

保护性耕作机械化种植模式与播量试验*

高焕文¹ 何明² 蒋金琳³ 房全孝⁴

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 青岛市农业机械管理局, 青岛 266021;
3. 青岛农业大学机电工程学院, 青岛 266109; 4. 青岛农业大学农学院, 青岛 266109)

【摘要】 2009—2011年在青岛开展了保护性耕作机械化种植模式与播量试验。试验表明两者对产量均有显著影响,小宽窄行模式(28 cm + 12 cm)小麦产量最高,分别比大宽窄行和大等行距模式高15%~30%;加大10%~20%的播量,产量提高2.2%~15%,并分析了小宽窄行模式增产和大宽窄行模式产量不高的原因。

关键词: 保护性耕作 播种行距 播种量 机械化农业试验

中图分类号: S233.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)08-0042-04

Experiment of Mechanized Planting Mode and Sowing Rate for Conservation Tillage

Gao Huanwen¹ He Ming² Jiang Jinlin³ Fang Quanyao⁴

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Qingdao Farm Machinery Bureau, Qingdao 266021, China

3. School of Electrical and Mechanical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

4. School of Agriculture and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract

Mechanized planting mode and sowing rate was conducted in Qingdao from 2009 to 2011. The result showed that both of the two factors had significant influence on wheat yields. The wheat yields in small-wide-narrow mode (28 cm + 12 cm) was the highest, which is 15% ~ 30% higher than the large-wide-narrow mode and large-equal-row mode. When the sowing rate increased by 10% ~ 20%, the yield increased by 2.2% ~ 15%. The reason of yield increasing in small-wide-narrow mode and yield decreasing in large-wide-narrow mode was analyzed.

Key words Conservation tillage, Plant row spacing, Sow rate, Mechanized agriculture experiment

引言

传统耕作对种植模式和播种量进行了大量试验研究,张双利试验结果表明改变目前小麦20 cm等行距种植为宽窄行种植,可以提高产量10%;李莉等试验得出小麦栽植行距在20~40 cm时产量和行距呈正相关,大于40 cm时产量开始下降;赵秉强等对20 cm + 30 cm等4种带型模式的试验证明,产量随宽行距加大而提高;赵虹等对4个不同类型小麦品种的试验研究结果表明等行距与宽窄行之间产量

无明显差异,低播量与高播量差异达极显著水平^[1-6]。保护性耕作中,石振平等试验了28 cm、25 cm和20 cm 3种行距对播种机通过性的影响,结果得出宽行距不仅改善播种机通过性,产量也略有提高^[7]。这些在传统耕作条件下的试验,证明行距和播量对产量至关重要,对保护性耕作有重要参考价值。但由于保护性耕作地表有秸秆覆盖、播前没有土壤疏松平整的过程,播种条件和播种机相对传统耕作发生了很大变化,直接采用传统耕作试验结果是不适宜的^[8-10]。其次,上述试验主要是用人、

畜力进行的,试验成功后还需要开发配套机器,形成生产力的周期长,甚至可能因机器问题不能推广应用。现在我国的保护性耕作已经普遍采用机械作业,更需要用机器试验的结果。因此,本文开展保护性耕作条件下的机械化种植模式与播量试验,以期农艺、农机结合提高保护性耕作的产量与效益^[11]。

1 试验条件、材料与方法

试验设在山东省青岛平度市兰底镇桑园村,种植制度为小麦、玉米平作一年两熟,是山东、河南、河北等省典型的种植方式,地下水贫瘠、池塘蓄雨灌溉,地势平坦。土壤质地为潮土,播前 0~20 cm 平均有机质含量为 13.60 g/kg,碱解氮 143.2 mg/kg、速效磷 41.69 mg/kg、速效钾 152.99 mg/kg,pH 值为 6.41,按全国测土配方施肥土壤养分分级标准,土壤养分处于 3~4 级,水、土条件具有代表性。

选取在华北地区大量应用的 3 种小麦保护性耕作种植模式:小宽窄行(宽行 28 cm、窄行 12 cm)(A1);大宽窄行(宽行 40 cm、窄行 20 cm)(A2);等行宽带(行距 30 cm、种带 9 cm)(A3)。选用与上述模式相配的 3 种小麦免耕播种机:河南豪丰 2BMFS-12/6 型免耕施肥播种机,配套 44 kW 以上中型拖拉机(A1 模式用);山东工力 2BMFS-8/4 型免耕施肥播种机,配套 44 kW 以上中型拖拉机(A2 模式用);山东奥龙 2BMFS-8 型免耕施肥播种机,配套 44 kW 以上中型拖拉机(A3 模式用)。

3 种免耕播种机结构均为带状旋耕防堵,种肥垂直分施或侧分施,宽窄行机具采用一沟两行、窄行封闭。传统播种用青岛产 2B-9 型小麦播种机,20 cm 等行距,整地后播种,与 14.7 kW 小型拖拉机配套。

3 种播量:正常播量(225 kg/hm²)(B1);加大 10% 播量(247.5 kg/hm²)(B2);加大 20% 播量(270 kg/hm²)(B3)。试验设 3 次重复。

2009 年秋为种植模式单因子试验,共设 9 个试验小区,为适应机械作业需要,试验小区长 70 m、宽 4.8 m,小区间隔离带 1 m,重复区间隔离带 10 m,试验区占地 0.6 hm²。设 1 个传统对照、3 个小区,因耕作方式不同,传统仅作对照比较,不参与方差检验。

2010 年秋为种植模式与播量双因子试验,共 27 小区,占地 1.5 hm²,设 1 个传统对照、3 个小区。试验布置如图 1 所示。

试验除种植模式与播量外,其他投入和管理措施相同。保护性耕作地玉米机收后,秸秆(18~22 t/hm²)全部粉碎还田、免耕播种,播种时施硫酸

钾复合肥 750 kg/hm²(N、P、K 比例为 15:10:20),浇越冬水 1 次 450 m³/hm²,返青水 1 次 375 m³/hm²。传统耕作地玉米机收后,旋耕 2 次翻埋秸秆及整地、地表基本不见秸秆,常规播种,施肥与灌水与保护性耕作相同。

隔离带 10 m										
一区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	A1B1	A3B1	A2B3	A3B3	A2B2	A1B2	A3B2	A2B1	A1B3	CK
隔离带 10 m										
二区	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	A3B3	A2B1	A1B1	A3B1	A3B2	A2B3	A1B3	A1B2	A2B2	CK
隔离带 10 m										
三区	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	A1B2	A3B2	A2B2	A1B3	A2B1	A3B3	A3B1	A1B1	A2B3	CK
隔离带 10 m										

图 1 模式(A)与播量(B)双因子试验布置

Fig. 1 Arrangement diagram of two factor experiments for planting mode(A) and sowing rate(B)

2 试验结果

2.1 2009—2010 年机械化种植模式试验

2009 年秋播种冬小麦,品种鲁麦 23,不同模式测产结果如表 1 所示。

表 1 保护性耕作不同机械化种植模式测产结果
(测产日期 2010 年 6 月 20 日)

Tab. 1 Yields of different mechanized planting modes of conservation tillage

序号	种植模式	穗数/ 百万穗·hm ⁻²	穗粒 数/粒	千粒 质量 /g	单产 /t·hm ⁻²	对比 A1 模式增 减/%
1	A1	6.15	40.3	38.35	8.08	
	A2	5.84	36.8	35.01	6.39	
	A3	5.57	45.1	36.29	7.74	
2	A1	7.17	39.8	34.54	8.37	
	A2	5.28	36.2	33.89	5.50	
	A3	4.47	41.3	37.18	5.83	
3	A1	5.86	41.5	39.08	8.08	
	A2	4.20	38.7	35.85	5.19	
	A3	4.39	43.3	38.35	5.93	
平均	A1	6.45	40.5	37.3	8.17	0
	A2	5.10	37.2	34.9	5.70	-30.2
	A3	4.80	43.2	37.3	6.50	-20.4
传统耕作		5.37	40.1	38.0	6.90	-15.5

经方差检验,机械化种植模式对产量有极显著影响($\alpha=0.05$),A1 模式产量最高 8.17 t/hm²,分别

比 A2、A3 高 30% 和 20%，比传统耕作高 15%。

2.2 2010—2011 年种植模式和播量双因子试验

2010 年秋播种冬小麦，品种鲁麦 23，不同模式

与播量的产量如表 2 所示。

经方差检验，机械化种植模式对产量影响极显著 ($\alpha = 0.05$)，A1 模式产量最高 $8.72 \text{ t}/\text{hm}^2$ ，分别

表 2 各处理产量(测产日期 2011 年 6 月 19 日)

Tab.2 Yield of different treatments

播量	序号	种植模式			播量均产 $/\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$	比 B1 增减 /%	传统产量 $/\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$
		A1	A2	A3			
B1	1	7.11	6.08	10.33	7.15	0	
	2	5.56	7.99	4.32			
	3	6.69	9.84	6.47			
B2	1	6.36	5.52	6.17	7.31	2.2	6.38
	2	11.30	10.9	7.21			
	3	7.44	6.28	4.55			
B3	1	8.91	8.11	6.89	8.22	15	
	2	16.20	7.40	6.99			
	3	8.89	5.00	5.36			
模式均产/ $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$		8.72	7.46	6.48	7.54		
比 A1 增减/%		0	-14.6	-25.6			

比 A2、A3 高 14.6% 和 25.6%。

不同播量对产量影响显著 ($\alpha = 0.1$)，加大 10% 播量比常规播量增产 2.2%，加大 20% 播量增产 15%。

种植模式与播量对产量的交叉影响不显著。

保护性耕作平均比传统对照增产 15%，其中 A1 模式比传统对照增产 27%。

3 增产与减产原因分析

3.1 A1 模式增产原因

初步分析有 4 方面原因：① A1 模式行距小 (20 cm)、公顷穗数多，2010 年收获时每公顷 6.45 百万穗，比 30 cm 行距的平均 4.95 百万穗多 23.2% (表 1)，2011 年收获时比 30 cm 行距平均公顷穗数多 28%。② 宽窄行有边际效应 (光照好、空气流动、秸秆粗抗倒伏能力强) 作物生长较好。③ 播种机通过性好，残茬最小通过间隙比等距模式扩大 70%，播种质量提高。④ 播后残茬有效堆积空间大，比等距模式增大 50%，减少了残茬掩埋幼苗的可能性，改善幼苗生长环境。

3.1.1 播种机通过性分析

在秸秆覆盖地播种，播种机通过性是必须满足的性能，否则难以顺利作业或满足播种质量要求。提高通过性的各种措施中，扩大播种机的残茬最小通过间隙 W_m (相邻两开沟器之间的间隙) 是一个重要方面， W_m 愈大通过性愈好。

对 20 cm 等距模式来说，行距减去一个开沟器

宽度 6 cm， $W_m = 14 \text{ cm}$ (图 2a)。宽窄行模式通过设计窄行内种 2 行作物，以一个拨草分土板封闭窄行的做法，使秸秆残茬只从宽行通过，从而在相同行距下把 W_m 变为 24 cm (图 2b)，扩大残茬最小通过间隙 70%，显著提高播种机通过性，改善播种质量。

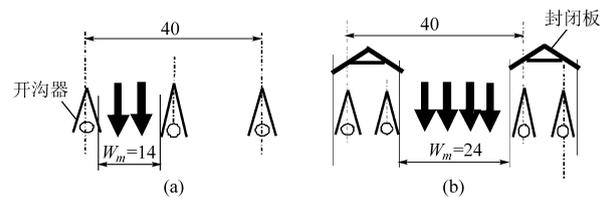


图 2 等行距 (20 cm) 和小宽窄行 (12 cm + 28 cm) 播种机的残茬最小通过间隙

Fig.2 Minimum clearance to residue floor out for 20 cm equal-row planter and small-wide-narrow row planter
(a) 等行距 (20 cm) (b) 小宽窄行 (12 cm + 28 cm)

3.1.2 残茬堆积空间分析

在大量秸秆覆盖地，观察到播后地表经常有残茬及浮土滑入种沟里，掩埋幼苗，阻碍作物生长。滑落的原因除刮风、下雨等外力作用外，主要是播后残茬堆积空间不足。

播后残茬堆积在 2 条种沟之间的空地上 (图 3)，有效堆积空间是以空地宽度为底、自然堆高为高的三角形 (图 3 中带剖面线部分)。A1 和 20 cm 等距模式播后残茬有效堆积空间如图 3 所示。

设残茬自然滑落休止角 α ，A1 模式残茬有效堆积空间 Y_1 ，20 cm 等距模式残茬有效堆积空间 Y_2 ，则

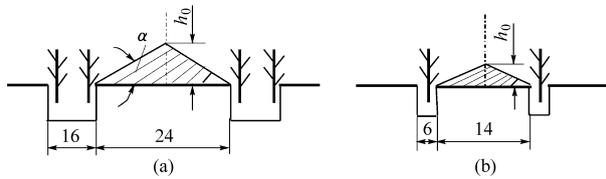


图 3 A1 模式和 20 cm 等距模式播后残茬有效堆积空间

Fig. 3 Residue effective storage area of A1 mode and after sowing 20 cm equal row mode

(a) A1 模式 (b) 20 cm 等距模式

$$Y_1 = \frac{24h_0}{2} = 24 \times 12 \times \frac{\tan\alpha}{2} = 144\tan\alpha \quad (\text{cm}^2)$$

$$Y_2 = \frac{14h_0}{2} = 14 \times 7 \times \frac{\tan\alpha}{2} = 49\tan\alpha \quad (\text{cm}^2)$$

等距模式在 40 cm 行宽内有 2 条空地, 其总堆积空间为 $98\tan\alpha(\text{cm}^2)$, A1 模式比等距模式堆积空间大 50%。

进一步与 A3 模式(30 cm 等行距, 种沟宽 9 cm)相比, 则

$$Y_3 = \frac{21h_0}{2} = 21 \times 10.5 \times \frac{\tan\alpha}{2} = 110.25\tan\alpha \quad (\text{cm}^2)$$

换算到 40 cm 行宽上, $Y_3 = 110.25 \times 4 \times \frac{\tan\alpha}{3} = 147\tan\alpha(\text{cm}^2)$, 得 $Y_1 \cong Y_3$, 在加大残茬有效堆积空间方面, 宽窄行模式的作用相当于把等距模式的行距扩大 50%。

3.2 A2 模式减产原因

2010 年试验结果 A2 模式产量最低。初步分析, 这与播种机结构有关。该机结构和小宽窄行模式播种机相同, 即窄行内播 2 行小麦、中间施 1 行肥料, 1 个拔草封闭板封闭窄行。这种结构对 A1 模式是适应的, 对 A2 模式却发生了以下问题: 一是封闭板太宽(24 cm), 板前容易堵草壅土, 播种质量受到严重影响, 导致公顷穗数降低; 二是种子与肥料距离太远(10 cm), 种子在苗期供肥不足, 导致千粒质量减小, 如 2010 年 A1 和 A3 模式千粒质量 37.3 g, 而 A2 模式 34.9 g, 比 A1、A3 低 7%。A2 模式在传

统耕作中表现良好, 山东地区有不少应用, 但应用到保护性耕作中就出现了免耕播种机不适应的问题, 说明传统耕作的增产技术, 在保护性耕作上不一定增产。需要改变播种机结构, 再进行试验, 如不能成功, 说明对免耕播种机来说, 宽窄行的大小有一定适应范围, 超过限度就可能导致减产。

3.3 加大播量取得增产原因

由于地面秸秆覆盖和地表不平整, 保护性耕作的出苗率一般低于传统耕作, 适当加大播量有利于弥补苗数不足。试验结果初步证明, 在目前条件下, 比传统耕作加大 10% ~ 20% 的播量尚在可行范围内, 能增加公顷穗数、提高产量, 其中加大 20% 的增产达 15%。

4 结论

(1) 机械化种植模式和播量对保护性耕作产量有重大影响, 宽窄行种植模式不仅有边际效应等农艺优势, 而且在秸秆覆盖地播种机通过性和秸秆堆积空间方面具有优势。从青岛的试验看, 小宽窄行模式(28 cm + 12 cm)和该型免耕施肥播种机相互适应, 效果最好。

(2) 加大播量 10% ~ 20%, 是目前条件下增加公顷穗数、提高产量的重要措施。

(3) 在秸秆残茬覆盖地, 宽窄行模式的残茬可以从宽行通过, 比等行距模式的残茬最小通过间隙扩大 70%, 显著提高播种机通过性、改善播种质量; 宽窄行模式可以加高残茬堆积高度, 比等行距模式的播后残茬堆积空间扩大 50%, 有效避免残茬滑入种沟掩埋幼苗、阻碍作物生长。可以认为宽窄行是更适合保护性耕作的模式。

(4) 机械化种植模式包括农艺行距与播种机两个方面, 需要农艺、农机融合, 才能产生良好的增产效果。大宽窄行模式农艺上具有先进性, 但与目前免耕播种机的结构不相适应, 在保护性耕作试验中却出现了减产。

参 考 文 献

- 张双利. 两种行距模式对小麦/玉米群体质量、养分积累及产量的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010.
- 李莉, 田士林. 宽行播种对小麦生长发育的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(14): 4 166, 4 202.
Li Li, Tian Shilin. Effect of wide-row sowing on wheat[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2007, 35(14): 4 166, 4 202. (in Chinese)
- 赵秉强, 余松烈, 李凤超, 等. 带状种植小麦带型-群体-产量相关规律研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(1): 1 ~ 10.
Zhao Bingqiang, Yu Songlie, Li Fengchao, et al. Studies on correlation of strip type-seed rate-yield of strip planting wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1999, 32(1): 1 ~ 10. (in Chinese)
- 赵虹, 杨兆生, 闫素红, 等. 播种方式对不同类型小麦品种产量性状的影响[J]. 华北农学报, 2000, 15(2): 100 ~ 105.
Zhao Hong, Yang Zhaosheng, Yan Suhong, et al. Effect of planting method on wheat yield components of difference variety types[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2000, 15(2): 100 ~ 105. (in Chinese)

好的振动响应,振幅可达 0.67 ~ 1.31 mm,吸种率达到 95%。

量-弹簧振动系统。采用该系统的输出位移激励种子盘振动台组成并联系统,成为典型的单自由度振动系统,具有较为可靠的动态幅频特性。

(3) 压电振动驱动系统为无阻尼单自由度质

参 考 文 献

- 刘彩玲. 水稻育苗精量播种装置的理论及试验研究[D]. 镇江: 江苏理工大学, 1998.
Liu Cailing. Theoretical and experimental study on rice seedling precision mechanism[D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 1998. (in Chinese)
- 吴爱祥, 孙业志, 刘湘平. 散体动力学理论及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- 闻邦椿, 刘树英. 振动机械的理论及动态设计方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- 赵立新, 郑立允, 王玉果, 等. 振动气吸式穴盘播种机的吸种性能研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 122 ~ 125.
Zhao Lixin, Zheng Liyun, Wang Yuguo, et al. Seed suction performance of vibrational air-suction tray seeder [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(4): 122 ~ 125. (in Chinese)
- 屈维德, 唐恒龄. 机械振动手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- 张石平, 陈进, 李耀明. 振动气吸式穴盘精量播种装置种子群“沸腾”运动分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 20 ~ 24.
Zhang Shiping, Chen Jin, Li Yaoming. Analysis of seeds boiling motion on vibrational air-suction tray seeder [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(7): 20 ~ 24. (in Chinese)
- 张石平, 夏静. 气吸振动式蔬菜穴盘育苗精密播种装置的研究[J]. 农机化研究, 2007(8): 80 ~ 83, 105.
Zhang Shiping, Xia Jing. Study on equipment of vibrational air-suction vegetable tray precise seeder [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(8): 80 ~ 83, 105. (in Chinese)
- 张石平, 陈进, 李耀明. 振动气吸式穴盘精播装置振动条件理论分析与实验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7): 56 ~ 61.
Zhang Shiping, Chen Jin, Li Yaoming. Experiment study of vibration parameters for the vibrational air-suction tray precision seeding-machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(7): 56 ~ 61. (in Chinese)
- 王矜奉, 姜祖桐, 石瑞大. 压电振动[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- 曲兴田, 董景石, 郭俊臣, 等. 基于柔性铰链放大机构的压电叠堆泵[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2008, 38(3): 552 ~ 556.
Qu Xingtian, Dong Jingshi, Guo Junchen, et al. Piezoelectric stack pump based on flexure hinge magnification machine [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2008, 38(3): 552 ~ 556. (in Chinese)
- 陶帅, 白鸿柏, 侯军芳, 等. 预压力对压电致动器位移和迟滞影响的分析[J]. 兵器材料科学与工程, 2009, 32(2): 29 ~ 32.
Tao Shuai, Bai Hongbai, Hou Junfang, et al. Effect of preliminary pressure on the displacement and hysteresis of the piezoelectric actuators [J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2009, 32(2): 29 ~ 32. (in Chinese)
- 何秀华, 毕雨时, 王健, 等. 基于 ANSYS/Fatigue 的泵用压电振子疲劳分析[J]. 排灌机械工程学报, 2011, 29(1): 35 ~ 38.
He Xiuhua, Bi Yushi, Wang Jian, et al. Fatigue analysis of piezoelectric vibrator for pump based on ANSYS/Fatigue [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2011, 29(1): 35 ~ 38. (in Chinese)

(上接第 45 页)

- 曹爱芳. 鲁西北小麦宽幅播种栽培技术[J]. 吉林农业, 2010(9): 105.
- 马爱平, 王娟玲, 靖华, 等. 不同播种行距与密度对小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 陕西农业科学, 2009(1): 3 ~ 5.
- 石振平. 加大小麦免耕播种行距的试验研究[J]. 农机科技推广, 2005(12): 22 ~ 23.
- 周兴祥, 高焕文, 刘俊峰. 华北平原一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 80 ~ 83.
Zhou Xingxiang, Gao Huanwen, Liu Junfeng. Conservation tillage system experiment on double cropping area of Huabei plain [J]. Transactions of CSAE, 2001, 17(6): 80 ~ 83. (in Chinese)
- 刘立晶, 高焕文, 李洪文. 玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 70 ~ 73.
Liu Lijing, Gao Huanwen, Li Hongwen. Experiment & research on corn & wheat double cropping [J]. Transactions of CSAE, 2004, 20(6): 70 ~ 73. (in Chinese)
- 姚宗路, 李洪文, 高焕文, 等. 一年两熟区玉米覆盖地小麦免耕播种机的试验研究[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8): 57 ~ 61.
Yao Zonglu, Li Hongwen, Gao Huanwen, et al. Experiment on no-till wheat planter under the maize stubble in double cropping area [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 57 ~ 61. (in Chinese)
- 高焕文, 何明. 建设可持续高产高效保护性耕作体系[J]. 农机科技推广, 2010(9): 4 ~ 6.