

· 研究报告 ·

大豆植株不同冠层种子活力及其萌发中抗氧化酶活性

陈思羽, 刘鹏, 朱末, 夏冬冬, 李亮, 徐克章, 陈展宇, 张治安*

吉林农业大学农学院, 长春 130118

摘要 以吉农15号和吉农24号大豆(*Glycine max*)品种为材料, 根据植株高度平均分为下部、中下部、中部、中上部和上部5个冠层, 分析不同冠层种子百粒重、种子活力及萌发7天子叶中抗氧化酶活性和丙二醛含量的变化。结果表明, 随着植株冠层的升高, 大豆百粒重呈先略上升后逐渐下降的趋势, 上部冠层种子的百粒重最小。大豆植株下部与中下部冠层种子的发芽率和发芽势较高; 并且该两层的种子活力指数显著高于中上部与上部冠层, 种子萌发后幼苗的茎粗也显著大于中上部及上部冠层幼苗。下部与中下部冠层种子萌发时子叶中的抗氧化酶活性高于上部, 而丙二醛含量低于上部, 说明该两层的大豆种子活力高, 萌发后幼苗健壮且子叶新陈代谢旺盛, 是优选良种的最佳冠层。

关键词 大豆, 种子活力, 抗氧化酶活性

陈思羽, 刘鹏, 朱末, 夏冬冬, 李亮, 徐克章, 陈展宇, 张治安 (2016). 大豆植株不同冠层种子活力及其萌发中抗氧化酶活性. 植物学报 51, 24–30.

大豆(*Glycine max*)是全冠层结荚作物(James, 2004), 时间效应导致不同冠层大豆种子的成熟度不同, 空间效应导致不同冠层大豆种子的某些品质性状不同(庄炳昌和徐豹, 1990)。针对这两种效应, 科研工作者进行了冠层光合作用和产量分布等多项研究, 以期为大豆高产品种选育和栽培提供参考(Escalante and Wilcox, 1993; 庄波等, 2010)。冯引弟等(2014)研究了大豆不同节位叶片光合能力及其与产量的关系, 发现改善大豆中上部节位叶片的光合能力可以使大豆产量提高。苗以农等(1989)认为在大豆籽粒鼓粒期, 植株中上部叶片与中下部叶片相比, 有较高的比叶重和叶绿素a/b比值, 以适应外界强光和内部种子生长发育的需要, 有利于产量的形成。庄炳昌和徐豹(1990)的研究得出, 蛋白质含量较高的部位是上层和下层, 脂肪则在中下层含量较高。孙卓韬和董钻(1986)研究表明, 有限性品种应着重提高中层的生产能力; 无限性品种的产量主要取决于上层和上层生产力的发挥; 亚有限型品种则应上、中和下层生产力协调发展, 均衡增长。

目前, 对种子活力的研究仍然是种子生理学研究的热点之一(刘军等, 2001)。种子活力是种子潜力的综合表现, 它决定了种子萌发的潜力、出苗的一致性

和幼苗正常发育的能力(曹栋栋, 2010; Ertsey and Muschick, 2010)。大豆子叶在种子萌发过程中新陈代谢旺盛, 转化自身营养物质供幼苗生长时会产生许多活性氧, 从而诱发抗氧化酶活性增加, 清除过氧化物(Shim et al., 2003; Chen et al., 2006; Dong et al., 2010)。谢特立和Tekrony (2005)研究了不同冠层大豆种子的发芽率与电导率, 结果表明下部冠层种子的发芽率最高。但是, 关于不同冠层大豆种子活力及其萌发时抗氧化酶活性的研究尚未见报道。本实验以吉农15号和吉农24号两个大豆品种为材料, 测定了不同冠层种子的活力指标, 以及在萌发时超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)和过氧化氢酶(hydrogen peroxidase, CAT)的活性及丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量, 系统分析了不同冠层种子活力及其萌发时抗氧化酶活性的变化, 以期为优选良种和高产栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为大豆(*Glycine max* (L.) Merr.)品种吉农15

收稿日期: 2015-01-18; 接受日期: 2015-04-14

基金项目: 国家自然科学基金(No.31171478)、国家 863 计划(No.2011AA105)和吉林省自然科学基金(No.201215178)

* 通讯作者。E-mail: zhangzhian6412@163.com

号和吉农24号, 由吉林农业大学大豆研究所提供。

1.2 实验设计与材料培养

田间实验于2013年在吉林省长春市(43°31'48"N, 125°6'E)吉林农业大学大豆实验田进行, 作物生长期(5-10月)的年平均降雨量为567 mm, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温为2 880 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期140天。每个品种种植5行, 行长5 m, 行距0.65 m, 3次重复, 种植密度为 $2.0 \times 10^5 \text{ plant}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。于5月1日播种, 采用人工点播方式, 于苗期定苗, 田间管理与一般大田相同, 成熟期取小区中间3行, 两头各去0.5 m收获。

将收获的大豆按株高平均分为下部、中下部、中部、中上部和上部5个冠层(金剑等, 2004), 然后把每一冠层上的种子分别脱粒, 用于种子活力和生理指标的测定。

1.3 测定方法

每个冠层设置3次重复, 用电子天平测量百粒重。分别挑选籽粒完整且大小均匀的大豆种子300粒, 每个重复100粒, 用0.1%的 HgCl_2 溶液浸泡消毒10分钟, 去离子水清洗干净并用滤纸吸干水分后置于直径12.5 cm的培养皿内培养, 培养皿底部铺有滤纸, 每个培养皿中加有适量的蒸馏水, 恒温箱($(25 \pm 1)^{\circ}\text{C}$, 12/12)中培养。每天补充一定量的蒸馏水, 并记录发芽数。

萌发到第7天, 每冠层的每次重复随机选取生长一致的幼苗10株, 先用游标卡尺测定幼苗的茎粗, 用直尺测定幼苗的下胚轴长和根长。然后将幼苗烘干称重, 再把子叶分离, 并与幼苗分别称重。按下列公式计算发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数(钱森和等, 2009)。

$$\text{发芽率} = (\text{第7天发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽势} = (\text{第3天发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽指数} = \sum(\text{Gt}/\text{Dt})$$

$$\text{活力指数} = \text{幼苗干重} \times \text{发芽指数}$$

其中, Gt为t日内的发芽数, Dt为相应的发芽天数。

超氧化物歧化酶(SOD)活性用氮蓝四唑(Nitro-blue tetrazolium, NBT)光化学还原法(张治安和陈展宇, 2008)测定, 以抑制NBT光氧化还原50%的酶量为1个酶活力单位, 用 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ 表示; 过氧化物酶(POD)

活性测定采用愈创木酚法(张治安和陈展宇, 2008), 酶活性以 $\Delta\text{A}_{470}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ 表示; 过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法(张治安和陈展宇, 2008)测定, 以每分钟减少0.1个 A_{240} 值所需的酶量为1个酶活力单位, 用 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ 表示; 丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(4,6-dihydroxy-2-mercaptopyrimidine, TBA)显色法(张治安和陈展宇, 2008)。

1.4 数据处理

先用Microsoft Excel 2003系统进行数据处理, 然后用SPSS Ver.16.0软件(SPSS Inc., USA, IL: Chicago)进行差异显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 不同冠层种子的百粒重变化

百粒重是体现种子大小与充实程度的一项指标, 不同冠层的大豆种子百粒重存在差异。从图1可以看出, 中下层的百粒重最大, 说明中下层的种子最大。随着冠层的升高, 两个品种百粒重均呈先略上升后逐渐下降的趋势, 上部的种子最小。吉农15号中下部的百粒重分别比下部、中部及中上部高0.68%、0.73%和4.79%, 但未达显著水平, 中下部种子百粒重比上部高6.13%, 差异显著($P < 0.05$); 吉农24号中下部的百粒重分别比下部及中部高0.59%和3.19%, 但差异不

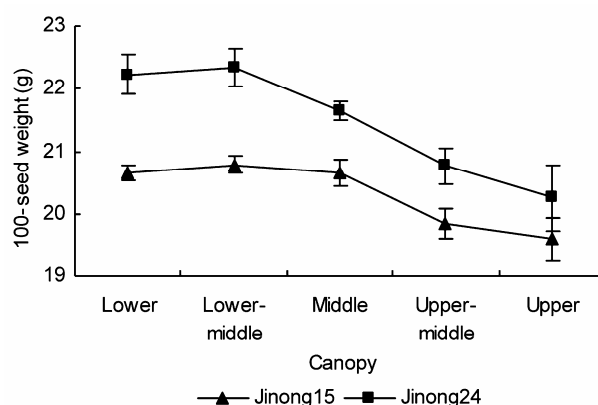


图1 大豆植株不同冠层种子的百粒重变化

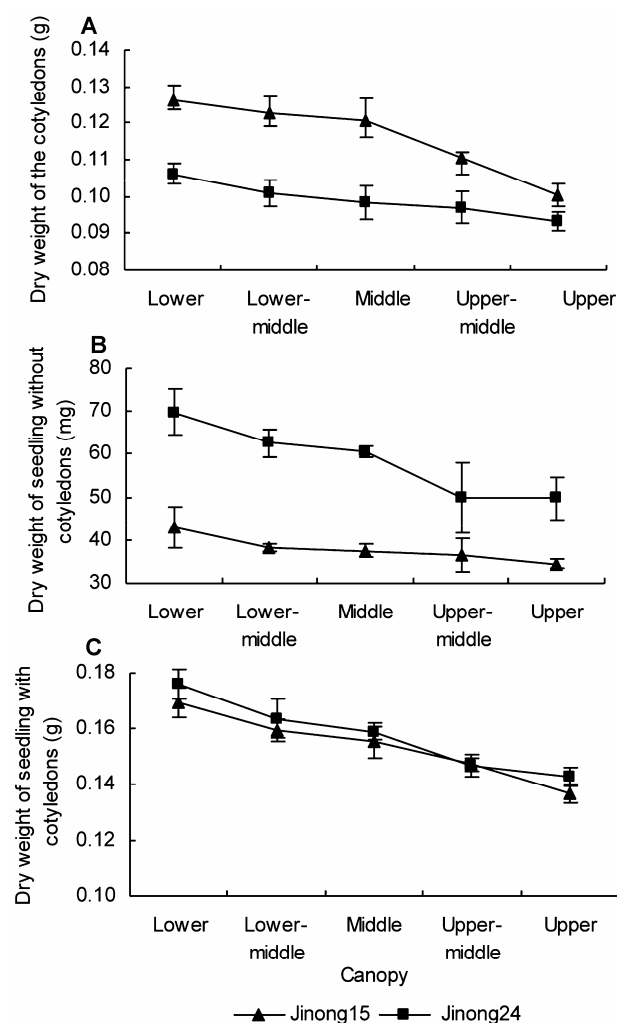
Figure 1 Changes of 100-seed weight in different canopy of soybean plant

表1 大豆植株不同冠层种子的发芽率和发芽势变化**Table 1** Changes of germination rate and germination potential of seed in different canopy of soybean plant

Canopy	Jinong15		Jinong24	
	Germination rate (%)	Germination potential (%)	Germination rate (%)	Germination potential (%)
Lower	99.4 ^a	93.0 ^a	100.0 ^a	99.2 ^a
Lower-middle	99.2 ^a	92.4 ^a	99.2 ^a	96.0 ^{ab}
Middle	98.1 ^a	89.4 ^b	99.2 ^a	92.1 ^c
Upper-middle	97.5 ^a	90.6 ^{ab}	98.4 ^a	94.4 ^{bc}
Upper	97.1 ^a	92.9 ^a	98.4 ^a	96.8 ^{ab}

同一品种同一列中不同上标小写字母表示在0.05水平上差异显著。

Values within a variety and a column followed by a different superscript lowercase letter are significant difference at 0.05 probability level.

**图2** 大豆植株不同冠层幼苗的各部位干重

(A) 子叶干重; (B) 去子叶幼苗干重; (C) 带子叶幼苗干重

Figure 2 Dry weight of each part in different canopy of soybean seedling

(A) Dry weight of the cotyledons; (B) Dry weight of seedling without cotyledons; (C) Dry weight of seedling with cotyledons

显著, 中下部种子的百粒重分别比中上部及上部高7.61%和10.32%, 差异显著($P < 0.05$)。

2.2 不同冠层种子的发芽率和发芽势变化

从表1可以看出, 吉农15号和吉农24号大豆种子萌发到第7天时发芽率随着冠层由下往上呈下降趋势, 下层的发芽率高, 上层的发芽率低, 但两个品种各冠层的种子发芽率差异均未达到显著水平。吉农15号和吉农24号的发芽势随着冠层从下往上表现为先下降后上升, 中层的发芽势最低。中部种子的发芽势显著低于下部、中下和上部($P < 0.05$)。

2.3 不同冠层种子萌发后幼苗各部位干重的变化

子叶是大豆重要的贮藏器官, 其贮藏的营养物质用于种子萌发和幼苗的生长。图2A显示了大豆种子萌发到第7天不同冠层子叶干重的变化, 随着冠层由下往上, 子叶干重呈下降趋势, 下部的子叶干重最大。吉农15号下层、中下层和中层的子叶干重比中上层及上层的子叶干重高, 且差异达显著水平($P < 0.05$), 吉农24号下层和中下层的子叶干重也显著高于上层($P < 0.05$)。

从图2B可以看出, 吉农15号和吉农24号去子叶幼苗干重随着冠层从下往上呈逐渐下降趋势, 下层的去子叶幼苗干重最大, 上层最小。去子叶幼苗干重代表了转化为幼苗生长的贮藏物质和光合产物的多少。吉农15号下层去子叶幼苗干重分别比中下层、中层、中上层及上层高12.64%、14.87%、17.53%和24.73%, 吉农24号下层无子叶幼苗干重分别比中下层、中层、中上层及上层高11.43%、15.09%、40.20%和40.50%。

图2C显示, 吉农15号和吉农24号带子叶幼苗干重随着冠层从下往上逐渐降低。下层带子叶幼苗干

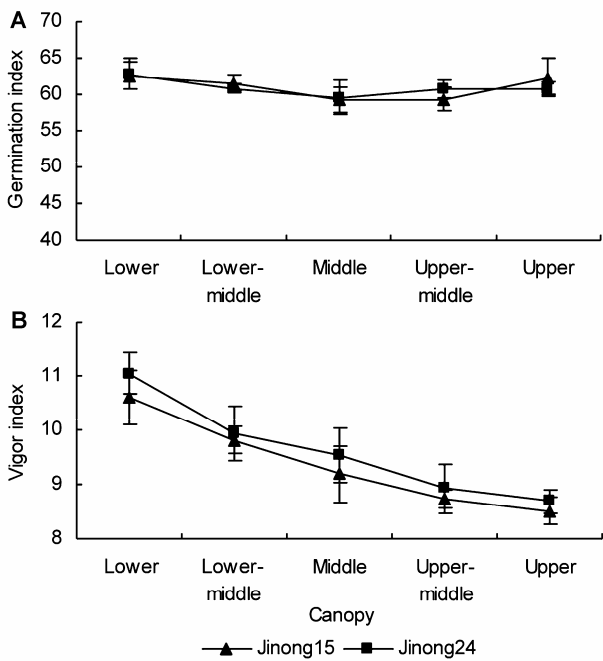


图3 大豆植株不同冠层种子的发芽指数(A)及活力指数(B)变化

Figure 3 Changes of germination index (A) and vigor index (B) in different canopy of soybean plant

重显著高于其它冠层, 中下层带子叶幼苗干重显著高于中上层和上层。吉农15号下层带子叶幼苗干重分别比中下层、中层、中上层及上层重6.31%、9.25%、15.13%和24.12%; 吉农24号下层带子叶幼苗干重分别比中下层、中层、中上层及上层重7.61%、10.71%、19.90%和23.17%。

2.4 不同冠层种子的发芽指数和活力指数变化

由图3A可知, 吉农15号和吉农24号的发芽指数先降低后升高, 中层的发芽指数最小, 但各冠层之间种子发芽指数的差异未达显著水平。图3B显示了不同冠层大豆种子活力指数随着冠层从下往上呈下降趋势, 下部的种子活力指数最大, 说明下部的种子活力最高。下部及中下部冠层的种子活力指数显著高于上部和中上部冠层($P<0.05$), 而中上部与上部冠层的种子活力指数间差异未达显著水平。吉农15号品种下部冠层的种子活力指数分别比中部、中上部及上部的高15.41%、21.50%和24.67%。吉农24号下部冠层的种

子活力指数分别比中部、中上部及上部高15.93%、23.82%和27.07%。

2.5 不同冠层种子萌发后幼苗茎粗和下胚轴长度变化

幼苗茎和下胚轴的生长状况能够反应幼苗的健壮程度, 评估幼苗对恶劣环境的适应能力, 并且对产量有重要的影响。从表2可以看出, 吉农15号和吉农24号的茎粗随着冠层从下往上呈逐渐变小趋势, 下层种子萌发后幼苗茎粗最大, 下层和中下层幼苗茎粗显著大于中上层及上层幼苗($P<0.05$)。吉农15号的幼苗下层茎粗分别比中下层、中层、中上层及上层高2.27%、5.63%、8.17%和8.70%; 吉农24号的幼苗茎粗, 下层分别比中下层、中层、中上层及上层高1.02%、3.13%、10.61%和15.12%。

两个品种上部冠层幼苗的下胚轴最长, 中下部冠层幼苗的下胚轴最短。吉农15号中下部冠层幼苗的下胚轴显著短于其它冠层, 分别比下层、中层、中上层及上层短5.46%、7.16%、9.93%和22.53%。吉农24号中下部冠层幼苗的下胚轴分别比下层、中层、中上层及上层短4.71%、4.71%、6.87%和8.81%, 并且与它们的差异达显著水平($P<0.05$)。

2.6 不同冠层种子萌发过程中抗氧化酶活性及MDA含量变化

从表3可以看出, 吉农15号和吉农24号种子萌发时子叶的SOD活性随着冠层从下往上逐渐降低, 下部的SOD活性最高, 中下部次之, 上部最低。吉农15号下部冠层种子萌发时子叶的SOD活性比中部、中上部及上部分别高9.86%、16.25%和23.43%, 且差异显著($P<0.05$)。吉农24号下部冠层种子萌发时子叶的SOD活性比中部、中上部及上部分别高20.38%、37.57%和55.23%, 且差异显著($P<0.05$)。

萌发第7天, 不同冠层大豆子叶中的POD活性呈先上升后下降趋势, 中下部的POD活性最高。吉农15号中下部大豆子叶中的POD活性比下部、中部、中上部及上部高8.51%、9.27%、10.19%和13.71%, 各冠层差异未达显著水平。吉农24号中下部大豆子叶中的POD活性比下部、中部、中上部以及上部高3.73%、4.38%、9.09%和19.38%, 上部的POD活性显著低于

表2 大豆植株不同冠层种子萌发后幼苗茎粗和下胚轴长度变化(平均值±SE)**Table 2** Differences of stem diameter and hypocotyl length in different canopy of soybean seedling (means±SE)

Canopy	Jinong15		Jinong24	
	Stem diameter (mm)	Hypocotyl length (cm)	Stem diameter (mm)	Hypocotyl length (cm)
Lower	2.25±0.035 a	4.64±0.14 b	1.98±0.023 a	7.91±0.13 b
Lower-middle	2.20±0.067 ab	4.39±0.08 c	1.96±0.041 a	7.53±0.04 c
Middle	2.13±0.058 bc	4.72±0.19 b	1.92±0.066 a	7.91±0.18 b
Upper-middle	2.08±0.037 c	4.87±0.14 b	1.79±0.083 b	8.09±0.23 ab
Upper	2.07±0.069 c	5.66±0.03 a	1.72±0.058 b	8.26±0.05 a

同一列中不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

Values within a column followed by a different lowercase letter are significant difference at 0.05 probability level.

表3 大豆植株不同冠层种子萌发过程中抗氧化酶活性及MDA含量变化**Table 3** Changes of antioxidant enzyme activities and MDA content during seed germination in different canopy of soybean

Canopy	Antioxidant enzyme activities			MDA contents (nmol·g ⁻¹)	
	SOD activities (U·g ⁻¹)	POD activities (ΔA ₄₇₀ ·min ⁻¹ ·g ⁻¹)	CAT activities (U·g ⁻¹)		
Jinong15	Lower	1005.5±16.1 a	24.0±2.83 a	338.1±15.7 a	36.0±0.48 c
	Lower-middle	951.6±10.7 b	26.1±1.52 a	308.6±10.8 ab	36.9±1.46 c
	Middle	915.2±6.7 c	23.9±1.78 a	301.6±20.1 b	38.1±0.30 c
	Upper-middle	865.0±12.5 d	23.7±0.77 a	298.9±23.8 b	46.5±1.66 b
	Upper	814.6±27.3 e	22.9±0.42 a	280.4±13.3 b	55.4±2.54 a
Jinong24	Lower	756.7±24.7 a	36.9±0.33 a	251.6±9.45 a	42.7±1.15 d
	Lower-middle	720.4±12.5 a	38.3±3.78 a	229.5±6.4 ab	44.7±2.10 cd
	Middle	628.6±20.5 b	36.7±1.09 a	225.7±12.1 bc	47.3±1.37 c
	Upper-middle	550.0±10.6 c	35.1±0.59 ab	214.8±15.0 cd	52.6±1.63 b
	Upper	487.4±11.6 d	32.1±1.70 b	201.9±13.5 d	58.4±0.62 a

同一品种同一列中不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

Values within a variety and a column followed by a different lowercase letter are significant difference at 0.05 probability level.

中部、下部和中部下部($P<0.05$)。

萌发7天时的大豆种子从下部到上部冠层,子叶中CAT活性变化规律与SOD相似,也呈由高到低的变化趋势,下部的CAT活性最高,上部最低。吉农15号下部冠层大豆种子萌发时子叶中CAT活性分别比中部、中上部及上部高12.09%、13.09%和20.55%,且差异显著($P<0.05$),但中下部、中部、中上部及上部之间的差异不显著。吉农24号下部大豆子叶中CAT活性分别比中部、中上部及上部高11.49%、17.14%和24.66%,且差异达显著水平($P<0.05$)。

从表3还可看出,随着冠层的上升大豆子叶中的丙二醛含量逐渐增加。吉农15号下部、中下部和中部大豆子叶中的丙二醛含量显著低于中上部以及上部($P<0.05$),并且下部、中下部、中部及中上部的丙二醛含量分别比上部低34.92%、33.40%、31.25%和16.06%,且差异显著($P<0.05$),但是下部、中下部和

中部大豆子叶中的丙二醛含量差异未达到显著水平。吉农24号下部、中下部、中部及中上部大豆子叶中的丙二醛含量分别比上部低26.92%、23.50%、19.03%和9.80%,且差异达显著水平($P<0.05$)。

2.7 讨论

陈禅友(1992)的研究表明,种子成熟度越高,出苗率越高。杨晓杰和孙志琳(2003)的研究指出,大豆的种子活力会影响到田间的种植及产量。孙卓韬和董钻(1986)的研究指出,在生育前期幼苗茎秆粗壮,出苗健壮,有利于获得理想株型,提高抗倒伏能力。本实验结果表明,下部及中下部冠层的大豆种子籽粒大,发芽率高,活力指数大,发芽后幼苗的茎也比其它冠层粗。这与下部冠层籽粒的成熟度好,籽粒更饱满有关。

种子萌发过程中,各种代谢活动启动,产生的活

性氧会导致细胞膜结构破坏, 而杨永青和汪晓峰(2004)的研究曾提到在种子膜结构的保持与修复过程中, 许多不同类的保护物质(如糖和酶等)参与了反应, 并且膜系统具有较强自身保护及修复能力的种子, 活力更强。SOD在植物细胞的叶绿体、线粒体和细胞质中均有分布, 其主要功能是催化 O_2^- 歧化为 H_2O_2 , 保护细胞膜(Takahashi et al., 1983; Alscher et al., 2002; Dong et al., 2010)。种子在萌发过程中, 产生的活性氧可由SOD、CAT和POD清除, SOD把超氧游离基变成 H_2O_2 、CAT及POD, 把 H_2O_2 变成 H_2O 和 O_2 (Alscher et al., 2002; Dong et al., 2010), 维持活性氧的动态平衡, 减轻活性氧导致的脂质过氧化作用, 保护种子在萌发过程中膜结构的完整性。CAT活性越高, 清除的 H_2O_2 越多, 从而减轻细胞膜结构的损伤, 延缓大豆子叶的衰老。丙二醛是细胞质膜脂质过氧化的产物之一, 其含量高低及种子浸出液的外渗电导率大小可以反映细胞膜脂的过氧化水平、膜受伤程度(张治安等, 2005; 李合生, 2006)及衰老程度。本实验结果表明, 萌发7天时下层及中下层大豆子叶中的SOD、CAT和POD活性高, 丙二醛含量低, 中上层及上层的抗氧化酶活性低, 丙二醛含量高, 说明下层及中下层的大豆种子萌发时子叶新陈代谢旺盛, 衰老速度慢, 有利于幼苗的生长。

随着大豆植株各冠层从下往上, 百粒重呈先略增高然后下降的变化趋势, 各冠层种子的发芽率无显著差异, 中层的发芽势最低。下层及中下层大豆种子的活力指数高, 去子叶幼苗干重也高, 幼苗茎粗大, 子叶中抗氧化酶活性高, 丙二醛含量低, 种子长出的幼苗健壮, 子叶中供给幼苗生长的营养物质丰厚, 新陈代谢旺盛, 是优选良种的最佳冠层。

参考文献

- 曹栋栋 (2010). 多胺对超甜玉米种子发育过程种子质量和萌发的调控作用研究. 博士论文. 杭州: 浙江大学. pp. 4–24.
- 陈禅友 (1992). 豇豆种子活力研究进展. 种子 **5**, 45–47.
- 冯引弟, 徐克章, 季平, 张鹏, 徐晨, 李大勇 (2014). 新老大豆品种不同节位叶片性状及其与籽粒产量的相关性研究. 西北农林科技大学学报 **42**, 61–68.
- 金剑, 刘晓冰, 王光华 (2004). 不同熟期大豆 R_4 – R_5 期冠层某些生理生态性状与产量的关系. 中国农业科学 **37**, 1293–1300.
- 李合生 (2006). 现代植物生理学(第3版). 北京: 高等教育出版社. pp. 324–325.
- 刘军, 黄上志, 傅家瑞, 汤学军 (2001). 种子活力与蛋白质关系的研究进展. 植物学通报 **18**, 46–51.
- 苗以农, 朱长甫, 姜艳秋, 刘学军 (1989). 大豆不同生育期不同节位叶片的比叶重及叶绿素和全氮含量. 中国油料 **4**, 44–48.
- 钱森和, 厉荣玉, 杨超英, 汤斌, 薛正莲 (2009). PSB对大豆种子活力及其生物学特性影响的研究. 种子 **28**, 25–28.
- 孙卓韬, 董钻 (1986). 大豆株型、群体结构与产量关系的研究第二报大豆群体冠层的荚粒分布. 大豆科学 **5**, 91–102.
- 谢特立, Tekrony DM (2005). 品种、种植密度与结荚位对大豆种子活力的影响研究. 中国生态农业学报 **13**, 69–72.
- 杨晓杰, 孙志琳 (2003). 阿司匹林和复方新诺明对大豆种子萌发及活力的影响. 植物生态学报 **27**, 667–671.
- 杨永青, 汪晓峰 (2004). 种子活力与生物膜的研究现状. 植物学通报 **21**, 641–648.
- 张治安, 陈展宇 (2008). 植物生理学实验指导. 长春: 吉林大学出版社. pp. 100–111, 180–193.
- 张治安, 王振民, 徐克章 (2005). Cd胁迫对萌发大豆种子中活性氧代谢的影响. 农业环境科学学报 **24**, 670–673.
- 庄炳昌, 徐豹 (1990). 大豆不同节位种子蛋白质脂肪及其组成的分布. 中国油料 **3**, 42–44.
- 庄波, 徐克章, 杜双洋, 李大勇, 张治安 (2010). 新、老大豆品种冠层产量和光合作用的比较. 华南农业大学学报 **31**, 6–9.
- Alscher RG, Erturk N, Health LS (2002). Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *J Exp Bot* **53**, 1331–1341.
- Chen JY, Wen PF, Kong WF, Pan QH, Zhan JC, Li JM, Wan SB, Huang WD (2006). Effect of salicylic acid on phenylpropanoids and phenylalanine ammonia-lyase in harvested grape berries. *Postharvest Biol Tec* **40**, 64–72.
- Dong JE, Wan GW, Liang ZS (2010). Accumulation of salicylic acid-induced phenolic compounds and raised activities of secondary metabolic and antioxidative enzymes in *Salvia miltiorrhiza* cell culture. *J Biotechnol* **148**, 99–104.
- Ertsey DK, Muschick M (2010). Seed Testing International No.139. <http://www.seedtest.org.html>.
- Escalante EE, Wilcox JR (1993). Variation in seed protein among nodes of determinate and indeterminate soybean near-isolines. *Crop Sci* **33**, 1166–1168.
- James EB (2004). Soybean cultivar differences on light interception and leaf area index during seed filling. *Agron J*

96, 305–311.

Shim IS, Momose Y, Yamamoto A, Kim DW, Usui K (2003). Inhibition of catalase activity by oxidative stress and its relationship to salicylic acid accumulation in plants.

Plant Growth Regul **39**, 285–292.

Takahashi MA, Asada K (1983). Superoxide anion permeability of phospholipids membranes and chloroplast thylakoids. *Arch Biochem Biophys* **226**, 558–566.

Seed Vigor and Antioxidant Enzyme Activities During Germination in Different Canopies of Soybean

Siyu Chen, Peng Liu, Mo Zhu, Dongdong Xia, Liang Li, **Kezhang Xu**, Zhanyu Chen, Zhian Zhang*

College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

Abstract Jinong 15 and Jinong 24 were divided into 5 canopies by plant height—lower, lower-middle, middle, upper-middle and upper—for analyzing 100-seed weight, seed vigor, changes in antioxidant enzyme activities and MDA content with germination for 7 d in different canopies of soybean cotyledon. Soybean 100-seed weight increased slightly and then decreased gradually with increasing canopy, with the upper ones being the lightest. The germination rate and germination potential were higher in the low and lower-middle heights, and their vigor indexes were significantly higher than in the upper-middle and upper heights. The stem diameter of seed germination seedlings were significantly greater in the lower and lower-middle heights than in the upper-middle and upper heights. The antioxidant enzyme activities of the cotyledon during seed germination were higher in the lower and lower-middle heights than the upper height, but the MDA content was less than in the upper height. The low and lower-middle part was the best canopy because the seed vigor was high, seedlings were robust, and cotyledon metabolism was vigorous.

Key words soybean, seed vigor, antioxidant enzyme activities

Chen SY, Liu P, Zhu M, Xia DD, Li L, Xu KZ, Chen ZY, Zhang ZA (2016). Seed vigor and antioxidant enzyme activities during germination in different canopies of soybean. *Chin Bull Bot* **51**, 24–30.

* Author for correspondence. E-mail: zhangzhian6412@163.com