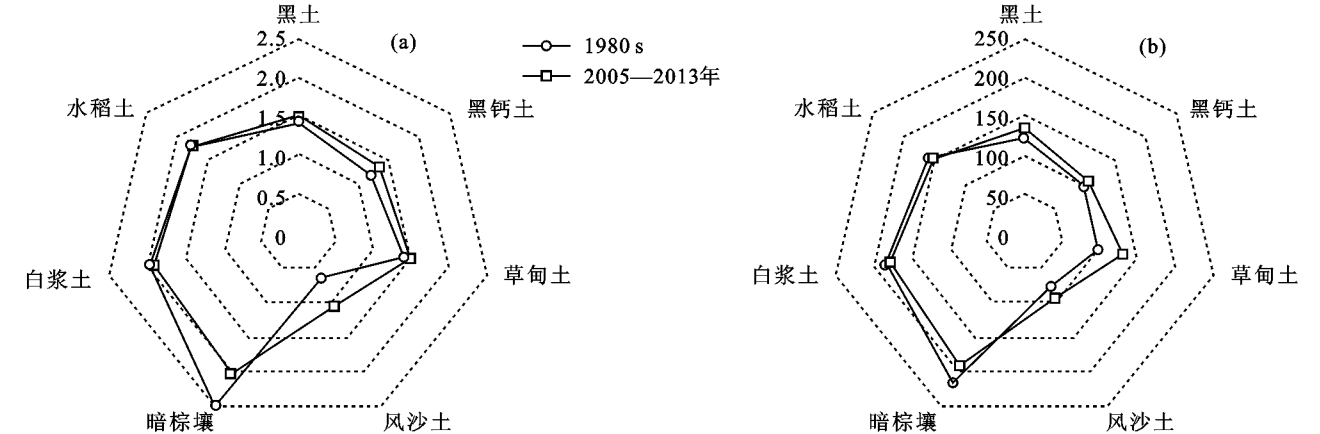


图 6 吉林省不同土类农田耕层土壤全氮(a)和碱解氮(b)含量均值的时间变化

3 讨论

本研究显示,吉林省农田耕层土壤的氮素营养整体呈自东向西呈逐渐下降的空间分布特征,省域及地区尺度上处于中等变异程度。已有研究表明,农田土壤氮素营养在不同空间尺度上具有普遍的变异特性^[16,19,21,28-30],主要是结构性因素(如地形地貌、气候条件、成土母质、土壤类型等)和随机性因素(种植制度、耕作方式、施肥措施等)的差异及其共同作用的结果^[12-21]。其中,地形和气候通过影响土壤的水热条件、成土过程及植被状况,进而造成土壤类型的分布差异及农田氮素营养的变异,而人为的耕作、施肥等措施则在此基础上导致一定区域内土壤氮素的空间分异发生不同程度的变化。

分析吉林省的地形和气候状况可以发现,全省地势整体上东高西低,东部是以长白山为主的山地丘陵区,中西部则为松花江、嫩江冲积而成的平原区,而降雨量受季风气候和地形特征的影响自东向西逐渐减少,日照时数逐渐增多。因此,省域内自东向西大体

形成了森林、农田、草原的植被格局,也依次出现了暗棕壤、白浆土、黑土、黑钙土、草甸土、风沙土的地带性土壤类型^[27]。东部以暗棕壤为代表的白山、通化地区,属湿润冷凉气候,由于长期被林地覆盖,大量枯落物富集于土壤表面分解后转化为土壤氮源,同时枯落层阻碍降雨下渗减少了氮素淋溶,因而增加了土壤氮素的表聚现象^[20, 31],再加上开垦耕种历史较短,土壤有机氮的总体矿化量还相对较少,因而农田耕层土壤氮素含量很高。中部的长春、吉林、四平等地地处东北黑土带中心,是我国重要的商品粮基地,属半湿润气候,代表性土壤类型为黑土、黑钙土和白浆土,质地大多为壤土或黏壤土,耕作历史较长,农业生产力水平较高。尽管常年耕作促进了黑土区土壤氮素的矿化,但持续的施肥措施和部分作物残体的还田使耕层土壤维持了较高的氮素含量,尤其是以玉米种植区为典型代表^[30]。西部的松原和白城地区以黑钙土、风沙土为主,气候偏干旱,原始植被多为草地,属于农牧交错地区,土壤肥力较低而外源施肥的补充也相对较

少,导致耕层土壤氮素含量偏低。由此可见,吉林省的地形特点和气候条件决定了其土壤类型的地带性分布及农田土壤的肥力基础,是造成农田耕层土壤氮素营养空间差异的根本原因,而种植历史、耕作方式及施肥措施在区域间的差异则改变了局部的分布特征,是造成农田耕层土壤氮素营养空间差异的次要原因。另外发现,农田耕层土壤的全氮和碱解氮具有显著的空间相关性,但由于碱解氮更易受到人为活动的影响,因此其地带性分布趋势与全氮有所差异,大多数地区的变异性也较全氮更高。

从省域尺度来看,吉林省农田耕层土壤的氮素营养水平在近 30 年间明显提高,这与目前国内其他区域的研究结果一致,说明我国农田土壤氮素出现普遍的富集现象^[12-13,19,29-30,32]。但是,吉林省农田耕层土壤氮素营养变化趋势在地区间差异显著,中部地区明显增加,东部地区尤其是东南部白山市明显下降,西部地区略有上升,但变幅较小。黑土区土壤较强的保肥能力是中部农田土壤氮素营养富集的重要基础,而主要驱动因素是农业生产中大量施用氮肥而造成耕层土壤氮素残留^[18,30]。东部地区农田土壤氮素营养流失与该地区主要的暗棕壤氮素含量大幅下降直接相关,原本的林地土壤表层氮素营养丰富,开垦为农田后由于有机氮强烈的矿化分解作用而出现氮素营养下降^[1,21]。西部风沙土区农田土壤在施用氮肥及作物根茬还田的作用下氮素含量明显提高^[30],但其绝对含量依然很低,因此总体上耕层土壤氮素有所增加但变幅较小。

针对吉林省农田耕层土壤氮素的空间差异和时间变化特征,不同地区应实行差异化的氮素养分管理。中部地区因农田土壤保肥性好,应以维持土壤氮素平衡为标准减少作物施氮量,提高氮肥效率,降低环境风险。东、西部地区应在结合当地适宜种植制度和耕作方式基础上,优化养分管理策略,积极推进化肥与有机肥的合理配施,以提升地力而实现增产增效。

4 结 论

(1)吉林省农田耕层土壤全氮和碱解氮含量在区域上均呈现自东向西逐渐下降的空间分布特征,土类上均为暗棕壤>白浆土>水稻土>黑土>草甸土>黑钙土>风沙土。

(2)近 30 年间,吉林省农田耕层土壤全氮和碱解氮含量整体呈明显上升趋势,区域上表现为中部地区变化最显著,土类上以黑土、黑钙土、草甸土和风沙土上升趋势而暗棕壤、白浆土和水稻为下降趋势。

(3)基于时空变化特征,吉林中部粮食主产区应

严格控制作物氮肥用量以提高氮肥效率,降低环境风险,而东、西部地区应因地制宜地优化氮肥管理以提升地力,实现增产增效。

参考文献:

- [1] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783.
- [2] 巨晓棠, 张福锁. 关于氮肥利用率的思考[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 192-197.
- [3] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 450-459.
- [4] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
- [5] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273.
- [6] 王寅, 郭聃, 高强, 等. 吉林省不同生态区玉米施氮效果与氮肥利用效率差异[J]. 土壤学报, 2016, 53(6): 1464-1475.
- [7] Conley D J, Paerl H W, Howarth R W, et al. Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus[J]. Science, 2009, 323(5917): 1014-1015.
- [8] Liu X J, Zhang Y, Han W X, et al. Enhanced nitrogen deposition over China[J]. Nature, 2013, 494(7438): 459-462.
- [9] Wang G L, Chen X P, Cui Z L, et al. Estimated reactive nitrogen losses for intensive maize production in China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2014, 197(S1): 293-300.
- [10] Ju X T, Liu X J, Zhang F S, et al. Nitrogen fertilization, soil nitrate accumulation, and policy recommendations in several agricultural regions of China[J]. Ambio, 2004, 33(6): 300-305.
- [11] 吴良泉, 武良, 崔振岭, 等. 中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 802-817.
- [12] 刘建玲, 贾可, 廖文华, 等. 太行山山麓平原 30 年间土壤养分与供肥能力变化[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1325-1335.
- [13] 赵小敏, 邵华, 石庆华, 等. 近 30 年江西省耕地土壤全氮含量时空变化特征[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 723-730.
- [14] Parfitt R L, Scott N A, Ross D J, et al. Land-use change effects on soil C and N transformations in soils of high N status: Comparisons under indigenous forest, pasture and pine plantation[J]. Biogeochemistry, 2003, 66(3): 203-221.
- [15] Wright A L, Hons F M. Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes[J]. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69(1): 141-147.
- [16] Dharmakeerthi R S, Kay B D, Beauchamp E G. Spatial variability of in-season nitrogen uptake by corn

- across a variable landscape as affected by management [J]. *Agronomy Journal*, 2006, 98: 255-264.
- [17] 李纯燕, 杨恒山, 萨如拉, 等. 不同耕作措施下秸秆还田对土壤速效养分和微生物量的影响[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(1): 197-201.
- [18] 徐新朋, 赵士诚, 张云贵, 等. 吉林省玉米种植区土壤养分空间变异特征研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(6): 1342-1350.
- [19] 王伟妮, 鲁剑巍, 鲁明星, 等. 水田土壤肥力现状及变化规律分析: 以湖北省为例[J]. *土壤学报*, 2012, 49(2): 319-330.
- [20] 李龙, 姚云峰, 秦富仓, 等. 黄花甸子流域土壤全氮含量空间分布及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(5): 1306-1312.
- [21] 曹祥会, 龙怀玉, 周脚根, 等. 河北省表层土壤有机碳和全氮空间变异特征性及影响因子分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(4): 937-948.
- [22] 中华人民共和国国家统计局. 2016 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [23] 吉林省统计局. 2016 吉林统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [24] Sindelar A J, Lamb J A, Sheaffer C C, et al. Fertilizer nitrogen rate effects on nutrient removal by corn stover and cobs[J]. *Agronomy Journal*, 2013, 105(2): 437-445.
- [25] 高祥照, 马常宝, 杜森. 测土配方施肥技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [26] 吉林省土壤肥料总站. 吉林土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [27] Wang W N, Lu J W, Ren T, et al. Evaluating regional mean optimal nitrogen rates in combination with indigenous nitrogen supply for rice production[J]. *Field Crops Research*, 2012, 137: 37-48.
- [28] Haefele S M, Wopereis M C S. Spatial variability of indigenous supplies for N, P and K and its impact on fertilizer strategies for irrigated rice in West Africa[J]. *Plant and Soil*, 2005, 270(1): 57-72.
- [29] 丛日环, 张智, 郑磊, 等. 基于 GIS 的长江中游油菜种植区土壤养分及 pH 状况[J]. *土壤学报*, 2016, 53(5): 1213-1224.
- [30] 康日峰, 任意, 吴会军, 等. 26 年来东北黑土区土壤养分演变特征[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(11): 2113-2125.
- [31] Schimel J P, Bennett J. Nitrogen mineralization: Challenges of a changing paradigm[J]. *Ecology*, 2004, 85(3): 591-602.
- [32] 龙军, 张黎明, 沈金泉, 等. 福建省耕地土壤全氮密度和储量动态变化[J]. *生态学报*, 2015, 35(12): 3959-3969.
- (上接第 236 页)
- [12] 吴启侠, 朱建强, 晏军, 等. 涝胁迫对杂交中稻形态和产量的影响[J]. *中国农业气象*, 2016, 37(2): 188-198.
- [13] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [14] 鲍士旦. 土壤与农业化学分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 朱建强. 易涝易渍农田排水应用基础研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [16] 朱士江, 孙爱华, 张忠学, 等. 节水灌溉条件下水稻生长季降雨利用率的研究[J]. *灌溉排水学报*, 2013, 32(5): 11-13, 37.
- [17] 纪雄辉, 郑圣先, 鲁艳红, 等. 施用尿素和控释氮肥的双季稻田表层水氮素动态及其径流损失规律[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(12): 2521-2530.
- [18] 李娟. 不同施肥处理对稻田氮磷流失风险及水稻产量的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [19] 孙永健. 水氮互作对水稻产量形成和氮素利用特征的影响及其生理基础[D]. 成都: 四川农业大学, 2010.
- [20] 程倩. 南四湖区优化施肥对水稻养分吸收和产量及土壤养分的影响[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2015.
- [21] Fujinuma R, Balster N J, Norman J M. An improved model of nitrogen release for surface-applied controlled-release fertilizer[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2009, 73(6): 2043-2050.