

翟红梅,冯俊霞,韩伟,等.微咸水富氧灌溉对番茄生长、品质及土壤微生物的影响[J].江苏农业科学,2017,45(12):85-88.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.12.022

微咸水富氧灌溉对番茄生长、品质及土壤微生物的影响

翟红梅^{1,2},冯俊霞²,韩伟²,刘孟雨¹

(1.中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心/中国科学院农业水资源重点实验室/河北省节水农业重点实验室,河北石家庄 050022; 2.石家庄学院化工学院,河北石家庄 050035)

摘要:采用盆栽试验法,研究微咸水富氧灌溉对番茄生长、品质、土壤微生物活性的影响,试验包括 3 个水平咸水灌溉:0.2、2.0、5.0 g/L,2 个水平的水溶氧浓度处理:3.0(对照)、7.0~9.0 mg/L。研究发现,富氧灌溉能够显著提高番茄的生物量、品质,在 5.0 g/L 咸水灌溉下,富氧灌溉分别能提高地上部、根部生物量 32.0%、32.4%,在 2.0 g/L 咸水灌溉下,富氧灌溉分别提高维生素 C 含量 69.95%、可溶性蛋白质含量 23.16%、可溶性糖含量 13.09%。富氧灌溉能够增加盐胁迫下土壤的微生物量和活性,富氧处理显著增加了 2 个水平咸水灌溉下的土壤酶活性,在 5.0 g/L 咸水灌溉下,蔗糖酶、脲酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶分别提高了 44.0%、10.4%、31.7%、16.7%。结果表明,富氧灌溉可以作为微咸水安全灌溉的辅助措施。

关键词:富氧灌溉;微咸水;番茄;土壤微生物;土壤酶

中图分类号: S641.207 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)12-0085-03

蔬菜的生长需要大量灌溉用水,可利用的淡水资源越来越少,而许多国家和地区有相当丰富的咸水资源还没得到充分合理的利用^[1]。由于咸水中存在大量盐离子,如果灌溉措施不当会引起土壤盐分含量增多,土壤盐胁迫是影响植物及土壤微生物生长的最主要非生物因素^[2]。盐碱土会导致土壤通透性降低,土壤中氧气减少,而植物根系需要充足的氧气进行有氧呼吸来维持自身的新陈代谢和整个植株的生长发育^[3-4]。近年来,在富氧灌溉方面有许多研究表明,富氧灌溉明显改善植物的生长状况,而且有研究表明微咸水富氧灌溉可以提高番茄耐盐性能和水分利用效率,从而缓解微咸水灌溉的负面效应^[5-6]。但是微咸水富氧灌溉下番茄品质的变化未见报道。比起植物生长以及土壤的物理化学性质,土壤微生物对土壤环境及管理措施更加敏感,可以作为评价土壤质量的有效指标^[7]。土壤微生物、土壤酶活性对微咸水富氧灌溉如何响应,还未见报道。本研究以番茄为种植材料,研究微咸水富氧灌溉对番茄产量、品质及对根区土壤微生物和酶活性的影响,进一步探讨微咸水富氧灌溉减缓盐胁迫的生理机制。

1 材料与方法

1.1 试验区概述

盆栽试验于 2013 年 11 月 10 日进行移栽,2014 年 5 月 17 日最终收获,在中国科学院廊坊农业生态系统试验站日光

温室中完成。盆栽土壤取自大田 20 cm 耕层,质地为潮褐土。试验土壤理化性质为土壤田间持水量 26.00% (质量分数),有机质含量为 12.00 g/kg,全氮含量为 1.22 g/kg,速效氮含量为 46.00 mg/kg,速效磷含量为 32.20 mg/kg, pH 值为 7.10。供试作物为番茄,品种为鲁比。土壤过 2 mm 筛后装入塑料桶中,每桶土质量 10 kg,桶直径 30 cm,高度为 35 cm。

1.2 试验设计

试验处理包括 3 个盐分水平的咸水:0.2(地下水)、2.0、5.0 g/L,2 个含氧浓度水:3.0(对照)、7.0~9.0 mg/L(加氧),共 6 个处理,每个处理 10 个重复。不同浓度的咸水通过向地下水加入相应的 NaCl 配制而成,利用打氧泵在不同盐分水平咸水中加氧 2 h 达到饱和即得到加氧状态水,充氧后立即灌溉,以保证更多的氧被植物利用。水中氧饱和后,每隔 2 h 测定水中溶氧浓度,在前 6 h 加氧水的溶氧浓度显著高于不加氧水,在这期间对于盆栽试验灌溉水可以完成渗透使更多的氧进入土壤,并且 24 h 之内均能保证较高的氧浓度。浇灌次数及水量依照土壤含水量而定,土壤相对含水量保持在田间持水量的 70%~80%。

1.3 测定项目

2014 年 4 月 17 日开始采摘番茄,取第 2 穗果进行果实品质测定。可溶性总糖含量用蒽酮比色法测定,维生素 C 含量用钼蓝比色法测定,有机酸含量用滴定法测定,可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝 G-250 法^[8]测定。

生物量:2014 年 5 月 17 日收获,分别测定地上部(包括番茄)、地下部生物量,鲜样置于鼓风烘箱 105℃下杀青,然后在 80℃下烘干,称质量。

收获时按无菌操作采集根部周围 5 cm 深度 10~20 cm 的土样,立即过 2 mm 土筛,分为 2 份,1 份烘干后测定土壤 pH 值,1 份用冰盒带回实验室分析土壤微生物及酶活性。土

收稿日期:2016-11-08

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2009BADA3B-03-08、2011BAD06B02-3);河北省科技计划(编号:15222903D);石家庄学院博士基金(编号:21602000201)。

作者简介:翟红梅(1979—),女,河北南宫人,博士,讲师,主要从事微生物生态学研究。E-mail:hongmei_zhai@163.com。

壤 pH 值及电导率采用 pH 计、电导率仪测定土水比 1 : 5 的土壤浸提液;土壤微生物量碳利用熏蒸 - 浸提法^[9]测定;基础呼吸采用碱液吸收法^[10]测定;土壤脲酶利用靛蓝比色法^[11]测定;土壤蛋白酶采用酪蛋白水解法,以茚三酮比色法^[12]测定;土壤蔗糖酶采用 3,5 - 二硝基水杨酸水解法测定;土壤酸性磷酸酶、碱性磷酸酶活性采用人工合成的对硝基苯衍生物作为酶促反应底物^[13]来测定。

1.4 数据分析

数据用 Excel 2003 进行整理,用 SPSS 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理下番茄生物量的变化

从表 1 可见,高盐分含量给番茄的生长带来一定的不利影响。用不加氧的水灌溉时,与矿化度 0.2 g/L 相比,用 5.0 g/L 咸水灌溉,番茄地上部、根部生物量分别降低 43.8%、60.8%;加氧水灌溉缓解了这种不利影响,在 5.0 g/L 咸水灌溉下,加氧水灌溉分别提高地上部、根部生物量 32.0%、32.4%。5.0 g/L 咸水灌溉显著降低了番茄的根冠比,而每个盐分水平下加氧处理与对照相比则没有显著影响。

表 1 盐分和加氧处理对番茄地上部生物量、根部生物量和根冠比的影响

| 处理 | 水矿化度 (g/L) | 地上部生物量 (g/株) | 根部生物量 (g/株) | 根冠比 (g/L) |
|----|---------------|-----------------|----------------|--------------|
| 对照 | 0.2 | 46.34 ± 3.22a | 1.81 ± 0.11a | 0.04a |
| | 2.0 | 44.34 ± 3.06a | 1.57 ± 0.12b | 0.04a |
| | 5.0 | 26.04 ± 2.22c | 0.71 ± 0.08d | 0.03b |
| 加氧 | 0.2 | 46.72 ± 2.96a | 1.86 ± 0.12a | 0.04a |
| | 2.0 | 44.46 ± 2.88a | 1.62 ± 0.09b | 0.04a |
| | 5.0 | 34.38 ± 2.56b | 0.94 ± 0.08c | 0.03b |

注:同列不同数据后小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 不同处理下番茄品质的变化

从表 2 可以看出,在不同的盐分处理下,番茄果实中维生素 C、可溶性蛋白质、可溶性糖、有机酸含量的变化是有一定差异的。在矿化度为 2.0 g/L 处理条件下,番茄果实中的维生素 C、可溶性蛋白质、有机酸含量显著高于 0.2 g/L 处理组。维生素 C 含量提高 69.95%,可溶性蛋白质含量提高 23.16%,可溶性糖含量提高 13.09%,有机酸含量提高 48.10%。随着盐胁迫的进一步提高,番茄果实的品质有下降趋势,但是加氧灌溉显著提高了维生素 C、可溶性糖含量,减缓了 5.0 g/L 咸水的负面效应。

2.3 不同处理下土壤 pH 值和土壤电导率的变化

从表 3 可以看出,无论盐分处理,还是加氧灌溉都对收获时土壤的 pH 值没有显著性作用。但是咸水灌溉明显改变了土壤的电导率,随着灌溉水矿化度的增加,土壤电导率呈显著增加趋势,在对照处理中,相对于地下水,2.0、5.0 g/L 灌溉水分别增加土壤电导率 88.5%、164.4%,加氧处理下,随着矿化度的增加,土壤电导率同样呈现增加趋势,并且增加幅度更大,但相同矿化度下与对照相比没有显著差异。

表 2 盐分和加氧处理对番茄主要品质指标的影响

| 处理 | 水矿化度 (g/L) | 维生素 C 含量 (mg/100 g) | 可溶性蛋白 质含量 (mg/g) | 可溶性糖 含量(%) | 有机酸含量 (%) |
|----|---------------|---------------------------|------------------------|---------------|---------------|
| 对照 | 0.2 | 7.62 ± 0.22c | 0.95 ± 0.08b | 9.70 ± 0.22bc | 8.17 ± 0.52c |
| | 2.0 | 12.95 ± 0.50a | 1.17 ± 0.11a | 10.97 ± 0.98b | 12.10 ± 0.29b |
| | 5.0 | 10.99 ± 0.42b | 0.76 ± 0.08c | 9.10 ± 0.60c | 12.80 ± 0.33a |
| 加氧 | 0.2 | 7.71 ± 0.16c | 0.91 ± 0.07b | 10.00 ± 0.89b | 8.20 ± 0.78c |
| | 2.0 | 11.22 ± 0.32b | 0.93 ± 0.10b | 13.50 ± 0.77a | 11.89 ± 0.67b |
| | 5.0 | 13.81 ± 0.26a | 0.64 ± 0.06c | 12.00 ± 0.62a | 12.00 ± 0.23b |

表 3 盐分和加氧处理对土壤 pH 值和电导率的影响

| 水矿化度 (g/L) | pH 值 | | 电导率(dS/m) | |
|---------------|------------|------------|--------------|--------------|
| | 对照 | 加氧 | 对照 | 加氧 |
| 0.2 | 7.1 ± 0.2a | 7.1 ± 0.1a | 0.87 ± 0.03c | 0.85 ± 0.05c |
| 2.0 | 7.1 ± 0.3a | 7.1 ± 0.2a | 1.64 ± 0.09b | 1.77 ± 0.13b |
| 5.0 | 7.2 ± 0.2a | 7.0 ± 0.1a | 2.30 ± 0.09a | 2.35 ± 0.08a |

2.4 不同处理下土壤微生物量、活性、代谢熵的变化

盐分和加氧处理都明显改变了土壤的微生物量、活性、代谢熵。盐分的增加抑制了土壤微生物的增长和活性。从表 4 可以看出,对照情况下与地下水相比,2.0、5.0 g/L 灌溉水下,土壤微生物量分别降低了 21.5%、43.6%,土壤微生物呼吸分别降低 21.1%、39.0%。在 3 个矿化度灌溉水中,加氧处理显著增加了土壤微生物量,分别提高了 6.1%、20.4%、33.7%;而对于土壤微生物呼吸量,加氧处理只对 2 个咸水灌溉有显著改善作用。盐分能显著增加微生物代谢熵,但随着水氧浓度的增加而降低。

表 4 盐分和加氧处理对土壤微生物量、土壤微生物呼吸和代谢熵的影响

| 处理 | 水矿化度 (g/L) | 土壤微生物量 (mg/kg) | 土壤微生物呼吸量 [mg/(kg · d)] | 代谢熵 [g/(kg · d)] |
|----|---------------|-------------------|---------------------------|---------------------|
| 对照 | 0.2 | 356.3 ± 12.2b | 33.1 ± 2.2a | 92.9e |
| | 2.0 | 279.6 ± 13.2d | 26.1 ± 1.9c | 113.7c |
| | 5.0 | 200.8 ± 9.5e | 20.2 ± 2.1d | 127.2a |
| 加氧 | 0.2 | 378.2 ± 10.2a | 34.2 ± 2.5a | 90.4e |
| | 2.0 | 336.7 ± 11.3c | 31.2 ± 3.2b | 103.8d |
| | 5.0 | 268.5 ± 8.2d | 26.3 ± 2.6c | 115.1b |

2.5 不同处理下土壤酶活性的变化

图 1 显示了盐分和加氧对土壤酶活性的影响。不加氧条件下,除脲酶活性外,其他土壤酶活性均呈现出相同的趋势,即随盐分的升高而降低,在加氧处理下明显高于不加氧处理,但对各种酶的影响程度却是不同的。可以看出,在不加氧咸水灌溉条件下,酸性磷酸酶活性下降幅度最大,相对于地下水,在 2.0、5.0 g/L 时分别减少 32.0%、63.5%。加氧处理显著增加了 2 个水平咸水灌溉下的土壤酶活性,分别提高蔗糖酶活性 28.7%、44.0%,脲酶活性 11.4%、10.4%,酸性磷酸酶活性 22.9%、31.7%,碱性磷酸酶活性 11.1%、16.7%。

3 结论与讨论

微咸水灌溉导致土壤通透性降低,而土壤中氧气的高低直接影响植株根系的生长。根际通气良好能够改善根部的土壤微环境,促进植物根系进行有氧呼吸,并增强根系对水肥吸

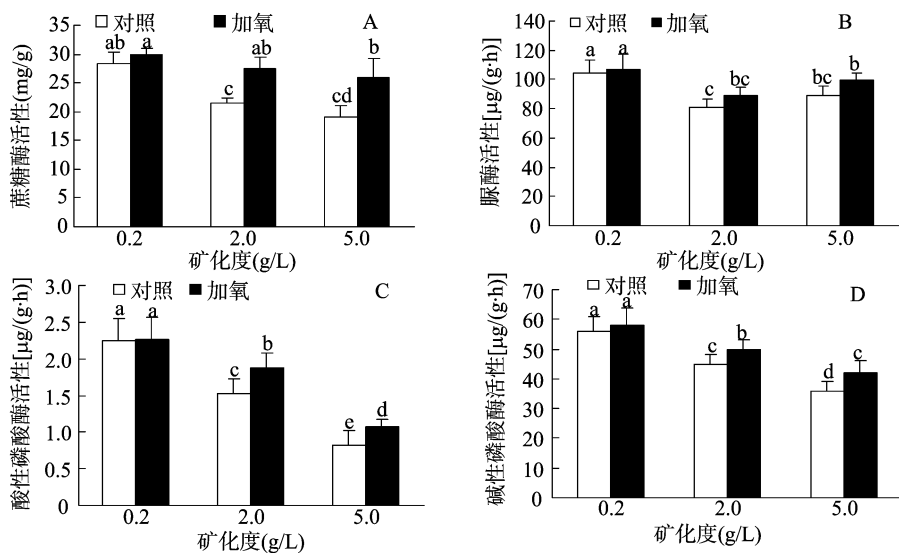


图1 盐分和加氧处理对土壤蔗糖酶、脲酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶活性的影响
柱上不同小写字母表示 6 个测定数据之间差异显著 ($P < 0.05$)

收的能力,有利于促进作物生长发育,提高产量和品质^[14-15]。近年来研究表明,加氧灌溉能够改善植物的生长状况。本研究结果显示,番茄生物量随着灌溉水盐分的增加而减少,且根部生物量降低更为明显,加氧处理改善了由于咸水灌溉引起土壤通透性降低的状况,促进了植株的生长。温改娟等研究发现,加氧灌溉提高了番茄的品质^[4],本研究结果与之一致,微咸水加氧灌溉能显著提高番茄的维生素 C、可溶性糖含量。

微咸水富氧灌溉能够提高植株的耐盐性能,使得更少的离子进入植物体内,导致加氧处理下土壤的电导率有所增加^[3,6]。相对于植物和土壤的物理化学性质,土壤微生物及土壤酶活性对盐胁迫更为敏感,本研究发现土壤微生物量和呼吸均随着灌溉水盐分的增加而显著降低,这与以前许多在盐碱土中的研究结果^[16-17]一致。植物生物量的降低引起土壤中碳氮输入的减少,进而减少了微生物可以吸收的营养,导致微生物增长缓慢,另外土壤中的盐分引起土壤渗透压的变化,而微生物的正常生长需要合适的渗透势,盐分的增加还会引起土壤板结,通透性降低,抑制微生物的呼吸,所以盐分处理下土壤微生物量和活性都降低明显。同时也可以看出,2 个指标都在加氧处理下显著增加,这是因为一方面加氧处理增加了番茄的生物量,另一方面提高了土壤的通透性,微生物有更多的氧气呼吸。明显增加的土壤微生物代谢熵说明盐分条件下微生物受到很大的胁迫,在逆境下微生物需要利用更多的有机质进行代谢呼吸,而不再有效地完成催化活性^[18-19],另外盐胁迫下微生物菌群的变化也是导致代谢熵变化的原因^[16-19],而加氧灌溉则缓解了这种胁迫。

土壤酶主要来自土壤微生物、植物根系的分泌、土壤动物,并且参与碳、氮、磷等主要元素的转化过程,土壤酶活性在一定程度上反映了微生物的活性,因此,一些土壤酶活性也被作为评价土壤质量的指标^[20]。许多研究表明,盐分胁迫下土壤酶活性显著降低^[19-21],本研究中也得到一致的结果。盐分的增加由于减少了植物的微生物增长,土壤酶少了来源,从而明显降低了各种土壤酶的活性,因为不同的土壤酶来源于不同的微生物种类,所以盐分对土壤酶的抑制程度不完全相同。

从前面的分析中可以看出,加氧改善了这种状况,所以土壤酶的活性明显提高。土壤中的盐分可能改变了蛋白质的高级结构而影响土壤酶活性。土壤酶活性的改变又会进一步影响碳、氮、磷的循环,进而影响植物的生长,所以在自然生态系统中植物和微生物是相互影响相互关联的。

综上所述,微咸水富氧灌溉改善了盐胁迫下土壤的通透性,提高了番茄的生物量和品质,提高了土壤酶活性,减缓了盐分对土壤的胁迫,所以笔者认为富氧灌溉可以作为咸水安全灌溉的有效措施。

参考文献:

- [1] Wan S, Kang Y H, Wang D, et al. Effect of drip irrigation with saline water on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) yield and water use in semi-humid area [J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 90 (1/2): 63-74.
- [2] Gholarrata M, Raiesi F. The adverse effects of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrinum* L. and associated microbial and biochemical properties in a soil from Iran [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39 (7): 1699-1702.
- [3] Bhattarai S P, Pendergast L, Midmore D J. Root aeration improves yield and water use efficiency of tomato in heavy clay and saline soils [J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 108 (3): 278-288.
- [4] 温改娟, 蔡焕杰, 陈新明, 等. 加氧灌溉对温室番茄生长和果实品质的影响 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2013, 41 (4): 113-118.
- [5] Bhattarai S, Su N, Midmore D J. Oxygenation unlocks yield potentials of crops in oxygen-limited soil environments [J]. *Advances in Agronomy*, 2005, 88 (5): 313-377.
- [6] Zhai H M, Dong B D, Qiao Y Z, et al. Irrigation with aerated saline water enhances water use efficiency and salt tolerance of tomato [J]. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2012, 21 (8): 2072-2077.
- [7] Egamberdieva D, Renella G, Wirth S, et al. Secondary salinity effects on soil microbial biomass [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2010, 46 (5): 445-449.

姜 森,许向阳,姜景彬,等. 番茄耐盐性的遗传分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):88-91.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.12.023

番茄耐盐性的遗传分析

姜 森,许向阳,姜景彬,李景富

(东北农业大学园艺学院,黑龙江哈尔滨 150030)

摘要:为研究番茄耐盐性的遗传规律,选用耐盐性差异较大的品种早粉 2 号和醋栗番茄(LA2184)配制早粉 2 号 × 醋栗番茄杂交组合,对其 P_1 、 P_2 、 F_1 、 F_2 、 BC_1P_1 、 BC_1P_2 共 6 个家系世代群体苗期植株进行耐盐性调查,通过 6 个世代联合分析的方法,研究番茄耐盐性的遗传规律。结果表明,早粉 2 号 × 醋栗番茄耐盐性遗传模型为 2 对加性-显性上位性主基因 + 加性-显性-上位性多基因混合遗传模型,在该群体中加性效应(d_a 、 d_b)均为 1.332 1,显性效应(h_a 、 h_b)分别为 1.038 0、3.510 4,上位性效应(i_{jab} 、 j_{ba} 、 l)分别为 1.325 6、-1.259 9、-3.732 4、-1.004 9、 BC_1P_1 、 BC_2P_2 、 F_2 的主基因遗传力(h_{mg}^2)分别为 0.579 1、0.342 0、0.601 1。

关键词:番茄;耐盐性;遗传规律;遗传模型

中图分类号: S641.203 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)12-0088-04

盐害是世界范围内严重影响作物生长发育及产量形成的主要环境因素之一^[1]。据统计,全世界约 20% 保护地面积以及将近 50% 灌溉耕地面积受土壤盐渍化的侵害^[2]。土壤表面过度蒸腾、地下水位升高以及不当的栽培管理措施,包括轮作不合理、大水漫灌、过度施肥常常是导致土壤盐渍化的主要

原因^[3]。除加强和改善栽培管理措施外,耐盐新品种的选育对于降低土壤盐渍化的危害也具有十分重要的意义^[4]。

番茄(*Solanum lycopersicum*)属茄科茄属,广泛栽培于世界各地,可鲜食,也可加工成不同类型的番茄制品^[5-6]。普通番茄栽培种一般属中度盐敏感植物,番茄耐盐基因多来自野生番茄,所以表型重组、标记辅助选育可更有效地选育耐盐新品种^[7]。随着数量遗传学的发展,人们对植物性状遗传规律有了更深度认识,对新品种选育有很大的帮助,因此研究番茄耐盐性遗传规律,对加快高耐盐性番茄育种具有重要的意义。

本试验从数量遗传学角度,利用耐盐性差异较大的栽培番茄和野生番茄配制杂交组合,对其 P_1 、 P_2 、 F_1 、 F_2 、 BC_1P_1 、

收稿日期:2016-03-02

基金项目:国家自然科学基金(编号:31272171);“十二五”国家科技支撑计划(编号:2012BAD02B02-7)。

作者简介:姜 森(1990—),女,吉林长春人,硕士研究生,主要从事蔬菜育种研究。E-mail:1066314140@qq.com。

通信作者:李景富,教授,博士生导师,主要从事蔬菜育种研究。E-mail:Lijf_2005@126.com。

[8] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[9] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson P S. An extraction method for measuring microbial biomass [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(19): 703-707.

[10] Anderson J P E. Methods of soil analysis[M]. Madison: American Society of Agronomy, 1982: 837-871.

[11] Nannipieri P, Ceccanti B, Cervell S, et al. Extraction of phosphatase, urease, protease, organic carbon and nitrogen from soil [J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44(45): 1011-1016.

[12] Ladd J N, Butler J H A. Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1972, 4(1): 19-30.

[13] Tabatabai M A, Weaver R W, Angle J S, et al. Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties [M]. New York: Soil Science Society of America, 1994, 775-833.

[14] Meek B D, Ehlig C F, Stolzy L H, et al. Furrow and strickle irrigation: effects on soil oxygen and ethylene and tomato yield [J]. Soil Science Society of America Journal, 1983, 47(4): 631-635.

[15] Brzezinska M, Stepniowski W, Stepniowska Z, et al. Effect of oxygen

deficiency on soil dehydrogenase activity in a pot experiment with triticale cv. Jago vegetation [J]. International Agrophysics, 2001, 15(3): 145-149.

[16] Sardinha M, Muller T, Schmeisky H, et al. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions [J]. Applied Soil Ecology, 2003, 23: 237-244.

[17] Tripathi S, Kumari S, Chakraborty A, et al. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils [J]. Biology and Fertility of Soils, 2006, 42(3): 273-277.

[18] Wong V N L, Dalal R C, Greene R S B. Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil [J]. Biology and Fertility of Soils, 2008, 44(7): 943-953.

[19] Rietz D, Haynes R. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(6): 845-854.

[20] Avidano L, Gamalero E, Cossa G P, et al. Characterization of soil health in an Italian polluted site by using microorganisms as bioindicators [J]. Applied Soil Ecology, 2005, 30(1): 21-33.

[21] Tripathi S, Chakraborty A, Chakrabarti K, et al. Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(11): 2840-2848.