

## 不同供氮水平下油菜根系的反应差异

王小娟<sup>1</sup>, 宋海星<sup>1\*</sup>, 陈历儒<sup>2</sup>, 刘强<sup>1</sup>, 荣湘民<sup>1</sup>, 张振华<sup>1</sup>, 官春云<sup>3</sup>

(1.湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 2.岳阳市农产品质量检验检测中心, 湖南 岳阳 414000; 3.国家油料改良中心 湖南分中心, 湖南 长沙 410128)

**摘要:**采用砂培试验,研究了3个油菜品种(231、H29、bin270)在5个施氮水平(0.6、3、6、12、15 mmol/L)下的根系形态与生理特性差异。结果表明:根重、根体积、根长、根系总吸收面积和活跃吸收面积随供氮水平的提高而升高;苗期231的根系活力随供氮水平的提高表现为先降低后增加,H29表现为先降低后增加而后又降低,bin270表现为先增加后降低;盛花期H29根系活力随供氮水平提高表现为先降低后增加,bin270表现为先降低后增加而后又降低,231表现为先增加后降低。同一施氮水平下,bin270的根重、根体积、根长、根系活跃吸收面积(6 mmol/L 除外)和根系总吸收面积(6 mmol/L 除外)均最大,231的根系活跃吸收面积和根系总吸收面积最小,但籽粒产量最大;油菜苗期和盛花期的籽粒产量与根系各项指标呈正相关,根重、根体积、根系总吸收面积和活跃吸收面积对油菜籽粒产量的贡献大于根长、一级侧根数和根系活力。

**关键词:**油菜;供氮水平;根系形态;生理特性

中图分类号:S565.4 文献标志码:A 文章编号:1007-1032(2011)06-0592-06

## Response difference to nitrogen in roots of different varieties of oilseed rape

WANG Xiao-juan<sup>1</sup>, SONG Hai-xing<sup>1\*</sup>, CHEN Li-ru<sup>2</sup>, LIU Qiang<sup>1</sup>, RONG Xiang-min<sup>1</sup>, ZHANG Zhen-hua<sup>1</sup>, GUAN Chun-yun<sup>3</sup>

(1.College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Yueyang Quality Inspection of Agricultural Products Monitoring Center, Yueyang, Hunan 414000, China; 3.Hunan Branch of National Center of Oilseed Crops Improvement, Changsha 410128, China)

**Abstract:** In order to explore the difference in roots of different varieties of oilseed rape in response to nitrogen and its contribution to the yield, sand cultural experiment was conducted to study the morphological and physiological characteristics of roots of 3 oilseed rape varieties under five levels of nitrogen supply. The results showed that the root weight, root volume, total absorbing surface area of roots and active absorption area increased with increasing nitrogen level. With the increasing of nitrogen level, the root vitality of varieties H29 and 231 at seedling stage increased first and then decreased, but that of variety bin270 decreased first and increased afterwards, the root vitality of varieties H29 and bin270 at full flowering stage decreased first and increased afterwards, but that of variety 231 increased first and decreased afterwards. Under the same nitrogen level, the root weight, root volume, total absorbing surface area of roots and active absorption area of variety bin270 were the largest; variety 231 showed the smallest total absorbing surface area of roots and active absorption area, but the highest kernel yield. Kernel yield had positive correlations with the root indexes at seedling and full flowering stages, and the contribution of the root weight, root volume, total absorbing surface area of roots and active absorption area to kernel yield were larger than that of the root length and primary lateral root number.

**Key words:** oilseed rape; nitrogen level; root morphology; morphologic and physiological characteristics

根系作为作物最活跃的养分和水分吸收器官, 其根长、根系活力、根系面积等直接影响作物对养

收稿日期:2011-03-16

基金项目:国家自然科学基金项目(30971860、31071851);国家油菜产业技术体系建设项目(nyctx-00509);国家“863”计划项目(2006BAD21B030);湖南省高校创新平台开放基金项目(09K049);湖南省重大专项(2009FJ1006-1,3)

作者简介:王小娟(1985—),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要从事植物营养与生理学研究,wxj19851015@sina.com; \*通信作者, haixingsong@yahoo.com.cn

分和水分的吸收<sup>[1-2]</sup>。同时,水分及养分条件也影响根系的生长<sup>[3]</sup>。相关研究<sup>[4-5]</sup>表明,在氮素供应不足的情况下,作物主要通过增加根系体积来吸收更多的氮素;在氮素供应充足的条件下,高产品系的根系长度和根表面积较大,有利于减少氮素在深层土壤的累积和不必要的损失。不同作物品种的氮吸收效率也存在明显的差异,吸收能力强的作物在根系形态上表现为长度、体积、分布密度和有效吸收面积较大<sup>[6]</sup>;在生理生化特性上表现为根系氧化能力与脱氢酶活力和细胞色素氧化酶活力强,ATP 含量高,伤流液中氨基酸含量高、种类多;在吸收动力学方面表现为米氏常数小、吸收速率高<sup>[7-8]</sup>。笔者以 3 个冬油菜品种为材料,研究了不同供氮水平下油菜的根系形态和生理特性的反应差异及其与产量的关系,以期能为油菜合理施用氮肥提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

油菜品种为 231、H29、bin270,均由湖南农业大学油料研究所提供。供试氮肥为尿素(含氮量 46%),由湖南兴湘科技开发有限公司提供。

### 1.2 试验设计

试验于 2007 年 9 月至 2008 年 5 月在湖南农业大学农业资源与环境试验基地进行。2007 年 9 月 30 日大田育苗,10 月 30 日移栽至棕色塑料钵(30 cm×30 cm),每钵 1 株。设 0.6、3、6、12、15 mmol/L 5 个施氮处理(分别以 N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>、N<sub>4</sub>、N<sub>5</sub> 表示),共 15 个处理,每处理设 9 次重复,完全随机区组

排列。采用 Hoagland 完全营养液<sup>[9]</sup>按油菜不同生育期正常生长的营养需求量进行浇灌

### 1.3 取样及测定方法

在苗期和盛花期分别取 3 钵油菜的全部根系,洗净并吸干水分后测定根系体积<sup>[10]</sup>、根长<sup>[10]</sup>、根系吸收表面积<sup>[10]</sup>、根系活力<sup>[11]</sup>、侧根数(直接数出)。待油菜成熟后收获夹果,102 ℃烘干至恒重后脱粒,称量籽粒重。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 统计分析软件进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 供试油菜的根重和根系体积

由表 1 可知,3 个油菜品种在苗期和盛花期的根重均随施氮水平的增加而增加。苗期 bin270、H29 和 231 的根重在 N<sub>5</sub> 处理下最大,分别比 N<sub>1</sub> 处理的高 164.08%、199.57%和 138.2%,显著高于 N<sub>1</sub> 处理。苗期同一施氮处理下均以 bin270 的根重最大,H29 最小;不同施氮处理下,bin270 的根重比 H29 分别大 67.78%、58.05%、22.32%、44.03%、47.57%。盛花期 bin270、H29 和 231 的根重在 N<sub>5</sub> 处理下最大,分别比 N<sub>1</sub> 处理的高 169.14%、133.94%和 210.86%;盛花期同一施氮处理下均以 bin270 的根重最大,N<sub>5</sub> 处理下 bin270 根重比 H29 和 231 分别大 15.57%和 9.83%。

表 1 不同供氮水平下油菜的根重和根系体积

生育期	处理	根重/g			根系体积/mL		
		bin270	H29	231	bin270	H29	231
苗期	N <sub>1</sub>	3.87c	2.31b	3.22b	37.00c	31.00c	29.00d
	N <sub>2</sub>	5.14c	3.25b	4.58b	61.33bc	40.00bc	46.33c
	N <sub>3</sub>	5.7bc	4.66ab	5.28ab	66.33bc	51.33bc	57.00bc
	N <sub>4</sub>	7.72b	5.36ab	7.27a	94.67ab	78.00ab	72.00b
	N <sub>5</sub>	10.22a	6.92a	7.67a	115.67a	97.33a	91.67a
盛花期	N <sub>1</sub>	4.44d	4.42c	3.50d	51.5d(a)	48.75b(b)	38.25c(b)
	N <sub>2</sub>	6.82c	5.30c	5.67cd	81.25c(a)	69.75ab(b)	50.00bc(b)
	N <sub>3</sub>	8.8bc	7.84b	6.94bc	101.00bc(a)	85.00a(b)	63.75b(b)
	N <sub>4</sub>	10.29ab(a)	7.72b(ab)	8.53b(b)	108.25ab(a)	77.25a(b)	91.00a(b)
	N <sub>5</sub>	11.95a	10.34a	10.88a	129.00a(a)	96.00a(a)	103.50a(a)

N<sub>5</sub>处理下苗期bin270、H29和231的根系体积比N<sub>1</sub>处理的分别高212.62%、213.97%和216.10%，差异达显著水平；苗期同一施氮处理下均以bin270的根系体积最大，N<sub>5</sub>处理bin270的根系体积分别比H29、231高18.84%和26.18%。盛花期N<sub>5</sub>处理bin270和H29的根系体积比N<sub>1</sub>处理分别高150.49%和170.59%。

## 2.2 供试油菜的根长和根系一级侧根数

由表2可知，苗期N<sub>5</sub>处理bin270的根长显著大于N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>和N<sub>3</sub>处理，N<sub>5</sub>处理231的根长显著大于N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>处理，不同施氮处理下H29的根长差异均不显著；N<sub>5</sub>处理下bin270和231根长分别比N<sub>1</sub>处理的高184.22%、421.65%，说明适当提高供氮水平可显著

提高苗期bin270和231的根长；除N<sub>4</sub>处理外，其他施氮处理的各油菜品系根长均以bin270最长。盛花期同一施氮处理下的根长均以bin270最长；N<sub>2</sub>和N<sub>3</sub>处理bin270的根长比H29分别高109.45%和68.00%。

苗期不同施氮处理下bin270侧根数差异不显著；N<sub>5</sub>处理下H29的侧根数显著高于N<sub>1</sub>处理，但与N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>、N<sub>4</sub>处理的差异不显著。盛花期H29和231的侧根数随供氮水平的提高而增加，N<sub>5</sub>处理的侧根数分别比N<sub>1</sub>处理的增加31.38%和34.95%；同一施氮处理下均以231的侧根数最少，N<sub>5</sub>处理下231的侧根数比bin270和H29分别低19.50%和18.47%，差异达显著水平。

表2 不同供氮水平下油菜的根长和一级侧根数

Table 2 Effects of different nitrogen levels on the root length and number of primary lateral root of different varieties of oilseed rape

生育期	处理	根长/m			侧根数/个		
		bin270	H29	231	bin270	H29	231
苗期	N <sub>1</sub>	56.4b	47.8	23.1b	96(a)	64b(c)	81b(b)
	N <sub>2</sub>	58.7b	51.2	48.3b	111	89ab	92b
	N <sub>3</sub>	71.6b	62.1	71.5ab	110	102ab	106b
	N <sub>4</sub>	90.7ab	105.2	80.7ab	112(b)	91ab(b)	158a(a)
	N <sub>5</sub>	160.3a	121.9	120.5a	133	121a	138a
盛花期	N <sub>1</sub>	170.5	129.7	163.8	356c	376b	309
	N <sub>2</sub>	261.6(a)	186.5(ab)	124.9(b)	423bc	434ab	369
	N <sub>3</sub>	302.9(a)	240.7(ab)	180.3(b)	393c	454ab	377
	N <sub>4</sub>	269.7	256.5	237.8	474ab	477ab	413
	N <sub>5</sub>	309.4	304.9	294.7	518a(a)	494a(a)	417(b)

## 2.3 供试油菜的根系总吸收面积和活跃吸收面积

从表3可知，苗期H29和231的根系总吸收面积随供氮水平的提高而增加，N<sub>5</sub>处理的根系总吸收面积分别比N<sub>1</sub>处理高224.54%、142.7%，差异达显

著水平；除N<sub>3</sub>处理外，同一施氮处理下根系总吸收面积均以bin270最大，231最小。盛花期bin270、231根系总吸收面积随供氮水平的提高而增加，N<sub>5</sub>处理与N<sub>1</sub>处理间差异达显著水平。

表3 不同供氮水平下油菜的根系总吸收面积和活跃吸收面积

Table 3 Effects of different nitrogen levels on the total absorbing surface area and active absorption area of roots of different varieties of oilseed rape

生育期	处理	根系总吸收面积/m <sup>2</sup>			根系活跃吸收面积/m <sup>2</sup>		
		bin270	H29	231	bin270	H29	231
苗期	N <sub>1</sub>	2.52c	2.16b	1.85c	1.13c	1.07b	0.95b
	N <sub>2</sub>	4.42bc	2.84b	2.8bc	2.12bc	1.30ab	1.41b
	N <sub>3</sub>	4.17bc	4.60ab	3.44ab	2.07bc	2.34ab	1.59ab
	N <sub>4</sub>	6.00ab	5.40ab	4.31a	3.00ab	2.68ab	2.21a
	N <sub>5</sub>	7.52a	7.01a	4.49a	4.00a	3.28a	2.21a
盛花期	N <sub>1</sub>	4.40b	3.77c	3.40c	2.13b	1.88c	1.68c
	N <sub>2</sub>	6.51ab	5.36bc	4.43bc	3.25ab	2.71bc	2.29bc
	N <sub>3</sub>	8.25a	7.10ab	5.51abc	4.28a(a)	3.76ab(ab)	2.70abc(b)
	N <sub>4</sub>	9.24a(a)	6.71ab(ab)	7.35ab(b)	4.63a	3.41ab	3.77ab
	N <sub>5</sub>	9.29a	8.61a	8.05a	4.70a	4.37a	4.05a

苗期N<sub>5</sub>处理 bin270、H29和231的根系活跃吸收面积比N<sub>1</sub>处理的分别高253.98%、206.54%、132.6%，差异达显著水平；除N<sub>3</sub>处理外，其他4个施氮处理的根系活跃吸收面积均以bin270最大。盛花期bin270、231的根系活跃吸收面积均随供氮水平的提高而增加，N<sub>5</sub>与N<sub>1</sub>处理间差异达显著水平；同一施氮处理下，根系活跃吸收面积均以bin270最大，231最小(N<sub>4</sub>处理除外)，N<sub>5</sub>处理bin270的根系活跃吸收面积比231高16.05%。

### 2.4 供试油菜的根系活力

从图1可以看出，随施氮水平的提高，苗期231的根系活力表现为先降低后增加的趋势，H29表现为先降低后增加而后再降低，而bin270表现为先增加后降低。随供氮水平的提高，H29的根系活力比bin270依次提高了34.25%、13.31%、0.67%、5.77%、3.66%。N<sub>5</sub>处理的bin270的根系活力低于N<sub>4</sub>处理，说明根系活力在较高或较低供氮水平下产生了相

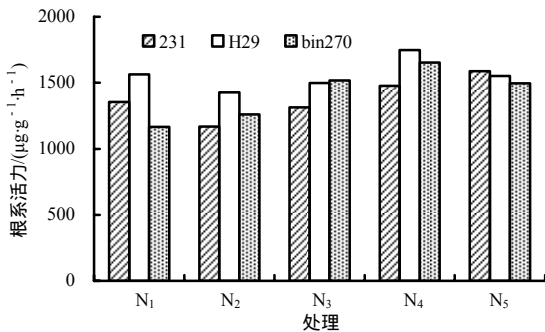


图 1 不同供氮水平下油菜苗期的根系活力

Fig.1 Effects of different nitrogen levels on the root vitality of different varieties of oilseed rape at seedling stage

应的变化，以保证根系吸收氮素总量的稳定。

从图2可以看出，随供氮水平的提高，盛花期231根系活力表现为先增加后降低，H29表现为先降低后增加，而bin270则表现为先降低后增加而后再降低的趋势；N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>、N<sub>5</sub>处理下H29的根系活力比bin270依次提高了82.64%、93.01%、127.98%、61.80%，N<sub>4</sub>处理下则降低了2.57%；N<sub>4</sub>处理下bin270的根系活力高于H29，而N<sub>5</sub>处理下bin270的根系活力却显著低于H29，说明bin270对N<sub>4</sub>处理的氮浓度比较敏感，可能是bin270的最适施氮水平。

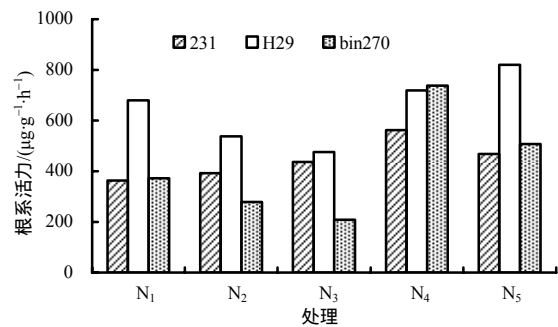


图 2 不同供氮水平下油菜盛花期的根系活力

Fig.2 Effects of different nitrogen levels on the root vitality of different varieties of oilseed rape at full flowering stage

### 2.5 供试油菜的籽粒产量

由表4可知，bin270、H29的籽粒产量均随供氮水平的提高而增加；N<sub>5</sub>处理下bin270、H29和231的籽粒产量比N<sub>1</sub>处理分别高241.80%、214%和199.04%，差异达显著水平。同一氮素水平下各品种间籽粒产量以231最高(N<sub>3</sub>处理除外)，H29最低。

表 4 不同供氮水平下油菜的籽粒产量

Table 4 Kernel yield of different varieties of oilseed rape

品 种	产量/g				
	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>
bin 270	6.34e(a)	9.99d(ab)	14.76c	18.03b(b)	21.67a(a)
H29	5.14d(b)	8.54c(b)	12.32b	15.01a(c)	16.14a(b)
231	7.27c(a)	12.10b(a)	14.26b	22.60a(a)	21.74a(a)

### 2.6 供试油菜籽粒平均产量与不同生育期根系指标的相关性

采用单个油菜品系在不同施氮水平下籽粒的平均产量进行相关性分析。由表 5 可知，不同油菜品系籽粒产量与苗期根系各项指标均呈正相关，其

中，bin270 的籽粒产量与根重、一级侧根数、根系总吸收面积和根系活跃吸收面积呈显著相关，与根体积呈极显著相关；H29 的籽粒产量与根体积、根长呈显著相关，与根重、根系总吸收面积和根系活跃吸收面积呈极显著相关；231 的籽粒产量与根体

积呈显著相关,与根重、一级侧根数、根系总吸收面积和根系活跃吸收面积呈极显著相关。

盛花期3个油菜品系的籽粒产量与根系各项指标均呈正相关,其中bin270的籽粒产量与一级侧根数呈显著相关,与根重、根体积、根系总吸收面积和根系活跃吸收面积呈极显著相关;H29的籽粒产

量与根重、根体积、根系总吸收面积和根系活跃吸收面积呈显著相关,与根长和一级侧根数呈极显著相关;231的籽粒产量与根重、根体积和根系活力呈显著相关,与一级侧根数、根系总吸收面积和根系活跃吸收面积呈极显著相关。

表5 油菜籽粒平均产量与不同生育期根系指标的相关性

Table 5 Correlation between the kernel yield and the root indexes at different growth stages

生育期	根系指标	相关系数		
		bin270 产量	H29 产量	231 产量
苗期	根重	0.947*	0.964**	0.986**
	根体积	0.969**	0.933*	0.929*
	根长	0.85	0.901*	0.791
	一级侧根数	0.892*	0.841	0.97**
	根系活力	0.853	0.456	0.673
	根系总吸收面积	0.944*	0.963**	0.981**
	根系活跃吸收面积	0.948*	0.973**	0.996**
盛花期	根重	0.998**	0.932*	0.926*
	根体积	0.974**	0.925*	0.958*
	根长	0.867	0.977**	0.791
	一级侧根数	0.896*	0.971**	0.97**
	根系活力	0.482	0.401	0.918*
	根系总吸收面积	0.97**	0.955*	0.969**
	根系活跃吸收面积	0.96**	0.926*	0.979**

### 3 结论与讨论

本研究结果表明,除根系活力外,根重、根体积、根长、一级侧根数、根系总吸收面积和活跃吸收面积均随施氮水平的提高而增加;同一施氮水平下,bin270的根重、根体积、根长、根系活跃吸收面积(N<sub>3</sub>处理除外)和根系总吸收面积(N<sub>3</sub>处理除外)均为最大;231的根系活跃吸收面积和根系总吸收面积最小,籽粒产量最大。苗期231的根系活力随施氮水平的提高表现为先降低后增加,H29表现为先降低后增加而后又降低,bin270表现为先增加后降低;盛花期H29根系活力随施氮水平提高表现为先降低后增加,bin270则表现为先降低后增加而后又降低,231表现为先增加后降低。油菜籽粒产量与苗期和盛花期的根系各项指标呈正相关,但各项指标对籽粒产量的贡献不尽相同,根重、根体积、根系总吸收面积和活跃吸收面积对油菜籽粒产量的贡献大于根长、一级侧根数、根系活力。

相关研究<sup>[12-13]</sup>表明,作物对氮素的高效吸收取决于根系的形态特征。吸收能力强的植物,其根系长度、根重、根/冠比(R/S)、根体积、根分布密度和有效吸收面积较大,根系氧化能力高<sup>[14-15]</sup>。植株不定根数、根干重和不定根总长度随供氮浓度的提高而增加,但供氮浓度进一步增加,根干重和不定根总长度的增幅变小<sup>[16-17]</sup>。适当增加氮肥施用量能显著提高根系活力,同时也增加根系总吸收面积,且后者与营养液氮浓度呈极显著正相关,但施氮量对根系活跃吸收面积影响不显著<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,根重、根体积、根长、一级侧根数、根系活力、根系总吸收面积和活跃吸收面积均随施氮水平的提高而升高;根系活力在最高供氮水平下有所下降、最低供氮水平下有所上升,分析其原因,可能是由于在较高或较低供氮水平下,根系活力产生了相应的变化以保证根系吸收的氮素总量。小麦根系活力与籽粒灌浆强度呈显著正相关,深层根量与产量关系密切<sup>[19]</sup>。本研究结果也表明,籽粒产量与根

系各项指标密切相关,根重、根体积、根系总吸收面积和活跃吸收面积对油菜籽粒产量的贡献大于根长、一级侧根数、根系活力。可见,保证根系正常的生长发育,是提高籽粒产量的基础。

#### 参考文献:

- [1] 程建峰,姜东,潘晓云,等.不同水稻基因型的根系形态生理特性与高效氮素吸收[J].土壤学报,2007,44(2):266-272.
- [2] 王艳,米国华,陈范骏,等.玉米氮素吸收的基因型差异及其根系形态的相关性[J].生态学报,2003,23(2):297-302.
- [3] Wang Y, Mi G H, Chen F J. Response of root morphology to nitrate supply and its contribution to nitrogen uptake in maize[J]. Journal of Plant Nutrition, 2004, 27: 2189-2202.
- [4] 彭云峰,张吴平,李春俭.不同氮吸收效率玉米品种的根系构型差异比较、模拟与应用[J].中国农业科学,2009,42(3):843-844.
- [5] 春亮,陈范骏,张福锁,等.不同氮效率玉米杂交种的根系生长、氮素吸收与产量形成[J].植物营养与肥料学报,2005,11(5):615-619.
- [6] 赵首萍,施卫明,赵学强.不同氮效率水稻品种苗期吸氮效率差异及其机理研究[J].土壤,2006,38(4):400-409.
- [7] Agrell D, Oscarson P, Larsson C M. Translocation of N to and from barley roots: Its dependence on local nitrate supply in split root cultures[J]. Plant Physiol, 1994, 90: 467-474.
- [8] Ericsson T. Growth and shoot: Root allocation of seedlings in relation to nutrient availability[J]. Plant Soil, 1995, 168: 205-214.
- [9] 潘瑞织.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2001:28.
- [10] 刘芷宇,李良谟,施卫明.根际研究法[M].南京:江苏科学技术出版社,1997:339-341.
- [11] 邹琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,1995:30-34.
- [12] 程建峰,戴廷波,荆奇,等.不同水稻基因型的根系形态生理特性与高效氮素吸收[J].土壤学报,2007,44(2):270.
- [13] 张岳芳,王余龙,陈留根.施氮对两优培九根系生长的影响及根系性状与氮素累积量的相关性[J].杂交水稻,2007,22(3):67.
- [14] 王东升,张亚丽,陈石,等.不同氮效率水稻品种增硝营养下根系生长的响应特征[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):585-590.
- [15] 刘代平,宋海星,刘强,等.油菜根系形态和生理特性与其氮效率的关系[J].土壤,2008,40(5):765-769.
- [16] 米国华,陈范骏,春亮.玉米氮高效品种的生物学术特征[J].植物营养与肥料学报,2007,13(1):155-159.
- [17] 樊剑波,张亚丽,万小羽.水稻根系与氮素吸收利用之研究进展[J].中国农学通报,2007,23(2):236-240.
- [18] 杨铁钊,林彩丽,丁永乐,等.不同基因型烟草对氮素营养响应和差异研究[J].烟草科技,2001,6(5):32-35.
- [19] 熊明彪,田应兵,熊晓山,等.钾肥对冬小麦根系营养生态的影响[J].土壤学报,2004,41(2):287-291.

责任编辑: 杨盛强