



段明威, 陈健, 侯云龙, 邱红梅, 陈亮, 崔正果, 王跃强, 刘德泉. 1994—2023年全国大豆审定品种主要农艺性状比较分析[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(05): 53-71.

DUAN Mingwei, CHEN Jian, HOU Yunlong, QIU Hongmei, CHEN Liang, CUI Zhengguo, WANG Yueqiang, LIU Dequan. Comparative analysis on the main traits of certified soybean varieties in China from 1994 to 2023[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(05): 53-71.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.05.05

1994—2023年全国大豆审定品种主要农艺性状比较分析

段明威^{1,2} 陈健¹ 侯云龙¹ 邱红梅¹ 陈亮¹ 崔正果¹ 王跃强^{2*} 刘德泉^{1*}

(1. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心)大豆研究所, 长春 130033;

2. 延边大学农学院, 吉林 延吉 133002)

摘要 为了解1994—2023年我国3个大豆产区育成的大豆品种主要农艺性状的演变趋势及育种方向,以“大豆”“选育”“品种”为关键词检索中国知网1994—2023年的相关文献,提取北方春大豆产区、黄淮大豆产区、南方大豆产区共1 011个大豆品种的百粒重、株高、主茎节数、分枝数、结荚数、生育期、产量、蛋白质含量、脂肪含量等指标数据,并进行比较分析。结果表明:1)在北方春大豆产区,1994—1998年育种趋势主要是通过提高主茎节数来实现产量的提升;1999—2018年主要通过增加主茎节数、结荚数来提升产量;2019—2023年,育种趋势转向通过提高分枝数和结荚数来推动产量增长。黄淮大豆产区在1994—2023年的育种趋势主要是通过增加百粒重和株高来实现产量的增长。南方大豆产区在1994—2013年则是侧重于延长生育期和增加百粒重来提高产量;2014—2023年的育种趋势为继续增加生育期和百粒重,还通过增加大豆的主茎节数来促进产量的增长。2)通径分析显示,在北方春大豆产区,生育期对产量的直接影响最大,直接通径系数(DPC)为0.394;在黄淮大豆产区,株高对产量的直接影响最大,DPC为0.215;在南方大豆产区,结荚数对产量的直接影响最大,DPC为0.403。3)主成分分析显示3个大豆产区审定大豆品种其总体方差贡献率分别达到68.64%、64.45%和64.94%,北方春大豆产区中,贡献率最高的为主茎节数;黄淮大豆产区中,株高贡献率最高;南方大豆产区中,主茎节数对该地区的贡献率最高。综上,北方春大豆产区的产量提升主要通过多因素协同作用实现,不同时间段内侧重点有所不同;黄淮大豆产区的产量提升主要通过增加百粒重和株高来实现产量的增长;南方大豆产区则主要通过延长生育期和增加百粒重来提高产量。

关键词 大豆;农艺性状;品种;区域;产量

中图分类号 S565.1

文章编号 1007-4333(2025)05-0053-19

文献标志码 A

Comparative analysis on the main traits of certified soybean varieties in China from 1994 to 2023

DUAN Mingwei^{1,2}, CHEN Jian¹, HOU Yunlong¹, QIU Hongmei¹, CHEN Liang¹,
CUI Zhengguo¹, WANG Yueqiang^{2*}, LIU Dequan^{1*}

(1. Soybean Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences (Northeast Agricultural Research Center of China), Changchun, 130033, China;

2. College of Agriculture, Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract To understand the evolution trends of the main agronomic traits of soybean varieties in three major soybean production regions of China from 1994 to 2023, with “soybean”, “breeding” and “variety” as

收稿日期: 2024-11-08

基金项目: 吉林省农业科技创新工程(CXGC2024RCB001)

第一作者: 段明威(ORCID:0009-0002-8688-3619), 硕士研究生, E-mail: 1778509681@qq.com

通讯作者: 刘德泉(ORCID:0000-0003-1353-3386), 副研究员, 主要从事大豆种质资源鉴定与利用研究, E-mail: liudequan5566@live.com

王跃强(ORCID:0009-0000-2819-4626), 研究员, 主要从事大豆品种选育与资源创新利用研究, E-mail: wangyueqiang@foxmail.com

keywords, the relevant literature from 1994 to 2023 was retrieved from CNKI. The traits of 1 011 soybean varieties in the three soybean production regions, namely northern spring soybeans, Huanghuai soybeans and southern soybeans, from 1994 to 2023 were obtained. The 100-seed weight, plant height, node number, branch number, pod number, growth period, yield, protein content and fat content were extracted and conducted comparative analysis. The results showed that: 1) In the northern spring soybean production region, the breeding trend from 1994 to 1998 was mainly to increase the yield through increasing the node number; from 1999 to 2018, the yield was increased by increasing the node number and pod number; from 2019 to 2023, the breeding trend shifted to increasing the yield through increasing the branch number and pod number. In the Huanghuai soybean production region, the breeding trend from 1994 to 2023 was mainly to increase the yield by increasing the 100-seed weight and plant height. In the southern soybean production region, from 1994 to 2013, it was focused on extending the growth period and increasing the 100-seed weight to increase the yield; from 2014 to 2023, the breeding trend was to continue to increase the growth period and 100-seed weight, and also to increase the node number to promote the yield growth. 2) The path analysis showed that in the northern spring soybean production region, the growth period had the greatest direct impact on yield, with a direct path coefficient (DPC) of 0.394; in the Huanghuai soybean production region, plant height had the greatest direct impact on yield, with a DPC of 0.215; in the southern soybean production region, pod number had the greatest direct impact on yield, with a DPC of 0.403. 3) The principal component analysis showed that the overall variance contribution rates of the approved soybean varieties in the three soybean production regions were 68.64%, 64.45% and 64.94%, respectively. In the northern spring soybean production region, the node number had the highest contribution rate; in the Huanghuai soybean production region, plant height had the highest contribution rate; in the southern soybean production region, the node number had the highest contribution rate. In summary, the increase in yield in northern spring soybean producing region is mainly achieved through the synergistic effect of multiple factors, with different emphasis on the inner side at different time periods; The yield increase in the Huanghuai soybean production region is mainly achieved by increasing 100-seed weight and plant height; The southern soybean production region mainly increases yield by prolonging the growth period and increasing the 100-seed weight.

Keywords soybean; agronomic traits; variety; region; yield

大豆(*Glycine max*)作为油料和经济作物,在国家粮食、产业和经济安全等方面具有重要的地位^[1]。品种的选育和改良与产业发展紧密相关,审定品种的农艺和品质性状变化反映了不同时期生产和市场的需求,也是不同时期育种思路的体现^[2]。同时品种改良能够提高大豆产量和品质,对大豆产业的振兴发挥着关键作用^[3]。因此,把握大豆品种的育种趋势对于优化品种改良、提升国产大豆产业竞争力具有重要的意义。

Song等^[4]在中国(不包括香港、澳门和台湾)大豆栽培和生态区划的基础上,通过分析中国各生态区大豆蛋白质和脂肪含量的特点及其与环境条件和栽培措施的关系,将中国大豆产区划分为3个区域:北方春播高油富功能成分大豆区、黄淮海夏播高蛋白大豆区、南方复合种植高蛋白和富含膳食纤维大豆区,为中国大豆品质改良和产业化布局提供

了重要依据。在品种改良过程中,往往涉及多个农艺性状的协同变化^[5],这些变化对产量提高及品质提升都有不同程度的贡献。因此,根据不同时期大豆品种信息,对多个农艺性状的演变进行系统研究,进而找出育种选择的倾向性,能够为大豆新品种的选育提供理论指导^[6-9]。例如,胡国玉等^[10]研究发现,1983—2019年安徽省育成的96个大豆品种的株高和分枝数降低,蛋白质及脂肪含量略有降低,均为有效分枝少、株高适宜、百粒重较高的品种;吴昊等^[11]研究表明,2000—2020年山东省审定的58个大豆品种的产量、单株粒数和百粒重呈升高趋势,株高呈下降趋势,品质性状变化较小,同时产量与单株粒数和百粒重呈正相关;余忠浩等^[12]研究发现,2002—2021年内蒙古自治区审定的大豆品种产量逐步升高,品质性状提升则较为缓慢,产量与百粒重呈负相关,蛋白质含量与脂肪含量呈负相关,

生育期与株高、百粒重均呈正相关。

不同地区和不同年代的育种趋势存在差异,王连铮等^[13]对 1998 年前黑龙江省和黄淮地区不同时期代表性的大豆品种进行比较研究认为,各地区大豆品种的育种趋势为单株粒重升高,单节荚数、单荚粒数增多,粒重增大,茎秆增粗,株高降低。梁子聪等^[14]认为辽宁省大豆品种遗传改良偏重选育株型紧凑、株高适宜、底荚高度较低和单株粒数较多的稳产型大豆品种。赵宏亮等^[15]对 2005—2024 年江苏省审定的籽粒型大豆品种分析后提出,在江苏省籽粒型大豆新品种的选育过程中,应加强单株荚数、单荚粒数、百粒重的协同改良,适当缩短生育期,降低株高,结荚高度和减少有效分枝数。聂波涛等^[16]提出吉林省中部地区高产大豆的理想株型为主茎节数高,单株荚数>132.83 个,分枝数为 6.00 个,开花到成熟期>61.29 d,蛋白质含量>38.87 g/100 g,脂肪含量>19.27g/100 g,百粒重在 19.45~22.55 g。目前,综合我国 3 个大豆产区的育种趋势特点的研究鲜见报道。本研究通过显著性检验、相关性分析、通径分析以及主成分分析方法综合比较 1994—2023 年 3 个产区大豆育成品种主要农艺性状的演变规律,梳理产量、品质性状的演变趋势,旨在明确 3 个产区大豆品种主要农艺性状的演变趋势及育种方向,以期为全国各大豆产区制定育种策略提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据收集

以“大豆”“选育”“品种”为关键词在中国知网(CNKI)检索 1994—2023 年相关文献共计获得 1 011 份大豆育成品种信息,其中北方春大豆产区品种 541 份,

黄淮大豆产区品种 251 份,南方大豆产区品种 219 份。

提取品种的百粒重(100-seed weight,100SW)、株高(Plant height,PH)、主茎节数(Node number, NN)、分枝数(Branch number, BN)、结荚数(Pod number, PN)、生育期(Growth period, GP)、产量(Yield)、蛋白质含量(Protein content, PC)、脂肪含量(Fat content, FC)。品种的农艺性状每 5 年 1 组进行统计分析。

1.2 数据分析

采用 Excel 2007 进行数据整理并计算平均值、标准差及变异系数(CV),采用 SPSS 26.0 进行显著性检验、相关性分析^[17]、通径分析^[18]和主成分分析。性状遗传进展(Genetic gain, Gg)按照下列公式计算^[19]:

$$Y_i=a+bC_i+u$$

式中:Y_i,品种*i*的表型值;C_i,品种*i*的育成年份;*a*,方程的截距;*b*,遗传进展;*u*,回归残差。

2 结果与分析

2.1 北方春大豆产区不同时期育成品种农艺性状的演变趋势

2.1.1 产量性状

由表 1 可知,北方春大豆产区 1994—2023 年育成的品种主茎节数呈显著上升(*P*<0.05);1994—2018 年的品种产量呈显著上升(*P*<0.05),随后略微降低,最大值出现在 2014—2018 年,为 2 923.47 kg/hm²,CV=0.16,最小值出现在 1994—1998 年,为 2 524.84 kg/hm²,CV=0.10;1994—2023 年的品种结荚数呈上升趋势,但差异不显著;该产区的百粒重、株高、分枝数与生育期随时间变化无显著差异。遗传进展方面,株高、结荚数、产量呈正向遗传,百粒重、生育期则呈负向遗传。

表 1 北方春大豆产区不同时期育成品种的产量性状
Table1 Yield traits of soybean varieties in different periods in the northern spring soybean production region

性状 Trait	年份 Year	数量 Quantity	极小值 Min	极大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	遗传进展 Genetic gain
百粒重/g 100SW	1994—1998	14	17.00	21.00	19.74 ^a	1.29	0.07	—0.02
	1999—2003	60	9.00	27.00	20.42 ^a	3.12	0.15	
	2004—2008	105	8.50	28.00	19.80 ^a	3.80	0.19	
	2009—2013	126	9.20	27.60	19.80 ^a	2.77	0.14	
	2014—2018	118	9.20	30.60	19.85 ^a	2.62	0.13	
	2019—2023	110	7.70	29.10	20.03 ^a	2.85	0.14	

表1 (续)

性状 Trait	年份 Year	数量 Quantity	极小值 Min	极大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	遗传进展 Genetic gain
株高/cm PH	1994—1998	12	63.90	115.00	83.52 ^a	14.98	0.18	0.16
	1999—2003	59	60.30	120.00	84.89 ^a	11.79	0.14	
	2004—2008	103	61.30	120.00	86.25 ^a	13.26	0.15	
	2009—2013	123	53.00	112.50	87.51 ^a	11.38	0.13	
	2014—2018	117	50.00	120.00	86.98 ^a	12.03	0.14	
	2019—2023	110	63.70	123.50	87.59 ^a	11.53	0.13	
主茎节数 NN	1994—1998	3	12.50	17.00	14.53 ^b	2.28	0.16	0.00
	1999—2003	24	13.00	24.00	17.43 ^a	2.36	0.14	
	2004—2008	24	13.00	20.00	15.90 ^{ab}	1.83	0.12	
	2009—2013	48	10.00	23.00	16.77 ^a	2.45	0.15	
	2014—2018	52	13.40	20.90	17.36 ^a	1.70	0.10	
	2019—2023	65	11.20	22.40	16.57 ^a	2.30	0.14	
分枝数 BN	1994—1998	7	1.20	3.00	2.10 ^a	0.69	0.33	0.00
	1999—2003	29	0.10	4.10	1.65 ^a	1.17	0.71	
	2004—2008	32	1.00	3.90	2.09 ^a	0.88	0.42	
	2009—2013	46	0.20	6.00	1.96 ^a	1.17	0.60	
	2014—2018	45	0.20	4.00	1.66 ^a	0.98	0.59	
	2019—2023	43	0.00	8.00	1.91 ^a	1.57	0.82	
结荚数 PN	1994—1998	1	18.40	18.40	18.40 ^a	0	0	0.25
	1999—2003	17	25.80	62.80	47.76 ^a	10.54	0.22	
	2004—2008	26	23.08	68.60	50.12 ^a	11.58	0.23	
	2009—2013	40	14.80	73.80	50.85 ^a	13.30	0.26	
	2014—2018	41	23.30	85.70	51.82 ^a	13.06	0.25	
	2019—2023	44	20.10	88.00	52.58 ^a	17.65	0.34	
生育期/d GP	1994—1998	14	95.00	135.00	117.04 ^b	11.04	0.09	-0.09
	1999—2003	60	98.00	136.00	121.82 ^a	7.97	0.07	
	2004—2008	103	85.00	136.00	120.13 ^{ab}	9.07	0.08	
	2009—2013	126	76.00	135.00	119.25 ^{ab}	10.48	0.09	
	2014—2018	114	95.00	135.00	120.11 ^{ab}	7.52	0.06	
	2019—2023	105	94.00	140.00	118.39 ^{ab}	10.48	0.09	
产量/(kg/hm ²) Yield	1994—1998	13	2 100.00	2 970.45	2 524.84 ^c	253.01	0.10	11.69
	1999—2003	59	1 634.90	4 140.00	2 663.61 ^{bc}	457.16	0.17	
	2004—2008	104	1 753.40	4 278.30	2 716.60 ^b	461.36	0.17	
	2009—2013	129	1 825.50	4 500.00	2 773.71 ^{ab}	437.89	0.16	
	2014—2018	116	1 713.40	4 037.50	2 923.47 ^a	457.03	0.16	
	2019—2023	107	1 814.20	3 913.20	2 817.72 ^{ab}	427.20	0.15	

注:同列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。下同。
Note: Within the same row, different letters represent significant differences ($P<0.05$), while the same letters represent no significant differences ($P>0.05$). The same below.

2.1.2 品质性状

由表 2 可知,北方春大豆产区 1994—1998 年育成的品种蛋白质含量最高,为 42.18 g/100 g, CV=0.06,2014—2018 年最低,为 39.12 g/100 g, CV=0.06;1994—2018 年的品种蛋白质含量呈极显著下降 ($P<0.01$),2019—2023 年又有所回升 ($P<0.01$)。2014—2018 年的品种脂肪含量达到最高,为 21.27 g/100 g, CV=0.06;1994—1998 年最低,为 19.85 g/100 g, CV=0.07,1994—2018 年的品种脂肪含量呈极显著上升 ($P<0.01$),2014—2023 年的品种脂肪含量呈极显著下降 ($P<0.01$)。

表 2 北方春大豆产区不同时期育成品种的品质性状
Table 2 Quality traits of soybean varieties in different periods in the northern spring soybean production region

性状 Trait	年份 Year	数量 Quantity	极小值 Min	极大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	遗传进展 Genetic gain
蛋白质含量/(g/100 g) PC	1994—1998	14	38.67	46.50	42.18 ^a	2.47	0.06	-0.05
	1999—2003	60	35.23	46.28	40.57 ^b	2.31	0.06	
	2004—2008	105	35.37	47.94	40.22 ^b	2.20	0.05	
	2009—2013	128	33.29	45.49	39.82 ^b	1.83	0.05	
	2014—2018	120	34.23	45.98	39.12 ^c	2.18	0.06	
	2019—2023	111	33.32	49.20	40.30 ^b	2.50	0.06	
脂肪含量/(g/100 g) FC	1994—1998	14	18.07	22.84	19.85 ^c	1.35	0.07	0.01
	1999—2003	60	16.10	23.81	20.70 ^{ab}	1.48	0.07	
	2004—2008	105	16.95	24.61	20.76 ^{ab}	1.43	0.07	
	2009—2013	129	16.94	25.31	21.09 ^{ab}	1.41	0.07	
	2014—2018	120	17.63	24.13	21.27 ^a	1.24	0.06	
	2019—2023	111	15.78	23.16	20.54 ^{ab}	1.44	0.07	

2.1.3 育成品种性状间相关性分析

由表 3 可知,北方春大豆产区,2004—2008 与 2009—2013 年育成的品种产量与百粒重呈极显著正相关,相关系数(r)分别为 0.41、0.28,在这段时间内,大豆品种产量的提升主要取决于百粒重的增加;2009—2013 与 2014—2018 年产量与结荚数呈极显著正相关($r=0.47$ 、 $r=0.50$),在这一时期,结荚数的增加对产量的提升起到了决定的作用;1999—2003 与 2004—2008 年的品种产量与生育期呈极显著正相关($r=0.47$ 、 $r=0.59$);1999—2003 年的品种产量与蛋白质含量呈负相关($r=-0.27$);1999—2003 与 2004—2008 年的产量与脂肪含量均呈显著正相关($r=0.31$ 、 $r=0.23$),2009—2013 与 2014—2018 年的品种呈极显著的正相关($r=0.29$ 、 $r=0.28$),说明脂肪含量与产量变化趋势相同;2009—2023 年的品种蛋白质含量与株高、生育期均呈极显著正相关,1999—2008 年的品种蛋白质含量与分枝数呈显著正相关;1999—2023 年的蛋白质含量与脂肪含量呈极显著负相关。可见,大豆品种脂肪的增加伴随着蛋白质含量的降低。

表 3 北方春大豆产区不同时期育成品种主要性状的相关性变化
Table 3 Changes in the correlation of major traits of varieties in different periods in the northern spring soybean production region

性状 Trait	年份 Year	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
百粒重 100SW	1994—1998	1.00	0.36	0.40	0.35		0.45	0.34	-0.13	0.31
	1999—2003	1.00	0.13	0.04	-0.05	0.46	0.37	0.22	-0.05	0.17
	2004—2008	1.00	-0.01	-0.29	0.46	0.32	0.25	0.41**	-0.23*	0.36**
	2009—2013	1.00	0.09	-0.04	0.38	0.16	0.24	0.28**	0.22*	0.05
	2014—2018	1.00	0.07	0.17	0.26	-0.14	0.18	-0.06	-0.10	0.38**
	2019—2023	1.00	-0.01	0.01	-0.21	0.20	0.18	0.22*	0.24*	0.07

表3 (续)

性状 Trait	年份 Year	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
株高 PH	1994—1998	0.36	1.00	0.93	0.21		0.66*	−0.30	0.14	0.18
	1999—2003	0.13	1.00	0.69**	−0.44*	−0.13	0.40**	0.08	0.04	−0.14
	2004—2008	−0.01	1.00	0.84**	−0.43*	−0.21	0.40**	0.29**	−0.03	−0.07
	2009—2013	0.09	1.00	0.73**	0.26	0.50**	0.50**	0.15	0.38**	−0.17
	2014—2018	0.07	1.00	0.58**	−0.13	0.11	0.27*	0.23*	0.37**	−0.13
	2019—2023	−0.01	1.00	0.60**	0.17	0.15	−0.49**	0.04	0.40**	0.01
主茎节数 NN	1994—1998	0.40	0.93	1.00	0.17		0.88	−0.62	−0.49	0.87
	1999—2003	0.04	0.69**	1.00	0.05	−0.12	0.30	−0.34	0.13	−0.16
	2004—2008	−0.29	0.84**	1.00	−0.44	−0.46*	0.01	0.10	−0.18	−0.09
	2009—2013	−0.04	0.73**	1.00	0.35*	0.57**	0.43**	0.11	0.21	−0.11
	2014—2018	0.17	0.58**	1.00	0.19	0.30	0.41**	−0.07	0.26	0.16
	2019—2023	0.01	0.60**	1.00	0.35*	0.50**	0.69**	0.22	0.52**	−0.11
分枝数 BN	1994—1998	0.35	0.21	0.17	1.00		0.28	−0.34	0.14	0.48
	1999—2003	−0.05	−0.44*	0.05	1.00	0.79**	−0.21	−0.56**	0.38*	−0.17
	2004—2008	0.46	−0.43*	−0.44	1.00	0.53*	0.37*	0.23	0.37*	−0.38*
	2009—2013	0.38	0.26	0.35*	1.00	0.37*	0.39**	−0.19	0.18	0.17
	2014—2018	0.26	−0.13	0.19	1.00	0.47*	0.44*	−0.19	0.03	0.40*
	2019—2023	−0.21	0.17	0.35*	1.00	0.58**	0.47**	−0.26	0.19	0.23
结荚数 PN	1999—2003	0.46	−0.13	−0.12	0.79**	1.00	0.51*	−0.15	0.44	−0.10
	2004—2008	0.32	−0.21	−0.46*	0.53*	1.00	0.55**	0.23	0.06	−0.03
	2009—2013	0.16	0.50**	0.57**	0.37*	1.00	0.58**	0.47**	0.12	−0.11
	2014—2018	−0.14	0.11	0.30	0.47*	1.00	−0.10	0.50**	0.27	−0.02
	2019—2023	0.20	0.15	0.50**	0.58**	1.00	0.66**	0.28	0.55**	−0.16
生育期 GP	1994—1998	0.45	0.66*	0.88	0.28		1.00	−0.18	−0.23	0.51
	1999—2003	0.37	0.40**	0.30	−0.21	0.51*	1.00	0.47**	0.25	−0.07
	2004—2008	0.25	0.40**	0.01	0.37*	0.55**	1.00	0.59**	0.17	−0.04
	2009—2013	0.24	0.50**	0.43**	0.39**	0.58**	1.00	0.13	0.59**	−0.11
	2014—2018	0.18	0.27*	0.41**	0.44*	−0.10	1.00	0.12	0.48**	0.04
	2019—2023	0.18	−0.49**	0.69**	0.47**	0.66**	1.00	−0.07	0.77**	0.07
产量 Yield	1994—1998	0.34	−0.30	−0.62	−0.34		−0.18	1.00	0.02	−0.20
	1999—2003	0.22	0.08	−0.34	−0.56**	−0.15	0.47**	1.00	−0.27*	0.31*
	2004—2008	0.41**	0.29**	0.10	0.23	0.23	0.59**	1.00	−0.19	0.23*
	2009—2013	0.28**	0.15	0.11	−0.19	0.47**	0.13	1.00	−0.16	0.29**
	2014—2018	−0.06	0.23*	−0.07	−0.19	0.50**	0.12	1.00	−0.13	0.28**
	2019—2023	0.22*	0.04	0.22	−0.26	0.28	−0.07	1.00	0.00	0.14
蛋白质 含量 PC	1994—1998	−0.13	0.14	−0.49	0.14		−0.23	0.02	1.00	−0.26
	1999—2003	−0.05	0.04	0.13	0.38*	0.44	0.25	−0.27*	1.00	−0.74**
	2004—2008	−0.23*	−0.03	−0.18	0.37*	0.06	0.17	−0.19	1.00	−0.67**
	2009—2013	0.22*	0.38**	0.21	0.18	0.12	0.59**	−0.16	1.00	−0.64**
	2014—2018	−0.10	0.37**	0.26	0.03	0.27	0.48**	−0.13	1.00	−0.67**
	2019—2023	0.24*	0.40**	0.52**	0.19	0.55**	0.77**	0.00	1.00	−0.77**

表 3（续）										
性状 Trait	年份 Year	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
脂肪含量 FC	1994—1998	0.31	0.18	0.87	0.48		0.51	−0.20	−0.26	1.00
	1999—2003	0.17	−0.14	−0.16	−0.17	−0.10	−0.07	0.31*	−0.74**	1.00
	2004—2008	0.36**	−0.07	−0.09	−0.38*	−0.03	−0.04	0.23*	−0.67**	1.00
	2009—2013	0.05	−0.17	−0.11	0.17	−0.11	−0.11	0.29**	−0.64**	1.00
	2014—2018	0.38**	−0.13	0.16	0.40*	−0.02	0.04	0.28**	−0.67**	1.00
	2019—2023	0.07	0.01	−0.11	0.23	−0.16	0.07	0.14	−0.77**	1.00
注：*和**分别代表 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著和极显著相关。下同。										
Note: * and ** denote correlations that are statistically significant and highly significant at the p-value thresholds of less than 0.05 and 0.01, respectively. The same below.										

由表 4 可知,1994—2023 年北方春大豆产区育成品种的主茎节数与株高($r=0.66$)、结荚数($r=0.40$)、生育期($r=0.49$)呈极显著正相关,主茎节数与分枝数呈显著正相关($r=0.16$);结荚数与株高($r=0.21$)、分枝数($r=0.50$)、生育期($r=0.52$)呈极显著正相关;产量与百粒重($r=0.19$)、株高($r=0.33$)、主茎节数($r=0.19$)结荚数($r=0.28$)、生育期($r=0.54$)呈极显著正

相关,这些性状的提升都会使得产量提升;蛋白质含量与分枝数呈极显著正相关($r=0.28$),而蛋白质含量与产量($r=-0.19$)和脂肪含量($r=-0.69$)呈极显著负相关;脂肪含量与百粒重($r=0.19$)、结荚数($r=0.26$)、产量($r=0.25$)呈极显著正相关,脂肪含量与分枝数($r=-0.21$)、蛋白质含量($r=-0.69$)呈极显著负相关。

表 4 北方春大豆产区品种主要性状的相关性										
Table 4 Correlation between major traits of varieties in the northern spring soybean production region										
性状 Trait	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC	
百粒重 100SW	1.00									
株高 PH	0.04	1.00								
主茎节数 NN	−0.02	0.66**	1.00							
分枝数 BN	0.12*	−0.07	0.16*	1.00						
结荚数 PN	0.14*	0.21**	0.40**	0.50**	1.00					
生育期 GP	0.23**	0.43**	0.49**	0.30**	0.52**	1.00				
产量 Yield	0.19**	0.33**	0.19**	−0.01	0.28**	0.54**	1.00			
蛋白质含量 PC	0.05	−0.07*	−0.07	0.28**	−0.08	0.04	−0.19**	1.00		
脂肪含量 FC	0.19**	0.05	0.12*	−0.21**	0.26**	0.04	−0.69**	0.25**	1.00	

2.2 黄淮大豆产区不同时期育成品种农艺性状的演变趋势

2.2.1 产量性状

由表 5 可知,黄淮大豆产区 1999—2023 年育成品种的百粒重呈极显著上升($P<0.01$);1994—2023 年的品种主茎节数呈显著下降($P<0.05$);1999—2023 年的品种分枝数呈显著下降($P<0.05$);品种产量最

高值出现在 2014—2018 年,为 3 111.70 kg/hm², CV=0.12,最小值出现在 1994—1998 年,为 2 482.45 kg/hm², CV=0.15,1994—2023 年的品种产量呈显著上升($P<0.05$);此外株高、结荚数、生育期均无显著变化。遗传进展(Gg)方面,百粒重(Gg=0.11)、结荚数(Gg=0.07)和产量(Gg=28.59)呈正向遗传,其余产量性状则呈负向遗传。

表5 黄淮大豆产区不同时期育成品种的产量性状
Table 5 Yield traits of soybean varieties in different periods in the Huanghuai soybean production region

性状 Trait	年份 Year	品种数量 Quantity	极小值 Min	极大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	遗传进展 Genetic gain
百粒重/g 100SW	1994—1998	6	17.00	25.00	20.17 ^b	2.93	0.15	0.11
	1999—2003	21	16.60	23.00	20.16 ^b	1.75	0.09	
	2004—2008	54	16.50	28.00	20.37 ^b	2.51	0.12	
	2009—2013	54	16.50	25.50	21.00 ^{ab}	2.26	0.11	
	2014—2018	61	16.60	28.20	21.91 ^a	2.67	0.12	
	2019—2023	51	17.20	28.80	22.06 ^a	2.48	0.11	
株高/cm PH	1994—1998	6	75.00	100.00	83.33 ^a	8.76	0.11	-0.24
	1999—2003	21	47.00	105.00	84.36 ^a	14.84	0.18	
	2004—2008	52	55.00	100.00	83.16 ^a	11.09	0.13	
	2009—2013	54	52.40	120.40	85.41 ^a	13.94	0.16	
	2014—2018	62	61.85	137.75	81.63 ^a	14.24	0.17	
	2019—2023	51	46.50	139.40	78.84 ^a	20.08	0.25	
主茎节数 NN	1994—1998	3	18.00	22.00	19.33 ^a	2.31	0.12	-0.09
	1999—2003	18	10.40	22.00	17.11 ^b	3.44	0.20	
	2004—2008	42	11.60	21.50	16.90 ^b	1.96	0.12	
	2009—2013	46	11.20	23.30	16.63 ^b	2.71	0.16	
	2014—2018	50	12.00	20.20	16.17 ^b	2.16	0.13	
	2019—2023	45	12.70	24.60	15.84 ^b	2.39	0.15	
分枝数 BN	1994—1998	4	1.10	2.50	1.90 ^b	0.71	0.37	-0.02
	1999—2003	19	0.33	5.00	2.60 ^a	1.35	0.52	
	2004—2008	49	0.50	4.00	2.50 ^{ab}	0.84	0.34	
	2009—2013	53	0.60	5.00	2.41 ^{ab}	0.86	0.36	
	2014—2018	61	1.00	4.00	2.32 ^{ab}	0.63	0.27	
	2019—2023	49	0.90	4.80	2.11 ^{ab}	0.83	0.39	
结荚数 PN	1994—1998	3	37.00	50.00	42.33 ^a	6.81	0.16	0.07
	1999—2003	11	25.00	72.80	42.85 ^a	12.40	0.29	
	2004—2008	44	32.00	67.40	44.88 ^a	8.92	0.20	
	2009—2013	50	29.50	65.00	45.40 ^a	8.32	0.18	
	2014—2018	56	30.30	89.90	47.15 ^a	10.25	0.22	
	2019—2023	46	32.00	98.75	44.55 ^a	11.45	0.26	
生育期/d GP	1994—1998	6	99.00	104.00	100.92 ^b	1.91	0.02	-0.14
	1999—2003	21	90.00	136.00	110.79 ^a	15.38	0.14	
	2004—2008	51	88.00	135.50	110.30 ^a	12.34	0.11	
	2009—2013	53	90.00	139.00	109.86 ^a	9.40	0.09	
	2014—2018	60	95.00	155.00	109.31 ^a	8.72	0.08	
	2019—2023	48	95.50	139.50	105.19 ^{ab}	8.00	0.08	
产量/(kg/hm ²) Yield	1994—1998	6	2 013.70	3 075.00	2 482.45 ^c	363.19	0.15	28.59
	1999—2003	20	1 936.50	3 198.00	2 569.86 ^{de}	421.49	0.16	
	2004—2008	51	2 218.50	3 167.10	2 760.73 ^{cd}	238.13	0.09	
	2009—2013	53	2 353.50	3 447.00	2 869.87 ^{bc}	279.38	0.10	
	2014—2018	61	1 959.75	3 783.00	3 111.70 ^{ab}	369.35	0.12	
	2019—2023	49	2 539.50	4 104.00	3 044.50 ^a	324.37	0.11	

2.2.2 品质性状

由表 6 可知,黄淮大豆产区 1994—1998 年的品种蛋白质含量平均值最大,为 43.09 g/100 g,2004—2008 年平均值最小,为 40.80 g/100 g,2004—2023 年的品种蛋白质含量呈极显著上升($P<0.01$)。1999—2003 年的品种脂肪含量平均值最大,为 21.17 g/100 g,1994—1998 年平均值最小,为 19.75 g/100 g,1999—2023 年的品种脂肪含量呈极显著下降($P<0.01$)。

表 6 黄淮大豆产区不同时期育成品种的品质性状
Table 6 Quality traits of soybean varieties in different periods in the Huanghuai soybean production region

性状 Trait	年份 Year	品种数量 Quantity	极小值 Min	极大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	遗传进展 Genetic gain
蛋白质含量/ (g/100 g) PC	1994—1998	6	38.65	46.34	43.09 ^a	2.96	0.07	0.04
	1999—2003	19	36.89	48.41	41.69 ^{ab}	2.79	0.07	
	2004—2008	52	36.18	45.99	40.80 ^b	2.32	0.06	
	2009—2013	54	38.91	47.93	41.76 ^{ab}	2.09	0.05	
	2014—2018	62	36.39	48.72	41.73 ^{ab}	2.55	0.06	
	2019—2023	50	35.10	47.38	42.56 ^a	2.34	0.06	
脂肪含量/ (g/100 g) FC	1994—1998	6	18.34	20.74	19.75 ^b	0.95	0.05	-0.02
	1999—2003	20	17.30	24.20	21.11 ^a	1.93	0.09	
	2004—2008	52	16.40	22.55	20.36 ^{ab}	1.30	0.06	
	2009—2013	54	16.50	23.12	20.35 ^{ab}	1.46	0.07	
	2014—2018	62	17.74	22.97	20.23 ^{ab}	1.21	0.06	
	2019—2023	50	17.42	22.70	19.95 ^b	1.10	0.06	

2.2.3 育成品种性状间相关性分析

由表 7 可知,黄淮大豆产区 1994—2023 年育成品种的株高与主茎节数均呈极显著正相关,2004—2023 年的品种株高与生育期均呈极显著正相关;2009—2023 年的品种结荚数与分枝数均呈极显著正相关;2004—2008 年的大豆产量与百粒重、株高呈正相关关系, r 分别为 0.35、0.33;2009—2013 年的产量与百粒重呈正相关关系($r=0.31$),意味着这段时间更注重提高百粒重来提升产量;2014—2018 年产量与生育期呈极显著负相关($r=-0.34$)。1994—1998 和 2014—2018 年的蛋白质含量与百粒重呈正相关,2014—2018 年的蛋白质含量与产量呈极显著负相关($r=-0.35$);2014—2018 年的脂肪含量与百粒重呈极显著负相关($r=-0.36$),2009—2013 年的品种脂肪含量与生育期呈极显著负相关($r=-0.37$),1999—2023 年的品种脂肪含量与蛋白质含量呈极显著负相关,再次说明籽粒蛋白质含量的升高会导致脂肪含量的降低。

表 7 黄淮大豆产区品种不同时期主要性状的相关性变化
Table 7 Changes in the correlation of major traits of varieties in Huanghuai soybean production region in different periods

性状 Trait	年份 Year	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
百粒重 100SW	1994—1998	1.00	0.29	0.00	0.00	-0.52	0.20	0.17	-0.08	0.02
	1999—2003	1.00	-0.27	-0.16	0.02	-0.05	-0.13	0.17	0.26	-0.05
	2004—2008	1.00	0.39 ^{**}	0.35 [*]	-0.14	-0.39 ^{**}	0.18	0.35 [*]	0.27 [*]	0.08
	2009—2013	1.00	0.20	0.10	-0.36 ^{**}	-0.45 ^{**}	-0.11	0.31 [*]	0.02	0.07
	2014—2018	1.00	0.37 ^{**}	0.46 ^{**}	-0.16	-0.12	0.47 ^{**}	-0.05	0.34 ^{**}	-0.36 ^{**}
	2019—2023	1.00	0.20	0.05	-0.10	-0.22	0.25	0.23	0.06	0.02

表7 (续)

性状 Trait	年份 Year	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
株高 PH	1994—1998	0.29	1.00	1.00**	0.00	−0.74	−0.07	0.11	−0.16	0.24
	1999—2003	−0.27	1.00	0.84**	0.04	0.22	0.29	0.02	−0.14	0.12
	2004—2008	0.39**	1.00	0.72**	−0.19	−0.17	0.45**	0.33*	−0.12	0.30*
	2009—2013	0.20	1.00	0.74**	−0.12	0.12	0.35**	−0.03	−0.05	0.03
	2014—2018	0.37**	1.00	0.78**	−0.14	0.22	0.41**	−0.07	−0.13	0.10
	2019—2023	0.20	1.00	0.83**	−0.03	0.29	0.75**	0.13	−0.26	0.21
主茎节数 NN	1994—1998	0.00	1.00**	1.00			0.50	0.10	0.11	0.00
	1999—2003	−0.16	0.84**	1.00	0.16	0.27	0.41	0.04	0.08	0.18
	2004—2008	0.35*	0.72**	1.00	0.09	−0.18	0.69**	0.07	0.15	0.04
	2009—2013	0.10	0.74**	1.00	0.08	0.16	0.40**	−0.17	0.01	−0.12
	2014—2018	0.46**	0.78**	1.00	−0.13	0.08	0.32*	−0.07	0.21	−0.08
	2019—2023	0.05	0.83**	1.00	0.01	0.28	0.43**	−0.01	−0.30*	0.07
分枝数 BN	1994—1998	0.00	0.00		1.00	0.68	0.14	−0.75	−0.8	−0.25
	1999—2003	0.02	0.04	0.16	1.00	0.65*	0.37	−0.42	−0.17	−0.17
	2004—2008	−0.14	−0.19	0.09	1.00	0.23	0.04	−0.06	−0.03	0.01
	2009—2013	−0.36**	−0.12	0.08	1.00	0.56**	0.25	0.13	−0.12	0.07
	2014—2018	−0.16	−0.14	−0.13	1.00	0.59**	−0.02	0.03	−0.10	0.10
	2019—2023	−0.10	−0.03	0.01	1.00	0.72**	0.20	−0.10	−0.07	−0.03
结荚数 PN	1994—1998	−0.52	−0.74		0.68	1.00	−0.99	0.58	−0.12	−0.99
	1999—2003	−0.05	0.22	0.27	0.65*	1.00	−0.26	−0.36	−0.27	0.15
	2004—2008	−0.39**	−0.17	−0.18	0.23	1.00	0.02	−0.30	−0.10	0.11
	2009—2013	−0.45**	0.12	0.16	0.56**	1.00	0.27	0.09	0.09	0.08
	2014—2018	−0.12	0.22	0.08	0.59**	1.00	0.28*	0.01	−0.09	−0.09
	2019—2023	−0.22	0.29	0.28	0.72**	1.00	0.46**	0.06	−0.24	0.12
生育期 GP	1994—1998	0.20	−0.07	0.50	0.14	−0.99	1.00	−0.42	0.16	0.53
	1999—2003	−0.13	0.29	0.41	0.37	−0.26	1.00	−0.43	−0.17	0.14
	2004—2008	0.18	0.45**	0.69**	0.04	0.02	1.00	−0.05	0.13	0.07
	2009—2013	−0.11	0.35**	0.40**	0.25	0.27	1.00	−0.01	0.19	−0.37**
	2014—2018	0.47**	0.41**	0.32*	−0.02	0.28*	1.00	−0.34**	−0.04	−0.25
	2019—2023	0.25	0.75**	0.43**	0.20	0.46**	1.00	0.16	−0.03	−0.03
产量 Yield	1994—1998	0.17	0.11	0.10	−0.75	0.58	−0.42	1.00	0.75	−0.59
	1999—2003	0.17	0.02	0.04	−0.42	−0.36	−0.43	1.00	0.44	−0.01
	2004—2008	0.35*	0.33*	0.07	−0.06	−0.30	−0.05	1.00	0.01	0.10
	2009—2013	0.31*	−0.03	−0.17	0.13	0.09	−0.01	1.00	−0.13	0.32*
	2014—2018	−0.05	−0.07	−0.07	0.03	0.01	−0.34**	1.00	−0.35**	0.26*
	2019—2023	0.23	0.13	−0.01	−0.10	0.06	0.16	1.00	0.03	0.03
蛋白质含量 PC	1994—1998	−0.08	−0.16	0.11	−0.80	−0.12	0.16	0.75	1.00	−0.36
	1999—2003	0.26	−0.14	0.08	−0.17	−0.27	−0.17	0.44	1.00	−0.56*
	2004—2008	0.27*	−0.12	0.15	−0.03	−0.10	0.13	0.01	1.00	−0.68**
	2009—2013	0.02	−0.05	0.01	−0.12	0.09	0.19	−0.13	1.00	−0.48**
	2014—2018	0.34**	−0.13	0.21	−0.10	−0.09	−0.04	−0.35**	1.00	−0.57**
	2019—2023	0.06	−0.26	−0.30*	−0.07	−0.24	−0.03	0.03	1.00	−0.55**

表 7（续）										
性状 Trait	年份 Year	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
脂肪 含量 FC	1994—1998	0.02	0.24	0.00	−0.25	−0.99	0.53	−0.59	−0.36	1.00
	1999—2003	−0.05	0.12	0.18	−0.17	0.15	0.14	−0.01	−0.56*	1.00
	2004—2008	0.08	0.30*	0.04	0.01	0.11	0.07	0.10	−0.68**	1.00
	2009—2013	0.07	0.03	−0.12	0.07	0.08	−0.37**	0.32*	−0.48**	1.00
	2014—2018	−0.36**	0.10	−0.08	0.10	−0.09	−0.25	0.26*	−0.57**	1.00
	2019—2023	0.02	0.21	0.07	−0.03	0.12	−0.03	0.03	−0.55**	1.00

由表 8 可知,1994—2023 年,黄淮产区的大豆品种百粒重与株高呈极显著正相关($r=0.20$);百粒重与分枝数($r=-0.19$)和结荚数($r=-0.23$)呈极显著负相关;主茎节数与株高($r=0.77$)、生育期($r=0.45$)呈极显著正相关;分枝数与结荚数($r=0.56$)和生育期($r=0.18$)呈极显著正相关;产量与百粒重呈极显著正相关($r=0.27$),与主茎节数($r=-0.13$)、分枝数($r=-0.12$)、生育期($r=-0.13$)呈显著负相关,再次说明该地区倾向于通过提高百粒重来提高大豆产量;蛋白质含量与百粒重呈极显著正相关($r=0.22$),与株高呈极显著负相关($r=-0.17$);脂肪含量与株高呈极显著正相关($r=0.15$),与蛋白质含量呈极显著负相关($r=-0.56$)。

表 8 黄淮大豆产区品种主要性状的相关性									
Table8 Correlation between major traits of varieties in the Huanghuai soybean production region									
性状 Trait	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
百粒重 100SW	1.00								
株高 PH	0.20**	1.00							
主茎节数 NN	0.12*	0.77**	1.00						
分枝数 BN	−0.19**	−0.05	0.06	1.00					
结荚数 PN	−0.23**	0.18**	0.15*	0.56**	1.00				
生育期 GP	0.14*	0.44**	0.45**	0.18**	0.22**	1.00			
产量 Yield	0.27**	−0.01	−0.13*	−0.12*	0.00	−0.13*	1.00		
蛋白质含量 PC	0.22**	−0.17**	0.00	−0.14*	−0.13*	−0.02	0.00	1.00	
脂肪含量 FC	−0.10	0.15**	0.04	0.05	0.05	−0.04	0.07	−0.56**	1.00

2.3 南方大豆产区不同时期育成品种农艺性状的演变趋势

2.3.1 产量性状

由表 9 可知,南方大豆产区 1999—2023 年育成品种的百粒重呈极显著上升($P<0.01$);1999—2008 年的品种株高呈显著下降($P<0.05$),2008—2023 年的则呈显著上升($P<0.05$);1994—2013 年

的品种结荚数呈显著上升($P<0.05$),2013—2018 年的则呈显著下降($P<0.05$);1994—2023 年的品种生育期呈显著上升($P<0.05$);2019—2023 年的品种产量最高,为 2 762.58 kg/hm²,CV=0.19,2014—2023 年的品种产量显著上升($P<0.05$)。遗传进展方面,结荚数与生育期遗传进展较高,均为 Gg=0.34;主茎节数呈负向遗传(Gg=−0.04)。

表9 南方大豆产区不同时期育成品种的产量性状

Table 9 Yield traits of soybean varieties in different periods in the southern soybean production region

性状 Trait	年份 Years	品种数量 Quantity	极小值 Min	极大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	遗传进展 Genetic gain
百粒重/g 100SW	1994—1998	11	13.50	29.00	20.95 ^{ab}	3.76	0.18	0.13
	1999—2003	21	15.40	24.00	19.84 ^b	2.52	0.13	
	2004—2008	38	13.30	25.70	19.88 ^b	2.84	0.14	
	2009—2013	47	14.00	27.20	20.84 ^{ab}	3.28	0.16	
	2014—2018	56	15.50	33.30	22.11 ^{ab}	4.37	0.20	
	2019—2023	40	16.00	30.40	22.47 ^a	3.30	0.15	
株高/cm PH	1994—1998	11	50.00	90.00	66.38 ^{ab}	15.17	0.23	0.04
	1999—2003	21	40.00	90.00	67.66 ^a	15.85	0.23	
	2004—2008	39	40.00	85.00	59.67 ^b	9.76	0.16	
	2009—2013	48	45.10	87.30	65.70 ^{ab}	10.44	0.16	
	2014—2018	58	39.40	100.00	62.19 ^{ab}	12.78	0.21	
	2019—2023	40	41.00	97.90	66.18 ^{ab}	13.84	0.21	
主茎节数 NN	1994—1998	9	9.00	24.00	15.19 ^a	4.75	0.31	-0.04
	1999—2003	20	10.00	18.40	14.94 ^a	3.28	0.22	
	2004—2008	35	10.20	18.00	13.56 ^{ab}	1.93	0.14	
	2009—2013	41	10.30	19.00	14.54 ^{ab}	2.02	0.14	
	2014—2018	42	10.50	17.50	13.01 ^b	2.16	0.17	
	2019—2023	35	10.00	19.70	14.03 ^{ab}	2.63	0.19	
分枝数 BN	1994—1998	8	1.00	5.50	2.46 ^{ab}	1.41	0.57	0.02
	1999—2003	19	1.00	4.00	2.27 ^b	0.62	0.27	
	2004—2008	38	1.00	4.30	2.73 ^{ab}	0.73	0.27	
	2009—2013	46	1.50	5.10	2.91 ^a	1.05	0.36	
	2014—2018	55	0.90	4.60	2.86 ^{ab}	0.94	0.33	
	2019—2023	38	0.50	5.00	2.75 ^{ab}	0.98	0.36	
结荚数 PN	1994—1998	4	20.00	40.00	25.85 ^b	9.50	0.37	0.34
	1999—2003	16	20.00	55.00	37.02 ^a	11.13	0.30	
	2004—2008	36	22.40	70.70	34.44 ^a	9.95	0.29	
	2009—2013	44	22.60	67.60	43.25 ^a	11.11	0.26	
	2014—2018	50	22.60	57.13	38.75 ^a	8.82	0.23	
	2019—2023	39	23.10	64.40	40.52 ^a	11.63	0.29	
生育期/d GP	1994—1998	10	94.00	110.00	100.95 ^b	5.10	0.05	0.34
	1999—2003	21	90.00	123.00	102.14 ^b	7.41	0.07	
	2004—2008	38	87.90	135.00	104.64 ^{ab}	10.48	0.10	
	2009—2013	48	92.00	139.20	109.01 ^a	12.39	0.11	
	2014—2018	54	88.00	140.00	106.43 ^{ab}	10.42	0.10	
	2019—2023	40	88.00	136.00	109.67 ^a	11.54	0.11	
产量/(kg/hm ²) Yield	1994—1998	11	1 830.00	3 112.50	2 505.53 ^a	357.47	0.14	5.10
	1999—2003	19	1 402.95	3 678.00	2 656.79 ^a	599.84	0.23	
	2004—2008	34	2 179.05	3 316.50	2 626.48 ^a	289.59	0.11	
	2009—2013	48	1 569.86	3 381.75	2 587.75 ^a	419.11	0.16	
	2014—2018	56	1 641.45	3 956.10	2 563.73 ^a	396.73	0.15	
	2019—2023	39	1 462.05	4 167.00	2 762.58 ^a	537.41	0.19	

2.3.2 品质性状

由表 10 可知,南方大豆产区的大豆品种蛋白质含量在 1994—1998 年达到最高,为 44.38 g/100 g, CV=0.07,2004—2008 年最低,为 42.93 g/100 g, CV=0.06,1994—2023 年的品种蛋白质含量呈下降趋势,但差异不显著;2019—2023 年的品种脂肪含量达到最高,为 21.12 g/100 g, CV=0.09;1994—1998 年的最低,为 19.24 g/100 g, CV=0.08,1994—2023 年的品种脂肪含量呈上升趋势,但不存在显著差异。

表 10 南方大豆产区不同时期育成品种的品质性状
Table 10 Quality traits of soybean varieties in different periods in the southern soybean production region

性状 Trait	年份 Years	品种数量 Quantity	极小值 Min	极大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	遗传进展 Grenetic gain
蛋白质含量/ (g/100 g) PC	1994—1998	10	39.60	48.13	44.38 ^a	3.13	0.07	-0.04
	1999—2003	20	39.40	48.16	44.09 ^a	2.95	0.07	
	2004—2008	40	34.31	47.00	42.93 ^a	2.53	0.06	
	2009—2013	46	36.15	50.70	43.65 ^a	3.22	0.07	
	2014—2018	56	38.96	48.95	43.21 ^a	2.31	0.05	
	2019—2023	40	37.50	49.00	42.93 ^a	2.66	0.06	
脂肪含量/ (g/100 g) FC	1994—1998	10	17.42	21.88	19.24 ^a	1.53	0.08	0.03
	1999—2003	19	16.25	22.70	19.35 ^a	2.12	0.11	
	2004—2008	40	15.30	23.36	19.49 ^a	1.48	0.08	
	2009—2013	46	15.90	22.84	19.58 ^a	1.67	0.09	
	2014—2018	55	16.80	22.80	19.44 ^a	1.41	0.07	
	2019—2023	40	16.70	26.90	20.12 ^a	1.78	0.09	

2.3.3 育成品种性状间相关性分析

由表 11 可知,2004—2008 与 2009—2013 年的品种百粒重与结荚数呈显著负相关($r=-0.42$ 、 $r=-0.39$);1999—2023 年的株高与主茎节数均呈极显著正相关,2004—2023 年的株高与生育期均呈极显著正相关;1999—2023 年的结荚数与主茎节数均呈极显著正相关。1999—2003 和 2014—2018 年的产量与株高($r=0.73$ 、 $r=0.35$)、主茎节数($r=0.62$ 、 $r=0.38$)、结荚数($r=0.71$ 、 $r=0.44$)呈极显著正相关,表明这两段时期的育种趋势相似,2009—2023 年的品种产量与蛋白质含量均呈极显著负相关。1999—2003 年的品种蛋白质含量与结荚数呈极显著正相关($r=0.65$),2009—2013 年的蛋白质含量与百粒重($r=0.52$)和生育期($r=0.61$)呈极显著正相关;2009—2013 年的脂肪含量与株高($r=-0.51$)、主茎节数($r=-0.42$)、生育期($r=-0.47$)呈极显著负相关,1999—2018 年的品种脂肪含量与蛋白质含量均呈极显著负相关。

表 11 南方大豆产区品种不同时期主要性状的相关性变化
Table 11 Changes in the correlation of major traits of varieties in southern soybean production region in different periods

性状 Trait	年份 Year	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
百粒重 100SW	1994—1998	1.00	0.09	-0.05	0.06	-0.08	-0.12	-0.33	0.43	-0.47
	1999—2003	1.00	0.18	0.05	0.24	0.06	0.22	0.49 [*]	0.19	0.08
	2004—2008	1.00	0.21	-0.07	-0.11	-0.42 [*]	0.16	0.22	0.01	-0.03
	2009—2013	1.00	0.30 [*]	0.05	-0.06	-0.39 ^{**}	0.34 [*]	-0.21	0.52 ^{**}	-0.30 [*]
	2014—2018	1.00	-0.04	0.08	0.10	-0.14	-0.12	-0.20	0.10	-0.42 ^{**}
	2019—2023	1.00	0.12	0.08	-0.07	-0.29	-0.03	-0.26	0.28	-0.04

表11 (续)

性状 Trait	年份 Year	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
株高 PH	1994—1998	0.09	1.00	0.78*	0.06	1.00**	0.52	−0.50	0.33	−0.15
	1999—2003	0.18	1.00	0.87**	−0.37	0.37	0.14	0.73**	0.14	−0.04
	2004—2008	0.21	1.00	0.51**	−0.23	0.08	0.43**	0.13	−0.10	0.37*
	2009—2013	0.30*	1.00	0.87**	0.05	0.19	0.35*	−0.06	0.33*	−0.51**
	2014—2018	−0.04	1.00	0.75**	−0.08	0.52**	0.38**	0.35**	−0.03	−0.20
	2019—2023	0.12	1.00	0.77**	−0.33*	0.50**	0.44**	0.00	0.03	−0.13
主茎节数 NN	1994—1998	−0.05	0.78*	1.00	0.72	0.99*	0.85**	−0.43	−0.18	0.42
	1999—2003	0.05	0.87**	1.00	−0.26	0.65**	0.13	0.62**	0.30	−0.09
	2004—2008	−0.07	0.51**	1.00	−0.31	0.61**	0.41*	0.24	−0.09	0.27
	2009—2013	0.05	0.87**	1.00	0.04	0.29	0.40**	−0.13	0.25	−0.42**
	2014—2018	0.08	0.75**	1.00	0.05	0.59**	0.16	0.38*	−0.21	−0.06
	2019—2023	0.08	0.77**	1.00	−0.02	0.52**	0.46**	−0.22	0.34*	−0.22
分枝数 BN	1994—1998	0.06	0.06	0.72	1.00	0.27	0.66	0.03	−0.58	0.63
	1999—2003	0.24	−0.37	−0.26	1.00	0.03	0.25	−0.13	0.29	−0.26
	2004—2008	−0.11	−0.23	−0.31	1.00	0.27	0.09	−0.05	−0.04	−0.11
	2009—2013	−0.06	0.05	0.04	1.00	0.78**	0.59**	−0.27	0.27	−0.19
	2014—2018	0.10	−0.08	0.05	1.00	0.14	0.00	−0.17	0.13	−0.01
	2019—2023	−0.07	−0.33*	−0.02	1.00	0.30	−0.10	−0.10	0.03	−0.05
结荚数 PN	1994—1998	−0.08	1.00**	0.99*	0.27	1.00	0.93	−0.79	0.95*	−0.41
	1999—2003	0.06	0.37	0.65**	0.03	1.00	0.15	0.71**	0.65**	−0.49
	2004—2008	−0.42*	0.08	0.61**	0.27	1.00	0.26	0.20	−0.11	−0.06
	2009—2013	−0.39**	0.19	0.29	0.78**	1.00	0.45**	−0.04	0.05	−0.26
	2014—2018	−0.14	0.52**	0.59**	0.14	1.00	0.50**	0.44**	−0.22	0.01
	2019—2023	−0.29	0.50**	0.52**	0.30	1.00	0.29	0.35*	−0.26	−0.14
生育期 GP	1994—1998	−0.12	0.52	0.85**	0.66	0.93	1.00	−0.35	0.02	0.20
	1999—2003	0.22	0.14	0.13	0.25	0.15	1.00	0.12	0.00	−0.11
	2004—2008	0.16	0.43**	0.41*	0.09	0.26	1.00	−0.19	−0.27	0.07
	2009—2013	0.34*	0.35*	0.40**	0.59**	0.45**	1.00	−0.58**	0.61**	−0.47**
	2014—2018	−0.12	0.38**	0.16	0.00	0.50**	1.00	0.34*	−0.16	0.06
	2019—2023	−0.03	0.44**	0.46**	−0.10	0.29	1.00	−0.04	0.06	0.02
产量 Yield	1994—1998	−0.33	−0.50	−0.43	0.03	−0.79	−0.35	1.00	−0.33	0.05
	1999—2003	0.49*	0.73**	0.62**	−0.13	0.71**	0.12	1.00	0.49*	−0.24
	2004—2008	0.22	0.13	0.24	−0.05	0.20	−0.19	1.00	0.08	0.05
	2009—2013	−0.21	−0.06	−0.13	−0.27	−0.04	−0.58**	1.00	−0.46**	0.24
	2014—2018	−0.20	0.35**	0.38*	−0.17	0.44**	0.34*	1.00	−0.35**	0.31*
	2019—2023	−0.26	0.00	−0.22	−0.10	0.35*	−0.04	1.00	−0.54**	0.10
蛋白质 含量 PC	1994—1998	0.43	0.33	−0.18	−0.58	0.95*	0.02	−0.33	1.00	−0.57
	1999—2003	0.19	0.14	0.30	0.29	0.65**	0.00	0.49*	1.00	−0.80**
	2004—2008	0.01	−0.10	−0.09	−0.04	−0.11	−0.27	0.08	1.00	−0.46**
	2009—2013	0.52**	0.33*	0.25	0.27	0.05	0.61**	−0.46**	1.00	−0.60**
	2014—2018	0.10	−0.03	−0.21	0.13	−0.22	−0.16	−0.35**	1.00	−0.67**
	2019—2023	0.28	0.03	0.34*	0.03	−0.26	0.06	−0.54**	1.00	−0.22

表 11（续）

性状 Trait	年份 Year	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
脂肪含量 FC	1994—1998	−0.47	−0.15	0.42	0.63	−0.41	0.20	0.05	−0.57	1.00
	1999—2003	0.08	−0.04	−0.09	−0.26	−0.49	−0.11	−0.24	−0.80**	1.00
	2004—2008	−0.03	0.37*	0.27	−0.11	−0.06	0.07	0.05	−0.46**	1.00
	2009—2013	−0.30*	−0.51**	−0.42**	−0.19	−0.26	−0.47**	0.24	−0.60**	1.00
	2014—2018	−0.42**	−0.20	−0.06	−0.01	0.01	0.06	0.31*	−0.67**	1.00
	2019—2023	−0.04	−0.13	−0.22	−0.05	−0.14	0.02	0.10	−0.22	1.00

由表12可知,1994—2023年,大豆品种的百粒重与结荚数均呈极显著负相关, $r=-0.21$;株高与主茎节数($r=0.77$)、结荚数($r=0.39$)、生育期($r=0.35$)、产量($r=0.19$)呈极显著正相关,结荚数与生育期呈极显著正相关($r=0.40$);产量与结荚数呈极显著正相关, $r=0.26$,与分枝数呈极显著负相关, $r=-0.17$,产量与蛋白质含量呈显著正相关($r=0.14$);蛋白质含量与百粒重呈极显著正相关, $r=0.22$;脂肪含量与百粒重($r=-0.16$)、株高($r=-0.12$)呈显著负相关,与产量、蛋白质含量呈极显著负相关($r=-0.27$ 、 $r=-0.53$)。

表 12 南方大豆产区品种主要性状的相关性

Table 12 Correlation between major traits of varieties in southern soybean production region

性状 Trait	百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP	产量 Yield	蛋白质含量 PC	脂肪含量 FC
百粒重 100SW	1.00								
株高 PH	0.13*	1.00							
主茎节数 NN	−0.01	0.77**	1.00						
分枝数 BN	0.02	−0.15*	0.01	1.00					
结荚数 PN	−0.21**	0.39**	0.53**	0.40**	1.00				
生育期 GP	0.13*	0.35**	0.29**	0.22**	0.40**	1.00			
产量 Yield	−0.10	0.19**	0.12	−0.17**	0.26**	−0.09	1.00		
蛋白质含量 PC	0.22**	0.12*	0.12	0.08	−0.07	0.11	0.14*	1.00	
脂肪含量 FC	−0.16*	−0.12*	−0.06	−0.06	−0.11	−0.08	−0.27**	−0.53**	1.00

2.4 通径分析

由表13可知,在北方春大豆产区,生育期对大豆产量提升的直接贡献最大,其直接通径系数(DPC)为0.394,生育期还通过主茎节数、分枝数、百粒重、株高对产量产生间接正效应,间接通径系数(IPC)分别为主茎节数(IPC=0.172)、分枝数(IPC=0.123)、百粒重(IPC=0.080)、株高(IPC=0.105);百粒重对产量的DPC为0.064;株高对产量的DPC为0.146,并通过主茎节数(IPC=0.109)对产量产生间接正效应;主茎节数对产量的DPC为0.111,并通过株高(IPC=0.083)和生育期(IPC=0.049)对产量产生间接正效应;分枝数对产量的DPC为0.224,并通过生育期(IPC=0.070)对产量产生间接正效应;结荚数对产量的DPC为0.040。在黄淮大豆产区,株高对大豆产量提升的直接贡献最大,DPC为0.215,株高还通过生育期(IPC=0.100)和主茎

节数(IPC=0.169)对产量产生间接正效应;百粒重对产量的DPC为0.153,并通过株高(IPC=0.044)和结荚数(IPC=−0.048)产生间接效应;主茎节数对产量的DPC为0.162,并通过株高(IPC=0.127)对产量产生间接正效应;分枝数、结荚数和生育期对产量的DPC分别为0.124、0.081、0.004。在南方大豆产区,结荚数对产量提升的直接贡献最大,DPC为0.403。结荚数还通过株高(IPC=0.158)和主茎节数(IPC=0.213)对产量产生间接正效应;生育期对产量的DPC为0.397,并通过分枝数(IPC=0.164)、结荚数(IPC=0.150)和主茎节数(IPC=0.121)对产量产生间接正效应;株高对产量的DPC为0.202,并通过主茎节数(IPC=0.158)对产量产生间接正效应;主茎节数对产量的DPC为0.160,并通过株高(IPC=0.126)对产量产生间接正效应;百粒重和分枝数对产量的DPC分别为0.080和0.143。

表 13 不同大豆产区产量与各性状间的通径分析

Table 13 Pathway analysis between soybean yield and various traits in three regions

产区 Production region	性状 Trait	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient					
			百粒重 100SW	株高 PH	主茎节数 NN	分枝数 BN	结荚数 PN	生育期 GP
NR	百粒重 100SW	0.064		−0.012	−0.006	0.005	0.002	0.013
	株高 PH	0.146	−0.027		0.109	−0.009	0.025	0.039
	主茎节数 NN	0.111	−0.011	0.083		0.014	0.049	0.049
	分枝数 BN	0.224	0.016	−0.014	0.028		0.100	0.070
	结荚数 PN	0.040	0.001	0.007	0.018	0.018		0.015
	生育期 GP	0.394	0.080	0.105	0.172	0.123	0.151	
HR	百粒重 100SW	0.153		0.044	0.029	−0.028	−0.048	0.018
	株高 PH	0.215	0.061		0.169	−0.008	0.031	0.100
	主茎节数 NN	0.162	0.031	0.127		0.010	0.024	0.069
	分枝数 BN	0.124	−0.023	−0.005	0.008		0.078	0.021
	结荚数 PN	0.081	−0.026	0.012	0.012	0.051		0.014
	生育期 GP	0.044	0.005	0.021	0.019	0.007	0.008	
SR	百粒重 100SW	0.080		0.017	0.002	0.003	−0.012	0.014
	株高 PH	0.202	0.044		0.159	0.002	0.079	0.055
	主茎节数 NN	0.160	0.004	0.126		−0.004	0.085	0.049
	分枝数 BN	0.143	0.005	0.001	−0.004		0.072	0.059
	结荚数 PN	0.403	−0.058	0.158	0.213	0.202		0.152
	生育期 GP	0.397	0.071	0.107	0.121	0.164	0.150	

注:NR,北方春大豆产区;HR,黄淮大豆产区;SR,南方大豆产区。下同

Note: NR, Northern spring soybean production region; HR, Huanghuai soybean production region; SR, Southern soybean production region. The same below.

2.5 主成分分析

由表 14 可知,通过对 3 个区域内的 9 个相关性状进行主成分分析,筛选出特征值>1 的 3 个主成分,其总体方差累计贡献率分别高达 68.64%、64.45% 和 64.94%。这表明,3 个区域审定的大豆品种前 3 个主成分可以代表这三个区域的审定品种 9 个性状的绝大多数信息。

北方春大豆产区的数据显示,第 1 主成分(PC₁)的特征值为 2.80,贡献率为 31.15%,其中主茎节数的向量值最为显著,对 PC₁的贡献最为突出,紧随其后的是结荚数和生育期;第 2 主成分(PC₂)的特征值为 2.00,贡献率为 22.23%,分枝数的向量值在这一成分中占据主导地位,其次是蛋白质含量;第 3 主成分(PC₃)的特征值为 1.37,贡献率为 15.27%,株高的向量值最大,其次是百粒重。据此,可将北方春大豆区的 3 个主成分归纳为株型、品质的综合指标(表 14)。

在黄淮大豆产区大豆品种的主成分分析中,PC₁的

特征值为 2.27,其贡献率为 25.26%,其中株高的向量值尤为突出,对 PC₁的影响最为显著,其次是主茎节数;PC₂的特征值为 1.83,贡献率为 20.35%,蛋白质含量的向量值在这一成分中占据主导地位,其次是分枝数。PC₃的特征值为 1.70,贡献率为 18.84%,其中脂肪含量的向量值最大,对 PC₃的影响最为显著。因此,黄淮大豆产区大豆审定品种的 PC₁是株型品质的综合指标,而 PC₂和 PC₃反映了籽粒的品质特性(表 14)。

在南方大豆产区品种的主成分分析中,PC₁的特征值为 2.84,其贡献率为 31.52%,其中主茎节数的向量值尤为突出,对 PC₁的贡献最为显著,其次是株高;PC₂的特征值为 1.54,贡献率为 17.09%,分枝数的向量值在这一成分中占据主导地位,其次是生育期;PC₃的特征值为 1.47,贡献率为 16.33%,蛋白质含量的向量值在这一成分中最大,对 PC₃的影响最为显著。因此,南方产区大豆品种的 PC₁和 PC₂是株型的综合指标,而 PC₃第 3 主成分反映了籽粒的品质特性(表 14)。

表 14 不同产区大豆农艺性状的主成分分析

Table 14 Principal component analysis of agronomic traits of soybean in different production region

产区 Production region	参数 Parameter	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计百分比/% Cumulative percentage	主要性状 Main trait	向量值 Vector valued
NR	PC ₁	2.80	31.15	31.15	主茎节数 NN	0.76
					结荚数 PN	0.68
					生育期 GP	0.67
	PC ₂	2.00	22.20	53.37	分枝数 BN	0.79
					蛋白质含量 PC	0.75
	PC ₃	1.37	15.27	68.64	株高 PH	−0.63
HR	PC ₁	2.27	25.26	25.26	百粒重 100SW	0.62
					株高 PH	0.92
					主茎节数 NN	0.87
	PC ₂	1.83	20.35	45.61	蛋白质含量 PC	0.60
					分枝数 BN	0.59
	PC ₃	1.70	18.84	64.45	脂肪含量 FC	−0.65
SR	PC ₁	2.84	31.52	31.52	主茎节数 NN	0.90
					株高 PH	0.83
					分枝数 BN	0.85
	PC ₂	1.54	17.09	48.61	生育期 GP	0.70
					蛋白质含量 PC	0.86
	PC ₃	1.47	16.33	64.94	蛋白质含量 PC	0.86

3 讨 论

1923 年以来,我国大豆品种的产量每年以 1.5%~2.0% 的速度增长,产量增长的主导因素是遗传改良,提升产量是大豆品种选育与审定最为核心的问题^[20]。本研究结果显示:北方春大豆产区 1994—2023 年的品种产量提升主要依赖于主茎节数和结荚数的增加(表 1 和表 3);1994—2018 年的品种蛋白质含量下降而脂肪含量上升(表 2)。黄淮大豆产区百粒重和株高增加(表 5),这与刘歆等^[21]对 1987—2022 年湖北省审定的籽粒型大豆品种主要性状演变分析结果基本一致。百粒重的增加可能与种子大小和重量的遗传改良有关,这直接影响到大豆的产量和生产效率^[22]。1998—2023 年,黄淮大豆产区的品种产量提升主要来自百粒重和株高的增加(表 5 和表 7),这与黄中文等^[23]对河南夏大豆产区近 30 年主要大豆品种产量遗传改良的进展研究结论基本一致。南方大豆产区 1994—2013 年品种产量的提升伴随着生育期延长和百粒重增加,2014—2023 年产量的提升伴随着百粒重增加及生育期延长导致的株高和主茎节数的增加(表 9 和表 11)。南方作物生产为一年多茬,延长大豆生育期虽能提高产量,但也需考虑后茬作物的生产^[24]。在不同大豆产区的遗传进展分析中,北方春大豆产区的株高、结荚数与产量均呈正向遗传,其中株高未达到显著水平,生育

期则呈显著负向遗传(表 1);黄淮大豆产区中的百粒重与产量均呈显著正向遗传,主茎节数呈显著负向遗传(表 5);南方大豆产区的主茎节数呈显著负向遗传,而百粒重、分枝数、生育期均呈显著正向遗传(表 9)。

通径分析通过分解变量间的相关性,能够明确各因素对目标变量的直接和间接影响,从而为决策提供科学依据^[25]。主成分分析则通过降维和去相关性,提取关键信息,减少数据复杂性,同时保留原始数据的主要特征^[26]。北方春大豆产区的通径分析结果表明,生育期与主茎节数对产量有显著的正向影响(表 13);主成分分析进一步确认了主茎节数在品种改良中的重要性,该区域增加主茎节数是提高产量的关键策略。黄淮大豆产区的通径分析结果显示百粒重和株高对产量有显著的正向影响(表 13);主成分分析进一步突出了株高在品种改良中的重要性,以实现持续的产量增长和品质提升。南方大豆产区的通径分析结果揭示了结荚数、株高和生育期对产量显著的正向影响(表 13);主成分分析也显示了株高的重要性,同时生育期的延长和主茎节数的增加对株高的增加有显著影响(表 11)。本研究对 3 个大豆产区 1 011 个大豆品种进行收集统计,分析了各地区品种性状的演变趋势,然而不同亚区气候、耕作制度等差异会对农艺性状产生不同的影响,今后应进一步考虑这些差异,并进行更细致的区域分析。

4 结 论

对1994—2023年中国三大主要大豆产区育成的1 011个大豆品种进行分析,通过相关性分析揭示了不同性状间的相互作用,并结合通径分析和主成分分析从多个性状中提取关键因素进行分析。各地区育种趋势不同,北方春大豆产区的产量提升通过多因素协同作用实现,主要依赖于提高主茎节数、结荚数和分枝数来提高大豆产量;黄淮大豆产区则通过增加百粒重和株高来实现产量的增加;南方大豆产区以适当延长生育期、增加主茎节数和提高百粒重来增加大豆的产量。综上,应根据各产区的特定环境条件制定相应的育种策略,对于优化育种方向、提高大豆产量和品质具有实用价值。

参考文献 References

- [1] 侯荣娜,戴旭宏. 中美贸易战视角下振兴东北地区大豆产业发展的政策选择[J]. 农村经济, 2019(12): 26-32
Hou R N, Dai X H. Policy choice of revitalizing soybean industry in NorthEast China from the perspective of Sino-US trade war[J]. *Rural Economy*, 2019(12): 26-32 (in Chinese)
- [2] 徐冉,张礼凤,王彩洁,李伟. 山东省审定大豆品种的产量、品质及株型演变[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(3): 242-247
Xu R, Zhang L F, Wang C J, Li W. Development of yield, quality and plant type of released and registered summer-sowing soybean varieties in Shandong Province[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2007, 29(3): 242-247 (in Chinese)
- [3] 刘星贝,余恒志,汪灿,马嫚,次仁卓嘎,易泽林. 大豆品种西豆9号的选育及其特征特性[J]. 种子, 2015, 34(12): 101-102, 105
Liu X B, She H Z, Wang C, Ma S, Cirenzuoga, Yi Z L. The breeding and characteristics of a new soybean variety Xidou No. 9[J]. *Seed*, 2015, 34(12): 101-102, 105 (in Chinese)
- [4] Song W W, Sun S, Wu T T, Yang R P, Tian S Y, Xu C L, Jiang B J, Yuan S, Hou W S, Wu C X, Han T F. Geographic distributions and the regionalization of soybean seed compositions across China[J/OL]. *Food Research International*, (2022-12-28). DOI: 10.1016/j.foodres.2022.112364
- [5] 吕慧颖,王道文,葛毅强,魏珣,邓向东,杨维才,田志喜. 大豆育种行业创新动态[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(3): 464-467
Lv H Y, Wang D W, Ge Y Q, Wei X, Deng X D, Yang W C, Tian Z X. Innovation of soybean breeding industry[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(3): 464-467 (in Chinese)
- [6] 赵朝森,赵现伟,杨中路,何艳琴,王瑞珍,郭兵福. 国家区试长江流域春大豆品种农艺、产量及品质性状的演变[J]. 大豆科学, 2019, 38(1): 41-48
Zhao C S, Zhao X W, Yang Z L, He Y Q, Wang R Z, Guo B F. Evolution of agronomic yield and quality traits of spring soybean varieties attending national regional test of Yangtze River basin[J]. *Soybean Science*, 2019, 38(1): 41-48 (in Chinese)
- [7] 陈应志,武婷婷,白岩,邱强,杨中路,程艳波,鲍志猛. 浅谈中国大豆品种改良与更新换代百年史[J]. 大豆科技, 2022(1): 1-5
Chen Y Z, Wu T T, Bai Y, Qiu Q, Yang Z L, Cheng Y B, Bao Z M. Discussion on the centennial history of soybean variety improvement and replacement in China[J]. *Soybean Science & Technology*, 2022(1): 1-5 (in Chinese)
- [8] 任海红,任小俊,马俊奎,魏学义. 1973—2017年山西省审定大豆品种的系统谱分析[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 550-558
Ren H H, Ren X J, Ma J K, Liu X Y. Pedigree analysis of soybean varieties released in Shanxi Province from 1973 to 2017[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2019, 41(4): 550-558 (in Chinese)
- [9] 邱强,赵婧,张伟,曹丹,闫晓艳,孟凡钢,张鸣浩,石一鸣,魏代霞. 北方春大豆审定品种的遗传进度分析[J]. 东北农业科学, 2016, 41(5): 11-16
Qiu Q, Zhao J, Zhang W, Cao D, Yan X Y, Meng F G, Zhang M H, Shi Y M, Wei D X. Analysis of genetic progress on authorized spring soybean varieties of Northern China[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2016, 41(5): 11-16 (in Chinese)
- [10] 胡国玉,李杰坤,王大纲,吴倩,王维虎,黄志平,张磊. 安徽省不同年代育成大豆品种性状演变分析[J]. 大豆科学, 2020, 39(5): 657-666
Hu G Y, Li J K, Wang D G, Wu Q, Wang W H, Huang Z P, Zhang L. Evolution analysis of main characters of soybean varieties released in different years in Anhui Province[J]. *Soybean Science*, 2020, 39(5): 657-666 (in Chinese)
- [11] 吴昊,任宏达,刘仲阳. 2000—2020年山东省审定大豆品种特征特性和产量演变[J]. 中国种业, 2022(7): 75-80
Wu H, Ren H D, Liu Z Y. Characteristics and yield evolution of approved soybean varieties validated in Shandong Province from 2000 to 2020[J]. *China Seed Industry*, 2022(7): 75-80 (in Chinese)
- [12] 余忠浩,周伟,李志刚,孙成成,李资文,罗巍,杨志强,周亚星. 2002—2021年内蒙古自治区审定大豆品种主要性状演变分析[J]. 大豆科学, 2022, 41(1): 49-57
Yu Z H, Zhou W, Li Z G, Sun C C, Li Z W, Luo W, Yang Z Q, Zhou Y X. Evolution analysis of main traits of soybean varieties in Inner Mongolia Autonomous Region from 2002 to 2021[J]. *Soybean Science*, 2022, 41(1): 49-57 (in Chinese)
- [13] 王连铮,叶兴国,刘国强,隋德志,王培英. 黑龙江省及黄淮海地区大豆品种的遗传改进[J]. 中国油料作物学报, 1998(4): 20-25
Wang L Z, Ye X G, Liu G Q, Sui D Z, Wang P Y. Genetic improvement of soybean cultivars in Heilongjiang Province and Huang Huai Hai valley[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1998(4): 20-25 (in Chinese)
- [14] 梁子聪,赵伟,李佳宜,齐年华,王小凡,姚兴东,谢甫锦. 辽宁省不同年代大豆品种农艺性状和产量的遗传改良[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(3): 267-275
Liang Z C, Zhao W, Li J Y, Qi N H, Wang X F, Yao X D, Xie F T. Genetic improvement of agronomic traits and yield of soybean varieties of different ages in Liaoning Province[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2024, 55(3): 267-275 (in Chinese)
- [15] 赵宏亮,王萍,石开明,宋添彪,吴燕生,齐波,张林青,张国良. 2005—2024年江苏省审定籽粒型大豆品种特征特性与趋势分析[J]. 大豆科学, 2024, 43(6): 717-724
Zhao H L, Wang P, Shi K M, Song T B, Wu Y S, Qi B, Zhang L Q, Zhang G L. Characteristics and trend analysis of approved seed-type soybean varieties in Jiangsu Province from 2005 to 2024[J]. *Soybean Science*, 2024, 43(6): 717-724 (in Chinese)
- [16] 聂波涛,刘德泉,陈健,崔正果,侯云龙,陈亮,邱红梅,王跃强. 北方春大豆品种农艺和品质性状分析与综合评价[J]. 作物学报, 2024, 50(9): 2248-2266
Nie B T, Liu D Q, Chen J, Cui Z G, Hou Y L, Chen L, Qiu H M, Wang Y Q. Analysis and comprehensive evaluation of agronomic and quality traits of spring soybean varieties in Northern China[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2024, 50(9): 2248-2266 (in Chinese)
- [17] 卢纹波. SPSS for Windows统计分析[M]. 北京:电子工业出版社, 2000
Lu W D. *SPSS for Windows Statistical Analysis* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000 (in Chinese)
- [18] 杜家菊,陈志伟. 使用SPSS线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学报, 2010, 45(2): 4-6
Du J J, Chen Z W. Method of path analysis with SPSS linear regression

- [J]. *Bulletin of Biology*, 2010, 45(2): 4-6 (in Chinese)
- [19] Ortiz- Monasterio R J I, Sayre K D, Rajaram S, McMahon M. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates[J]. *Crop Science*, 1997, 37(3): 898-904
- [20] 赵团结, 盖钧镒, 李海旺, 邢邯, 邱家驹. 超高产大豆育种研究的进展与讨论[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(1): 29-37
- Zhao T J, Gai J Y, Li H W, Xing H, Qiu J X. Advances in breeding for super High-Yielding soybean cultivars[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(1): 29-37 (in Chinese)
- [21] 刘歆, 何念, 杨梦婷, 陈艳, 黄丽, 李俊丽, 邓军波. 1987—2022年湖北省审定籽粒型大豆品种主要性状演变分析[J]. *大豆科学*, 2023, 42(6): 683-691
- Liu X, He N, Yang M T, Chen Y, Huang L, Li J L, Deng J B. Analysis on trends of main traits of grain soybean varieties released in Hubei from 1987 to 2022[J]. *Soybean Science*, 2023, 42(6): 683-691 (in Chinese)
- [22] 王占廷, 栾素荣. 大豆百粒重与产量的相关分析[J]. *大豆通报*, 1997(2): 10
- Wang Z T, Luan S R. Correlation analysis between 100-grain weight and yield of soybean[J]. *Soybean Science & Technology*, 1997(2): 10 (in Chinese)
- [23] 黄中文, 徐新娟, 王伟, 梅沛沛. 河南夏大豆区近30年主要大豆品种产量改良的遗传进展[J]. *作物学报*, 2016, 42(7): 1009-1015
- Huang Z W, Xu X J, Wang W, Mei P P. Genetic gain of soybean breeding for yield in Henan summer soybean zone over the last 30 years [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(7): 1009-1015 (in Chinese)
- [24] 李荣德, 何平, 罗莉霞, 史梦雅, 侯乾, 马振国, 郭瑞星, 成洪涛. “稻-稻-油”生产模式下短生育期冬油菜品种选育与推广现状分析[J]. *中国农业科学*, 2024, 57(05): 846-854
- Li R D, He P, Luo L X, Shi M Y, Hou Q, Ma Z G, Guo R X, Cheng H T. Current situation of breeding and popularization of short-growth-period winter rapeseed varieties for rice-rice-rapeseed mode[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57(5): 846-854 (in Chinese)
- [25] 王瑞, 李中青, 郭二虎, 李齐霞, 祁丽婷, 王敏, 孙万荣, 邹志远, 米鹏伟, 张艾英, 任先忠. 谷子主要农艺性状与产量的相关分析及通径分析[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(11): 28-30
- Wang R, Li Z Q, Guo E H, Li Q X, Qi L T, Wang M, Sun W R, Wu Z Y, Mi P W, Zhang A Y, Ren X Z. Correlation and path analysis of the yield and major agronomic traits of millet [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(11): 28-30 (in Chinese)
- [26] 张琳, 何玉婷. 基于主成分分析的我国系统重要性保险公司研究[J]. *保险研究*, 2015(12): 40-50
- Zhang L, He Y T. A study on systemically important insurance companies in China based on principal component analysis[J]. *Insurance Studies*, 2015(12): 40-50 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 段明威, 延边大学农学院作物学专业硕士研究生。参与吉林省农业科技创新工程(CXGC2024RCB001)。2023—2024年获得吉林省级创新创业大赛二等奖2次, 三等奖1次, 延边大学校研究生奖学金多次。



通讯作者简介: 王跃强, 博士, 吉林省农业科学院大豆研究所二级研究员, 延边大学硕士生导师, 吉林省农科院栽培大豆资源团队首席专家, 主要从事大豆品种选育及资源创新利用研究工作。主持国家自然科学基金、国家重点研发计划及转基因重大专项等省部级科研项目30余项。育成大豆新品种四十余个, 其中第一完成人20个。获得植物新品种权15项。获得国家及省部级奖励10项, 其中国家技术发明二等奖1项, 吉林省科技进步一等奖3项, 省科技进步二等奖4项, 获得发明专利授权10件, 制定吉林省地方标准6项; 发表论文60余篇, 参编著作2部。



通讯作者简介: 刘德泉, 吉林省农业科学院大豆研究所副研究员, 主要从事大豆种质资源鉴定与利用研究, 先后主持国家及省部级科研项目4项。研究成果获吉林省科技进步一等奖1项; 全国博士后创新创业大赛银奖1项; 省博士后大赛铜奖1项; 获国家发明专利授权9件; 在国内外学术期刊发表论文20余篇; 育成大豆新品种4个。