

杨诗贵,洪 宁,李 铸,等. 沼液施用背景下稻田土壤养分的含量特征[J]. 江苏农业科学,2017,45(2):239–244.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2017.02.068

沼液施用背景下稻田土壤养分的含量特征

杨诗贵¹,洪 宁²,李 铸¹,邹德强¹,文勇立¹,艾 鹭¹,泽让东科¹

(1. 西南民族大学青藏高原研究院,四川成都 610041; 2. 西南民族大学生命科学与技术学院,四川成都 610041)

摘要:分析长期施用沼液对春、秋 2 季水稻—油菜轮作地土壤养分含量的特征。采用 SPSS、MapGIS 与 GS + 等方法对试验区与对照区 2 季土壤 pH 值、有机质(SOM)、全氮(TN)、碱解氮(AN)、全钾(TK)、有效钾(AK)、全磷(TP)、有效磷(AP)等含量 8 个指标进行偏相关、模糊综合评判以及空间格局分析。结果表明,长期施用沼液后,试验区土壤 SOM、AN、TK、AK、TN、TP、AP 含量增加,而 pH 值无显著变化;2 季之间 8 个指标变化不显著;试验区各养分因子与综合肥力指数 P_i 的偏相关系数大小序列为 AP > SOM > AK > TP 等,而对照区为 AP > AK > TP > SOM 等,施用沼液改变了土壤养分因子之间的关系;养分模糊综合评分试验区高于对照区;除春、秋 2 季 pH 值、TK 含量与秋季 AK 含量的空间变异主要受结构性因素(一般为成土母质、地形等)影响外,其他因子变异则受结构性与随机性因素(一般为施肥、种植管理等)共同影响;在空间格局图上,各养分含量高值区主要分布于试验区所处的西侧。研究结果证实长期施用沼液能改变水稻—油菜轮作地土壤养分空间格局,提高土壤综合肥力。

关键词:种养结合;;沼液土壤;养分;模糊综合评判;空间格局

中图分类号: S158.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2017)02–0239–06

沼液除含有丰富的氮、磷、钾外,还含有 17 种氨基酸、腐殖酸、赤霉素、吡啶乙酸、玉米素等生物活性物质,是一种速效、清洁、安全的高品质有机肥^[1]。稻田土壤广泛分布于成都平原,并且该地区畜牧业发达,沼液产量很高,施用沼肥是该地区改良土壤的重要途径。对一种土壤长期施用沼液,因土壤的物理、化学及生物特性,其养分含量的某些特性可能逐步发生改变,直至形成相对稳定的模式。因此,研究沼液施用背景下稻田土壤的养分含量特征,对于维持土壤健康、提高土壤质量具有重要意义。研究表明,养殖业发达的种养结合系统,为农田土壤投入有机 N、P₂O₅、K₂O 的总量高达 1 377 kg/hm²^[2]。施用沼液能调节土壤养分要素^[3],改善土壤脱氢酶、脲酶及过氧化氢酶的活性^[4],并减少土壤重金属的积累或降低重金属的危害^[5]。施用沼液还能提高果蔬等农产品的产量和质量^[6]。高红莉研究认为,施用沼液能减少土壤和作物的硝酸盐含量^[7]。但以往的研究多集中于施用沼液对土壤养分的影响,而未见施用沼液后水稻土养分特征的相关研究,且研究区域相对较小,也未见对施用沼液后土壤养分空间格局的分析。本试验以连续 4 年施用沼液的四川成都平原稻田土为研究对象,测定春季、秋季氮、磷、钾及有机质等养分含量,采用 MapGIS 和 GS + 等方法,分析土壤养分含量

变化及空间格局特征,为土壤的改良和管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验区在四川省双流县公兴镇吞拿养殖场进行,位于 103°57′36″~103°58′37″E、30°26′49″~30°27′19″N,海拔 500 m。年均温 16.8℃,降水量 921 mm,年日照时数 1 104.0~1 297.4 h,属亚热带湿润季风气候。土壤类型为紫色性水稻土,研究区土壤 0~15 cm 层 pH 值及养分背景值为:pH 值(H₂O)为 5.6,全氮(TN)含量为 1.35 g/kg、全磷(TP)含量为 0.45 mg/kg、全钾(TK)含量为 11.13 mg/kg;为水稻—油菜 2 季轮作地,每年 5—9 月种植水稻,10 月至次年 4 月种植油菜。养殖场养殖区面积为 70 hm²,现存栏种猪 800 余头、商品猪 4 000 余头,建有储粪池 10 个,3 700 m²,厌氧发酵池 500 m²,输粪管道 1 800 m,养殖场产生的粪污通过干湿分离,液体经厌氧技术处理后灌溉周围农田,共约 1 200 hm²^[8]。猪沼液养分含量:pH 值(H₂O)为 7.31、全钾含量为 1 317.70 mg/L、铵态氮含量为 139.87 mg/L、全磷含量为 141.55 mg/L、全氮含量为 13 988.73 mg/L。

1.2 样地设置

研究区分为沼液灌溉试验区(T)、对照区(C)、中间设置缓冲带(D)。试验区面积为 405 000 m²,对照区面积为 205 000 m²。采用 GPS 测量面积和定点,共设置 78 个样点,试验区 47 个,对照区 31 个,并编号(图 1)。试验区连续 4 年施用猪沼液 55 m³/hm²,不施用化肥和农药。对照区采用常规水稻耕作制度,施用化肥,不用农药。化肥施用量分别为氮肥 150 kg/hm²,磷肥 75 kg/hm²^[9]。研究区内成土母质、环境条件一致,远离交通要道,周围没有工矿企业。地貌平坦,地势由东北向西南略倾斜,倾斜度小于 0.5°,西、南、北边为浅丘相围。

收稿日期:2015–12–02

基金项目:四川省科技支撑计划(编号:2011FZ0054);西南民族大学创新型科研项目(编号:CX2014SZ115);西南民族大学优秀学生培养工程项目(编号:13ZYXS79);西南民族大学青年教师基金(编号:13NZYQN20);

作者简介:杨诗贵(1984—),男,湖北黄冈人,硕士,主要从事农业推广工作。E-mail:515971391@qq.com。

通信作者:文勇立,博士,教授,主要从事家畜生态与生产及动物遗传育种与繁殖等研究。E-mail:wansit@163.com。

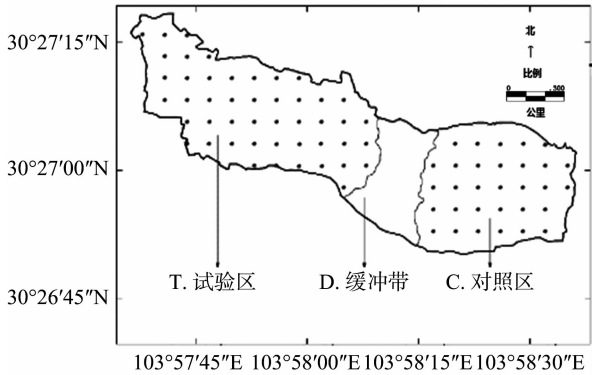


图1 样点分布

1.3 样品采集与预处理

借助 Trimble - GPS 系统于 2013 年 4—9 月进行定点采样,使用圆状取土钻取样,采集 0 ~ 20 cm 的耕层土壤,土样混匀后用四分法弃去部分土壤,保留 2 ~ 3 kg 装入相应编号的塑料袋中带回实验室备用。除去土壤中残留植物根、茎、叶及虫体等杂质后,自然风干约 14 ~ 20 d,研磨过 20、100 目筛,然后收集并编号以备测定。按文献资料[8]测定土壤 pH 值、有机质(SOM)含量、全氮含量、碱解氮(AN)含量、全磷含量、有效磷(AP)含量、全钾含量、有效钾(AK)含量。

1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0 进行模糊综合评判以及土壤养分含量与内梅罗综合指数 P_i 的偏相关分析。采用 GS + 7.0 进行半方差分析,SURFER 软件生成克里格插值图。 P_i 作为土壤质量评价指标^[10],是一种综合土壤肥力系数,计算公式如下:

$$P_i = \sqrt{\frac{[(P_i)_{\text{平均}}]^2 + [(P_i)_{\text{最小}}]^2}{2}} \cdot \left(\frac{n-1}{n}\right)。$$

式中: P_i 为土壤养分综合肥力指数; $(P_i)_{\text{平均}}$ 为土壤各养分要素的平均值; $(P_i)_{\text{最小}}$ 为土壤各养分要素的最小值, n 为土壤养分属性的个数。

2 结果与分析

2.1 土壤养分比较

试验区、对照区春、秋 2 季土壤 pH 值及养分因子测定结果见表 1。pH 值试验区与对照区差异不显著,秋季 TN、TP 含量试验区显著低于对照区,试验区 2 季土壤 SOM、AN、TK、AK、TN、TP、AP 含量均高于对照区。其中,试验区 2 季土壤 SOM、AN、TK、AK 含量与对照区差异极显著,TN、TP、AP 含量与对照区差异显著。整体来看,试验区土壤养分含量高于对照区。

从春季到秋季试验区与对照区土壤 pH 值以及 SOM、TN、AN、TP、AP、TK、AK 的含量 8 个指标差异均不显著。

2.2 土壤养分因子与综合指数 P_i 间的相关分析

土壤养分综合肥力指数 P_i 与各养分因子间的偏相关系数见表 2。从表 2 可以看出,春、秋 2 季试验区养分因子与 P_i 均呈正相关,其中 SOM、TP、AP、AK 的含量分别与 P_i 呈极显著正相关,AN 的含量与 P_i 呈显著正相关。按偏相关系数大小排序,春秋 2 季均为 AP 含量 > SOM 含量 > AK 含量 > TP 含量 > AN 含量 > TN 含量 > pH 值 > TK 含量。表明 AP、SOM、AK、TP、AN 等养分的含量与试验区土壤肥力相关。春、秋 2 季,除 pH 值外,对照区土壤养分因子均与 P_i 呈正相关,

其中 TP、AP、AK 含量与 P_i 呈极显著相关,SOM 与 P_i 呈显著相关。按偏相关系数大小排序,春、秋 2 季均为 AP 含量 > AK 含量 > TP 含量 > SOM 含量 > AN 含量 > TK 含量 > TN 含量 > pH 值,表明 AP、AK、TP、SOM 等养分含量与对照区土壤肥力相关。综合以上分析结果,AP、AK、TP、SOM 含量与 P_i 的偏相关系数为 0.446 ~ 0.876,表明这 4 个指标与土壤肥力具有更重要的相关关系。

表 1 春季、秋季试验区与对照区养分含量比较

指标	季节	组别	最小值	中位数	最大值	平均值 ± 标准差
pH 值	春季	T	4.10	5.50	6.90	5.5 ± 0.02a
		C	4.40	5.20	6.70	5.4 ± 0.02a
	秋季	T	4.20	5.60	6.92	5.6 ± 0.03a
		C	4.70	5.30	6.80	5.5 ± 0.03a
有机质含量 (%)	春季	T	1.42	2.92	4.64	2.82 ± 0.03A
		C	0.45	1.36	4.75	1.71 ± 0.03B
	秋季	T	1.39	2.89	4.44	2.79 ± 0.03A
		C	0.46	1.30	4.69	1.69 ± 0.03B
全氮含量 (g/kg)	春季	T	0.91	1.60	2.18	1.62 ± 0.00a
		C	1.03	1.34	3.23	1.42 ± 0.01b
	秋季	T	0.88	1.56	2.09	1.30 ± 0.00a
		C	1.01	1.31	3.18	1.41 ± 0.01b
碱解氮含量 (mg/kg)	春季	T	81.32	87.43	412.84	181.42 ± 1.79A
		C	87.43	175.43	239.78	134.95 ± 0.88B
	秋季	T	80.11	90.30	401.77	179.32 ± 1.69A
		C	86.42	169.56	233.11	130.75 ± 0.78B
全磷含量 (g/kg)	春季	T	0.34	0.49	1.41	0.58 ± 0.00a
		C	0.23	0.41	0.98	0.46 ± 0.00b
	秋季	T	0.30	0.48	1.31	0.43 ± 0.00a
		C	0.22	0.43	1.10	0.49 ± 0.00b
有效磷含量 (mg/kg)	春季	T	1.94	6.64	25.24	9.88 ± 0.24a
		C	0.38	2.47	55.09	5.05 ± 0.31b
	秋季	T	1.89	6.54	24.45	9.78 ± 0.22a
		C	0.44	2.33	51.23	5.00 ± 0.29b
全钾含量 (g/kg)	春季	T	10.63	13.25	17.38	13.29 ± 0.05A
		C	9.19	11.52	14.72	11.57 ± 0.04B
	秋季	T	10.55	12.01	16.45	12.29 ± 0.04A
		C	9.99	10.89	14.55	10.87 ± 0.05B
有效钾含量 (mg/kg)	春季	T	45.72	83.70	227.00	97.85 ± 1.44A
		C	35.40	59.46	126.30	61.04 ± 0.57B
	秋季	T	46.22	82.60	218.20	97.01 ± 1.37A
		C	33.15	60.11	135.10	60.14 ± 0.55B

注:T、C 分别代表试验区、对照区,表 2 同;同列数据后不同小写、大写字母分别表示差异显著 ($P < 0.05$)、极显著 ($P < 0.05$)。

2.3 土壤养分模糊综合评价

2.3.1 因子权重的确定 根据文献[11],以试验区、对照区土壤养分为评价对象,采用主成分分析法确定权重,以土壤养分因子的权重为因素,评价土壤养分综合实际贡献率的大小。将 pH 值以及 SOM、TN、AN、TP、AP、TK、AK 含量等 8 个指标值带入隶属函数,算出相应的隶属函数度,得到土壤养分权重系数(表 3)。从表 3 可看出,根据公因子方差赋予各因子的权重分别:pH 值为 0.097、SOM 含量为 0.13、TN 含量为 0.11、AN 含量为 0.12、TP 含量为 0.14、AP 含量为 0.15、TK 含量为 0.16、AK 含量为 0.093。可以看出从大到小的顺序为:TK 含量 > AP 含量 > TP 含量 > SOM 含量 > AN 含量 > TN 含量 > pH 值 > AK 含量。

表 2 春季、秋季试验区与对照区土壤养分综合指数 P_i 与各养分因子的偏相关分析

指标	季节	组别	pH 值	有机质含量	全氮含量	碱解氮含量	全磷含量	有效磷含量	全钾含量	有效钾含量
偏相关系数	春季	T	0.147	0.715	0.245	0.357	0.645	0.876	0.142	0.674
		C	-0.077	0.450	0.014	0.209	0.629	0.829	0.133	0.707
	秋季	T	0.141	0.691	0.246	0.331	0.621	0.870	0.139	0.651
		C	-0.071	0.446	0.013	0.201	0.617	0.812	0.129	0.710
P 值	春季	T	0.360	0	0.119	0.018	0	0	0.377	0
		C	0.716	0.018	0.947	0.316	0	0	0.528	0
	秋季	T	0.330	0	0.099	0.016	0	0	0.400	0
		C	0.699	0.015	0.931	0.300	0	0	0.510	0

表 3 土壤养分权重系数

主成分	公因子方差	权重系数
pH 值	0.521	0.097
有机质含量	0.675	0.130
全氮含量	0.593	0.110
碱解氮含量	0.671	0.120
全磷含量	0.775	0.140
有效磷含量	0.806	0.150
全钾含量	0.814	0.160
有效钾含量	0.491	0.093

2.3.2 土壤养分因子综合评价 基于表 3 并参照文献[12-13],获得试验区与对照区土壤养分综合评分(表 4)。试验区综合评分高于对照区,表明施用沼液后土壤养分的整体状况获得明显提升。

表 4 试验区与对照区土壤养分因子模糊综合评价结果

评价对象	综合评分	排序
试验区	0.616	1
对照区	0.384	2

注:含春季、秋季数据。

2.4 土壤养分因子空间格局

2.4.1 土壤养分因子的半方差分析 对春、秋 2 季土壤各养分因子进行最优模型拟合(表 5)。半方差函数测算与 Kriging 插值的详细数学过程^[14]。确定系数(R^2)表示该模型所拟合的理论曲线精度,越趋近 1,精准度越高。从表 5 可以看出,除 pH 值、TK 含量及秋季 SOM、AN 含量外,其他因子的确定系数为 0.216~0.964($P<0.01$ 或 $P<0.05$),表明模型拟合效果较好。残差值表示模型拟合的效果,其值越趋近 0,拟合效果越好^[15]。

表 5 土壤养分半方差函数参数及模型

指标	季节	理论模型	块金值	基台值	变程	块金值/基台值	确定系数	残差
pH 值	春季	指数	0.069 20	0.370 0	35.00	0.187 0	0.004	0.016
	秋季	指数	0.057 20	0.340 0	32.00	0.168 2	0.003	0.015
有机质含量	春季	指数	0.770 00	1.540 0	1 308.00	0.500 0	0.964 **	6.734×10^{-3}
	秋季	指数	0.570 00	0.840 0	1 208.00	0.678 6	0.004	1.634×10^{-3}
全氮含量	春季	指数	0.027 60	0.092 4	4 110.00	0.298 7	0.846 **	4.996×10^{-5}
	秋季	指数	0.011 61	0.065 3	78.00	0.177 8	0.216 **	4.616×10^{-5}
碱解氮含量	春季	指数	0.045 80	0.091 7	1 332.00	0.499 5	0.839 **	1.203×10^{-4}
	秋季	指数	0.028 50	0.014 3	80.00	0.457 5	0.649 **	3.113×10^{-4}
全磷含量	春季	指数	0.100 00	0.300 0	4 110.00	0.333 3	0.514 *	3.662×10^{-3}
	秋季	指数	0.054 00	0.280 0	2 113.00	0.192 9	0.892 *	7.662×10^{-5}
有效磷含量	春季	指数	0.770 00	2.590 0	4 110.00	0.297 3	0.759 *	0.069
	秋季	指数	0.130 00	1.390 0	88.00	0.092 5	0.479 *	0.026
全钾含量	春季	球状	0.000 29	0.016 7	147.00	0.017 4	0.091	6.389×10^{-5}
	秋季	球状	0.000 19	0.035 7	121.00	0.005 3	0.070	8.479×10^{-5}
有效钾含量	春季	指数	0.150 00	0.510 0	4 110.00	0.294 1	0.478 *	9.609×10^{-3}
	秋季	指数	0.001 40	0.115 2	121.00	0.012 2	0.015	4.329×10^{-5}

注: *、** 表示差异显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$)。

2.4.2 土壤养分因子克里格(Kriging)分析 采用 SPSS 软件对春、秋 2 季土壤养分因子进行 W 检验。结果显示,春季土壤 pH 值、SOM 含量、TN 含量与秋季 pH 值、SOM 含量、TN 含量、TP 含量、AP 含量均符合正态分布;而春季土壤 AN 含量、TP 含量、AP 含量、TK 含量、AK 含量、秋季 AN 含量、TK 含量、AK 含量均不符合正态分布,对其进行对数转换,结果均符合该分布。克立格插值分析见图 2(x 轴为东西方向, y 轴为南北方向)。从图 2 可见,春、秋 2 季土壤 8 个养分指标在空间分布上主要呈现出斑块与梯度相结合的分布格局,各养分指标在研究区内有高值或低值的分布中心,且高值中心呈现一

定的方向性。除 2 季 TK 含量外,其他养分高值中心均集中于西侧,养分含量呈现由东向西逐渐上升的趋势,西侧为试验区,东侧为对照区,表明试验区土壤养分含量总体高于对照区。

3 结论与讨论

3.1 施用沼液后土壤养分含量

对比春、秋 2 季试验区与对照区土壤养分含量,试验区总体比对照区高,这可能与粪便得到厌氧发酵有关,发酵后的沼液有助于改善土壤的团粒结构,从而提高有机质在土壤中的效应。试验区与对照区土壤 pH 值差异不大,但呈弱酸性,有

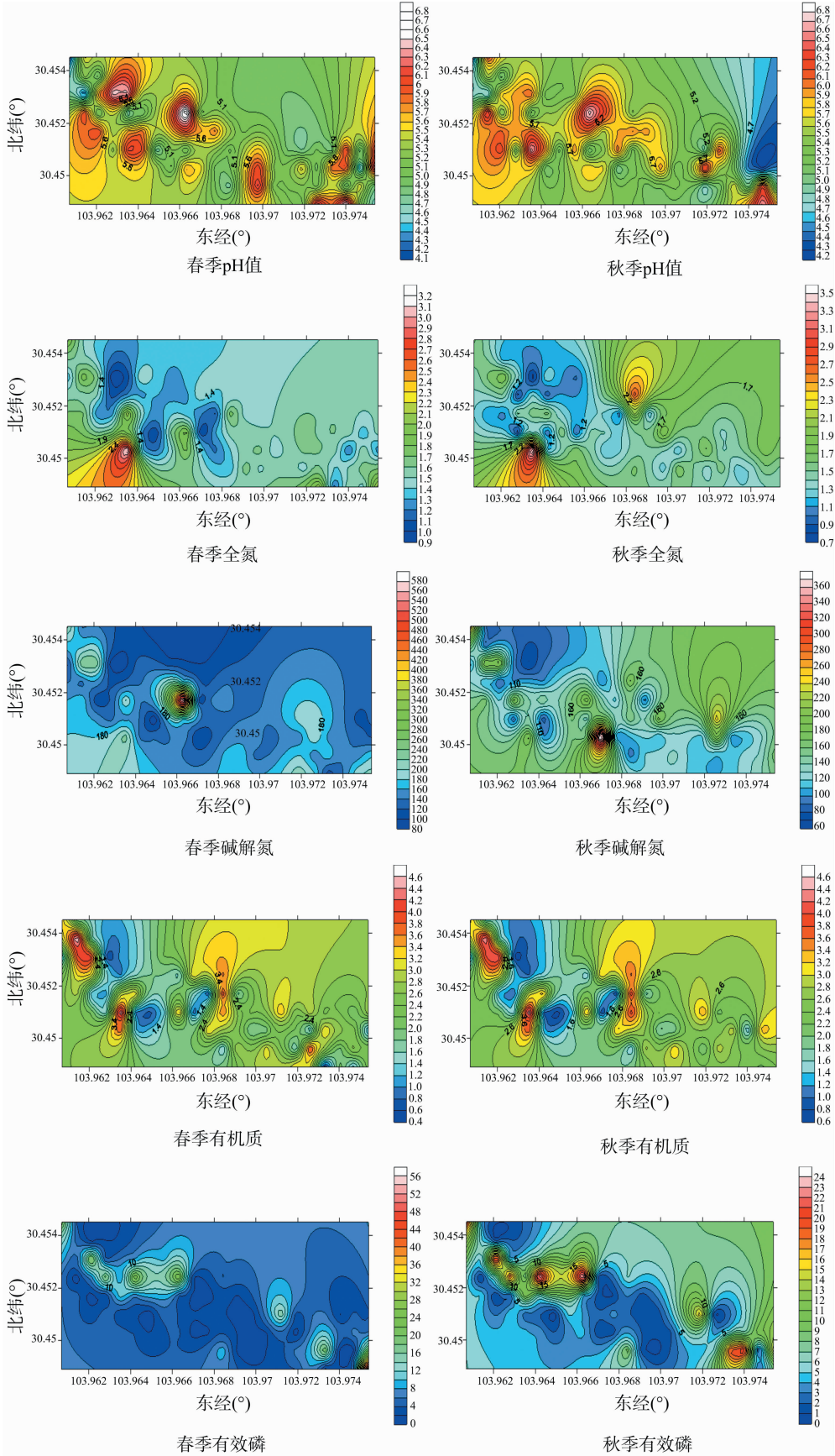
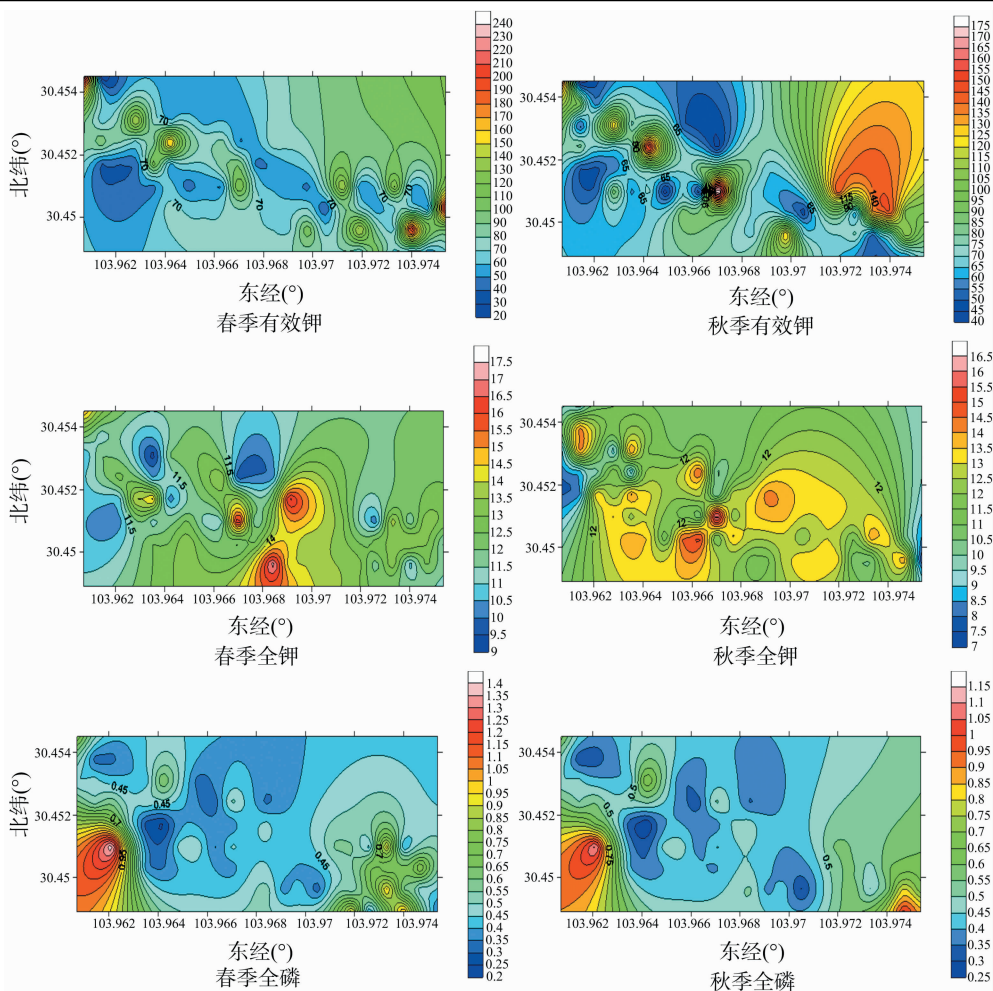


图2 土壤养分因子空间格局



续图2

利于土壤有机质的保持。有研究认为,较低的 pH 值会增大土壤磷的可溶性,从而加快磷的流失^[16]。但也有研究表明,酸性土壤环境可能改变微生物的优势群落结构,有益于固氮、解磷、解钾微生物的大量繁殖,从而在长期施用沼液的土壤中使氮、磷、钾养分及其有效成分获得显著提高^[17]。

3.2 土壤养分综合指数 P_i 与相关养分因子的关系

试验区和对照区分别与 P_i 的相关性序列在春、秋 2 季差异不显著,但试验区 2 季的相关性序列与对照区对比,存在明显差异,表明施用沼液对土壤养分因子关联结构产生了一定影响。长期施用沼液的试验区春、秋季土壤 SOM 含量与 P_i 的相关性比对照区明显增强,表明长期施用沼液的试验区土壤的 SOM 获得了一定程度的改善,这与李学东等研究结果^[18-19]一致。试验区与对照区春、秋 2 季土壤养分因子的 4 种序列均显示 AP、AK、TP、SOM 含量与 P_i 的相关性相对较强,而 TN 含量、TK 含量、pH 值相对较弱,表明 AP、AK、TP、SOM 含量在土壤养分构成方面具有更为重要的影响。武广云等研究认为,有机质是土壤可持续经营的核心,决定了土壤的稳定性和弹性,TN、TP、TK 含量能够反映该土壤的供肥潜力^[20]。而 AN、AP、AK 含量则能直接说明土壤肥力的状况,表明本研究试验区土壤的肥力获得了改善。

3.3 土壤养分因子的模糊综合评价

近年来,有关施用沼液后对土壤养分及农作物的影响研

究较多,范玉贞研究了沼肥对梨园土壤中养分及梨果品质的影响,结果显示,沼肥提高了梨园土壤的 SOM、TP、AP、TN、AN、TK、AK 的含量,并且对梨果的品质具有改善作用^[21]。李艳丽等研究认为,灌溉沼液对玉米种植的影响,给出了沼肥的施用方式、数量及增产效果^[22]。樊文华等研究施用沼肥对土壤养分的影响,认为施用沼液可以提高土壤中氮、磷、钾及有机质的含量,施用沼液比施用化肥更能提高土壤有机质含量^[23]。上述研究并未涉及水稻—油菜轮作土,也未见采用综合评价法对众多因子进行整体性评判的相关报道。

本研究采用模糊综合评价方法,对长期施加猪沼液后水稻稻—油菜轮作土壤养分 8 个因子进行整体性评价,通过公因子方差分析,权重大小顺序为 TK 含量 > AP 含量 > TP 含量 > SOM 含量 > AN 含量 > TN 含量 > pH 值 > AK 含量。TK、AP、TP 含量的权重值为 0.14 ~ 0.16,表明在土壤养分中磷、钾具有一定主导作用。据报道,当土壤中氮、磷、钾含量相对较高时,土壤肥力得到改善,有利于植物的生长^[24]。通过权重与隶属函数矩阵的乘积得出模糊综合评价试验区与对照区积分,然后进行归一化处理得出试验区的评价结果是 0.616,对照区评判结果 0.384。表明长期施用沼液,土壤养分整体状况、养分结构等都可以获得进一步优化。

3.4 土壤养分因子空间分布特征

不同的块金值/基台值可表示系统变量的空间相关性的

不同程度^[25]。土壤是由母质、地形、生物、气候、时间和人为因素共同作用形成的非均质的和变化的时空连续变异体^[26],具有高度的空间异质性,不论是在大尺度上还是小尺度上,均有异质性存在^[27]。自然过程(一般包括地形、母质、土壤类型等)是土壤养分变异的内在驱动力,它有利于土壤养分空间变异结构性的加强和相关性的提高,尤其是在较大水平尺度上表现更为明显;而人为过程,一般如施肥、耕作措施和种植制度等则是土壤养分变异的外在因素,表现为较大的随机性,它往往对变量空间变异的结构性及相关性具有削弱作用,使土壤特性的空间分布朝均一方向发展,尤其是在小尺度上表现更为明显^[28]。春、秋2季的pH值,春季的TK含量,秋季的TN、TP、AP、AK含量的块金值/基台值均小于0.25,表明这些指标具有极强的空间相关性,其变异主要是由结构性因素引起的。前人研究认为,这可能与成土母质、地形地貌等有关^[29]。除此之外,春季、秋季其余指标的块金值/基台值处于0.294 1~0.679 0之间,表明这些指标为中等自相关,空间变异受随机和结构两方面因素的影响,由于试验区域是水稻—油菜轮作地,推测引起土壤属性空间变异的随机性因素主要来自轮作地的人为活动,诸如施肥、除草活动、土壤管理等。

克里格插值法可通过已知样品点数据来估算临近未知点的数据^[30]。春、秋2季土壤pH值和秋季AK含量在空间上呈连续变化梯度,表明其变异是均匀的,这与半方差分析结果一致,即上述指标主要受结构性因素的影响。春季pH值东西两侧基本无差异;春季SOM、AP、TP几个养分因子的含量明显西侧高于东侧,除pH值外,各养分含量明显秋季高于春季,但方差分析差异不显著。本试验西侧为试验区,东侧为对照区。半方差分析结果表明,秋季AK含量的块金值/基台值小于0.25,可推测其空间变异主要受地形、成土母质等结构性因素影响。一般来说,若无人为因素的影响,土壤中的养分含量与母质有关,但在特定区域内,由于气候条件差异不大,景观长期较为一致的种植和管理后,土壤养分空间变异将趋于缓和,即由于与母质差异等引起的变异逐渐减小,可形成表面上较为一致的区域^[31]。因此,这可能是人为春、秋2季水稻—油菜轮作管理之后,引起的秋季AK含量高于春季的原因。

施用沼液后,土壤SOM、AN、TK、AK含量明显提升,各养分因子与土壤肥力综合指数 P_i 均呈正相关,综合肥力得到改善;春、秋2季pH值与秋季AK含量的变异受结构性因素影响,其余受结构性因素与随机性因素的共同影响。

参考文献:

- [1] 沈其林,单胜道,周健驹,等. 猪粪发酵沼液成分测定与分析[J]. 中国沼气,2014,32(3):83-86.
- [2] 马兴林,林治安,杨守信,等. 种养结合对农田养分投入及土壤肥力的影响[J]. 土壤肥料,1999(3):18-21.
- [3] 倪亮,孙广辉,罗光恩,等. 沼液灌溉对土壤质量的影响[J]. 土壤,2008,40(4):608-611.
- [4] 田伟龙,黄文江,陶书田,等. 种养结合梨园土壤有机质、酶活性及果实品质差异研究[J]. 中国农学通报,2011,27(13):165-168.
- [5] 洪宁,艾鹭,泽让东科,等. 种养结合模式下土壤重金属的含量特征[J]. 家畜生态学报,2015,36(4):44-52.
- [6] 钱清华,林聪,王金花,等. 沼液对苹果品质及土壤肥效的影响[J]. 可再生能源,2005(4):34-36.
- [7] 高红莉. 施用沼肥对青菜产量品质及土壤质量的影响[J]. 农业环境科学学报,2010,29(增刊1):43-47.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤农化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978:365-366.
- [9] 王巧兰,圣六方. 氮肥和磷肥的施用量对杂交水稻产出效应的影响[J]. 中国土壤与肥料,2007(5):76-79.
- [10] 李亚松,张兆吉,费宇红,等. 内梅罗指数评价法的修正及应用[J]. 水资源保护,2009,25(6):48-50.
- [11] 孙世群,方红卫,朱雨龙,等. 模糊综合评判在淮河安徽段干流水质评价中的应用[J]. 环境科学与管理,2010,35(1):159-161.
- [12] 张水珍,刘玲. 模糊综合评判法在水质评价中的应用——以松花江流域为例[J]. 环境科学与管理,2011,36(3):163-165.
- [13] 章新,贺石磊,张雍照,等. 水质评价的灰色关联分析方法研究[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(5):117-119.
- [14] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [15] 范亚宁. 云雾山多尺度植物多样性及土壤-植物养分空间变异研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2006:32-51.
- [16] 高艳鹏,谭雪红,张岩,等. 四川省小流域水土保持措施与土壤侵蚀耦合关系研究[J]. 水土保持研究,2010,17(2):6-9.
- [17] 李丙智,王桂芳,秦晓飞,等. 沼液配施钾肥对果园土壤理化特性和微生物及果实品质的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(22):43-47.
- [18] 李学东,文勇立,王永,等. 实施种养结合循环利用模式对土壤养分含量的影响[J]. 西南民族大学学报(自然科学版),2010,36(5):747-752.
- [19] 张志庆. 沼气与水田结合的生态种养模式探讨[J]. 农业工程技术,2009(5):34-36.
- [20] 武广云,杨春梅. 普洱市耕作土壤养分及培肥改良技术[J]. 云南农业科技,2009(1):35-37.
- [21] 范玉贞. 沼肥对黄冠梨园土壤养分及梨果品质的影响[J]. 北方园艺,2010(23):51-52.
- [22] 李艳丽,苑国霞. 沼渣、沼液在玉米种植应用方面的研究与分析[J]. 现代农业,2011(1):43-45.
- [23] 樊文华,刘晋峰,王志伟,等. 施用沼肥对温室土壤养分和重金属含量的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2011,31(1):1-4.
- [24] Meharg A A, Wright J, Osborn D. Chlorobenzenes in rivers draining industrial catchments[J]. Science of the Total Environment,2000,251(252):243-253.
- [25] 潘成忠,上官周平. 土壤空间变异性研究评述[J]. 生态环境,2003,12(3):371-375.
- [26] 史利江. 基于GIS和地统计学的土壤养分空间变异特征研究[D]. 上海:上海师范大学,2006:1-58.
- [27] 姜秋香,付强,王子龙. 空间变异理论在土壤特性分析中的应用研究进展[J]. 水土保持研究,2008,15(1):250-253.
- [28] 于婧. 基于GIS和地统计学方法的土壤养分的空间变异及应用研究[D]. 武汉:华中农业大学,2007:1-117.
- [29] 刘璐,曾馥平,宋同清,等. 喀斯特木论自然保护区土壤养分的空间变异特征[J]. 应用生态学报,2010,21(7):1667-1673.
- [30] 荆怀学. 基于GIS合肥地区土壤元素空间变异及其分形特征研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2007:1-56.
- [31] 李子忠,龚元石. 农田土壤水分和电导率空间变异性及确定其采样数的方法[J]. 中国农业大学学报,2000,5(5):59-66.