

“黑麦草-水稻”草田轮作系统根际效应研究*

IV. 黑麦草根际土壤性状及其对水稻幼苗生长的影响

辛国荣, 李雪梅, 杨中艺

(中山大学生命科学学院//生物防治国家重点实验室, 广东 广州 510275)

摘 要: 探讨了黑麦草 *Lolium multiflorum* 根际非根际土壤性状差异以及对水稻幼苗生长的影响, 土壤分析表明: 根际比非根际土壤的 pH 值低 1.6%, 而土壤电导率高 19.3%, 根际土壤多糖、酒石酸、苹果酸、乙酸、柠檬酸、琥珀酸含量分别比非根际土壤高 9%、12.5%、8.3%、24.4%、12.5%、7.7%; 土壤微生物的差异更为明显, 细菌、放线菌和真菌分别高 12 倍、3.1 倍和 9 倍, 同时, 根际土壤中的酶活性也比非根际土壤强, 其中土壤脱氢酶、蛋白酶、磷酸酶、脲酶活性分别高 37.1%、36.5%、70.6%、35.7%。水稻幼苗盆栽试验表明, 在不同施肥条件下, 根际土壤栽培的水稻幼苗的株高、单株叶面积、地上部地下部干物质积累量、根长、根数、叶片叶绿素质量分数和根系活力均不同程度地高于非根际土壤。可见, 黑麦草的根际效应对改良稻田土壤理化和生物性状有重要的作用, 并有利于后作水稻幼苗的生长。

关键词: 根际效应; 意大利黑麦草; 水稻; 幼苗; 土壤性状

中图分类号: S153 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 01-0062-05

黑麦草 *Lolium multiflorum* 是一种温带优良牧草, 近年来在我国南方稻田大面积冬种, 不仅从时间和空间上利用了土地资源, 缓解了该地区青饲料不足的问题, 而且对改善稻田土壤理化性状产生了积极的影响^[1]。黑麦草具有强大的须根系, 拥有巨大的表面积并与土壤保持接触, 应对土壤物理、化学和生物的过程发生重要作用。但已有的研究尚未深入到根系与土壤紧密接触的根际区域。如果深入探讨该区域具体的理化和生物学问题, 将更有利于说明稻田冬种黑麦草对土壤理化性状及后作水稻影响的机理。本实验采集黑麦草根际土壤, 比较了黑麦草根际土壤和非根际土壤的理化及生物性状差异, 以了解黑麦草根际区域土壤的特性, 并在此基础上栽培水稻 *Oryza sativa* 幼苗, 进一步观察了黑麦草根际效应对水稻苗期生长的影响。

1 材料与方法

1.1 土壤取样和分析

试验用根际和非根际土壤取自大田种草区。先将黑麦草根系挖出, 用力抖动, 使较大土粒脱落, 为非根际土壤; 剩余的黏附在根系上的土壤则为根际土壤。将采集的根际和非根际土壤自然风干, 并过 1 mm 筛, 用塑料袋封装并置于 4℃ 冰箱备用。

土壤测定项目包括土壤 pH 值和电导率^[2]、土壤多糖^[3]、土壤有机酸^[4] (50 g 土壤样品用 250 mL 0.01 mol/L NaOH 溶液浸提 24 h, 然后在 2 000 r/min 条件下离心 30 min, 微孔滤膜过滤, 用高效液相色谱仪测定;

仪器: HP1100 型高效液相色谱仪, HP 化学工作站;

检测器: 二极管阵列检测器;

色谱柱: HP ODS 柱 5 μ m, 4 $\times$ 150 mm, 2 根;

流动相: $\varphi = 3\%$ MeOH; $\varphi = 97\%$ KH_2PO_4 , pH = 2.8;

流速: 0.7 mL/min; 进样: 20 μ L), 土壤酶(脱氢酶、蛋白酶、磷酸酶、脲酶)活性^[5]和土壤微生物^[6]。

1.2 水稻幼苗栽培试验

供试水稻品种为汕优晚 3 号。试验处理为根际土和非根际土在不同施肥量每盆 0 g (不施肥)、0.1 g (低: 25 g/m²)、0.2 g (中: 50 g/m²) 和 0.3 g (高: 75 g/m²) 条件下栽培水稻幼苗。共 8 个处理, 每处理重复 5 盆, 盆钵规格为 7.2 cm (上口径) $\times$ 6.5 cm (高) $\times$ 5.5 cm (底径), 肥料用 $m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O}) = 15:15:15$ 的复合肥。

将风干的根际和非根际土壤各 175 g 装于塑料

* 收稿日期: 2003-10-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39570421, 30000101); 广东省自然科学基金资助项目 (011196)

作者简介: 辛国荣 (1968 年生), 男, 博士, 副教授; 通讯联系人: 杨中艺; E-mail: adsyzy@zsu.edu.cn

钵中,将水稻种子在 30 ℃ 条件下催芽 30 h,并使其发芽后,选择健壮整齐的小苗用无菌水冲洗并移栽到塑料盆中,每盆移栽 5 株,从移栽起 45 d 后进行测定。

水稻幼苗测定项目^[7,8]包括水稻幼苗的高度、叶面积、地上部地下部生物量鲜质量和干质量、根系数量和根系长度;水稻幼苗叶绿素质量分数和水稻幼苗根系活力。

2 结 果

2.1 IRG 根际土壤与非根际土壤性状的比较

IRG 根际和非根际土壤性状的分析结果如表 1 所示。根际土壤的 pH 值比非根际土壤低 1.6%,但差异没有达到显著水平;根际土壤的电导率比非根际土壤高 19.3%,差异具有显著意义 ($P < 0.01$)。根际土壤的多糖质量分数高于非根际土壤 9 个百分点,但差异没有统计学显著意义。有机酸质量分数除延胡索酸外根际土壤均高于非根际土壤,酒石酸、苹果酸、乙酸、柠檬酸和琥珀酸的质量分数分别高 12.5%、8.3%、24.4%、12.5% 和 7.7%,其中乙酸质量分数差异达到显著水平 ($P < 0.01$),其余指标差异不显著。根际和非根际土壤酶活性的差异十分明显,根际土壤脱氢酶活性比非根际土壤高 31.7%,差异显著 ($P < 0.05$);磷酸酶、脲酶和蛋白酶活性分别高 70.6%、35.7% 和 36.5%,差异均达极显著 ($P < 0.01$);根际土壤微生物数量也显著高于非根际土壤,根际土壤细菌、放线菌和真菌数量分别为非根际的 12 倍、3.1 倍和 9 倍,差异均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

2.2 IRG 根际土壤与非根际土壤中水稻幼苗生长的比较

水稻幼苗在根际土壤和非根际土壤的生长差异如图 1 所示。在不施肥、低肥、中肥和高肥条件下,水稻幼苗株高在根际土壤分别比非根际土壤高 2.15%、2.4%、5.29% 和 0.71%;单株叶面积分别高 4.95%、11.56%、5.07% 和 3.01%;地上部干物质积累分别高 1.12%、3.21% 和 4.67% 和 -4.83%;根系生物量分别高 15.91%、31.43%、14.53% 和 4.18%;根系数量分别高 -1.83%、7.37%、12.5% 和 19.23%;根系长度分别长 4.38%、8.74%、6.41% 和 9.21%;但上述差异均无显著意义。株高、地上部生物量和根系数量随施肥量的增加而增加;根系长度随着施肥量的增加而缩短,而施肥对水稻幼苗叶面积和地下部生物量的影响不明显。

水稻叶片叶绿素质量分数除低肥处理在非根际

土壤 (3.61%) 较根际土壤 (3.30%) 略高外,其余处理区均为根际土壤高于非根际土壤,其中不施肥、中、高肥处理分别高 5.9%、7.3% 和 1.4%,但差异不显著;水稻幼苗叶片叶绿素质量分数随着施肥量的增加而增加。而根系活力除不施肥处理中非根际土壤处理水稻幼苗根系活力比根际土壤处理高 21.5% ($P < 0.01$) 外,在低、中、高肥处理中均为根际土壤比非根际土壤高,差异分别为 36.7%、15.0% 和 35.8%,其中低肥和高肥处理差异达到极显著 ($P < 0.01$),中肥处理则在 $P < 0.05$ 水平上具有显著差异。除高肥处理外,根际土壤和非根际土壤中水稻幼苗根系活力均随施肥量的增加而升高。

表 1 黑麦草根际土壤和非根际土壤理化 and 生物性状的比较

Tab.1 Comparisons of chemical, physical and biological properties between rhizosphere and non-rhizosphere soils of Italian ryegrass

土壤性状 ²⁾	非根际 b	根际 a	差异/% ²⁾	显著性检验
pH 值	4.92	4.84	-1.6	-
电导率/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	244	291	+19.3	$P < 0.01$
$w(\text{多糖})/10^{-3}$	0.111	0.121	+9.0	-
$w(\text{酒石酸})/10^{-3}$	0.32	0.36	+12.5	-
$w(\text{苹果酸})/10^{-3}$	0.24	0.26	+8.3	-
$w(\text{乙酸})/10^{-3}$	0.00045	0.00056	+24.4	$P < 0.01$
$w(\text{柠檬酸})/10^{-3}$	0.16	0.18	+12.5	-
$w(\text{延胡索酸})/10^{-3}$	0.18	0.18	0.0	-
$w(\text{琥珀酸})/10^{-3}$	0.13	0.14	+7.7	-
$m(\text{脱氢酶})/\text{mg}$	1.3996	1.8429	+31.7	$P < 0.05$
$m(\text{蛋白酶})/\mu\text{g}$	0.1757	0.2399	+36.5	$P < 0.001$
$m(\text{磷酸酶})/\text{mg}$	0.0017	0.0029	+70.6	$P < 0.01$
$m(\text{脲酶})/\mu\text{g}$	1.0544	1.4306	+17.8	$P < 0.01$
细菌/($\text{个}\cdot\text{g}^{-1}$)	1.0×10^4	1.3×10^5	+1200.0	$P < 0.001$
放线菌/($\text{个}\cdot\text{g}^{-1}$)	2.2×10^4	9.0×10^4	+309.1	$P < 0.01$
真菌/($\text{个}\cdot\text{g}^{-1}$)	1.0×10^4	1.0×10^5	+900.0	$P < 0.01$

1) 土壤质量为干质量(风干);脱氢酶以每克土壤 24 h 生成的三苯甲胺计算,蛋白酶以每克土壤 24 h 生成的 NH-N 计算,磷酸酶以每克土壤每小时生成的 P_2O_5 计算,脲酶以每克土壤 24 h 生成的 NH-N 计算;

2) 差异显著性水平

3 讨 论

根际是指植物根周围数毫米范围内的微域环境,这一微域中物理化学和生物状况直接影响到土壤中水分和养分向根内的迁移、转化以及土壤养分的有效性、植物根的吸收和生理活性、有益和有害微生物的生存和繁殖、污染物质的聚积和降解等^[9]。

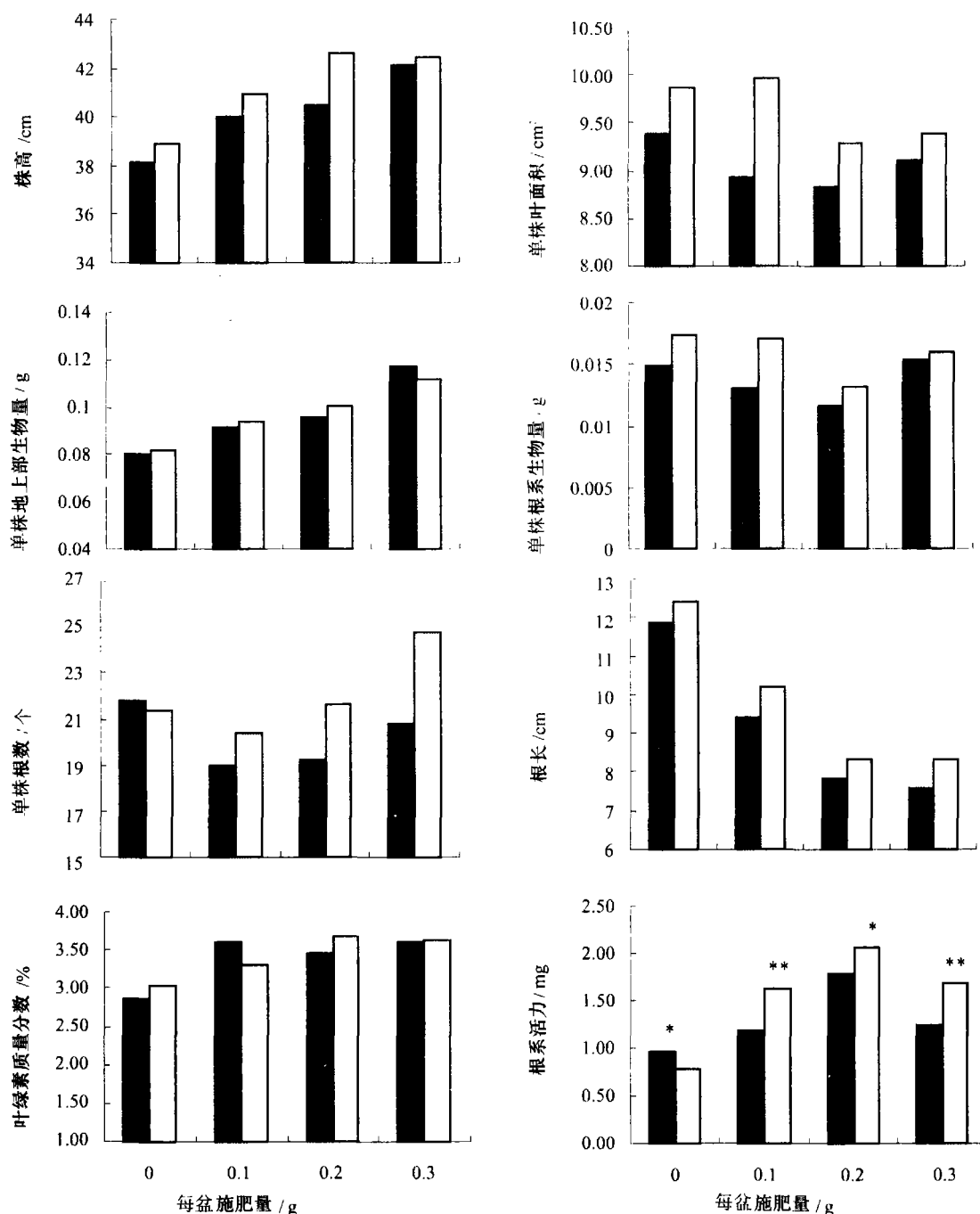


图1 水稻幼苗在黑麦草根际和非根际土壤中的生长发育

Fig.1 Growths of rice seedling in rhizosphere and non-rhizosphere soils of Italian ryegrass

差异显著性水平: * 为 $P < 0.05$; ** 为 $P < 0.01$;

根系活力是以 24 h 每克鲜质量根系所生成三苯甲胺量计算

在植物生长过程中,根系除分泌质子和其他无机离子外,还不断向土壤中释放有机化合物,大量的分泌物不仅为土壤微生物的生命活动提供能源从而使其聚集在根际区域,而且极大地改变了根-土壤界面的物理化学环境,对土壤中的许多养分的生物有效性产生很大的影响^[10]。

小麦 *Triticum aestivum* 根系在营养生长期向土壤释放的有机碳量约 1.0 t/km^2 ,占光合作用固定碳

总量的约 10%^[11],根际土壤微生物碳量占土壤有机碳量的 3% 左右,远高于非根际土壤^[12]。对水稻根际土壤微生物和土壤酶活性的研究表明,根际土壤中各类微生物的数量大于非根际土壤,根际土壤中脲酶和磷酸酶活性也高于非根际土壤^[13],对黑麦草^[1,14]和小麦^[15,16]的研究也显示了明显的根际效应。在本试验中,黑麦草在土壤有机酸含量、土壤酶活性以及土壤微生物数量方面均表现出不同程度的

根际效应,尤其在土壤酶活性以及土壤微生物数量方面表现十分明显。有机酸含量的增高可能是导致根际土壤 pH 值略低于非根际土壤原因,同时也导致了电导率的提高,这意味着根际土壤溶液离子浓度的提高。根系所分泌的许多有机酸具有较强的络合或螯合能力,使根际土壤中一些难于被植物吸收利用的物质(如难溶磷、锰和铁等)有效化并被植物吸收利用,根际环境的酸化也增加了一些难溶养分的溶解性。在根际中添加外源有机酸的研究结果也证明了从土壤中释放到溶液中的 P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 等元素的浓度均因有机酸的添加而有不同程度提高,大多数情况下柠檬酸的作用比苹果酸的作用更为明显^[17]。可以推断,有机酸含量的增加是黑麦草根际土壤的营养元素有效性高于非根际土壤的重要原因。但也有一些研究结果显示了小麦和玉米根际土壤中速效 N、P、K 比较复杂的行为,尤其是速效 P 含量具有在根际土壤低于非根际土壤的趋势^[18-20],这显然与植物的吸收作用以及微生物活动加快了根际土壤中营养成分周转率有关^[14]。

黑麦草根际土壤多糖含量较高,有助于土壤的团聚作用,同时根系分泌的糖类物质给土壤微生物活动提供了丰富的能源,因而黑麦草根际微生物数量成倍地高于非根际土壤,以细菌的差异最大(13倍),其次为真菌(9倍),放线菌差异最小(3倍)。以往对农作物研究结果显示,水稻、小麦、玉米 *Zea mays* 和大豆 *Glycine max* 根际土壤微生物量一般也高于非根际土壤,但差异一般在 1~2 倍以内^[13,15]。黑麦草根际微生物量的极大优势,与黑麦草在冬季稻田土壤中能够形成极为发达的根系是有关联的,在满足土壤水分的条件下,甚至可以观察到黑麦草在土壤表面形成一层 1~3 cm 厚的白色细根层,对此现象目前尚未开展研究,今后有必要深入探讨细根层的土壤化学和生物作用。

黑麦草根际具有较高的土壤酶活性,一般比非根际高 30%~70%,这与过去的研究结果是基本一致的^[1],在水稻^[13]、红三叶 *Trifolium pratense* 和多年生黑麦草 *Lolium perenne*^[14] 以及小麦^[16] 等作物也获得了类似的研究结果。可见,黑麦草的根际是一个非常活跃的微域环境,“黑麦草-水稻”草田轮作系统中黑麦草的根际活性对于提高稻田土壤肥力可以发挥重要的作用。

水稻幼苗在黑麦草根际和非根际土壤的生长差异是两类土壤在理化和生物性状的差异的充分体现。总体上水稻幼苗在黑麦草根际土壤中的表现优于在非根际土壤。具体表现为:

(1)根际效应对根系生长(根系生物量、根系数

量和长度以及根系活力)的影响大于对地上部的影响,主要归因于根际效应对根系的作用更为直接,因而作用效果可以更迅速地表现出来。施肥明显降低了水稻幼苗根系长度,增加了根系数量,显然是由于施肥导致根系趋向于在养分相对较丰富的土壤表层聚集。根际效应对根系数量和长度的作用明显地随施肥量的增加而增加,但根系生物量的根际效应与施肥量的关系不明显。

(2)根际效应对水稻幼苗生长高度产生了一定影响,且影响程度在一定范围内(施肥量每盆小于 0.3 mg)随施肥量的增加而增加。与根系相比,根际效应对地上部生物量的作用则相对较小,但对叶面积有明显的增效作用,在施肥条件下,此作用随施肥量的增加而减少。考虑到根际效应对水稻幼苗叶面积和根系有较明显的影响,如果试验时间延长,其对地上部生长的影响程度有可能表现得更为充分。

(3)叶绿素质量分数作为一项生理指标,一般情况下应比较稳定,本试验中其受根际效应影响的程度也很小,总体上在根际效应的作用下略有提高。不施肥处理对叶绿素含量有明显的不良影响,但对根际效应影响不大。

(4)目前根际效应的研究主要集中在对当季作物根际效应的探讨,对前后作根际效应的研究则主要关注前作对后作的他感作用,今后有必要更综合、更深入地从作物营养和土壤肥力变化的角度探讨前作根际效应对后作植物的影响。

参考文献:

- [1] 辛国荣,杨中艺.“黑麦草-水稻”草田轮作系统的研究[C]. Paper collection of International conference on Grassland Science and Industry.北京:中国农学通报(增刊),2001: 338-341.
- [2] 于天仁.土壤的电化学性质及其研究法[M].北京:科学出版社,1976.
- [3] 郑洪元,张德生.土壤动态生物化学研究法[M].北京:科学出版社,1982.
- [4] 李明久.高效液相色谱法及其在食品分析中的应用[M].北京:北京大学出版社,1988.
- [5] 周礼凯.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987.
- [6] 南京土壤研究所.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985.
- [7] 苏宝林.水稻栽培技术[M].北京:金盾出版社,1997.
- [8] 西北农业大学植物生理生化教研组编.植物生理学实验指导[M].西安:陕西科学技术出版社,1987.
- [9] 刘芷宇.根际研究法[M].南京:江苏科学技术出版社,1997.
- [10] 施卫明.根系分泌物与养分有效性[J].土壤,1996,28(3): 252-256.

- [11] KEITH H, OADES J M. Input of carbon to soil from wheat plants[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1986, 18: 445 – 449.
- [12] JOERGENSEN R. Ergosterol and microbial biomass in the rhizosphere of grassland soils [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32: 647 – 652.
- [13] 罗安程. 有机肥对水稻根际土壤中微生物和酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5(4): 321 – 327.
- [14] 庞欣, 张福锁, 王敬国. 根际土壤微生物量氮周转率的研究[J]. *核农学报*, 2001, 15(2): 106 – 110.
- [15] 胡锋. 两种基因型小麦根际土壤生物动态及根际效应[J]. *土壤通报*, 1998, 29(3): 133 – 135.
- [16] 马健, 王周琼, 李述刚. 小麦根际土壤酶活性变化研究[J]. *干旱区研究*, 1998, 15(2): 61 – 65.
- [17] CHEN Y L. Effect of root derived organic acids on the activation of nutrients in the rhizosphere soil[J]. *J Forestry Research*, 2002, 13(2): 115 – 118.
- [18] 郝艳如. 玉米/小麦间作对根际土壤和养分吸收的影响[J]. *中国农学通报*, 2002, 18(4): 20 – 23.
- [19] 李和生, 马宏瑞, 赵春生. 根际土壤有机磷的分组及其有效性分析[J]. *土壤通报*, 1998, 29(3): 116 – 118.
- [20] 刘世亮. 作物根际土壤有机磷的分组及有效性分析[J]. *河南农业大学学报*, 2002, 36(1): 27 – 31.

Rhizosphere Effects in “Ryegrass-Rice” Rotation System

IV. Properties of Rhizosphere Soil of Italian Ryegrass and Its Effects on Growth of Rice Seedling

XIN Guo-rong, LI Xue-mei, YANG Zhong-yi

(State Key Laboratory for Biological Control//School of Life Sciences,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Soil properties in rhizosphere and non-rhizosphere of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) were analysed and growth of rice (*Oryza sativa*) seedling on the two soil were compared. The results showed that pH value was lower and EC was higher in the rhizosphere than in the non-rhizosphere for 1.6% and 19.3%, respectively. Concentrations of polysaccharide, tartaric acid, malic acid, acetic acid, citric acid, succinic acid in the rhizosphere were higher than in the non-rhizosphere for 9%, 12.5%, 8.35, 24.4%, 12.5% and 7.7%, respectively. In the rhizosphere soil, the numbers of bacteria, actinomycetes and fungi were 12, 3.1 and 9 times of those in the non-rhizosphere soil, and the differences were all significant ($P < 0.01$). The enzyme activities of dehydrogenase, protease, phosphatase and urease were also higher in the rhizosphere than in the non-rhizosphere for 37.1%, 36.5%, 70.6% and 35.7%, respectively. Correspondingly, seedling of rice cultured in the rhizosphere soil grew well when compared with those in the non-rhizosphere. The trends being higher in the rhizosphere than in the non-rhizosphere were observed in almost all tested characters for the seedling, including plant height, leaf area per plant, chlorophyll content, the biomasses of shoot and root, root length, root number and root activity. It is suggested that the rhizosphere effect of Italian ryegrass plays an important role for improving the chemical, physical and biological properties of paddy soil, and it shall be benefit for growth of seedling of subsequent rice.

Key words: rhizosphere effect; Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*); rice (*Oryza sativa*); seedling; soil property