DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.05.018
张玉,秦华东,黄敏,等. 氮肥运筹对免耕水稻根系生长、根际土壤特性及产量的影响[J]. 广西植物,2014,34(5):681－685
Zhang Y, Qin HD, Huang M, *et al*. Effect of different nitrogen application modes on root growth, rhizosphere soil characteristics and rice yield under no-tillage[J]. Guihaia, 2014, 34(5):681－685

氮肥运筹对免耕水稻根系生长、根际土壤特性及产量的影响

张 玉[1,2], 秦华东[1,3], 黄 敏[1], 江立庚[1*], 徐世宏[4]
(1. 广西大学 作物栽培学与耕作学重点实验室, 南宁 530005; 2. 广西农业科学院 玉米研究所, 南宁 530227; 3. 广西大学 图书馆, 南宁 530005; 4. 广西农业技术推广总站, 南宁 530022)

摘 要: 为探索氮肥运筹对免耕条件下水稻根系生长以及对根际土壤特性、产量的影响,以金优 253 为材料进行试验。结果表明:平衡施肥显著提高单株根系干重、根长、单株生物量、根半径、单株根表面积、根长密度及根系活力,实收单产高于重穗肥和重基肥处理,且与重基肥差异达 95%的显著水平,主要是有效穗数、结实率的增加。平衡施肥显著提高 0～10 cm 土层的 0～2 mm 根际土壤有机质、碱解氮含量及脲酶、蔗糖酶活性。因此平衡施肥能明显促进免耕水稻根系生长和有效穗数的增加,对提高水稻产量具有促进作用。

关键词: 氮肥运筹; 免耕水稻; 根系生长; 根际土壤; 产量
中图分类号: Q945.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2014)05-0681-05

Effect of different nitrogen application modes on root growth, rhizosphere soil characteristics and rice yield under no-tillage

ZHANG Yu[1,2], QIN Hua-Dong[1,3], HUANG Min[1], JIANG Li-Geng[1*], XU Shi-Hong[4]
(1. *Key Laboratory of Crop Cultivation and Farming System*, *Guangxi University*, Nanning 530005, China; 2. *Institute of Maize Research*, *Guangxi Academy of Agricultural Sciences*, Nanning 530227, China; 3. *Library of Guangxi University*, Nanning 530005, China; 4. *Guangxi Agricultural Technology Extension General Station*, Nanning 530022, China)

Abstract: The effect of nitrogen application modes on root growth, rhizosphere soil characteristics and rice yield under no-tillage and cast transplanting rice was studied. The results showed that balanced fertilization made obvious influence on no-tillage and cast transplanting rice root growth, and physiology. The rice shoot dry weight and biomass per plant, root number, root density, root activity of balanced fertilization were higher than other treatments, the differences were significant in rice later growth. However, there were no significant differences in root length. Balanced fertilization increased spike lets per panicle and seed set. Balanced fertilization significantly increased 0－10 cm soil layers organic, available nitrogen and urease activity of 0－2 mm rhizosphere soil in rice late growth. Therefore, it can been concluded that balanced fertilization acquired higher grain yield by improving rhizosphere soil, promoting root growth and increasing effective panicles.

Key words: nitrogen application modes; no-tillage rice; root growth; rhizosphere soil; yield

收稿日期: 2013-10-12 **修回日期:** 2013-12-18
基金项目: 国家自然科学基金(30560066);广西自然科学基金(0832008Z,0991010Z,0640020);国家现代农业产业技术体系专项(广西水稻创新团队)。
作者简介: 张玉(1970-),男,河南信阳人,博士,助理研究员,研究方向为农作物栽培生理研究,(E-mail)175334609@qq.com。
* **通讯作者:** 江立庚,博士,教授,研究方向为作物生理生态,(E-mail)jiang@gxu.edu.cn。

水稻根系的发生、生长和生理活性等受施用肥料的种类、施用量、施用时期和施用方法的影响。不同肥料或同一种肥料的不同形态对根系生长发育的作用各不相同。当土壤养分状态发生变化时,水稻根系的生长发育相应地发生一系列的适应性变化。分根栽培条件下,供氮一侧能诱导根系生长发育(Kirchner *et al*.,1993)。根系空间分布受施肥方式影响,基肥可促进根系分布较深,特别是全层施肥会使根系分布于整个耕层,追肥次数多,冠根数和表层根增多,根系二次分枝变多变粗(史正军等,2005)。刘世平等(1995)认为免耕使土壤有机质和氮素向土壤表层富集,水稻对养分的利用在不同栽培管理条件下会发生变化,稻田表层土壤的环境状态也会发生改变。前人对肥料的种类、施用量、施用时期和施用方法对水稻根系的发生、生长和生理活性影响研究主要集中在常规耕作,而在免耕方面研究少见报道(董桂春等,2003;唐拴虎等,2006)。免耕抛秧技术顺应新时期农业"高产、优质、高效、生态、安全"的发展要求,2004 年被农业部确定为水稻生产的主推技术之一(夏敬源等,2003)。因此,本研究利用根袋法对 3 种氮肥运筹方式下免耕稻根系生长、根际土壤特性及产量进行了对比试验,旨在探明免耕条件下的适宜氮肥运筹方式对根系特性的影响,为免耕栽培技术的大面积推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

试验于 2009 年早季在广西大学农学院试验基地进行,材料为三系籼型杂交水稻金优 253,由广西大学支农中心提供试验用种。试验水稻田为连续两年免耕,土壤基本理化性状为 pH6.42,有机质 25.8 $g \cdot kg^{-1}$,全 N 1.7 $g \cdot kg^{-1}$,速效磷 35.1 $mg \cdot kg^{-1}$,速效钾 116.9 $mg \cdot kg^{-1}$。

试验根据氮肥管理设 3 个处理:(1)平衡施肥,氮肥按 5∶3∶2 比例施用基肥、分蘖肥和穗肥;(2)重施穗肥,氮肥按 5∶1∶4 比例施用基肥、分蘖肥和穗肥;(3)重施基蘖肥,氮肥按 6∶3∶1 比例施用基肥、分蘖肥和穗肥。每个处理小区面积为 12.4 m^2,3 次重复,随机区组排列。各处理的施肥量均为尿素 418 $kg \cdot hm^{-2}$、过磷酸钙 450 $kg \cdot hm^{-2}$、氯化钾 225 $kg \cdot hm^{-2}$。磷肥全部作基肥一次施用,钾肥按 6∶2∶2 的比率分别施用基肥、分蘖肥和穗肥。

抛栽前每小区以五点取样法挖取直径 15 cm、高 30 cm 的保持免耕状态的原状土柱 9 个(根袋 6 个、土袋 3 个),装入 300 目的尼龙网袋,原位埋入小区。土柱挖取方法:一边开 20～30 cm 侧沟,在侧沟壁直接挖取连续柱状原样土壤,装入 300 目尼龙网袋,回填入原处封埋填好。其中 6 个根袋中央抛栽生长一致的秧苗 1 株,用于根系的取样分析;3 个土袋中不抛栽水稻,在土袋四周抛栽水稻,以保证土袋外水稻根系密集并与土袋内土壤充分接触,由此认定土袋内与水稻根系密切接触的土壤为根际土壤。育秧采用编织布隔层方式,3 月 9 日播种,4 月 6 日选择 3～3.5 叶龄的秧苗且长势均匀一致的健壮无病害的秧苗进行抛秧。小区内抛秧密度每公顷为 67.5 万基本苗。

在分蘖高峰期(抛秧后 25 d)、抽穗期和灌浆盛期(抽穗后 25 d)取样,每次每小区取 2 个根袋和 1 个土袋。收集根袋全部根系并用自来水小心冲洗,调查根系数量、长度,计算根长密度、称取根系干重。另一袋根系用于根系活力、SOD 酶活性的测定。测定根系活力采用 TTC(三苯基氯化四氮唑)还原法、测定总根长采取交叉截取法(张宪政,1994),根表面积参照杨长明(2004)的方法测定。土袋自然晾干后,按土柱形状分别取得 0～10 mm 土层距根面 2、6 和 10 mm 的根际土壤。测定土壤碱解氮、有效磷、速效钾,pH 值,有机质,土壤蔗糖酶、脲酶活性(李酉开,1983;关松荫,1986)。

成熟期进行测产,从每个试验小区的中心区随机收割 30 蔸,利用脱粒机进行脱粒,随后进行晒干和风选后称取风干重,烘箱中用烘干法测定样品的水分含量,根据水分含量计算稻谷的干重,最后按 14%的含水量计算稻谷产量。另外,每小区取选 3 蔸代表性植株进行考种样,测定产量构成。

采用 Excel 2003 对数据进行整理,利用 SAS 9.0统计软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥运筹对免耕水稻产量及构成因素的影响

平衡施肥处理实收产量分别比重施穗肥和重施基蘖肥处理高 4.34%和 8.40%,与重施基蘖肥处理差异达 5%显著水平(表 1)。重施穗肥处理与重施基蘖肥处理产量差异不显著。

表 1　氮肥管理对免耕抛秧水稻产量及构成因素的影响

Table 1　Effect of N management on no-tillage cast transplanting rice yield and yield components

氮肥管理 N management	有效穗数 Effective panicle ($10^4 \cdot hm^{-2}$)	每穗粒数 Spike lets per panicle	结实率 Seed set (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	理论产量 Theoretic yield ($t \cdot hm^{-2}$)	实际产量 Harvest yield ($t \cdot hm^{-2}$)
BLF	246.52a	163.7ab	84.62a	25.04a	8.55a	6.97a
TLF	241.39ab	166.8a	79.85b	25.17a	8.09a	6.68ab
BSF	232.66b	159.1b	80.16b	23.96b	7.11b	6.43b

BLF：平衡施肥；TLF：重施穗肥；BSF：重施基蘖肥。数字后小写字母表示差异显著性，同一列数字后无相同小写字母表示差异达 5%显著水平。下同。

BLF：Balanced fertilization；TLF：Tillering fertilization；BSF：Basic fertilization. Different lower letters after number indicate significant differences at $P<0.05$. The same below.

平衡施肥增产主要体现在有效穗数、结实率比重施穗肥和重施基蘖肥处理高，有效穗数分别高 2.13%、5.96%，结实率分别高 5.97%、5.56%，差异达显著性水平。重施穗肥处理的每穗粒数和千粒重显著高于重施基蘖肥。

2.2 氮肥管理对免耕抛秧水稻根系生长的影响

2.2.1 单株根干重、单株生物量　表 2 显示，重施基蘖肥处理水稻单株，分蘖高峰期根干重高于平衡施肥和重施穗肥，差异不显著；平衡施肥处理抽穗期和灌浆盛期的单株，根干重高于重施穗肥、重施基蘖肥处理，比重施基蘖肥分别高 18.49%和 26.01%，差异达显著性水平。重施穗肥处理抽穗期和灌浆盛期的单株，根干重略高于重施基蘖肥，差异不显著。表明平衡施肥对免耕抛秧水稻根系生长促进作用显著。平衡施肥处理抽穗期和灌浆盛期的单株生物量高于重施穗肥、重施基蘖肥处理，抽穗期显著高于重施穗肥，灌浆盛期显著高于重施基蘖肥。重施穗肥、重施基蘖肥处理单株生物量的差异不大。表明平衡施肥对免耕抛秧水稻生物产量有显著促进作用。

2.2.2 根半径、根表面积　平衡施肥处理抽穗期和灌浆盛期根半径均高于重施穗肥、重施基蘖肥处理，灌浆盛期分别高 19.07%和 16.90%，差异达显著性水平，抽穗期平衡施肥处理根半径显著高于重施基蘖肥，重施穗肥、重施基蘖肥处理根半径差异不大。表明平衡施肥对免耕抛秧水稻根系增粗影响较大。抽穗期和灌浆盛期单株根表面积以平衡施肥处理最高，抽穗期极显著高于重施穗肥，灌浆盛期极显著高于重施基蘖肥。说明平衡施肥对免耕抛秧条件下根

表 2　氮肥管理对免耕抛秧水稻不同生育期根系生长的影响

Table 2　Effect of N management on no-tillage and cast transplanting rice root growth at different growth stages

生育时期 Growth stage	氮肥管理 N management	单株根干重 Root dry weight per plant (g)	单株生物量 Biomass per plant (g)	根半径 Root radius (mm)	根表面积 Root area (cm^2)	单株根长 Root length per plant (m)
分蘖高峰期 Maximaltiller stage	BLF	2.81a	23.56a	0.145a	339.1b	37.24b
	TLF	2.79a	23.98a	0.147a	360.3b	39.03ab
	BSF	3.02a	24.15a	0.151a	394.0a	41.55a
抽穗期 Heading stage	BLF	4.23a	36.77a	0.232a	920.1aA	63.15a
	TLF	3.86ab	31.64b	0.206b	774.5cB	59.87b
	BSF	3.57b	33.08ab	0.229ab	884.9bA	61.53ab
灌浆盛期 Grain filling stage	BLF	5.28a	56.99a	0.256a	1243.2aA	77.33a
	TLF	4.73ab	51.36ab	0.215b	1007.0bB	74.58ab
	BSF	4.19b	49.75b	0.219b	985.0cC	71.62b

生育时期 Growth stage	氮肥管理 N management	单条根长 Average root length (cm)	单株总根数（条） Root number per plant (Bar)	根长密度 Root length density ($cm \cdot cm^{-3}$)	根系活力 Root activity ($\mu g \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)
分蘖高峰期 Maximal tiller stage	BLF	17.14a	217.3ab	0.685b	62.88a
	TLF	19.27a	202.5b	0.717ab	63.56a
	BSF	18.75a	221.6a	0.764a	67.32a
抽穗期 Heading stage	BLF	17.86a	353.5a	1.16a	47.51aA
	TLF	17.78a	336.8b	1.10a	32.68cB
	BSF	17.52a	351.2a	1.13a	40.39bAB
灌浆盛期 Grain filling stage	BLF	15.12a	511.6aA	1.42a	32.15a
	TLF	15.47a	482.1bAB	1.37b	25.87b
	BSF	15.83a	452.5cB	1.32b	26.32b

系对养分的吸收更有利，且在水稻生育后期表现更明显。

2.2.3 根长　平衡施肥处理抽穗期和灌浆盛期的单株根长均高于重施穗肥、重施基蘖肥处理，抽穗期显著高于重施穗肥，灌浆盛期显著高于重施基蘖肥。分蘖高峰期重施基蘖肥处理单株根长比平衡施肥高11.57%，差异达显著性水平。各生育期单株单条根长处理间差异不明显。

2.2.4 总根数、根长密度　重施基蘖肥处理分蘖高峰期的单株总根数高于平衡施肥、重施穗肥处理，其中与重施穗肥差异达显著性水平。平衡施肥处理的抽穗期和灌浆盛期单株总根数高于重施穗肥和重施穗肥和重施基蘖肥处理，抽穗期显著高于重施穗肥，灌浆盛期极显著高于重施基蘖肥。重施基蘖肥处理分蘖高峰期的根长密度高于平衡施肥、重施穗肥处理，平衡施肥处理灌浆期的根长密度显著高于重施穗肥和重施基蘖肥处理。

2.2.5根系活力　重施基蘖肥处理分蘖高峰期的根系活力高于平衡施肥、重施穗肥处理，但差异不显著，平衡施肥处理抽穗期和灌浆盛期的根系活力均显著高于重施穗肥和重施基蘖肥处理，抽穗期与重施穗肥差异达极显著性水平。表明平衡施肥对免耕抛秧水稻根系活力具有明显的促进效果。

表 3　氮肥管理对免耕抛秧水稻根际土壤特性的影响

Table 3　Effect of N management on no-tillage and cast transplanting rice rhizosphere soil characteristics

生育期 Growth stage	氮肥管理 N management	有机质 Organic (g·kg^{-1})			碱解氮 Available N (mg·kg^{-1})		
		0～2 mm	2～6 mm	6～10 mm	0～2 mm	2～6 mm	6～10 mm
分蘖高峰期 Maximal tiller stage	BLF	27.99b	25.87ab	22.61a	89.55a	83.16a	84.05a
	TLF	30.25ab	24.66b	25.17a	91.04a	84.28a	81.27a
	BSF	32.67a	28.34a	23.46a	92.73a	81.06a	82.98a
抽穗期 Heading stage	BLF	33.85b	27.52a	20.56ab	95.96a	87.84a	79.33a
	TLF	39.49a	24.39a	17.85b	91.37ab	90.18a	83.25a
	BSF	37.62ab	25.65a	22.24a	88.25b	86.52a	81.46a
灌浆盛期 Grain filling stage	BLF	26.74ab	19.35ab	12.37a	91.72b	87.93a	85.77a
	TLF	28.33a	22.89a	13.12a	98.53a	80.62b	82.56ab
	BSF	23.16b	17.62b	14.76a	88.36b	82.85b	76.49b

生育期 Growth stage	氮肥管理 N management	脲酶 Urease activity (mg·g^{-1}·d^{-1})			蔗糖酶 Invertase (mg·g^{-1}·d^{-1})		
		0～2mm	2～6mm	6～10mm	0～2mm	0～2mm	2～6mm
分蘖高峰期 Maximal tiller stage	BLF	1.42b	1.55a	1.06a	61.22a	49.86ab	37.67a
	TLF	1.58ab	1.64a	1.17a	60.85a	46.35b	36.25a
	BSF	1.93a	1.79a	1.33a	64.16a	51.22a	40.13a
抽穗期 Heading stage	BLF	2.31a	1.82a	1.56a	46.62a	42.83a	34.91a
	TLF	2.14ab	1.56ab	1.72a	42.28a	41.05a	31.26ab
	BSF	1.87b	1.53b	1.19b	44.97a	43.52a	28.93b
灌浆盛期 Grain filling stage	BLF	1.65b	1.36a	1.05ab	33.26ab	22.74b	31.55a
	TLF	2.03a	1.28ab	1.14a	37.59a	29.66a	27.37ab
	BSF	1.43b	1.05b	0.84b	29.57b	23.18b	22.18b

2.3 氮肥管理对免耕抛秧水稻根际土壤特性的影响

2.3.1 有机质含量　氮肥管理对土壤有机质含量及其在土层的分布有较大的影响。0～10 cm 土层根际土壤有机质含量各生育期均以 0～2 mm 最高、2～6 mm 次之、6～10 mm 最低，其中 0～2 mm 与 6～10 mm 差异较为明显。平衡施肥处理 0～10 cm 土层 0～2 mm 根际土壤有机质含量在抽穗期、灌浆盛期高于重施基蘖肥和重施穗肥处理，其中在抽穗期与重施穗肥差异显著，在灌浆盛期与重施基蘖肥差异显著。

2.3.2 碱解氮含量　0～10 cm 土层 0～2 mm 根际土壤碱解氮含量各生育期明显高于 2～6 mm 和 6～10 mm，其中与 6～10 mm 差异较大。重施基蘖肥提高了分蘖高峰期 0～10 cm 土层 0～2 mm 根际土壤碱解氮含量，而平衡施肥和重施穗肥则提高了抽穗期、灌浆盛期 0～10 cm 土层 0～2 mm、2～6 mm 根际土壤碱解氮含量，其中重施穗肥处理 0～10 cm 土层 0～2 mm 根际土壤碱解氮含量在抽穗期显著高于重施基蘖肥，平衡施肥处理 0～10 cm 土层 0～2 mm 根际土壤碱解氮含量在灌浆盛期显著高于重施基蘖肥和重施穗肥。

2.3.3 脲酶活性　除分蘖高峰期平衡施肥、重施穗肥 0～10 cm 土层 0～2 mm 根际土壤脲酶活性略低于 2～6 mm 外，0～10 cm 土层 0～2 mm 根际土壤脲酶活性各生育期均高于 2～6 mm 和 6～10 mm，与 6～10 mm 差异较为明显。重施基蘖肥明显提高了分蘖高峰期 0～10 cm 土层各根际土壤脲酶活性。而平衡施肥和重施穗肥则提高了抽穗期、灌浆盛期 0～10 cm 土层各根际土壤脲酶活性，其中重施穗肥处理 0～10 cm 土层 0～2 mm、6～10 mm 根际土壤脲酶活性在抽穗期显著高于重施基蘖肥，平衡施肥处理 0～10 cm 土层 0～2 mm 根际土壤脲酶活性在灌浆盛期显著高于重施基蘖肥和重施穗肥。

2.3.4 蔗糖酶活性　随着水稻的不断生长，根际土壤蔗糖酶活性有下降的趋势。0～10 cm 土层 0～2 mm 根际土壤蔗糖酶活性均明显高于 2～6 mm 和 6～10 mm，2～6 mm 略高于 6～10 mm。重施基蘖肥明显提高了分蘖高峰期 0～10 cm 土层各根际土壤蔗糖酶活性。重施穗肥则提高了抽穗期 0～10 cm 土层 0～2 mm、6～10 mm 根际土壤蔗糖酶活性。平衡施肥提高了灌浆盛期 0～10 cm 土层 0～2 mm、2～6 mm 根际土壤蔗糖酶活性，平衡施肥 0～10 cm 土层 0～2 mm 根际土壤蔗糖酶活性显著高于重施基蘖肥，2～6 mm 根际土壤蔗糖酶活性显著高于重施基蘖肥和重施穗肥。

3　讨论与结论

氮素对根系形态、生长及其在介质中的分布影响是所有矿质营养中最大的。根系作为作物养分吸收和运输的器官，是土壤氮元素及其他养分的直接利用者和产量的重要贡献者，其功能发挥与根系形态特征和生理特性密切相关，受基因控制和环境因素的双重影响（关松荫，1986）。国内外对根系发育、根系获取氮素能力等进行了大量研究，明确了氮素反应的基因型差异在根系性状中的表现、氮对根系群体分布的影响、和根系吸氮规律以及氮肥管理对根系生长的调控等（程建峰等，2002；Needelman，1999），但对不同氮肥管理的根系形态和生理特性及根际土壤特性差异缺乏系统研究，尤其是水稻生长发育的几个关键时期。

本研究表明，在水稻各需肥高峰期分次施用 N 肥，免耕水稻根际环境明显改善，原因是平衡施肥可能有助于降低田面水 N 素的最高浓度，减少了田间径流的单次 N 素损失量，提高了肥料的利用率（王静等，2010），对免耕抛秧水稻根系的伸长、生长、生理产生较大影响，促进了根系生长。研究还表明，平衡施肥处理满足了不同生育时期对水稻 N 素的需求量，促进水稻对 N 素的吸收效率，减少田间氮素的损失，通过促进有效穗数的提高，从而显著提高该氮肥管理模式方式下水稻的产量。

在农业生产中，应根据不同时期施氮模式来调控根系的生长，通过适当增加施肥次数，采取平衡施肥法，少量多次的施肥，也可适当增加穗肥比例，使前氮后移，促进水稻根际微生态效应，以促进稻株的快速生长。同时在苗期也应调整不同的水分管理方式以适应根系的快扎稳长，提高立苗效率（秦华东等，2011）。由于本试验设计的氮肥运筹量处理数有限，免耕条件下适宜的氮肥运筹量及最适宜的施氮比例及施氮时期还有待于进一步研究。

本试验只考虑在同等量氮肥施肥水平下对氮肥不同分配量，并结合氮肥施用量研究免耕稻根系特性的对比进行了研究，对如何选取适宜氮肥运筹量以及精确的氮肥运筹时期将是本研究今后的一个重要讨论方向。

参考文献：

Cheng JF（程建峰），Pan XY（潘晓云），Liu YB（刘宜柏）. 2002. Studies on the growth of upland rice roots under various soil conditions（土壤条件对陆稻根系生长的影响）[J]. *Acta Pedol Sin*（土壤学报），**39**(4)：590－598

Dong GC（董桂春），Wang YL（王余龙），WuH（吴华）. 2003. *et al*. Varietal differences in response of main root traits to nitrogen application time in rice（Oryza sativa）（水稻主要根系性状对施氮时期反应的品种间差异）[J]. *Acta Agron Sin*（作物学报），**29**(6)：871－877

Guan SM（关松荫）. 1986. Soil Enzyme and Its Research Methods（土壤酶及其研究法）[M]. Beijing（北京）：China Agriculture Press（中国农业出版社）：277，294－297

Kirchner MJ，WollumAG，King LD. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agro ecosystems [J]. *Sssaj*，**57**(5)：1 289－1 292

Liu SP（刘世平），Shen XP（沈新平），Huang XX（黄细喜）. 1995. The characteristics of soil fertility and rice absorbed nitrogen in long-term（长期少免耕土壤供肥特征与水稻吸肥规律的研究）[J]. *J Jiangsu Agric Coll*（江苏农学院学报），**16**(2)：77－80

Needelman BA. 1999. Interaction of tillage and soil texture：biologically active soil organic matter in linois[J]. *Sssaj*，**65**(3)：1 326－1 334

Qin HD（秦华东），Xiao QZ（肖巧珍），Liang TF（梁天锋）. 2011. Effect of different moisture management modes on root growth characteristics of cast transplanting rice in seedling standing period under no-tillage（不同水分管理模式下免耕抛秧水稻立苗

（下转第 621 页 Continue on page 621）