

微波处理对豌豆种子萌发及芽苗中营养成分的影响

王顺民, 卞紫秀, 汪建飞, 马文雅

(安徽工程大学生物与化学工程学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要:以豌豆为试材,采用6种不同微波处理(100W10s,200W10s,300W10s,100W30s,200W30s,300W30s),以未经微波处理者为对照,研究微波处理对种子发芽率和芽长,芽苗中过氧化氢酶(CAT)活性、可溶性蛋白质、还原糖和总黄酮含量的影响。结果表明:微波100W10s处理下豌豆的发芽率(Germination Rate, GR)比对照高10.0%,但微波300W30s处理比对照低19.67%。培养7d,微波300W30s处理下的最终发芽率最低(Final Germination Rate, FGR),比对照低21.67%。微波200W10s处理的豌豆芽长比对照高12.31%。发芽3d时,微波300W30s处理的芽苗中的蛋白质含量和CAT活性均最高,分别为 $15.47 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ 和 $1.23 \text{ mgH}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。微波200W30s处理,芽苗中总黄酮含量最高,达 $1.48 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$,而300W10s处理的含量最低,为 $0.96 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ 。微波处理300W10s时还原糖含量最高,达 $10.11 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ 。微波处理对豌豆的萌发和芽长有一定影响,对芽苗中CAT的活性及可溶性蛋白质、还原糖和总黄酮含量的影响显著。

关键词:豌豆;微波处理;萌发;成分

中图分类号:S332.1 **文献标志码:**A

Effects of microwave enhancement on pea seeds germination and production of nutrient in sprouts

WANG Shun-min, BIAN Zi-xiu, WANG Jian-fei, Ma Wen-ya

(College of Biological and Chemical Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: The pea seeds were exposed in six different microwave treatments (100W10s, 200W10s, 300W10s, 100W30s, 200W30s, 300W30s) and untreated with microwave as the control (CK) to assess effects of microwave irradiation on pea seeds germination rate (GR), germinating seed of shoot length and soluble protein, reducing sugar, catalase (CAT), isoflavone composition content of sprouts were determined. The result showed that the GR of pea seeds of 100W10s was 10.0% higher than CK. While that of 300W30s was 19.67% lower than CK. When sprouts were incubated to 7 day, the final germination rate of 300W30s was 21.67% lower than CK. The shoot length of germinating seed under 200W10s was about 12.31% higher than CK. When the sprouts cultured 3 days, under 300W30s, the protein content and CAT activity of sprouts reached the highest level and were $15.47 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ and $1.23 \text{ mgH}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$, respectively. The total flavonoid content of sprouts with 200W30s was the highest and reached $1.48 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$, while that of 300W10s was the lowest and attained $0.96 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$. The reducing sugar content of sprouts by 300W10s was the highest and reached $10.11 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$. Microwave treatment has significantly influenced on pea seeds germination rate, shoots length, the activity of CAT, the content of soluble protein, reducing sugar and total flavonoids of sprouts.

Keywords: pea seeds; microwave treatment; germination; components

谷物、豆类种子发芽后,其营养成分及矿物质含量增加,尤其限制性氨基酸含量增加,故使其消化率和生物利用率显著提高。同时发芽种子及芽苗中游离氨基酸、黄酮和酚类物质等功能活性成分的

含量也显著提高^[1],从而使其具有独特的营养价值^[2]。研究表明,磁场、电场等物理因素处理均会对生物组织表现出一定的生物效应^[3],从而对萌发胚芽生长有调控作用^[4,5]。微波属于一种电磁波,一定功率的微波能有效激活植物种子萌发期的超氧化物歧化酶(Super Oxide Dismutase, SOD)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)和过氧化氢(Catalase, CAT)等酶类的活性,促进种子萌发及诱导种子中一些生物活性成分的合成。微波预处理可使植物幼苗叶片 POD、SOD 等同工酶的基因表达发生变异而起促进作用^[5],这种作用可显著增加种子的发芽势、发芽率、茎长、根长和总物质的量,并且其与微波功率的大小相关^[6,7]。植物种子经微波处理后,其相对幼苗活力指数可提高达 18.67%^[8]。大豆经微波处理 8 s,其发芽率、发芽势和发芽指数显著提高,芽苗中蔗糖含量明显增加^[9]。白兰瓜种子经低功率微波处理后,其萌发期的淀粉酶被激活,种子萌发活力提高^[10]。苜蓿种子经 800 W 微波处理,其首日发芽率和种子内固氮菌的固氮酶活性分别比对照高出 122% 和 104.9%^[11]。低功率(30%)预处理的冬小麦,萌发后幼苗叶片中 POD 和 SOD 同工酶的活性提高,种子萌发被促进。而高功率(50%~80%)处理则起抑制作用,且随功率及时间的增加而抑制作用增强,且 80% 功率处理 50 s,种子萌发能力完全丧失^[12]。而盐胁迫过的小麦幼苗经微波处理后,其叶中丙二醛(Malonaldehyde, MDA)含量和氧化型谷胱甘肽(Oxidative glutathione, GSSG)等抗氧化酶活性均可恢复到接近于未经盐胁迫处理时^[5,13]。说明适当剂量的微波处理能够提高种子幼苗的萌发和增强耐盐等不良环境的能力。豌豆(*Pisum sativum* L.)是世界第四大豆类作物,而我国是世界第二大豌豆生产国。促进豌豆种子的萌发,尤其是营养成分富集的方法有盐胁迫法和⁶⁰Co- γ 射线、秋水仙素及甲基磺酸乙酯等诱变处理法,但这些方法均不同程度的存在安全危害。因此,研究微波对豌豆萌发,探研微波的生物非热效应对植物种子体内生理生化的影响,将其有利的影响利用在作物栽培或植物育种上具有实用价值。用微波调控植物的生长发育,提高其酶活性、增加芽苗中营养成分的含量,将有着重要的生物学意义。因此,本文以白豌豆种子为原料,采用不同微波功率和时间处理萌发后的豌豆种子,研究微波处理对豌豆种子的发芽率和芽长及芽苗生长中还原糖、总黄酮等成分的影响。

1 材料与方法

1.1 试验原料、器材

1.1.1 试验原料及药品 实验原料:新疆白豌豆(*Pisum sativum* L.)。江西南昌进贤县绿色芽苗菜有限公司提供。

1.1.2 试验器材 紫外可见分光光度计,UV-5800PC 型,上海元析仪器有限公司;恒温培养箱,PYX-DHs·350-Bs,上海博泰实验设备有限公司;电子天平,JY1002,上海良平仪器仪表有限公司;微波设备,JHFWB-1.0S 型,南京金海丰微波科技有限公司;冷冻离心机,TGL-16A,长沙平凡仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 预处理 选择颗粒饱满的种子,以去离子水冲洗干净。种子经 1% 次氯酸钠溶液消毒 3~5 min。后用无菌水反复冲洗。以无菌滤纸吸干。

1.2.2 试验方法 微波处理:取经消毒后的种子分成若干组(每组 50 粒),均匀铺置于 $\Phi 15$ cm 的玻璃皿中,后置入微波设备中,采用 6 种不同的微波功率与时间组合(100W10s, 200W10s, 300W10s, 100W30s, 200W30s, 300W30s)^[9]进行微波处理。微波腔内温度控制为室温 25℃ $\pm$ 2℃。

种子发芽:经微波处理的种子(50 粒),置于 $\Phi 10$ cm 的内衬双层滤纸的培养皿中,加 10 mL 无菌水,用纱布覆盖。置于人工培养箱 30℃,RH(%)60~70 下培养,每隔 8 h 补充散失的水分 8~10 mL。以未经微波处理样品作为对照(CK 表示)。种子发芽后,分别取培养时间为 3 d、5 d 及 7 d 的芽苗,收集、冷藏、备用。

1.3 实验测定指标与方法

1.3.1 发芽率、最终发芽率 发芽种子:种子胚根突破种皮,长度达种子长度 1/2 时,即为发芽种子。发芽率(Germination Rate, GR):豌豆种子在 1 d 内的全部正常发芽种子粒数/供测豆子总数 $\times 100\%$ 。最终发芽率(Final Germination Rate, FGR):豌豆种子在 7 d 内的全部正常发芽种子粒数/供测豆子总数 $\times 100\%$ 。

1.3.2 芽长 豌豆种子在 30℃ 下浸种 2 h,后 30℃ 培养,分别随机取出培养 7 d 的不同微波处理的豌豆芽 30 粒,用游标卡尺测定其平均芽长。

1.3.3 总黄酮和还原糖含量 不同微波处理的芽苗,在 80℃,干燥 2 h,至含水量达 10%。后粉碎、过筛(80 目),备用。总黄酮含量测定,采用铝盐法^[14]。还原糖含量的测定,参考赵凯等方法^[15]。

1.3.4 蛋白质含量 样品预处理:分别取发芽 3 d、5 d 和 7 d 的不同微波处理的豌豆芽苗,用吸水纸吸干表面水分后,称重 3 g,充分研磨(加蒸馏水),后转移到离心管中,然后在 4 000 r·min⁻¹的离心机中离心 20 min,将上清液定容至 50 mL。参照高俊凤主编《植物生理学实验指导》方法测定^[16]。

1.3.5 过氧化氢酶活性 样品预处理:分别取发芽 3 d、5 d 和 7 d 的不同微波处理的豌豆芽苗,用吸水纸吸干表面水分,称重 3 g,然后放进研钵中加入 3 mL pH 值 7.8 的磷酸缓冲液,加入少量石英砂,在冰浴上研磨成匀浆,再加入 5 mL 磷酸缓冲液研磨均匀,转入 25 mL 的比色管中,并用缓冲溶液少量多次洗涤研钵,洗液并入比色管中,最后用缓冲液定容至刻度。摇匀后取约 5 mL 溶液于离心管中,采用冷冻离心机在 4℃ 4 000 r·min⁻¹下离心 10 min,上清液即为过氧化氢酶提取液,转入试管中保存于 4℃ 的冰箱中备用。参照高俊凤主编《植物生理学实验

指导》方法测定^[16]。

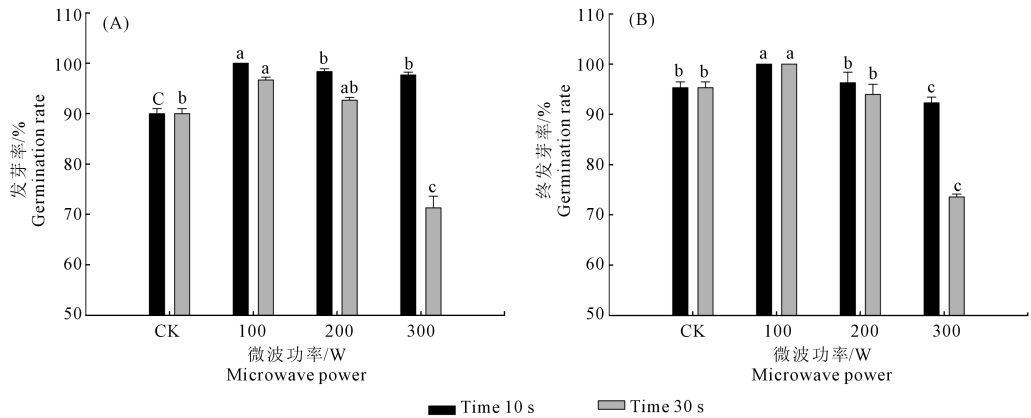
1.4 实验数据统计与方法

试验数据为 3 次重复,以平均值±标准差表示。采用 SPSS 16.0 统计分析软件对其进行 One-way 方差分析(ANOVA);并用 Duncan's 复相关试验法进行均值差异性的相关分析,显著性水平 $P\leq0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 微波处理对发芽率的影响

由图 1 可知,培养 1 d,微波 100W10s 处理的豌豆发芽率最高,达 100%,比未经微波处理的增加 10.0%,而 300W30s 处理的发芽率最低,仅为 71.33%,比未经微波处理的低 19.67% ($P<0.05$)。发芽 7 d 后,300W30s 处理豌豆种子的最终发芽率最低,仅为 73.67%,比对照低 21.67%。随微波处理功率的增加,发芽率显著降低 ($P<0.05$)。微波时间由 10 s 增加至 30 s 时,发芽率显著降低($P<0.05$)。



注:图中小写字母为相同时间下不同功率处理间(CK、100、200、300 W)显著性检验($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the figure are significant differences ($P<0.05$) between different power treatment (CK, 100, 200 and 300 W) at the same time.

图 1 不同微波处理下豌豆种子发芽率和最终发芽率的变化

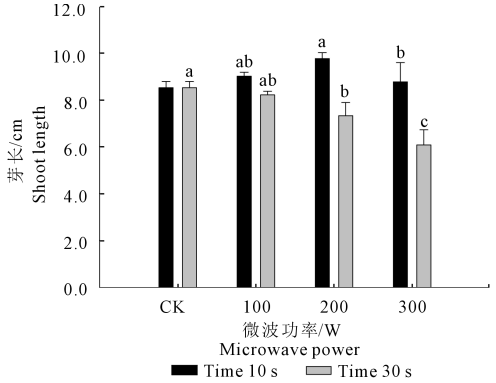
Fig.1 Change of germination rate and final germination rate of pea seeds in different microwave treatment

2.2 微波处理对芽长的影响

从图 2 可知,微波显著影响了豌豆的芽长。微波处理 10 s 的种子,培育 7 d 时,芽长随微波功率的增加而先升高后降低,而经 30 s 处理者,其芽长随微波功率增加而降低。200W10s 微波处理的芽长比对照高 12.31%,而 300W30s 处理的芽长比对照低 37.70% ($P<0.05$)。

2.3 微波处理对芽苗蛋白质含量的影响

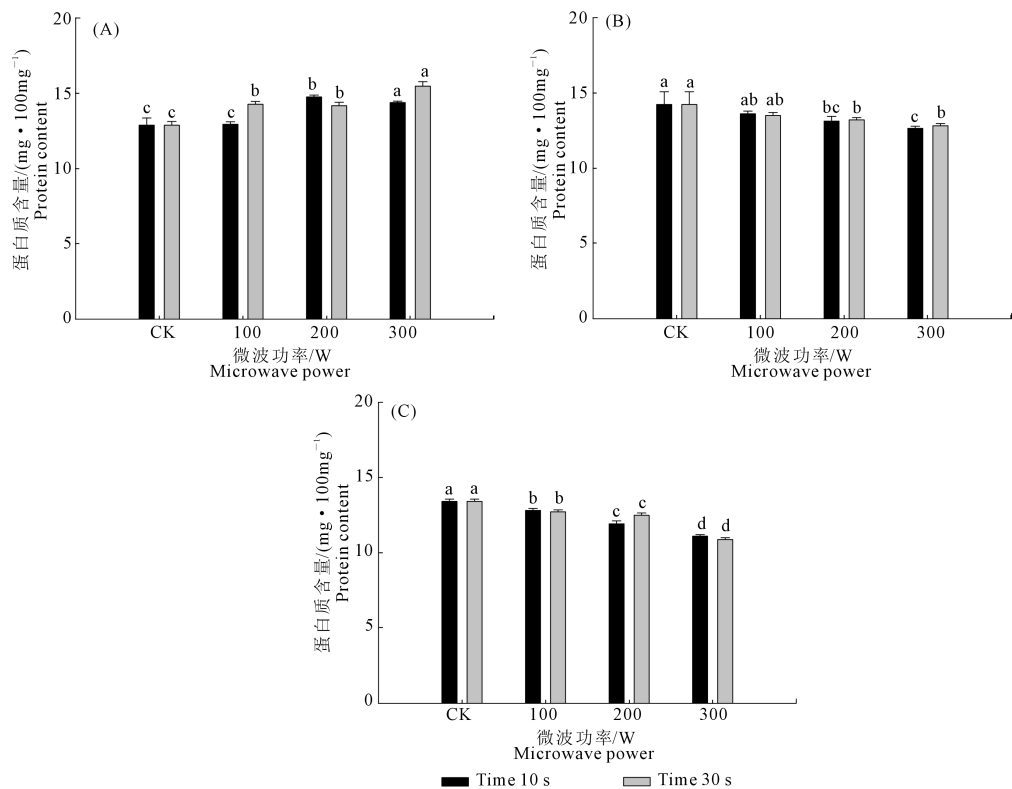
经微波处理后,发芽 3 d (图 3A)时,豌豆芽苗蛋白质的含量均高于对照组,其中 300W30s 处理达 15.47 mg·100mg⁻¹,比对照高 21.11%。但发芽 5 d (图 3B)时,蛋白质含量要低于对照。在相同时间下,功率由 100 W 增至 300 W,其蛋白质的含量逐渐降低。发芽 7 d (图 3C)时,微波 300W30s 下蛋白质



注:图中小写字母为相同时间下不同功率处理间(CK、100、200、300 W)显著性检验($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the figure are significant differences ($P<0.05$) between different power treatment (CK, 100, 200 and 300 W) at the same time.

图 2 不同微波处理豌豆芽长的变化

Fig.2 Change of shoot length of pea sprouts in different microwave treatment



注:图(A)、(B)和(C)分别为发芽3 d、5 d和7 d时的数据。图中小写字母为相同时间下不同功率处理间(CK、100、200、300 W)显著性检验($P<0.05$)。

Note: Figures (A), (B) and (C) are data for 3 d, 5 d and 7 d of seedling, respectively. Different lowercase letters in the figure are significant differences ($P<0.05$) between different power treatment (CK, 100, 200 and 300 W) at the same time.

图 3 不同微波处理下豌豆芽苗的蛋白质含量的变化

Fig.3 Change of protein content of pea sprouts in different microwave treatment

含量最低,为 $10.88\text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ ($P<0.05$)。微波处理显著影响豌豆萌发后的芽苗中蛋白质的含量。

2.4 微波处理对芽苗 CAT 的影响

发芽3 d (图 4A),不同微波处理对芽苗 CAT 的活性影响显著 ($P<0.05$)。300W30s 处理下活性最高为 $1.23\text{ mgH}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$,而 100W30s 处理的活性最低为 $0.39\text{ mgH}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。处理 10s 时,CAT 活性随微波功率的增加趋势变化不大。发芽 5 d (图 4B) 时,微波的芽苗中,200W10s 处理下的 CAT 活性最大为 $0.66\text{ mgH}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。当时间为 10 s 和 30 s 时,CAT 活性随着微波功率的增加均呈先增加后降低趋势。发芽 7 d (图 4C) 时,对照组的 CAT 的活性与微波处理的各组间差异显著 ($P<0.05$)。其中以 300W30s 的活性最高为 $0.88\text{ mgH}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$,而 300W10s 处理者的活性值最低,为 $0.42\text{ mgH}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。可能因为高剂量长时间微波处理对种子的影响较大,种子为适应胁迫环境而激活了更多过氧化氢酶。

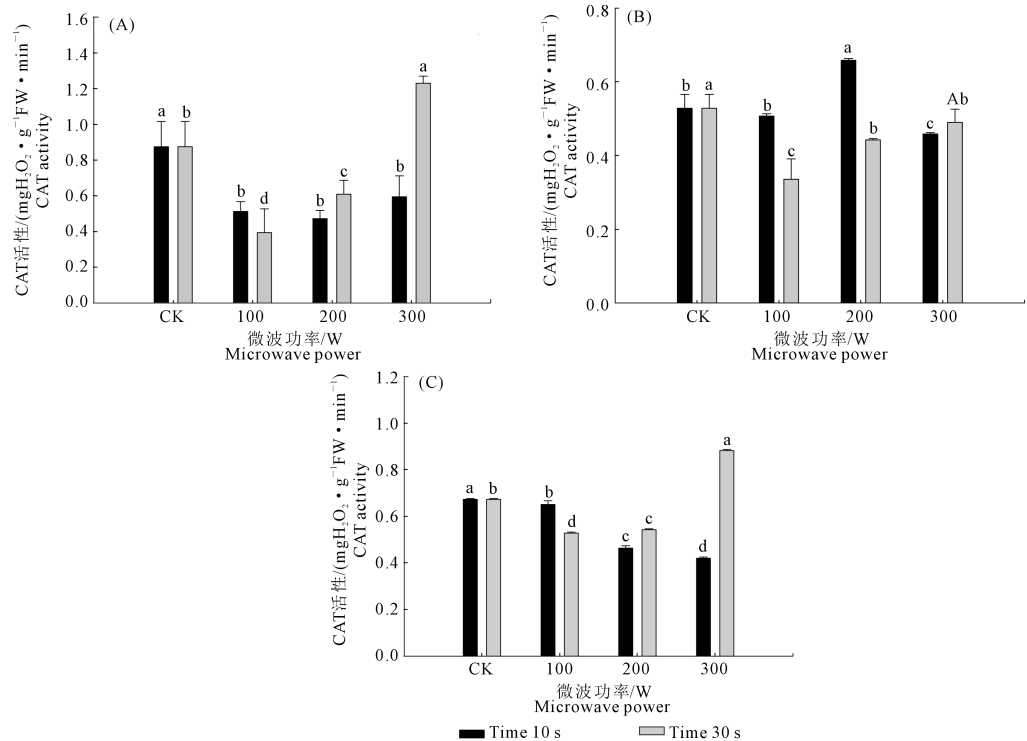
2.5 微波处理对芽苗还原糖含量的影响

发芽3 d (图 5A) 时,微波处理豌豆的芽苗中还

原糖的含量均高于对照组。300W10s 处理的芽苗中还原糖含量最高,达 $10.11\text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ 。发芽 5 d (图 5B) 时,200W10s 处理的芽苗中还原糖含量为 $5.17\text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$,高于 300W10s 处理组。芽苗中还原糖含量随微波功率的增加先升高后减低。发芽 7 d (图 5C) 时,100W30s 处理后的种子的芽苗中还原糖含量最高,为 $4.56\text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$,而 300W30s 处理者的含量最低,为 $1.47\text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ 。芽苗中还原糖含量随微波功率的增加先增加后降低 ($P<0.05$),随发芽时间增加逐渐降低。微波处理显著影响豌豆芽苗中的还原糖含量,且发芽 3 d 到 5 d 时的还原糖含量变化较大。这种现象是由于还原糖在种子发芽的过程中只是一种过渡形式,在发芽的过程中会逐渐被胚所吸收,所以其整体呈逐渐降低趋势。

2.6 微波处理对芽苗总黄酮含量的影响

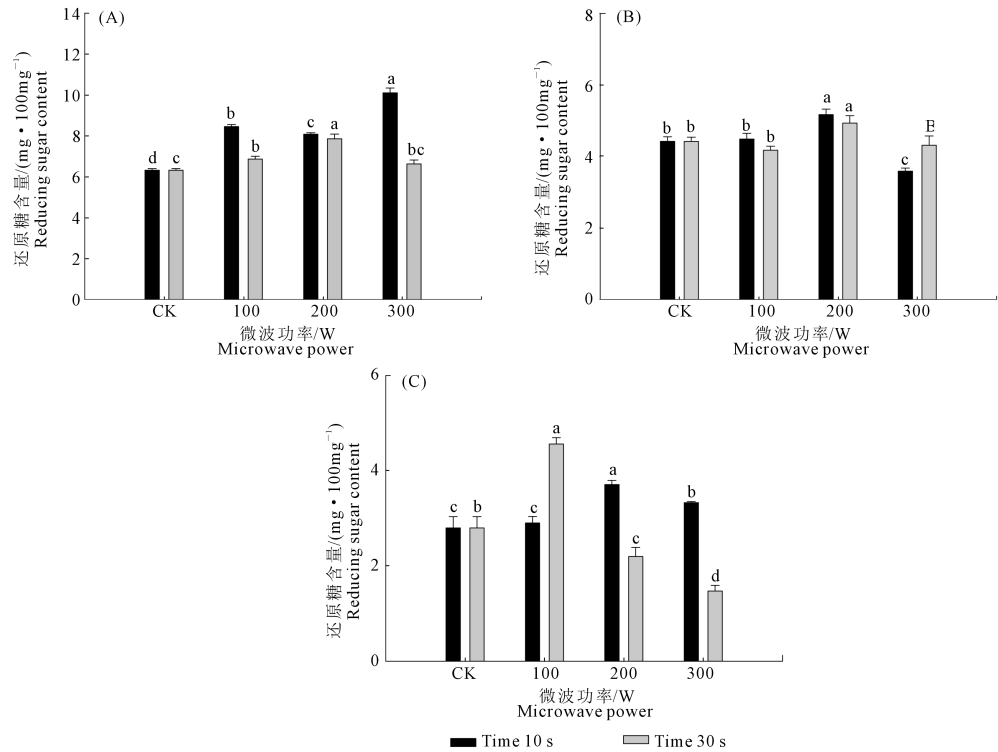
从图 6A 可知,发芽 3 d 时,处理 10 s 的豌豆种子,其芽苗的总黄酮含量随微波功率的增加呈先升高后降低,100W10s 处理时最大,而 300W10s 处理最低。处理 30 s 时,微波功率对豌豆芽苗中总黄酮的影响趋势与之相同。200W30s 处理下总黄酮含量



注:图(A)、(B)和(C)分别为发芽3 d、5 d和7 d时的数据。图中小写字母为相同时间下不同功率处理间(CK、100、200、300 W)显著性检验($P<0.05$)。

Note: Figures (A), (B) and (C) are data for 3 d, 5 d and 7 d of seedling, respectively. Different lowercase letters in the figure are significant differences ($P<0.05$) between different power treatment (CK, 100, 200 and 300 W) at the same time.

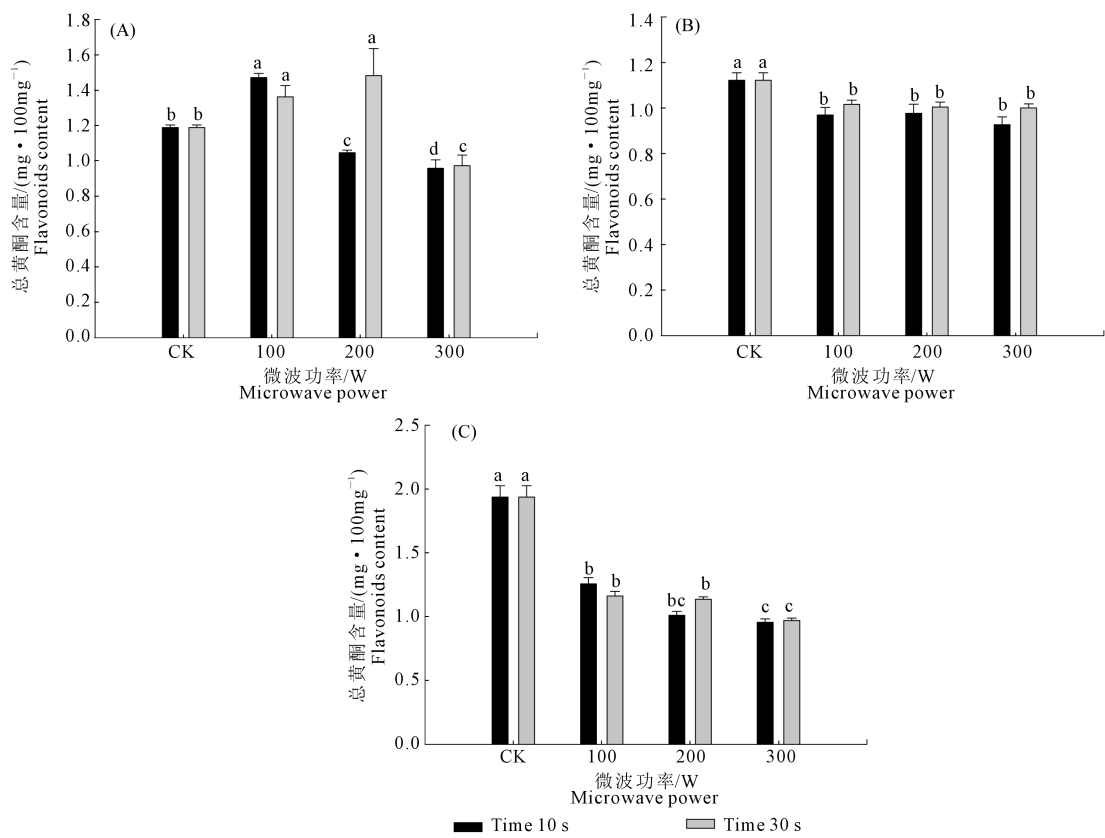
图 4 不同微波处理的豌豆芽苗的 CAT 活性的变化
Fig.4 Change of CAT activity of pea sprouts in differentmicrowave treatment



注:图(A)、(B)和(C)分别为发芽3 d、5 d和7 d时的数据。图中小写字母为相同时间下不同功率处理间(CK、100、200、300 W)显著性检验($P<0.05$)。

Note: Figures (A), (B) and (C) are data for 3 d, 5 d and 7 d of seedling, respectively. Different lowercase letters in the figure are significant differences ($P<0.05$) between different power treatment (CK, 100, 200 and 300 W) at the same time.

图 5 不同微波处理下豌豆芽苗中还原糖含量的变化
Fig.5 Change of reducing sugar of pea sprouts in different microwave treatment



注:图(A)、(B)和(C)分别为发芽3 d、5 d和7 d时的数据。图中小写字母为相同时间下不同功率处理间(CK、100,200,300 W)显著性检验($P<0.05$)。

Note: Figures (A), (B) and (C) are data for 3 d, 5 d and 7 d of seedling, respectively. Different lowercase letters in the figure are significant differences ($P<0.05$) between different power treatment (CK, 100, 200 and 300 W) at the same time.

图6 不同微波处理的豌豆芽苗的总黄酮含量的变化

Fig.6 Change offlavonoids content of pea sprouts in different microwave treatment

为最高,达 $1.48 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$,而 $300\text{W}10\text{s}$ 处理的含量最低,为 $0.96 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ 。发芽5 d (图 6B)时,微波处理的芽苗的总黄酮含量低于对照组,其中 $300\text{W}10\text{s}$ 的含量最低为 $0.93 \text{ mg} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ 。豌豆芽苗中的总黄酮含量随微波功率的增加而逐渐减少。处理10 s与30 s间变化趋势相同。发芽7 d (图 6C)时,微波处理过的芽苗中总黄酮含量显著低于对照组,且其含量随微波功率的增加而逐渐降低。

3 讨论

低功率短时间微波处理有利于豌豆种子的萌发,而高功率长时间则会抑制种子的萌发,降低发芽率、芽长,尤其是高功率长时间处理(图 2)。在同一时间下,发芽率和最终发芽率及芽长均随微波功率增加而降低(图 1和图 2)。本研究结果与微波处理冬小麦的研究结果一致^[12]。高功率长时间微波处理会显著影响种子中酶的空间结构,甚至起钝化作用^[17]。本研究中,微波处理后,芽苗中 CAT 活性

随微波功率增大和时间延长而增加(图 4)。植物在逆境胁迫下,通过调节基因的表达,细胞产生快速感应,进而使相关酶的活性发生变化,同时,黄酮类化合物和脯氨酸(Pro)等渗透调节物质含量增加,以此适应胁迫环境。本研究中豌豆芽苗中蛋白质的含量随微波功率的增加而降低($P<0.05$)。发芽3~7d内,相同功率和时间下,芽苗中蛋白质含量随发芽时间的增加而降低(图 3)。微波处理有利于豌豆芽苗生长前期组织内蛋白质的富集。但是在生长后期,各微波处理组中蛋白质含量均降低且与功率增加和时间延长呈相反趋势。可能因为微波处理对种子形成了特殊的环境胁迫,导致种子需要消耗更多的蛋白质去适应生长环境^[18]。不同处理时间(10 s和30 s),豌豆苗中还原糖含量均随微波功率的增加先增加后降低(图 5)。磁场等逆境胁迫可诱导苦荞种子中 PAL、CHI 和 FLS 基因的表达,使萌发后的芽苗中总黄酮含量显著增加^[14]。在本研究中,微波处理的芽苗中总黄酮含量呈先增加后降

低,发芽前期微波处理有利于总黄酮含量的增加。微波功率和处理时间均显著影响豌豆芽苗中总黄酮的含量(图 6)。这说明微波处理不仅影响豌豆种子萌发,还对幼苗生长、生化代谢及生物量的积累产生影响。

4 结 论

微波低功率短时间处理有利于豌豆种子的萌发,但大功率较长时间会造成发芽率降低。在相同的微波功率下,发芽率和最终发芽率受处理时间的影响较低。微波短时处理促进种子的生长发育,芽长较长,而长时间处理则抑制生长。微波处理有利于豌豆芽苗中 CAT 活性增加和还原糖含量的积累,显著影响芽中蛋白质和总黄酮的含量,且微波处理有利于芽苗生长前期组织内蛋白质和总黄酮含量的富集。即微波处理不仅影响了种子萌发,还对幼苗生长、生化代谢及化学成分的积累产生影响。

参 考 文 献:

[1] 吕俊丽,王国泽,游新勇. 发芽谷物研究进展 [J]. 粮食与油脂, 2014, 27 (2): 5-7.

[2] Guo Y X, Zhu Y H, Chen C X, et al. Effects of aeration treatment on gamma-aminobutyric acid accumulation in germinated Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) [J]. *J Chem*, 2016(6):1-9.

[3] Carbonell M V, Martinez E., Amaya J M. Stimulation of germination in rice (*Oryza satival.*) by astatic magnetic field [J]. *Electromagn Biol Med*, 2000, 19 (1): 121-128.

[4] Kadlec P, Rubecova A, Hinkova A, et al. Processing of yellow pea by germination, microwave treatment and drying [J]. *Innov Food Sci Emer*, 2001, 2 (2): 133-137.

[5] Aladjadjian A. Physical factors for plant growth stimulation improve food quality [M]. Plovdiv, Bulgaria: In Tech, 2012.

[6] Wu X H, Feng J M. Study on the effect of microwave strikes hotly processing on the germination and vigour of the soybean seed [J].

J microwaves, 2011, 27 (05): 93-96.

[7] Łupinska A, Kozioł A, Araszkiewicz M, et al. The changes of quality in rapeseeds during microwave drying [J]. *Dry Technol*, 2009, 27 (7/8): 857-862.

[8] 杨俊红, 郭锦棠, 江莎, 等. 微波处理和微环境对植物种子萌发的协同影响 [J]. *南京理工大学学报(自然科学版)*, 2004, 28 (01): 57-61.

[9] 刘金文, 彭东君, 韩毅强, 等. 微波处理对大豆种子萌发及其产量的影响 [J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2013, 25 (04): 10-14.

[10] 赖麟, 冯鸿. 微波对白兰瓜种子萌发期淀粉酶的激活效应 [J]. *四川农业大学学报*, 1997, 15 (03): 18-22.

[11] Zhang S Q, Li J F, Shi S L, et al. Effect of microwave irradiation on alfalfa seeds germination and nitrogenaseactivity of endophytic diazotrophs in seeds [J]. *At Energy SciTechn*, 2011, 45 (6): 763-768.

[12] Hao Y S, Yang L Y. Effects of microwave pretreatment on seed germination and seedlings growth in wheat [J]. *J Shanxi Agr Sci*, 2012, 40 (06): 608-612.

[13] Chen Y P, Jia J F, Wang Y J. Weak microwave can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress [J]. *J Plant Growth Reg*, 2009, 28 (4): 381-385.

[14] Zhou X L, Fang X, Zhou Y M, et al. Effect of magnetic field stimulation on flavonoid synthesis in tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) sprouts [J]. *Food science*, 2012, 33 (21): 20-23.

[15] 赵凯, 许鹏举, 谷广烨. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究 [J]. *食品科学*, 2008, 29 (8): 534-536.

[16] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社. 2006: 287.

[17] Benlloch-Tinoco M, Igual M, Rodrigo D, et al. Comparison of microwaves and conventional thermal treatment on enzymes activity and antioxidant capacity of kiwifruit puree [J]. *Innov Food Sci Emer*, 2013, 19 (7): 166-172.

[18] Qiu Z, Guo J, Zhang M, et al. Nitric oxide acts as a signal molecule in microwave pretreatment induced cadmium tolerance in wheat seedlings [J]. *Acta Physiol Plant*, 2013, 35 (1): 65-73.