

光温效应对大豆品种黑河45生育进程及产量的影响

袁明^{1,2}, 宁海龙², 王守义¹, 王连霞¹, 郭泰³, 王志新³, 贾鸿昌⁴, 姜成喜⁵

(1. 黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006; 2. 东北农业大学 农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 3. 黑龙江省农业科学院 佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007; 4. 黑龙江省农业科学院 黑河分院, 黑龙江 黑河 164300; 5. 黑龙江省农业科学院 绥化分院, 黑龙江 绥化 152000)

摘要:在自然条件下, 对大豆品种黑河45分别在黑龙江省齐齐哈尔、佳木斯、绥化和黑河4个地点进行分期播种, 研究不同光温生态条件对大豆生育进程、形态性状及产量相关性状的影响, 并进一步探讨光温效应对大豆的影响机制, 为大豆生态育种提供理论依据。结果表明: 黑河45的生育进程及产量性状都受光温效应的影响。在出苗~始花期阶段, 温度的升高能使生育天数缩短; 始花期到成熟期温度的升高、日照的减少能使单株荚数、生育天数、单株粒数、百粒重和产量增加。在同一地点的不同播期间光温效应对产量性状的影响存在着比较差异。2008年绥化以5月23日播期的单株荚数、单株粒数和产量最高; 2009年佳木斯以5月27日播期、黑河以5月11日播期的单株荚数、单株粒数和产量最高; 齐齐哈尔2009年6月13日播期和2010年5月27日播期的单株荚数、单株粒数、百粒重和产量最高。

关键词:大豆; 黑河45; 播期; 光温效应; 生育进程; 产量

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2013)03-0328-05

Effect of Light and Temperature on Reproductive Processes and Yield of Soybean Heihe 45

YUAN Ming^{1,2}, NING Hai-long¹, WANG Shou-yi¹, WANG Lian-xia¹, GUO Tai³, WANG Zhi-xin³, JIA Hong-chang⁴, JIANG Cheng-xi⁵

(1. Qiqihar Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China; 2. Agricultural College of Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 3. Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, China; 4. Heihe Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heihe 164300, China; 5. Suihua Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Suihua 152000, China)

Abstract: Temperature and light are key ecological factors affecting soybean growth. To further investigate the photo-thermal effectiveness of soybean, soybean cv. Heihe 45 was field planted in Qiqihar, Suihua, Heihe and Jiamusi, Heilongjiang at varied planting dates during 2008–2010. Growth process, morphological and yield related traits were recorded. Increased temperature at VE–R1 decreased growth duration. While enhanced temperature and declined sunlight hours at R1–R8 increased growth duration, pods per plant, seeds per plant, 100–seed weight and seed yield. The effect of temperature and light on seed yield within a location varied with planting dates. Highest pods per plant, seeds per plant and seed yield in Suihua, Jiamusi and Heihe were obtained under planting date of May 23rd 2008, May 27th 2009 and May 11th 2009, respectively. For Qiqihar location, highest pods per plant, seeds per plant, 100–seed weight and seed yield were obtained under planting date of June 13th 2009 and May 27th 2010, respectively.

Key words: Soybean; Heihe 45; Sowing date; Effect of light and temperature; Reproductive processes; Yield

大豆是喜温短日作物, 短日照和高温促进大豆的生长发育^[1], 光周期和温度对不同生态类型大豆品种生长发育的影响不同^[2]。光温条件对大豆生长发育的影响, 国内外已有不少的研究, 其中多数研究是通过人为控制光照长度来进行的^[3], Lawn等指出, 晚熟大豆品种生育后期若遇长日照, 开花期和终花至成熟期将延长^[4]。Johnson等发现, 晚播使开花至成熟和终花至成熟的日数缩短^[5]。Chapman证明, 在不同播期下花期长短与同期日照长度呈显著的正相关^[6]。同时, 也有一些大豆科技工作者对北方晚熟

品种进行南引种植研究, 在优良的农业条件下, 获得了大幅度增产。对于固定的生产地点, 光照和温度等气候条件是固定的, 通过分期播种方法, 改变大豆生长发育各阶段的环境条件, 达到类似异地种植效果, 能够为异地引种确定技术依据。因此, 选择黑河45在黑龙江省齐齐哈尔、佳木斯、绥化和黑河4个地点进行分期播种, 研究自然条件下光温效应对大豆生育进程、形态性状及产量相关性状的影响, 为大豆生态育种提供理论依据。

收稿日期: 2012-10-10

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-004)。

第一作者简介: 袁明(1982-), 男, 硕士, 助理研究员, 从事大豆遗传育种研究。E-mail: 55677909@163.com。

通讯作者: 宁海龙(1975-), 男, 教授, 博士生导师。从事大豆遗传育种研究。E-mail: ninghailongneau@126.com。

1 材料与方法

1.1 材料

以大豆品种黑河 45(尖叶、紫花、亚有限结荚习性,生育期 108 d,需活动积温 2 050℃)为试验材料。该品种以北丰 11 为母本、黑河 26 为父本,经有性杂交,系谱法选育而成,种子由品种选育单位黑龙江省农业科学院黑河分院提供。

1.2 试验设计

试验分别在齐齐哈尔(2009 年和 2010 年)、佳木斯(2009 年)、绥化(2008 年)、黑河(2009 年)进行。从各地大豆正常播期(齐齐哈尔、佳木斯为 5 月 7 日,绥化为 5 月 9 日,黑河为 5 月 11 日)开始,每隔 7~10 d 播种 1 期,直到当地正常播期主栽品种开花为止,初霜期来临前未成熟的播期忽略不计,不作为有效的试验数据。种植方式为三垄栽培,栽培密度为 25 万~28 万株·hm⁻²,4 行区、行长 5 m,不设重复。

1.3 调查项目与方法

按 Fehr 等^[7]的方法进行大豆生育时期调查,并在试验田内设气象仪器观测场,测定日平均温度、平

均日照长度、降水量。降雨量的统计方法为利用雨量桶与电脑相连,降雨数据自动获得。每小区取中间 1 行定点观察 15 株。分株详细记载播种期、出苗期(VE)、始花期(R1)、生理成熟期(R7)和完熟期(R8)。未正常成熟的,记载收获或初霜时生育时期。收获后,对定点观察的 15 株进行考种,记录每株的株高、主茎节数、单株荚数、单株粒数、百粒重、单株产量和每行产量(中间取样行应加上 15 个考种植株的产量),并折合为公顷产量。

1.4 数据处理

应用 Excel 2003、SAS 9.0 软件进行数据处理,采用 REG 过程进行多元线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 黑河 45 的生育进程

黑河 45 在齐齐哈尔、绥化、佳木斯、黑河共进行了 20 个播期试验,各播期间出苗~始花期、始花期~成熟期的生育进程和农艺性状分别列于表 1 和表 2。

表 1 黑河 45 各播期生育进程及农艺性状
Table 1 Growth process of Heihe 45 under different sowing data

地点(年份) Site(Year)	播期 Sowing date /Month-Day	VE-R1				R1-R8			
		天数 Days/d	日平均温度 Average temperature/℃	平均日照 Average sunlight/h	降水量 Precipitation /mm	天数 Days/d	日平均温度 Average temperature/℃	平均日照 Average sunlight/h	降水量 Precipitation /mm
齐齐哈尔	05-07	42	18.7	7.1	5.4	66	23.4	10.1	1.9
Qiqihar(2009)	05-17	38	18.5	7.1	6.0	69	21.5	9.1	2.9
	05-27	34	19.6	7.0	6.5	70	21.0	9.1	2.9
	06-06	26	20.8	7.9	6.0	70	20.7	8.9	2.9
	06-13	23	21.9	8.2	4.8	71	19.6	8.9	2.5
	06-23	20	22.4	8.5	4.1	72	18.4	7.5	4.9
齐齐哈尔	05-07	39	24.0	10.1	1.2	69	22.0	8.9	4.3
Qiqihar	05-17	38	24.6	10.0	1.5	68	22.1	9.3	4.2
(2010)	05-27	33	24.7	9.9	1.6	70	21.9	9.3	4.0
	06-06	26	24.7	10.4	0.7	71	21.5	9.3	3.9
	06-16	16	25.1	10.8	0.2	76	20.9	8.5	2.2
绥化	05-09	35	20.1	9.0	2.3	69	22.3	8.2	3.1
Suihua(2008)	05-16	32	22.4	9.6	2.5	70	21.8	8.3	2.5
	05-23	29	23.3	9.3	3.9	72	21.1	8.3	2.4
	05-30	24	23.4	7.8	5.1	72	20.9	8.5	2.2
佳木斯	05-07	38	18.2	6.5	3.8	72	20.7	7.2	7.1
Jiamusi(2009)	05-17	37	18.1	5.5	6.3	73	20.2	7.4	5.9
	05-27	31	19.1	5.9	6.8	70	19.6	7.4	5.9
	06-06	27	20.0	7.0	6.4	73	19.2	7.2	5.7
	06-13	24	20.6	6.5	8.4	72	18.4	7.5	4.9
黑河	05-11	29	23.8	10.1	1.9	70	21.4	7.3	4.8
Heihe(2009)	05-18	33	23.1	8.1	4.4	65	21.1	8.2	3.6

从表 1 可知,随播种期延迟,黑河 45 全生育期逐渐缩短,越是迟播,生育期越短。其中生育前期 (VE ~ R1) 随播种期延迟逐渐缩短,而生育后期 (R1 ~ R8) 在不同生态区的反应不一致,在齐齐哈尔和绥化随播种期延迟而逐渐延长,在佳木斯变化不大,在黑河随播种期延迟而逐渐缩短。从前期和后期的变化幅度上看,生育前期的光温效应较大,而生育后期的光温效应较小。

由表 2 可见,在形态性状中,株高和主茎节数在不同的地点变化趋势不同。在齐齐哈尔,播期对株

高和主茎节数几乎没有影响;在绥化和黑河,株高和主茎节数随播期的延迟而降低;而在佳木斯,株高和主茎节略有增加。

在产量相关性状中,除黑河外,迟播条件下,单株荚数和单株粒数均有较大变动,并且多数迟播条件下表现为增加;除佳木斯的百粒重随播期的推迟而逐渐降低外,其他生态区的百粒重变化幅度不大;公顷产量的变化趋势与单株荚数和单株粒数相同,说明在迟播条件下,产量的变化主要是受单株荚数和单株粒数的影响,百粒重的影响不大。

表 2 黑河 45 各播期的农艺性状

Table 2 Agronomic traits performance of Heihe 45 under different sowing date

地点(年份) Site(Year)	播期 Sowing date (Month-Day)	株高 Plant height/cm	主茎节数 Main stem nodes	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/kg·hm ⁻²
齐齐哈尔	05-07	38.2	8.5	14.6	27.1	19.6	1675.1
Qiqihar(2009)	05-17	37.8	8.9	14.6	26.4	19.6	1624.4
	05-27	38.5	8.2	10.3	16.9	19.9	1285.6
	06-06	38.3	9.7	15.2	29.1	19.9	1703.9
	06-13	35.5	8.0	16.6	29.7	20.1	1758.0
齐齐哈尔	05-07	37.8	9.4	12.8	20.9	19.7	1266.2
Qiqihar(2010)	05-17	37.5	9.4	15.1	25.0	19.7	1478.5
	05-27	38.2	9.5	16.5	29.1	19.9	1760.0
	06-06	38.2	9.9	14.7	25.9	19.8	1572.6
绥化	05-09	84.4	16.0	45.0	106.3	19.6	2411.5
Suihua(2008)	05-16	81.5	14.5	48.7	115.2	18.1	2405.4
	05-23	64.1	14.3	76.5	138.6	18.6	2713.1
	05-30	74.7	13.9	34.2	84.3	19.1	1861.5
佳木斯	05-07	60.2	13.1	25.5	53.1	21.0	2503.9
Jiamusi(2009)	05-17	63.4	14.0	28.4	59.1	19.5	2318.2
	05-27	75.5	15.6	39.9	84.1	19.7	3205.1
	06-06	73.5	15.2	29.1	64.4	19.4	2698.0
	06-13	78.0	15.7	38.5	95.2	17.4	2290.0
黑河	05-11	97.7	15.3	48.5	82.5	21.8	3228.0
Heihe(2009)	05-18	77.7	13.4	30.7	71.1	22.3	3043.9

2.2 黑河 45 农艺性状与生育期光温效应及降水量的相关性分析

从表 3 可以看出:生育前期天数与前期温度极显著负相关,即温度增加,出苗到始花期的天数则减少;生育后期天数与后期温度极显著负相关,与后期降水显著正相关,即后期温度的增加和降水的减少会使始花期到成熟期的天数缩短;株高与后期温度、日照时数分别呈显著和极显著负相关,即从始花期到成熟期间温度和日照时数的减少会使株高增加;主茎节数与后期温度和日照时数极显著负

相关,即从始花期到成熟期间温度、日照时数的减少会使主茎节数增加;单株荚数和单株粒数与后期日照时数显著负相关,与后期温度和降水呈正相关,即随着后期温度的升高、日照时数和降水的降低,单株荚数和单株粒数增多;百粒重与后期温度极显著正相关,即百粒重随着始花期到成熟期温度的升高而增加;产量与后期日照时数极显著负相关,与后期温度呈正相关,即产量随着始花期到成熟期间温度升高和日照时数的减少而增加。

表 3 黑河 45 各播期间农艺性状与光温效应及降水量的相关性分析
Table 3 Correlation analysis of agronomic traits of Heihe 45 with different sowing
date and light effect of temperature and precipitation

	前期日平均温度	前期平均日照时数	前期日平均降水	后期日平均温度	后期平均日照时数	后期日平均降水
	ET	ES	EP	LT	LS	LP
前期天数 VD	-0.430 *	-0.172	-0.062	0.181	0.069	0.025
后期天数 RD	0.366	0.177	-0.209	-0.598 **	0.265	0.411 *
株高 PH	-0.160	-0.197	0.181	-0.418 *	-0.789 **	0.131
主茎节数 NN	-0.339	-0.321	0.320	-0.702 **	-0.805 **	0.031
单株荚数 NP	0.117	0.095	-0.027	0.013 *	-0.452 *	-0.033 *
单株粒数 NS	0.097	0.028	0.024	0.015 *	-0.461 *	-0.059 *
百粒重 SW	0.331	0.179	-0.318	0.511 **	0.191	0.314
产量 Yield	-0.079	-0.175	0.123	0.141 *	-0.622 **	0.387

ET; Early temperature; ES; Early sunshine hours; EP; Early precipitation; LT; Later temperature; LS; Later sunshine hours; LP; Later precipitation;
VD; Vegetative days; RD; Reproductive days; PH; Plant height; NN; No. of nodes in main stem; NP; No. of pods per plant; NS; No. of seeds per plant; SW;
100-seed weight.

2.3 品种生育进程的光温效应

2.3.1 出苗至始花期 黑河 45 从出苗至始花阶段 (VE ~ R1) 的生育日数 (VD) 对前期温度 (ET) 和前期降水 (EP) 的线性回归方程如下:

$$VD = 91.874 - 2.336ET - 2.203EP \quad (1)$$
$$F = 11.63^{**} \quad R^2 = 0.503$$

由回归方程 (1) 可看出,前期温度和前期降水对前期天数的效应达极显著水平,决定系数为 50.3%,说明前期温度和前期降水对前期天数有显著影响。从回归系数上看,前期温度和前期降水对前期天数的作用相近,且前期日数随着前期温度和前期降水的减少而增加。

2.3.2 始花期至成熟期 黑河 45 从始花期至成熟期阶段 (R1 ~ R8) 生育日数 (RD) 对后期温度 (LT) 和后期降水 (LP) 的线性回归方程如下:

$$RD = -7.19 - 3.145LT + 2.555LP \quad (2)$$
$$F = 14.51^{**} \quad R^2 = 0.558$$

由回归方程 (2) 可看出,后期温度和后期降水对后期天数的效应达极显著水平,决定系数为 55.8%,说明后期温度和后期降水对后期天数有显著影响。从回归系数上看,后期温度和后期降水对后期天数的作用相近,且后期天数随着后期温度的增加和后期降水的减少而缩短。

2.4 光温效应对产量性状的影响

2.4.1 单株荚数 黑河 45 的单株荚数 (NP) 对后期温度 (LT)、后期日照时数 (LS) 和后期降水 (LP) 的线性回归方程如下:

$$NP = 73.172 + 9.002LT - 24.985LS - 6.321LP \quad (3)$$
$$F = 10.57^{**} \quad R^2 = 0.59$$

由回归方程 (3) 可看出,后期温度、后期日照时数和后期降水对单株荚数的效应达极显著水平,决定系数为 59%,说明后期温度、后期日照时数和后期降水对单株荚数有显著影响。从回归系数上看,后期日照对单株荚数的作用较大,随着后期温度的升高、后期日照时数和后期降水的减少,单株荚数增加。

2.4.2 单株粒数 黑河 45 的单株粒数 (NS) 对后

期温度 (LT)、后期日照时数 (LS) 和后期降水 (LP) 的线性回归方程如下:

$$NS = 151.486 + 19.35LT - 53.704LS - 12.939LP \quad (4)$$
$$F = 10.22^{**} \quad R^2 = 0.582$$

由回归方程 (4) 可看出,后期温度、后期日照和后期降水对单株粒数的效应达极显著水平,决定系数为 58.2%,说明后期温度、后期日照时数和后期降水对单株粒数有显著影响。从回归系数上看,后期日照对单株粒数的作用较大,随着后期温度的升高、后期日照时数和后期降水的减少,单株粒数增加。

2.4.3 百粒重 黑河 45 的百粒重 (SW) 对后期温度 (LT) 的线性回归方程如下:

$$SW = -11.486 + 1.457LT \quad (5)$$
$$F = 40.33^{**} \quad R^2 = 0.68$$

由回归方程 (5) 可看出,后期温度对百粒重的效应达极显著水平,决定系数为 68%,说明后期温度对百粒重有显著影响,百粒重随着后期温度的升高而增加。

2.4.4 产量 黑河 45 的产量 (Y) 对后期温度 (LT) 和后期日照时数 (LS) 的线性回归方程如下:

$$Y = 3740.909 + 241.804LT - 791.57LS \quad (6)$$
$$F = 14.75^{**} \quad R^2 = 0.561$$

由回归方程 (6) 可看出,后期温度和后期日照时数对产量的效应达极显著水平,决定系数为 56.1%,说明后期温度和后期日照时数对产量有显著影响。从回归系数上看,后期日照对产量的作用较大,产量随着后期温度升高和后期日照时数的减少而增加。

3 结论与讨论

随播期的延迟,大豆品种黑河 45 的全生育期均缩短,越是迟播,生育期越短。从生育阶段的变化看,生育前期 (VE ~ R1) 随播种期延迟而逐渐缩短,而生育后期 (R1 ~ R8) 不同生态区表现不一致,在齐齐哈尔和绥化随播种期延迟而逐渐延长,在佳木

斯变化不大,在黑河则随播种期延迟而逐渐缩短。说明播期对全生育期的影响主要是通过对始花期到成熟期的影响实现的。光温效应对产量性状有显著影响,后期温度的升高和日照时数的减少能增加单株荚数;后期日照时数减少和温度的增加能显著增加单株粒数;后期温度的升高能显著增加百粒重和产量。

同一地点不同播期间产量性状相比,2008 年绥化以 5 月 23 日播期的单株荚数、单株粒数和产量最高。2009 年佳木斯以 5 月 27 日播期、黑河以 5 月 11 日播期的单株荚数、单株粒数和产量最高,齐齐哈尔 2009 年 6 月 13 日播期和 2010 年 5 月 27 日播期的单株荚数、单株粒数、百粒重和产量最高。由此可看出,黑河 45 生育进程和产量性状受年际间光温变化的影响,该品种有其生长发育所需温度、降水、日照时数的适应范围及最适条件,而且这些条件是衡量其生长发育好坏的重要标准。当适应范围和适宜条件不能满足的情况下,生长发育就要受到水、热、光等生态条件的限制,导致产量性状下降甚至最终不能正常成熟等现象。与其要求的最宜条件越接近,其生长发育越趋于良好,产量越高,反之产量就越低。

参考文献

- [1] 韩天富,王金陵. 大豆开花后光周期反应的研究[J]. 植物学报,1995(11):863-869. (Han T F, Wang J L. Studies on the post-flowering photoperiodic responses of soybeans[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1995(11):863-869.)
- [2] 韩天富,王金陵. 中国大豆不同生态类型开花至成熟期对光周期的反应[J]. 作物学报,1996(1):20-26. (Han T F, Wang J L. Different ecological types of Chinese soybean blossom to maturity in response to photoperiod[J]. Acta Agronomica Sinica, 1996(1):20-26.)
- [3] 胡国华,宁海龙,王寒冬,等. 光照强度对大豆产量及品质的影响 I. 全生育期光照强度变化对大豆脂肪和蛋白质含量的影响[J]. 中国油料作物学报,2004(2):87-89. (Hu G H, Ning H L, Wang H D, et al. Effect of photo-intensity on quality and yield of soybeans I. Effect of light-intensity on oil content and protein content of soybeans in the whole growth period[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2004(2):87-89.)
- [4] Lawn R J, Byth D E. Responses of soya bean to planting date in South-Eastern Queensland. I Influence of photoperiod and temperature on phasic developmental patterns[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1937, 24:67-80.
- [5] Johnson H W, Borthwich H A, Leffel R C. Effect of photoperiod and time of planting on rates of development of the soybean in various stages of the life cycle[J]. Botanical Gazette, 1960, 122(2):77-95.
- [6] Chapman J. The influence of photoperiod and temperature on the pre-flowering phase length of eleven soybean cultivars in northern Natal[J]. South African Journal of Plant and Soil, 1986, 3(2):61-65.
- [7] Fehr W R, Caviness C E. Stage of soybean development[M]. Iowa; Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv. Spec. Rep. 1977, 80:1-12.
- [8] 罗珠珠,黄高宝,张仁陟,等. 长期保护性耕作对黄土高原旱地土壤肥力质量的影响[J]. 中国生态农业学报,2010,18(3):458-464. (Lou Z Z, Huang G B, Zhang R Z, et al. Effect of long-term conservation tillage on soil fertility in rain-fed areas of the Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(3):458-464.)
- [9] Janna P, Marie P, Erland B. Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2005, 52:49-58.
- [10] Klein D A, Paschke M W. Filamentous fungi: the indeterminate lifestyle and microbial ecology[J]. Microbial Ecology, 2004, 47:224-235.
- [11] 高云超,蔡作新,朱文珊,等. 秸秆覆盖免耕对土壤氮素转化细菌区系的影响[J]. 生态科学,2003,22(2):150-152. (Gao Y C, Cai Z X, Zhu W S, et al. Effects of straw mulch no-tillage on community composition of soil nitrogen transferous bacteria[J]. Journal of Ecological Science, 2003, 22(2):150-152.)
- [12] Helgason B L, Walley F L, Germida J J. Long-term no-till management affects microbial biomass but not community composition in Canadian prairie agroecosystems[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2010, 42:2192-2202.
- [13] Roberto A, Carmine C, Antonio G, et al. Functional and molecular responses of microbial communities under differing soil management practices[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004, 36:1873-1883.
- [14] 杨学明,张晓平,方华军,等. 北美保护性耕作及对中国的意义[J]. 应用生态学报,2004,15(2):335-340. (Yang X M, Zhang X P, Fang H J, et al. Conservation tillage systems in North America and their significance for China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(2):335-340.)
- [15] 王芸,李增嘉,韩宾,等. 保护性耕作对土壤微生物量及活性的影响[J]. 生态学报,2007,27(8):3384-3390. (Wang Y, Li Z J, Han B, et al. Effects of conservation tillage on soil microbial biomass and activity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(8):3384-3390.)
- [16] Mahdi M, Kaisi A, Xinhua Y. Stepwise time response of corn yield and economic return to no tillage[J]. Soil & Tillage Research, 2004, 78:91-101.
- [17] 张少良,张兴义,于同艳,等. 黑土区耕作措施对春季耕层温度的影响[J]. 农业现代化研究,2009,30(1):114-117. (Zhang S L, Zhang X Y, Yu T Y, et al. Effects of tillage on soil temperature of plough layer in spring of black soil regions of China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2009, 30(1):114-117.)
- [18] 张雪松,曹永胜,曹克强. 保护性耕作条件下河北粮食作物植物保护新问题和治理对策[J]. 植物保护,2006,32(2):19-22. (Zhang X S, Cao Y S, Cao K Q. Management of pests on crops under the conservative farming system[J]. Plant Protection, 2006, 32(2):19-22.)
- [19] 兰全美,张锡洲,李廷轩. 水旱轮作条件下免耕土壤主要理化特性研究[J]. 水土保持学报,2009,23(1):145-149. (Lan Q M, Zhang X Z, Li T X. Study on main physicochemical properties in no-tillage soil under paddy-upland rotation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(1):145-149.)

(上接第 327 页)