植物营养与肥料学报 2009,15(6):1470-1474
Plant Nutrition and Fertilizer Science

根际通气对日光温室黄瓜栽培基质酶活性和养分含量的影响

陈红波[1],李天来[1*],孙周平[1],王五宏[2]
(1 沈阳农业大学园艺学院,辽宁省设施园艺重点实验室,辽宁沈阳 110161;
2 浙江省农业科学院蔬菜研究所,浙江杭州 310021)

摘要:试验设通气栽培(Z1)、密闭栽培(D1)和常规栽培(CK),研究在黄瓜全生育期内,根际 CO_2 和 O_2 浓度对基质酶活性、基质养分和植株生长的影响。结果表明,Z1 处理显著改善基质通气状况。与 CK 比较,基质 CO_2 含量降低了 48.21%,基质 O_2 含量提高了 5.87%;Z1 处理比 D1 和 CK 处理均提高了基质酶的活性,其中脲酶分别提高 11.19%和 7.67%,脱氢酶提高 38.41%和 22.52%,磷酸酶提高 38.01%和 18.3%,蔗糖酶提高 34.81%和 20.87%;并且基质碱解氮、速效磷含量和黄瓜全株干物质积累都有不同程度的增加。表明通气栽培有助于提高基质酶活性、基质养分含量和促进植株的生长。

关键词:根际通气;基质养分;基质酶;黄瓜栽培
中图分类号:S642.2;S605　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2009)06-1470-05

Effects of rhizosphere aeration on enzyme activities and nutrient content of matrix for cucumber in protected cultivation

CHEN Hong-bo[1], LI Tian-lai[1*], SUN Zhou-ping[1], WANG Wu-hong[2]
(*1 College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Key Laboratory of Protected Horticulture of Liaoning Province, Shenyang 110161, China; 2 Institute of Vegetables, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China*)

Abstract: In order to explore the effects of rhizosphere aeration on matrix characteristics, the effects of concentrations of CO_2 and O_2 on enzyme activities, matrix nutrients and plant growth were investigated by comparing aeration cultivation (Z1) with airproof cultivation (D1) and normal cultivation (CK) in some aspects, during the whole growth and development stages of cucumber. The results show that the matrix ventilation is significantly improved in the Z1 treatment, and CO_2 content is decreased by 48.21%, while O_2 content is increased by 5.87%. Activities of various enzymes in the Z1 treatment are higher than those of the D1 and CK treatments, respectively, including phosphatase (by 38.01% and 18.3%), invertase (by 34.81% and 20.87%), dehydrogenase (38.41% and 22.52%), and urease (by 11.19% and 7.67%). Moreover, obvious increases are found in other indexes, such as the available N and P contents, and the dry matter accumulation of plants. As a conclusion, aeration cultivation could boost the enzyme activities, increase nutrient content in the matrix, and promote the growth of cucumber plants.

Key words: rhizosphere aeration; matrix nutrition; matrix enzyme; cucumber cultivation

现代设施蔬菜栽培中,由于长期大量施肥、少中耕、机械化操作增加等原因,使土壤紧实,通气孔隙度减小。再加上设施内通风较慢等极大地限制了土壤与大气的气体交换[1-3]。土壤空气含量可以影响根系呼吸、土壤酶活性和土壤养分状况,是土壤肥力的要素之一[4-8]。植物根系是靠土壤氧气进行呼吸作用产生能量来维持生理活动的。由于土壤氧气供应不足,根呼吸作用减弱,水分和养分从土壤向木质组织的转移速率也下降[9]。在根周围,CO_2 浓度的升高对根的影响,同 O_2 浓度的降低所产生的影响有

收稿日期:2009-02-24　　接受日期:2009-04-20
基金项目:国家科技"支撑"项目(2006BAD07B04);辽宁省"十一五"重大项目(2006215001);辽宁省教育厅创新团队项目(2007T159)资助。
作者简介:陈红波(1980—),女,辽宁省朝阳县人,博士,主要从事设施蔬菜栽培与生理。E-mail:chenhbo212@163.com
* 通讯作者 Tel:024-88487166,E-mail:tianlaili@126.com

很多相同的地方，尽管 CO_2 的影响，在其分压还没有达到与 O_2 的分压相等时，有些植物就会有反应[10]。中等强度的 CO_2 分压，会促使石灰质土壤或施石灰过度的土壤上的钙敏感植物发生石灰诱生性失绿病[11-12]。有资料表明，土壤空气的临界值 O_2 浓度为 14%，CO_2 浓度为 4%[13]。当土壤中 CO_2 浓度高于 5%时有明显抑制呼吸作用的效应，CO_2 浓度达到 10%～15%时阻碍植物根系生长和种子发芽，超过 15%阻碍根系呼吸和吸收功能，使根系不能扩展，甚至造成植物窒息而死。土壤内 CO_2 过多还使土壤 pH 值下降，适宜于植物病原菌的发育，加之植物生长不良，抵抗力降低而易于感染病毒[14]。土壤中 O_2 浓度下降到 20% 以下时，植物呼吸速率便开始下降，低于 10%时，无氧呼吸出现并增强，产生酒精中毒，抑制根尖细胞分裂，根的吸收功能减弱或丧失，影响根系内物质的运输，对植物的生长发育造成严重危害[13]。但在根际通气对基质酶活性和基质养分含量影响方面的研究报道不多，为进一步揭示根际气体与植株生长的关系，本试验通过比较人工营养基质通气栽培、人工营养基质传统栽培和人工营养基质密闭栽培 3 种栽培方式对基质性质和植株生长的影响，研究在黄瓜整个生育期内根际 O_2 浓度和 CO_2 浓度的变化规律，以及根际通气对基质酶活性和基质养分含量的影响。以阐明基质通气栽培改善根际水气肥环境的原因，为促进根系对养分水分的吸收，提高设施蔬菜产量和品质提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验于 2007 年 3～6 月份在沈阳农业大学工厂化高效农业工程技术研究中心试验基地辽沈Ⅳ型日光温室内进行。以黄瓜（*Cucumis sativus*）品种津春 2 号为试材，于 3 月 3 日播种，4 月 1 日第五片真叶展开时定植。设通气栽培（Z1）、密闭栽培（D1）和常规栽培（CK）3 种栽培方式。采用相同规格的桶栽（直径 30 cm、深 30 cm）并装有同量的基质，其中基质通气栽培（Z1）装置为底部放 10 cm 高的具孔半圆形支架，上铺孔径为 0.5 cm × 0.75 cm 的塑料网，其上再插一根长 25 cm、直径 5.5 cm 的塑料管，与基质内半圆形空间连通，让空气自上而下进入半圆形空间内并自然流动，塑料网上填充基质；封闭栽培（D1），即从黄瓜茎基开始用锡箔纸把栽培桶包严，保证土壤内气体与外界大气零交换，其他条件和栽培措施均与 Z1 处理相同；传统栽培（CK），即不在栽培桶内设置 10 cm 高的半圆形支架，桶内只填充基质，其他条件和栽培措施均与 Z1 处理相同。人工营养基质由稻草∶草碳∶土 = 2∶1∶1 的体积比混合，再加 17 kg/m^3 膨化鸡粪，堆制发酵而成。每个处理定植黄瓜 40 株，随机区组排列，定量浇水和追肥。其他栽培管理与一般生产相同。

1.2　测定项目及方法

分别在处理后 10、15、25、35、45 d 取根际土，将根系挖出，抖落大基质块，收集附着在根系上的基质作为根际样品。样品一部分经风干、磨碎，过 1 mm 和 0.125 mm 筛，用于基质养分分析；一部分置于 -20℃的冰箱内保存，供基质酶活性测定。

不同酶活性参照严昶升[16]的方法。转化酶活性[Glucose mg/(g·d)]用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定；脲酶活性[NH_3-N mg/(g·d)]用苯酚-次氯酸钠比色法测定；磷酸酶活性[Phenol mg/(g·d)]用磷酸苯二钠比色法测定；脱氢酶活性[TPE mg/(g·d)]用氯化三苯基四氮唑（TTC）法测定[15]。

基质理化性状采用常规分析法测定。有机质用重铬酸钾容量法；碱解氮用扩散吸收法；速效磷用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提—硫酸钼锑抗比色法；速效钾用 1 mol/L NH_4OAc 浸提—火焰光度计法。根际气体采用动态气室法，即定植前，在基质下 20 cm 处插入直径 2 mm 的铜管，在封闭动态系统中，以一个封闭的气管和气室相连，用 PCO_2/10 型手持式二氧化碳分析仪和 xPO-318 型数字式氧气浓度计监测 CO_2 和 O_2 浓度，然后利用测量开始和结束的时间段里气室浓度的变化计算土壤 CO_2 和 O_2 浓度[16]。

试验数据整理采用 Excel 软件；方差分析采用 DPS 软件，并用 Duncan 's 法进行显著性测验。

2　结果与分析

2.1　根际通气对黄瓜栽培基质内 CO_2 和 O_2 浓度的影响

基质 CO_2 浓度随生育期延长而增加，且处理间差异也逐渐增大，以 Z1 处理 CO_2 浓度最低，其次是 CK，D1 处理最高（图 1a）。与 CK 相比，Z1 处理基质 CO_2 浓度降低 48.21%，D1 处理则增加两倍。基质 O_2 浓度随生育期延长而减小，以 Z1 处理基质中氧气浓度最高，CK 次之，D1 最低（图 1b）。Z1 通气处理提高了根际氧气的浓度，比 CK 提高 5.87%；而 D1 处理 O_2 浓度则降低了 33.12%。基质内 O_2 浓度

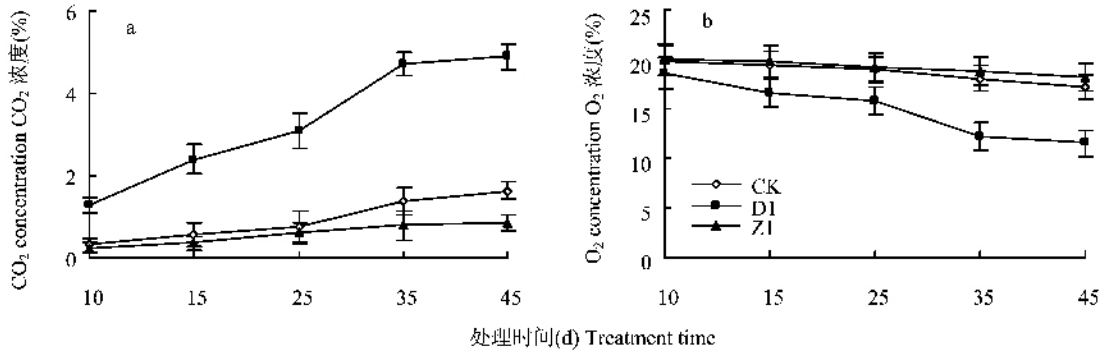

图1 根际通气对黄瓜栽培基质内 CO_2 和 O_2 浓度的影响

Fig.1 Effects of rhizosphere aeration on contents of CO_2 and O_2 in the matrix of cucumber cultivation

和 CO_2 浓度变化趋势相反，二者呈现相互消长的关系，且 O_2 浓度的减少量小于 CO_2 浓度的增加量。

2.2 根际通气对黄瓜栽培基质养分含量的影响

图2看出，各处理基质养分含量随生育期延长呈下降趋势；但随处理时间的延长，处理间差异有增加趋势。与 CK 相比，Z1 处理碱解氮和速效磷含量分别增加 13.28%和 25.86%，速效钾和有机质含量分别降低 11.26%和 6.04%；D1 处理碱解氮和速效磷含量则分别降低 19.67%和 14.52%，速效钾和有机质含量分别增加 48.81%和 21.39%。说明改善根际通气后，提高了基质酶活性和微生物活性，加速了有机质的转化以及黄瓜对养分的吸收[17]。

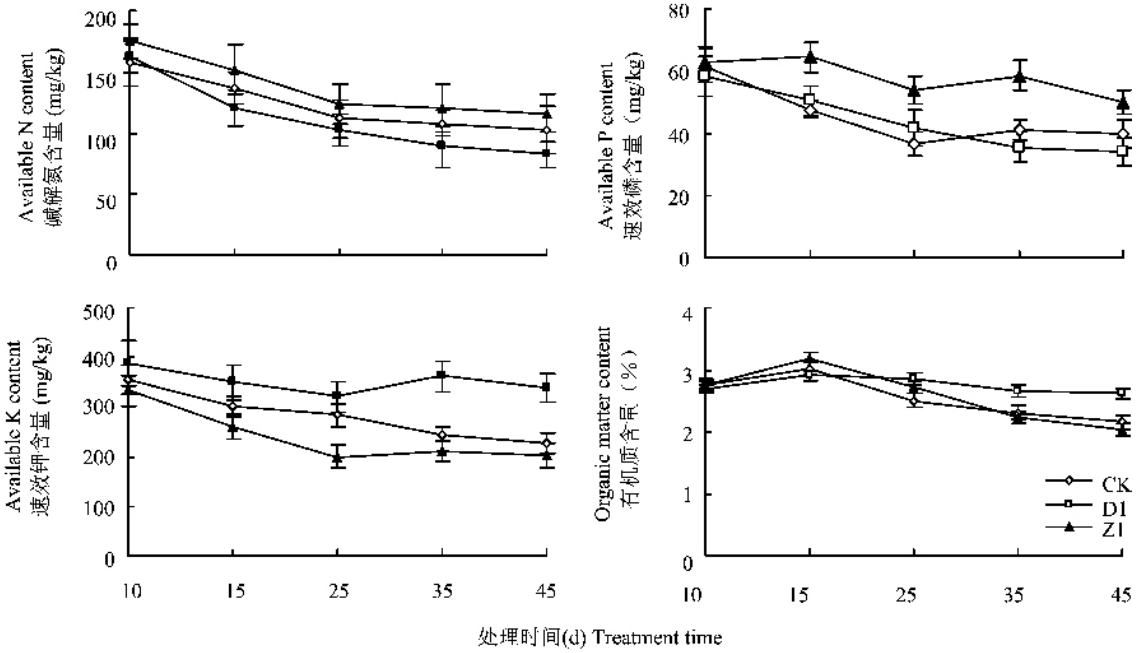

图2 根际通气对黄瓜栽培基质养分含量的影响

Fig.2 Effects of the rhizosphere aeration on nutrient contents in the matrix of cucumber cultivation

2.3 根际通气对黄瓜栽培基质酶活性的影响

各处理基质酶活性随生育期延长均有下降趋势，且处理间差异较大，基质酶活性以 Z1 处理较高，CK 次之，D1 处理最低(图3)。与 CK 处理相比，Z1 分别提高基质脲酶活性 8.46%，脱氢酶活性 15.89%，磷酸酶活性 28.53%，蔗糖酶活性 20.55%；而 D1 则分别降低了脲酶活性 18.87%，脱氢酶活性 32.42%，磷酸酶活性 43.72%，蔗糖酶活性 40.56%。

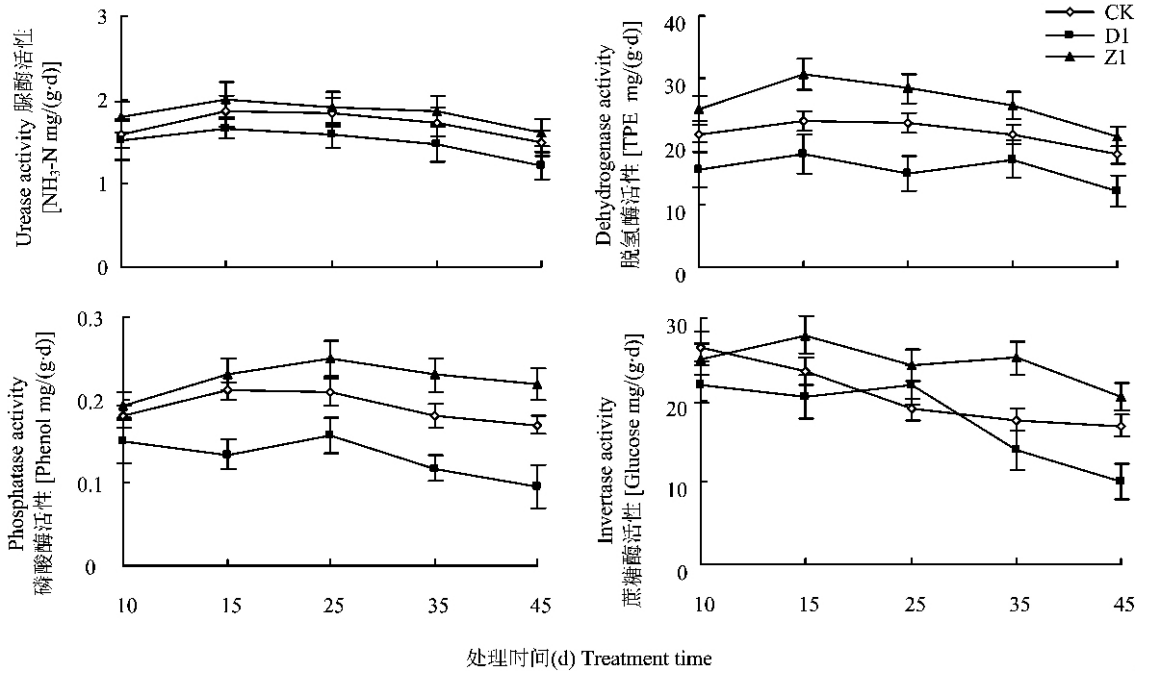

图 3　根际通气对黄瓜栽培基质酶活性的影响

Fig.3　Effects of the rhizosphere aeration on enzyme activities in the matrix of cucumber cultivation

根际通气对蔗糖酶活性影响较大,对脲酶活性影响较小。

2.4　根际通气对黄瓜根、茎、叶干物质积累的影响

表 1 看出,根际通气对黄瓜植株生长影响较大,根、茎、叶、全株干重和根冠比均是 Z1 处理最高,CK 次之,D1 处理最低。与 CK 比,Z1 处理的根、茎、叶、全株干重和根冠比分别提高 13.61%、30.37%、19.96%、21.73% 和 7.44%;而 D1 分别比 CK 降低 22.78%、25.94%、31.92%、30.11% 和 10.13%。表明根际通气好坏,直接影响黄瓜地上部和地下部植株的生长发育,特别是对黄瓜叶片干物质积累更为明显。

表 1　根际通气对黄瓜各器官干物质积累的影响

Table 1　Influences of the rhizosphere aeration on dry matter accumulation of different cucumber organs

处理 Treatment	干重 Dry weight (g/plant,DW)				地上部/地下部 Shoot/Root
	全株 Total plant	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	
CK	50.24 ± 3.02 b	3.16 ± 0.19 ab	10.37 ± 1.22 ab	36.71 ± 4.41 b	14.90 ± 0.89 ab
Z1	61.16 ± 4.50 a	3.59 ± 0.22 a	13.52 ± 2.15 a	44.04 ± 3.12 a	16.01 ± 1.12 a
D1	35.11 ± 3.51 c	2.44 ± 0.31 b	7.68 ± 0.78 b	24.99 ± 5.13 c	13.39 ± 0.35 b

注(Note):同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in same column indicate significant at 5% level.

3　讨论

基质通气栽培的基质脲酶活性、磷酸酶活性均比对照提高,且基质碱解氮和速效磷含量也增加。基质酶活性的增加很可能与基质微生物活性有关,其功能的多样性与 O_2 和 CO_2 浓度也有关[18-19]。根际通气不良时,O_2 浓度较低和 CO_2 浓度较高,土壤酶活性降低,因为高 CO_2 浓度导致土壤氧化还原作用和腐质殖的再组合能力下降[14]。根际通气对土壤酶活性影响的机理目前尚不清楚。根际通气对基质酶活性和基质养分含量的影响可能是因为根际通气改善后,影响了基质微生物区系变化,导致基质微生物细胞内酶,胞间酶活性增强[20-21]。Dixon 和 Kell[18] 研究表明,微生物对 O_2 的吸收被高浓度 CO_2 所限制,并且较高的 O_2 水平能部分的弥补 CO_2 的抑制作用,推测是因为有更多的氧气分子能够进入细胞内。说明 O_2 和 CO_2 浓度对土壤呼吸作用的影响,是刺激和抑制共同作用的结果[20]。本试验表明,

密闭栽培处理基质酶活性、基质碱解氮和速效磷含量都显著降低,以蔗糖酶活性降低幅度最大。其原因可能是低 O_2 浓度和高 CO_2 浓度对微生物产生一定的抑制作用,随处理时间延长,O_2 不断消耗,CO_2 不断积累,使根际胁迫加重,导致基质酶活性迅速降低。通气处理基质速效钾含量下降较快,特别是在处理前期尤为明显;而密闭栽培处理基质速效钾含量在处理期间变化不明显,均显著地高于对照和通气处理。有报道表明,根际通气对根系的呼吸作用影响较大,根际通气不良会减少根系对能量的获得,限制了其对氧、养分和水分的吸收能力,特别对钾的吸收影响最大,通气良好可以增加钾肥的肥效[13]。

土壤的通气状况不仅会影响土壤本身,还会影响根系对养分水分的吸收和运输,最终影响植株的生长发育[13]。根系吸收养分和水分是消耗能量的过程,能量的供给主要是根系有氧呼吸释放的。当氧气浓度较低时,有氧呼吸电子传递链停止,根系呼吸速率下降;当土壤环境中 CO_2 浓度过高时,脱羧反应受抑制,呼吸速率也下降,使根系释放的能量大大减少[11]。本试验表明,通气栽培显著提高了全株的干重,而密闭栽培则显著降低了全株的干重。所以改善根际通气环境可以促进根系对养分水分的吸收,有利于提高设施蔬菜的产量和品质。

参考文献:

[1] 刘晚苟,山仑,邓西平. 植物对土壤紧实度的反应[J]. 植物生理学通讯,2001,37(3):254-260.
Liu W G, Shan L, Deng X P. Responses of plant to soil compaction [J]. Plant Physiol. Commum., 2001, 37(3):254-260.

[2] Lenssen A W, Johnson G D, Carlson G R. Cropping sequence and tillage system influences annual crop production and water use in semiarid Montana, USA [J]. Field Crops Res., 2007, 100:32-43.

[3] 李志洪,王淑华. 土壤容重对土壤物理性状和小麦生长的影响[J]. 土壤通报,2000,31(2):55-57.
Li Z H, Wang S H. Effects of soil bulk density on the physic characters of soil and the growth of wheat [J]. Chin. J. Soil Sci.,2000, 31(2):55-57.

[4] Bandick A K, Dick R P. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biol. Biochem., 1999, 31:1471-1479.

[5] Deng S P, Tabatabai M A. Cellulase activity of soils[J]. Soil Biol. Biochem., 1994, 26:1347-1354.

[6] 邱莉萍,刘军,王益权,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):277-280.
Qiu L P, Liu J, Wang Y Q *et al*. Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(3):277-280.

[7] Wu W X, Ye Q F, Min H *et al*. Bt-transgenic rice straw affects the culturable microbiota and dehydrogenase and phosphatase activities in a flooded paddy soil [J]. Soil Biol. Biochem., 2004, 36:289-295.

[8] 吴凤芝,栾非时,王东凯,等. 大棚黄瓜连作对根系活力及其根际土壤酶活性影响的研究[J]. 东北农业大学学报,1996,27(3):255-258.
Wu F Z, Luan F S, Wang D K *et al*. Effects of the continuous cropping on the vitality of root system and the enzyme activity in the periroot soil of the plastic greenhouse cucumbers [J]. J. Northeast Agric. Univ., 1996, 27(3):255-258.

[9] Rogers H H, Runion G B and Krupka S V. Plant response to atmospheric CO_2 enrichment with emphasis on roots and rhizosphere [J]. Environ. Poll., 1994, 83:115-189.

[10] Chong S K, Boniak R. Carbon dioxide content in golf green rhizosphere[J]. Crop Sci., 2004, 44(4):1337-1340.

[11] Vartapetian B B, Jackson M B. Plant adaptations to anaerobic stress [J]. Ann. Bot., 1997, 79 (Suppl. A):3-20.

[12] 秦耀东. 土壤物理学[M]. 北京:高等教育出版社,2003. 146.
Qin Y D. Soil physics [M]. Beijing:Higher Eduation Press, 2003. 146.

[13] 梁永超. 土壤通气性与植物根系代谢[J]. 土壤学进展,1994,22(30):34-39.
Liang Y C. Soil aeration and root metabolism in plant [J]. Adv. Soil Sci., 1994, 22(30):34-39.

[14] Hank G, William A, Timothy D C. Conditions leading to high CO_2 (> 5 kPa) in waterlogged-flooded soils and possible effects on root growth and metabolism [J]. Ann. Bot., 2006, 98:9-32.

[15] 严昶升. 土壤肥力研究法[M]. 北京:农业出版社,1988. 277-279.
Yan C S. Research methods for soil fertility [M]. Beijing:Agricultural Press, 1988. 277-279.

[16] Bailey, Serres J, Chang R. Sensing and signaling in response to oxygen deprivation in plants and other organisms [J]. Ann. Bot., 2005, 96:507-518.

[17] Mayr C, Miller M, Insam H. Elevated CO_2 alters community level physiological profiles and enzyme activities in alpine grasslands [J]. J. Microbiol. Methods, 1999, 36:35-43.

[18] Dixon N N, Kell D B. The inhibition of CO_2 of the growth and metabolism of micro-organisms [J]. J. Appl. Bacteriol., 1989, 67:109-136.

[19] Pregitzer K S, Zak D R, Maziasz J *et al*. Interactive effects of atmospheric CO_2 and soil- N availability on fine roots of populus tremuloides [J]. Ecol. Appl., 2000, 10:18-33.

[20] Balota E L, Kanashiro M, Filho A C *et al*. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems [J]. Braz. J. Microbiol., 2004, 35:300-306.

[21] Emilssona T, Berndtssonb J C, Mattssona J E *et al*. Effect of using conventional and controlled release fertilizer on nutrient runoff from various vegetated root systems [J]. Ecol. Eng., 2007, 29:260-271.