

# 种子大小与播种深度对玉米出苗、 苗期光合特性与保护酶活性的影响

刘斌祥<sup>1</sup>,程秋博<sup>2</sup>,周芳<sup>1</sup>,杜伦静<sup>1</sup>,李小龙<sup>1</sup>,孔凡磊<sup>1</sup>,袁继超<sup>1</sup>

(1. 四川农业大学 农学院,作物生理生态及栽培四川省重点实验室,四川 成都 611130;

2. 苍溪县农业农村局,四川 苍溪 628400)

**摘要:**为了探明玉米种子大小和播种深度的萌芽出苗与苗期生理效应,为全苗、齐苗和壮苗措施的制定提供理论依据,通过盆栽和大田试验,研究种子大小(大、中、小粒)与播种深度(2,6,10 cm)对玉米萌芽出苗、苗期光合特性与保护酶活性的影响。结果表明:大、中粒种较小粒种出苗率高而整齐;播种深度增加,种子破土、出苗时间延迟,出苗率降低,尤其是小粒种,且播种深度对田间出苗率影响更为显著。大、中粒种与小粒种相比,苗期的叶绿素(叶绿素 a、b)含量较高,表观量子效率和(最大)净光合速率更大,SOD、POD 和 CAT 活性更高,MDA 含量更低,光合能力和抗旱性更强。播种深度增加,三叶期的叶绿素含量降低,但五、七叶期后的叶绿素含量则增加,说明出苗初期浅播处理生长较好,叶绿素含量较高,之后深播处理则表现出一定优势,至七叶期时叶绿素含量均较大幅度超过浅播处理,且相应的表观量子效率和(最大)净光合速率增大,SOD、POD 和 CAT 活性和 MDA 含量降低,光合能力和抗旱性增强。因此,川中丘区玉米生产上应选用大中粒种适当深播,促全苗、齐苗和壮苗,增强其苗后期的抗逆性和光合性能。

**关键词:**玉米;种子大小;播种深度;出苗率;光合特性;保护酶活性

中图分类号:S513.01 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2020)02-0098-09

doi:10.7668/hbxb.20190319



## Effects of Seed Size and Sowing Depth on Maize Seedling Emergence and Photosynthesis Characteristics and Protective Enzyme Activities in Seedling Stage

LIU Binxiang<sup>1</sup>, CHENG Qiubo<sup>2</sup>, ZHOU Fang<sup>1</sup>,  
DU Lunjing<sup>1</sup>, LI Xiaolong<sup>1</sup>, KONG Fanlei<sup>1</sup>, YUAN Jichao<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University,

Crop Ecophysiology and Cultivation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 611130, China;

2. Cangxi Agricultural and Rural Bureau, Cangxi 628400, China)

**Abstract:** To investigate the physiological effects of maize seed size and sowing depth on germination and seedling stage, to provide a theoretical basis for the formulation of measures for the whole seedling, the tidy seedling and the strong seedling. Through potted and field experiment, the effects of seed size (large, medium and small) and seeding depth (2, 6, 10 cm) on the photosynthetic characteristics and protective enzyme activities of maize during germination and seedling stage were studied. The results showed that: the emergence rate of large and medium seeds was higher and orderly than that of small seeds; the seeding depth increased, the time delay of seed breaking and emergence was delayed, the emergence rate decreased, especially for small seeds, and the effect of sowing depth on seedling emergence rate was more significant. Compared with small seeds, the content of chlorophyll (chlorophyll a and b) of large and medium seeds in seedlings was higher, apparent quantum efficiency and (maximum) net photosynthetic rate, higher activity of SOD, POD and CAT, lower content of MDA, and stronger photosynthetic capacity and drought resistance. With the increase of sowing depth, the chlorophyll content decreased in three-leaf stage, but the chlorophyll content increased in 5, 7 leaves stage, it suggested the treatment of the early emergence of shallow

收稿日期:2019-09-08

基金项目:四川水稻多元复合种植丰产增效技术集成与示范(2018YFD0301206);国家重点研发计划项目(2016YFD0300209;2016YFD0300307)

作者简介:刘斌祥(1995-),男,新疆伊宁人,在读硕士,主要从事作物高产优质高效栽培技术研究。

通讯作者:袁继超(1963-),男,重庆江津人,教授,博士,博士生导师,主要从事作物高产优质高效栽培技术研究。

sowing processing better growth, higher chlorophyll content. After that, the treatment of deep seeding showed some advantages, the chlorophyll content at seven-leaf stage was significantly higher than shallow sowing treatment, and corresponding apparent quantum efficiency and (maximum) net photosynthetic rate increased, SOD, POD and CAT activity and MDA content decreased, and photosynthetic capacity and drought resistance increased. Therefore, medium-sized and large-sized seeds should be selected for deep sowing to promote whole, neat and strong seedlings, which also could enhance stress resistance and photosynthetic performance at later stage.

**Key words:** Maize; Seed size; Sowing depth; Seedling emergence; Photosynthetic characteristics; Protective enzyme activity

苗全、苗齐、苗壮是作物高产的基础,提高作物种子的出苗率和整齐度,促进幼苗生长是重要措施<sup>[1-2]</sup>。前人研究表明,种子大小和播种深度不仅会在一定程度上影响作物的出苗率<sup>[3-4]</sup>,苗期的光合特性和保护酶活性等也会受到一定的影响<sup>[5-8]</sup>,进而影响其生长发育,乃至产量<sup>[9-10]</sup>。玉米是我国第一大粮食作物,西南丘陵地区是我国玉米主要产区之一,在生产中占据举足轻重的地位<sup>[1]</sup>。目前,有关播种深度对玉米种子活力、幼苗形状和根系特性的影响已有报道<sup>[11-12]</sup>,但西南地区相关研究相对较少。

西南玉米区土层浅薄,季节性干旱频发,容易导致玉米出苗不好,缺窝缺苗较多,苗势较弱,从而影响其产量和质量。为此,本研究以当地主推品种为材料,采用盆栽和大田试验相结合,研究种子大小与播种深度对玉米萌发出苗和苗期光合特性及保护酶活性的影响,以期对川中丘区玉米种子精选与机械化播种技术的制定提供理论和实践依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

盆栽试验于2016年4-5月在四川农业大学成都校区抗旱棚进行,土壤取自大田试验;大田试验于2015年5月-2016年6月在四川省德阳市中江县合兴乡新建村进行。2015年土壤基础肥力:有机质 12.77 g/kg,全氮 1.47 g/kg,碱解氮 52.93 mg/kg,有效磷 15.9 mg/kg,速效钾 117.56 mg/kg;2016年土壤基础肥力:有机质 9.44 g/kg,全氮 1.01 g/kg,碱解氮 45.30 mg/kg,有效磷 4.4 mg/kg,速效钾 86.17 mg/kg。

### 1.2 试验材料

玉米品种为当地主推品种正红 505,用不同孔径的筛子分别筛选出大、中、小粒种子作为供试材料。大粒种直径  $\geq 9.3$  mm,千粒质量 349.16 g;中粒种直径 7.5~7.7 mm,千粒质量 266.53 g;小粒种直径  $\leq 6.0$  mm,千粒质量 171.40 g。

### 1.3 试验设计

大田试验采用两因素随机区组设计,A因素为

种子大小,  $A_1 \sim A_3$  分别为大、中、小粒种子;B因素为播种深度,  $B_1 \sim B_3$  分别为 2, 6, 10 cm, 9 个处理, 3 次重复, 共 27 个小区, 小区面积为 17.6 m<sup>2</sup> (长 5.5 m, 宽 3.2 m), 种植密度为 50 000 株/hm<sup>2</sup>。

盆栽试验设计同大田试验,用内径 20 cm, 高 30 cm 的塑料花盆,每个处理 9 盆,共 81 盆,先将采集的试验用土风干、整细、去杂物、过 5 mm 筛,装入塑料盆,装土至相应深度时均匀铺放 20 (长至三叶期) 或 8 (长至七叶期) 粒大、中、小粒种子,再盖土至相应播种深度,然后用喷壶喷水,每盆 1.25 L,使土壤的相对含水量达到 60% (称质量法测量),试验期间视土壤墒情适量浇水,保持适度干旱 (土壤相对含水量需 40%~55%),取样前 3 d 不再浇水。

### 1.4 测定指标

破土、出苗数:盆栽试验从播种之日起每天 9:00 定时调查各盆破土数 (可见胚芽鞘) 和出苗数 (幼苗出土 2 cm),至出苗无变化为止,计算每天的破土率和出苗率:

$$\text{破土率} = \frac{\text{地面上可观察到的苗数}}{\text{播种粒数}} \times 100\%$$

$$\text{出苗率} = \frac{\text{出苗数}}{\text{播种粒数}} \times 100\%$$

田间试验在全部出土苗达到一叶一心时统计出苗数,计算出苗率。

$$\text{出苗率} = \frac{\text{达一叶一心的出土苗数}}{\text{播种粒}} \times 100\%$$

叶绿素含量:三、五、七叶期取最上 1 片展开定型叶鲜样,采用丙酮提取法测定幼苗叶片叶绿素含量<sup>[13]</sup>。

光响应参数:五叶期时使用 LI-6400 便携式光合作用测定仪,在晴朗天气 10:00-14:00,选取幼苗第 3 片全展叶测定,每个处理测 3 片。通过开放式气路,设定温度为 25 °C,大气 CO<sub>2</sub> 浓度 (Ca) 为 400  $\mu\text{mol/mol}$ ,设定光强梯度 0, 50, 100, 200, 250, 500, 1 000, 1 500, 2 000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,测定叶片在每一光强下的净光合速率 (Pn)、蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 (Gs)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 (Ci) 等指标。利用软件 Photosynthesis 对不同光强下 Pn 进行曲线拟合,得到光饱和点 (LSP)、光补偿点 (LCP)、表观量子效率

(AQY)、最大净光合速率(Pnmax)等参数。

保护酶活性:五叶期取幼苗第3片全展叶,测定保护酶活性和MDA含量,每个处理测3片。参考植物生理生化实验指导<sup>[13]</sup>,采用氮蓝四唑光化还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,采用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶(CAT)活性。

膜脂过氧化产物:采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量。

### 1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2017 软件处理数据,SPSS 22.0 软件进行统计分析,用 SigmaPlot 10.0 和 Graph Pad Prism 5 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 种子大小与播种深度对破土出苗的影响

对破土、出苗率及时间进行方差分析可得,种子大小、播种深度对破土率和出苗率的影响均达到显著水平( $P < 0.05$ ),对破土时间和出苗时间的影响均达到极显著水平( $P < 0.01$ ),但二者互作效应

不显著。由表1可知,种子大小方面,中粒种子最早开始破土出苗,破土率(播后5,6 d)和出苗率(播后6,7 d)显著高于其他粒型种子,大粒种其次,小粒种最低,最终总体表现为中粒种与大粒种差异不显著,但均显著高于小粒种;与种子大小相比,播种深度对种子的破土和出苗率有更为显著的影响,浅播(2 cm)处理各粒型种子出苗时间较早,随播种深度增加,种子的破土、出苗时间延迟,破土、出苗率降低。

各处理的破土( $t = 5 \sim 9$ )、出苗( $t = 6 \sim 10$ )率( $P$ )随播后天数的变化均符合 Logistic 函数( $P = a / (1 + be^{-kt})$ ),回归方程见表2,均达到了极显著水平( $n = 5, P < 0.01$ )。从表中可看出,中、大粒种与小粒种相比,其最终的最大破土、出苗率( $a$ )较高;大粒种进入快速破土、出苗的时间( $t_1$ )略晚,但结束快速破土、出苗的时间( $t_2$ )则较早,其活跃破土、出苗时间( $D$ )明显缩短,表明其破土、出苗较整齐一致;随播种深度增加,进入( $t_1$ )和结束( $t_2$ )快速破土、出苗的时间均推迟,因而达到50%破土、出苗率的时间( $t_{0.5a}$ )也较晚,最终的最大破土、出苗率( $a$ )逐渐降低。

表1 种子大小与播种深度对玉米破土和出苗的影响(盆栽试验)

处理 Treatments	破土率 Break ground rate					出苗率 Emergence rate				
	播后5 d 5 d after sowing	播后6 d 6 d after sowing	播后7 d 7 d after sowing	播后8 d 8 d after sowing	播后9 d 9 d after sowing	播后6 d 6 d after sowing	播后7 d 7 d after sowing	播后8 d 8 d after sowing	播后9 d 9 d after sowing	播后10 d 10 d after sowing
A <sub>1</sub>	16.0 ± 0.2b	38.5 ± 0.6b	75.4 ± 0.2a	91.7 ± 0.2a	92.7 ± 0.3a	6.3 ± 0.3b	49.0 ± 0.6b	85.4 ± 0.3a	91.3 ± 0.1a	92.7 ± 0.3a
A <sub>2</sub>	24.3 ± 0.6a	47.9 ± 0.4a	77.1 ± 0.9a	92.7 ± 0.5a	92.7 ± 0.5a	15.3 ± 0.3a	60.1 ± 0.6a	90.0 ± 0.7a	90.6 ± 0.7a	92.4 ± 0.4a
A <sub>3</sub>	13.9 ± 0.4b	35.4 ± 0.5b	64.3 ± 0.0b	81.3 ± 0.4b	86.5 ± 0.5b	4.9 ± 0.4b	41.3 ± 0.5c	72.9 ± 0.2b	80.9 ± 0.5b	86.5 ± 0.5b
B <sub>1</sub>	54.2 ± 0.4a	88.3 ± 0.3a	93.7 ± 0.4a	94.7 ± 0.3a	95.0 ± 0.2a	25.0 ± 0.5a	86.3 ± 0.5a	93.0 ± 0.3a	94.3 ± 0.2a	95.0 ± 0.2a
B <sub>2</sub>	0.0 ± 0.0b	31.3 ± 0.4b	84.7 ± 0.4b	89.3 ± 0.3b	90.3 ± 0.4ab	13.3 ± 0.2b	52.7 ± 0.1b	87.0 ± 0.4b	88.3 ± 0.3b	90.3 ± 0.4b
B <sub>3</sub>	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0c	38.7 ± 0.9c	81.7 ± 0.4c	86.7 ± 0.6b	0.0 ± 0.0c	11.33 ± 0.4c	68.7 ± 0.4c	80.3 ± 0.4c	86.3 ± 0.5b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。表3同。

Note: The data with different little letters in same column show significantly different among treatments. The same as Tab. 3.

表2 破土、出苗率的 Logistic 函数( $P = a / (1 + be^{-kt})$ )回归方程及其相关参数

处理 Treatments	a	b	k	R <sup>2</sup>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>0.5a</sub>	D	
破土率 Break ground time	A <sub>1</sub>	95.8	1.28E+04	1.527 2	0.996**	5.33	7.05	6.65	3.93
	A <sub>2</sub>	97.0	1.74E+03	1.253 6	0.995**	4.90	7.00	6.50	4.79
	A <sub>3</sub>	89.2	4.56E+03	1.338 4	1.000**	5.31	7.28	6.81	4.48
	B <sub>1</sub>	94.4	5.24E+05	2.693 7	1.000**	4.40	5.38	5.15	2.23
	B <sub>2</sub>	89.6	3.58E+09	3.563 5	1.000**	5.80	6.54	6.37	1.68
	B <sub>3</sub>	85.9	8.80E+10	3.568 8	0.999**	6.69	7.43	7.26	1.68
出苗率 Emergence time	A <sub>1</sub>	91.9	7.60E+07	2.608 8	1.000**	6.45	7.46	7.22	2.30
	A <sub>2</sub>	92.5	5.78E+06	2.317 3	0.998**	6.15	7.29	7.02	2.59
	A <sub>3</sub>	83.8	6.13E+06	2.217 5	0.995**	6.45	7.64	7.36	2.71
	B <sub>1</sub>	94.0	1.86E+09	3.388 9	1.000**	5.91	6.69	6.50	1.77
	B <sub>2</sub>	88.9	6.13E+12	4.260 4	1.000**	6.60	7.22	7.07	1.41
	B <sub>3</sub>	84.0	6.15E+10	3.287 3	0.998**	7.16	7.96	7.77	1.83

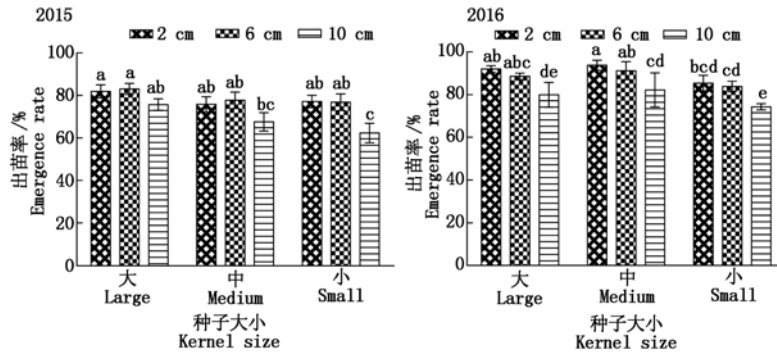
### 2.2 种子大小与播种深度对田间出苗率的影响

方差分析结果表明,种子大小和播种深度均显著影响田间出苗率( $P < 0.05$ ),且2015年二者互作

效应显著( $F = 2.62, P < 0.05$ )。由图1可知,种子大小方面,2015年,大粒种出苗最高,较中粒种和小粒种分别提高8.9%和11.3%;2016年中粒种出苗

率较大粒种和小粒种分别提高 2.6% 和 9.7%; 2 a 试验大、中粒种的出苗率差异不显著, 但均高于小粒种。播种深度方面, 田间出苗率随播种深度增加呈先升高后降低(2015 年)和降低(2016 年)趋势, 其变化幅度在不同种子大小间存在一定差异, 2 a 平

均, 大粒种 2 cm 播深的出苗率分别较 6, 10 cm 高 1.33%, 11.77%, 中、小粒种相应的为 0.37%, 13.18% 和 1.19%, 18.99%, 大粒种在 10 cm 播深处理中的降低幅度小于中、小粒种, 表明大粒种更耐深播。



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。图 3-4 同。

The data with different little letters show significantly different among treatments. The same as Fig. 3-4.

图 1 种子大小与播种深度对玉米出苗率的影响(大田试验)

Fig. 1 Effect of kernel size and sowing depth on emergence rate of maize (field experiments)

### 2.3 种子大小与播种深度对苗期光合性能的影响

2.3.1 种子大小与播种深度对玉米苗期叶片叶绿素含量的影响 如表 3 所示, 随着玉米苗的生长, 叶绿素含量逐渐升高, 种子大小和播种深度对苗期叶片叶绿素含量均有显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ) 影响, 二者互作效应对五叶期叶绿素含量达极显著水平 ( $P < 0.01$ ), 对七叶期叶绿素 b 含量达显著水平 ( $P < 0.05$ )。种子大小在不同时期叶绿素 (含叶绿素 a、b) 含量存在差异, 总体表现均为大粒种 > 中粒种 > 小粒种, 且随着生育进程推进, 含量差异逐渐缩小。3 个播深平均, 三叶期时, 大粒种的

叶绿素 a、b 含量较中粒种和小粒种分别提高 17.2%, 29.3% 和 41.5%, 43.2%, 七叶期时的相应提高幅度分别为 10.6%, 13.7% 和 17.3%, 16.2%, 远小于三叶期。随播种深度增加, 三叶期时各种子大小处理的叶绿素 a、b 含量均降低, 五叶期时大多数种子大小处理升高, 七叶期除小粒种叶绿素 b 含量外, 其余全部升高, 三叶期时 2 cm 播深的平均叶绿素 a、b 含量分别较 6 cm 播深提高 1.7%, 0.0%, 较 10 cm 播深提高 15.1%, 16.9%, 七叶期是则分别降低 15.7%, 21.0% 和 25.7%, 22.5%, 其中以中、大粒种降低的幅度较大, 表明出苗初期浅播苗生长较好, 叶绿素含

表 3 种子大小与播种深度对玉米幼苗叶片叶绿素含量的影响

Tab. 3 Effect of kernel size and sowing depth on chlorophyll content of maize seedling

mg/g

处理 Treatments	三叶期 Three-leaf stage			五叶期 Five-leaf stage			七叶期 Seven-leaf stage			
	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素 Chl	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素 Chl	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素 Chl	
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	2.35 ± 0.18a	0.54 ± 0.05ab	2.89 ± 0.22a	2.69 ± 0.13c	0.64 ± 0.07abc	3.33 ± 0.19cd	4.86 ± 0.11e	1.34 ± 0.11e
	B <sub>2</sub>	2.21 ± 0.08a	0.58 ± 0.02a	2.79 ± 0.12a	3.28 ± 0.40ab	0.71 ± 0.14ab	3.99 ± 0.40ab	5.92 ± 0.74bc	1.60 ± 0.29b	7.52 ± 0.71b
	B <sub>3</sub>	1.98 ± 0.05b	0.46 ± 0.05bc	2.44 ± 0.13b	3.59 ± 0.46a	0.82 ± 0.04a	4.41 ± 0.42a	6.48 ± 0.79a	1.79 ± 0.21a	8.27 ± 1.21a
A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	1.88 ± 0.03bc	0.43 ± 0.0bed	2.31 ± 0.03b	2.99 ± 0.17bc	0.56 ± 0.12bc	3.55 ± 0.18bed	4.31 ± 0.39f	1.10 ± 0.12d	5.41 ± 0.40d
	B <sub>2</sub>	1.96 ± 0.19b	0.43 ± 0.03cd	2.39 ± 0.18b	3.28 ± 0.31ab	0.65 ± 0.04abc	3.93 ± 0.33ab	5.12 ± 0.35de	1.39 ± 0.11c	6.51 ± 0.48c
	B <sub>3</sub>	1.75 ± 0.14cd	0.38 ± 0.02cd	2.13 ± 0.14c	3.21 ± 0.17abc	0.69 ± 0.15abc	3.90 ± 0.23abc	6.20 ± 0.55ab	1.58 ± 0.23b	7.78 ± 0.76ab
A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	1.63 ± 0.02de	0.41 ± 0.08cd	2.04 ± 0.07c	2.91 ± 0.19bc	0.49 ± 0.07cd	3.40 ± 0.17bcd	4.31 ± 0.08f	1.21 ± 0.04cd	5.52 ± 0.14d
	B <sub>2</sub>	1.59 ± 0.19e	0.37 ± 0.08cd	1.96 ± 0.27c	3.11 ± 0.21abc	0.51 ± 0.08cd	3.62 ± 0.25bcd	4.95 ± 0.41de	1.63 ± 0.20ab	6.58 ± 0.65c
	B <sub>3</sub>	1.41 ± 0.05f	0.34 ± 0.08d	1.75 ± 0.09d	2.92 ± 0.18bc	0.32 ± 0.09d	3.24 ± 0.26d	5.47 ± 0.28cd	1.34 ± 0.28c	6.81 ± 0.42c
平均 Average	A <sub>1</sub>	2.18 ± 0.09a	0.53 ± 0.04a	2.71 ± 0.13a	3.19 ± 0.19a	0.72 ± 0.02a	3.91 ± 0.20a	5.75 ± 0.41a	1.58 ± 0.10a	7.33 ± 0.51a
	A <sub>2</sub>	1.86 ± 0.19b	0.41 ± 0.00b	2.28 ± 0.18b	3.16 ± 0.10a	0.63 ± 0.10a	3.79 ± 0.19ab	5.21 ± 0.40ab	1.36 ± 0.08b	6.57 ± 0.47b
	A <sub>3</sub>	1.54 ± 0.08c	0.37 ± 0.05b	1.92 ± 0.12c	2.98 ± 0.06a	0.44 ± 0.03b	3.42 ± 0.03b	4.91 ± 0.11b	1.39 ± 0.12b	6.30 ± 0.23b
F 值 F-value	A	22.6 **	14.0 **	350.9 **	1.1	13.7 **	46.6 *	8.6 *	84.8 **	17.2 *
	B	3.8 *	3.1	19.8 **	3.8 *	0.6	20.2 **	76.3 **	25.2 **	67.2 **
	A × B	0.3	0.4	1.2	1.5	2.3	11.3 **	1.9	4.5 *	2.4

注: \* 表示方差分析结果在  $P < 0.05$  水平显著; \*\* 表示方差分析结果在  $P < 0.01$  水平显著。

Note: \*, \*\* represent that the results of ANOVA is significant difference at the  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level, respectively.

量较高,之后则深播的表现出一定优势,至七叶期时叶绿素含量均较大幅度超过浅播,尤其是中、大粒种。  
2.3.2 种子大小与播种深度对玉米苗期光合参数的影响 由图2可知,不同种子大小、播深处理的光照强度对苗期的影响也有差异。随光强上升,叶片净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $Tr$ )上升,胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )降低,但上升或下降的幅度逐渐变小,表现为渐近(饱和)曲线。种子大小和播种深度对玉米叶片的光合特性有较大影响,总体表现为大粒种的  $P_n$  较小粒种高,在弱光( $\leq 250 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )条件下浅播(2 cm 播深)的  $P_n$  较高,而强光条件下,中、小粒在6 cm播深时的  $P_n$  较高,尤其是小粒种。

种子大小和播种深度对五叶期玉米叶片的光合性能也有一定影响(表4),总体而言,大粒种与小粒种相比,具有更高的光饱和点、表观量子效率和最大净光合速率,3个播深平均,分别高50.8%、32.6%、21.8%,二者的光补偿点差异不大;中粒种的表现量子效率平均比小粒种高14.3%,随播种深度增加,光饱和点和最大净光合速率有增加的趋势;最大净光合速率在种子大小和播种深度之间还存在一定互作效应,大、中粒种以深播(10 cm 播深)最大,但分别以中等(6 cm 播深)和浅播(2 cm 播深)最小,而小粒种则以播深中等(6 cm 播深)最大,以浅播(2 cm 播深)最小,表明大粒种更耐深播,中粒种次之,小粒种耐深播能力相对较弱。

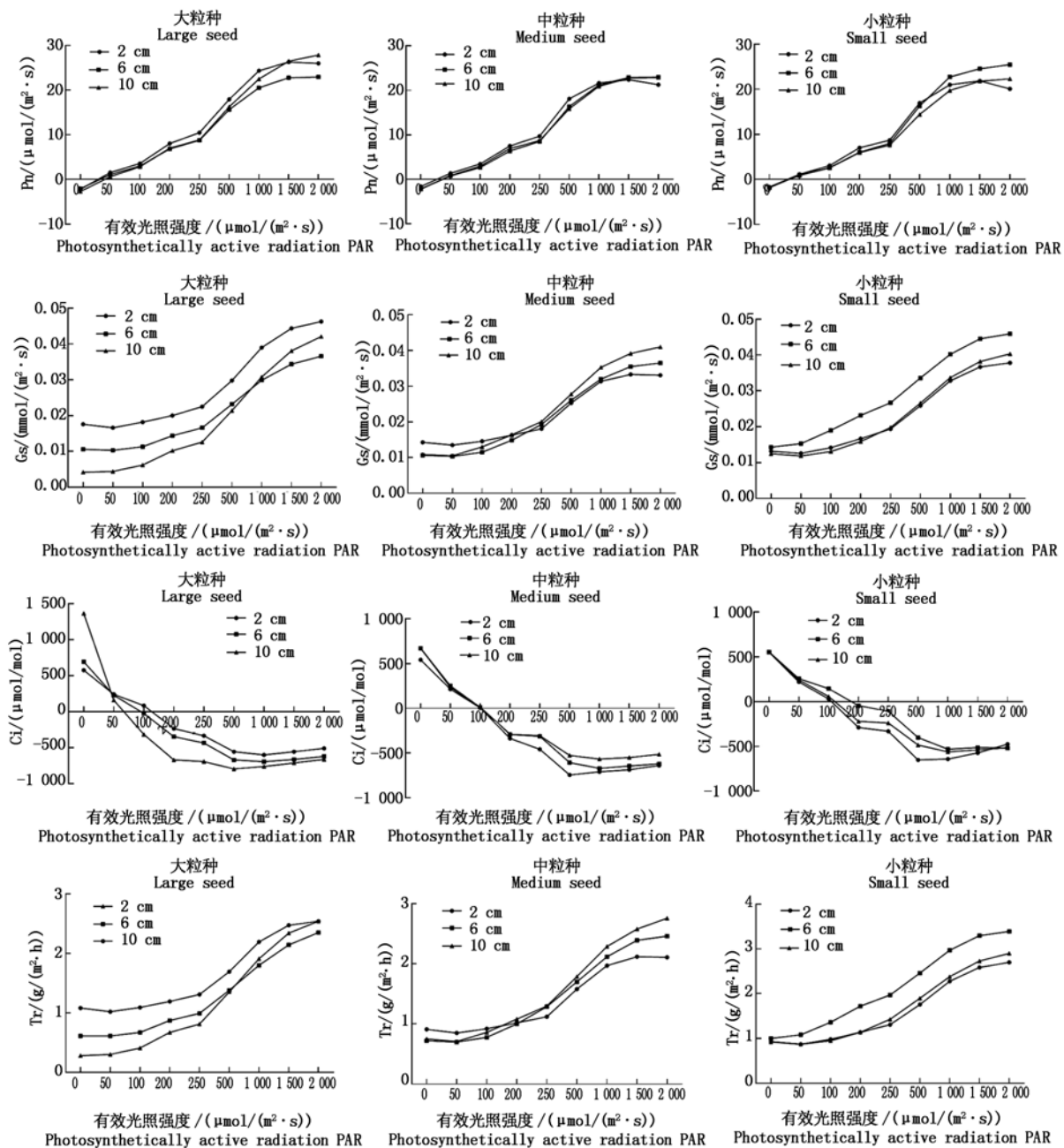


图2 不同有效光照强度下各处理光合特性散点图

Fig.2 Scatter plot of photosynthetic characteristics of each treatment under different PAR

表 4 不同光强下各处理光合作用拟合参数

Tab. 4 Fit parameters of photosynthesis of each treatment under different light intensity

处理 Treatments		光饱和点 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	光补偿点 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	表观量子效率 $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$	最大净光合速率 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
		LSP	LCP	AQY	Pnmax
A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	1 848	32	0.067	30.03
	B <sub>2</sub>	1 828	36	0.059	26.45
	B <sub>3</sub>	3 132	40	0.069	36.04
A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	980	28	0.055	23.72
	B <sub>2</sub>	1 420	40	0.053	25.53
	B <sub>3</sub>	1 712	36	0.059	26.25
A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	1 036	32	0.051	22.97
	B <sub>2</sub>	1 716	36	0.049	28.03
	B <sub>3</sub>	1 760	36	0.047	24.94
平均 Average	A <sub>1</sub>	2 269	36	0.065	30.84
	A <sub>2</sub>	1 371	35	0.056	25.17
	A <sub>3</sub>	1 504	35	0.049	25.31

## 2.4 种子大小与播种深度对苗期抗逆性的影响

2.4.1 种子大小与播种深度对幼苗保护酶活性的影响 SOD、POD 和 CAT 等保护酶可以保护细胞膜、敏感分子等不受活性氧的伤害。方差分析结果表明,种子大小和播种深度对五叶期玉米苗叶片的保护酶活性的影响显著( $P < 0.05$ ),但二者互作效应不显著。由图 3 可以看出,3 种保护酶的活性均随种子变小或播深增加而呈降低趋势,3 个播深平

均,大粒种的 SOD、POD、CAT 活性(以鲜质量计)分别较中粒和小粒种高 8.34% 和 60.76%,1.74% 和 12.60%,14.76% 和 31.05%;3 个种子大小平均,浅播(2 cm)处理的 SOD、POD、CAT 活性分别较 6,10 cm 播深处理高 13.59% 和 40.47%,12.10% 和 31.65%,11.84% 和 29.26%,这可能与浅播处理较深播处理易遭受干旱胁迫有关。

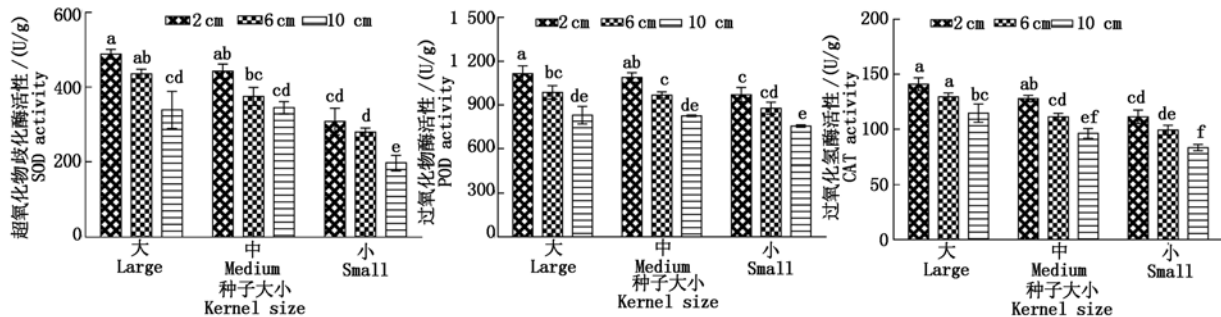


图 3 种子大小与播种深度对玉米幼苗保护酶活性的影响

Fig. 3 Effect of kernel size and seeding depth on protective enzyme activity of maize seedlings

2.4.2 种子大小与播种深度对幼苗丙二醛含量的影响 植物在逆境中遭受伤害将发生膜脂过氧化反应,最终生成丙二醛(MDA),含量高低表示植株遭受逆境的严重程度。方差分析结果表明,种子大小和播种深度对幼苗丙二醛含量的影响达显著水平( $P < 0.05$ ),二者互作效应极显著( $F = 6.51, P < 0.01$ )。从图 4 可知,增大粒型和增加播深将减小五叶期叶片的丙二醛含量。大种子幼苗的丙二醛含量(以鲜质量计)较中、小种子的分别降低 7.12% 和 13.63%,表明小粒种较大粒种受干旱胁迫大、抗旱性弱;在不同播种深度处理中,3 个种子大小平均,播深为 10 cm 处理幼苗的丙二醛含量较 6,2 cm 处理平均降低 6.63% 和 18.36%,深播与浅播比,幼苗受干旱

胁迫影响小,故丙二醛含量维持在较低水平。

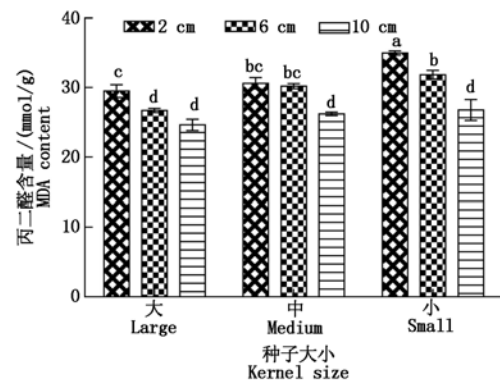


图 4 种子大小与播种深度对玉米幼苗丙二醛含量的影响

Fig. 4 Effect of kernel size and seeding depth on MDA content of maize seedlings

### 2.5 光合性能与叶绿素含量、保护酶活性和丙二醛含量的相关性分析

由表 5 可知,光饱和点、光补偿点与叶绿素含量呈正相关,与保护酶活性及丙二醛含量呈负相关,其中光饱和点与叶绿素及丙二醛含量、光补偿点与叶绿素及叶绿素 a 含量的相关系数达显著水平

表 5 光合性能与叶绿素含量、保护酶活性和丙二醛含量的相关性

Tab.5 Correlation of photosynthetic performance with chlorophyll content, protective enzyme activity and malondialdehyde content

指标 Index	叶绿素 Chl	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	超氧化物歧化酶 SOD	过氧化氢酶 CAT	过氧化物酶 POD	丙二醛 MDA
光饱和点 LSP	0.64 *	0.61	0.54	-0.09	-0.03	-0.45	-0.74 *
光补偿点 LCP	0.65 *	0.73 *	0.36	-0.36	-0.40	-0.63	-0.50
表观量子效率 AQY	0.53	0.30	0.83 **	0.63	0.62	0.27	-0.51
最大净光合速率 Pnmax	0.59	0.50	0.63	0.12	0.19	0.19	-0.56

注: \* 表示相关关系在  $P < 0.05$  水平显著; \*\* 表示相关关系在  $P < 0.01$  水平显著。

Note: \*, \*\* represent that the correlation is significant at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level, respectively.

### 3 结论与讨论

种子的萌发受其贮藏营养物质以及环境温度、土壤含水量等影响,前人研究表明,种子大小和播种深度也是影响种子萌发出苗的重要因素<sup>[14]</sup>。一般认为大粒种因贮藏营养物质较多,故种子越大,其活力指数较强,表现出较高的田间出苗率<sup>[15]</sup>。本试验结果也表明,大、中粒种不仅萌芽、出苗率高,而且活跃破土、出苗期短,出苗整齐度较高,为苗全、苗齐和苗匀奠定了良好基础。多数研究认为深播将延缓出苗时间、降低幼苗出苗率<sup>[16-18]</sup>。若播种深度过深,因土壤通气性差、氧气浓度过低、二氧化碳浓度过高等原因可能使种子进入次生休眠期<sup>[19-20]</sup>,即使种子能够正常萌发,也可能会因深度过深而导致无法破土出苗<sup>[21]</sup>。本研究也表明,深播会延缓破土、出苗时间,显著降低最终的破土、出苗率,但并不是在所有条件下均是播种越浅出苗率越高,在 2015 年的田间试验中,播种后因连续高温无雨,表层土壤干旱较为严重,2 cm 播深的田间出苗率还略低于 6 cm 播深,而且深播对出苗率影响的程度因种子大小而异,其中大粒种受影响的程度较小,表明大粒种更耐深播。

光合作用是植物正常生长的生理基础,可以反映植株长势和抗旱性强弱<sup>[22]</sup>。叶绿素含量是重要生理指标之一,研究表明,叶绿素含量对光合及生理特性有显著影响<sup>[23]</sup>。王威等<sup>[24]</sup>研究表明,大种子的叶绿素含量始终高于小种子。本研究表明,大粒种三-七叶期的叶绿素 a、b 含量均较小粒种和中粒种高,表观量子效率、(最大)净光合速率(Pn 和 Pnmax)也较高,光合生产能力较强,为壮苗奠定了

( $P < 0.05$ )。表观量子效率、最大净光合效率与叶绿素含量、保护酶活性呈正相关,与 MDA 含量呈负相关,其中表观量子效率与叶绿素 b 含量呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。结果表明,提高玉米叶片的叶绿素含量,降低 MDA 含量有利于提高其光合性能。

良好基础;播深对玉米苗叶绿素含量的影响在不同时期(叶龄)存在较大差异,三叶期时浅播的叶绿素含量较高,五、七叶期后深播的叶绿素含量较高,其相应的表观量子效率、(最大)净光合速率(Pn 和 Pnmax)也较高,光合生产能力较强,其主要原因可能是浅播因土壤温度较高,通气较好,出苗较快,初期生长较好,但土壤水分易散失,因而之后的生长逐渐受到干旱威胁,而深层土壤墒情相对较好,因而深播的优势逐渐得以体现,光合性能逐渐超过浅播处理。程秋博等<sup>[14]</sup>研究也证明适当深播情况下,幼苗后期表现出生长优势,且最终增产效果显著。

植物遭受干旱胁迫将导致气孔关闭、从而降低光合作用,卡尔文循环减少了对还原力 NADPH 的需要,光合电子传递链将被过度还原且传递受阻<sup>[25]</sup>,过剩的光能转化为 Mehler 反应的激发能传给分子态氧,形成的超氧自由基  $O_2^-$  在 SOD 的催化下生成  $H_2O_2$ <sup>[26]</sup>。在探究植物逆境下的反应机理中,超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶是植物活性氧代谢过程中极为重要的保护酶,是活性氧的清除剂<sup>[27]</sup>。本研究结果表明,SOD、POD 和 CAT 保护酶活性随种子变大而升高,随播种深度增加而降低,说明大粒种抗逆能力较强,小粒种抗逆性较差,王威等<sup>[24]</sup>的研究也证明这一点。浅播(2 cm)处理的保护酶活性显著高于深播处理,可能是由于表层土壤失水产生干旱所致,而深播(10 cm)处理由于土壤墒情较好,干旱胁迫程度较小,因而丙二醛(MDA)含量也较低,这与前人在其他植物上的研究结果基本一致<sup>[24]</sup>。

大、中粒种与小粒种相比,不仅破土、出苗率高,而且破土、出苗较整齐,幼苗生长更健壮,叶绿



素 a、b 含量以及 SOD、POD 和 CAT 活性更高, 表观量子效率 (AQY)、(最大) 净光合速率 ( $P_n$  和  $P_{nmax}$ ) 更大, MDA 含量更低; 播种深度增加, 破土、出苗时间推迟, 破土、出苗率降低, 特别是小粒种; 浅播与深播相比, 出苗初期 (三叶期) 的叶绿素含量较高, 但五、七叶期后则降低, 其 SOD、POD 和 CAT 活性和 MDA 含量也更低, 表观量子效率 (AQY)、(最大) 净光合速率 ( $P_n$  和  $P_{nmax}$ ) 更低, 表明深播不利于玉米出苗, 但有利于增强其苗后期的抗逆性和光合性能。

### 参考文献:

- [1] 岳丽杰, 文涛, 杨勤, 李卓, 李奇, 刘永红. 不同播种深度对玉米出苗的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(5): 88-93. doi:10.3969/j.issn.1005-0906.2012.05.019. Yue L J, Wen T, Yang Q, Li Z, Li Q, Liu Y H. Effects of different sowing depths on seeding emergence of maize [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(5): 88-93.
- [2] 王玉贞, 刘志全, 王国琴, 李勇. 玉米高产与群体整齐度间关系的调查分析[J]. 玉米科学, 2000, 8(2): 43-45. doi:10.3969/j.issn.1005-0906.2000.02.012. Wang Y Z, Liu Z Q, Wang G Q, Li Y. Investigation on relationship between high yield and population's uniformity in maize [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2000, 8(2): 43-45.
- [3] 关小康, 杨明达, 白田田, 韩静丽, 黄洁, 王静丽, 王同朝. 适宜深播提高地下滴灌夏玉米出苗率促进苗期生长[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 75-80. doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.13.011. Guan X K, Yang M D, Bai T T, Han J L, Huang J, Wang J L, Wang T Z. Suitable deep sowing increasing emergence rate and promoting summer maize growth in seeding stage under subsurface drip irrigation [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(13): 75-80.
- [4] 杨慧玲, 梁振雷, 朱选伟, 梅世秀, 王会勤, 申艳, 黄振英. 沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(24): 7757-7763. doi:10.5846/stxb201201170105. Yang H L, Liang Z L, Zhu X W, Mei S X, Wang H Q, Shen Y, Huang Z Y. Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of *Caragana korshinskii* Kom. (Fabaceae) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(24): 7757-7763.
- [5] 赵哈林, 曲浩, 周瑞莲, 云建英, 李瑾, 王进. 沙埋对差巴嘎蒿幼苗存活、生长及光合特性的影响[J]. 中国草地学报, 2014, 36(2): 6-11. doi:10.3969/j.issn.1673-5021.2014.02.002. Zhao H L, Qu H, Zhou R L, Yun J Y, Li J, Wang J. Effect of sand burial survival, height growth, photosynthesis and transpiration rate of *Artemisia halodendron* [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2014, 36(2): 6-11.
- [6] 殷东生, 魏晓慧. 干旱胁迫对风箱果幼苗生长、光合生理和抗氧化酶活性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(1): 26-29, 34. doi:10.3969/j.issn.1000-5382.2019.01.005. Yin D S, Wei X H. Influence of drought stress on growth, photosynthetic physiology and antioxidant enzyme activities of *Physocarpus amurensis* seedlings [J]. *Journal of Northeast Forest University*, 2019, 47(1): 26-29, 34.
- [7] Sohrabi Y, Heidari G, Weisany W, Golezani K G, Mohammadi K. Changes of antioxidative enzymes, lipid peroxidation and chlorophyll content in chickpea types colonized by different *Glomus* species under drought stress [J]. *Symbiosis*, 2012, 56(1): 5-18. doi:10.1007/s13199-012-0152-8.
- [8] 曹慧英, 史建国, 朱昆仑, 董树亭, 刘鹏, 赵斌, 张吉旺. 播种深度对夏玉米冠层结构及光合特性的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(1): 102-109. doi:10.13597/j.cnki.maize.science.20160117. Cao H Y, Shi J G, Zhu K L, Dong S T, Liu P, Zhao B, Zhang J W. Effects of sowing depth on canopy structure and photosynthetic characteristics of summer maize [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2016, 24(1): 102-109.
- [9] 陈彩锦, 王秉龙, 王川, 高婷, 江雪琴, 马克成, 朱新忠, 李海秋, 金学平. 不同耕作方式和播种深度对燕麦苗期生理特性及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(7): 85-87. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.020. Chen C J, Wang B L, Wang C, Gao T, Jiang X Q, Ma K C, Zhu X Z, Li H Q, Jin X P. Effects of different tillage methods and sowing depth on physiological characteristics at seedling stage and grain yield of oats [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(7): 85-87.
- [10] 李丽淑, 樊吴静, 杨鑫, 谭冠宁, 唐洲萍, 何虎翼. 不同栽培方式、播种深度对冬种马铃薯土壤水热及产量的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(4): 673-679. doi:10.16213/j.cnki.scjas.2018.4.006. Li L S, Fan W J, Yang X, Tan G N, Tang Z P, He H T. Effects of different cultivation methods and sowing depth on soil water, temperature and yield of winter potato [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 31(4): 673-679.
- [11] 曹慧英, 王丁波, 史建国, 朱昆仑, 董树亭, 刘鹏, 赵斌, 张吉旺. 播种深度对夏玉米幼苗性状和根系特性的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2397-2404. doi:10.13287/j.1001-9332.20150521.015. Cao H Y, Wang D B, Shi J G, Zhu K L, Dong S T, Liu P, Zhao B, Zhang J W. Effects of sowing depth on seedling traits and root characteristics of summer maize [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(8): 2397-2404.
- [12] 李月明, 王成. 不同播种深度对不同玉米品种种子活力的影响[J]. 种子, 2019, 38(2): 30-36. doi:10.16590/j.cnki.1001-4705.2019.02.030. Li Y M, Wang C. Effects of different sowing depth on seed vigor of maize varieties [J]. *Seed*, 2019, 38(2): 30-36.
- [13] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. Zou Q. Guidance of plant physiology experiment [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995.
- [14] 程秋博, 李孝东, 孔凡磊, 张嶙, 王兴龙, 郭翔, 袁继超. 干旱条件下籽粒大小与播种深度对夏玉米幼苗生长及产量的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(5): 167-173. doi:10.7668/hbxb.2016.05.025. Cheng Q B, Li X D, Kong F L, Zhang D, Wang X L,



- Guo X, Yuan J C. Effect of grain size and sowing depth on seedling growth and yield of summer maize in drought condition[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2016, 31(5): 167-173.
- [15] 杜江洪, 赵宇宏, 李文革, 赵国强, 慈艳华, 孟繁盛, 霍剑锋. 种子大小分级对玉米种子活力、生长发育和产量的影响[J]. 中国种业, 2017(5): 48-50. doi: 10.19462/j.cnki.1671-895x.20170424.022.
- Du J H, Zhao Y H, Li W G, Zhao G Q, Ci Y H, Meng F S, Huo J F. The effect of seed size grading on seed vigor of maize, growth and yield[J]. *China Seed Industry*, 2017(5): 48-50.
- [16] 闫兴富, 仇智虎, 张婧, 张靠稳, 周云锋. 种皮和播种深度对辽东栎种子萌发和幼苗早期生长的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(1): 53-60. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2009.06.011.
- Yan X F, Qiu Z H, Zhang Q, Zhang K W, Zhou Y F. Effects of coat and sowing depth on seed germination and early seedling growth of *Quercus wutaishanica*[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(1): 53-60.
- [17] 张金峰, 闫兴富, 孙毅, 罗永红. 柠条种子萌发对不同光照强度和沙埋深度的响应[J]. 生态学杂志, 2018, 37(11): 3262-3269. doi: 10.13292/j.1000-4890.201811.023.
- Zhang J F, Yan X F, Sun Y, Luo Y H. Responses of seed germination of *Caragana korshinskii* Kom. to light intensity and sand burial depth[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(11): 3262-3269.
- [18] 温都日呼, 王铁娟, 张颖娟, 吴芳芳. 沙埋与水分对科尔沁沙地主要固沙植物出苗的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(9): 2985-2992. doi: 10.5846/stxb201306181733.
- Wen D R H, Wang T J, Zhang Y J, Wu F F. Effects of water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of three sand-fixing *Artemisia* plants in Horqin Sandy Land[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(9): 2985-2992.
- [19] 朱雅娟, 董鸣, 黄振英. 沙埋和种子大小对固沙禾草沙鞭的种子萌发与幼苗出土的影响[J]. 植物生态学报, 2005, 29(5): 730-739. doi: 10.3321/j.issn:1005-264X.2005.05.005.
- Zhu Y J, Dong M, Huang Z Y. Effects of sand burial and seed size on seed germination and seedling emergence of *Psammochloa villosa* [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(5): 730-739.
- [20] Huang Z Y, Gutterman Y. *Artemisia monosperma* a-chene germination in sand: effects of sand depth, sand/water content, cyanobacterial sand crust and temperature[J]. *Journal of Arid Environments*, 1998, 38(1): 27-43. doi: 10.1006/jare.1997.0329.
- [21] 谢明惠, 陈浩梁, 张光玲, 林璐璐, 苏卫华. 温度、土壤湿度和播种深度对花生种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 花生学报, 2017, 46(2): 52-59. doi: 10.14001/j.issn.1002-4093.2017.02.008.
- Xie M H, Chen H L, Zhang G L, Lin L L, Su W H. Effects of temperature, soil moisture and sowing depths on the seed germination and seedling growth of peanut [J]. *Journal of Peanut Science*, 2017, 46(2): 52-59.
- [22] 张仁和, 薛吉全, 浦军, 赵兵, 张兴华, 郑友军, 卜令铎. 干旱胁迫对玉米苗期植株生长和光合特性的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(3): 521-528. doi: 10.3724/SP.J.1006.2011.00521.
- Zhang R H, Xue J Q, Pu J, Zhao B, Zhang X H, Zheng Y J, Pu L D. Influence of drought stress on plant growth and photosynthetic traits in maize seedlings[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(3): 521-528.
- [23] 刘丽琴, 张永清, 李鑫, 王姣. 烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆生长及其根系生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2017, 37(1): 144-153. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.01.0144.
- Liu L Q, Zhang Y Q, Li X, Wang J. Influence of seed soaking with uniconazole on growth and root physiological characteristics of adzuki bean under drought stress [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2017, 37(1): 144-153.
- [24] 王威, 胡海银. 玉米籽粒大小与其植株内源保护酶活性及单株种子产量的关系[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(4): 44-48. doi: 10.3969/j.issn.1003-4315.2013.04.010.
- Wang W, Hu H Y. Relationship between seed size and protective endoenzyme activity and yield per plant in maize [J]. *Journal of Gansu Agriculture University*, 2013, 48(4): 44-48.
- [25] Mittler R, Vanderauwera S, Gollery M, Breusegemb F V. Reactive oxygen gene network of plants[J]. *Trends in Plant Science*, 2004, 9(10): 490-498. doi: 10.1016/j.tplants.2004.08.009.
- [26] 魏国强, 朱祝军, 方学智, 李娟, 程俊. NaCl胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长、叶绿素荧光特性和活性氧代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1754-1759. doi: 10.3321/j.issn:0578-1752.2004.11.031.
- Wei G Q, Zhu Z J, Fang X Z, Li J, Cheng J. The effects of NaCl stress on plant growth, chlorophyll fluorescence characteristics and active oxygen metabolism in seedlings of two cucumber cultivars[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(11): 1754-1759.
- [27] 董杰, 陈新新, 杨倩, 张怀渝, 陈洋尔. 高光、水分和盐胁迫下小麦光合特性和抗氧化酶系统的比较[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(3): 315-322. doi: 10.7606/j.issn.1009-1041.2018.03.09.
- Dong J, Chen X X, Yang Q, Zhang H Y, Chen Y E. Effects of high light, water and salt stresses on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme system in wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(3): 315-322.