

# 不同玉米自交系耐深播能力的差异分析

彭云玲, 杨芳林, 赵小强, 任续伟

(甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室 甘肃省干旱生境作物学重点实验室 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 以 45 个玉米自交系为材料, 在播深 10 cm 和 15 cm 条件下, 研究了出苗率、根数、根长、中胚轴长、胚芽鞘长、中胚轴和胚芽鞘之和、苗长与玉米耐深播性的关系。结果表明, 随着播深的增加, 根长、中胚轴长、胚芽鞘长、中胚轴和胚芽鞘之和和大体呈增加趋势, 而出苗率、根数、苗长呈下降趋势。不同播深条件下出苗率和胚芽鞘长度的变异系数较大; 而根长、根数和中胚轴的变异系数较小。在 10 cm 播深条件下的出苗率与胚芽鞘长、根长和苗长显著相关, 而 15 cm 条件下的出苗率与中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和、根数、根长、苗长显著相关。15 cm 播深条件下的鉴定结果可以反映不同品种的耐深播能力。因此, 在 15 cm 条件下, 用出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长按耐深播性强弱将 45 份自交系分成 3 组; 同时, 将 45 份自交系划分为 Lancaster、四平头、PA、PB、BSSS 和旅大红骨共 6 个亚群, 其中 Lancaster(Lan)、四平头(SPT)、PA 的出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长较高, 含有较多耐深播系和中等耐深播系, 为重要的耐深播种质类群。

**关键词:** 玉米自交系; 深播; 差异分析

中图分类号: S513.042 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)01-0025-09

## Deep-sowing tolerant characteristics in maize inbred lines

PENG Yun-ling, YANG Fang-lin, ZHAO Xiao-qiang, REN Xu-wei

(Gansu Key Lab of Crop Improvement and Germplasm Enhancement, Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** In this study, 45 maize inbred lines were employed to study the interrelationship among traits of seedling emergence rate, root number, root length, mesocotyl length, coleoptile length, mesocotyl and coleoptile total length, seedling length, and deep-sowing tolerant characteristics at 10 cm and 15 cm sowing depth. The results showed that root length, mesocotyl length, coleoptile length, mesocotyl and coleoptile total length increased, and seedling emergence rate, root number, seedling length decreased with sowing depth. And there were different variable coefficient of the traits at different sowing depth, with seedling emergence rate and coleoptile length showing largest variations whereas root length, root number and mesocotyl length being the least. Correlation analysis showed that seedling emergence rate at 10 cm sowing depth was significantly positively correlated with coleoptile length, root length and seedling length. Seedling emergence rate at 15 cm sowing depth was positively correlated with mesocotyl length, mesocotyl and coleoptile total length, root number, root length, seedling length. The findings for the 15 cm sowing depth could reflect deep-sowing tolerant ability in different maize lines. Therefore, according to strong or weak deep-sowing tolerant ability, 45 maize lines were categorized into three groups, using parameters including seedling emergence rate, root number, root length, mesocotyl length, mesocotyl and coleoptile total length and seedling length at the 15 cm sowing depth. Further, these 45 inbred lines could be classified into six sub-groups (Lancaster, Sipingtou, PA, PB, BSSS and Luda Red Cob), which agreed with the recorded pedigree. Marked differences were observed for mean seedling emergence rate, root number, root length, mesocotyl length, mesocotyl and coleoptile total length and seedling length among the six sub-groups at the 15 cm sowing depth. Analysis showed that the values for Lancaster, Sipingtou and PA were relatively higher, exhibiting strong to medium deep-sowing tolerant, and are elite germplasms for improvement of deep-sowing tolerant maize.

**Keywords:** maize inbred line; deep-seeding; difference analysis

收稿日期: 2013-04-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260330); 甘肃省科技支撑计划项目(1011NKCA076); 甘肃省干旱生境作物学重点实验室开放课题(GSCS-2010-10)

作者简介: 彭云玲(1978—), 女, 河南南阳人, 博士, 副教授, 研究方向为玉米抗逆生理及分子生物学。E-mail: pengyunlingpyl@163.com。

在种子萌发、幼苗生长阶段,土壤水分缺乏是导致幼苗死亡的主要原因<sup>[1-2]</sup>。我国玉米 2/3 的面积分布在东北、华北、西南和西北依靠自然降水的丘陵旱地或平原旱地上,干旱已经成为玉米高产稳产的重要限制因子<sup>[3]</sup>。苗期遇干旱,出苗能力下降、保苗率降低,严重影响田间苗数,从而导致减产<sup>[4]</sup>。耐深播作物作为一种新近发现并已经应用于培育优良品种的种质资源,能够有效利用土壤深层水分从而避免播种期土壤表层干旱的影响。但是目前关于耐深播性状的研究相对较少<sup>[5-8]</sup>,因此研究作物的深播特性对于干旱地区作物生产具有重要意义。

在我国,春季降水少,3~5 cm 土层土壤含水量不能满足一般玉米品种发芽所需的含水量,深播后即使发芽,也不能把幼芽送出地表,因此研究玉米的深播特性对于选育耐深播耐旱的玉米新品种具有重要意义。目前,关于玉米耐深播种质的研究较少。Zhao 和 Wang<sup>[9]</sup>从印第安蓝粒玉米中筛选出耐深播的玉米自交系 3681-4。张磊等<sup>[10]</sup>通过筛选 46 个玉米自交系的耐深播特性,发现了 7 份耐深播的玉米自交系。董存吉等<sup>[11]</sup>利用印第安蓝粒玉米与玉米自交系自 330 等杂交和自交,筛选出耐深播的玉米自交系 SN38 等,并选育出高产、紧凑、抗倒、抗病的玉米杂交种抗 42。梁素明等<sup>[12]</sup>利用玉米自交系太 160-2 为母本与耐深播自交系 LR1921 组合,培育出耐深播玉米品种早玉 5 号。除此之外,山西农科院还培育了抗 38、40107、42107、早玉系列等一系列综合性状优良且耐深播的玉米品种<sup>[13]</sup>。但是目

前对于耐深播特性的影响因素、生理及遗传研究还很缺乏。

一般认为出苗率是评价玉米耐深播性的主要指标,出苗率越高,说明耐深播性越强。Dungan<sup>[14]</sup>和 Hoshikaw<sup>[15]</sup>认为玉米主要通过延伸中胚轴长度达到深播出苗的目的;张磊等<sup>[10]</sup>认为中胚轴和胚芽鞘协同决定着能否把幼苗送出地表,但中胚轴是起主要作用的因素;赵光武等<sup>[16]</sup>报道深播出苗率与中胚轴长度显著相关;并且不同玉米品种的耐深播能力不同。除了中胚轴以外还有没有其他因素在深播出苗中起了作用呢?另外,在不同深度条件下对出苗起主要作用的有哪些因素呢?目前还罕见文献报道。因此,本研究分别在播深 10 cm 和 15 cm 的条件下,对 45 份玉米自交系的出苗率、根数、根长、中胚轴长、胚芽鞘长、中胚轴与胚芽鞘之和、苗长 7 个指标进行鉴定,探讨其与深播特性的关系,以期找到影响深播出苗的因素;同时,在 15 cm 播深条件下根据出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长对 45 份自交系分组和耐深播性评价,发掘玉米耐深播种质,这将为耐深播新品种的培育和耐深播特性的生理和遗传研究提供宝贵的资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

选取我国自推广杂交种以来相继育成和引进的玉米自交系材料 45 份(表 1)。

表 1 45 个玉米自交系在播深为 10 cm 和 15 cm 条件下的表型鉴定

Table 1 Morphological traits of 45 maize inbred lines at 10 cm and 15 cm sowing depth

代号 Code	自交系(种质类群) Inbred lines (Gemplasm groups)	深度/cm Depth	RAT/100%	RN/个	RL/cm	MES/cm	COL/cm	MES + COL/cm	SDL/cm
1	8723(Lan)	10	100	3.70	12.98	6.53	4.91	11.44	11.67
		15	100	3.60	18.11	9.89	5.15	15.04	13.73
2	TS141(Lan)	10	90	6.00	23.08	4.02	4.50	8.52	13.77
		15	100	4.80	23.65	6.64	4.84	11.48	16.09
3	81162(Lan)	10	100	3.30	22.69	4.71	3.98	8.69	12.76
		15	100	3.44	24.00	5.12	13.71	18.83	9.17
4	廊黄(Lan)	10	100	3.60	18.73	5.87	3.79	9.66	11.51
		15	90	3.10	19.25	10.97	4.00	14.97	10.16
5	廊 H(Lan)	10	70	3.88	16.26	5.63	4.56	10.19	11.78
		15	90	3.89	17.67	9.79	4.86	14.65	11.50
6	LX9801(SPT)	10	70	2.50	9.45	4.74	3.56	8.30	8.35
		15	90	1.44	19.14	9.02	4.29	13.31	8.72

续表 1

代号 Code	自交系(种质类群) Inbred lines (Germplasm groups)	深度/cm Depth	RAT/100%	RN/个	RL/cm	MES/cm	COL/cm	MES + COL/cm	SDL/cm
7	K15(SPT)	10	90	4.00	17.83	5.30	4.53	9.83	15.88
		15	90	3.50	19.29	7.39	4.28	11.67	9.41
8	昌 7-2(SPT)	10	100	3.80	15.66	5.67	3.67	9.34	11.26
		15	90	3.14	20.06	6.18	9.63	15.81	10.26
9	430(SPT)	10	100	2.89	18.97	6.02	3.69	9.71	11.51
		15	80	2.22	24.97	9.58	3.63	13.21	11.21
10	丹 598(PA)	10	80	2.20	11.77	5.43	3.63	9.06	9.61
		15	80	1.89	20.52	8.56	3.89	12.45	6.78
11	478(PA)	10	80	3.33	18.01	4.37	3.13	7.50	7.87
		15	70	2.00	22.16	10.91	3.33	14.24	6.69
12	488(PA)	10	60	2.71	13.50	5.94	4.07	10.01	10.24
		15	70	2.44	20.51	9.10	4.16	13.26	9.98
13	9801(SPT)	10	70	3.22	17.89	3.67	4.19	7.86	13.80
		15	70	3.00	25.40	7.09	5.17	12.26	13.21
14	8085 泰(PA)	10	80	4.89	16.86	4.29	4.49	8.78	14.64
		15	70	4.13	20.93	6.40	5.39	11.79	11.50
15	丹 9046(BSSS)	10	90	4.67	20.56	5.44	4.11	9.56	11.03
		15	70	2.78	29.73	5.54	8.45	13.99	10.99
16	65232(PA)	10	90	4.22	17.06	3.89	6.63	10.52	11.82
		15	70	4.16	25.63	4.18	8.88	13.06	9.75
17	鲁原 92(LRC)	10	100	3.40	25.25	2.82	3.84	6.66	17.38
		15	70	3.00	24.41	2.40	4.20	6.60	8.60
18	MO17(Lan)	10	90	3.90	14.44	5.02	4.42	9.44	9.19
		15	60	2.14	20.10	7.21	6.14	13.35	9.73
19	沈 136(PB)	10	90	3.78	20.66	2.80	4.70	7.50	10.64
		15	60	3.63	25.84	6.08	9.20	15.28	8.99
20	78599-2(PB)	10	100	3.90	11.44	4.08	4.88	8.96	12.74
		15	60	3.86	12.40	5.97	5.86	11.83	10.79
21	A413(SPT)	10	80	3.11	11.48	5.03	3.46	8.49	10.82
		15	60	1.83	16.98	5.5	9.88	15.38	8.07
22	502 优(SPT)	10	90	3.40	21.59	3.73	4.95	8.68	13.9
		15	60	2.67	21.64	5.2	4.74	9.94	14.37
23	444(SPT)	10	90	2.44	10.89	5.19	3.64	8.83	12.16
		15	60	2.57	23.09	5.13	6.39	11.52	14.84
24	78599-1(PB)	10	100	3.50	14.61	2.00	4.85	6.85	14.06
		15	60	3.60	13.37	3.81	5.98	9.79	14.05
25	掖 107(PA)	10	80	2.50	19.80	7.57	3.40	10.97	8.53
		15	50	2.43	18.96	7.61	6.51	13.71	8.13
26	沈 137(PB)	10	90	4.10	13.30	2.96	3.78	6.74	13.97
		15	50	4.30	19.42	6.80	7.52	14.32	9.72

续表 1

代号 Code	自交系(种质类群) Inbred lines (Germplasm groups)	深度/cm Depth	RAT/100%	RN/个	RL/cm	MES/cm	COL/cm	MES + COL/cm	SDL/cm
27	K12(SPT)	10	80	3.38	18.29	3.70	3.94	7.64	11.75
		15	50	3.70	16.06	6.50	5.34	11.84	11.60
28	铁 7922(BSSS)	10	70	2.33	11.24	4.61	3.49	8.10	9.88
		15	50	2.63	14.46	5.86	4.71	10.57	9.24
29	郑 22(PA)	10	40	2.50	13.08	5.65	3.75	9.40	10.33
		15	50	2.60	11.10	6.24	8.12	14.36	10.94
30	O201(LRC)	10	60	4.25	23.30	5.74	4.47	10.21	10.07
		15	50	2.88	17.30	6.15	8.54	12.69	7.95
31	H201(SPT)	10	90	3.00	14.38	4.12	5.10	9.22	12.11
		15	40	2.67	17.23	5.80	5.96	11.76	10.87
32	综 3(LRC)	10	60	1.80	10.85	4.04	3.49	7.53	9.25
		15	40	1.70	15.86	5.73	3.74	9.47	9.52
33	K22(BSSS)	10	60	3.74	19.54	7.00	4.01	11.01	12.76
		15	40	3.67	17.79	6.68	4.33	11.01	11.85
34	丹 340(LRC)	10	60	4.38	19.31	4.10	4.85	8.95	10.23
		15	40	3.36	18.83	5.39	5.48	10.87	10.43
35	齐 319(PB)	10	80	1.90	14.60	5.59	3.93	9.52	9.02
		15	40	1.71	15.86	5.80	8.47	14.27	9.23
36	K13(SPT)	10	50	3.57	14.21	3.28	3.71	6.97	10.47
		15	40	3.56	20.49	3.56	4.61	8.17	10.13
37	117(LRC)	10	90	2.70	17.94	3.57	3.98	7.55	11.31
		15	40	2.90	17.26	2.16	3.58	5.74	9.20
38	87-1(PB)	10	90	4.00	11.70	3.29	3.36	6.65	12.38
		15	30	2.20	16.57	5.56	3.38	8.94	9.16
39	P138(PB)	10	60	5.57	15.79	3.64	4.26	7.90	13.21
		15	30	3.80	17.60	4.06	4.38	8.44	9.57
40	成 687(BSSS)	10	40	2.86	13.81	3.03	3.24	6.27	11.34
		15	30	2.33	19.17	3.73	6.03	9.76	9.52
41	543(LRC)	10	70	2.50	10.23	5.73	3.91	9.64	9.65
		15	30	2.25	16.89	6.33	9.24	15.57	9.24
42	冀 86(LRC)	10	70	3.90	14.42	2.97	4.38	7.35	9.97
		15	20	3.88	18.44	5.41	9.31	14.72	8.88
43	757(BSSS)	10	60	3.38	12.74	5.81	3.23	9.04	5.63
		15	10	2.14	13.85	7.72	3.28	11.00	3.72
44	综 31(LRC)	10	50	2.00	10.71	4.39	2.73	7.12	6.56
		15	10	1.00	12.20	5.20	4.40	9.60	5.30
45	辽 111(LRC)	10	50	1.88	5.53	3.06	2.76	5.83	7.16
		15	0	1.00	4.30	4.00	2.20	6.20	2.20

注: RAT, 出苗率; RN, 根数; RL, 根长; MES, 中胚轴长; COL, 胚牙鞘长; SDL, 苗长。下同。

Note: RAT, Seedling emergence rate; RN, Root number; RL, Root length; MES, Mesocotyl length; COL, Coleoptile length; SDL, Seedling length. The same as below.

## 1.2 深播出苗能力鉴定

试验于 2012 年 5 月下旬在甘肃农业大学日光温室进行。将蛭石装入高 25 cm、直径 16 cm 的桶中,然后将 30 粒种子均匀播种在蛭石上,再盖蛭石 10 cm 和 15 cm,播种前统一配土、装钵、浇透底水。自然条件下萌发 10 d 后统计出苗率并选取 10 株测定根数、根长、中胚轴长、胚芽鞘长、苗长。

## 1.3 指标测定

中胚轴长 (Mesocotyl length) = 从种子到胚芽鞘节之间的长度

胚芽鞘长 (Coleoptile length) = 从胚芽鞘节到胚芽鞘顶端的长度

出苗率 (%) (Seedling emergence rate) = (出苗数 / 播种数) / 100

苗长 (Seedling length) = 中胚轴和胚芽鞘接合点以上部分的长度

根长 (Root length) = 最长根的长度

根数 (Root number) = 所有根的数目

## 1.4 数据统计与分析

所有试验数据使用统计软件 SPSS16.0 进行处理,采用 Duncan 进行差异显著性多重比较,对各处理间的差异显著性进行分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同播深处理下玉米各自交系形态指标的表现

在播深 10 cm 和 15 cm 条件下,对 45 份玉米自交系的出苗率 (RAT)、根数 (RN)、根长 (RL)、中胚轴长 (MES)、胚芽鞘长 (COL)、中胚轴与胚芽鞘之和 (MES + COL)、苗长 (SDL) 7 个性状进行了鉴定。如

表 1 所示,随着深度的增加,各自交系的根长、中胚轴长、胚芽鞘长、中胚轴和胚芽鞘之和大体呈增加趋势,而出苗率、根数、苗长呈下降趋势。但是不同品种各指标的变化程度不同,如出苗率的变化,玉米自交系 8723、TS141、81162、廊黄、K15、昌 7-2 和 430 在不同深度间的变化幅度较小,为 0~10% 之间,而 757、综 3 和 111 出苗率在不同深度间的变化幅度较大;说明播深对不同自交系出苗率的影响不同。再如苗长的变化,自交系 8723 和 TS141 的苗长随深度增加没有出现下降趋势,反而稍微有些升高,说明深度对这两个品种苗长的影响小;而自交系 111 出现了较大幅度的下降,说明播深对自交系 111 苗长的影响大。

如表 2 所示,不同播深条件下,各自交系不同性状的变异系数不同。10 cm 播深条件下,不同自交系中胚轴的变异系数最大,其次是根长、根数,出苗率和苗长的变异系数居中,而胚芽鞘长及胚芽鞘和中胚轴之和的变异系数最小。15 cm 播深条件下,出苗率和胚芽鞘长的变异系数较大,根数、根长和中胚轴长的变异系数其次,苗长的变异系数较小,胚芽鞘与中胚轴之和的变异系数最小。另外,不同深度同一性状的变异系数也不同,其中出苗率和胚芽鞘长在不同深度的变异系数相差较大;而根长、根数和中胚轴在不同深度的变异系数相差较小。这些结果表明,不同播深条件对不同玉米自交系的出苗率和胚芽鞘长度的影响较大,而对根长、根数和中胚轴的影响较小,随着深度的增加根长、根数和胚芽鞘长度变化较为稳定,这与王玮等<sup>[17]</sup>的研究结果一致。

表 2 不同播深处理对不同玉米自交系变异系数的影响

Table 2 Effect of depth treatment on variation coefficient of different maize inbred lines at different sowing depth

性状 Traits	10 cm		15 cm		变异比率 Variation rate
	平均值 ± 标准差 Means ± SD	变异系数 CV	平均值 ± 标准差 Means ± SD	变异系数 CV	
RAT	78.00 ± 17.53	0.22	56.89 ± 25.03	0.44	1.00
RN	3.39 ± 0.93	0.27	2.97 ± 1.00	0.31	0.15
RL	15.70 ± 4.28	0.27	18.81 ± 5.38	0.29	0.07
MES	4.58 ± 1.24	0.29	6.31 ± 2.04	0.32	0.10
COL	4.04 ± 0.70	0.17	5.89 ± 2.36	0.40	1.35
MES + COL	8.62 ± 1.35	0.16	12.15 ± 2.76	0.23	0.44
SDL	11.20 ± 2.36	0.21	9.89 ± 2.62	0.26	0.24

## 2.2 不同播深条件下相关性状的差异

表 3 所示的方差分析结果表明,7 个性状在品种间都达到显著差异,说明这些性状在自交系间均存在遗传上的差异,进行耐深播育种工作时进行选择是有效的。7 个性状在深度间的方差分析表明,

除了根数以外,其他 6 个性状都达到了显著水平,说明随着深度的增加,根数变化不大,而其他性状在不同播种深度间的变化较大。7 个性状在品种与深度间的交互作用达极显著水平,说明不同自交系对深度的敏感程度不同,耐深播自交系的敏感程度较低,

不耐深播自交系的敏感程度较高。

### 2.3 不同播深条件下各性状的相关分析

如表 4 所示,对 45 个玉米自交系在同一播深条件下各个性状之间的相关性和不同播深条件下同一性状的相关性做了分析。结果表明,在 10 cm 播深条件下的出苗率与胚芽鞘长、根长和苗长显著相关,而 15 cm 条件下的出苗率与 10 cm 条件下的胚芽鞘长、中胚轴与胚芽鞘之和、根长、苗长、出苗率,以及 15 cm 条件下的中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和、根数、根长、苗长显著相关。表明,播种深度较浅时,胚芽鞘长、根长和苗长对玉米幼苗的出土起主要作用,

中胚轴起次要作用;播种深度较深时,中胚轴、中胚轴和胚芽鞘之和、根数、根长、苗长对幼苗的出土起主要作用,胚芽鞘起次要作用。也就是说,播种深度较浅时,胚芽鞘较中胚轴对玉米幼苗出土所起的作用大;播种深度较深时,中胚轴较胚芽鞘对玉米出土所起的作用大。另外,在播种深度 10 cm 条件下,苗长与中胚轴长呈显著负相关;播种深度 15 cm 条件时,胚芽鞘长度与中胚轴长度呈显著负相关。本研究还发现,在播种深度 15 cm 条件时,胚芽鞘长与出苗率虽未出现显著性相关关系,但胚芽鞘长与中胚轴之和与出苗率呈极显著正相关关系。

表 3 7 个性状不同播种深度和品种间的方差分析

Table 3 Variance analysis of 7 traits for different sowing depth and varieties

变异来源 Variance source	RAT	RN	RL	MES	COL	MES + COL	SDL
品种 Variety	3.605 **	3.77 **	3.873 **	1.935 *	1.839 *	2.056 **	3.331 **
深度 Depth	49.452 **	2.416	24.442 **	19.107 **	27.029 **	73.344 **	6.409 *
品种 × 深度 Variety × depth	4.624 **	3.74 **	4.33 **	2.316 **	1.91 *	3.64 **	3.399 **

注:测定值间标有 \* 或 \*\* 为 5% 或 1% 水平下差异显著。下同。

Note: Values followed by \* or \*\* are significantly different at 5% or 1% level. The same as below.

通过比较不同深播条件下同一性状的相关性发现,除了胚芽鞘长度以外,不同播种深度条件下的出苗率、中胚轴长度、胚芽鞘和中胚轴之和、根数、根长和苗长的相关性都达到极显著水平。其中 15 cm 深

播条件下的出苗率反映了每个自交系在 15 cm 的耐深播能力,分析各性状与出苗率的相关性可以揭示各性状与耐深播能力的关系。

表 4 在 10 cm 和 15 cm 的播种深度条件下各性状的相关分析

Table 4 Correlation coefficients among different traits at 10 cm and 15 cm sowing depth.

播深 Sowing depth	性状 Traits	10 cm						15 cm								
		MES	COL	MES + COL	RN	RL	SDL	RAT	MES	COL	MES + COL	RN	RL	SDL	RAT	
10 cm	MES	1														
	COL		1													
	MES + COL	0.861 **	0.385 **	1												
	RAD		0.405 **		1											
	RL		0.369 *		0.373 *	1										
	SDL	-0.297 *	0.478 **		0.428 **	0.491 **	1									
	RAT		0.383 **			0.352 *	0.527 **	1								
15 cm	MES	0.373 *		0.350 *					1							
	COL								-0.296 *	1						
	MES + COL	0.336 *		0.435 **					0.359 *	0.560 **	0.626 **	1				
	RAD		0.635 **		0.582 **	0.467 **	0.640 **	0.317 *					1			
	RL		0.346 *			0.591 **	0.376 *	0.418 **		0.296 *	0.361 *	0.353 *		1		
	SDL		0.465 **		0.343 *	0.335 *	0.539 **	0.346 *					0.553 **	0.404 **	1	
	RAT		0.341 *	0.428 **		0.405 **	0.457 **	0.602 **	0.522 **			0.584 **	0.419 **	0.550 **	0.465 **	1

### 2.4 45 份自交系聚类分析和耐深播性评价

采用 15 cm 播深条件下的出苗率、根数、根长、

中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和及苗长对各个自交系进行层次聚类,可将 45 份自交系划分为 A 和 B

两组(图 1),A 组又可进一步分为 A1 和 A2 两个亚组,其中 A1 组包括 20 个自交系(8723、TS141、81162、廊黄、K15、昌 7-2 等),其中出苗率、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和、根长、根数和苗长平均为 81.76%、7.61 cm、13.66 cm、21.82 cm、3.36 和 10.60 cm,属于耐深播自交系。A2 组包括 20 个自交系(444、沈 137、铁 7922、郑 22、丹 340、P138 等),其中出苗率、中

胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和、根长、根数和苗长平均为 46.00%、4.93 cm、10.94 cm、17.65 cm、2.89 和 10.31 cm,属于中等耐深播自交系。B1 亚组包括 3 个自交系(111、综 31、757),其中出苗率、胚芽鞘长、根长和苗长平均为 6.67%、4.64 cm、7.80 cm、9.17 cm、1.38 和 4.74 cm,属于不耐深播自交系。

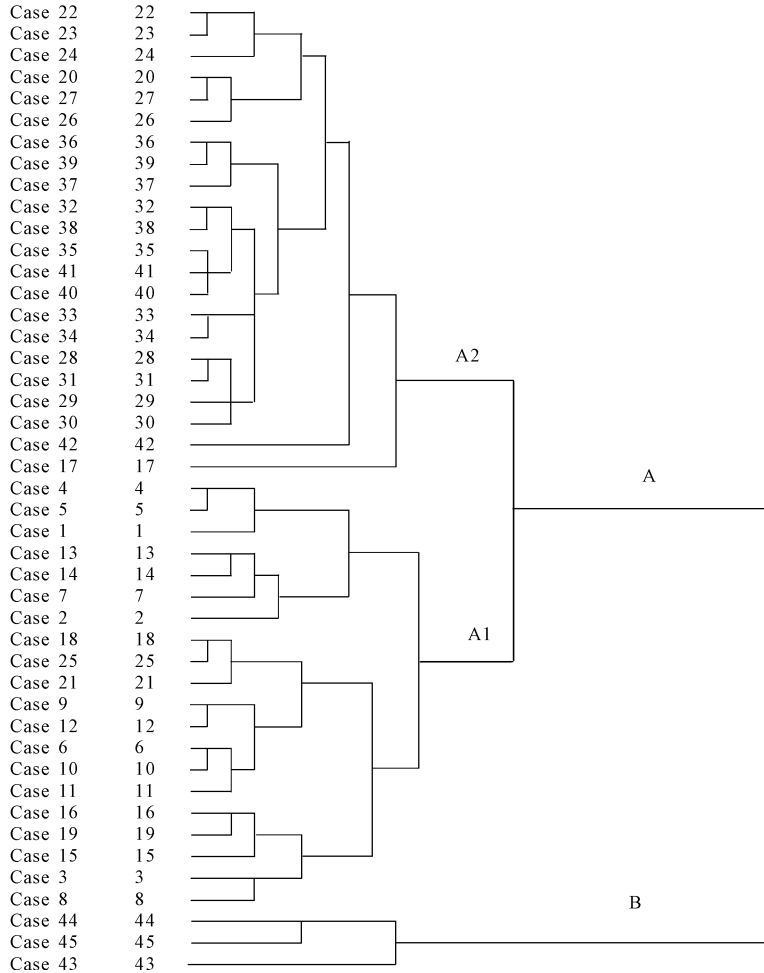


图 1 播深 15 cm 条件下根据出苗率、苗长、根长、根数、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和进行聚类  
Fig.1 Dendrogram of 45 inbred lines based on a cluster analysis of seedling emergence rate, seedling length, root length, root number, mesocotyl length, mesocotyl and coleoptile total length at 15 cm sowing depth.

表 5 15 cm 播深条件下 6 个亚群的相关性状

Table 5 Relationships among traits of six sub-groups of maize lines at 15 cm sowing depth.

亚群 Sub-group	RAT /100%	RN /个	RL /cm	MES /cm	MES + COL /cm	SDL /cm	自交系 Inbred lines
Lan	90.00	3.50	20.46	8.27	14.72	11.73	8723、TS141、81162、廊黄、廊 H、MO17
SPT	66.36	2.75	20.40	6.45	12.26	11.15	LX9801、K15、昌 7-2、430、9801、A413、502 优、444、K12、H201、K13
PA	65.71	2.81	19.97	7.57	13.27	9.11	丹 598、478、488、8085 泰、65232、掖 107、郑 22
PB	47.14	3.30	17.29	5.44	11.84	10.22	沈 136、78599-2、78599-1、沈 137、齐 319、87-1、P138
BSSS	40.00	2.71	19.00	5.91	11.27	9.06	丹 9046、铁 7922、K22、成 687、757
LRC	33.33	2.44	16.17	4.75	10.16	7.92	鲁原 92、0201、综 2、丹 340、117、543、冀 86、综 31、辽 111

结合系谱资料和育种实践,45 份玉米材料分属于 Lancaster(Lan)、四平头(SPT)、PA、PB、BSSS 和旅大红骨(LRC)种质<sup>[18-20]</sup>。由表 5 可见,Lancaster 亚群包括 8723、TS141、81162、廊黄、廊 H 和 MO17 自交系。四平头亚群包括 LX9801、K15、昌 7-2、430、9801、A413、502 优、444、K12、H201、K13。PA 亚群包括丹 598、478、488、8085 泰、65232、掖 107、郑 22。PB 亚群包括沈 136、78599-2、78599-1、沈 137、齐 319、87-1、P138。BSSS 亚群包括丹 9046、铁 7922、K22、成 687、757。旅大红骨亚群包括鲁原 92、0201、综 2、丹 340、117、543、冀 86、综 31、辽 111。Lancaster 亚群的出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长最高,分别为 90%、3.5、20.46 cm、8.27 cm、14.72 cm 和 11.73 cm,未发现不深播自交系和中等耐深播自交系。四平头和 PA 亚群的出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长相似,分别为 66.36%、2.75、20.4 cm、6.45 cm、12.26 cm、11.15 cm 和 65.71%、2.81、19.97 cm、7.57 cm、13.27 cm、9.11 cm。四平头亚群包含 LX9801、K15、昌 7-2、430、9801、A413 等耐深播自交系和 502 优、444、K12、H201、K13 中等耐旱自交系;PA 亚群包含丹 598、478、488、8085 泰、65232、掖 107 耐深播自交系和郑 22 中等耐旱自交系。PB 亚群的出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长分别为 47.14%、3.30、19.29 cm、5.44 cm、11.84 cm 和 10.22 cm,该亚群包含沈 136 耐深播自交系和 78599-2、78599-1、沈 137、齐 319、87-1、P1382 中等耐旱自交系。BSSS 亚群的出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长分别为 40.00%、2.71、19.00 cm、5.91 cm、11.27 cm 和 9.06 cm,该亚群包含丹 9046 耐深播自交系,铁 7922、K22、成 687 中等耐深播自交系和 757 不耐深播自交系。旅大红骨亚群的出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长最低分别为 33.33%、2.44、16.17 cm、4.75 cm、10.16 cm 和 7.92 cm,该亚群包含鲁原 92、0201、综 2、丹 340、117、543、冀 86 中等耐深播自交系和综 31、辽 111 不耐深播自交系。这些分析显示 Lancaster(Lan)、四平头(SPT)、PA 的出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长较高,含有较多耐深播系和中等耐深播系,是开展玉米耐旱育种的重要种质类群。

## 3 讨论

### 3.1 玉米耐深播性的评价

具有耐深播性的玉米在表层土壤失墒的情况

下,深播能出苗,保全苗。出苗率越高,说明耐深播性越强,因此,出苗率是评价玉米耐深播性的主要指标。赵光武等<sup>[16]</sup>报道玉米在深播条件下出苗的关键因素是中胚轴的显著伸长;并且依据中胚轴长度来评价玉米耐深播性,是我国学者所认可的<sup>[21-22]</sup>。但是玉米耐深播受多个因素的影响,单纯用出苗率和中胚轴长度来评价多个玉米品种的耐深播性,可能会使结果不准确。比如自交系 TS141,在 15 cm 播深条件下,虽然中胚轴长度比 478 低,但是苗长较 478 的长,出苗率高,有较高的耐深播能力。因此,用出苗率、根数、根长、中胚轴长、胚芽鞘长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长多个指标综合分析 45 个自交系的耐深播特性,可以避免不同基因型玉米出苗率和中胚轴长度差异对试验结果的影响,客观鉴定材料在深播条件下的出苗能力,评价其耐深播性。

15 cm 播深条件下的鉴定结果可以反映不同品种的耐深播能力。本研究在 15 cm 条件下,用出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长将 45 份自交系按耐深播性强弱分成 3 组。同时,分析结果显示中国现有 6 个杂种优势亚群中,Lancaster(Lan)、四平头(SPT)、PA 的出苗率、根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长较高,含有较多耐深播系和中等耐深播系,为重要的耐深播种质类群;PB、BSSS 和旅大红骨亚群中筛选出的耐深播自交系较少,其中尤以旅大红骨的耐深播性差(出苗率 33.33%),且根数、根长、中胚轴长、中胚轴和胚芽鞘之和以及苗长较小。

### 3.2 耐深播性状的相关性分析

Troyer<sup>[8]</sup>发现随着播深的增加,中胚轴长度逐渐增加;赵光武等<sup>[16]</sup>通过对 12 个玉米自交系进行的相关分析表明,深播出苗率与中胚轴长度显著相关;张磊等<sup>[10]</sup>通过中胚轴长度对 46 个玉米自交系进行耐深播筛选,并且指出中胚轴长与出苗率呈显著正相关关系;Zhao 和 Wang<sup>[23-24]</sup>、Zhang 等<sup>[25]</sup>报道中胚轴长度是决定玉米耐深播能力的主要因素。与以上结果一致的是,本研究也发现在 15 cm 播深条件下,深播出苗率与中胚轴长度极显著相关。

在播深 10 cm 条件下,出苗率与胚芽鞘长相关性达到显著水平,而与中胚轴长没有达到显著水平,说明在播种较浅时主要靠胚芽鞘的伸长让幼苗钻出土面,而中胚轴没有胚芽鞘对幼苗的出土作用明显,这与周德超<sup>[26-27]</sup>报道的结果一致。本研究中发现出苗率与根长和苗长的相关性达到显著水平,尤其与苗长的相关性更高,这与前人把苗长看作幼苗活力相关指标相对应<sup>[28-30]</sup>,也说明了苗长在促进幼



苗迅速出土的过程中都起到了正向的作用。另外,在播深 10 cm 条件下苗长与中胚轴长度呈显著负相关,说明苗长与中胚轴存在营养上的竞争,苗长增加,中胚轴缩短。在 15 cm 播深条件下,出苗率与中胚轴、中胚轴和胚芽鞘之和的相关性达到显著水平,说明在播种深度较深时,玉米幼苗主要靠中胚轴的伸长把分蘖节上升到适宜的深度,而使幼苗钻出土面,而胚芽鞘所起的作用较小<sup>[25-27]</sup>。另外,出苗率与根长、根数和苗长的相关性达到极显著水平,说明耐深播能力与根长、根数和苗长在深播条件下幼苗出土中也起到了正向调节作用。同时还发现胚芽鞘长和中胚轴存在显著的负相关,说明胚芽鞘长与中胚轴长互为消长,中胚轴长度增加,胚芽鞘长度下降。

本研究还发现,在播种深度 15 cm 时,胚芽鞘长与出苗率虽未表现出显著性相关关系,但胚芽鞘长与中胚轴之和与出苗率呈极显著正相关关系,说明出苗率是受胚芽鞘和中胚轴协同作用的。虽可以预见中胚轴长的品种有可能取代中胚轴短的品种,成为玉米育种的重要目标性状<sup>[31]</sup>,但胚芽鞘长度也是一个不应忽略的重要性状,其对玉米耐深播性所起的作用还有待于进一步研究。

### 3.3 幼苗活力与耐深播性状的关系

一般来说发芽率、苗长、苗干重、根长、根干重、叶面积等被看作与幼苗活力相关的指标<sup>[26-28]</sup>。本研究发现 TS141 无论在播深 10 cm 还是 15 cm,苗长都是最长的,因此幼苗活力较高,出苗率较高,耐深播性较好。幼苗活力与耐深播能力是两个不同的性状,但是有没有可能两性状有关联,其遗传基础是不是相同呢? Rebetzke 等<sup>[32-33]</sup>报道胚芽鞘长度是决定小麦耐深播能力的主要因素,胚芽鞘长度与幼苗活力相关性状如幼苗叶面积等遗传上具有相关性。我们把 15 cm 播深的出苗率看作玉米耐深播能力的一个指标,而把 10 cm 播深的苗长和 15 cm 播深的苗长看作幼苗活力相关的指标,相关分析表明 15 cm 播深的出苗率与 10 cm 播深的苗长和 15 cm 播深的苗长显著相关,因此推测耐深播和幼苗活力这两个性状有关联,并且具有遗传上的相关性,但是具体的相关性还需要进一步通过遗传研究揭示。

#### 参考文献:

[1] 张勇,薛林贵,高天鹏,等.荒漠植物种子萌发研究进展[J].中国沙漠,2005,25(1):106-112.  
[2] 张景光,王新平,李新荣,等.荒漠植物生活史对策研究进展与

展望[J].中国沙漠,2005,25(3):306-314.  
[3] 路贵和,戴景瑞,张书奎,等.不同干旱胁迫条件下我国玉米骨干自交系的抗旱性比较研究[J].作物学报,2005,31(10):1284-1288.  
[4] 刘贤德,李晓辉,李文华,等.玉米自交系苗期耐旱性差异分析[J].玉米科学,2004,12(3):63-65.  
[5] Schillinger W F, Donaldson E, Allan R E, et al. Winter wheat seedling emergence from deep sowing depths[J]. Agronomy Journal, 1998,90:582-586.  
[6] Mahdi L, Bell C J, Ryan J. Establishment and yield of wheat (*Triticum turgidum* L.) after early sowing at various depths in a semi-arid Mediterranean environment[J]. Field Crops Research, 1998,58(3):187-196.  
[7] Hidekazu Takahashi, Kazuhiro Sato, Kazuyoshi Takeda. Mapping genes for deep-seeding tolerance in barley[J]. Euphytica, 2001,122:37-43.  
[8] Troyer A F. The location of genes governing long first internode of corn[J]. Genetics, 1997,145(4):1149-1154.  
[9] Zhao G W, Wang J H. Effect of gibberellin and uniconazole on mesocotyl elongation of dark-grown maize under different seeding depths[J]. Plant Production Science, 2008,11(4):423-429.  
[10] 张磊,刘志增,黄亚群,等.46个玉米自交系耐深播特性分析[J].河北农业大学学报,2007,30(3):18-21.  
[11] 董存吉,王早荣,钟改荣,等.长根茎蓝粒玉米种质利用初报[J].山西农业科学,1994,22(2):13-15.  
[12] 梁素明,苏书文,王爱萍,等.长根茎玉米品种早玉5号的选育及栽培技术要点[J].山西农业科学,2008,36(4):34-36.  
[13] 钟改荣,白永新,孟俊文.浅谈抗旱耐深播高产玉米新品种的利用与开发[J].玉米科学,1998,1:29-31.  
[14] Dungan G H. Response of corn to extremely deep planting[J]. Agronomy J, 1950,42:256-257.  
[15] Hoshikaw K. Underground organs of the seedlings and the systematics of gramineae[J]. Botanical Gazette, 1969,130:192-203.  
[16] 赵光武,马攀,王建华,等.不同玉米自交系耐深播能力鉴定及对深播胁迫的生理响应[J].玉米科学,2009,17(5):9-13.  
[17] 王玮,邹琦,杨兴洪,等.水分胁迫下冬小麦芽鞘长度与抗旱性的关系及其遗传特性的研究[J].西北植物学报,1998,18(1):24-29.  
[18] 李新海,袁力行,李晓辉,等.利用 SSR 标记划分 70 份我国玉米自交系的杂种优势群[J].中国农业科学,2003,36:622-627.  
[19] 武斌,李新海,肖木辑,等.53 份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J].中国农业科学,2007,40(4):665-676.  
[20] 刘志嵩,吴迅,刘海利,等.基于 40 个核心 SSR 标记揭示的 820 份中国玉米重要自交系的遗传多样性与群体结构[J].中国农业科学,2012,45(11):2107-2138.  
[21] 张奋山,张善柱.可播深 20cm 的抗旱耐深播玉米“40107”[J].现代农业,1999,3:19.  
[22] 白秀英,薛连珍,康玉福.抗旱耐深播玉米杂交种抗 38[J].中国种业,2000,4:41.  
[23] Zhao G W, Wang J H. Effect of gibberellin and uniconazole on mesocotyl elongation of dark-grown maize under different seeding depths[J]. Plant Production Science, 2008,11(4):423-429.

- is improved by controlled soil-drying during grain filling of wheat[J]. *Crop Sci*, 2000, 40:1645-1655.
- [23] Blume A. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization[J]. *Euphytica*, 1998, 100:77-83.
- [24] Zhu G X, Midmore D J, Radford B J, et al. Effect of time of defoliation on wheat (*Triticum aestivum*) in central Queensland I. Crop response and yield[J]. *Field Crops Research*, 2004, 88:211-226.
- [25] Passioura J. Grain yield, harvest index, and water use of wheat[J]. *J Aust Inst Agric Sci*, 1977, 43:117-120.
- [26] Unger P W. Wheat residue management effects on soil water storage and corn production[J]. *Soil Sci Soc Am*, 1986, 50:764-770.
- [27] 高亚军, 杨君林, 陈玲, 等. 旱地冬小麦不同栽培模式、施氮量和种植密度土壤水分利用状况[J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(3):45-50.
- [28] Zhang S L, Lovdahl L, Grip H, et al. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China[J]. *Soil & Till. Res*, 2009, 102:78-86.
- [29] 李全起, 陈雨海, 于瞬章, 等. 灌溉与秸秆覆盖条件下麦田耗水特征研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19:130-141.
- [30] Chowdhury S I, Wardlaw I F. The effect of temperature on kernel development in cereals[J]. *Australian Journal of Agricultural research*, 1978, 29:205-223.
- [31] Wiegand C L, Cuellar J A. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature[J]. *Crop Science*, 1981, 21:95-101.
- [32] 金善宝. 小麦生态理论与应用[M]. 杭州: 浙江科技出版社, 1992.
- [33] 蔡太义, 贾志宽, 杨宝平, 等. 不同秸秆覆盖量对春玉米冠层气温差和叶水势日变化的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2010, 29(6):10-13.
- [34] 张玉焯, 刘洋, 曾翔, 等. 覆盖方式对旱作水稻后期冠层生理生态特性及产量的影响[J]. *中国水稻科学*, 2010, 24(5):487-492.
- [35] 方文松, 朱自玺, 刘荣花, 等. 秸秆覆盖农田的小气候特征和增产机理研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(6):123-128.
- [36] 李全起, 陈雨海, 于瞬章, 等. 灌溉与秸秆覆盖条件下冬小麦农田小气候特征[J]. *作物学报*, 2006, 32(2):306-309.
- [37] Borrell A K, Hammer G L, van Oosterom E. Stay-green: A consequence of the balance between supply and demand for nitrogen during grain filling[J]. *Annals of Applied Biology*, 2001, 38:91-95.
- [38] 王东, 于振文, 李延奇, 等. 施氮量对济麦 20 旗叶光合特性和蔗糖合成及籽粒产量的影响[J]. *作物学报*, 2007, 33(6):903-908.
- [39] 肖凯, 张荣铤, 钱维朴. 氮素营养调控小麦旗叶衰老和光合功能衰退的生理机制[J]. *植物营养与肥科学报*, 1998, 4:371-378.
- [40] 杨晴, 李雁鸣, 肖凯. 不同施氮量对小麦旗叶衰老特性和产量性状的影响[J]. *河北农业大学学报*, 2002, 25(4):20-24.
- [41] 潘庆民, 于振文, 田奇卓, 等. 追氮时期对超高产冬小麦旗叶和根系衰老的影响[J]. *作物学报*, 1998, 24:924-929.
- [42] 朱云集, 崔金梅, 王晨阳, 等. 小麦不同生育时期施氮对穗花发育和产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(11):1325-1329.
- [43] 郭平银, 李士平, 祁士军. 追氮时期对不同类型小麦籽粒产量和品质影响[J]. *德州学院学报*, 2007, (4):43-48.
- [44] 郝明德, 王旭刚, 党廷辉, 等. 黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析[J]. *作物学报*, 2004, 30(11):1108-1112.
- [45] 吕殿青. 陕西黄土区小麦氮肥一次深施的理论依据与增产条件[J]. *中国农业科学*, 1983, (5):7-12.
- [46] 王渭玲, 张冀涛. 旱地分期施用氮肥对小麦产量和品质的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 1996, 14(2):41-44.
- [47] 王渭玲, 徐福利. 覆盖条件下旱地施肥对小麦旗叶生理特性及籽粒产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(3):51-54.

(上接第 33 页)

- [24] Zhao G W, Wang J H. Effect of auxin on mesocotyl elongation of dark grown maize under different seeding depths[J]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2010, 57(1):79-86.
- [25] Zhang H W, Ma P, Zhao Z N, et al. Mapping QTL controlling maize deep-seeding tolerance-related traits and confirmation of a major QTL for mesocotyl length[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2012, 124:223-232.
- [26] 周德超. 种子萌发出苗过程中中胚轴的伸长和胚根的发展[J]. *生物学通报*, 1985, 7:1-3.
- [27] 周德超. 再谈禾谷类种子萌发过程中胚轴的伸长[J]. *生物学通报*, 1991, 9:10-12.
- [28] Lu X L, Niu A L, Cai H Y, et al. Genetic dissection of seedling and early vigor in a recombinant inbred line population of rice[J]. *Plant Science*, 2007, 172:212-220.
- [29] Redona E D, Mackill D J. Mapping quantitative trait loci for seedling vigor in rice using RFLPs[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1996, 92:395-402.
- [30] Zhou L, Wang J K, Yi Q, et al. Quantitative trait loci for seedling vigor in rice under field conditions[J]. *Field Crop Research*, 2007, 100:294-301.
- [31] 苏书文, 白琪林, 郭新林, 等. 三个玉米优异种质和育种素材创新的研究[J]. *作物杂志*, 1998, (增刊):66-71.
- [32] Rebetzke G J, Ellis M H, Bonnett D G, et al. Molecular mapping of genes for coleoptile growth in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2007, 114:1173-1183.
- [33] Rebetzke G J, Fettell N A, Long M, et al. Genotypic increases in coleoptile length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep-sown wheat[J]. *Field Crops Research*, 2007, 100:10-23.