

中国不同地区科技示范县大豆单产及产量相关性状的比较

杨如萍^{1,2,3}, 宋雯雯¹, 孙石¹, 吴存祥¹, 王化俊³, 韩天富¹, 国家大豆产业技术体系综合试验站*

(1. 中国农业科学院作物科学研究所, 国家大豆产业技术研发中心, 北京 100081; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 分别于2010和2011年对全国18和20个省(区)的130和141个大豆科技示范县进行抽样调查, 收集当地大豆生产田的单产及其相关性状数据。在此基础上, 按大豆栽培区划进行分区统计, 并采用多元逐步回归方法判断不同地区影响产量的关键因素。结果表明, 各地区大豆的播种期因耕作制度不同和气象条件多样而存在很大差异, 变化幅度大小依次为南方>西北>东北>黄淮海; 东北地区大豆种植密度最高, 西北、黄淮海居中, 南方最低。平均单产高低依次为西北>东北>黄淮海>南方。在农艺和产量性状中, 株高以东北大豆为最高, 其后依次为西北、黄淮海和南方; 单株荚数与单株粒数2个性状的地域差异趋势一致, 2010年均依次为南方>西北>黄淮海>东北, 2011年均依次为西北>南方>黄淮海>东北; 黄淮海地区大豆的百粒重最高, 西北次之, 东北及南方则相对偏低。多元逐步回归结果表明, 在东北和南方地区, 影响大豆产量的首要因素为单株粒数, 而在西北及黄淮海地区则为单位面积株数。文中讨论了不同主产区提高大豆单产的主攻方向。

关键词: 中国; 大豆; 地区; 单产; 实地调查; 产量相关性状; 逐步回归

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2012)04-0557-11

Comparison of Soybean Yield and Yield-related Traits of Agri-technology Demonstration Counties in Different Regions of China

YANG Ru-ping^{1,2,3}, SONG Wen-wen¹, SUN Shi¹, WU Cun-xiang¹, WANG Hua-jun³, HAN Tian-fu¹, National Soybean Industrial Technology System Experiment Stations*

(1. Institute of Crop Science, The Chinese Academy of Agricultural Sciences(CAAS), National Soybean Industry R&D Center, Beijing 100081; 2. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu; 3. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: The on-site sample survey of 130 and 141 agri-technology demonstration counties in 18 and 20 provinces (autonomous regions) of China was conducted in 2010 and 2011, respectively. After the survey, the key yield limiting factors in different production regions were determined with stepwise multiple regression analysis. The results showed that soybean sowing dates were consistent with cultivation conditions and farming system in different regions. The order of the sowing date span was South (biggest), Northwest, Northeast and Huang-Huai-Hai (HHH, smallest) region; The plant density was the highest in Northeast, middle in Northwest and HHH regions, and the lowest in South China. Soybean yield was the highest in Northwest, the second in the Northeast, the third in HHH and the lowest in the South. Among the agronomic and yield-related traits, Northeast, Northwest, HHH and South regions were listed in descending order of plant height; the pod and seed numbers per plant has the same change trend in different production regions, arranging from maximum to minimum was South, Northwest, HHH and Northeast in 2010 and Northwest, South, HHH and Northeast in 2011. The 100-seed weight was highest in HHH, the second in Northwest and lower in the Northeast and South China. According to the stepwise regression coefficients, the key yield limiting factor of soybean was the seed number per plant in the Northeast and South China, and the plant density in Northwest and HHH regions. The measures to improve soybean yield performances in different regions were discussed as well.

Key words: China; Soybean; Regions; Yield; Yield-related traits; On-site survey; Stepwise regression

大豆是世界上植物蛋白及油脂的主要来源^[1]。由传统的大豆出口国变为净进口国以来, 我国大豆在我国, 大豆是粮、油、饲、蔬兼用作物。自1995年进口量一路攀升, 2011年达到5 264万t, 约占全球

收稿日期: 2012-05-02

基金项目: 农业部财政部现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04)。

第一作者简介: 杨如萍(1984-), 女, 在读硕士, 作物遗传育种专业。E-mail: rupingyang@yeah.net。

宋雯雯(1983-), 女, 硕士, 从事植物病理及大豆产业技术研发工作。E-mail: songwwsoybean@163.com。

通讯作者: 韩天富(1963-), 男, 博士, 研究员, 从事大豆遗传育种和产业技术研发工作。E-mail: hantf@mail.caas.net.cn。

* 提供2010和2011两年数据的综合试验站有黑河(站长: 魏新民、鹿文成)、九三(宋喜清)、海伦(韩晓增)、齐齐哈尔(王守义)、佳木斯(郭泰)、绥化(陈维元)、大庆(麻晶莉、田中艳)、石河子(战勇)、长春(郭秀芹、程延喜)、铁岭(付连舜)、沈阳(宋书宏)、赤峰(王会才)、银川(罗瑞萍)、沧州(卢思慧)、汾阳(刘学义)、延安(刘琦)、镇原(张国宏)、济南(徐冉)、济宁(李素真)、郑州(卢为国)、商丘(张琪)、徐州(王宗标)、阜阳(蒋成功)、南充(张明荣)、杭州(朱丹华)、南昌(王瑞珍)、南宁(陈渊); 仅提供2010年数据的试验站有吉林综合试验站(站长: 牛建光); 仅提供2011年数据的有贵阳(站长: 朱星陶)和昆明(王铁军)综合试验站。

大豆贸易量的 60%^[2]。当年国产大豆总产量约为 1 510 万 t,不到国内消费总量的四分之一^[3]。深入了解我国大豆生产现状,找到提高单产的突破口,对于提高我国大豆生产能力,保障粮食安全具有重要意义。

我国地域辽阔,大豆分布区域广,各地自然条件、耕作栽培方式差异较大,对大豆的利用要求也各不相同,大豆品种在产量、品质和抗性性状上均存在明显区别^[4]。同时,我国农业统计工作相对薄弱,农业资源底数不清、数据准确性差,给准确判断农业形势、制定正确的农业政策带来了很大困难^[5]。为了解我国大豆主产区特别是科技示范县大豆生产的真实情况,2010 和 2011 年,国家大豆产业技术研发中心依托国家大豆产业技术体系综合试验站,分别对全国 18 和 20 个省(区)的 130 和 141 个大豆科技示范县进行抽样调查,收集当地主栽品种和生产田的产量相关数据,并对示范县收集到的播期、单位面积株数、单产及产量构成性状进行分区统计和分析,以期明确各主产区大豆产量构成因子的特点,找出限制各区域大豆产量提高的关键因素,为进一步明确各区大豆育种方向、制定合

理的栽培措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

将大豆科技示范县按东北、西北、黄淮海及南方 4 个地区分组,其中黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古自治区东部示范县归属东北地区(东北春作大豆亚区^[6]),陕西省、甘肃省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区和山西省北部及中部示范县归属西北地区(北部高原春作大豆亚区和西北春作大豆亚区^[6]),河北省、山东省、山西省南部、河南省、安徽省北部和江苏省北部示范县归属黄淮海地区(黄淮海流域夏作大豆区^[6]),江西省、贵州省、广西壮族自治区、浙江省、四川省和云南省示范县归属南方地区(南方多作大豆区^[6])。2010 年从各试验站服务区域的科技示范县收集到 576 个地块的数据,涉及 198 个育成品种及 30 份农家品种;2011 年收集到 865 个地块的数据,涉及 230 个育成品种(其中 9 份品种名称不详)及 43 份农家品种。各地区样本涉及的大豆品种数目见表 1。

表 1 各地科技示范县大豆生产调研样品来源

Table 1 Sources of samples for soybean production survey in the agri-technology demonstration counties across China

地区 Region *	省(区) Province(Autonomous region)	样本数目 Sample number		品种数目 Variety number	
		2010	2011	2010	2011
东北 NER	黑龙江 Heilongjiang	143	275	57	78
	吉林 Jilin	11	25	10	7
	辽宁 Liaoning	30	50	12	16
	内蒙古东部 East Inner Mongolia	26	25	22	18
黄淮海 HHH	河北 Hebei	8	25	7	6
南方 SMCR	山西南部 South Shanxi	1	5	1	3
	山东 Shandong	50	48	24	22
	河南 Henan	17	63	10	26
	江苏 Jiangsu	25	25	13	13
	安徽 Anhui	7	45	4	17
	四川 Sichuan	25	25	1	2
	浙江 Zhejiang	7	9	7	8
	江西 Jiangxi	6	25	6	4
西北 NWR	贵州 Guizhou	—	25	—	20
	云南 Yunnan	—	10	—	4
	广西 Guangxi	52	13	6	6
	新疆 Xinjiang	96	27	11	9
	宁夏 Ningxia	24	64	6	5
	山西北部 and 中部 North and Central Shanxi	4	20	4	8
	陕西 Shaanxi	25	25	17	11
	甘肃 Gansu	20	25	14	10

* 东北指东北春作大豆亚区^[6];黄淮海指黄淮海流域夏作大豆区^[6];南方指南方多作大豆区^[6];西北指北部高原和西北春作大豆亚区^[6]。

NER refers to the Northeast Spring Planting Sub-region^[6]; HHH(Huang-Huai-Hai Region) means the Huang-Huai-Hai Valleys Summer Planting Region^[6]; SMCR is the abbreviation of the South Multiple Cropping Region^[6]; NWR(Northwest Region) includes the North Plateau and Northwest Spring Planting Sub-region^[6].

1.2 数据采集

每个示范县选取 5 块生产田进行取样测产,每个取样地块按对角线 5 点取样法取样,即在田块四角和中央各随机取 1 个点,每个样点离地边 5 m 以上,面积不少于 2 m²,每个样点取 15 株考种。大豆产量要求实打实收,在无法实收计产时采用以下公式计算:

单产(kg) = {[单位面积株数 × 单株粒数 × 百粒重(g)]/10⁵} × 0.85。

1.3 数据分析

数据统计采用 Excel 2007,逐步回归分析采用 SPSS19.0 软件^[7]。

2 结果分析

2.1 各地区大豆的播种期

2010 年和 2011 年,东北地区播种期集中在 5 月中旬(表 2),西北地区在 5 月中上旬,黄淮海地区

在 6 月中旬,南方地区夏大豆则分别在 5 月下旬(2011 年)和 6 月中旬(2010 年)。两年中,黄淮海地区播期的极差在各地区中均最小,分别为 55 d(2010 年)和 58 d(2011 年),东北和西北地区居中,播期极差分别为 64、91 d(2010 年)和 58、79 d(2011 年),南方地区以 114 d(2010 年)和 127 d(2011 年)为最大。东北及西北地区主要为一年一熟制,过晚播种会影响作物成熟^[4],而表 2 中个别地区播种期晚至 6 月,是由于当年因田间积水等原因推迟播种,或因玉米等作物出苗不好,重新选择播种大豆;西北地区晚播则是由于春旱推迟播种,或个别区域越冬或是极早熟作物,收获后复种大豆。黄淮海地区大豆以夏播为主,该区大豆大部分在 6 月中旬播种,播期集中,只有个别地区种植春大豆,故极差最小。南方地区存在春、夏、秋甚至冬播类型,一年多作^[4],所以播期相差较大。

表 2 不同地区的大豆播种期(2010 年和 2011 年)(月-日)

Table 2 Sowing dates of different production regions (2010 and 2011) (Month-day)

地区 Region	省份 Province(Autonomous region)	2010			2011		
		最早 Earliest	最晚 Latest	平均 Average	最早 Earliest	最晚 Latest	平均 Average
东北 NER	黑龙江 Heilongjiang	4-20	6-23	5-12	4-24	6-20	5-10
	吉林 Jilin	5-9	6-17	5-25	4-23	5-8	5-3
	辽宁 Liaoning	5-1	5-12	5-6	5-2	5-29	5-15
	内蒙古东部 East Inner Mongolia	5-12	5-25	5-19	5-1	6-10	5-15
	平均 Average	4-20	6-23	5-14	4-3	6-20	5-11
西北 NWR	新疆 Xinjiang	4-10	7-9	5-16	4-10	5-10	4-25
	宁夏 Ningxia	5-9	6-5	5-21	4-25	5-26	5-9
	山西北部 and 中部 North and Central Shanxi	4-28	5-19	5-9	5-2	5-19	5-11
	陕西 Shaanxi	—	—	—	4-24	6-28	5-23
	甘肃 Gansu	4-12	7-10	5-20	4-18	6-25	5-1
黄淮海 HHH	平均 Average	4-10	7-10	5-17	4-10	6-28	5-7
	河北 Hebei	5-14	6-23	6-5	5-12	6-27	6-11
	山东 Shandong	5-26	6-25	6-18	6-1	7-9	6-23
	山西南部 South Shanxi	6-30	6-30	6-30	7-4	7-6	7-4
	河南 Henan	6-7	7-8	6-16	6-7	6-30	6-16
南方 SMCR	江苏 Jiangsu	6-10	7-2	6-19	6-8	6-23	6-17
	安徽 Anhui	6-11	6-21	6-16	6-9	7-1	6-16
	平均 Average	5-14	7-8	6-17	5-12	7-9	6-18
	江西 Jiangxi	7-20	8-1	7-26	3-28	6-29	4-18
	四川 Sichuan	4-24	6-12	5-26	5-18	6-22	6-8
	浙江 Zhejiang	6-28	8-16	7-16	5-25	8-2	7-6
	贵州 Guizhou	—	—	—	4-10	6-8	5-8
	云南 Yunnan	—	—	—	4-18	5-13	4-29
	广西 Guangxi	6-9	7-8	6-24	6-10	7-8	6-25
	平均 Average	4-24	8-16	6-19	3-28	8-2	5-22

2.2 各地区示范县大豆的单位面积株数

2010 年,东北地区大豆平均种植密度在各地区中居首,其次为西北、黄淮海,南方地区最低。从变异幅度来看,西北 > 东北 > 南方 > 黄淮海地区。2011 年各地区大豆平均种植密度仍以东北最高,黄淮海、西北次之,南方最低。从变异幅度来看,南方 > 西北 > 东北 > 黄淮海。需要说明的是,南方地区有着大面积的间套作大豆,在间套作条件下大豆种植密度要普遍小于单作。据本次调研结果来看,2011 年,南方地区间套作大豆平均种植密度为

125 555.0 株·hm⁻²,而单作条件下平均种植密度为 303 191.6 株·hm⁻²;西北地区间套作条件下平均种植密度为 188 252.6 株·hm⁻²,单作条件下为 222 618.3 株·hm⁻²。在东北地区,农垦和地方系统也有一定区别。农垦系统由于播种机械化程度高等原因,大豆种植密度普遍高于地方系统示范县(结果未列出)。黄淮海不同地区在栽培制度、地力水平和机械发展程度等方面差距较小。这也解释了南方及西北地区的大豆种植密度变异幅度较大、东北次之、黄淮海变幅最小的原因。

表 3 不同地区的大豆单位面积株数

Table 3 Plant density of different production regions (plants·hm⁻²)

地区 Region	省份 Province(Autonomous region)	2010			2011		
		平均值 Average	标准偏差 Std. D	变异系数 CV	平均值 Average	标准偏差 Std. D	变异系数 CV
东北 NER	黑龙江 Heilongjiang	330070.5	91095.0	0.3	312742.5	75300.0	0.2
	吉林 Jilin	197143.5	27646.5	0.1	219709.5	12115.5	0.1
	辽宁 Liaoning	147529.5	35020.5	0.2	129348.0	23001.0	0.2
	内蒙古东部 East Inner Mongolia	227460.0	41005.5	0.2	182955.0	49008.0	0.3
	平均 Average	283483.5	104925.0	0.4	273435.0	95073.0	0.4
西北 NWR	新疆 Xinjiang	316536.0	55414.5	0.2	387555.0	76909.5	0.2
	宁夏 Ningxia	163530.0	79896.0	0.5	195229.5	38278.5	0.2
	山西北部 and 中部 North and Central Shanxi	139162.5	30594.0	0.2	168502.5	71011.5	0.4
	陕西 Shaanxi	150150.0	77796.0	0.5	140139.0	79131.0	0.6
	甘肃 Gansu	200325.0	58291.5	0.3	163945.5	43095.0	0.3
黄淮海 HHH	平均 Average	252771.0	97519.5	0.4	212920.5	101983.5	0.5
	河北 Hebei	184161.0	22653.0	0.1	212695.5	43300.5	0.2
	山西南部 South Shanxi	375000.0	—	—	372000.0	39444.0	0.1
	山东 Shandong	175885.5	38472.0	0.2	166806.0	40978.5	0.3
	河南 Henan	218197.5	71451.0	0.3	217384.3	58836.1	0.3
南方 SMCR	江苏 Jiangsu	220200.0	33741.0	0.2	203922.0	27840.0	0.1
	安徽 Anhui	230785.5	29463.0	0.1	251299.5	47193.0	0.2
	平均 Average	198453.0	50083.5	0.3	214701.0	60082.5	0.3
	江西 Jiangxi	284590.5	21616.5	0.1	371280.0	100134.0	0.3
	四川 Sichuan	116851.5	4701.0	0.0	95994.0	9675.0	0.1
	浙江 Zhejiang	168855.0	29949.0	0.2	159001.5	38505.0	0.2
	贵州 Guizhou	—	—	—	151719.0	61047.0	0.4
	云南 Yunnan	—	—	—	212062.5	126295.5	0.6
	广西 Guangxi	194841.0	30556.5	0.2	153157.5	32163.0	0.2
	平均 Average	176803.5	51819.0	0.3	195631.5	122163.0	0.6

2.3 各地区示范县的大豆产量

2010 年和 2011 年,西北地区示范县大豆单产在各地区中居第一,其次为东北,再次为黄淮海,南方最低。两年各地大豆产量的变异系数排序有所不同,2010 年依次为西北 > 南方 > 东北 > 黄淮海,2011 年为南方 > 西北 > 黄淮海 > 东北(表 4)。其

中,南方与西北地区示范县大豆产量变异系数较大,原因之一是这两个地区间套作比例高,而间套作条件下的大豆平均单产明显低于单作。另外,南方和西北地力、地势差异较大,保苗质量相对较差,造成密度差异较大。2011 年所调研南方地区间套作条件下大豆平均产量为 1 295.55 kg·hm⁻²,单作

条件下为 2 359.50 kg·hm⁻²;西北地区间套作条件下大豆平均产量为 2 874.75 kg·hm⁻²,单作条件下为 3 165.30 kg·hm⁻²。通过大豆单产平均值结合变

异系数可以判断,西北地区平均单产高且变异幅度大,而东北及黄淮海地区的产量较为稳定。

表 4 不同地区的大豆单产
Table 4 Soybean yield in different production regions(kg · hm⁻²)

地区 Region	省份 Province(Autonomous region)	2010			2011		
		平均值 Average	标准偏差 Std. D	变异系数 CV	平均值 Average	标准偏差 Std. D	变异系数 CV
东北 NER	黑龙江 Heilongjiang	2630.25	427.80	0.16	2625.60	502.95	0.19
	吉林 Jilin	3192.45	527.85	0.17	2510.10	335.85	0.13
	辽宁 Liaoning	2729.55	591.30	0.22	3013.65	473.25	0.16
	内蒙古东部 East Inner Mongolia	2733.15	787.20	0.29	2737.35	734.25	0.27
	平均 Average	2686.35	524.25	0.20	2677.05	525.15	0.20
西北 NWR	新疆 Xinjiang	4179.45	926.70	0.22	3885.45	633.60	0.16
	宁夏 Ningxia	3898.20	975.60	0.25	3460.50	630.90	0.18
	山西北部和中北部 North and Central Shanxi	1728.75	395.85	0.23	2692.95	394.80	0.15
	陕西 Shaanxi	2104.05	725.10	0.34	2142.30	768.90	0.36
	甘肃 Gansu	2528.10	724.50	0.29	2398.05	613.20	0.26
黄淮海 HHH	平均 Average	3579.00	1228.95	0.34	3076.80	886.05	0.29
	河北 Hebei	2397.60	346.50	0.14	2595.45	365.70	0.14
	山西南部 South Shanxi	2193.00	—	—	2204.10	81.45	0.04
	山东 Shandong	2778.30	432.45	0.16	2476.50	515.55	0.21
	河南 Henan	2698.95	425.55	0.16	2988.15	831.00	0.28
SMCR	江苏 Jiangsu	2530.80	124.80	0.05	2500.05	98.55	0.04
	安徽 Anhui	2433.00	198.45	0.08	2428.05	475.20	0.20
	平均 Average	2652.45	384.00	0.14	2640.90	632.55	0.24
	四川 Sichuan	1806.30	96.90	0.05	1538.85	157.95	0.10
	浙江 Zhejiang	2421.45	304.50	0.13	2318.55	327.60	0.14
南方	江西 Jiangxi	2533.95	568.80	0.22	2281.65	228.30	0.10
	贵州 Guizhou	—	—	—	958.65	576.30	0.60
	云南 Yunnan	—	—	—	1864.20	1575.15	0.84
	广西 Guangxi	2231.25	523.80	0.23	1974.15	582.45	0.30
	平均 Average	2148.15	486.75	0.23	1606.35	803.85	0.50

2.4 各地区示范县的大豆主栽品种

从各地区 2010 和 2011 年调研所涉及大豆品种的频次分布(表 5)可看出,大豆品种有着较强的区域性,极少出现同一品种在不同大区分布的情况,说明目前广适应性大豆品种尚少。东北地区出现频率最高的是黑河 43,西北地区出现频率最高的是石大豆 2 号(但该品种仅分布在新疆,出现频率较高的原因是 2010 年石河子综合试验站取样点较多),黄淮海地区出现频率最高的是中黄 13;南方地区出现频率最高的是南豆 12(仅分布在四川)。

在抽样所涉及的品种中,部分为农家品种。其中,东北(仅限内蒙古赤峰地区)、西北及黄淮海地区的农家品种出现频率占到相应地区品种统计总频次的 1.20%、4.45% 及 3.27%,而南方地区农家品种所占有的比例相对较大,达到 21.61%。在 2011 年贵州地区样点所涉及的 20 个品种中,15 个为农家品种。农家种的比例大,说明南方部分地区大豆育种相对滞后,种子经营体系不健全,品种更新速度慢,这是造成南方地区平均产量较低且变异幅度大的原因之一。

表 5 不同地区大豆品种统计结果
Table 5 Soybean varieties in different production regions

地区	品种	频次 Occurrence frequency			地区	品种	频次 Occurrence frequency		
Region	Variety	2010	2011	总计 Total	Region	Variety	2010	2011	总计 Total
东北	黑河 43	42	6	48	西北	石大豆 2 号(仅新疆)	43	8	51
NER	垦鉴豆 28	14	11	25	NWR	中黄 30	7	23	30
	垦鉴豆 27	16	8	24		中黄 35	30	—	30
	合丰 50	6	16	22		承豆 6 号	11	10	21
	铁丰 31	14	3	17		黑河 38	4	9	13
	北豆 14	12	5	17		晋豆 19	4	9	13
	垦丰 16	9	6	15		新大豆 8 号	7	5	12
	辽豆 15	7	8	15		冀豆 12	2	7	9
	华疆 4 号	11	3	14		晋豆 23	5	4	9
	黑河 38	14	—	14		冀豆 17	2	5	7
黄淮海	中黄 13	14	38	52	南方	南豆 12(仅四川)	25	24	49
HHH	菏豆 12	13	9	22	SMCR	桂夏 1 号	27	5	32
	沧豆 6 号	2	11	13		天隆 1 号	1	13	14
	徐豆 9 号	5	7	12		桂夏 3 号	4	3	7
	高丰 1 号	6	5	11		南农 88-31	1	5	6
	齐黄 34	1	8	9		油春 06-8	—	5	5
	徐豆 16	6	3	9		黔豆 7 号	—	4	4
	徐豆 14	1	7	8		8157	—	3	3
	中黄 35	1	6	7		桂夏豆 2 号	3	—	3
	阜豆 9 号	2	4	6		黔豆 5 号	—	3	3

2.5 各地区大豆产量性状的相关分析

2010 和 2011 年东北地区大豆株高均居各地区之首,之后为西北和黄淮海地区,南方最低(表 6,表 7)。这一结果与中国栽培大豆种质资源株高调查的结果相近^[8]。西北与南方地区大豆株高的变异幅度高于黄淮海和东北地区。

大豆产量由单株粒数、单株荚数及百粒重等多个性状共同决定^[9],这些性状之间有密切的相关性。本调研结果表明,单株荚数与单株粒数有着极强的线性关系,二者相关系数在两年分别达到 0.852** (2010 年)和 0.909** (2011 年)。大豆单株荚数与单株粒数的地区间高低排序非常相似,2010 年均为南方 > 西北 > 黄淮海 > 东北,2011 年均为西北 > 南方 > 黄淮海 > 东北。

2010 和 2011 年,黄淮海地区大豆的平均百粒重均为各地区最高,西北次之,东北及南方地区较低。2010 年黄淮海及西北各省大豆的平均百粒重均在大粒范围(18 ~ 24 g)^[8]之内,2011 年仅山西省低于该范围(南部平原地区为 17.72 g,中北部黄土

丘陵地区为 17.95 g)。东北地区大豆各省平均百粒重分布在中粒(12 ~ 18 g)至大粒范围,南方地区的变异幅度最大,中、大、特大(24 ~ 30 g)和极大(>30 g)粒均有分布。百粒重的大小和土壤水分情况、大豆用途关系密切。

2.6 各地区大豆相关性状的逐步回归分析

采用逐步回归法分析各地区产量相关性状,从而判断在不同地区影响大豆产量的关键因子。在建立回归模型时,根据各自变量 F 统计量的显著水平来决定该变量是否进入模型。当候选变量中最大 F 值的 P 值小于或等于 0.01 时,引入该变量;当最小 F 值的 P 值大于或等于 0.11 时,则剔除该变量^[7,11]。所得回归方程均达到了极显著水平(表 8)。东北地区逐步回归方程的判定系数 R^2 为 0.566,说明方程中因变量(大豆产量)的 56.6% 变异是由多个自变量(单株粒数、单位面积株数和百粒重)共同影响的结果。其他地区的判定系数均高于东北地区,其中南方地区最高,达到 0.844。

表 6 不同地区大豆产量相关性状调查结果(2010 年)

Table 6 Yield-related traits of soybean in different production regions(2010)

地区 Region	省份 Province(Autonomous region)	株高 Plant height		单株粒数 Seed number per plant		单株荚数 Pod number per plant		百粒重 100-seed weight	
		平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数
		Average/cm	CV	Average	CV	Average	CV	Average/g	CV
东北 NER	黑龙江 Heilongjiang	86.9	0.14	24.2	0.34	48.7	0.34	19.31	0.08
	吉林 Jilin	89.2	0.09	41.7	0.31	91.7	0.36	19.64	0.25
	辽宁 Liaoning	91.3	0.19	46.1	0.29	90.0	0.32	23.71	0.11
	内蒙古东部 East Inner Mongolia	78.0	0.25	37.9	0.24	71.3	0.21	19.19	0.08
	平均 Average	86.5	0.17	30.7	0.43	59.6	0.43	19.95	0.13
西北 NWR	新疆 Xinjiang	97.2	0.17	32.2	0.26	76.2	0.29	21.41	0.09
	宁夏 Ningxia	88.6	0.11	46.2	0.47	115.0	0.43	21.70	0.04
	山西北部 and中部 North andCentral Shanxi	75.1	0.25	38.5	0.20	78.0	0.15	21.53	0.39
	陕西 Shaanxi	60.0	0.26	50.4	0.44	84.9	0.70	20.85	0.09
	甘肃 Gansu	64.7	0.36	32.7	0.51	66.4	0.49	23.15	0.12
	平均 Average	85.8	0.28	36.4	0.42	81.9	0.46	21.57	0.10
黄淮海 HHH	河北 Hebei	85.6	0.22	38.8	0.19	73.4	0.19	20.08	0.12
	山西南部 South Shanxi	75.3	0.00	18.0	0.00	34.4	0.00	18.30	0.00
	山东 Shandong	81.6	0.16	36.4	0.30	74.7	0.29	23.67	0.15
	河南 Henan	75.7	0.15	38.7	0.26	77.0	0.27	20.18	0.12
	江苏 Jiangsu	70.0	0.18	29.5	0.17	60.9	0.18	22.39	0.14
	安徽 Anhui	63.2	0.18	27.9	0.23	51.5	0.20	21.03	0.10
	平均 Average	77.1	0.19	34.5	0.29	69.8	0.28	22.34	0.15
南方 SMCR	四川 Sichuan	80.9	0.05	53.6	0.08	91.0	0.06	20.00	0.00
	浙江 Zhejiang	68.8	0.15	32.1	0.33	59.5	0.34	27.31	0.09
	江西 Jiangxi	51.6	0.28	24.2	0.42	47.3	0.45	23.79	0.23
	广西 Guangxi	62.5	0.18	56.9	0.31	112.1	0.33	14.8	0.14
	平均 Average	67.4	0.2	51.9	0.33	97.7	0.36	17.82	0.26

表 7 不同地区大豆产量相关性状调查结果(2011 年)

Table 7 Yield-related traits of soybean in different production regions(2011)

地区 Region	省份 Province(Autonomous region)	株高 Plant height		单株粒数 Seed number per plant		单株荚数 Pod number per plant		百粒重 100-seed weight	
		平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数
		Average/cm	CV	Average	CV	Average	CV	Average/g	CV
东北 NER	黑龙江 Heilongjiang	83.4	0.14	25.2	0.28	57.5	0.23	17.56	0.09
	吉林 Jilin	91.6	0.07	41.9	0.28	81.7	0.20	16.70	0.10
	辽宁 Liaoning	93.3	0.16	61.1	0.31	129.4	0.30	22.14	0.15
	内蒙古东部 East Inner Mongolia	72.4	0.20	45.1	0.32	98.4	0.40	18.29	0.15
	平均 Average	84.5	0.15	32.4	0.51	71.4	0.46	18.16	0.14
西北 NWR	新疆 Xinjiang	90.6	0.17	26.8	0.27	67.8	0.26	20.19	0.09
	宁夏 Ningxia	94.6	0.15	39.6	0.19	95.9	0.19	22.14	0.07
	山西北部 and中部 North andCentral Shanxi	75.0	0.20	56.3	0.65	126.1	0.61	17.95	0.20
	陕西 Shaanxi	63.2	0.16	51.5	0.42	108.1	0.52	20.72	0.16

续表 7

地区 Region	省份 Province(Autonomous region)	株高 Plant height		单株粒数 Seed number per plant		单株荚数 Pod number per plant		百粒重 100-seed weight	
		平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数
		Average/cm	CV	Average	CV	Average	CV	Average/g	CV
黄淮海 HHH	甘肃 Gansu	62.0	0.22	40.1	0.33	87.6	0.34	20.54	0.13
	平均 Average	81.6	0.24	41.4	0.46	95.2	0.44	20.82	0.13
	河北 Hebei	74.3	0.20	40.1	0.22	76.2	0.26	19.80	0.12
	山西南部 South Shanxi	57.0	0.06	17.2	0.19	39.6	0.08	17.72	0.02
	山东 Shandong	75.1	0.25	37.0	0.22	81.1	0.26	22.98	0.20
	河南 Henan	68.5	0.16	45.1	0.4	86.8	0.33	19.90	0.16
	江苏 Jiangsu	66.3	0.15	31.3	0.18	63.2	0.18	23.74	0.19
	安徽 Anhui	67.4	0.19	28.7	0.21	56.4	0.24	20.92	0.14
	平均 Average	69.9	0.20	37.1	0.37	74.3	0.34	21.17	0.18
南方 SMCR	四川 Sichuan	74.9	0.08	54.9	0.09	96.4	0.10	19.70	0.07
	浙江 Zhejiang	74.5	0.19	39.4	0.81	63.0	0.87	33.11	0.26
	江西 Jiangxi	79.9	0.10	27.0	0.04	52.6	0.10	16.89	0.07
	贵州 Guizhou	50.1	0.23	26.5	0.38	59.4	0.54	13.78	0.22
	云南 Yunnan	49.7	0.20	20.7	0.47	36.2	0.55	24.77	0.11
	广西 Guangxi	64.3	0.16	59.3	0.33	108.4	0.36	14.59	0.14
	平均 Average	63.6	0.24	40.7	0.51	75.4	0.51	18.56	0.34

在多元线性回归方程中,由于各自变量的单位不同,得到的回归系数就有不同的量纲,因此,回归系数的大小只能表明自变量与因变量在数量上的关系,而不能表示各自变量在回归方程的重要性。

要比较各自变量对因变量产量(Y)作用的大小,必须消除单位的影响,为此需要计算标准化回归系数^[10-12]。

表 8 不同地区大豆产量的回归方程

Table 8 Stepwise regression equations of soybean yield from different regions

地区 Region	逐步回归方程*	复相关系数 R	判定系数 R ²	F 值 F value	显著水平 Probability
东北 NER	$Y = -1491.381 + 16.418X_4 + 0.005X_1 + 87.721X_5 + \varepsilon$	0.752	0.566	238.666.7	< 0.0001
西北 NWR	$Y = -4070.615 + 17.884X_2 + 0.008X_1 + 16.15X_4 + 126.443X_5 + \varepsilon$	0.879	0.773	260.306	< 0.0001
黄淮海 HHH	$Y = -2526.072 + 17.03X_3 + 0.008X_1 + 78.563X_5 + 17.495X_4 + \varepsilon$	0.836	0.699	182.702	< 0.0001
南方 SMCR	$Y = -2247.33 + 0.009X_1 + 67.338X_5 + 17.002X_4 + \varepsilon$	0.919	0.844	302.857	< 0.0001

* X_1 = 单位面积株数, X_2 = 株高, X_3 = 单株荚数, X_4 = 单株粒数, X_5 = 百粒重。
 X_1 = Plant density, X_2 = Plant height, X_3 = Pod number per plant, X_4 = Seed number per plant, X_5 = 100-seed weight.

表 9 不同地区大豆产量的逐步回归分析

Table 9 Stepwise regression analysis of soybean yield from different regions

地区 Region	产量相关性状 Yield-related traits	未标准化回归系数		标准化	T 值	显著水平 Probability
		Unstandardized coefficient		回归系数	T value	
		回归系数 B	标准误 Std. E	Standardized coefficient		
东北	常数项 Constant	- 1491.381	173.921	—	- 8.575	< 0.001
NER	单株粒数 Seed number per plant	16.418	0.682	0.982	24.067	< 0.001
	单位面积株数 Plant density	0.005	0.000	0.969	22.179	< 0.001
	百粒重 100-seed weight	87.721	5.976	0.456	14.678	< 0.001
西北	常数项 Constant	- 4070.615	313.381	—	- 12.989	< 0.001
NWR	株高 Plant height	17.884	1.669	0.352	10.716	< 0.001
	单位面积株数 Plant density	0.008	0.000	0.700	18.202	< 0.001

续表 9

地区 Region	产量相关性状 Yield-related Trait	未标准化回归系数		标准化	T 值 T value	显著水平 Probability
		Unstandardized coefficient		回归系数		
		回归系数 B	标准误 Std. E	Standardized Coefficient		
黄淮海	单株粒数 Seed number per plant	16.150	1.022	0.568	15.800	<0.001
	百粒重 100-seed weight	126.443	12.602	0.297	10.033	<0.001
	常数项 Constant	-2526.072	244.807	—	-10.319	<0.001
	HHH 单株荚数 Pod number per plant	17.030	3.118	0.383	5.462	<0.001
	单位面积株数 Plant density	0.008	0.000	0.774	17.548	<0.001
南方	百粒重 100-seed weight	78.563	5.860	0.527	13.407	<0.001
	单株粒数 Seed number per plant	17.495	1.809	0.737	9.669	<0.001
	常数项 Constant	-2247.330	147.604	—	-15.225	<0.001
	SMCR 单位面积株数 Plant density	0.009	0.000	0.798	24.783	<0.001
	百粒重 100-seed weight	67.338	4.174	0.548	16.132	<0.001
	单株粒数 Seed number per plant	17.002	0.731	0.818	23.244	<0.001

从表 9 可以看出,东北地区大豆相关性状的标准化回归系数大小顺序为: X_4 (单株粒数) $>X_1$ (单位面积株数) $>X_5$ (百粒重)。以上结果说明,对东北地区大豆产量影响最大的性状是单株粒数或单株荚数,其次是单位面积株数,最后是百粒重。西北地区大豆相关性状标准化回归系数的大小顺序为: X_1 (单位面积株数) $>X_4$ (单株粒数) $>X_2$ (株高) $>X_5$ (百粒重)。可见,影响西北地区大豆产量最重要的因素是种植密度(保苗质量),其次是单株粒数与荚数,之后是株高,最后是百粒重。黄淮海地区大豆相关性状的标准化回归系数大小顺序为: X_1 (单位面积株数) $>X_4$ (单株粒数) $>X_5$ (百粒重) $>X_3$ (单株荚数),说明种植密度(保苗质量)在黄淮海地区也是影响产量的主要因素,其次是单株粒数,之后是百粒重,最后是单株荚数。南方地区大豆相关性状的标准化回归系数大小顺序为: X_4 (单株粒数) $>X_1$ (单位面积株数) $>X_5$ (百粒重),说明影响该地区大豆产量最首要的因素是单株粒数,其次是种植密度,而后是百粒重。

3 讨 论

据农业部统计,2010 年我国大豆平均单产为 $1\,771.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[13],同年世界大豆平均单产达到 $2\,571\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[14]。单产水平低、比较效益差已成为制约我国大豆生产的主要瓶颈。因此,提高单产是发展我国大豆生产的主攻目标^[15]。了解各地区大豆产量及相关农艺性状的实际情况,明确限制产量的因素,可为不同区域大豆增产找到有效的技术途径。

从本文结果可以看到,不同地区大豆产量相关

性状具有明显的区别。其中东北地区大豆的单位面积株数、株高在各地区中最高,但单株荚数、单株粒数及百粒重偏低,产量居各地区第二且变化幅度小,属于稳产地区;西北地区大豆单位面积株数及株高、单株荚数和单株粒数均位于各地区前列,平均产量为各地区最高,但变异系数大,说明该地区大豆产量潜力较大,但生产水平差异明显;黄淮海地区大豆百粒重为各地区最高,产量、株高、单株荚数和单株粒数较低,而该区域大豆的其它一些性状如产量、单位面积株数、单株荚数、单株粒数的变异系数均为各产区最低,说明黄淮海流域地区间差异小,大豆单产较为稳定,但生产水平仍需进一步提升;南方地区大豆平均单产、种植密度及株高均为各地区最低,但单株荚数及单株粒数较高,处于各地区前列。由于实行一年多熟的栽培制度且间套作比例高,使该地区大豆各性状的变异系数均较大。

大豆的品种类型多样,年际间和地域间环境条件差异明显,加之大豆各器官间的协调关系也会随着条件的改变而变化^[16],试图寻找一个统一模式来构建大豆的产量结构是不现实的。因此,提高我国大豆单产,需因地制宜,根据各地区优势与不足合理调整种植和管理方式^[17],以求形成最佳的株型和产量结构。从逐步回归的结果来看,单株粒数是东北及南方地区大豆产量提高的主要限制因素。在东北地区,可通过多种措施提高大豆单株粒数,如精细整地,蓄水保墒,保证前期生长;适期早播,延长营养生长期^[18-20],增加结实部位;平衡施肥,增施有机肥及微肥^[21-24],分层施肥,适时追肥,防止后期因脱肥导致落花落荚。南方地区需要加强育种工作,选育抗倒、耐荫及抗病虫的高产优质品种,并扶

持大豆种业发展,加快新品种推广,尽快替代农家品种,以提高整体产量水平。南方大豆间套作要合理配置行比,改善群体透光状况,增加中下部结荚数量,减少落花落荚,提高单株粒数。在西北与黄淮海地区,单位面积株数是提高大豆产量的关键因素,应主抓播种质量。其中,西北干旱地区可采用顶凌覆膜、全膜双垄沟播等良法保蓄有限水分,改善土壤墒情,提高出苗率;规范播种技术,提高播种匀度,防止缺苗断垄,并及时查苗补种;绿洲地区应精细整地,适期播种,确保全苗。株高及百粒重对西北地区大豆产量有正向作用,说明该区应促进大豆营养体生长,选择分枝多、繁茂、粒型稍大的品种,但同时应考虑当地的生态条件,避免粒型过大影响出苗和后期抗旱能力。黄淮海地区应大力研究推广麦茬机械免耕播种技术,麦收后及早进行机械精播,保证全苗;对于晚播地块和早熟品种可适当增加播种量。该地区大豆生长中后期常出现连绵阴雨,造成倒伏和落花落荚,可在选用抗倒伏品种和通过深松等措施增加土壤耕层的基础上,适当扩大行距,缩小株距,改善群体透光状况,提高大豆抗倒伏能力。

本次对全国大豆主产区科技示范县大豆生产情况的调查分析,是国家大豆产业技术体系对我国大豆生产实际情况的一次摸底。从统计数据来看,各地大豆单产高于中国农业统计资料^[3]的公布数字。这主要是由于科技示范县的大豆生产水平高于普通县市,大豆单产也较高。另外,据专家反映^[25],近年特别是2010年,我国大豆单产明显高于统计数字。本次统计结果与全国大豆品种区域试验中各地区大豆单产结果^[26]非常相近,这也说明只要技术到位,我国大豆单产提高的潜力很大。

致谢:本文数据的收集由国家大豆产业技术研发中心组织各综合试验站完成,在此谨向协助调研的试验站团队成员、示范县技术骨干及相关农户致以诚挚的谢意。

参考文献

- [1] Ainsworth E A, Yendrek C R, Skoneczka J A, et al. Accelerating yield potential in soybean: potential targets for biotechnological improvement[J]. *Plant Cell & Environment*, 2012, 35(1): 38-52.
- [2] 农业部科技教育司, 财政部教科文司. 中国农业产业技术发展报告(2011年度)[R]. 北京: 中国农业出版社, 印刷中. (Department of Science, Technology and Education, Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, Department of Education, Science and Culture, Ministry of Finance of the People's Republic of China. Chinese Agricultural Industry Technology Development Report (2011) [R]. Beijing: China Agriculture Press, in press.)
- [3] <http://www.cngrain.com/Publish/qita/201201/514214.shtml>.
- [4] 王金陵. 中国大豆品种资源的生态分布[J]. 东北农学院学报, 1983(2): 1-8. (Wang J L. Ecological distribution for soybean germplasm in China[J]. *Journal of Northeast Agricultural College*, 1983(2): 1-8.)
- [5] 牛凤瑞. 我国农业政策设计上的缺陷[J]. 科技导报, 1998(1): 52-55. (Niu F R. The defects in China's agricultural policy making[J]. *Science & Technology Review*, 1998(1): 52-55.)
- [6] 卜慕华, 潘铁夫. 中国大豆栽培区域探讨[J]. 大豆科学, 1982, 1(2): 105-121. (Bu M H, Pan T F. A study on the regionalization of soybean production area in China[J]. *Soybean Science*, 1982, 1(2): 105-121.)
- [7] 汪冬华. 多元统计分析 with SPSS 应用[K]. 上海: 华东理工大学出版社, 2010: 115-118. (Wang D H. *Multivariate Statistical Analysis with SPSS Applications* [K]. Shanghai: East China University of Science and Technology Press, 2010: 115-118.)
- [8] 常汝镇. 栽培大豆种质资源[M]//王连铮主编. 大豆研究50年[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 32-35. (Chang R Z. *Cultivated Soybean Germplasm Resources* [M]//Wang L Z. *Soybean Research for 50 Years* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2010: 32-35.)
- [9] 王彩洁, 李连华, 李伟, 等. 大豆品种产量与主要性状的主成分分析[J]. 山东农业科学, 2008(1): 5-6. (Wang C J, Li L H, Li W, et al. Principal component analysis of soybean production and main characters[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2008(1): 5-6.)
- [10] 王海燕, 杨方廷, 刘鲁. 标准化系数与偏相关系数的比较与应用[J]. 数量经济技术经济研究, 2006, 23(9): 150-155. (Wang H Y, Yang F T, Liu L. Comparison and application of standardized regressive coefficient & partial correlation coefficient [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2006, 23(9): 150-155.)
- [11] 韩秉进, 潘相文, 金剑, 等. 大豆植株性状相关性分析与产量回归分析[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1429-1433. (Han B J, Pan X W, Jin J, et al. Correlation and regression analysis of trait and yield of soybean[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(6): 1429-1433.)
- [12] 刘廷辉. 食用大麦八个农艺性状与其产量的多元回归分析[J]. 大麦科学, 2004(1): 7-9. (Liu T H. Multiple regression analysis of barley of eight agronomic traits and production [J]. *Barley Science*, 2004(1): 7-9.)
- [13] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料2010[R]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 35. (Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. *China Agriculture Statistical Report* [R]. Beijing: China Agriculture Press, 2011: 35.)
- [14] http://www.fas.usda.gov/oilseeds_arc.asp
- [15] 常汝镇, 邱丽娟, 李向华. 我国大豆的生产和创新研究[J]. 中国农学通报, 2001, 17(3): 91-93. (Chang R Z, Qiu L J, Li X H. Production and innovative research of soybean in China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2001, 17(3): 91-93.)
- [16] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 20-25. (Dong Z. *Soybean yield physiology* [M]. Beijing: Agricultural Press, 2012: 20-25.)

- [17] 韩天富, 常汝镇. 关于我国大豆产业发展途径的探讨[J]. 中国食物与营养, 2007, (8): 11-13. (Han T F, Chang R Z. Discussion of pathways for soybean industry development in China [J]. Food and Nutrition in China, 2007, (8): 11-13.)
- [18] 韩天富, 盖钧镒, 陈风云, 等. 生育期结构不同的大豆品种的光周期反应和农艺性状[J]. 作物学报, 1998, 24(5): 550-557. (Han T F, Gai J Y, Chen F Y, et al. Photoperiod response and agronomic characters of soybean varieties with different growth period structures [J]. Acta Agronomica Sinica, 1998, 24(5): 550-557.)
- [19] 陈学珍, 李欣, 杨建宇, 等. 夏播大豆生育期结构和农艺性状的遗传参数研究[J]. 中国农学通报, 2004, 20(1): 9-13. (Chen X Z, Li X, Yang J Y, et al. Studying on genetic parameter of the bearing term structure and agronomic characters of the summer seeding soybean[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2004, 20(1): 9-13.)
- [20] 韩天富, 盖钧镒, 邱家驹. 中国大豆不同生态类型代表品种开花前、开花后光周期反应的比较研究[J]. 大豆科学, 1998, 17(2): 35-40. (A comparative study on pre-and post-flowering photoperiod response in various ecotypes of soybeans [J]. Soybean Science, 1998, 17(2): 35-40.)
- [21] 程艳波, 江炳志, 蔡史欣, 等. 不同播期对华南夏大豆品种产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(1): 37-40. (Cheng Y B, Jiang B Z, Cai S X, et al. Effects of sowing sate on yield and quality of summer-sown soybean in south China[J]. Soybean Science, 2010, 29(1): 37-40.)
- [22] 王芳, 刘鹏, 蔡妙珍, 等. 硼、锰对大豆主要农艺性状的影响[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2005, 28(1): 70-74. (Wang F, Liu P, Cai M Z, et al. Effect of boron and manganese application on the agronomic characters of soybean[J]. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Sciences), 2005, 28(1): 70-74.)
- [23] 董友魁, 李子升, 徐娣. 混施微肥对不同类型大豆产量性状的影响[J]. 大豆科技, 2010(3): 7-10. (Dong Y K, Li Z S, Xu D. Effects of mixed applying microelement fertilizers on yield characters of different types of soybean cultivars[J]. Soybean Science & Technology, 2010(3): 7-10.)
- [24] 刘玉平, 李志刚, 李瑞平, 等. 不同密度与施氮水平对大豆产量及产量性状的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2011, 26(2): 173-176. (Liu Y P, Li Z G, Li R P, et al. Effects of different planting densities and N - fertilizer levels on the yield and yield characteristics of soybean[J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Sciences), 2011, 26(2): 173-176.)
- [25] 农业部科技教育司, 财政部教科文司. 中国农业产业技术发展报告(2010 年度)[R]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 16-18. (Department of Science, Technology and Education, Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, Department of Education, Science and Culture, Ministry of Finance of the People's Republic of China. Chinese Agricultural Industry Technology Development Report (2010) [R]. Beijing: China Agriculture Press, 2011: 16-18.)
- [26] 全国农业技术推广服务中心. 中国大豆新品种动态, 2010 年国家大豆品种试验报告[R]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 11-336. (National Agricultural Technology Extension and Service Center. Dynamic of Soybean New Varieties in China, 2010 National Soybean Variety Test Report[R]. Beijing: China Agricultural Science and Technology, 2010: 11-336.)

(上接第 556 页)

- [10] 林树柱, 曹越平, 卫志明. 根瘤农杆菌介导的大豆遗传转化[J]. 生物工程学报, 2004, 20(6): 817-820. (Lin S Z, Cao Y P, Wei Z M. Genetic transformation of soybean mediated by *Agrobacterium tumefaciens* [J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2004, 20(6): 817-820.)
- [11] Yan B, Srinirasa Reddy M S, Collins G B, et al. *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of soybean [*Glycine max* (L) Merrill.] using immature zygotic cotyledon explants [J]. Plant Cell Reports, 2000, 19: 1090-1097.
- [12] 贾会勇. *CGSI*、*DHDPS* 基因克隆及其作为转基因植物筛选标记的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008. (Jia H Y. Cloning of *CGSI* and *DHDPS* and their use as selectable maker of transgenic plant [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2008.)
- [13] 吴刚, 崔海瑞, 舒庆尧, 等. *GUS* 组织化学染色法——一种快速筛选抗二化螟转 *Bt cry1Ab* 基因水稻的方法[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2000, 26(2): 141-143. (Wu G, Cui H R, Shu Q R, et al. *GUS* histochemical assay: a rapid way to screen striped stem borer (*Chilo suppressalis*) resistant transgenic rice with *acry1Ab* gene from *Bt* (*Bacillus thuringiensis*) [J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Science), 2000, 26(2): 141-143.)
- [14] Cheng T Y, Saka H, Voqui D T H. Plant regeneration from soybean cotyledonary node segments in culture [J]. Plant Cell Reports, 1980, 19: 91-99.
- [15] 刘斌, 吴迪, 侯文胜. 卡那霉素叶片涂沫法筛选转基因大豆植株的有效性[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(12): 79-82. (Liu B, Wu D, Hou W S. The effectiveness of scrawling leaves with kana to select transgenic soybean [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition), 2006, 34(12): 79-82.)