

长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响

袁玲 杨邦俊

(西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716)

郑兰君

刘学成

(武胜县农业局)

(遂宁县农业局)

摘 要

10年定位试验的结果表明,有机肥与化肥配合施用能提高土壤有机质和氮磷养分含量,增强土壤蛋白酶、脲酶、转化酶、磷酸酶和过氧化氢酶的活性。其中,土壤蛋白酶、脲酶、转化酶的活性与土壤 NH_4^+-N 和有机质,土壤磷酸酶的活性与土壤有效磷和有机质呈显著或极显著正相关。有机肥和化肥长期配合施用,可为作物生长创造一种良好的土壤环境。在水稻生育期,土壤蛋白酶、脲酶和转化酶的活性随水稻生育期递进而降低;土壤磷酸酶的活性在水稻拔节期至抽穗期最高,分蘖期和成熟期较低。土壤的酶活性与氮、磷养分的有效化密切相关。

关键词 长期施肥 土壤酶 氮 磷

紫色水稻土是四川省的主要农业土壤,随着农业生产的发展,化肥的施用量越来越大,单施化肥的现象也越来越普遍。从短期效果来看,与化肥配施有机肥的处理相比,合理施用化肥并不造成作物减产。但是,大量的长期定位试验结果表明,单施化肥不利于作物长期稳产高产和土壤培肥^[1,2]。在农业土壤中,有机氮的含量几乎占土壤全氮的98%以上,有机磷的含量约占全磷含量的10%~50%。在正常施肥条件下,种植在中等肥力土壤上的作物所吸收的氮约有一半来自于土壤^[3]。故土壤有机氮、磷的转化对作物的生长发育和高产优质十分重要。

土壤酶是土壤生物活性的一个重要指标。它们参与土壤有机物质的分解转化,土壤酶活性的高低可以反应土壤养分(尤其是氮、磷)转化的强弱。目前,长期施肥对土壤肥力和作物产量的影响报道较多,但对土壤酶活性及其与养分转化的研究较少。为此,我们利用长期定位试验研究了土壤酶活性的变化及其与氮磷养分转化的关系,旨在了解某一施肥条件下,作物稳产高产的土壤生物化学环境,为合理施肥提供理论依据。

一、材料与方法

(一)试验处理

供试土壤分别来自四川省紫色土区的三个长期定位试验点,试验前土壤的部分理化性质见表1。各试验均设置4次重复,随机区组排列。供试水稻品种为汕优63。

1、重庆市西南农业大学肥料长期定位试验点(10年) 试验处理为(1)CK;(2)化肥(F);(3)胡豆青₁+化肥₁(BG₁+F₁);(4)猪粪₁+化肥₁(PM₁+F₁);(5)细绿萍₁+化肥₁(AG₁+F₁);(6)猪粪₂+化肥₂(PM₂+F₂);(7)细绿萍₂+化肥₂(AG₂+F₂)。其中F为施N 135kg/hm²,P₂O₅ 67.5kg/hm²;F₁为施N 81kg/hm²;P₂O₅ 40.5kg/hm²;F₂为施N 96.5kg/hm²,P₂O₅ 48.25kg/hm²;均由尿素和过磷酸钙提供。BG₁、PM₁、和AG₁折N 54kg/hm²,PM₂和AG₂折N 38.5kg/hm²,即(3)、(4)、(5)处理的有机氮:无机氮=1:1.5;(6)和(7)处理为1:2.5。除CK外,各处理的施氮量相等。有机肥和化肥均作底肥一次施入,田间管理同一般大田生产。

2、遂宁肥料长期定位试验点(10年) 试验处理为(1)CK;(2)N;(3)NP;(4)NPK;(5)PM,猪粪30000kg/hm²;(6)PM+N;(7)PM+NP;(8)PM+NPK。N、P、K分别指施纯氮120kg/hm²、P₂O₅、K₂O各60kg/hm²,由尿素、过磷酸钙和氯化钾提供。施肥方法同上,田间管理同当地大田生产。

3、武胜肥料长期定位试验点(10年) 试验处理为(1)CK;(2)NPK;(3)PM;(4)M₃F₇;(5)M₅F₅;(6)M₇F₃。NPK分别指施纯氮150kg/hm²、P₂O₅、K₂O各75kg/hm²,由尿素、过磷酸钙和氯化钾提供;PM为猪粪,全氮含量0.1%;M₃F₇、M₅F₅和M₇F₃分别指猪粪中有机氮与化肥中的无机氮的比例是3:7、5:5和7:3。各施肥处理施氮量相等,施肥方法同上,田间管理同当地大田生产。

表 1 供试土壤的基本理化性质
Table 1 Selected properties of experimental soils

地点 Sites	土壤名称 Soil types	有机质 O. M. (g/kg)	全氮 Total N(g/kg)	全磷 Total P(g/kg)	全钾 Total K(g/kg)	pH
重庆	灰棕紫泥水稻土	22.95	1.15	0.57	25.70	7.0
遂宁	红棕紫泥水稻土	15.90	1.09	0.59	22.40	8.5
武胜	灰棕紫泥水稻土	22.50	0.89	0.49	23.80	6.8

(二)测定项目及方法

在水稻收获时,取各试验的耕作层(0~20cm)土壤进行酶活性和氮磷养分含量的分析。为了了解水稻主要生育期土壤酶活性的变化,取重庆试验点处理(1)、(2)、(4)、(5)的耕作层土壤进行有关分析。

土壤转化酶活性(glu.,mg/g,37℃,24h)、蛋白酶活性(NH₄-N,mg/g,30℃,24h)、脲酶活性(NH₄⁺-N,mg/g,37℃,24h)、磷酸酶活性(PhOH,mg/g,37℃,24h)和过氧化氢酶活性(0.1mol/L KMnO₄,mL/g,37℃,24h)依次用3,5-二硝基水杨酸比色法、茚三酮比色法、G. Hoffmann & K. Teicher法(1961)、苯二钠比色法和KMnO₄滴定法测定^[4]。

土壤氮、磷和有机质等用常规分析法测定^[6]。

二、结果与分析

(一)长期施肥对土壤酶活性的影响

长期施肥对土壤酶活性的影响见表2。结果看出:

1. 土壤蛋白酶活性 红棕紫泥水稻>灰棕紫泥水稻土,即土壤类型不同,土壤酶的活性有明显的差异。从不同的施肥处理来看,有机肥配施化肥>有机肥>化肥>CK;从配施比例来看,配施有机肥比例大的高于配施比例小的:PM₁+F₁>PM₂+F₂;AG₁+F₁>AG₂+F₂;M₇F₃>M₅F₅>M₃F₇;从不同的有机物料来看,猪粪>细绿萍>胡豆青。表明施用有机肥有提高土壤蛋白酶的作用,施用比例越大,或有机物料中蛋白质含量高(猪粪),其土壤蛋白酶的活性增加就越明显,原因可能是有机肥带入了大量的酶,同时,也增加了底物。这与关松荫等人的研究一致^[6]。
2. 土壤脲酶活性 施肥处理大于对照;尿素施用量增加,脲酶活性增大,即M₃F₇>M₅F₅>

M₇F₃。说明土壤脲酶的活性受到底物刺激。从不同的有机物料来看,猪粪>细绿萍>胡豆青:化肥配施猪粪比单施化肥的处理高,但配施绿肥(胡豆青和细绿萍)却比化肥处理的低10.02%~17.24%。在施用猪粪和化肥配施猪粪的处理中,土壤脲酶活性较高的原因可能是猪粪中含有较高的脲酶和底物^[6]。研究还表明,土壤中脲酶活性过高,容易引起氮素损失^[7],看来化肥配施绿肥有提高尿素利用率的作用,而大量施用尿素则不利于提高氮素利用率。

3. 土壤转化酶活性 有机肥配施化肥>有机肥>化肥>CK。在有机肥配施化肥的处理中,有机肥的比例越大,转化酶的活性越高,即M₇F₃>M₅F₅>M₃F₇;AG₁+F₁>AG₂+F₂。从不同的有机物料来看,细绿萍>猪粪>胡豆青。说明施用有机肥,尤其是有机肥与化肥配合施用可明显提高土壤转化酶的活性,原因可能是有机肥施入土壤,增加了大量的有机碳,并带入丰富的微生物和酶。有机肥与化肥配合施用不仅提供了丰富的有机碳,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。其中,细绿萍中有机碳高于猪粪和胡豆青,故该处理的土壤转化酶活性高于其它两个处理。

表 2 长期施肥对土壤酶活性的影响

Table 2 Effects of long-term fertilization on enzymatic activities in soil

项目 Items	蛋白酶 Protease (mg/g)	脲酶 Urease (mg/g)	转化酶 Invertase (mg/g)	过氧化氢酶 Hydrogen peroxidase (mL/g)	磷酸酶 Phosphatase (mg/g)
灰棕紫泥水稻土(重庆)					
CK	0.06	7.84	5.01	5.20	0.51
F	0.09	10.38	5.08	5.30	0.53
BG ₁ +F ₁	0.12	8.59	5.31	5.66	0.57
PM ₁ +F ₁	0.16	12.72	5.55	5.81	0.73
AG ₁ +F ₁	0.14	9.34	11.52	5.40	0.67
PM ₂ +F ₂	0.14	11.59	5.47	5.89	0.80
AG ₂ +F ₂	0.13	8.83	10.00	5.70	0.71
灰棕紫泥水稻土(武胜)					
CK	0.07	7.37	5.71	3.71	1.04
F	0.10	10.09	7.51	4.31	0.96
PM	0.14	10.79	9.06	4.80	1.50
M ₃ F ₇	0.14	10.84	7.81	4.71	1.25
M ₅ F ₅	0.15	10.09	8.19	5.34	1.58
M ₇ F ₃	0.17	9.52	10.03	4.87	1.46
红棕紫泥水稻土(遂宁)					
CK	0.23	7.58	6.57	4.07	1.07
N	0.27	9.17	6.44	4.16	1.05
NP	0.29	9.96	6.96	4.62	0.96
NPK	0.25	9.06	10.88	4.53	0.98
PM	0.30	8.77	10.24	4.44	0.99
PM+N	0.32	8.83	12.08	4.89	1.11
PM+NP	0.37	8.13	16.64	5.34	1.06
PM+NPM	0.45	8.94	15.16	5.70	1.13

4. 土壤过氧化氢酶活性 有机肥配施化肥>有机肥>化肥>CK。土壤过氧化氢酶在生物氧化过程中起分解过氧化氢的作用,表征土壤生物氧化过程的强弱。有机肥配施化肥可提高土壤的生物氧化能力。从有机物料来看,猪粪>胡豆青>细绿萍。原因可能是猪粪中的酶活性高于绿肥^[7]。

5. 土壤磷酸酶活性 有机肥配施化肥>有机肥>CK>化肥,说明有机肥可提高磷酸酶的活性。CK>化肥(CK>N>NPK>NP),推测可能是土壤严重缺磷(遂宁CK和N的处理,其土壤有效磷仅为2.1mg/kg,比其它施肥处理低3~4倍)。其土壤供磷能力远远不能满足作物生长的需要,致使刺激作物根分泌较多的磷酸酶,以促进土壤有机磷的矿化,来满足自身需要。这种现象在其它胁迫环境中也非常普遍,它可视为作物适应营养环境的一种机制。另一方面也可能反馈调节了土壤磷酸酶的活性,原因还有待作进一步的研究。从有机物料来看,猪粪>细绿萍>胡豆青,主要原因可能是猪粪的磷酸酶含量较高^[8]。

表 3 长期施肥对土壤氮磷养分的影响
Table 2 Effects of long-term fertilization on N and P in soil

项目 Items	有机质 O.M. (g/kg)	全N Total N (g/kg)	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	全P Total P (g/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)
红棕紫泥(遂宁)					
CK	14.57	0.95	81.7	0.59	2.1
N	14.99	0.91	90.8	0.56	2.1
NP	15.90	1.07	74.9	0.66	9.6
NPK	16.25	1.15	84.5	0.65	9.1
PM	14.72	1.18	82.4	0.64	8.7
PM+N	15.91	1.29	83.7	0.61	7.2
PM+NP	17.75	1.31	85.2	0.75	12.7
PM+NPK	17.76	1.30	85.8	0.70	9.5
灰棕紫泥水稻土(重庆)					
CK	21.43	0.98	115	0.57	2.0
F	22.18	1.06	118	0.58	6.3
BG ₁ +F ₁	23.31	1.13	128	0.62	7.2
PM ₁ +F ₁	22.70	1.12	126	0.60	10.4
AG ₁ +F ₁	23.11	1.14	119	0.58	6.2
PM ₂ +F ₂	23.60	1.22	122	0.62	13.5
AG ₂ +F ₂	23.87	1.24	128	0.62	6.7
灰棕紫泥(武胜)					
CK	23.59	1.01	104	0.50	2.1
F	24.30	1.04	110	0.64	8.7
PM	26.98	1.14	128	0.67	9.3
M ₃ F ₇	26.12	1.10	126	0.63	8.7
M ₆ F ₆	27.69	1.43	137	0.65	8.2
M ₇ F ₃	26.54	1.25	127	0.65	8.3

(二)长期施肥对土壤氮磷养分的影响

1. 土壤有机质、全氮和有效氮 表3结果表明,有机肥与化肥配施比对照土壤的有机质增加1.27~4.1g/kg,全氮增加0.09~0.42g/kg,有效氮增加2~33mg/kg;有机肥与化肥配施比单施化肥的土壤有机质增加0.92~3.39g/kg,全氮增加0.06~0.39g/kg,有效氮增加1~27mg/kg。氮和有效氮可视为土壤氮素供应的容量指标和强度指标^[3]。因此,有机肥与化肥配施能增加土壤供氮容量和强度,尤以土壤供氮容量增加的幅度最大(全氮含量比单施化肥平均增加了6%~38%)。就土壤类型而言,红棕紫泥水稻土>灰棕紫泥水稻土,原因可能是红棕紫泥的基础肥力较低,容易表现培肥效果。

有机肥与化肥配合的比例和有机物料的类型影响土壤全氮和有效氮含量。有机氮:无机氮=1:1(武胜, M₅F₅)和1:1.5(重庆, BG₁+F₁、PM₁+F₁和AG₁+F₁)培肥土壤的效果较好,猪粪的效果优于细绿萍和胡豆青。猪粪的效果最好可能与它的化学组成、转化和残留有一定的关系。

2. 土壤全磷和有效磷 施肥10年后,有机肥配施化肥比对照全磷增加0.01~0.16g/kg,有效磷增加了4~11.5mg/kg;有机肥与化肥配施比单施化肥的土壤全磷增加0~0.09g/kg,有效磷增加0~7.2mg/kg(表3)。在红棕紫泥水稻土上,土壤全磷和有效磷都有明显的增加;在灰棕紫泥水稻土上则略有增加,这可能与土壤类型、肥力水平和氮磷配比有关。此外,配施高量有机肥(有机N:化学N=7:3或5:5,武胜)的土壤全磷增加的幅度较大(PM、M₅F₅和M₇F₃)。就有机物料而言,猪粪比细绿萍和胡豆青的作用明显,可能是猪粪全磷的含量(P₂O₅为4.79%)远远高于细绿萍(P₂O₅为0.89%)的原因。

表 4 水稻主要生育期的土壤酶活性和土壤氮磷养分的变化(重庆点)
Table 4 Changes of enzymatic activities, N and P in soil during rice growing period

处理 Treat.	生育期 Period	蛋白酶 Protease (mg/g)	脲酶 Urease (mg/g)	转化酶 Invertase (mg/g)	磷酸酶 Phosphatase (mg/g)	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	有效P Avail. P (mg/kg)
CK	分蘖期	0.18	14.88	8.51	0.63	8.84	9
	拔节期	0.13	12.80	8.50	0.82	10.34	8
	抽穗期	0.10	12.29	7.79	0.99	9.55	7
	成熟期	0.08	8.13	7.70	0.38	9.44	4
F	分蘖期	0.18	15.92	7.27	0.79	11.91	15
	拔节期	0.12	13.32	7.28	0.86	11.20	11
	抽穗期	0.11	12.63	7.07	1.07	10.46	10
	成熟期	0.09	8.13	7.14	0.60	9.59	6
AG ₁ +F ₁	分蘖期	0.24	18.52	16.30	0.68	11.68	16
	拔节期	0.18	15.32	10.96	0.63	14.31	7
	抽穗期	0.15	13.32	11.54	1.43	10.79	7
	成熟期	0.08	10.04	10.02	0.41	10.79	7
PM ₁ +F ₁	分蘖期	0.18	24.23	9.81	0.79	11.98	15
	拔节期	0.15	19.23	9.88	1.29	11.86	7
	抽穗期	0.16	17.38	9.07	1.38	11.61	7
	成熟期	0.12	12.38	8.01	0.50	10.56	5

(三)土壤酶活性与氮磷养分的关系

相关分析表明,土壤 NH_4^+-N 含量和脲酶、蛋白酶、转化酶的活性呈显著正相关,相关系数依次为 0.806^* ($n=7$)、 0.658^* ($n=10$)、 0.839^* ($n=10$)。土壤脲酶活性与全氮(0.917^{**} , $n=7$),土壤磷酸酶活性与有效磷(0.745^* , $n=10$)之间也密切相关。此外,土壤转化酶、脲酶、过氧化酶、蛋白酶和磷酸酶的活性与有机质的含量呈极显著或显著正相关,相关系数为 0.746^* 、 0.879^{**} 、 0.812^* 、 0.775^* 和 0.834^* ($n=7$)。所以在紫色土上,土壤氮磷养分及其有效性的提高与土壤酶活性的增强有密切关系。长期施用有机肥,尤其是有机肥与化肥配合施用在改造中低田土中有重要作用。

(四)水稻不同生育期土壤酶活性与氮磷养分的变化

土壤蛋白酶、脲酶、转化酶活性为分蘖期>拔节期>抽穗期>成熟期,各处理的规律相似(表4),表明这三种酶活性随水稻生育期递进而降低。在水稻生长前期,尤其是分蘖期,吸收氮的强度最大^[9]。重庆点的各处理测定表明,从水稻移栽到分蘖停止时,氮的吸收量已达总吸收量的50%~60%。因此,上述三种土壤酶活性变化的趋势与水稻吸氮强度的变化规律相似。就不同的处理而言,土壤蛋白酶、脲酶和转化酶的活性大小顺序是:有机肥配施化肥>化肥>CK,与之相应的土壤 NH_4^+-N 也是配施有机肥处理的最高。

在水稻不同的生育期,土壤磷酸酶的活性也不相同。拔节期到抽穗期高于分蘖期和成熟期。在水稻生育前期,土壤磷酸酶活性较低的原因可能是施肥和淹水后土壤有效磷增加,从而抑制了磷酸酶的活性;在水稻生育中期,作物吸收磷最多,致使土壤有效磷的下降,反馈调节作用而提高了磷酸酶的活性。此外,这时气温上升,土温提高,也有利于酶活性的增强。显然,土壤有效磷的变化既依赖于有机磷(底物)的含量和磷酸酶的作用,也与作物生育期和土壤环境(pH、土温、水分等)等因子有关。

三、结 论

有机肥与化肥长期配合施用能提高土壤有机质和氮磷养分的含量,增强土壤转化酶、蛋白酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶的活性。在水稻生育期,土壤有效氮、磷的转化与水稻生长发育阶段、土壤酶活性和施肥方式等因子有关。单一施用化肥不利于土壤有机质和氮磷养分的提高,土壤的酶活性也较低。在四川省紫色土区,农村燃料、饲料和肥料的关系比较矛盾,作物秸秆主要用来做燃料、饲料和造纸,实际上每季残留在土壤中仅是作物根茬。所以,在中低产田土上,长期施用牲畜粪尿和绿肥,有利于土壤有机质含量增加和增强土壤生物活性,为作物稳产高产创造一种良好的土壤生物化学环境。

参 考 文 献

- 1 中国植物营养与肥料学会编. 现代农业中的植物营养与施肥. 中国农业科技出版社, 1995, 44~46、56~59.
- 2 杨邦俊, 杨德海等. 有机无机肥配合施用对提高地力和节肥增产的效应研究. 土壤通报, 1990, 21(4): 173~175.
- 3 北京农业大学主编. 农业化学(总论). 农业出版社, 1990, 70、116.
- 4 关松荫. 土壤酶及其研究法. 农业出版社, 1986, 274~276、294~298、323.
- 5 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海科学技术出版社, 1981, 62~67、76~78、105~108、113~115、132~142.

- 6 关松荫. 土壤酶活性影响因子的研究. 土壤学报, 1989, (1): 72~78.
- 7 中国科学院林业土壤研究所等编. 全国土壤酶学研究文集. 辽宁科学技术出版社, 1988, 255~261.
- 8 杨邦俊、向世群. 有机肥对紫色水稻土磷酸酶活性及其磷素转化作用的影响. 土壤通报, 1990, 21(3): 108~110.
- 9 南京农学院主编. 作物栽培学. 上海科学技术出版社, 1981, 75.

EFFECTS OF LONG-TERM FERTILIZATION ON ENZYMATIC ACTIVITIES AND TRANSFORMATION OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN SOIL

Yuan Ling Yang Bangjun

(College of Resource and Environment, Southwest Agri. Univ., Chongqing 630716)

Zheng lanjun

(Agri. Bureau of Wusheng County)

Liu xicheng

(Agri. Bureau of Xiulin County)

Summary

Three ten-year fertilization experiments indicate the increment of protease, urease, invertase, phosphatase and hydrogen peroxidase activities in soil by organic-inorganic fertilization. Similarly, the contents of organic matter and nitrogen as well as phosphorus were increased by the fertilization of organic manure mixed with chemical fertilizers together. Positive correlation were found between the activities of protease, ureas and invertase and the contents of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and organic matter, also phosphatase and the concentrations of available P and organic matter in soil as well. Thus, it seems reasonable to suggest that a suitable soil environment for crop growth could be produced by long-term fertilization of organic manure supplied with chemical fertilizers. Moreover, the activities of protease, urease and invertase in soil were decreased as rice growing in contrast to phosphatase which was observed to be highest in the periods of jointing and heading as compared to those in tillering and mature. There also existed positive correlation between the activities of enzymes and the mobilizations of nitrogen and phosphorus in soil in rice growing period.

Key words Long-term fertilization Soil enzyme Nitrogen Phosphorus