

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.09.007

魔芋不同生理状态的愈伤组织和丛生芽内源激素及抗氧化酶研究

蔡阳光, 段龙飞, 覃剑锋, 郭邦利, 陈国爱, 张百忍

安康市农业科学研究院, 陕西 安康 725021

摘要: 魔芋组培脱分化和再分化过程中存在不同生理状态的愈伤组织和丛生芽, 对后续的形态和器官建成有影响. 明确不同类型愈伤组织和丛生芽内源生理活性物质质量分数及其相互关系, 对于控制分化具有重要指导意义. 以杂交魔芋品种“安魔 128”3 龄球茎为材料, 通过球茎切块愈伤组织诱导和丛生芽的分化培养, 测定不同生长状态下的愈伤组织和丛生芽内源激素(6-BA, KT, 2,4-D, NAA, ABA, GA₃)质量分数、抗氧化酶(SOD, POD 和 CAT)活性以及逆境生化物质(Pro, MDA)质量分数, 并分析其相互关系. 结果表明: ① 愈伤组织脱分化好的类型, 6-BA, KT, 2,4-D, NAA 的比例为 114 : 80 : 68 : 100, 且(6-BA+KT+2,4-D)与 NAA 的比值 $R \leq 2.62$; 丛生芽分化好的类型, 6-BA, KT, 2,4-D, NAA 的比例为 119 : 79 : 72 : 100, 且(6-BA+KT+2,4-D)与 NAA 的比值 $R = 2.70$. ABA, MDA 质量分数在分化好的类型中均较低. ② 在愈伤组织中, ABA, Pro 和 MDA 与 NAA 呈极显著正相关, 与 KT 呈负相关, 较低的 NAA 和较高的 KT 水平有利于愈伤组织的增殖. 在丛生芽中, 6-BA 与 ABA 呈极显著的正相关, NAA 与 ABA 呈极显著的负相关, 较低的 6-BA 和较高的 NAA 有利于芽的分化. 研究结果为调整培养基外源激素的种类和浓度提供了思路.

关键词: 魔芋; 愈伤组织; 丛生芽; 内源激素; 抗氧化酶

中图分类号: S188

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2022)09-0061-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Studies on Endogenous Hormones and Antioxidant Enzymes in Callus and Cluster Buds of Konjac under Different Physiological Conditions

CAI Yangguang, DUAN Longfei, QIN Jianfeng,
GUO Bangli, CHEN Guoai, ZHANG Bairen

Ankang Institute of Agricultural Sciences, Ankang Shaanxi 725021, China

Abstract: In the process of dedifferentiation and redifferentiation in tissue culture of konjac, callus and

收稿日期: 2021-07-29

基金项目: 安康市科技局农业科技攻关项目(AK2020-CQ01-2, AK2021-NY-13); 陕西省科技厅重点研发计划项目(2020NY-042).

作者简介: 蔡阳光, 硕士, 农艺师, 主要从事魔芋组培快繁技术的研究.

通信作者: 张百忍, 研究员.

cluster buds with different physiological states existed, which affected the subsequent morphology and organogenesis. The contents of endogenous physiological active substances in different callus and fascicular buds and their relationship are important for controlling differentiation. The third-age corm of hybrid Konjac variety "Anmu 128" was used as material. Callus induction and differentiation of cluster buds were carried out. The contents of endogenous hormones (6-BA, KT, 2, 4-D, NAA, ABA, GA_3), the activities of antioxidant enzymes (SOD, POD and CAT) and the contents of biochemical substances (Pro and MDA) in callus and cluster buds under different growing conditions were determined, and their relationship was analyzed. ① In the type with good dedifferentiation of callus, the ratio of 6-BA : KT : 2, 4-D : NAA was 114 : 80 : 68 : 100, and the ratio of (6-BA+KT+2, 4-D) / NAA was ≤ 2.62 . In the type with good differentiation of cluster buds, the 6-BA : KT : 2, 4-D : NAA was 119 : 79 : 72 : 100, and the ratio of (6-BA+KT+2, 4-D) / NAA was about 2.7. The contents of ABA and MDA were lower in all the well differentiated types. ② In callus, the levels of ABA, Pro and MDA were positively correlated with NAA, but negatively correlated with KT. Lower NAA and higher KT levels were beneficial to callus proliferation. There were significant positive and negative correlations between 6-BA, NAA and ABA in the cluster buds, and lower contents of 6-BA and NAA were beneficial to bud differentiation. The results of study provided a new idea for control of the differentiation through adjusting exogenous hormones in the medium.

Key words: konjac; callus; cluster buds; endogenous hormones; antioxidant enzymes

植物的生长过程是植物内源各激素水平间的动态平衡过程,内源激素对植物愈伤组织生长和分化有调控作用^[1].但在诱导植物组织分化过程中,内外源激素之间存在相互作用,外源激素与内源激素的种类和水平有着密切的关系,并通过多种机理实现相互作用,一起构成了一个非常精细而复杂的调控网络^[2-4].通过外源激素的适时适量运用,可使植物体内的生理生化反应以及激素水平和种类发生显著的变化,进而调控作物的源库关系^[5-7].王京伟等^[8]研究发现,内外源激素协同调控山丹小鳞茎的分化方向,且在培养过程中发现,添加的外源激素不同,小鳞茎的形态变化也不相同,对应的内源激素水平也发生了一定的变化.李本波^[9]在杜梨愈伤诱导发生的研究中指出,外源激素和内源激素在杜梨愈伤组织培养中有着较强的相互作用,添加不同的单一外源激素,可促进杜梨内源激素的合成,同时还可以引起激素间的比值发生变化;且不同外源激素对杜梨愈伤组织内源激素影响存在一定的差异,内源激素水平或不同内源激素间比值与不添加外源激素的愈伤组织间差异有统计学意义.

魔芋作为地下球茎类作物,其离体器官发生形式与内源激素变化及平衡水平相关^[10].齐祥根^[11]研究指出,在细胞分化过程中,高水平的内源 ZR,ZR/IAA 比值以及适量的 IAA 和 GA_3 有利于花魔芋愈伤组织细胞的分化,而 ABA 不利于愈伤组织细胞的分化;POD α -淀粉酶和 PAL 活性增加有利于愈伤组织细胞的再分化,这些酶可能是以提高细胞的代谢水平以及提供细胞分化所需要的物质和能量的方式,发挥其对细胞分化的促进作用.黄丹枫等^[12-14]研究指出,异戊烯基嘌呤类(iPAs)CTK 是决定魔芋细胞分化和器官发生的内源激素;细胞内异戊烯基嘌呤类细胞分裂素质量分数的上升与不定芽发生呈正相关,培养基中细胞分裂素类物质的种类和浓度,影响魔芋愈伤组织细胞内 iPAs 的生物合成,从而影响魔芋愈伤组织的细胞分化、器官发生和植株再生;另外,内源细胞分裂素 iPAs 与魔芋不定芽分化正相关,通过促进遗传物质的合成,提高 CAT,PAL,POX 酶活性而起作用,同时分化培养基中适宜的 6-BA,IAA 浓度与 iPAs,CAT 活性正相关,也促进了魔芋不定芽的分化.胡建斌等^[15]对不同类型的魔芋愈伤组织研究后发现,只有结构致密且表面呈瘤状的愈伤组织(Ⅲ型)才能诱导形成微型薯,其他类型的愈伤组织(Ⅰ型,Ⅱ型)则倾向于形成不定芽;进一步研究两种途径的愈伤组织中的内源激素发现,赤霉素与茉莉酸的平衡是调控魔芋离体形

态建成的主要因素。魔芋是我国西部山区重要的特色经济作物,繁殖系数低,组织培养是快繁和优质种质保存的重要途径。目前魔芋组培主要经过外植体脱分化和再分化进行,在脱分化和再分化过程中,受遗传因素、培养条件、生理状态、激素以及次生代谢物质的影响,愈伤组织和丛生芽形态多样化且频率不一致,如褐化、僵化、老化和玻璃化等,会对后续的继代培养和形态建成产生不利影响。另外对魔芋离体细胞脱分化、再分化和形态建成的内在机制及其调控机制,内源激素对魔芋离体再生的影响及其作用机制,以及各激素间相互影响均需进一步验证^[16-17]。本研究以遗传同质、生理状态不同的魔芋愈伤组织和丛生芽作为研究对象,通过测定其内源激素的质量分数以及SOD,POD,CAT酶的活性,分析其相关性,探明内源激素对形态建成的影响,为定向调控奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

杂交魔芋品种“安魔128”,安康市农业科学研究院自主选育的魔芋品种,2019年种植于该院示范园魔芋繁育基地,常规管理,选取3龄球茎作为外植体组培,挑选同期不同生长及分化状态的愈伤组织和丛生芽作为检测材料。

1.2 组织培养

试验于2020年4月23日在安康市农业科学研究院魔芋组培中心进行。①选取1.21 kg健康无外伤的“安魔128”球茎,清洗消毒后,将其均匀切成 1 cm^3 大小,接种于愈伤组织诱导培养基中:MS+2.0 mg/L 6-BA+0.5 mg/L 2,4-D+0.2 mg/L NAA+4.2 mg/L 琼脂+30 g/L 蔗糖,pH值为5.8~6.0,每瓶接种1块,共227瓶;②培养至32 d,挑选3种不同生长状态的愈伤组织进行内源激素及酶活检测,每个处理挑选10瓶;③同时挑选质地坚硬、表面呈颗粒状的愈伤组织,平均切分成2块,接种于芽分化诱导培养基中:MS+3.0 mg/L 6-BA+1.0 mg/L KT+0.2 mg/L 2,4-D+0.5 mg/L NAA+4.2 mg/L 琼脂+20 g/L 蔗糖,pH值为5.8~6.0,每瓶接种1块,共169瓶;④培养至40 d,挑选不同分化状态的丛生芽进行内源激素及酶活检测,每个处理挑选10瓶。

1.3 测定指标及方法

2020年5月24日挑选3种类型愈伤组织进行检测,每种类型挑选10瓶,愈伤组织平均9.49 g/个。2020年7月3号挑选5种类型丛生芽进行检测,每种类型挑选10瓶,丛生芽平均7.53 g/个。采用高效液相色谱法^[18-19]测定 GA_3 ,ABA质量分数;采用酸性茚三酮法^[20]测定脯氨酸(Pro)质量分数,硫代巴比妥酸显色法^[21]测定MDA质量分数;采用对邻苯三酚自氧化法^[22]测定超氧化物歧化酶(SOD)的活性,参照陈建勋等^[23]的方法测定过氧化物酶(POD)的活性,紫外分光光度法^[24]测定过氧化氢酶(CAT)的活性。

采用酶联免疫分析(ELISA)试剂盒测定6-BA,KT,2,4-D及NAA的质量分数:取0.5 g经液氮处理后的样品,充分研磨,加入PBS,2 000~3 000 r/min离心20 min,收集上清液后分装,留1份待测,其余保存于4℃冰箱备用。往预先包被6-BA,KT,2,4-D及NAA捕获抗体的微孔中,依次加入标本、标准品、HRP标记的检测抗体,经过温育并彻底洗涤。用底物TMB显色,TMB在过氧化物酶的催化下转化成蓝色,并在酸的作用下转化成最终的黄色。颜色的深浅和样品中各激素的多少呈正相关。用酶标仪在450 nm波长下测定吸光度(OD值),计算样品浓度,用标准品做对照计算各指标的质量分数,每个处理重复测定3次。

1.4 数据统计与分析

用Excel 2003与SPSS 19.0软件进行数据整理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同类型魔芋愈伤组织生理指标分析

由表1可知,魔芋愈伤组织类型3的 GA_3 ,Pro质量分数及抗氧化酶SOD,CAT活性均显著高于其

他 2 种类型,同时 ABA,MDA 质量分数均较低,表明愈伤组织类型 3 较类型 1 和类型 2 生长更旺盛,这与图 1 中的外在表现较一致. 类型 3 愈伤组织分化效果最好,质地坚硬松散,表面有颗粒状,呈粉绿色;类型 2 分化效果良好,但质地较软呈水渍状,表面暗红色;类型 1 分化不完全,质地坚硬不松散,且伴有褐化现象.

从表 1 中还可以看出,愈伤组织类型 3 中 4 种内源激素质量分数均显著高于类型 1 和类型 2,且各激素 6-BA,KT,2,4-D,NAA 的比例为 114:80:68:100,(6-BA+KT+2,4-D)与 NAA 的比值 $R=2.62:1$ (类型 3) $<2.71:1$ (类型 2) $<2.89:1$ (类型 1). 4 种内源激素水平间差异有统计学意义,且当(6-BA+KT+2,4-D)与 NAA 的比值 $R \leq 2.62$ 时,有利于魔芋球茎愈伤组织的分化. 同时,在诱导脱分化形成愈伤组织的过程中,单独使用 2,4-D 也可诱导愈伤组织的形成,但形成的愈伤组织较松软,难分化;而使用中低浓度的 2,4-D 配合 6-BA(KT)对加速细胞分裂快速形成胚性愈伤具有明显的作用.

表 1 3 种类型魔芋愈伤组织生理指标比较

处理	GA ₃ / (ng·mL ⁻¹)	ABA/ (ng·mL ⁻¹)	Pro/ (ng·mL ⁻¹)	MDA/ (ng·mL ⁻¹)	SOD/ (U·g ⁻¹)	CAT/ (U·g ⁻¹)	POD/ (U·g ⁻¹)	6-BA (ng·mL ⁻¹)	KT (ng·mL ⁻¹)	NAA (ng·mL ⁻¹)	2,4-D (ng·mL ⁻¹)
类型 1	12.45±0.31b	66.27±0.61a	80.80±0.85c	0.72±0.01a	63.64±0.41c	85.13±0.92c	2.10±0.02a	24.35±0.26b	13.57±0.25b	18.85±1.11c	16.67±0.37b
类型 2	13.78±0.47b	53.16±0.38b	113.98±1.92b	0.45±0.01c	71.01±1.15b	127.88±1.13b	2.11±0.01a	24.48±0.49b	14.38±0.57b	21.47±0.55b	18.67±0.72ab
类型 3	17.09±0.39a	47.25±0.50c	139.70±1.80a	0.60±0.02b	88.76±2.72a	159.15±2.50a	2.14±0.01a	33.37±1.11a	23.50±0.90a	29.34±1.08a	20.02±0.83a

注:同列小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义.

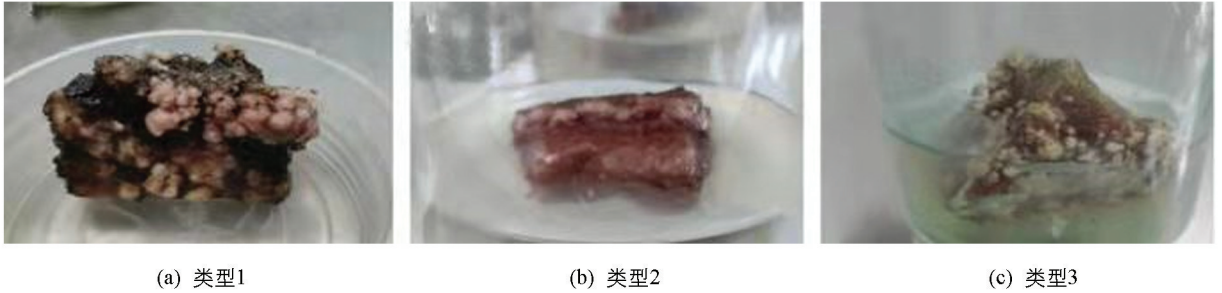


图 1 3 种不同生长状态的魔芋愈伤组织

2.2 不同类型魔芋丛生芽生理指标分析

由表 2 可知,类型 3 魔芋丛生芽 GA₃,Pro 的质量分数及抗氧化酶活性均较高,且 ABA,MDA 质量分数均较低,较其他类型丛生芽差异有统计学意义. 结合图 2 丛生芽分化的外在表现,表明该类型芽处于生理旺盛阶段. 类型 1 丛生芽由于褐化影响了正常的分化和生长;类型 2 丛生芽出现了老化现象,再生频率低;类型 4 丛生芽与类型 3 相比,GA₃,CAT 质量分数较低,导致有效芽分化数相对较少;类型 5 丛生芽 SOD 活性最高,同时 ABA,MDA 质量分数也较高,而 GA₃,Pro 质量分数及 CAT 活性相对较低,可能细胞膜受到氧自由基的伤害,从而形成外在的玻璃化状态以及显示边缘水渍状.

表 2 5 种类型魔芋丛生芽生理指标比较

处理	GA ₃ / (ng·mL ⁻¹)	ABA/ (ng·mL ⁻¹)	Pro/ (ng·mL ⁻¹)	MDA/ (ng·mL ⁻¹)	SOD/ (U·g ⁻¹)	CAT/ (U·g ⁻¹)	POD/ (U·g ⁻¹)	6-BA/ (ng·mL ⁻¹)	KT/ (ng·mL ⁻¹)	NAA/ (ng·mL ⁻¹)	2,4-D/ (ng·mL ⁻¹)
类型 1	14.81±0.29d	68.64±0.68a	123.90±0.85b	0.76±0.02a	70.16±1.20c	112.93±1.57d	7.11±0.23c	28.07±0.36b	24.52±0.76b	27.18±0.74c	16.42±0.77d
类型 2	25.38±0.49b	55.23±1.15c	123.34±0.97b	0.48±0.02c	90.81±0.81a	129.70±0.61c	8.52±0.18a	29.15±0.69b	26.38±0.33a	24.49±0.28d	20.86±0.23b
类型 3	29.24±0.45a	40.75±0.44e	148.70±1.67a	0.39±0.02d	86.34±0.55b	179.30±1.68a	8.39±0.15ab	36.78±0.37a	24.35±0.55b	31.01±0.91b	22.36±0.41a
类型 4	20.45±0.46c	52.96±0.92d	144.98±1.49a	0.62±0.02b	86.00±0.78b	133.26±1.32c	7.89±0.21b	36.86±0.81a	27.8±0.39a	33.40±0.56a	22.95±0.29a
类型 5	21.91±1.06c	59.58±0.84b	109.65±2.99c	0.58±0.01b	92.88±0.67a	147.52±1.50b	5.69±0.20d	24.50±0.69c	16.86±0.41c	25.57±0.65cd	19.12±0.34c

由表2还可以了解到,不同类型魔芋丛生芽内源激素水平有差异,类型3各激素6-BA,KT,2,4-D,NAA的比例为119:79:72:100,(6-BA+KT+2,4-D)与NAA的比值 $R=2.70:1$,其中 $2.37:1$ (类型5) $<2.53:1$ (类型1) $<2.62:1$ (类型4) $<2.70:1$ (类型3) $<3.12:1$ (类型2).说明对于魔芋丛生芽分化而言,细胞分裂素和生长素总的比值应维持在适宜水平,比值过高(类型2),易出现老化芽现象;比值过低又会导致分化慢,分化不完整.另外,仅KT和NAA差异显著的类型3和类型4,芽的分化数量和形态也有差异.

在图2中,类型3芽密,质地坚硬松散,芽头呈嫩绿色;类型4芽密,呈松散状,芽头多呈粉红色;类型1芽少,质地较硬不松散,伴有部分褐化;类型2芽密,质地较硬不松散,芽头大多呈浅粉色,并且芽外形呈花瓣状,难以形成有效苗;类型5芽密,质地偏软不松散,芽较长且呈白色或透明状,幼苗细弱且叶片呈水渍状,即玻璃化.



图2 5种不同生理状态魔芋丛生芽

2.3 魔芋愈伤组织内源激素质量分数及抗氧化酶相关性分析

由表3可知,内源激素KT和NAA质量分数之间呈极显著负相关,6-BA和2,4-D质量分数之间呈极显著正相关.6-BA,2,4-D与POD活性之间呈极显著正相关,与SOD活性之间呈显著负相关.NAA与SOD,CAT活性之间呈显著正相关,2,4-D与CAT活性之间呈显著负相关.SOD与CAT之间呈极显著正相关,而与POD之间呈极显著负相关.ABA,Pro和MDA与衰老和逆境胁迫有关,与NAA呈极显著正相关,与KT呈负相关,较低的NAA和较高的KT水平有利于愈伤组织的增殖.

表3 魔芋愈伤组织生理指标的相关性分析

指标	GA ₃	ABA	Pro	MDA	SOD	POD	CAT	6-BA	KT	2,4-D	NAA
GA ₃	1.000										
ABA	0.993**	1.000									
Pro	0.924**	0.962**	1.000								
MDA	0.798*	0.862**	0.968**	1.000							
SOD	0.597	0.685*	0.859**	0.960**	1.000						
POD	-0.022	-0.137	-0.403	-0.621*	-0.815**	1.000					
CAT	0.825**	0.884**	0.978**	0.999**	0.946**	-0.584	1.000				
6-BA	0.025	-0.090	-0.359	-0.583	-0.787*	0.999**	-0.545	1.000			
KT	-0.942**	-0.897**	-0.742*	-0.549	-0.294	-0.315	-0.587	-0.359	1.000		
2,4-D	-0.125	-0.238	-0.495	-0.698*	-0.870**	0.995**	-0.664*	0.989**	-0.215	1.000	
NAA	1.000**	0.996**	0.934**	0.813**	0.618*	-0.048	0.839**	-0.001	-0.933**	-0.151	1.000

注: *表示 $p<0.05$, **表示 $p<0.01$,差异有统计学意义.

2.4 魔芋丛生芽内源激素质量分数及抗氧化酶相关性分析

由表4可知,内源激素KT与2,4-D,6-BA之间均呈极显著正相关,6-BA,KT及2,4-D与SOD,POD活性之间均呈极显著或显著正相关.KT,2,4-D及NAA质量分数与CAT活性之间均呈显著或极显著正相关,保护酶SOD与CAT,POD活性之间呈显著或极显著正相关.另外,SOD,CAT,GA₃及Pro与MDA

之间呈显著或极显著负相关, Pro 与 CAT 之间呈极显著正相关. 表明 KT 与 2,4-D,6-BA 之间相互促进, 且内源各激素质量分数的增加会促进相关抗氧化酶活性的增高; 同时抗氧化酶与相关生理物质间存在相互促进与抑制作用. 6-BA 与 ABA 呈极显著正相关, NAA 与 ABA 呈极显著负相关, 较低的 6-BA 和较高的 NAA 有利于芽的分化.

表 4 魔芋丛生芽生理指标的相关性分析

指标	GA ₃	ABA	Pro	MDA	SOD	POD	CAT	6-BA	KT	2,4-D	NAA
GA ₃	1.000										
ABA	0.626 *	1.000									
Pro	0.025	-0.764 *	1.000								
MDA	-0.685 *	0.139	-0.745 *	1.000							
SOD	0.972 **	0.426	0.258	-0.837 **	1.000						
POD	0.984 **	0.755 *	-0.154	-0.545	0.915 **	1.000					
CAT	0.572	-0.282	0.834 **	-0.989 **	0.748 *	0.417	1.000				
6-BA	0.949 **	0.840 **	-0.291	-0.421	0.849 **	0.990 **	0.285	1.000			
KT	0.963 **	0.393	0.294	-0.856 **	0.999 **	0.900 **	0.772 *	0.8290 **	1.000		
2,4-D	0.792 *	0.020	0.630 *	-0.987 **	0.913 **	0.670 *	0.954 **	0.559	0.927 **	1.000	
NAA	-0.109	-0.844 **	0.991 **	-0.649 *	0.126	-0.285	0.753 *	-0.417	0.163	0.521	1.000

3 讨论

刘清等^[25]研究指出, 内源激素对水稻愈伤组织的生理表现有着极其重要的影响, 其种类、质量分数及协调平衡是水稻愈伤组织形成和分化的关键. 合适的浓度和比例能有效促进外植体的脱分化与再分化, 并协同促进细胞的分裂、分化和生长^[26]. 郭敏敏等^[27]通过测定棉花愈伤组织中的内源激素后发现, 不同内源激素适宜的浓度和比例调节外植体的脱分化和再分化, 各种激素协同作用促进细胞的生长和分化. 本研究也发现, 对于魔芋愈伤组织和丛生芽的分化, 内源细胞分裂素和生长素的总比值应维持在相对适宜的水平, 且不同组织各细胞分裂素的作用也有主次之分; 如 6-BA, KT, 2,4-D 质量分数太高会影响愈伤组织和丛生芽的分化, 导致组织的老化; NAA 在一定浓度范围内, 可促进组织的生长分化和提高抗氧化的作用. 肖关丽等^[28]发现, 植物组织培养过程中的各种变化与内源激素种类、水平及配比具有重要关系, 包括对胚性细胞及体胚的形成, 以及愈伤组织分化芽和根等均具有显著影响. 适当提高内源激素 NAA 质量分数或提高 6-BA/NAA, KT/NAA 以及(6-BA+KT+2,4-D)/NAA 的比值能显著促进愈伤组织及丛生芽的生长分化, 2,4-D 与 NAA 的比值较大对促进丛生芽分化有抑制作用. 王秀红^[29]研究指出, 内源激素的质量分数和配比是影响愈伤组织诱导率和绿苗分化率的关键因素之一, 表现为 IAA 和 GA 呈负效应, ABA, Z+ZR 呈正效应; 同时, 内源激素的配比对愈伤组织诱导率和绿苗分化率也有一定作用, 表现为 IAA/Z+ZR 对愈伤诱导率有一定的正效应, Z+ZR/IAA, ABA/IAA 对绿苗分化率呈显著正相关. 有研究证实, 魔芋细胞内 CTK, IAA 的代谢变化是细胞分化、器官发生的调节因子和物质基础, 培养基中激素种类和浓度通过影响内源激素的代谢而起作用, 且影响魔芋细胞分化的内源 CTK 主要是 iPAs 类^[30], 这与本研究结果基本一致. 另外, 魔芋细胞分化、器官发生的生化反应顺序是: 激素代谢, RNA 及 DNA 合成代谢, 蛋白质合成酶系统反应. 本研究也发现, 不同内源激素与抗氧化酶间均存在直接或间接相关作用, 同时与其他生理物质间也存在着相互作用, 从而共同影响愈伤组织和丛生芽的分化和外在形态.

参考文献:

- [1] 张媛媛,马晖玲,俞玲,等. 草地早熟禾愈伤组织诱导和分化中内源激素水平分析 [J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(2): 74-79, 85.
- [2] 高红兵,王鹏飞,刁绍启,等. 6-BA对酸樱桃组培苗4种内源激素质量分数动态变化的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(7): 46-48.
- [3] 李代丽,康向阳. 植物愈伤组织培养中内外源激素效应的研究现状与展望 [J]. 生物技术通讯, 2007, 18(3): 546-548.
- [4] WOLTERS H, JÜRGENS G. Survival of the Flexible: Hormonal Growth Control and Adaptation in Plant Development [J]. Nature Reviews Genetics, 2009, 10(5): 305-317.
- [5] 张慧君,陈劲枫. 植物组织培养生理机制的研究进展 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43(3): 33-35.
- [6] 段娜,贾玉奎,徐军,等. 植物内源激素研究进展 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(2): 159-165.
- [7] 李代丽. 白刺愈伤组织培养中外源激素对内源激素影响的研究 [D]. 北京:北京林业大学, 2007.
- [8] 王京伟,魏佳祺,刘冬云. 不同外源激素对山丹继代培养过程中内源激素的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2017, 40(6): 39-43.
- [9] 李本波. 不同激素种类和配比对杜梨组培继代苗愈伤组织发生及状态的影响 [D]. 保定:河北农业大学, 2010.
- [10] 胡建斌. 魔芋离体形态发生机制及其繁殖技术 [D]. 武汉:华中农业大学, 2006.
- [11] 齐祥根. 花魔芋组织培养快繁体系的建立及其分化机理的研究 [D]. 雅安:四川农业大学, 2012.
- [12] 黄丹枫,刘佩瑛. 魔芋再生植株形态发生途径的细胞组织学观察 [J]. 上海农学院学报, 1994, 12(1): 25-30.
- [13] 黄丹枫,陆文初. 细胞分裂素与魔芋组织培养器官发生研究 [J]. 西南农业大学学报, 1993, 15(6): 52-56.
- [14] 黄丹枫,庄天明,甘晓兵. 魔芋组织培养器官发生综合因子的数学分析 [J]. 上海农学院学报, 1994, 12(4): 260-265.
- [15] 胡建斌,柳俊,严华兵,等. 魔芋不同类型愈伤组织及分化能力研究 [J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(6): 654-658.
- [16] 胡建斌. 魔芋组织培养与细胞工程 [J]. 细胞生物学杂志, 2007, 29(3): 379-383.
- [17] 胡建斌,柳俊. 魔芋属植物组织培养与遗传转化研究进展 [J]. 植物学通报, 2008, 43(1): 14-19.
- [18] 郭宏斌,王明月,张春艳,等. 高效液相色谱法测定蔬菜和水果中烯酰吗啉和赤霉素的残留 [J]. 热带作物学报, 2019, 40(12): 2512-2518.
- [19] 汪瑾,戴琳,王安琦,等. 超高效液相色谱-高分辨质谱测定10种植物内源激素 [J]. 分析科学学报, 2021, 37(1): 81-87.
- [20] 职明星,李秀菊. 脯氨酸测定方法的改进 [J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(3): 355-357.
- [21] 蔡永萍. 植物生理学实验指导 [M]. 北京:中国农业大学出版社, 2014.
- [22] 黎萍,彭靖茹,黄秋伟,等. 培养条件对木薯胚性愈伤组织SOD活性的影响 [J]. 湖北农业科学, 2015, 54(8): 2009-2012.
- [23] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导 [M]. 2版. 广州:华南理工大学出版社, 2006.
- [24] 杨兰芳,庞静,彭小兰,等. 紫外分光光度法测定植物过氧化氢酶活性 [J]. 现代农业科技, 2009(20): 364-366.
- [25] 刘清,朱允华,吴顺,等. 遗传转化过程中水稻愈伤组织的内源植物激素变化动态研究 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2361-2367.
- [26] 张亚芳,何钢,荣广天,等. 鸡血藤愈伤组织培养过程中内源激素变化研究 [J]. 生物技术通报, 2017, 33(3): 66-70.
- [27] 郭敏敏,王清连,胡根海. 利用高效液相色谱法分离和测定棉花组织培养过程中4种内源激素 [J]. 生物技术通讯, 2009, 20(2): 213-216.
- [28] 肖关丽,杨清辉. 植物组织培养过程中内源激素研究进展 [J]. 云南农业大学学报, 2001, 16(2): 136-138.
- [29] 王秀红. 水稻不同外植体的组织培养能力及其内源激素分析 [D]. 雅安:四川农业大学, 2002.
- [30] 刘佩瑛. 魔芋学 [M]. 北京:中国农业出版社, 2004.