

## 增氧和施有机肥对土壤肥效及水稻生长的影响

张立成<sup>a</sup>, 胡德勇<sup>b\*</sup>, 肖卫华<sup>b</sup>, 彭沛宇<sup>b</sup>, 廖健程<sup>b</sup>, 丁鑫<sup>b</sup>

(湖南农业大学 a.资源环境学院; b.工学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 研究土壤增氧条件下施加绿肥(紫云英)和施加农家肥(干牛粪)对水稻生长和产量的影响。于水稻生长过程中不同时期采集处理组土壤样品, 分析其碱解氮含量、速效磷含量和速效钾含量的变化; 于水稻成熟后测定各处理组水稻的分蘖数、叶面积指数和产量等农艺性状指标。结果表明: 增氧处理能够促进有机肥肥效元素的释放, 提高土壤有效态肥效元素含量; 增氧条件下, 施加绿肥和农家肥均可促进水稻的分蘖生长, OAF(增氧施绿肥)和OCF(增氧施农家肥)处理的总分蘖数分别为 51.34 和 50.16, 对照组总分蘖数为 36.93; 增氧施农家肥处理比单施农家肥处理组的叶面积指数显著提高, 增氧施绿肥处理与不增氧施绿肥处理组叶面积指数的差异无统计学意义; 增氧施加有机肥处理组水稻的稻穗长度、穗结实粒数、每株谷粒质量均显著大于单施有机肥处理组, 大于对照组。增氧与施有机肥相结合可有效提高土壤的肥效, 促进作物生长。

**关键词:** 水稻; 增氧处理; 有机肥; 紫云英; 干牛粪

中图分类号: S158.5

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2017)06-0012-05

## Effects of oxygen aeration and organic fertilizers on the efficiency of soil fertilizer and rice growth

ZHANG Licheng<sup>a</sup>, HU Deyong<sup>b\*</sup>, XIAO Weihua<sup>b</sup>, PENG Peiyu<sup>b</sup>, LIAO Jiancheng<sup>b</sup>, DING Xin<sup>b</sup>

(a.College of Resources and Environments; b. College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

**Abstract:** The effects of oxygen aeration and applying *Astragalus sinicus* and dry cow dung on rice growth and yields were researched by analyzing changes of contents of AN (alkaline hydrolysis nitrogen), AP (available phosphorous) and AK (available potassium) in soil samples collected at different treatments and different stages of rice growth. The agronomic traits of tiller numbers, leaf area index and yields were recorded after rice maturation as well. The results showed that oxygen aeration could enhance elements release from organic fertilizers and increase available fertilizer contents. Tiller growth could be promoted both by applying *Astragalus sinicus* and dry cow dung under oxygen aerobic, and the total number of tillers in OAF (treatment with oxygen aeration and green fertilizer), OCF (treatment with oxygen aeration and farmyard manure) and CK (control) were 51.34, 50.16 and 36.93, respectively. The leaf area index was significantly increased in treatment of oxygen aeration and applying dry cow dung compared to the treatment of only applying dry cow dung. However, there was no significant difference on leaf area index under whether oxygen aeration or not in the treatment of applying *Astragalus sinicus*. The ear length, number and weight of grains were all greater in the treatment of oxygen aeration with applying organic fertilizer than those in other and control treatments. The combination of oxygen aeration and applying organic fertilizer could effectively improve soil fertility and rice growth.

**Keywords:** rice; oxygen aeration; organic fertilizer; *Astragalus sinicus*; dry cow dung

作物栽培过程中进行增氧处理是一项新的栽培技术。增氧处理可以改善作物根际生长环境, 使

根系发达, 进而促进作物生长<sup>[1]</sup>。作物生长过程中, 大多数作物根系需要进行有氧呼吸。土壤中氧气不

收稿日期: 2017-06-06

修回日期: 2017-10-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(31401951)

作者简介: 张立成(1987—), 男, 湖南邵阳人, 博士研究生, 主要从事农业环境土壤科学研究, zlc730@163.com; \*通信作者, 胡德勇, 博士, 副教授, 主要从事农业环境科学与节水灌溉技术研究, hdy9609@hunau.net

足会影响作物根系的生长发育和作物对土壤养分的吸收<sup>[2]</sup>。旱地作物土壤被雨水淋透后紧实度增加,土壤孔隙被液态水填充,土壤气体含量减少<sup>[3]</sup>。水生作物土壤由于长期处于浸水状态,其土壤气体含量一般低于旱地作物,因此,一般通过进行排水晒田处理<sup>[4-5]</sup>来增加水生作物土壤的通透性。水稻属于水生类作物,其生长周期短于小麦、玉米等旱地作物,但对水资源的需求量比小麦、玉米等旱地作物的大。由于稻田土壤长期处于饱和含水状态,土壤中气体含量不足,因此,对稻田土壤进行增氧处理将有效改善土壤含氧量低对作物生长的不利影响。

作物生长过程中,大量施加化学肥料会出现土壤次生盐碱化和土壤板结等现象,影响作物生长和土壤质地<sup>[6-8]</sup>。施有机肥对土壤质地影响较少,可维持土壤原有的耕种特性,但有机肥难于被作物直接吸收利用,肥效较低,作物增产效果不明显。有机肥主要来源于腐蚀分解的植物和动物粪便。土壤中有有机肥的肥效元素主要以有机态存在,需经过土壤中微生物分解将其转化成无机态才能被作物吸收利用<sup>[9-10]</sup>。土壤微生物量以及微生物群落结构均与土壤中气体含量密切相关。增氧对土壤中好氧菌的生长有益。硝化细菌类、溶磷菌类、解钾菌类等大都属于好氧微生物,这些微生物对有机肥分解具有促进作用<sup>[11-12]</sup>。笔者研究土壤增氧条件下施以绿肥和农家肥对土壤肥效和水稻生长的影响,旨在探寻改变土壤环境和提高土壤肥效的技术措施。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

水稻品种为超级稻品种“深两优 5814”。试验土壤为湖南农业大学耘园试验基地水稻土,属第四纪发育的红黄泥,肥效中等,其全氮含量、全磷含量、全钾含量分别为 1.34、0.25、35.56 g/kg,碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量分别为 70.51、36.70、117.13 mg/kg,有机质含量为 16.91 g/kg, pH 值为 6.03。塑料试验盆的盆底直径为 25 cm,盆口直径为 30 cm,盆高为 30 cm。

主要仪器设备为林夕牌电磁式通气泵(功率 20 W)、叶面积仪(LAI-2000)和金科德定时开关。

### 1.2 试验设计

试验于 2016 年 3 月在湖南农业大学土肥资源高

效利用国家实验室中心试验站透光大棚中进行。采用盆栽试验,设置单施绿肥、单施农家肥、增氧施绿肥、增氧施农家肥 4 种处理方式,并将其分别编号为 AF、CF、OAF、OCF,以不增氧且不施肥的处理为对照(CK)。每个处理均重复 6 次。

绿肥施入方式:将切碎的新鲜紫云英与土拌匀后施入。农家肥施入方式:将干牛粪与土拌匀后施入。施肥前测定紫云英和干牛粪中肥效元素的含量。紫云英鲜草氮、磷、钾含量分别为 0.35%、0.12%、0.24%,有机质含量为 11.3%,水分含量为 85.4%。干牛粪氮、磷、钾含量分别为 2.18%、1.32%、1.65%,有机质含量为 42.21%,水分含量为 6.24%。为使施加有机肥后 2 种土壤的氮、磷、钾含量相等,紫云英鲜质量与土壤质量的比为 1:20,干牛粪质量与土壤质量的比为 1:160。

采用通气泵向土壤中增氧。于每个增氧处理组的土壤中预先埋置通气管。以导气速率 3.3 L/min 的通气泵通气 4 min,并每隔 2 h 通气 1 次,保持土壤中气体含量充足。采用金科德定时开关自动控制通气。

### 1.3 检测指标及方法

土壤理化性质检测参照文献[13]进行。将水稻移栽至试验盆后测定土壤碱解氮含量、速效磷含量和速效钾含量,此后每隔 15 d 采集土样测定 1 次。采集的土壤样品为非根际土壤。每个试验盆移栽 1 株水稻苗,统计水稻总分蘖数、有效分蘖数,量取水稻株高,用叶面积仪 LAI-2000 测定叶面积指数。水稻成熟后测定水稻产量。

### 1.4 数据处理

用 Excel 2010 分析试验数据。用 SPSS 19.0 进行差异显著性分析(Duncan's 新复极差法)。

## 2 结果与分析

### 2.1 各处理水稻土壤的肥效

#### 2.1.1 各处理土壤的碱解氮含量

由图 1 可知,水稻移栽后 0 d,各处理组土壤中碱解氮含量的差异无统计学意义。随着水稻生长发育时间的推移,增氧施有机肥处理组的土壤碱解氮含量呈上升趋势,对照组呈下降趋势。水稻移栽后 15 d,OAF、AF 的碱解氮含量均显著高于 CK 的,

OAF 的碱解氮含量显著高于 AF 的, OCF、CF 的碱解氮含量均显著高于 CK 的, OCF 的碱解氮含量显著高于 CF 的。水稻移栽后 15~30 d, AF、CF 的碱解氮含量上升较快; 水稻移栽后 30~45 d, OAF、OCF 的碱解氮含量上升较快。水稻移栽后 45~75 d, OAF、OCF 的碱解氮含量上升较慢, AF、CF 的碱解氮含量呈下降趋势。增氧施有机肥处理在水稻移栽后 30~45 d 土壤碱解氮含量明显提高。

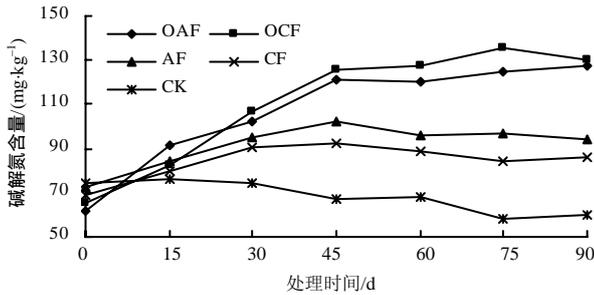


图 1 各处理土壤的碱解氮含量

Fig.1 Contents of alkali hydrolysable nitrogen in soil at different treatments

### 2.1.2 各处理土壤的速效磷含量

由图 2 可知, 水稻移栽后 0 d 和 15 d, 各处理组土壤中速效磷含量的差异均无统计学意义。水稻移栽后 30 d, OAF、AF 的速效磷含量均显著高于 CK 的, OAF 的速效磷含量显著高于 AF 的, OCF、CF 的速效磷含量均显著高于 CK 的, OCF 的速效磷含量显著高于 CF 的。水稻移栽后 30~45 d, OAF、OCF 的速效磷含量上升较快。水稻移栽后 0~90 d, 各处理组的速效磷含量呈上升趋势, 对照组的速效磷含量趋于稳定。土壤中速效磷含量的迁移量小, 与根系无接触的磷素在土壤中保持相对稳定状态。

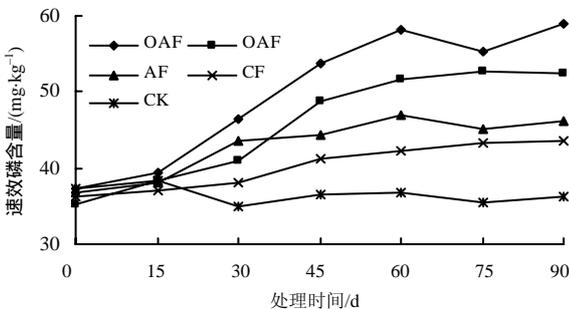


图 2 各处理土壤的速效磷含量

Fig.2 Contents of available phosphorous in soil at different treatments

### 2.1.3 各处理土壤的速效钾含量

由图 3 可知, 水稻移栽后 0 d 和 15 d, 各处理

土壤速效钾含量的差异无统计学意义。水稻移栽后 30 d, OAF、AF 的速效钾含量均显著高于 CK 的, OAF 的速效钾含量显著高于 AF 的, OCF、CF 的速效钾含量均显著高于 CK 的, OCF 的速效钾含量显著高于 CF 的。水稻移栽后 15~30 d, OAF、OCF 的速效钾含量上升较快。水稻移栽后 0~90 d, 各处理组的速效钾含量呈上升趋势, 对照组的速效钾含量呈下降趋势。

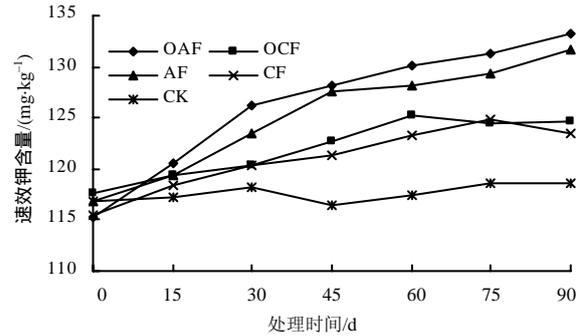


图 3 各处理土壤的速效钾含量

Fig.3 Contents of available potassium in soil at different treatments

## 2.2 各处理水稻的主要农艺性状

由表 1 可知, OAF 的总分蘖数显著大于 AF 的, OCF 的总分蘖数显著大于 CF 的, 增氧施有机肥处理的水稻生长明显好于单施有机肥处理的, 其中增氧施绿肥处理和增氧施农家肥处理的总分蘖数分别比对照提高了 18.54% 和 13.37%。AF 与 CF 水稻总分蘖数的差异无统计学意义, 而 CF 的有效分蘖数显著大于 AF 的。OAF 与 OCF 水稻总分蘖数的差异无统计学意义, OAF 与 OCF 有效分蘖数的差异无统计学意义。OAF、OCF、AF、CF 的总分蘖数均显著大于 CK 的。上述分析结果表明水稻分蘖生长与土壤肥效相关, 增氧处理能有效促进水稻有效分蘖生长, 其中增氧施绿肥处理和增氧施农家肥处理的有效分蘖数分别比对照提高了 15.33% 和 8.34%。各处理组株高的差异无统计学意义, 说明施肥和增氧处理对水稻株高生长无显著影响。OAF、OCF 的叶面积指数均显著大于 CK 的。OAF 与 AF 叶面积指数的差异无统计学意义, OCF 的叶面积指数显著大于 CF 的。OCF 的叶面积指数显著大于 OAF 的, AF 与 CF 叶面积指数的差异无统计学意义。增氧施农家肥和增氧施绿肥能显著提高水稻的叶面积指数, 分别比对照高 14.03% 和 6.07%。

表 1 各处理组水稻的生长特征指标

处理	总分蘖数	有效分蘖数	株高/cm	叶面积指数
OAF	(51.34±3.08)a	(35.23±2.69)a	105.27±1.09	(3.13±0.14)b
OCF	(50.16±2.14)a	(36.91±2.82)a	104.06±0.83	(3.35±0.17)a
AF	(41.82±2.66)b	(30.52±1.68)c	103.73±1.26	(2.94±0.08)bc
CF	(42.47±1.85)b	(33.83±1.94)b	105.59±1.17	(2.88±0.12)c
CK	(36.93±1.72)c	(27.14±1.55)d	104.24±0.95	(2.84±0.06)c

同列数据后不同字母示处理组间的差异显著( $P<0.05$ )

### 2.3 各处理水稻的产量

由表 2 可知, OAF、OCF 的平均穗长均显著大于 CK 的, OAF 与 OCF 平均穗长的差异无统计学意义。AF 与 CF 平均穗长的差异无统计学意义, OAF 的平均穗长均显著大于 AF 的, OCF 的平均穗长均显著大于 CF 的。增氧后 2 种施肥方式均能显著提高水稻的穗长。OAF、OCF、AF、CF 的平均每穗结实粒数均显著大于 CK 的。OAF 的平均每穗结实粒数显著大于 AF 的, OCF 的平均每穗结实粒数显著大于 CF 的。2 种施肥方式均能增加水稻的结实粒数, 增氧施肥处理水稻结实粒数的增幅更

大。各处理千粒质量的差异无统计学意义, 增氧或施肥对水稻千粒质量无明显影响。OCF 与 OAF 平均每株谷粒质量的差异无统计学意义。AF 与 CF 平均每株谷粒质量的差异无统计学意义。OAF、OCF、AF、CF 的平均每株谷粒质量均显著大于 CK 的。OAF 的平均每株谷粒质量显著大于 AF 的, OCF 的平均每株谷粒质量显著大于 CF 的。增氧施农家肥和增氧施绿肥能显著提高水稻的谷粒质量, 分别比对照高 13.35% 和 11.32%。增氧和施有机肥相结合能促进水稻的生长发育和结实。

表 2 各处组水稻的产量指标

处理	平均穗长/cm	平均每穗结实粒数	千粒质量/g	平均每株谷粒质量/g
OAF	(17.57±2.13)a	(107.29±8.31)a	24.51±0.56	(80.61±5.43)a
OCF	(18.03±1.64)a	(108.71±4.25)a	24.68±0.41	(82.08±4.26)a
AF	(15.32±2.41)b	(102.69±5.73)b	23.92±0.73	(77.35±2.08)b
CF	(15.85±1.15)b	(101.34±7.52)b	24.31±0.51	(76.43±3.91)b
CK	(14.32±1.79)b	(97.26±3.84)c	24.16±0.39	(72.41±3.35)c

同列数据后不同字母示处理组间的差异显著( $P<0.05$ )

### 3 结论与讨论

水稻田施有机肥可以提高土壤有机质含量和土壤肥效, 改良土壤理化性质, 促进作物生长<sup>[14-15]</sup>。单施有机肥的稻田水稻增产效益低, 原因是土壤中的有机肥较难分解, 作物吸收利用率低<sup>[16-17]</sup>。通过增氧处理后, 发现盆栽水稻非根际土壤中碱解氮、速效磷、速效钾含量增加。增氧有利于土壤中的好氧微生物生长, 部分好氧微生物具有促进有机肥分解的作用, 因此, 土壤促分解微生物的数量增加和活性提高是增强土壤中肥效元素释放的重要因素。本研究中增氧施绿肥和增氧施农家肥处理能够提高土壤有机肥分解, 使土壤中碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量增加。长期将大量的有机肥施入土壤, 使未能完全分解的有机肥不断转化成硝酸

盐, 会对作物产量和品质产生不利影响, 荷兰、英国等国家已出现此类情况<sup>[18-19]</sup>。通过增氧处理提高有机肥的降解速率, 减少未完全分解物的积累, 是建立可持续生态农业发展的有效途径。

水、肥、气是影响水稻生长发育的主要因子<sup>[20]</sup>。增氧处理有利于水稻根系的生长, 使根系发达, 根系活力增强, 并能延缓根系的衰老<sup>[21-22]</sup>。增氧处理不仅对水稻生长有利, 而且对旱地作物油菜、马铃薯等有较好的促长增产作用<sup>[23-24]</sup>。本研究中增氧施有机肥处理比单施有机肥处理能促进水稻的分蘖生长和提高叶面积指数; 增氧施有机肥处理水稻产量构成因子中的穗长度、结实数和谷粒总质量均显著高于单施有机肥处理的。土壤氧气含量的提高使土壤微生物生长环境发生改变, 有机肥依靠微生物的降解作用提高土壤肥效。增氧与施有机肥相结合是

维持土壤质地稳定、提高作物产量、保护生态环境的较好的耕作方式。

增氧施有机肥处理能促进土壤中有有机肥碱解氮、速效磷、速效钾等肥效元素的释放,增氧施绿肥和增氧施农家肥处理的各类肥效元素随移栽时间的上升趋势相同;增氧施绿肥处理组的水稻总分蘖数和有效分蘖数分别比对照组提高了18.54%、13.37%,增氧施农家肥处理组的水稻总分蘖数和有效分蘖数分别比对照组提高了15.33%、8.34%;增氧施绿肥处理的叶面积指数比对照组高6.07%,施农家肥处理的叶面积指数比对照组高14.03%;增氧施绿肥处理组和增氧施农家肥处理组的水稻平均每株谷粒质量比对照组分别高11.32%、13.35%。可见,增氧施有机肥的栽培方式对水稻增产和提高土壤肥效具有显著作用。

#### 参考文献:

- [1] 雷宏军,胡世国,潘红卫,等.土壤通气性与加氧灌溉研究进展[J].土壤学报,2017,54(2):297-308.
- [2] SEY B K, MANCEUR A M, WHALEN J K, et al. Root-derived respiration and nitrous oxide production as affected by crop phenology and nitrogen fertilization[J]. Journal of Experimental Psychology - Animal Behavior Processes, 2010, 326(1/2): 369 - 379.
- [3] KANG Y Y, GUO S R, DUAN J J. Effects of root zone hypoxia on respiratory metabolism of cucumber seedlings roots[J]. The journal of Applied Ecology, 2008, 19(3): 583-587.
- [4] 顾春焕.中国水稻高产栽培技术创新与实践[J].农业与技术,2016,36(6):110.DOI:10.11974/nyyjs.20160333098.
- [5] 甄博,郭树龙,周新国,等.不同晒田处理对南方易涝易渍地区水稻生长的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(6):47-50.DOI:10.13522/j.cnki.ggps.2014.06.010.
- [6] REZIG F A M, ELHADI E A, MUBARAK A R. Impact of organic residues and mineral fertilizer application on soil-crop systems I: yield and nutrients content[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2013, 59(9): 1229-1243. DOI:10.1080/03650340.2012.709622.
- [7] 孙浩燕.施肥方式对水稻根系生长、养分吸收及土壤养分分布的影响[D].武汉:华中农业大学,2015.10.7666/d.Y2803054.
- [8] LI H, HE W, CAO L, et al. Effect of application different NPK fertilizer and ratio on the wolfberry output and quality in secondary salinization of soil[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2010, 31(2): 27-32.
- [9] AULAKH M S, KHERA T S, DORAN J W, et al. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000(5): 1867-1876.
- [10] PELHATE J. Oxygen depletion as a method in grain storage: microbiological basis[J]. Developments in Agricultural Engineering, 1980: 133-146. DOI:10.1016/b978-0-444-41939-2.50019-x.
- [11] 肖卫华,姚帮松,张文萍,等.根区通气增氧对杂交水稻根系及根际土壤微生物的影响研究[J].中国农村水利水电,2016(8):41-43.
- [12] 肖卫华,刘强,姚帮松,等.增氧灌溉对杂交水稻分蘖期的影响研究[J].江西农业大学学报,2015,37(5):774-780.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,北京,2005.
- [14] 周卫军,王凯荣,张光远.有机无机结合施肥对红壤稻田土壤氮素供应和水稻生产的影响[J].生态学报,2003,23(5):914-921. DOI:10.3321/j.issn:1000-0933.2003.05.011.
- [15] 黄晶,高菊生,张杨珠,等.长期不同施肥下水稻产量及土壤有机质和氮素养分的变化特征[J].应用生态学报,2013,24(7):1889-1894.
- [16] STUMBORG C, SCHOENAU J J, MALHI S S. Nitrogen balance and accumulation pattern in three contrasting prairie soils receiving repeated applications of liquid swine and solid cattle manure[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems 2007, 78(1): 15-25. DOI:10.1007/s10705-006-9071-5.
- [17] TONG Y A, EMTERYD O, LU D Q, et al. Effect of organic manure and chemical fertilizer on nitrogen uptake and nitrate leaching in a Eum-orthic anthrosols profile[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1997, 48: 225-229.
- [18] 才硕.微纳米气泡增氧灌溉技术在水稻灌区节水减排中的应用研究[J].节水灌溉,2016(9):117-120,128.
- [19] 张文萍,肖卫华,姚邦松,等.增氧灌溉条件下不同施磷量对水稻分蘖期根系的影响研究[J].节水灌溉,2016(8):27-29.
- [20] 徐春梅,谢涛,王丹英,等.根际氧浓度对水稻分蘖期养分吸收和根系形态的影响[J].中国水稻科学,2015,29(6):619-627. DOI:10.3969/j.issn.1001-7216.2015.06.008.
- [21] 朱练峰,刘学,禹盛苗,等.增氧灌溉对水稻生理特性和后期衰老的影响[J].中国水稻科学,2010,24(3):257-263. DOI:10.3969/j.issn.1001-7216.2010.03.008.
- [22] 卢芳,杨文娟,曹兵.增氧灌溉对两种盆栽果树生长的影响[J].北方园艺,2014(20):72-75.
- [23] 刘朵朵,姚帮松,张文萍,等.根区供氧对滞水油菜生长特性的影响研究[J].灌溉排水学报,2013,32(3):128-130. DOI:10.7631/j.issn.1672-3317.2013.03.031.
- [24] 陈涛,姚帮松,肖卫华,等.增氧灌溉对马铃薯产量及水分利用效率的影响[J].中国农村水利水电,2013(8):70-72. DOI:10.3969/j.issn.1007-2284.2013.08.018.

责任编辑:王赛群

英文编辑:王 庠