

尿素施用量对小麦根际土壤微生物数量 及土壤酶活性的影响

马冬云, 郭天财*, 宋 晓, 王晨阳, 朱云集, 王永华, 岳艳军, 查菲娜

(河南农业大学 国家小麦工程技术研究中心, 郑州 450002)

摘要:在大田高产条件下,研究了不同尿素施用量下两种不同穗型小麦品种“兰考矮早 8”和“豫麦 49-198”根际微生物数量和土壤酶活性的变化。结果表明:微生物数量随小麦生育时期的进行呈规律性变化,其中微生物总量在拔节期和抽穗期时数量较多。尿素施用量对小麦根际微生物数量和酶活性均产生一定的影响,并且处理间差异达到显著水平。两个小麦品种根际微生物总量、细菌、放线菌、真菌数量随着尿素施用量的增加呈先上升后下降的趋势,但两个品种根际微生物数量最高时的尿素量略有差异。同一生育时期,随着尿素施用量的提高,土壤蛋白酶、过氧化氢酶呈先增加后降低的变化趋势,以 T₂(391 kg/hm²)或 T₃(586 kg/hm²)处理的酶活性较高,T₄(782 kg/hm²)处理的酶活性略有降低;脲酶活性则呈上升趋势,以 T₄(782 kg/hm²)处理的脲酶活性最大。表明适宜尿素施用量有益于小麦根际微生物数量和酶活性的提高,过高则微生物数量和酶活性下降。

关键词:尿素施用量;土壤微生物;土壤酶;小麦根际

文章编号:1000-0933(2007)12-5222-07 中图分类号:S154.3 文献标识码:A

Effects of urea application rate on the quantity of microorganisms and activity of enzymes in wheat rhizosphere

MA Dong-Yun, GUO Tian-Cai*, SONG Xiao, WANG Chen-Yang, ZHU Yun-Ji, WANG Yong-Hua, YUE Yan-Jun, CHA Fei-Na

Henan Agricultural University / National Engineering Research Center for Wheat, Zhengzhou 450002, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5222 ~ 5228.

Abstract: Application of nitrogen (N) fertilizer is one of the best ways to increase winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain yield and quality. However, incorrect application of N fertilizer, especially excessive N application, has been raising serious environmental and economic problems. Urea is the most popular N fertilizer used for wheat in China. In order to investigate the effects of urea application rate on the quantity and activity of soil microbes and enzymes in high-yielding wheat fields, split plot experimental designs with three replications were conducted at the Experimental Station of Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan, with different N treatments for two years. Two wheat cultivars, Lankaoaizao8 and Yumai49-198, and four urea treatments, T₁, T₂, T₃ and T₄, were used. T₁, T₂, T₃ and T₄ received 0, 391, 586 kg/hm² and 782 kg/hm² urea, respectively. The urea rates in T₂, T₃ and T₄ were split with 50% of the total amount at

基金项目:国家粮食丰产科技工程资助项目(2006BAD02A07);河南省科技攻关资助项目(0522010100)

收稿日期:2006-10-08; **修订日期:**2007-04-29

作者简介:马冬云(1972~),女,河南修武人,主要从事小麦生理生态研究. E-mail: xmzxmdy@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: teguo888@sina.com

致谢:感谢 Nicolas Tremblay 博士、王之杰博士对本文给予的修改指正。

Foundation item: The project was financially supported by National Science and Technology Projects for High Yield of Crops(No. 2006BAD02A07) and Key Project of Science and Technology of Henan Province(No. 0522010100)

Received date: 2006-10-08; **Accepted date:** 2007-04-29

Biography: MA Dong-Yun, mainly engaged in wheat physiology and ecology. E-mail: xmzxmdy@126.com

presowing and the remaining 50% at jointing stage. Plots were 3 m wide and 7 m long. Each treatment received same amount of P (P_2O_5 , 150 kg/hm²) and K (K_2O , 150 kg/hm²) before sowing. Soil in the 0—20 cm rhizosphere was sampled for each treatment at turning greening stage, jointing stage, heading stage and inflorescence, respectively. All the soil close to the wheat root in 0—20 cm depths were mixed to make one sample and placed in plastic bag, then transported to the laboratory for subsequent analysis. A part of each soil sample was sifted with a 1-mm sieve for the analysis of microbial quantity, the rest was air-dried for the determination of soil enzyme activity. Results showed that the total numbers of microbes reached the maximum value at jointing and heading stage, and the urea application rate had significant effect on the quantity of microorganisms and activity of enzymes in wheat field. Significant differences among urea treatments were observed as well. Change of microorganisms population in rhizosphere soil of both cultivars showed a single-peaked curve with the increase of urea application rate. The maximum population of microbes in rhizosphere soil was recorded with T2 in Yumai49—198 and with T3 in Lankaoaizao8. At all growth stages, the enzyme activity of protease and catalase increased with applied urea rate until 586 kg/hm². Larger amounts of urea decreased their activities. Urease activity increased with increasing urea rate and maximum activity was observed with T4. The results suggested that optimal urea application rate would lead to increase the quantity and activity of microbes and enzymes activity in soil.

Key Words: urea application rate; soil microorganism; soil enzyme; wheat rhizosphere

土壤微生物和土壤酶既是土壤有机物转化的执行者,又是植物营养元素的活性库。小麦根际土壤微生物的种群数量直接关系到麦田土壤中有机质的分解和矿质元素的转化,影响小麦对营养元素的吸收和利用^[1]。而土壤酶是土壤的组成成分之一,主要来自于高等植物的根系和土壤生物,其活性能反映土壤中多种生物化学过程的强度。土壤中的酶和微生物活性高低可以代表土壤中物质代谢的旺盛程度,在一定程度上反映作物对氮素的吸收利用与生长发育状况等,是土壤肥力的一个重要指标。提高土壤酶和土壤微生物活性能够促进植物生长,防治和减轻病虫害危害,增加作物产量^[2,3]。近年来,许多学者对不同作物的土壤酶活性及根际微生物的数量和组成进行了研究^[4~7],但主要是关于长期施肥或有机肥处理下微生物和酶活性的变化,关于不同尿素用量对小麦根际微生物和土壤酶活性影响的研究还相对较少。而尿素是最为常用的氮肥之一,其在提高作物产量,培肥土壤肥力等方面起到了积极的作用。但是,盲目增施化肥不仅造成作物产量不稳定,土壤结构恶化、肥力下降,农业生产成本上升,亦对生态环境造成严重威胁^[8]。侯彦林等对不同尿素施用量下土壤微生物和酶活性的变化进行了研究^[9],但是其研究仅限于尿素和土量的不同配比,并没有涉及到作物的生长;而植物根系周围土壤中的微生物数量或种类与根外土壤明显不同,在作物的不同发育阶段,根际微生物的数量与种类有显著差异,不同的生态环境对作物的生长发育及栖居于根部的根际微生物组成和生长繁殖有一定影响^[10]。为此,本试验探讨了不同尿素施用量对冬小麦根际微生物和土壤酶活性的影响,以为小麦经济施肥和高效栽培提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验在河南农业大学科教示范园区进行。土壤为潮土,土壤有机质含量 12.1 g/kg,全氮 0.99 g/kg,碱解氮 57.9 mg/kg,速效磷 30 mg/kg,速效钾 120 mg/kg,pH 值为 7.94。试验采用裂区设计,肥料为主区,品种为副区,小区面积 3 m×7 m=21m²,3 次重复。磷肥和钾肥用量分别为每公顷施 P_2O_5 150 kg, K_2O 150 kg,其中磷肥和钾肥分别为过磷酸钙和硫酸钾,以上肥料做基肥一次掩底施入。供试品种为多穗型冬小麦品种豫麦 49-198 和大穗型冬小麦品种兰考矮早 8,尿素施用量设 4 个水平,即 0、391、586、782 kg/hm²,分别以 T1、T2、T3、T4 表示,尿素为河南心连心化肥有限公司生产的颗粒状肥料,纯氮含量 46%,10 月 12 日播种,3 叶期定苗,其余田间管理按一般高产麦田进行。

1.2 田间取样和测定方法

1.2.1 土样采集与分析

在小麦各生育期的晴天 10:00 左右,按五点取样法选取小麦植株,将其 0~20 cm 耕层根系区土样挖出,抖掉根系外围土,取紧贴在根表附近的土样,混合后作为根际土,土样使用前过 1mm 筛。

1.2.2 土壤酶活性的测定

土壤蛋白酶、土壤脲酶活性的测定分别采用茚三酮比色法^[11]和苯酚钠比色法^[11],为消除误差和土壤中其他因素的影响,每样重复 3 次,同时做无土和无基质两种对照。蛋白酶活力以 1g 土样在一定温度和 PH 值条件下,24h 水解酪素产生 1 μ gNH₃-N 为一个酶活力单位;土壤脲酶活力以 1g 土样在一定温度和 PH 值条件下,24h 水解尿素产生 1 μ gNH₃-N 为一个酶活力单位。

土壤过氧化氢酶活性的测定采用 KMnO₄滴定法^[12],以每克土壤的 0.1mol/L KMnO₄的毫升数表示。

1.2.3 微生物数量的测定

采用稀释平板法^[11],细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基;放线菌采用改良高氏一号合成培养基,临用时在已融化的培养基中每 300 ml 培养基加 3% 重铬酸钾 1 ml 培养;真菌采用马丁氏孟加拉红培养基,临用时每 100 ml 培养基加 1% 链霉素液 0.3 ml,结果以每克干土所含数量表示。采用稀释倾注平板法分离、恒温培养、计数。全过程无菌操作。

2 结果与分析

2.1 对小麦根际细菌数量的影响

从图 1 可见,两个小麦品种根际细菌数量随着生育时期的进行呈单峰曲线变化,各处理均以拔节期和抽穗期时的数量较多,以返青期和开花期的数量较少。从返青期到拔节期,细菌数量增加的幅度较大;从抽穗期到开花期,数量有所下降,但仍高于返青期。两个小麦品种根际细菌数量均随着尿素施用量的增加呈先上升后下降的趋势,其中豫麦 49-198 表现为 T2 > T3 > T1 > T4,并且各个处理之间的差异达到显著水平;其中 T2 较 T1 增加 58.7%~97.2%,在返青期增加幅度较小,而在开花期增加幅度较大。T4 较 T2 下降 52%~71%,较 T1 下降 6%~50%。兰考矮早 8 根际细菌数量表现为 T3 > T2 > T1 > T4(返青期表现为 T2 > T1 > T3 > T4),并且各个处理之间的差异达到 1% 显著水平。其中 T3 处理较 T1 处理增加 14.5%~55.3%,T4 处理较 T1 处理降低 6.7%~29.8%。

2.2 对小麦根际放线菌数量的影响

两个小麦品种根际放线菌数量随着生育时期的推进整体呈逐渐增加的趋势(图 2),以开花期时放线菌数量最多。从图可见,尿素施用量对两个小麦品种根际放线菌数量均产生影响。豫麦 49-198 根际放线菌数量随着尿素施用量的增加呈先上升后下降的趋势,在各个时期均以 T3 处理的数量最多,但在返青期和拔节期以 T4 处理的放线菌数量最少,在开花期和抽穗期以 T1 处理的数量最少。兰考矮早 8 根际放线菌数量随着尿素施用量的增加也呈先升高后下降的趋势,在返青期和拔节期表现为 T3 > T4 > T1 > T2,其中 T3 处理较 T1 处理平均增加 39.3%;在抽穗期和开花期表现为 T2 > T3 > T1 > T4,T2 处理较 T1 处理平均增加 38.5%。

2.3 对小麦根际真菌数量的影响

真菌数量随着生育时期整体呈增加的趋势(图 3)。根际真菌数量随着尿素施用量的增加呈先上升后下

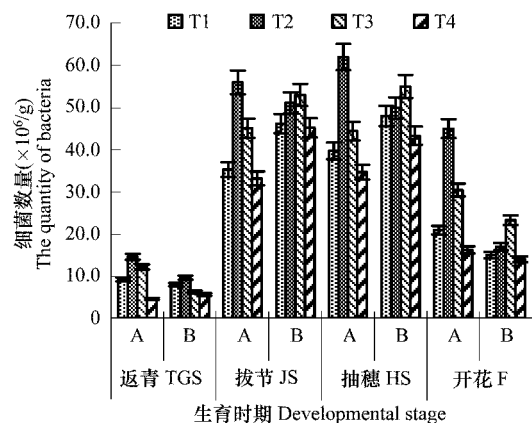


图 1 尿素施用量对小麦根际细菌数量的影响

Fig. 1 Effects of urea application rate on the quantity of bacteria

A, B, TGS, JS, HS, F 分别代表豫麦 49-198、兰考矮早 8、返青期、拔节期、抽穗期、开花期, A, B, TGS, JS, HS, F means Yuami49-198, Lankaoaizao8, Turning green stage, Jointing stage, Heading stage and Floreescence, respectively; 下同 the same below

降的趋势,其中豫麦 49-198 表现为 $T3 > T2 > T4 > T1$, 并且各个处理之间的差异达 5% 显著水平,其中 T3 较 T1 增加 34.2% ~ 45.4%。兰考矮早 8 根际真菌数量在返青期和拔节期表现为 $T2 > T1 > T3 > T4$, T2 处理较 T1 增加 8% ~ 12.5%;在抽穗期和开花期表现为 $T3 > T1 > T2 > T4$,其中 T3 处理较 T1 平均增加 13.2%。

2.4 对小麦根际土壤蛋白酶活性的影响

土壤酶是表征土壤中物质、能量代谢旺盛程度和土壤质量水平的一个重要生物指标。其中土壤蛋白酶可以水解蛋白质为短肽,短肽进一步水解为氨基酸,这些水解产物是植物的氮源之一,土壤蛋白酶活性的高低在一定程度上反映了土壤的氮素营养状况。测定结果表明(图 4),小麦不同生育时期的根际土壤蛋白酶活性不

同。两个小麦品种根际蛋白酶活性随着生育时期呈单峰变化曲线,2005 年以拔节期的活性最高,2006 年以抽穗期的活性最高。豫麦 49-198 根际蛋白酶活性随着尿素施用量的增加呈先上升后下降的变化趋势,表现为 $T2 > T3 > T4 > T1$,并且各个处理之间的差异达到显著水平;其中 T2 处理较 T1 平均增加 32.5%。兰考矮早 8 根际蛋白酶活性的变化和豫麦 49-198 基本相同,随着尿素施用量的升高呈先上升后下降的趋势,但各处理之间表现为 T3 活性最高,并且各个处理之间的差异也达 1% 显著水平。

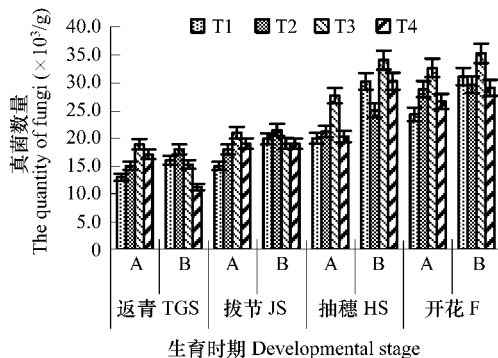


图3 尿素施用量对小麦根际真菌数量的影响

Fig. 3 Effects of urea application rate on the quantity of fungi

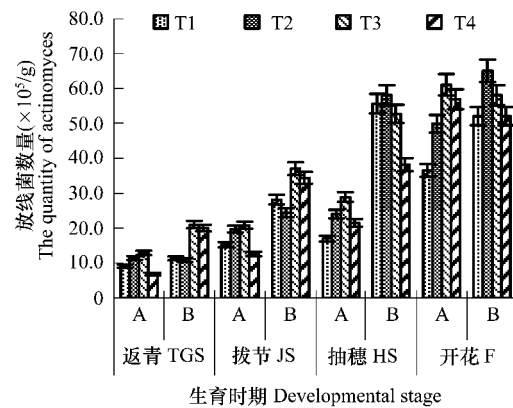


图2 尿素施用量对小麦根际放线菌数量的影响

Fig. 2 Effects of urea application rate on the quantity of actinomycetes

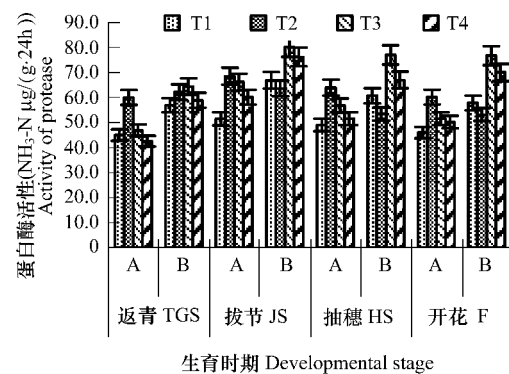


图4 尿素施用量对小麦根际土壤蛋白酶活性的影响

Fig. 4 Effects of urea application rate on activity of protease

2.5 对小麦根际土壤脲酶活性的变化

土壤脲酶主要来源于植物和微生物,是决定土壤中 N 转化的关键酶,其活性高低反映了各种生化过程的方向和强度。在同一生育时期,两种小麦根际脲酶活性的整体变化趋势表现为随尿素施用量的增加而逐渐增加,均以 T4 处理的脲酶活性最高, T1 处理最低。方差分析结果表明, T4 处理的脲酶活性与其它各处理脲酶活性均达到 1% 差异显著水平。这表明脲酶活性的高低与施氮水平有一定相关性,即施氮水平的提高一定程度上可增加根际土壤脲酶的活性。

2.6 对小麦根际过氧化氢酶活性的影响

土壤过氧化氢酶可以促进过氧化氢的分解,有利于防止它对生物体的毒害作用,土壤过氧化氢酶活性与土壤有机质含量有关,与微生物数量也有关^[2]。测定结果表明(图 6),随着生育时期的推进,两个小麦品种根际土壤过氧化氢酶活性均呈增加的趋势。同一生育时期,过氧化氢酶活性均随着尿素施用量的增加呈先增加后降低的趋势。

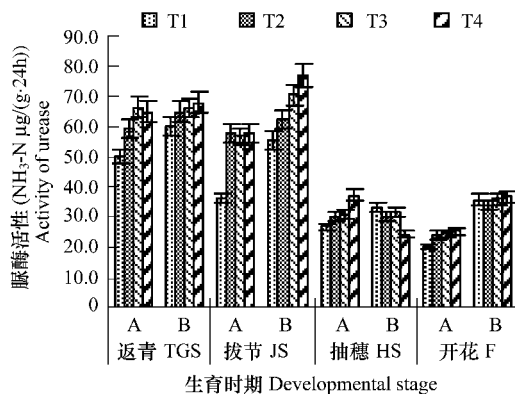


图5 尿素施用量对小麦根际脲酶活性的影响

Fig. 5 Effects of urea application rate on activity of urease

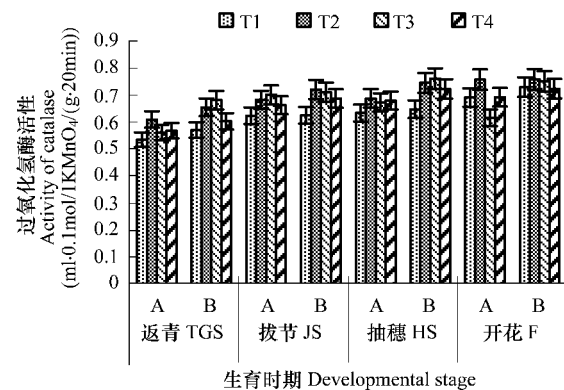


图6 尿素施用量对小麦根际过氧化氢酶活性的影响

Fig. 6 Effects of urea application rate on activity of catalase

由方差分析表明,兰考矮早8在返青期~抽穗期,T2处理的过氧化氢酶活性与T1处理的过氧化氢酶活性达到5%显著水平,与其它各处理的差异不明显;抽穗期~成熟期,随着施氮水平的增加,各处理的过氧化氢酶活性差异不明显。豫麦49-198在返青期,T2处理的过氧化氢酶活性与T1处理的达到1%显著,但与其它各处理的差异不明显;其它生育时期,随着施氮水平的增加,各处理的过氧化氢酶活性差异不明显。这说明,适量增施氮肥有利于生育前期小麦过氧化氢酶活性的提高,生育后期施氮效应不明显。

3 讨论

根际是一个很特别的微区域,由于植物根系的影响,使其周围的微域在物理、化学和生物特性方面与土体主体不同。已有研究表明不同作物的根际有其特定的微生物群落,就是同一作物在不同生育时期和营养状态下,其根际微生物数量也呈现一定的动态变化^[10]。本试验中,不同小麦品种、不同生育时期对小麦根际微生物数量均产生影响;其中微生物总量在拔节期和抽穗期时数量较多,到开花期时数量有所下降,这可能是因为在开花期,植株由营养生长为主转为生殖生长为主,植株对养分需求增多,从而造成根际养分相对亏缺,微生物总量降低。汪华等对水稻的研究也表明,水稻生长旺盛的时候,水稻根系与根际土壤微生物竞争营养元素,会导致水稻根际土壤微生物活性下降^[13]。而作物与根际微生物争夺土壤养分过程中,土壤生态系统的自身调节作用,避免与作物争夺养分,对于后期产量的提高是有益的^[14]。表明小麦根际土壤微生物的变化和小麦植株的生长有密切的关系。

有研究表明,短期施用无机氮肥对土壤酶活性和微生物生物量只产生有限的影响,但长期施用无机氮肥可减少土壤微生物的活性^[15]。Arnebrandt等的研究也表明,施用氮肥对土壤微生物群落特别是腐生菌和菌根真菌有直接的抑制作用,其机制是抑制酶活力和积累毒性化合物^[16]。施用一定量的氮肥可增加土壤中细菌的数量,而过多的氮肥有可能抑制细菌数量的增长^[17]。另一些研究表明长期施用无机氮肥和磷肥可增加土壤微生物生物量碳和氮^[18]。根际是受植物根系影响的土壤区域。根系(活的、逐渐衰老的和死的)及其分泌物可为微生物提供生长基质和有利的生长环境。本研究中,微生物总量随着氮肥水平的增加呈先升高后下降的趋势,其中豫麦49-198以T2处理水平数量最多,而兰考矮早8以T3处理水平数量最多,可能由于一定范围内氮肥水平的增加,促进了小麦根系的发展,从而使根量增加、根系分泌物增多,强大的根土系统促进了微生物的繁衍。而微生物的繁衍又可促进土壤有机物的矿化,从而形成作物与微生物在土壤载体中的相互依存相互促进的关系。同时,本研究表明,随着尿素量的增加,小麦产量呈增加趋势,当尿素施用量超过T3(586 kg/hm²)时,产量略有下降,表明一定范围内增施尿素能促进微生物数量的增加和产量的提高,当施用量过高时,则相反。王小彬等研究表明小麦产量与土壤微生物区系测数的相关性未达到显著,但从相关分析结果来看,土壤微生物区系测数中固氮菌数量的增加对小麦产量的影响较有利^[19]。本试验结果也表明,微生物数量的增加一定程度上有利于小麦产量的提高。

有关研究指出,土壤酶活性与无机肥料施用量有关,如果肥料用量超过最大临界范围,酶活性就会降低^[20]。本研究结果表明,不同施氮水平土壤酶活性不同,对于土壤蛋白酶来说,以 T2(391 kg/hm²)和 T3(586 kg/hm²)处理的蛋白酶活性高,T4(782 kg/hm²)处理的蛋白酶活性略有降低,可能是 T4 处理的施氮水平超过了蛋白酶活性的最大临界范围;同时,不同小麦品种根际蛋白酶活性对尿素施用量的反应不同。根际脲酶活性随施氮水平增加而升高,且以 T4(782 kg/hm²)处理的数值最大,这和袁玲等人的尿素施用量增加,脲酶活性增大的结果相一致^[21]。但脲酶活性的提高某种程度上增加了氮素的损失,降低了肥料的高效利用,关于这一点有待于进一步研究。

作物与土壤微生物有密切关系。小麦生长过程中微生物数量和土壤酶活性的变化反映了小麦生长促使了根系微生物的形成及酶活性的高低,反过来,根系微生物的大量繁殖和旺盛活动以及土壤酶活性的高低又必将对小麦的生长发育产生影响,同时肥料、土壤、作物和微生物之间关系十分密切,肥料促进了作物生长,强大的根土系统促进了微生物的繁衍。而微生物的繁衍又可促进土壤有机物的矿化,从而形成作物与微生物在土壤载体中的相互依存相互促进的关系。因此对在生产实践中如何采取科学合理的施肥及栽培管理措施,使土壤微生物及酶活性有利于小麦的生长发育和产量的提高将是进一步的研究课题。

References:

- [1] Guan S Y. Soil enzyme and its research methods. Beijing: Chinese Agricultural Press,1987. 260—360.
- [2] Chen L J, Wu Z J, Jiang Y, *et al.* Response of N transformation related soil enzyme activities to inhibitor applications. Chinese Journal of Applied Ecology,2002,13(9):1099—1103.
- [3] Wang S J, Hu J C, Zhang X W. Prospect of Chinese soil microbiology in the new century. Journal of Microbiology,2002,22(1):36—39.
- [4] Pang X, Zhang F S, Wang J G. Effect of different nitrogen levels on SMBO-N and microbial activity. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2000,6(4):476—480.
- [5] Luo A C, Subedi T B, Zhang Y S, *et al.* Effect of organic manure on the numbers of microbes and enzyme activity in rice rhizosphere. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1999,5(4):321—327.
- [6] Chai Q, Huang G B, Huang P, *et al.* Effect of 3-methy-phenol and phosphorous on soil microbes and enzyme activity in wheat faba-bean intercropping systems. Acta Ecologica Sinica, 2006,26(2):383—394.
- [7] Cai K Z, Luo S M, Fang X. Effects of file mulching of upland rice on root and leaf traits, soil nutrient content and soil microbial activity. Acta Ecologica Sinica, 2006,26(6):1903—1911.
- [8] Zhang S L, Zhu Z L, Xu Y H, *et al.* Optimal application rate of nitrogen fertilize for rice and wheat in Taihu Lake region. Soils,1988,20:5—9.
- [9] Hou Y I, Wang S G, Guo W. Effects of urea application amount on microbes and enzymes in soil. Chinese Journal of Soil Science, 2004,35(3):303—307.
- [10] Zhong W H, Cai Z C. Effects of soil management practices and environmental factors on soil microbial diversity: a review. Biodiversity Science, 2004,12(4):456—465.
- [11] Yao Z F, Wu Y H. Experimental Technology of Microbiology. Beijing: Meteorology Press,1998. 128—131.
- [12] Zhou L K. Soil Enzymology. Beijing: Science Press, 1988. 267—278.
- [13] Wang H, Yang J P, Xu W, Ma W N. Ecological effect of nitrogen fertilizer with split application on rice rhizosphere microbes in paddy field. Journal of Soil and Water Conservation, 2006,20(4):123—126.
- [14] Zhang F H, Ma F Y, Zheng Z, *et al.* A study of cotton growth and rhizospheric microorganism on the different water and fertilizer under mulch drip irrigation. Journal of Xinjiang Agricultural University,2000, 23(4): 56—58.
- [15] Fleischner T L. Ecological costs of livestock grazing in western North America. Conservation Biology,1994, 8: 629—644.
- [16] Arnebrant K, Bååth E, Söderström. Changes in micro-fungal community structure after fertilization of scots pine forest soil with ammonium nitrate or urea. Biology and Fertility of Soils,1990,22:309—312.
- [17] Zhao K J, Ma F M, Jiang F C, *et al.* Effect on amount of soil microbe with different level of nitrogen applied in sugarbeet fields and fallow fields. China Sugarbeet,1995,3:21—25.
- [18] Fauci M F, Dick R P. Soil microbial dynamics: short and long term effects of organic and inorganic nitrogen. Soil Science Society of America Journal,1994,58:801—808.
- [19] Wang X B, Cai D X, Liu X Y. Effects of surface soil mulch of emulsified bituminous materials on soil microflora in the wheat cultivation system.

Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(4): 692—696.

[20] Huang C Y. Soil Science. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000. 192—214.

[21] Yuan L, Yang B J, Zheng L J, *et al.* Effects of long-term fertilization on enzymatic activities and transformation of nitrogen and phosphorus in soil. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1997, 3(4): 301—307.

参考文献:

- [1] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 中国农业出版社, 1986. 260~360.
- [2] 陈利军, 武志杰, 姜勇, 等. 与氮转化有关的土壤酶活性对抑制剂使用的响应. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1099~1101.
- [3] 王书锦, 胡江春, 张宪武. 新世纪中国土壤微生物学的展望. 微生物学杂志, 2002, 22(1): 36~39.
- [4] 庞欣, 张福锁, 王敬国. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 476~480.
- [5] 罗安程, T. B. Subedi, 章永松, 等. 有机肥对水稻根际土壤中微生物和酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(4): 321~327.
- [6] 柴强, 黄高宝, 黄鹏, 等. 间甲酚及施磷对小麦间作蚕豆土壤微生物和酶活性的影响. 生态学报, 2006, 26(2): 383~394.
- [7] 蔡昆争, 骆世明, 方祥. 水稻覆膜旱作对根叶性状、土壤养分和土壤微生物活性的影响. 生态学报, 2006, 26(6): 1903~1911.
- [8] 张绍林, 朱兆良, 徐银华, 等. 关于太湖地区稻草上氮肥的适宜用量. 土壤, 1988, 20: 5~9.
- [9] 侯彦林, 王曙光, 郭伟. 尿素施肥量对土壤微生物和酶活性的影响. 土壤通报, 2004, 35(3): 303~307.
- [10] 钟文辉, 蔡祖聪. 土壤管理措施及环境因素对土壤微生物多样性影响研究进展. 生物多样性, 2004, 12(4): 456~465.
- [11] 姚占芳, 吴云汉. 微生物学实验技术. 北京: 气象出版社, 1998. 128~131.
- [12] 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987. 267~278.
- [13] 汪华, 杨京平, 徐伟, 等. 分次施氮对水稻根际土壤微生物生态效应的影响. 水土保持学报, 2006, 20(4): 123~126.
- [14] 张凤华, 马富裕, 郑重, 等. 不同水肥处理膜下滴灌棉田根际微生物及棉花生长发育的研究. 新疆农业大学学报, 2000, 23(4): 56~58.
- [17] 赵奎军, 马凤鸣, 姜福臣, 等. 不同施氮水平对甜菜地和休闲地土壤微生物数量的影响. 中国甜菜, 1995, 3: 21~25.
- [19] 王小彬, 蔡典雄, 刘小秧. 液膜覆盖对旱地小麦种植体系土壤微生物区系的影响. 土壤学报, 2005, 42(4): 692~696.
- [20] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000. 192~214.
- [21] 袁玲, 杨邦俊, 郑兰君, 等. 长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 301~307.