

# 重金属 Cu 和 Zn 对小麦种子萌发和生物量的影响

鲁先文, 何俊 (淮南师范学院, 安徽淮南 232001)

**摘要** [目的] 研究  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  对小麦种子萌发和幼苗生长的影响。[方法] 以小麦品种博爱 7422 为材料, 以完全营养液培养为对照, 研究不同浓度 (5、10、25、50、125、250、500 mg/L)  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  污染对其种子萌发、幼苗生长、叶绿素含量的影响。[结果] 低浓度  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\leq 50$  mg/L) 和  $\text{Zn}^{2+}$  ( $\leq 10$  mg/L) 可促进小麦种子萌发和幼苗生长, 高浓度  $\text{Cu}^{2+}$  ( $> 50$  mg/L) 和  $\text{Zn}^{2+}$  ( $> 10$  mg/L) 对小麦种子萌发有抑制作用。低浓度  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  污染对小麦幼苗叶绿素含量无明显影响; 高浓度  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  污染可降低小麦幼苗叶绿素含量, 当  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  浓度为 25 mg/L 时, 小麦幼苗叶绿素含量分别比 CK 降低了 44.51%、23.02%, 当  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  浓度达到 500 mg/L 时, 小麦幼苗叶绿素含量分别为 CK 的 31.35%、47.15%。[结论] 低浓度  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  对小麦种子萌发和幼苗生长无明显影响, 而高浓度有抑制作用。

**关键词**  $\text{Cu}^{2+}$ ;  $\text{Zn}^{2+}$ ; 小麦; 生物量; 种子萌发; 叶绿素含量

**中图分类号** S512.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2008)35-15346-03

## Effect of Heavy Metals Cu and Zn on Seed Germination and Biomass of Wheat

LU Xian-wen et al (Huainan Normal University, Huainan, Anhui 232001)

**Abstract** [Objective] The study was to research the effect of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  on seed germination and seedling growth of wheat. [Method] With wheat variety Boai 7422 as the material and culture with complete nutrient solution as CK, the effects of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  pollution with different concn. (5, 10, 25, 50, 125, 250, 500 mg/L) on seed germination, seedling growth and chlorophyll content in wheat were studied. [Result]  $\text{Cu}^{2+}$  with low concn ( $\leq 50$  mg/L) and  $\text{Zn}^{2+}$  with low concn. ( $\leq 10$  mg/L) could promote seed germination and seedling growth of wheat,  $\text{Cu}^{2+}$  with high concn. ( $> 50$  mg/L) and  $\text{Zn}^{2+}$  with high concn. ( $> 10$  mg/L) had inhibition on seed germination of wheat.  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  with low concn had no obvious effects on chlorophyll content in wheat seedlings.  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  with high concn. could decrease chlorophyll content in wheat seedlings, when  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  were 25 mg/L, the chlorophyll contents in wheat seedlings were lower 44.51% and 23.02% than that of CK resp, and when  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  reached 500 mg/L, the chlorophyll contents in wheat seedlings were 31.35% and 47.15% of that of CK resp. [Conclusion]  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  with low concn had no obvious effects on seed germination and seedling growth of wheat, but  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  with high concn. had inhibition on them.

**Key words**  $\text{Cu}^{2+}$ ;  $\text{Zn}^{2+}$ ; Wheat; Biomass; Seed germination; Chlorophyll content

重金属污染因其化学行为和生态效应的复杂性以及对人类健康和社会可持续发展危害的严重性, 已成为人们关注的焦点, 而且已成为一个全球性的环境问题。铜、锌既是植物生长发育所必需的微量元素又是污染环境的重金属元素, 同时过量使用会使作物受到毒害<sup>[1-2]</sup>。目前, 有关 Cu、Zn 污染对小麦种子萌发及幼苗生长的影响的研究较少。笔者研究 Cu、Zn 污染对小麦种子萌发、幼苗生长、叶绿素含量的影响, 为其在小麦生产上的应用提供一定的科学依据。

### 1 材料与方法

**1.1 材料** 供试小麦品种为博爱 7422 (Fraternity 7422)。

**1.2 方法** 分别用 5、10、25、50、125、250、500 mg/L 的  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  水溶液培养小麦种子, 每个处理设 3 次重复, 以完全营养液 (Hoagland) 培养为对照, 测定各处理小麦种子的萌发率、幼苗根长、茎长和根、茎的重量以及叶绿素含量。

**1.2.1 小麦种子萌发指标测定及分析。** 培养 7 d 后每处理取 10 株幼苗测定各处理小麦幼苗的根长、苗长和种子发芽率。根长从胚轴与根之间的过渡点开始测量。

**1.2.2 小麦生物量的测定。** 将小麦连根取出, 先用自来水冲洗, 然后用滤纸吸干水分, 用剪刀将根部与茎部分开, 分别称量, 得茎鲜重和根鲜重。将根和茎分别置于干燥箱中, 在 105 °C 条件下烘 1 h 杀死活体, 再在 84 °C 条件下烘 20 h 至恒重, 分别称量根和茎的干重。

**1.2.3 叶绿素含量的测定。** 称取新鲜小麦叶片 0.5 g 放入研钵中, 加纯丙酮 5 ml、少许碳酸钙和石英砂, 研磨成匀浆。

将匀浆转入量筒中, 并用适量 80% 丙酮洗涤研钵, 用 80% 丙酮定容至 10 ml, 吸取定容后的溶液 2.5 ml 加入盛有 10 ml 80% 丙酮的量筒中, 混匀、过滤, 得色素提取液。取 4 ml 色素提取液, 转入比色杯中, 以 80% 丙酮为对照, 分别测定其在 663、645 nm 处的光密度值。按公式  $CT = Ca + Cb = 8.02 \times OD_{663} + 20.21 \times OD_{645}$  计算色素提取液中叶绿素 a + b 的浓度。再根据稀释倍数分别计算新鲜叶片中叶绿素的含量。

叶绿素含量 (mg/g) = [叶绿素浓度 × 提取液体积 × 稀释倍数] / 样品鲜重。

### 2 结果与分析

**2.1  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  对小麦种子萌发率的影响** 由表 1 和表 2 可知, 小麦种子萌发时, 其对  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  的反应分成 2 步; 在极低的浓度下,  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  对小麦种子发芽率的影响不显著, 但有一定的刺激作用; 随着浓度升高, 发芽率迅速下降, 直至完全被抑制。

表 1  $\text{Cu}^{2+}$  对小麦种子发芽率及幼苗生理指标的影响

Table 1 Effects of  $\text{Cu}^{2+}$  on the seed germination rate and seedling physiological indices of wheat

$\text{Cu}^{2+}$ mg/L	发芽率//%	侧根数//个	根长//cm	苗长//cm	根冠比
	Germination rate	Lateral root number	Root length	Seedling length	Root-shoot ratio
0	96	6	8.18	15.13	1.85
5	94	6	9.37	16.36	1.75
10	94	7	9.20	16.45	1.79
25	98	6	9.12	15.31	1.68
50	92	8	6.34	10.64	1.68
125	70	8	2.99	12.43	4.16
250	64	6	0.99	10.88	10.99
500	32	4	0.34	10.22	30.06

**基金项目** 安徽省教育厅科研资助项目 (KJ2007B341ZC)。

**作者简介** 鲁先文 (1970-), 男, 安徽霍邱人, 讲师, 从事植物生理生态方面的研究。

**收稿日期** 2008-10-06

表 2 Zn<sup>2+</sup> 对小麦种子发芽率及幼苗生理指标的影响  
Table 2 Effects of Zn<sup>2+</sup> on the seed germination rate and seedling physiological indices of wheat

Zn <sup>2+</sup> mg/L	发芽率//% 侧根数//个		根长//cm	苗长//cm	根冠比
	Germination rate	Lateral root number	Root length	Seedling length	Root-shoot ratio
0	96	6	8.18	15.13	1.85
5	94	5	9.77	17.58	1.79
10	88	7	9.28	16.80	1.81
25	86	7	9.07	16.23	1.79
50	70	5	8.14	14.78	1.82
125	74	5	9.36	16.29	1.74
250	60	6	6.42	14.74	2.30
500	40	7	3.13	12.29	3.93

低浓度(≤50 mg/L)的 Cu<sup>2+</sup> 可促进小麦种子萌发和幼苗生长,而高浓度(>50 mg/L)的 Cu<sup>2+</sup> 对小麦种子萌发有抑制作用,且浓度越大,抑制作用越明显。

低浓度(≤10 mg/L)的 Zn<sup>2+</sup> 可促进小麦种子萌发和幼苗生长,而高浓度(>10 mg/L)的 Zn<sup>2+</sup> 对小麦种子萌发有抑制作用,且浓度越大,抑制作用越明显。

**2.2 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 对小麦幼苗根冠比的影响** 由表 1 可知, Cu<sup>2+</sup> 浓度低于 50 mg/L 时对小麦根的生长影响较小,说明低浓度的 Cu<sup>2+</sup> 是小麦幼苗生长所必需的。而当 Cu<sup>2+</sup> 浓度高于 50 mg/L 时,小麦根的生长受到抑制,当 Cu<sup>2+</sup> 浓度为 125 ~ 500 mg/L 时,根的生长停留在瘤状物阶段,呈焦黄或黑色。试验还发现,小麦芽的生长也受到了抑制,但远不如根受到的抑制作用大。由表 2 可知,50 ~ 500 mg/L 的 Zn<sup>2+</sup> 能够抑制小麦种子发芽及幼苗地上部和根系的生长,但低于 10 mg/L 的 Zn<sup>2+</sup> 能促进小麦种子萌发和幼苗地上部及根系生长。Zn<sup>2+</sup> 对小麦根冠比的影响不如 Cu<sup>2+</sup> 明显。

**2.3 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 对小麦幼苗生物量的影响** 由表 3 可知, Cu<sup>2+</sup> 浓度低于 50 mg/L 时,对小麦幼苗生物量的影响较小,高于 50 mg/L 时,对小麦幼苗生物量的抑制作用较显著,且浓度越大,抑制作用越明显。由表 4 可知,小麦幼苗生物量对 Zn<sup>2+</sup> 不太敏感,Zn<sup>2+</sup> 浓度高于 250 mg/L 时,对小麦幼苗生物量的抑制作用才比较明显。

表 3 Cu<sup>2+</sup> 对小麦幼苗生物量的影响

Table 3 Effects of Cu<sup>2+</sup> on the seedling biomass of wheat  
g/10 株

Cu <sup>2+</sup> mg/L	根鲜重	苗鲜重	生物量(干)
	Root fresh weight	Seedling fresh weight	Biomass
0	0.671 6	2.098 5	0.293 7
5	0.300 8	1.651 9	0.265 7
10	0.317 1	1.752 3	0.269 9
25	0.295 5	1.763 4	0.272 5
50	0.145 9	0.794 1	0.204 2
125	0.233 5	1.183 2	0.185 5
250	0.110 6	0.445 2	0.159 1
500	0.106 6	0.352 9	0.119 1

**2.4 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 对小麦幼苗叶绿素含量的影响** 光合作用是绿色植物特有的生理功能,叶绿素是植物光合作用的物质基础,因而植物叶片中叶绿素含量的高低是反映植物光合能力的一个重要指标。Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 对植物光合作用的影响可以

发生在细胞色素及其生化过程的不同层次上,对细胞色素的影响主要表现为抑制叶绿素的合成或引起叶绿素破坏。过量的 Cu<sup>2+</sup> 还会影响光合系统,引起类囊体结构和功能的破坏,这种破坏既可发生在光氧化侧,又可发生在光还原侧,主要是对初级电子供体和受体含量的影响<sup>[3]</sup>。

表 4 Zn<sup>2+</sup> 对小麦幼苗生物量的影响

Table 4 Effects of Zn<sup>2+</sup> on the seedling biomass of wheat

Zn <sup>2+</sup> mg/L	根鲜重	苗鲜重	生物量(干)
	Root fresh weight	Seedling fresh weight	Biomass
0	0.671 6	2.098 5	0.293 7
5	0.317 9	1.596 3	0.268 9
10	0.283 1	1.624 2	0.279 1
25	0.273 6	1.610 5	0.283 4
50	0.293 4	1.140 6	0.264 4
125	0.725 4	2.070 5	0.298 2
250	0.361 9	1.613 0	0.265 6
500	0.283 4	1.025 4	0.224 4

对供试小麦叶片的叶绿素含量分析结果表明,受到重金属离子胁迫的小麦,其叶片的叶绿素含量随重金属污染浓度的增加呈降低趋势。低浓度的重金属对小麦叶片中叶绿素含量的影响不明显,随着重金属浓度的逐步增高,小麦叶绿素含量逐渐减少,在该试验浓度范围内,处理组的叶绿素含量都比对照组的低很多。不同重金属对小麦叶绿素合成的抑制率不同。当 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 处理浓度为 25 mg/L 时,小麦幼苗叶片中叶绿素含量分别比对照降低了 44.51%、23.02%,与对照的差异达到极显著水平;而当 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 处理浓度达到 500 mg/L 时,小麦幼苗叶片中叶绿素含量下降至最低点,分别为对照的 31.35%、47.15%。

### 3 结论与讨论

(1) Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 污染对小麦种子发芽与根伸长的影响。同一浓度的 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 对小麦种子发芽的抑制率远小于对根伸长的抑制率。小麦根伸长对重金属污染敏感,这可能与种子发芽和根生长过程有关。种子发芽过程受胚内养分供应,因此重金属对种子发芽的毒害作用被部分掩盖,很可能是造成种子发芽对重金属污染不敏感的原因<sup>[4]</sup>。而根从一开始就完全暴露在重金属溶液中,其生长和发育全过程受溶液浓度条件的控制。因此,根对重金属毒害的反应更直接和敏感。

(2) Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 污染对小麦种子发芽与根伸长的影响机理。种子萌发过程需要大量的能量和物质,这些能量和物质完全来源于贮存物质的氧化分解、释放能量,而贮存物质的分解需要大量酶的参与。小麦属淀粉型种子,种子中的贮存物质含有较多的淀粉。淀粉分解能提供作物幼胚发育所需的能源、碳源和制造新组织的主要原料。环境中的 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 通过抑制作物种子萌发过程中淀粉酶的活性和呼吸强度,降低贮存物质的分解速度,使种子萌发所需的物质和能量供应受阻,从而使萌发率降低<sup>[5]</sup>。

重金属 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 的单盐胁迫对小麦的种子萌发具有低浓度下的刺激效应和高浓度下的抑制效应;对幼苗生长具有胁迫初期低浓度下的刺激效应和长时间胁迫下的抑制效应,且抑制率随着重金属胁迫浓度的增加而增加。小麦种子

及幼苗对 Cu、Zn 胁迫的反应与其内源抗氧化酶系统的变化密切相关<sup>[6]</sup>。在逆境胁迫下,植物通常会产高度反应性的活性氧自由基(ROS),ROS 在细胞中引起生物膜的过氧化损伤,造成叶绿体与线粒体等细胞器的功能损害,最终导致细胞凋亡。相应地,植物体内也有一套复杂的活性氧清除系统来保护植物细胞免受活性氧的损伤。活性氧清除系统包括低分子量的抗氧化剂如谷胱甘肽、脯氨酸等,以及抗氧化酶类如 POD、CAT 和 SOD 等。在重金属胁迫初期,植物体内的活性氧清除系统被激活,其产生的作用超过了活性氧对植物的损伤作用,表现为对种子萌发及幼苗生长有一个低浓度下的刺激效应<sup>[7]</sup>。但是随着重金属浓度的增加和胁迫时间的延长,保护酶系统逐渐被抑制,抗氧化酶系统中多种酶之间的活性比不平衡,细胞内多种功能膜被破坏,表现为生理代谢紊乱,直至细胞凋亡<sup>[8]</sup>。这与 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 胁迫对小麦幼苗生长的影响相一致,说明苗长的变化是植株体内整个保护酶系统与外来重金属胁迫相抗衡的结果。

Cu<sup>2+</sup> 胁迫对小麦幼苗根长的影响较种子萌发显著,这是因为重金属与植物接触时,总是最先接触到根部,根细胞壁中存在大量交换位点,能将重金属离子固定在这些位点上,从而阻止重金属离子进一步向地上部分转移<sup>[9-10]</sup>。因此,根是植物体中最重要的络合重金属的部位,也是最易受重金属毒性影响的部位。

(3)适量的 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 有利于叶绿素的形成与稳定,这是因为 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 可以与叶绿体色素形成配位化合物。而高浓度的 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 则能显著提高植物过氧化氢酶和愈创木酚过氧化物酶的活性,促进含氧自由基的产生,同时还能降低谷胱甘肽 S 转移酶、谷胱甘肽还原酶、抗坏血酸过氧化物酶等抗性酶的活性,使叶绿体膜脂过氧化,叶绿体内膜结构遭到破坏,叶绿素的氧化分解加快<sup>[11]</sup>。此外,由于 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 局部积累过多,与植物叶绿体中蛋白质 SH 结合或取代其中

的 Fe<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>,致使叶绿素蛋白中心的离子组成发生变化而失活,从而使叶绿素含量降低,光合作用严重受阻<sup>[12]</sup>。

由此可见,叶绿素含量和植物的健康状况密切相关,叶绿素含量可以作为污染胁迫、光合作用能力和植被发育状况的指示器。

## 参考文献

- [1] 孙桂芳,杨光德. 土壤-植物系统中锌的研究进展[J]. 华南热带农业大学学报,2002,8(2):22-30.
- [2] 吴家燕,夏增禄,巴音,等. 紫色土壤中镉铜铅砷污染对作物根系酶活性的影响[J]. 农业环境保护,1991,10(6):244-247.
- [3] 林春野. 重金属 Cu、Cd、Zn 的陆生植物毒性比较[J]. 农业环境保护,1996,15(6):266-267.
- [4] 张义贤. 重金属对大麦(*Hordeum vulgare*)毒性的研究[J]. 环境科学学报,1997,17(2):199-205.
- [5] 徐磊. 铜胁迫对小白菜生理生化指标的毒害作用[D]. 福州:福建农林大学,2003.
- [6] 方允中,李文杰. 自由基与酶(基础理论及其在生物学和医学中的应用)[M]. 北京:科学出版社,1994:73-75.
- [7] 朱云集,王晨阳,马元喜,等. 铜胁迫对小麦根系生长发育及生理特性的影响[J]. 麦类作物,1997,17(5):49-51.
- [8] 袁玲,祝莉莉,何光存. Cu<sup>2+</sup>、Ag<sup>+</sup> 在水稻种子萌发及幼苗生长中的作用[J]. 湖北农业科学,2000(2):24.
- [9] 冯淑利,邵云,刘洋,等. Zn<sup>2+</sup> 胁迫对小麦幼苗生理活性影响的研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(1):140-145.
- [10] 宋玉芳,许华夏,任丽萍,等. 重金属对西红柿种子发芽与根伸长的抑制效应[J]. 中国环境科学,2001,21(5):7-11.
- [11] 蒋明义,杨文英,徐江,等. 渗透胁迫下水稻幼苗中叶绿素降解的活性氧损伤作用[J]. 植物学报,1994,36(4):289-295.
- [12] 马成仓,洪法水. 汞对小麦种子萌发和幼苗生长作用的机制初探[J]. 植物生态学报,1998(4):372-378.
- [13] 李晓丹,耿晓伟,张晓薇. 重金属复合污染对小麦生物量的影响[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2003,22(z2):62-63.
- [14] MA E, FU S S, ZHANG H B. Effects of excessive Mg<sup>2+</sup> on the germination characteristics of crop seeds[J]. Agricultural Science & Technology, 2008,9(2):26-29.
- [15] 李军红,田胜尼,孙萌. Cu、Pb、Zn 及复合重金属对油菜种子萌发的抑制性研究[J]. 安徽农学通报,2007,13(19):69-72.
- [16] ZHAO Y C. Effects of Cu<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> stress on growth and POD activity of tomato seedling[J]. Agricultural Science & Technology, 2008,9(2):106-108,125.
- [17] 林业科技,2007(10):16-17,33.
- [18] 范国荣,刘子英,李小良,等. 6-苄基腺嘌呤对甜柿次郎果实中糖、酸含量的影响[J]. 江西林业科技,2006(5):29-31.
- [19] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1992.
- [20] 范国荣,刘勇,刘善军,等. CPPU 对甜柿果实大小与果皮色素含量的影响[J]. 江西农业大学学报,2004,26(5):754-758.
- [21] 范国荣,刘勇,刘善军,等. CPPU 对次郎果实内含物的影响[J]. 江西农业大学学报,2005,27(2):221-224.
- [22] 范国荣,肖会员,刘善军,等. N-(2-氮-4 吡啶基)-N'-苯基脲(CPPU)对甜柿果实中淀粉、还原糖含量和淀粉酶活性的影响[J]. 植物生理学通讯,2006,42(3):454-456.
- [23] HU W Z, CHENG K, YAN J, et al. Effect of chemical gametocide EXP on membrane lipid peroxidation and protective enzyme activity in rapeseed (*Brassica napus*) [J]. Agricultural Science & Technology, 2008,9(4):18-20,33.
- [24] 何增明,周政华,蒋小军,等. 几种生理活性物质对柿树生理落果的控制和柿果品质的影响[J]. 特产研究,2003,25(1):36-38.
- [25] GAO J, HUANG H S, CHENG H. Quercetin promotes auxin transport in *Arabidopsis thaliana* [J]. Agricultural Science & Technology, 2008,9(2):152-153,156.
- [26] 刘毅,王进,杨浩春,等. 甜柿果实单宁和糖类物质变化规律研究[J]. 西南园艺,2005,33(1):1-3.

(上接第 15340 页)

## 参考文献

- [1] BUBÁN T. The use of benzyladenine in orchard fruit growing: a mini review [J]. Plant Growth Regulation, 2000,32(2/3):381-390.
- [2] ED STOVER, MIKE FARGIONE. Fruit weight, cropload, and return bloom of 'Empire' apple following thinning with 6-benzyladenine and NAA at several phenological stages [J]. Hort Science, 2001,36(6):15-19.
- [3] RONGCAI YUAN, DUANE W GREENE. 'McIntosh' apple fruit thinning by benzyladenine in relation to seed number and endogenous cytokinin levels in fruit and leaves [J]. Scientia Horticulturae, 2000,86(2):127-134.
- [4] 黄卫东,张平,李文清. 6-BA 对葡萄果实生长及碳、氮同化物运输的影响[J]. 园艺学报,2002,29(4):303-306.
- [5] PALOMA MONCALEÁN, ANA RODRÍGUEZ, BELÈN FERNÁNDEZ. Effect of different benzyladenine time pulses on the endogenous levels of cytokinins, indole-3-acetic acid and abscisic acid in micropropagated explants of *Actinidia deliciosa* [J]. Plant Physiology & Biochemistry, 2003,41(2):149-155.
- [6] 张平,黄卫东. 6-BA 在葡萄植株体内的运转和分配[J]. 果树学报, 2002,19(3):153-157.
- [7] 范国荣,彭倚云,肖会员,等. 6-BA 对禅寺丸果实生长发育的影响[J]. 江西林业科技,2005(2):8-9.
- [8] 刘善军,王萍,范国荣. 6-BA 对甜柿果皮色素的影响[J]. 江西农业学报,2004,16(4):24-29.
- [9] 范国荣,李小良,黄敏,等. 6-BA 对次郎果实生长发育的影响[J]. 江西