

# 免耕覆秸精量播种对大豆生长发育和产量构成因素的影响

赵俊卿<sup>1,2</sup>, 任建军<sup>1,2</sup>, 卢为国<sup>3</sup>, 陈海涛<sup>4</sup>, 朱贝贝<sup>1</sup>, 段国占<sup>2</sup>, 韩天富<sup>1</sup>, 吴存祥<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; 2. 许昌市农业科学研究所, 河南 许昌 461107; 3. 河南省农业科学院经济作物研究所, 河南 郑州 450002; 4. 东北农业大学工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:** 采用随机区组设计, 研究麦茬免耕覆秸精量播种、常规机械播种、人工小耩播种 3 种处理对种床土壤环境及大豆生长发育、产量构成因素的影响。结果表明, 同常规机械播种、人工小耩播种相比, 麦茬免耕覆秸精量播种能够优化种床土壤环境, 促进幼苗的生长发育, 改善产量构成因素, 较常规机械播种、人工小耩播种分别增产 96.1、180.3 kg·hm<sup>-2</sup>。该技术在黄淮海地区具有广阔的应用前景。

**关键词:** 夏大豆; 免耕; 覆秸; 精量播种; 生长发育; 产量构成

**中图分类号:** S565.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-9841(2012)05-0734-05

## Effects of No-tillage and Straw Mulching Precise Sowing on Growth, Development and Yield Components of Post-wheat Summer-sowing Soybean in Huanghuaihai Region

ZHAO Jun-qing<sup>1,2</sup>, REN Jian-jun<sup>1,2</sup>, LU Wei-guo<sup>3</sup>, CHEN Hai-tao<sup>4</sup>, ZHU Bei-bei<sup>1</sup>, DUAN Guo-zhan<sup>2</sup>, HAN Tian-fu<sup>1</sup>, WU Cun-xiang<sup>1</sup>

(1. Institute of Crop Science, The Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 2. Xuchang Institute of Agricultural Science, Xuchang 461107, Henan; 3. Industrial Crops Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan; 4. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Randomized block design was used to study the effects of three sowing methods including no-tillage and straw mulching precise sowing (NTSMPS), conventional mechanical sowing (CMS) and artificial small-columbine sowing (ASCS) on soil environment of seed bed, growth, development and yield components of summer-sowing soybean after winter wheat. The results showed that NTSMPS could optimize soil environment of seed bed, promote seedling growth and improve the yield components of soybean plants. Compared with the CMS and ASCS, NTSMPS increased the yield by 96.1 and 180.3 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively. There is great potential for this technology to be used in Huanghuaihai summer soybean region.

**Key words:** Summer soybean; No-Tillage; Wheat straw mulching; Precise sowing; Growth and development; Yield component

黄淮海夏大豆产区为我国第二大大豆主产区, 常年种植面积约占全国大豆面积的三分之一左右<sup>[1]</sup>。该产区大豆为麦后复种, 由于农时紧张, 大部分以免耕贴茬播种为主, 由于田间麦秸量大, 致使播种质量差, 部分农户靠加大播量来弥补缺苗断垄现象, 严重影响大豆产量和效益<sup>[1]</sup>。秸秆田间直接焚烧虽然处理方便且能起到一定的肥田效果, 但易造成污染大气、影响交通及危害航空安全等<sup>[2-4]</sup>, 影响部分后茬作物生长, 降低作物产量<sup>[5-6]</sup>。通过秸秆还田, 能有效增加土壤有机质含量, 改良土壤、培肥地力<sup>[7-10]</sup>, 同时小麦秸秆覆盖有明显的保墒节水效应<sup>[11-17]</sup>。针对以上问题, 国家大豆产业技术体系组织农机、农艺专家, 联合研发了大豆麦茬免耕覆秸精量播种机具, 可一次完成拔秸、播种、施肥、覆土、镇压、覆秸等工序<sup>[18]</sup>, 保苗、增产效果显著, 但

尚未对该播种技术的增产机制进行详细研究。本试验研究了麦茬免耕覆秸播种技术对大豆播种带土壤环境、大豆生长发育及产量的影响, 以期优化免耕条件下的精量播种和田间管理技术, 为黄淮海麦茬夏大豆生产提供技术支撑。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

大豆品系中作 AG2, 由中国农业科学院作物科学研究所选育。机械播种机械 2BMFJ-3B 型免耕覆秸精量播种机由国家大豆产业技术体系提供, 2BJM-2(4) 型条播机由河南豪丰机械制造有限公司生产, 人工小耩播种机由河南许昌县机械厂生产; 灭茬机械 4J-180B 型秸秆粉碎还田机由河南豪丰机

收稿日期: 2012-06-05

基金项目: 农业部财政部现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-04)。

第一作者简介: 赵俊卿 (1981-), 男, 在读硕士, 农艺师, 研究方向为大豆育种与栽培。E-mail: zjjqq996@163.com。

通讯作者: 吴存祥 (1969-), 男, 博士, 副研究员, 从事大豆遗传育种研究。E-mail: wucx@mail.caas.net.cn。

韩天富 (1963-), 男, 博士, 研究员, 从事大豆遗传育种研究。E-mail: hantf@mail.caas.net.cn。

械制造有限公司生产。

## 1.2 试验设计

试验于 2011 年在河南省许昌市农业科学研究所试验地(33°55'N, 113°50'E, 海拔 62.0 m)进行。土壤质地为壤土,土壤类型为砂姜黑土。试验地年均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 4 700 $^{\circ}\text{C}$ ,年降雨量 671.1 ~ 736.0 mm,降雨集中在 7~8 月份,无霜期 217 d。

试验采用随机排列设计,设置免耕覆秸精量播种(No-tillage and straw mulching precise sowing,简称 NTSMPS)、常规机械播种(Conventional mechanical sowing,简称 CMS)和人工小耩播种(Artificial small-columbine sowing,简称 ASCS)3 种处理,行距 0.4 m,小区面积 255 m<sup>2</sup>,3 次重复,常规田间管理。免耕覆秸精量处理播种前不对麦茬和土壤进行任何处理;常规机械播种处理在播种前利用秸秆粉碎还田机灭茬 2 次;人工小耩播种处理在播种前利用秸秆粉碎还田机灭茬 2 次。2011 年 6 月 11 日播种,其中,免耕覆秸精量播种处理的播种量为 67.5 kg·hm<sup>-2</sup>,保苗密度为 33.0 万株·hm<sup>-2</sup>;常规机械播种处理的播种量为 90.0 kg·hm<sup>-2</sup>,保苗密度为 37.5 万株·hm<sup>-2</sup>;人工小耩播种处理的播种量为 112.5 kg·hm<sup>-2</sup>,保苗密度为 45.0 万株·hm<sup>-2</sup>。6 月 16 日前后出苗。

## 1.3 测定项目与方法

1.3.1 种床土壤环境指标 在大豆播种后第 2 天采用 W 型 9 点取样法测定 20 cm 耕层土壤的硬度、温度及含水量。土壤硬度采用 TYD-2 型数显土壤硬度计(浙江托普仪器有限公司生产)测定;土壤温度、含水量采用 TZS-W 型土壤温度湿度测定仪(浙江托普仪器有限公司生产)测定。

1.3.2 大豆株距指标 在大豆播种后第 18 天采用

W 型 9 点取样法,每取样点连续测定 3 m 行长幼苗的株距。

1.3.3 大豆幼苗发育速度指标 在大豆出苗后第 17 天,采用 W 型 9 点取样法每点取样 15 株,测定幼苗株高、叶片数、茎粗和根系体积。茎粗测定采用游标卡尺测量子叶节处的直径;根系体积采用排水法,每次测定 15 株,计算平均数。

1.3.4 大豆农艺性状及产量构成因子 在大豆成熟期,按 W 型 9 点取样法每点取样 15 株,测定株高、分枝数、节数、茎粗、单株荚数和单株粒数;按 W 型 9 点取样法每个样点 1 m<sup>2</sup>,按处理脱粒计产,之后折合为公顷产量。

## 1.4 数据统计

试验原始数据采用 Microsoft Excel 2003 软件进行整理,采用 DPS 13.01 进行数据的统计分析<sup>[19]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同播种方式对种床土壤环境的影响

免耕覆秸播种机带有侧深施肥排种管,对播种带土壤有一定的疏松作用,同时播种过程中拔秸、播种、覆秸等作业一次完成,减少了田间机械作业次数,减轻了机车进地对耕层土壤结构的破坏,土壤硬度值较低;常规机械播种和人工小耩播种需要进行 2 次灭茬作业,造成土壤硬度较高(表 1)。免耕覆秸精量播种处理将麦茬秸秆覆盖在播种带,减少了阳光对土壤的直接照射,降低了土壤的表层温度,加之覆盖的秸秆阻挡了水分蒸发,土壤湿度相对较大(表 1)。种床土壤硬度的降低、温度的下降及含水量的提高,为大豆萌发、出苗创造了良好的环境。

表 1 不同播种方式对播种带土壤硬度、温度和湿度的影响

Table 1 Effects of different sowing methods on hardness, temperature and humidity of sowing line soil

处理 Treatments	土壤硬度 Soil hardness/kg·cm <sup>-2</sup>	土壤温度 Soil temperature/ $^{\circ}\text{C}$	土壤湿度 Soil humidity/%
免耕覆秸精量播种 NTSMPS	2.9Bb	24.7	16.4
常规机械播种 CMS	7.4Aa	25.7	16.1
人工小耩播种 ASCS	4.6ABb	25.5	16.3

### 2.2 不同播种方式对大豆植株分布均匀度的影响

免耕覆秸播种处理在播种过程中,秸秆及大部分麦茬被清除,播种带干净,通过精量播种排种器,实现单粒播种,同时良好的土壤环境有利于大豆出苗,平均株距为 7.5 cm,幼苗成堆或缺苗断垄现象较轻(图 1);常规机械播种、人工小耩播种播种处理

的平均株距分别为 6.6、3.3 cm,2 种播种方式均采用窝眼式排种器,在播种过程中存在驱动轮打滑及排种管秸秆拖堆现象,造成下种均匀性差,同时由于种床土壤环境较差,造成幼苗成堆或缺苗断垄现象较重(图 1)。

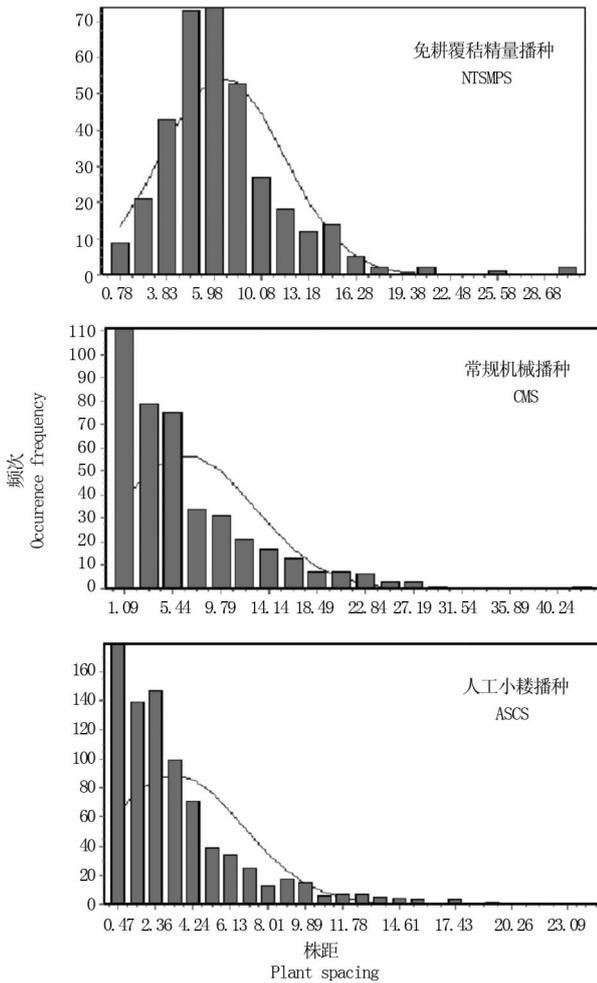


图1 不同播种方式下大豆植株的均匀度

Fig. 1 Soybean seedling uniformity under different sowing methods

### 2.3 不同播种方式对大豆幼苗发育的影响

良好的土壤环境及幼苗在播种带均匀分布,植株营养条件得以改善,免耕覆秸精量播种处理植株较常规机械播种和人工小耨播种处理生长发育速度快,叶片每株增加0.3~0.9个;同时植株较为健壮,株高降低1.1~3.5 cm,根体积增加0.1~0.4 cm<sup>3</sup>·株<sup>-1</sup>,茎粗同常规机械播种处理基本相同,较人工小耨播种处理增加0.3 mm(表2),为大豆增产创造了良好的条件。

### 2.4 不同播种方式对大豆农艺性状及产量构成因子的影响

免耕覆秸精量播种处理明显改善了植株的性状(表3),植株株高降低、茎粗增加,增强了抗倒伏能力;植株分枝数、节数、荚数、粒数均明显增加,改善了植株的产量性状。

免耕覆秸精量播种处理单株粒数较常规机械播种、人工小耨播种处理分别增加7.4和37.9个,差异均达到显著水平;但百粒重较常规机械播种、人工小耨播种处理分别下降0.2和0.8 g,其中与常规机械播种处理差异不显著,与人工小耨播种处理差异达到显著水平,可能的原因在于免耕覆秸精量播种处理单株粒数较多,鼓粒期脱肥所致。免耕覆秸精量播种处理较常规机械播种、人工小耨播种处理分别增产3.42%和6.41%,与人工小耨播种处理的产量差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。

表2 不同播种方式下大豆幼苗的发育速度

Table 2 Growth rate of soybean seedlings under different sowing methods

处理 Treatments	株高 Plant height /cm	叶片数 Leaf number	茎粗 Stem diameter /mm	根系体积 Root volume /cm <sup>3</sup>
免耕覆秸精量播种 NTSMPS	16.8Cc	6.9Aa	3.4Aa	1.9Aa
常规机械播种 CMS	17.9Bb	6.6Bb	3.5Aa	1.8Aa
人工小耨播种 ASCS	20.3Aa	6.0Cc	3.1Bb	1.5Bb

表3 不同播种方式下大豆植株的农艺性状及产量构成因子

Table 3 Agronomic traits and yield components under different sowing methods of soybean plants

处理 Treatments	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /mm	分枝数 Branch number	节数 Node number	单株荚数 Pods No. per plant	单株粒数 Seeds No. per plant	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield /kg·hm <sup>-2</sup>
免耕覆秸精量播种 NTSMPS	81.8Aa	4.9Aa	3.1Aa	16.0Aa	35.7Aa	66.7Aa	15.4Abc	2902.5Aa
常规机械播种 CMS	84.0Aa	4.8Aa	2.8Aa	15.9Aa	32.6Aa	59.3Ab	15.6Ab	2806.4Aab
人工小耨播种 ASCS	81.8Bb	3.7Ab	1.2Bb	12.8Ab	16.0Ab	28.8Ac	16.2Aa	2722.2Ab

### 3 讨 论

免耕已经成为目前世界上应用最广、效果最好的旱作农业技术之一<sup>[20]</sup>。美国、巴西、阿根廷等大豆主产国建立并完善了以免耕和秸秆还田为保水培肥措施,以抗除草剂转基因大豆品种为技术载体的生产技术体系,有力地推动了美洲尤其是南美洲地区大豆的迅猛发展<sup>[21-24]</sup>。美国、阿根廷、土耳其等国家尽管麦后复种比例较小,但由于麦茬粉碎彻底、播种机械先进,种植产量、效益较好<sup>[25-29]</sup>。

冬小麦-夏大豆一年两熟的种植方式在黄淮海地区的农业生产中占有极为重要的地位,但小麦机械化收割后,田间秸秆长、麦茬高,直接播种困难很大。据调查,黄淮海地区平均麦茬高度一般为 20~30 cm,部分田块达到 30~40 cm;麦秸长度平均为 17.5 cm,未粉碎田块达到 20~30 cm,一般不进行粉碎、抛洒,在田间聚堆摆放(未发表)。为创造良好的种床环境,黄淮海地区焚烧麦秸、麦茬现象十分严重<sup>[3-4]</sup>。大豆麦茬免耕覆秸精量播种技术,播种、施肥、覆秸一次完成,不仅能有效控制焚烧秸秆而造成的环境污染和危害,大大改善农村的环境,还解决了机械化收割留下的麦茬麦秸无处可去的局面,同时,秸秆还田可提高土壤有机质,蓄水保墒;此外播种时将秸秆移位,保证种子播到位,播种深度一致,提高大豆的播种质量,解决缺苗断垄问题。

目前黄淮海地区小麦收割农时紧张,机械力量不足,无法实现割茬 10~15 cm、秸秆彻底粉碎且均匀抛撒;同时劳动力匮乏,无法进行精细灭茬、整地。试验表明,免耕覆秸精量播种技术顺应了黄淮海地区广大农民群众对大豆生产节省劳动量和成本、增加效益的要求,具有广阔的推广应用前景。

### 参考文献

[1] 李卫东,张孟臣. 黄淮海夏大豆及品种参数[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2006. (Li W D,Zhang M C. Summer soybean and variety parameters of the Huang-Huai-Hai Plain[M]. Beijing:China Agricultural Science and Technology Press,2006.)

[2] 申源源,陈宏. 秸秆还田对土壤改良的研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(19):291-294. (Shen Y Y,Chen H. The progress of study on soil improvement research with straw stalk[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2009,25(19):291-294.)

[3] 倪进. 焚烧秸秆对城市空气质量的影响及对策[J]. 污染防治技术,2007,20(3):74-75. (Ni J. Influence of straw burning on urban air quality and its countermeasures[J]. Pollution Control Technology,2007,20(3):74-75.)

[4] 毕于运,王亚静,高春雨. 我国秸秆焚烧的现状危害与禁烧管理对策[J]. 安徽农业科学,2009,37(27):13181-13184. (Bi Y

Y,Wang Y J,Gao C Y. Problems of burning straw and its management countermeasures in China[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2009,37(27):13181-13184.)

[5] 刘天学,牛天岭,常加忠,等. 焚烧秸秆对大豆幼苗生长的影响[J]. 作物杂志,2004(1):23-24. (Liu T X,Niu T L,Chang J Z, et al. Impact of burning straw on growth of soybean seedling plant[J]. Crops,2004(1):23-24.)

[6] 王爱玲,高旺盛,洪春梅. 华北灌溉区秸秆焚烧与直接还田生态效应研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(1):142-144. (Wang A L,Gao W S,Hong C M. Study on the ecological effect of crop residues burned or incorporated in field in North Central Irrigated Area of China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2003,11(1):142-144.)

[7] 郑元红,潘国元,何开强,等. 不同作物秸秆还土对土壤肥力的影响[J]. 贵州农业科学,2009,37(1):77-78. (Zheng Y H,Pan G Y,He K Q,et al. Effects of different crop straw on maize yield and soil fertility[J]. Guizhou Agricultural Sciences,2009,37(1):77-78.)

[8] 吕彪,秦嘉海,赵芸晨. 麦秸覆盖对盐渍土肥力及作物产量的影响[J]. 土壤,2005,37(1):52-55. (Lü B,Qin J H,Zhao Y C. Effect of wheat straw mulching on soil fertility of and crop production on saling-alkaline soil[J]. Soils,2005,37(1):52-55.)

[9] 田慎重,宁堂原,王瑜,等. 不同耕作方式和秸秆还田对麦田土壤有机碳含量的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(2):373-378. (Tian S Z,Ning T Y,Wang Y,et al. Effects of different tillage methods and straw-returning on soil organic carbon content in a winter wheat field[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2010,21(2):373-378.)

[10] 王小彬,蔡典雄,张镜清,等. 旱地玉米秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学,2000,33(4):54-61. (Wang X B,Cai D X,Zhang J Q,et al. Effects of corn stover incorporated in dry farmland on soil fertility[J]. Scientia Agricultura Sinica,2000,33(4):54-61.)

[11] 刘庚山,郭安红,任三学,等. 不同覆盖对夏玉米叶片光合和水利用效率日变化的影响[J]. 水土保持学报,2004,18(2):152-156. (Liu G S,Guo A H,Ren S X,et al. Effects of different mulching methods on diurnal variation of leaf photosynthesis and water use efficiency for summer maize[J]. Journal of Soil Water Conservation,2004,18(2):152-156.)

[12] 杨永辉,武继承,吴普特,等. 秸秆覆盖与保水剂对土壤结构、蒸发及入渗过程的作用机制[J]. 中国水土保持科学,2009,7(5):70-75. (Yang Y H,Wu J C,Wu P T,et al. Effect mechanism of straw mulching and water-retaining agent on soil structure, evaporation, and infiltration process[J]. Science of Soil and Water Conservation,2009,7(5):70-75.)

[13] 樊向阳,齐学斌,郎旭东,等. 不同覆盖条件下春玉米田耗水特征及提高水分利用率研究[J]. 干旱地区农业研究,2002,20(2):60-64. (Fan X Y,Qi X B,Lang X D,et al. A study on characteristics of water consumption and ways of raising water use efficiency for spring maize under different mulching[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2002,20(2):60-64.)

[14] 王健,蔡焕杰,刘红英. 免耕覆盖夏玉米耗水特性及土壤环境变化研究[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(2):35-39. (Wang J,Cai H J,Liu H Y. Water consumption characteristics and soil environment for summer corn under no-tillage with mulch[J]. Ag-

- ricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(2):35-39.)
- [15] 申丽霞,王璞. 保护性耕作对土壤综合特性的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(8):265-268. (Shen L X, Wang P. Effects of conservation tillage on characteristics of soil[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(8):265-268.)
- [16] 鲁向晖,隋艳艳,王飞,等. 秸秆覆盖对旱地玉米休闲田土壤水分状况影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(3):156-159. (Lu X H, Sui Y Y, Wang F, et al. Study on soil water status of maize's fallow under straw mulch in dryland[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(3):156-159.)
- [17] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9):2326-2332. (Li L L, Huang G B, Zhang R Z, et al. Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9):2326-2332.)
- [18] 余嘉,陈海涛,纪文义,等. 小麦茬地免耕大豆精密播种机性能试验研究[J]. 大豆科技, 2010, (3):31-33. (Yu J, Chen H T, Ji W Y, et al. Performance test of no-tillage soybean precision seeder in wheat stubble field [J]. Soybean Science & Technology, 2010, (3):31-33.)
- [19] 唐启义. DPS<sup>®</sup>数据处理系统—实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 北京:科学出版社, 2010. (Tang Q Y. DPS<sup>®</sup> data processing system—experimental design, statistical analysis and data mining[M]. Beijing: Science Press, 2010.)
- [20] Milton A S, Glover B T. No-tillage and surface-tillage agriculture (the tillage revolution) [M]. New York: A Wiley Inter-science, 1986.
- [21] Brookes G, Barfoot P. Global impact of biotech crops: Environmental effects 1996-2009 [J]. GM Crops, 2011, 2(1):34-49.
- [22] García F O, Ambroggio M, Trucco V. No-tillage in the Pampas of Argentina: a success story [J]. Better Crops International, 2000, 14(1):24-27.
- [23] Pengue W A. Transgenic crops in Argentina: The ecological and social debt [J]. Bulletin of Science, Technology & Society, 2005, 25(4):1-9.
- [24] Finger R, Hartmann M, Feitknecht M. Adoption patterns of herbicide-tolerant soybeans in Argentina [J]. Journal of Agrobiotechnology Management & Economics, 2009, 12(3&4):404-411.
- [25] Díaz-Zorita M, Duarte G A, Grove J H. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina [J]. Soil and Tillage Research, 2002, 65(1):1-18.
- [26] Sanford J O, Myhre D L, Merwine N C. Double cropping systems involving no-tillage and conventional tillage [J]. Agronomy Journal, 1973, 65(6):978-982.
- [27] Sanford J O, Touchton J T, Johnson J W. Soybean tillage and planting method effects on yield of double-cropped wheat and soybeans [J]. Agronomy Journal, 1981, 74(1):57-59.
- [28] Sanford J O. Straw and tillage management practices in soybean-wheat double-cropping [J]. Agronomy Journal, 1981, 74(6):1032-1035.
- [29] Vyn T J, Opoku G, Swanton C J. Residue management and minimum tillage systems for soybean following wheat [J]. Agronomy Journal, 1998, 90(2):131-138.

## (上接第733页)

- [6] Matsuo N, Mase H, Makino M, et al. Identification of enhancer of shoot regeneration 1-upregulated genes during in vitro shoot regeneration [J]. Plant Biotechnology, 2009, 26:385-393.
- [7] Saghai M A, Soliman K M, Jorgensen R A. Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley: mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1984, 81:8014-8018.
- [8] Naomi O, Michelle T J, David J, et al. Leaf senescence is delayed in tobacco plants expressing the maize homeobox gene knotted 1 under the control of a senescence-activated promoter [J]. The Plant Cell, 1999, 11:1073-1080.
- [9] Hu H, Xiong L, Yang Y. Riceserk1 gene positively regulates somatic embryogenesis of cultured cell and host defense response against fungal infection [J]. Planta, 2005, 222:107-117.
- [10] Nishimura A, Ashikari M, Lin S, et al. Isolation of a rice regeneration quantitative trait loci gene and its application to transformation systems [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2005, 102:11940-11944.
- [11] Ozawa K, Kawahigashi H. Positional cloning of the nitrite reductase gene associated with good growth and regeneration ability of calli and establishment of a new selection system for *Agrobacterium*-mediated transformation in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Plant, 2006, 170:384-393.
- [12] Lotan T, Ohto M, Yee K M, et al. *Arabidopsis* leafy cotyledon 1 is sufficient to induce embryo development in vegetative cells [J]. Cell, 1998, 93:1195-1205.
- [13] Zuo J, Niu Q, Frugis G, et al. The *WUSCHEL* gene promotes vegetative-to-embryonic transition in *Arabidopsis* [J]. The Plant Journal, 2002, 30:349-359.
- [14] Zhang S, Liu X, Lin Y, et al. Characterization of a *ZmSERK* gene and its relationship to somatic embryogenesis in a maize culture [J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2011, 105:29-37.