

长期施肥及不同施肥条件下秸秆覆盖、灌水对土壤酶和养分的影响

王改玲¹ 李立科² 郝明德^{2,3} 洪坚平¹

(1. 山西农业大学资源环境学院,山西 太谷 030801;

2. 西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

摘要:以陕西省合阳县的28年定位试验为依托,通过主成分分析和聚类分析,研究了施肥及不同施肥条件下秸秆覆盖、灌水对土壤脲酶、磷酸酶、转化酶、过氧化氢酶活性和土壤养分含量的影响。结果表明,NP肥施用对土壤脲酶无显著影响,而使磷酸酶、转化酶活性分别较对照提高119.6%和22.0%,NP有机肥(NPM肥)使脲酶、磷酸酶、转化酶活性分别较对照提高53.2%、130.8%和60.6%,NPM肥的作用大于NP肥;秸秆覆盖和灌水对脲酶、磷酸酶、转化酶活性的影响因施肥条件不同而表现不同;NP肥能提高土壤速效氮、速效磷和全氮含量,NP肥施用基础上灌水能提高土壤有机质、碱解氮和速效磷含量,NPM肥施量、NP肥及NPM肥施用基础上秸秆覆盖均能显著提高土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮和全磷含量,其中速效磷的提高幅度最大,NPM肥较对照提高64.4mg/kg,NPM肥基础上秸秆覆盖使速效磷含量较施用NPM肥提高44.0mg/kg,施肥、秸秆覆盖和灌水对土壤全钾含量和过氧化氢酶活性影响总体上不显著。主成分分析和聚类分析表明,NPM肥和NPM肥结合灌水更有利于土壤养分和酶活性综合因子的提高,提高土壤肥力;秸秆覆盖有利于提高土壤养分,不利于酶活性综合因子的提高;灌水的影响较小。生产上应注意大量秸秆覆盖对土壤酶活性的不利影响。

关键词:施肥; 秸秆覆盖; 灌水; 土壤酶活性; 长期定位试验

EFFECT OF LONG-TERM FERTILIZATION, STUBBLE MULCH AND IRRIGATION UNDER DIFFERENT FERTILIZATION ON SOIL ENZYME AND SOIL NUTRIENTS

WANG Gai-ling¹ LI Li-ke² HAO Ming-de^{2,3} HONG Jian-ping¹

(1. Institute of Resource and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801;

2. Institute of Resource and Environment, Northwest Agriculture & Forest University, Yangling, Shaanxi 712100;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture & Forest University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: On the basis of the 28-year experiment located in Heyang County, Shaanxi Province, effects of fertilization, stubble mulch and irrigation under different fertilization on soil urease, phosphatase, invertase, hydrogen peroxidase

收稿日期:2011-04-19 接受日期:2011-08-31

基金项目:山西农业大学博士后基金,中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-02, KSCX-YW-09-07),国家重点基础研究发展计划(2009CB118604)

作者简介:王改玲(1971-),女,山西太原人,博士,副教授,主要从事土壤肥力与环境效应研究。Tel:0354-6285388; E-mail:gailingwang@yahoo.com.cn

通讯作者:郝明德(1957-),男,陕西华县人,研究员,博士生导师,主要从事土壤肥力与黄土高原综合治理研究。Tel:029-87012322; E-mail:mdhao@ms.iswc.ac.cn

activities and contents of soil nutrients were studied through principal component analysis and cluster analysis. Results were as follows; the activities of urease was not influenced by NP treatment, the activities of phosphatase and invertase increased 119.6% and 22.0% by NP treatment respectively. The activities of urease, phosphatase and invertase increased 53.2%, 130.8% and 60.6% by NPM treatment, respectively, thus effects of NPM on enzyme activities were obviously higher than that of NP. Effects of stubble mulch and irrigation on urease, phosphatase and invertase activity were different due to different fertilization. The contents of alkaline nitrogen, available phosphorus and total nitrogen were increased by NP and the contents of soil organic matter, alkaline nitrogen and available phosphorus were increased by irrigation under NP treatment. The contents of soil organic matter, alkaline nitrogen, available phosphorus, available potassium, total nitrogen and total phosphorus were increased by NPM and stubble mulch treatment. In addition, the content of available phosphorus in NPM treatment was 64.4mg/kg higher than that in control, which was 44.0 mg/kg higher in NPM combined with stubble mulch treatment than NPM treatment. Fertilization, stubble mulch and irrigation had no obvious influence on the content of total potassium and hydrogen peroxidase activity in soil. Principal component analysis and clustering analysis showed that nutrient factor and enzyme activity factor of soil were easily increased by NPM and NPM combined irrigation, stubble mulch was helpful to increase soil nutrient factor, but not to increase enzyme activity factors, and irrigation was not so effective as fertilization or stubble mulch. It is necessary to pay attention to the negative effect of stubble mulch on enzyme activities.

Key words: fertilization; stubble mulch; irrigation; soil enzyme activities; long-term experiment

土壤酶参与土壤生物化学过程,是土壤的重要组成部分,表征土壤中物质、能量代谢旺盛程度和土壤质量水平的一个重要生物指标^[1]。土壤养分是土壤肥力高低的内部表征因子。随着农业生产的发展,土地的高强度利用导致土壤营养元素缺乏、土壤肥力下降,制约了作物的产量、品质以及农业经济效益。施肥已经成为提高土壤肥力、保障作物产量和粮食安全的必由途径^[2]。多数研究结果表明,施用有机肥、无机肥和有机无机肥配施能提高土壤养分含量,而有机肥和有机无机肥配施更有利于提高土壤脲酶、磷酸酶、转化酶活性^[2-5]。在北方属干旱半干旱地区,一方面降雨量低,蒸发大,水分的利用率低;另一方面,降雨对水分的供应与作物对水分的需求不协调,春旱和伏旱时常发生。秸秆覆盖、生育期补灌作为降低土壤水分损失、提高作物产量的重要措施已在北方干旱半干旱地区得到广泛应用。研究表明,秸秆覆盖和灌水通过影响土壤温度及土壤养分状况,从而影响土壤微生物活性和酶活性^[6-8]。不同施肥条件下秸秆覆盖和灌水对土壤养分含量和酶活性的影响研究报道较少。

肥料长期定位试验具有时间的长期性和气候的重复性等特点,是观察长期施用不同肥料及相互配合对作物产量、土壤肥力和环境影响的可靠方法。陕西合阳长期定位试验于1981年布设,设有施肥、施肥+灌水、施肥+秸秆覆盖等不同处理,布置完整、保留完全,是国内少有的长期定位施肥和覆盖、灌水研究基地。本研究以陕西合阳长期试验为依托,研究长期施肥及

不同施肥条件下秸秆覆盖、灌水对土壤酶活性及养分含量的影响,为明确施肥和秸秆覆盖、灌水在土壤肥力中的作用,促进土壤良性循环提供依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验于1981年开始,布设在陕西合阳县甘井乡。试验地位于渭北旱塬区的东北部(北纬35°19'15.7",东经110°04'17.8",海拔高度871m)。试验区年平均温度10.5℃,极端最高温度40.1℃,极端最低温度-20.1℃,年平均降雨量598.8mm。试验地土壤类型为垆土,1981年试验前土壤有机质含量11.2g/kg,全氮0.737g/kg,全磷1.396g/kg,速效氮、速效磷和速效钾含量分别为13.8、2.27和148.6mg/kg,pH值为8.4。

1.2 试验设计

试验设CK(为长期不施肥处理)、NP、NPM、NP+FG、NPM+FG、NP+GG、NPM+GG共7个处理,每处理3次重复。N肥用量为337.5kg/hm²,供试肥料为尿素(含氮46%);P肥用量为337.5kg/hm²(按P₂O₅计),供试肥料为过磷酸钙(含磷17%);M表示有机肥,用量为37500kg/hm²,品种为腐熟的厩肥;FG表示秸秆覆盖,小麦收获后将秸秆直接覆盖在茬口上,覆盖量11250kg/hm²;GG表示灌水,分别于11月上旬和次年4月初灌水1次,每次灌水1333m³/hm²。每处理小区面积为15m²。播种作物为小麦,播种密度和田间管

理均按当地习惯进行。

1.3 取样

2009年9月4日小麦播种前,在每个小区内按“S”型随机取耕层(0~20cm)5~7个样点混合组成1个混合土样。将土样风干后,分别过1mm和0.15mm筛,用于土壤酶活性和土壤养分含量测定,其中,土壤酶活性和速效养分含量测定用过1mm筛的土样,土壤有机质和全量养分含量的测定用过0.15mm筛的土样。

1.4 测定项目及方法

测定土壤中脲酶、磷酸酶、转化酶、过氧化氢酶等活性。其中,脲酶活性用靛酚比色法测定,磷酸酶用磷酸苯二钠比色法测定碱性磷酸酶活性,转化酶活性用3,5-二硝基水杨酸比色法,过氧化氢酶活性用滴定法测定。脲酶活性以24h后每克土壤中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的毫克数表示,磷酸酶活性以2h后每100克土壤中 P_2O_5 的毫克数表示,转化酶活性以24h后每克土壤中葡萄糖的毫克数表示,过氧化氢酶活性以20min后每克土壤消耗的0.1mol/L高锰酸钾毫升数表示^[9]。

土壤养分含量测定包括:有机质含量测定用重铬酸钾-浓硫酸外加加热法,速效氮含量用碱解扩散法,速效磷含量用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,速效钾含量用醋酸铵浸提-火焰光度计法;全氮含量用半微量凯氏法,全磷含量用高氯酸-硫酸消煮-钼锑抗比色法,全钾含量用氢氧化钠熔融-火焰光度计法^[10]。

1.5 数据处理

数据分析用SPSS软件的Principal Component Analysis和Cluster Analysis模块进行主成分分析和聚类分析;Microsoft Excel软件计算平均值和标准偏差。

2 结果与分析

2.1 长期施肥及不同施肥条件下秸秆覆盖、灌水对土壤酶活性的影响

试验结果表明(表1),不同施肥处理土壤的脲酶活性为0.53~0.99 $\text{mgNH}_3\text{-N/g}\cdot 24\text{h}$,其中长期不施肥为0.62 $\text{mgNH}_3\text{-N/g}\cdot 24\text{h}$,施NP肥为0.53 $\text{mgNH}_3\text{-N/g}\cdot 24\text{h}$,施NPM肥为0.95 $\text{mgNH}_3\text{-N/g}\cdot 24\text{h}$,施NPM肥较不施肥提高53.2%,差异达显著水平($P < 0.05$)。这是由于有机肥与化肥配合施用不仅可以提供丰富的有机碳,而且化肥中的无机氮调节了土壤中的碳氮比,为微生物的活动和酶活性的提高创造了良好的条件^[11]。NP+FG处理中脲酶活性为0.57 $\text{mgNH}_3\text{-N/g}\cdot 24\text{h}$,与NP无显著差异;NPM+FG中脲酶活性为0.66 $\text{mgNH}_3\text{-N/g}\cdot 24\text{h}$,较NPM降低30.5%,差异达显著水平($P < 0.05$),这可能与秸秆覆盖的降温效应和养分效应有关^[6,12]。NP处理土壤脲酶活性显著低于NP+GG处理,NPM处理土壤脲酶活性也低于NPM+GG处理;NPM+GG处理土壤脲酶活性达到最大值,为0.99 $\text{mgNH}_3\text{-N/g}\cdot 24\text{h}$ 。

表1 28年定位试验后不同处理土壤酶活性

Table 1 Enzyme activity in soil after 28-year experiment

处理 treatment	脲酶 urease ($\text{mgNH}_3\text{-N/g}\cdot 24\text{h}$)	磷酸酶 phosphatase ($\text{mgP}_2\text{O}_5/100\text{g}\cdot 2\text{h}$)	转化酶 invertase ($\text{mgC}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{g}\cdot 24\text{h}$)	过氧化氢酶 hydrogen peroxidase ($\text{ml KMnO}_4/\text{g}\cdot 20\text{min}$)
CK	0.62 ± 0.04 ab	14.57 ± 2.97 a	42.92 ± 5.17 a	4.45 ± 0.05 a
NP	0.53 ± 0.06 a	32.00 ± 2.40 c	52.35 ± 2.01 b	4.41 ± 0.09 a
NPM	0.95 ± 0.03 c	33.63 ± 3.31 c	68.93 ± 2.80 cd	4.23 ± 0.38 a
NP+FG	0.57 ± 0.07 ab	32.10 ± 1.65 c	62.56 ± 0.96 c	4.51 ± 0.08 ab
NPM+FG	0.66 ± 0.07 b	29.70 ± 2.99 c	62.99 ± 5.29 c	4.56 ± 0.07 b
NP+GG	0.73 ± 0.07 b	21.93 ± 2.04 b	47.94 ± 3.45 ab	4.52 ± 0.14 b
NPM+GG	0.99 ± 0.02 c	27.80 ± 2.86 b	71.99 ± 4.42 d	4.40 ± 0.10 a

注:同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。M、FG和GG分别表示施有机肥,秸秆覆盖和灌水。下表同。

Note: Different letters within same line indicate significant difference ($P < 0.05$), M, FG and GG represent organic matter application, stubble mulch and irrigation, respectively. The same as following tables and Figure.

按磷酸酶的最适土壤酸碱度通常将其分为酸性磷酸酶(pH 4~5)、中性磷酸酶(pH 6~7)和碱性磷酸酶(pH 8~10)^[13]。由于本试验供试土壤显碱性(pH = 8.4),故选择碱性磷酸酶作为土壤磷循环的主要指标。表1结果表明,长期不施肥土壤磷酸酶活性为14.57 $\text{mgP}_2\text{O}_5/100\text{g}\cdot 2\text{h}$,施NP肥和NPM肥的土壤磷

酸酶活性为32.00和33.63 $\text{mgP}_2\text{O}_5/100\text{g}\cdot 2\text{h}$,较CK分别提高119.6%和130.8%,与CK差异显著($P < 0.05$),但NP、NPM 2个处理间差异不显著。NP+FG、NPM+FG与相应的无秸秆覆盖处理磷酸酶活性均无显著差异;NP+GG和NPM+GG处理则使磷酸酶活性降低,分别为21.93和27.80 $\text{mgP}_2\text{O}_5/100\text{g}\cdot 2\text{h}$,与

相应的无灌水处理差异均达显著水平($P < 0.05$)。

不施肥土壤转化酶活性为 $42.92\text{mgC}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{g} \cdot 24\text{h}$,其他各处理的土壤转化酶活性均高于不施肥处理,其中施 NP 肥为 $52.35\text{mgC}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{g} \cdot 24\text{h}$,而施 NPM 肥则提高到 $68.93\text{mgC}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{g} \cdot 24\text{h}$,施 NP 肥和 NPM 肥的土壤转化酶活性分别较不施肥处理提高 22.0% 和 60.6%,说明 NPM 更有助于增强土壤转化酶活性。NP + FG 的土壤转化酶活性为 $62.56\text{mgC}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{g} \cdot 24\text{h}$,较 NP 显著提高($P < 0.05$); NPM + FG 处理为 $62.99\text{mgC}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{g} \cdot 24\text{h}$,与 NPM 差异不显著。NPM + GG 处理则使转化酶活性达到最大,为 $71.99\text{mgC}_6\text{H}_6\text{O}_6/\text{g} \cdot 24\text{h}$,较 NPM 提高 4.4%,但差异处理不显著;NP + GG 与 NP 处理亦无显著差异(表 1)。

不同处理土壤过氧化氢酶活性变化幅度为 4.23 ~ $4.56\text{mlKMnO}_4/\text{g} \cdot 20\text{min}$ (表 1),NPM + FG、NP + GG 与其他处理差异达显著水平($P < 0.05$),其他处理

间差异均未达显著水平,说明施肥和灌水、秸秆覆盖对土壤过氧化氢酶活性影响较小。

2.2 长期施肥及不同施肥条件下秸秆覆盖、灌水对土壤养分含量的影响

土壤有机质是土壤重要的肥力指标之一,直接影响土壤的理化性质。结果表明(表 2),长期不施肥土壤有机质含量为 $10.07\text{g}/\text{kg}$,施肥使土壤有机质含量均有不同程度的提高,其中 NP、NPM 分别使有机质含量提高了 11.1% 和 121.9%;NP + GG 处理的有机质含量为 $15.54\text{g}/\text{kg}$,分别较不施肥和施 NP 肥提高 54.3% 和 38.9%;而有机质含量最大值出现在 NPM + FG 处理,达 $35.45\text{g}/\text{kg}$,分别较不施肥和施 NPM 肥提高 252.0% 和 58.6%。不同处理土壤有机质含量为 NPM + FG > NP + FG > NPM > NPM + GG > NP + GG > NP > CK。其中 NP 与 CK 间、NPM 与 NPM + GG 间无显著差异,其他处理间差异均达显著水平($P < 0.05$)。

表 2 28 年定位施肥后不同处理土壤养分含量

Table 2 Contents of soil nutrient after 28-year experiment

处理 treatment	有机质 OM (g/kg)	碱解氮 alkal. N (mg/kg)	速效磷 avail. P (mg/kg)	速效钾 avail. K (mg/kg)	全氮 Tot. N (g/kg)	全磷 Tot. P (g/kg)	全钾 Tot. K (g/kg)
CK	10.07 ± 0.22 a	43.3 ± 2.5 a	5.4 ± 0.1 a	148.9 ± 4.6 a	0.47 ± 0.03 a	0.50 ± 0.02 a	17.82 ± 1.84 a
NP	11.19 ± 1.38 a	51.0 ± 0.1 b	11.3 ± 0.6 b	175.7 ± 10.1 a	0.57 ± 0.01 b	0.66 ± 0.08 a	16.59 ± 1.86 a
NPM	22.35 ± 1.86 c	101.4 ± 2.5 d	69.8 ± 4.9 e	355.2 ± 14.5 c	1.17 ± 0.07 c	2.70 ± 0.27 b	19.42 ± 2.12 a
NP + FG	27.57 ± 2.22 d	112.4 ± 2.5 e	50.5 ± 1.1 d	365.4 ± 25.1 c	1.17 ± 0.07 c	2.43 ± 0.23 b	19.05 ± 0.71 a
NPM + FG	35.45 ± 1.31 e	145.3 ± 1.9 f	113.8 ± 4.3 f	576.4 ± 28.2 d	1.63 ± 0.08 d	2.87 ± 0.20 b	19.42 ± 1.22 a
NP + GG	15.54 ± 2.94 b	63.0 ± 5.0 c	35.2 ± 3.8 c	152.9 ± 10.1 a	0.65 ± 0.03 b	0.65 ± 0.15 a	18.61 ± 2.54 a
NPM + GG	22.34 ± 2.31 c	99.8 ± 7.6 d	72.6 ± 39.0 e	319.0 ± 8.0 b	1.17 ± 0.04 c	2.37 ± 0.10 b	18.22 ± 1.20 a

速效氮和全氮含量是反应土壤氮素状况的主要指标。长期不施肥土壤碱解氮含量为 $43.3\text{mg}/\text{kg}$,NP、NPM 处理下的土壤碱解氮含量分别为 51.0 和 $101.4\text{mg}/\text{kg}$,较不施肥提高 17.8% 和 134.2%;NP + GG 处理下的碱解氮为 $63.0\text{mg}/\text{kg}$,较不施肥提高 45.5%,较 NP 提高 23.5%,NPM + FG 处理下土壤碱解氮含量则达到最大值 $145.3\text{mg}/\text{kg}$,较不施肥提高 235.6%,较 NPM 提高 43.3%。各施肥处理下土壤全氮含量均有不同程度的提高。与土壤有机质含量的变化规律相似,各处理土壤碱解氮、全氮含量均表现为 NPM + FG > NP + FG > NPM > NPM + GG > NP + GG > NP > CK。

表 2 还显示,长期不施肥土壤速效磷含量为 $5.4\text{mg}/\text{kg}$,NP、NPM 处理使土壤速效磷含量分别提高到 11.3 和 $69.8\text{mg}/\text{kg}$,较 CK 提高 109.3% 和 1192.6%;NP + GG 处理的速效磷为 $35.2\text{mg}/\text{kg}$,较 CK

提高 551.9%,较 NP 提高 211.5%;NPM + FG 处理的土壤速效磷含量达到 $113.8\text{mg}/\text{kg}$,较 CK 提高 2007.4%,较 NPM 提高 63.0%。不同处理土壤速效磷含量为 NPM + FG > NPM + GG > NPM > NP + FG > NP + GG > NP > CK。土壤中的全磷含量,不施肥为 $0.50\text{g}/\text{kg}$,NP 为 $0.66\text{g}/\text{kg}$,与不施肥无显著差异;NPM、NPM + FG 分别达到 2.70 和 $2.87\text{g}/\text{kg}$,较不施肥提高 440% 和 474%。不同处理的土壤全磷含量 NPM + FG 最高,CK 最低。

不施肥土壤速效钾含量为 $148.9\text{mg}/\text{kg}$,NP、NPM 处理使土壤速效钾含量分别提高到 175.7 和 $355.2\text{mg}/\text{kg}$,NPM + FG 处理则提高到 $576.4\text{mg}/\text{kg}$ 。NPM + GG 处理速效钾含量为 $319.0\text{mg}/\text{kg}$,较 NPM 处理显著降低。各处理土壤全钾含量变幅为 $16.59 \sim 19.42\text{g}/\text{kg}$,总体差异不显著,但亦表现为秸秆覆盖高于无秸秆覆盖,有机无机配施高于单施无机肥的趋势。

2.3 土壤酶和土壤养分的主成分分析和聚类分析

2.3.1 主成分分析 为进一步探讨土壤各养分指标与酶活性对土壤特性的贡献及它们之间的关系,对不同处理土壤的养分状况和酶活性进行主成分分析。结果表明,第一主成分方差贡献率为 65.077,加上第二主成分方差贡献率达 85.721(表 3)。根据主成分分析原理,当累积方差贡献率大于 85% 时,即可用于反映系统的变异信息,故可用第一、第二主成分这 2 个综合指标代表系统内的变异信息,即土壤肥力的变异情况。

第一主成分主要综合了土壤有机质、碱解氮、速效钾、速效磷、全氮、全磷、全钾的变异信息,可称为土壤

表 3 主成分分析的特征根与方差贡献率

项目 item	第一主成分 1st principal component	第二主成分 2nd principal component
特征根 eigenvalues	7.158	2.271
方差贡献率 percentage	65.077	20.644
累计方差贡献率 cumulative percentage	65.077	85.721

养分因子;第二主成分主要综合了土壤脲酶、转化酶、磷酸酶和过氧化氢酶的变异信息,可称为土壤酶活性因子(表 4)。

表 4 土壤酶活性与养分主成分旋转因子载荷

主成分 principal component	有机质 OM	碱解氮 alkal. N	速效钾 avail. K	速效磷 avail. P	全氮 Tot. N	全磷 Tot. P	全钾 Tot. K	脲酶 urease	磷酸酶 phosphatase	转化酶 invertase	过氧化氢酶 hydrogen peroxidase
1	0.998	0.996	0.966	0.950	0.983	0.923	0.792	0.228	0.534	0.708	0.229
2	-0.047	0.063	0.008	0.171	0.141	0.317	0.115	0.826	0.422	0.638	-0.914

第一主成分,即土壤养分因子 NPM + FG 得分最高,其次为 NP + FG、NPM + GG、NPM,而 NP + GG、NP、CK 较低。长期施用 NPM 肥比长期不施肥土壤养分因子得分明显提高,长期秸秆覆盖比相应的无秸秆覆盖处理的土壤养分因子得分亦有明显提高,而灌水与无灌水、施 NP 肥与不施肥处理土壤养分因子差异较小。第二主成分,即土壤酶活性因子 NPM 得分最高,其次是 NPM + GG,其他 5 个处理均较低。长期施用 NPM 比不施肥土壤酶活性因子得分明显提高,长期秸秆覆盖处理比相应的无秸秆覆盖处理均有不同程度降低,其中,NPM + FG 较 NPM 降低得尤为明显,灌水处理比相应的无灌水处理略有降低(图 1)。

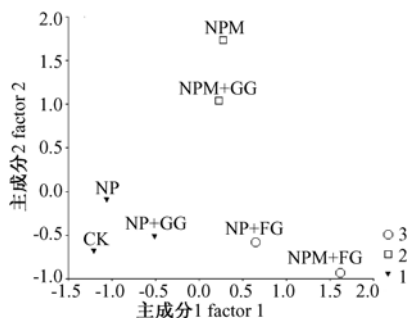


图 1 各处理土壤主成分得分散点图

Fig. 1 Scatter plot of factor score

2.3.2 聚类分析 根据第一、第二主成分的得分信息,按最短距离成群法进行聚类(图 2),结果表明,

CK、NP 和 NP + GG 3 个处理第一主成分和第二主成分得分均较低,土壤肥力较低,可归为一类;NP + FG、NPM + FG 第一主成分得分较高,第二主成分得分较低,可归为一类;NPM、NPM + GG 第二主成分得分较高,第一主成分得分居中,可归为一类。由此看来,有机无机肥配施或有机无机配施结合灌水更有利于土壤养分含量及酶活性的培育,提高土壤肥力。

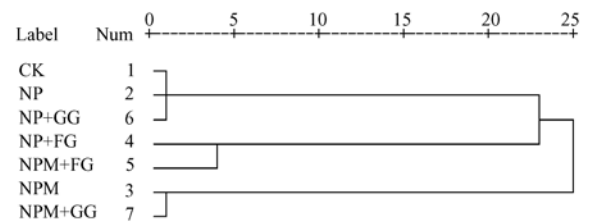


图 2 土壤养分与酶活性聚类图

Fig. 2 The clustering scheme of soil nutrient and soil enzyme activities

3 讨论

3.1 土壤酶活性是表征土壤生物活性的指标之一,可反映土壤养分转化强弱,其受施肥的影响。本研究表明,施 NP 肥和 NPM 肥显著提高了土壤磷酸酶和转化酶活性,NPM 更有助于土壤转化酶活性的增强,其原因是有机肥含有大量有机碳,为转化酶提供了更多的酶促基质,这与王俊华等研究结果相一致^[2]。Dodor D

E 和 Tabatabal M A 在天然草地上的研究亦表明,土壤施氮肥后,磷酸酶活性受到激活,磷酸酶活性和土壤施氮量呈正相关,而氮磷混施在一定程度上可以提高磷酸酶活性^[14]。本研究表明,施肥和灌水、秸秆覆盖对土壤过氧化氢酶活性影响较小。这与有关资料认为过氧化氢酶活性在施肥处理间差异较小相似^[3]。与之不同,任祖淦等的研究表明,长期施肥可以提高土壤过氧化氢酶活性^[15]。可能是由于所研究的土壤类型、栽培方式、施肥方式及肥料用量不同所致。

3.2 秸秆覆盖对酶活性的影响主要有两方面的原因:第一,覆盖可提高土壤养分含量,增加土壤微生物数量,提高土壤酶活性,本研究表明,NP 肥施用,秸秆覆盖提高了土壤有机质含量,为微生物活动提供了丰富碳源,从而提高了土壤转化酶活性,这与杨招弟等的研究相似^[16]。第二,覆盖提高土壤养分含量对酶活性的抑制作用和覆盖的降温效应明显,NPM 施用的基础上,秸秆覆盖显著降低了脲酶活性,这可能是由于秸秆覆盖使土壤养分含量进一步提高,特别是速效氮含量提高,较高的速效氮含量可能抑制脲酶的活性^[12];另一方面,由于该试验地处于渭北旱塬区的东北部,气温低,年均气温 10.5℃,秸秆覆盖的降温作用也可能使脲酶活性降低。

3.3 一般认为,土壤水分对土壤酶活性的影响主要表现在:第一,土壤水分直接影响酶活性的高低;第二,土壤水分影响微生物的生长和养分的有效性,从而间接影响土壤酶活性^[17,18]。本研究表明,NP 肥施用,灌水提高了脲酶活性,NP 肥和 NPM 肥施用,灌水均使土壤磷酸酶活性降低,这可能与灌水提高土壤速效磷含量有关^[19,20]。磷酸酶是催化土壤中磷酸单酯和磷酸二酯水解的酶,它能将有机磷酯水解为无机磷酸,提高土壤有效磷的含量^[2]。对土壤养分的测定结果表明,长期施 NP 肥和 NPM 肥土壤速效磷含量分别为 11.3 和 69.8mg/kg, NP + GG、NPM + GG 则使速效磷含量提高到 35.2 和 72.6mg/kg。灌水提高了土壤速效磷含量,为磷酸酶酶促反应提供了反应产物,因而抑制了土壤磷酸酶的活性和有机磷的水解。

3.4 本研究表明,NPM 肥和 NPM 结合灌水更有利于提高土壤养分含量和酶活性综合因子;秸秆覆盖提高了土壤养分因子得分,降低了酶活性因子得分,这一结论与 Mijangos 等研究认为土壤酶活性与土壤肥力之间有很好的相关性存在分歧^[5]。原因是土壤酶是一类具有生物化学催化特性的特殊物质,其活性除受土壤养分含量的影响,还受土壤水分和温度的影响。施肥、秸秆覆盖和灌水影响了土壤养分含量,秸秆覆盖和灌

水还会影响土壤水分、温度条件。由于土壤类型、气候等试验条件的差异,土壤酶活性影响因素的多样性和复杂性,不同土壤、气候条件下秸秆覆盖和灌水对酶活性的影响及机理还有待进一步研究。

4 结论

4.1 长期施用 NP 和 NPM 肥能显著提高土壤脲酶、磷酸酶、转化酶活性,且 NPM 肥的作用大于 NP 肥。而秸秆覆盖和灌水对脲酶、磷酸酶、转化酶活性的影响因施肥条件不同而不同。

4.2 长期施用 NPM 肥和秸秆覆盖能显著提高土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮和全磷含量,NP 肥施用基础上灌水能提高土壤有机质、碱解氮和速效磷含量;施肥、秸秆覆盖和灌水对土壤全钾含量总体上影响不显著。

4.3 NPM 肥和 NPM 结合灌水更有利于土壤养分和酶活性综合因子的提高,提高土壤肥力;秸秆覆盖有利于提高土壤养分,不利于酶活性综合因子提高;灌水对土壤养分和土壤酶活性综合影响较小。因此生产上应注意秸秆覆盖对土壤酶活性及微生物活性的负面影响,避免大量秸秆覆盖对土壤生物活性产生不利作用。

参考文献:

- [1] 周礼恺,张志明,曹承绵. 土壤酶活性的总体在评价土壤肥力水平中的应用[J]. 土壤学报,1983,20(4):413-417
- [2] 王俊华,尹睿,张华勇,林先贵,陈瑞蕊,钦绳武. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响[J]. 生态环境,2007,16(1):191-196
- [3] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,徐晶,张夫道. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(4):406-410
- [4] 高瑞,吕家珑. 长期定位施肥土壤酶活性及其肥力变化研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(1):440-441,541
- [5] Mijangos I, Pérez R, Albizu I, Garbisu C. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2006, 40(1): 100-106
- [6] 李倩,张睿,贾志宽. 玉米旱作栽培条件下不同秸秆覆盖量对土壤酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(4):152-154,162
- [7] 薛丽华,王志敏,郭志伟,刘云鹏,赵之淦. 麦田不同灌水处理对土壤酶活性时空分布的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(5):228-232
- [8] 朱同彬,诸葛玉平,刘少军,姜燕宏. 不同水肥条件对土壤酶活性的影响[J]. 山东农业科学,2008,(3):74-78
- [9] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986

(下转第 27 页)

- Genet, 2001, 103: 455-461
- [11] 李巧燕,林瑞庆,朱兴金. SRAP 分子标记及其应用概述[J]. 热带医学杂志, 2006, 6(4): 467-469
- [12] 陈济世,张岭华,吴秉礼. “三粒小麦”的发现及选育初报[J]. 作物学报, 1983, 9(1): 69-72
- [13] 沈光华,童一中,沈革志. 普通小麦多子房基因单体分析的染色体定位及双端体分析的染色体壁定位[J]. 遗传学报, 1992, 19(6): 513-516
- [14] 武军,李邦琴,赵继新. 三粒小麦多子房性状的遗传分析[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(6): 58-60
- [15] 马守才,张改生,李红茹,赵常胜. 小麦品系多Ⅱ多子房性状的遗传分析[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(1): 35-37
- [16] Peng Z S. A new mutation in wheat producing three pistils in a floret [J]. J Agron Crop Sci, 2003, 189: 270-272
- [17] Peng Z S, Yang J, Wei S H, et al. Characterization of common wheat (*Triticum aestivum* L.) mutation line producing three pistils in a floret[J]. Hereditas, 2004, 141: 15-18
- [18] Peng Z S, Martinek P, Kosuge K, et al. Genetic mapping of a mutant gene producing three pistils per floret in common wheat[J]. J Appl Genet, 2008, 49: 135-139
- [19] Doyle J J, Doyle J L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue[J]. Phytochem Bull, 1987, 19: 11-15
- [20] 邵清松,郭巧生,房海灵. 药用菊花 SRAP-PCR 反应体系的优化[J]. 核农学报, 2009, 23(5): 820-824
- [21] 陆光远,杨光圣,傅延栋. 应用于油菜研究的简便银染 AFLP 标记技术的构建[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20: 413-415
- [22] 朱东旭,马守才,张改生,牛娜. 小麦多子房性状近等基因系遗传背景分子标记检测[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(3): 406-410
- [23] 马守才,张改生,牛娜. 小麦多子房性状近等基因系的选育及遗传背景的检测[J]. 核农学报, 2007, 21(6): 585-588
- [24] Ruiz J J, Garcia-Martinez S, Pico B, et al. Genetic variability and relationship of closely related Spanish traditional cultivars of tomato as detected by SRAP and SSR markers[J]. J Am Soc Hort Sci, 2005, 130(1): 88-94

(责任编辑 王媛媛)



(上接第 134 页)

- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析(第 3 版)[M]. 中国农业出版社, 2001
- [11] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,徐晶,张夫道. 长期定位施肥田土壤酶活性的动态变化特征[J]. 生态环境, 2008, 17(5): 2059-2063
- [12] Ajwa H A, Dell C J, Rice C W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31: 769-777
- [13] 赵兰坡,姜言. 土壤磷酸酶活性测定方法的探讨[J]. 土壤通报, 1986, 17(3): 138-141
- [14] Dodor D E, Tabatabal M A. Effect of cropping system on phosphates in soils[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2003, 166(1): 7-13
- [15] 任祖淦,陈玉水,唐福钦,王东海,张逸清. 有机无机肥料配施对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(3): 279-283
- [16] 杨招弟,蔡立群,张仁陟,李爱宗. 不同耕作方式对旱地土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 514-517
- [17] Jiao Xiao-guang, Gao Chong-sheng, Lu Guo-hong, Sui Yu-yu. Effect of long-term fertilization on soil enzyme activities under different hydrothermal conditions in Northeast China[J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(3): 412-422
- [18] 万忠梅,宋长春. 土壤酶活性对生态环境的响应研究进展[J]. 土壤通报, 2009, 40(4): 951-956
- [19] 樊军,郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 II. 土壤酶活性与土壤肥力[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 146-150
- [20] 姜小凤,王淑英,丁宁平,樊廷录,张平良,郭建国,李倩,苏敏. 施肥方式对旱地土壤酶活性和养分含量的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(1): 136-141

(责任编辑 邱爱枝)