

气雾培供铁浓度对微型种薯光合作用与产量的影响*

肖英奎¹ 于海业¹ 李继嫒¹ 张艳平²

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025; 2. 嘉吉生化有限公司, 松原 138006)

【摘要】 在不同供铁水平气雾栽培实验条件下,测试了微型种薯相关生理指标,分析了营养液中不同铁离子浓度对微型种薯的相关生理指标的影响,以期探求合理供铁量以提高微型种薯的品质和产量。结果表明:铁素缺乏与过量都会抑制叶绿素 a 和 b 的合成,一定程度上减少蛋白质含量,抑制光合作用,使光合产物的积累减少,供铁不当会降低微型种薯的品质和产量,提出了在温室环境下气雾培法生产马铃薯微型种薯的营养液中适宜铁离子浓度。

关键词: 马铃薯种薯 气雾培 铁离子浓度 生理指标

中图分类号: Q945.12; S318 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)10-0195-05

Effect of Concentration of Iron Element in Aeroponics Cultivation on Photosynthesis and Yield of Potato Minituber

Xiao Yingkui¹ Yu Haiye¹ Li Jiman¹ Zhang Yanping²

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

2. Cerestar China Resources Maize Industry Co., Ltd., Songyuan 138006, China)

Abstract

Under the aeroponics cultivation experiment of the different levels of Fe, the relative physiological indexes of the potato minituber was tested. The effect of the different concentrations of Fe ion on relative physiological indexes of the potato minituber was analyzed to explore reasonable application of Fe for improving the quality and yield of potato minituber. The results showed that iron content would affect the synthesization of chlorophyll a and b. Protein contents decreased in a certain extent. Photosynthesis and the accumulation of photosynthetic products decreased. The experiment validated that the unsuitable application of Fe reduced the quality and yield of potato minituber. The suitable Fe ion concentration of nutrient solution in cultivation of the potato minituber with aeroponics method in greenhouse was put forward.

Key words Seed potato, Aeroponic cultivation, Iron concentration, Physiological index

引言

采用气雾培法生产马铃薯微型种薯是目前一项新兴的栽培技术^[1-3],而营养液的配制方法是气雾化栽培技术的重心^[4]。随着人们对马铃薯品质要求的不断提高,微量元素在营养液中的作用也越来越引起重视^[5-6]。

在多种植物体中 80% 左右的铁存在于叶绿体中,铁可以通过多种途径影响光合作用。铁还与碳水化合物、有机酸、维生素的合成有关系。植物缺铁时首先表现在顶端和幼叶上,由于叶绿素的形成受阻,使得叶片失绿黄白化;铁离子含量过高时,植物会出现铁中毒现象,叶片变为暗绿色,有的叶片出现失绿斑,地上部分及根系生长受阻。铁参与核酸和

蛋白质的合成,植物在缺铁时体内蛋白质的含量会显著下降,并导致叶绿体的解体^[7-8]。铁元素在马铃薯生长过程中是参与光合作用和叶绿素合成的必需元素^[9-10]。有研究表明马铃薯缺铁时症状从幼苗开始,表现为幼苗及叶脉黄化,生长细弱,影响作物产量和品质^[11]。

本文研究营养液中不同铁离子浓度对叶绿素含量、可溶性糖含量和作物产量等生理指标的影响,从而找出适合马铃薯微型种薯应用的最佳铁离子浓度和配比。

1 材料与方 法

1.1 实验材料与 设计

供实验的马铃薯品种为春薯4号,选取长势和形态相似的同批次组培脱毒幼苗(苗高15 cm左右)用于实验。

实验是在温室环境下采用气雾培方式进行的,营养液的配置采用改良的 Hoagland 营养液配方,其中 Fe^{2+} 浓度用不同浓度的 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 来进行调控,共设计5个浓度梯度,即处理 C0、处理 C1、处理 C2、处理 C3 和处理 C4,其中 Fe^{2+} 质量浓度分别为 0、1.4、2.8、5.6 和 7.0 mg/L。将实验幼苗分为5组,分别用上述不同 Fe^{2+} 浓度的营养液预培3 d,然后再进行实验。实验期间白天将幼苗置于温室以 18~23℃ 的温度正常培养,每间隔 10 min 喷雾 20 s。

1.2 实验指标测定方 法

实验的检测指标主要是依据铁元素对植物的光合作用、参与蛋白质合成等方面的影响,有针对性地进行选取。在植株移栽后生长 10~20 d 进行测试,其

生长初期(10、20 d)株高平均 20 cm,生长中期(30、40、50 d)株高平均分别在 30、40、50 cm 左右,其生长后期(60、70 d)株高平均 60 cm 左右。

(1)采用分光光度法测定叶绿素 a、b 含量。

(2)采用植物效能分析仪 PEA (Hansatech, 英国)测定叶绿素荧光动力学参数,叶片暗适应时间为 20 min。通过测量与计算获得有效的叶绿素荧光动力学参数:初始荧光 F_0 、最大荧光 F_m 、可变荧光 F_v ($F_v = F_m - F_0$) 和叶片 PS II 光化学效率 F_v/F_m 。

(3)采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量。以葡萄糖作标准曲线线性方程求出糖含量,并计算试样可溶性糖含量。

(4)采用考马斯亮蓝 G250 染色法测定可溶性蛋白含量。以牛血清白蛋白(BSA)作标准曲线。

(5)结薯性能指标测定。马铃薯的结薯性能指标包括平均结薯个数和总薯质量^[12]。本实验中每次采收质量大于 5 g 的小薯,每隔 7 d 采收一次,记录每次收获的小薯数量和质量,并在最后一次采收后,作产量的累积统计。

以上各指标的测定均重复 3 次取平均值。

2 实验结果与分 析

2.1 铁离子浓度对马铃薯植株光合作用的影响

2.1.1 叶绿素 a、b 含量与叶片叶绿素荧光动力学参数的方差分析

马铃薯脱毒苗定植 20 d 后开始检测叶绿素 a、b 含量,方差分析(在 $\alpha = 0.05$ 的显著水平下)结果见表 1。从表中可以看出,各处理差异显著,说明 Fe^{2+} 浓度的变化对叶绿素 a 与 b 的合成影响很大。

表 1 叶绿素 a、b 含量与 F_v/F_m 值的方差分析

Tab.1 Variance analysis of contents of chl. a & chl. b and F_v/F_m value

处理指标	差异源	总偏差平方和	自由度	平均平方和	<i>F</i>	<i>P</i>	α
叶绿素 a	组间	2.269 52	4	0.567 380	19.346 02	2.32×10^{-7}	2.758 71
	组内	0.733 20	25	0.029 328			
叶绿素 b	组间	0.104 518	4	0.026 130	7.329 979	4.75×10^{-4}	2.758 71
	组内	0.089 119	25	0.003 565			
F_v/F_m	组间	0.200 890	4	0.050 223	3.643 661	1.80×10^{-2}	2.758 71
	组内	0.344 589	25	0.013 784			

2.1.2 不同 Fe^{2+} 浓度下叶绿素 a、b 含量与叶片叶绿素荧光动力学参数的变化

(1)不同 Fe^{2+} 浓度下叶绿素 a 含量的变化情况如图 1 所示。在定植后 20~30 d 时,C1 的叶绿素 a 含量较大,在 40~60 d 左右,C2 的叶绿素 a 含量较大。造成这种现象的原因是在马铃薯生育的前期,马铃薯植株较小,所以对营养元素的需求也较少,随着马

铃薯植株的旺盛生长,对铁元素的需求不断增加。C3 和 C4 的叶绿素 a 含量一直较少,这是因为 C3 和 C4 铁元素过量,导致叶绿素的含量降低。

(2)不同 Fe^{2+} 浓度下叶绿素 b 含量的变化情况如图 2 所示。从图中可以看出,马铃薯植株体内的叶绿素 b 含量比较少。在马铃薯的各个生长阶段,C0 中的叶绿素 b 含量都是最少的,这种现象说

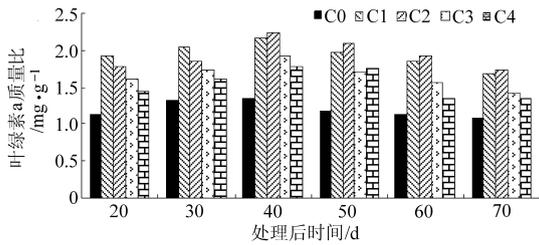


图 1 不同 Fe²⁺ 浓度下叶绿素 a 含量的变化

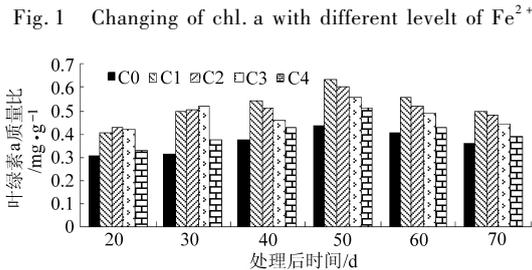


图 2 不同 Fe²⁺ 浓度下叶绿素 b 含量的变化

Fig. 2 Changing of chl. b with different level of Fe²⁺

明了铁元素对于叶绿素 b 的合成具有重要的作用, 铁缺乏会抑制叶绿素 b 的合成。在定植后 20 ~ 30 d 时, C1、C2、C3 的叶绿素 b 含量较大, 而从定植后 40 ~ 70 d, 叶绿素 b 含量表现出随着 Fe²⁺ 浓度的增加, 叶绿素 b 含量逐渐减少, 说明铁过量也会抑制叶绿素 b 的合成。总体上 C2 较好。

表 2 可溶性糖含量与可溶性蛋白含量的方差分析

Tab. 2 Variance analysis of contents of soluble sugar and contents of soluble protein

处理指标	差异源	总偏差平均和	自由度	平均平方和	F	P	α
可溶性糖	组间	18.259 85	4	4.564 962	25.652 19	1.56×10^{-8}	2.758 71
	组内	4.448 90	25	0.179 650			
可溶性蛋白	组间	35.166 02	4	8.791 505	16.166 03	1.17×10^{-6}	2.758 71
	组内	13.595 65	25	0.543 826			

(2) 不同 Fe²⁺ 浓度下可溶性糖含量的变化

不同 Fe²⁺ 浓度下可溶性糖含量的变化情况如图 4 所示。从图中可以看出, 20 ~ 40 d 可溶性糖含量呈现递增趋势, 而 50 ~ 70 d 可溶性糖含量却逐渐减少。每个生长阶段 C2 可溶性糖含量最高, 其次是 C1、C3、C4, C0 可溶性糖含量最低。说明铁元素在一定的浓度下对碳水化合物的合成具有重要的作用, 而过量的铁元素会使光合色素含量降低, 抑制了

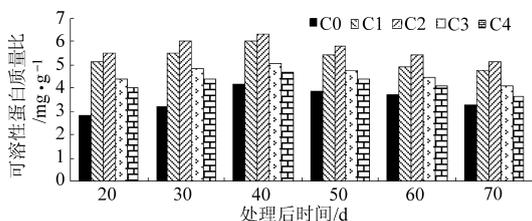


图 4 不同 Fe²⁺ 浓度下可溶性糖含量的变化

Fig. 4 Changing of soluble sugar with different level of Fe²⁺

(3) 不同 Fe²⁺ 浓度下 F_v/F_m 值的变化

不同 Fe²⁺ 浓度下 F_v/F_m 值的变化情况如图 3 所示。从图中可以看出, 在测量的整个过程 C2 曲线基本处于其他曲线之上, 说明在 Fe²⁺ 浓度为 2.8 mg/L 时, 马铃薯叶片具有较大的光能转化效率, 而增加 Fe²⁺ 浓度和减少 Fe²⁺ 浓度都会使光能转化效率呈递减趋势。

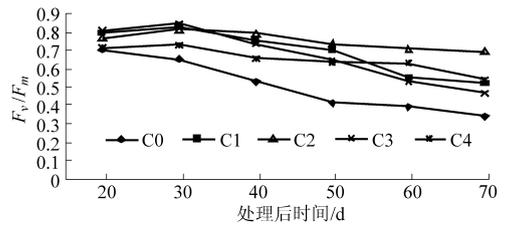


图 3 不同 Fe²⁺ 浓度下 F_v/F_m 的变化

Fig. 3 Changing of F_v/F_m with different level of Fe²⁺

2.2 铁离子浓度对微型种薯产量和品质的影响

(1) 可溶性糖含量与可溶性蛋白含量的方差分析

马铃薯脱毒苗定植 20 d 后开始检测可溶性糖含量与可溶性蛋白含量, 方差分析 (在 $\alpha = 0.05$ 的显著水平下) 结果如表 2 所示。从表中可以看出, 各处理差异显著, 说明 Fe²⁺ 浓度的变化对植株体的可溶性糖含量和可溶性蛋白含量影响很大。

光合作用, 使光合产物的积累减少。有利于可溶性糖合成的 Fe²⁺ 质量浓度是 2.8 mg/L。

(3) 不同 Fe²⁺ 浓度下可溶性蛋白含量的变化

不同 Fe²⁺ 浓度下可溶性蛋白含量的变化情况如图 5 所示。从图中可以看出, 20 ~ 40 d 5 种处理的可溶性蛋白含量呈上升趋势, 之后开始下降。图中每个生长阶段中 C0 的可溶性蛋白含量最低, 造成这种现象的原因是铁参与蛋白质的合成, 当铁元素

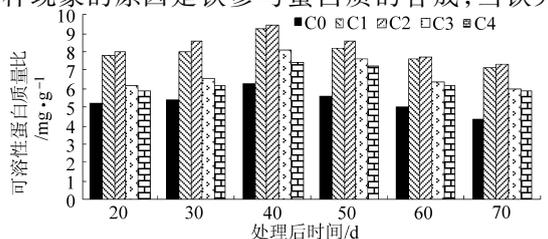


图 5 不同 Fe²⁺ 浓度下可溶性蛋白含量的变化

Fig. 5 Changing of soluble protein with different level of Fe²⁺

严重不足时就会使蛋白质含量下降。C1 可溶性蛋白含量相应增加, C2 的含量最高, 说明随着 Fe^{2+} 浓度提高, 蛋白质含量增加。C3 与 C4 蛋白质含量反而降低, 说明过量的 Fe^{2+} 浓度会抑制马铃薯植株体内的可溶性蛋白的生成。有利于可溶性蛋白积累的 Fe^{2+} 质量浓度是 2.8 mg/L。

(4) Fe^{2+} 浓度对马铃薯结薯个数的影响

不同的 Fe^{2+} 浓度对马铃薯结薯个数的影响如图 6 所示。从图中可以看出, 采用不同处理得到的结薯个数是 35 ~ 45 个之间, 其中 C1 和 C2 相差不大, C3 与 C2 相比, 减少了 2.8%, 而 C0、C4 比 C2 减少了 7.7%, 说明 Fe^{2+} 的浓度对马铃薯的结薯个数存在一定的影响。从 C1、C2 和 C3 看, 虽然 Fe^{2+} 的浓度在一定范围内对马铃薯的结薯个数影响不大, 但在 Fe^{2+} 质量浓度是 2.8 mg/L 时, 马铃薯获得相对较多的结薯个数。

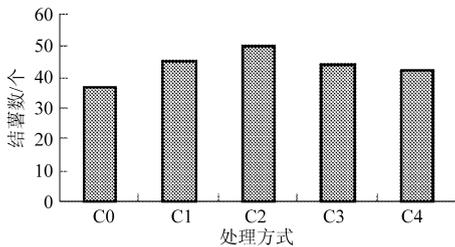


图 6 Fe^{2+} 浓度对结薯个数的影响

Fig. 6 Effects of different concentrations of Fe^{2+} on numbers of potatoes

(5) Fe^{2+} 浓度对马铃薯总薯质量的影响

不同的 Fe^{2+} 浓度对马铃薯总薯质量的影响如图 7 所示。从图中可以看出, 不同的 Fe^{2+} 浓度之间, 马铃薯总薯质量差异明显, C2 获得的马铃薯总薯质量相对较大, 其次是 C1、C3、C4, 最少的是 C0。这说明铁元素在马铃薯的生长发育过程中是不可以

缺少的营养元素, Fe^{2+} 浓度在适当的范围内会提高马铃薯的产量, 但是过量或是缺乏都会使马铃薯的产量降低。在实验条件下有利于马铃薯产量提高的 Fe^{2+} 质量浓度是 2.8 mg/L。

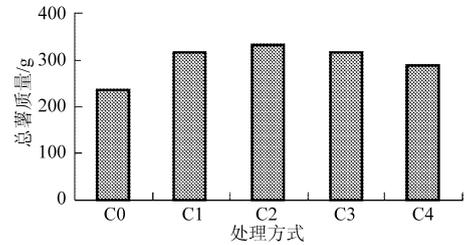


图 7 Fe^{2+} 浓度对总薯质量的影响

Fig. 7 Effects of different concentrations of Fe^{2+} on weights of all potatoes

3 结束语

针对铁元素在植物生长发育过程中所起到的重要作用, 本文在气雾培马铃薯微型种薯中通过测试叶绿素 a 与 b 含量、叶片叶绿素荧光动力学参数、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和马铃薯结薯个数、总薯质量的动态变化, 探索营养液中不同铁离子浓度对马铃薯植株光合作用及微型种薯产量和品质的影响, 实验中所测试指标的各处理的差异显著 ($P < 0.05$), 说明铁元素对马铃薯微型种薯生理指标有不同程度的影响。实验结果表明, 在配制营养液时, 选择合理的铁离子浓度可促进光合产物的积累, 对结薯性能有一定程度的促进作用, 在本实验条件下验证马铃薯微型种薯营养液中适宜的 Fe^{2+} 质量浓度是 2.8 mg/L。但本研究的气雾培营养液配方中铁离子浓度不适合于其他栽培方式, 另外不同地域、不同品种的马铃薯对营养液配方中铁离子浓度也要进行一些调整, 本研究的结果适用于东北地区。

参 考 文 献

- Heidi A Kratsch, William R Graves, Richard J Gladon. Aeroponic system for control of root-zone atmosphere [J]. Environmental and Experimental Botany, 2006, 55(1~2):70~76.
- Ritter E, Angulo B, Riga P, et al. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers [J]. Potato Research, 2001, 44(2):127~135.
- Imma F, Angel M. Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals [J]. American Journal of Potato Research, 2006, 83(1):47~53.
- 李功轶, 梁杰. 气雾法生产马铃薯核心小薯技术研究简报 [J]. 中国农学通报, 2001, 17(5):95~96.
Li Gongyi, Liang Jie. The briefing of study on effects of minituber produced by means of aeroponics [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2001, 17(5):95~96. (in Chinese)
- 何庆学, 王季春. 营养液对雾培栽培不同品种马铃薯生长的影响 [J]. 西南农业大学学报, 2003, 25(3):251~254.
He Qingxue, Wang Jichun. Effects of different nutrient media on the growth of potato varieties under mist spraying cultion [J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2003, 25(3):251~254. (in Chinese)
- 丁凡, 唐道彬. 不同营养方式对雾培法生产脱毒种薯的影响 [J]. 中国马铃薯, 2008, 22(4):193~196.
Ding Fan, Tang Daobin. Effect of different nutrition application manner on minituber mroduction in aeroponics [J]. Chinese Potato, 2008, 22(4):193~196. (in Chinese)

- 7 王海泉,朱继强. 微量元素与植物生长调节剂配合对马铃薯生理指标及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2005(5): 19~20.
Wang Haiquan,Zhu Jiqiang. The effect of microelement and plant growing regulator on the physiological characteristics and yield of potato[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2005(5):19~20. (in Chinese)
- 8 雷桅,王双明,孙敏. Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} 对植物生理特性影响的比较分析[J]. 广西植物,2007,27(5): 770~774.
Lei Wei, Wang Shuangming, Sun Min. Comparative analysis on effect of Fe^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} to physiological characteristics of plant[J]. Guihaia, 2007,27(5): 770~774. (in Chinese)
- 9 杜长玉,高明旭. 不同微肥在马铃薯上应用效果的研究[J]. 中国马铃薯,1999,13(3): 141~144.
Du Changyu,Gao Mingxu. Study on the effects of trace element applied on potatoes[J]. Chinese Potato, 1999,13(3): 141~144. (in Chinese)
- 10 韦建玉,金亚波,杨启港,等. 植物铁营养研究进展:铁运输与铁有关的分子生物学基础[J]. 安徽农业科学,2007, 35(33): 10 589~10 595.
Wei Jianyu,Jin Yabo,Yang Qigang, et al. Research advances in iron nutrition of plants: iron transports and the relevant molecular biology basis of iron[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007,35(33): 10 589~10 595. (in Chinese)
- 11 王静钢,李寿如,高晶,等. 不同营养液的使用对马铃薯原原种生产的影响[J]. 中国马铃薯, 2007,21(1):24~25.
Wang Jinggang,Li Shouru,Gao Jing, et al. The effects on produce of potato minituber through applying the different kinds of nutrient solution[J]. Chinese Potato, 2007,21(1):24~25. (in Chinese)
- 12 陈永波,赵清华. 微量元素缺乏及过量对脱毒马铃薯苗生长的影响[J]. 中国马铃薯,2005,19(1):10~12.
Chen Yongbo, Zhao Qinghua. Effect of deficiency or excessiveness of microelements on growth of virus-free potato plants [J]. Chinese Potato, 2005,19(1):10~12. (in Chinese)
- 13 王素梅. 雾培脱毒马铃薯适宜营养液配方和浓度的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2004.
Wang Sumei. Studies on optimum prescription and concentration of nutrient solution on virus-free minituber production by aeroponic cultivation[D]. Taian:Shandong Agricultural University, 2004. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 154 页)

- 11 刘继展,李萍萍,李智国. 番茄采摘机器人末端执行器的硬件设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 109~112.  
Liu Jizhan, Li Pingping, Li Zhiguo. Hardware design of the end-effector for tomato-harvesting robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 109~112. (in Chinese)
- 12 钱少明,杨庆华,王志恒,等. 黄瓜抓持特性与末端采摘执行器研究[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 107~112.  
Qian Shaoming, Yang Qinghua, Wang Zhiheng, et al. Research on holding characteristics of cucumber and end-effector of cucumber picking [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(7): 107~112. (in Chinese)
- 13 杨庆华,金寅德,钱少明,等. 基于气动柔性驱动器的苹果采摘末端执行器研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9): 154~158.  
Yang Qinghua, Jin Yinde, Qian Shaoming, et al. Research on end-effector of apple picking based on new flexible pneumatic actuator [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 154~158. (in Chinese)
- 14 李秦川,胡挺,武传宇,等. 果蔬采摘机器人末端执行器研究综述[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 175~184.  
Li Qinchuan, Hu Ting, Wu Chuanyu, et al. Review of end-effectors in fruit and vegetable harvesting robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 175~184. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 189 页)

- 18 Mallat S. Recursive interferometric representation[C]//Proc. of EUSICO Conference, Denmark, IEEE Press, 2010.
- 19 Yann Lecun, Kavukvuoglu K, Farabet C. Convolutional networks and applications in vision [C] // Proc. of ISCAS 2010, Paris, France, IEEE Press, 2010.
- 20 王晓明,冯鑫,党建武. 一种局部监督式纹理分类算法[J]. 兰州理工大学学报,2012,12(3):128~134.
Wang Xiaoming, Feng Xin, Dang Jianwu. A local supervised texture classification algorithm [J]. Journal of Lanzhou University of Technology,2012, 12(3):128~134. (in Chinese)
- 21 Zhang D, Lu G. Content-based image retrieval using Gabor texture features[C]//Proc. of First IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM00), Sydney, Australia, 2000.
- 22 Kokare M, Biswas P K, Chatterji B N. Rotation-invariant texture image retrieval using rotated complex wavelet filters[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B, 2006, 36(6):1 273~1 282.