

CO₂胁迫下的马铃薯微型试管薯诱导方法

孙邦升

(黑龙江省农业科学院克山分院 黑龙江齐齐哈尔 161005)

摘要:为探索新的马铃薯试管薯诱导方法,以早熟马铃薯品种中薯5号、尤金、Favorita为试验材料,在马铃薯试管苗接种阶段,测定不同体积(5、8、10、15 mL)CO₂胁迫对试管苗变态肉质茎诱导率的影响,解除CO₂胁迫后,研究光照强度(500、1000、1500、2000、2500、3000、3500、4000 lx)和光照时长(6、7、8、9、10、11、12、13、14 h)对肉质茎分枝数的影响,并筛选利于马铃薯肉质茎膨大的最佳光照和温度程序,以获得较高的单株结薯数。结果表明,在50 mL装有15 mL培养基的试管中注入10 mL CO₂气体后,在光照时长16 h·d⁻¹、光照强度4000 lx、白天气温23~25 °C,夜间气温16~20 °C的条件下培养3~5 d,取消CO₂胁迫后,再采用光照强度1500~2000 lx,光照时间10~11 h,白天气温23~25 °C,夜间气温16~20 °C的条件下培养7 d,生成肉质茎分枝后,转入暗培养,24 h温度采用8~21 °C,每1.7 h增加1 °C的循环控制6 d后,每个肉质茎分枝顶端将膨大,可诱导产生微型试管薯,中薯5号和Favorita单株试管苗平均结薯数分别达8.00和7.73个,尤金单株试管苗平均结薯数也达4.87个。此方法不经过马铃薯试管苗成苗过程,而是在CO₂胁迫下马铃薯试管苗直接生成变态肉质茎,并且不需要激素诱导过程,通过调控光照和温度,就可诱导生成马铃薯微型试管薯,操作简便,诱导效率高。

关键词:马铃薯;CO₂胁迫;微型试管薯;诱导;肉质茎

中图分类号:S532

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)07-201-06

Induction method of micro test tube potato under CO₂ stress

Sun Bangsheng

(Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161005, Heilongjiang, China)

Abstract: To explore new methods for inducing tuberous stems in potato tissue culture, early-maturing potato varieties Zhongshu 5, Youjin, and Favorita were used as experimental materials. During the potato shoot inoculation stage, the effects of different CO₂ stress volumes (5, 8, 10, 15 mL) on the induction rate of tuberous stems were measured. After removing CO₂ stress, the influence of light intensity (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 lx) and photoperiod (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 h) on the branching number of tuberous stems was studied. The optimal light and temperature programs promoting tuberous stem expansion were screened to achieve a higher tuber number per plant. The results showed that injecting 10 mL of CO₂ gas into a 50 mL tube containing 15 mL of medium, followed by cultivation under 16 h·d⁻¹ light intensity (4000 lx), daytime temperature (23-25 °C), and nighttime temperature (16-20 °C) for 3-5 days, then transferring to light intensity (1500-2000 lx) and photoperiod (10-11 h) under the same temperature conditions for 7 days, and generating tuberous stem branches, led to dark cultivation. A 24-hour temperature cycle of 8-21 °C, increasing by 1 °C every 1.7 hours for 6 days, caused the expansion of each tuberous stem branch, inducing the formation of miniature tubers. The average tuber number per plant for Zhongshu 5 and Favorita reached 8.00 and 7.73, respectively, while Youjin achieved 4.87. This method bypasses the shoot formation process in potato tissue culture, directly generating tuberous stems under CO₂ stress without requiring hormone induction. By simply regulating light and temperature, miniature tubers can be efficiently induced, offering a simple and high-efficiency approach.

Key words: Potato; CO₂ stress; Microtuber potato; Induction; Fleshy stem

马铃薯微型试管薯是通过组织培养技术在无菌条件下培养出的微型块茎,是在经过茎尖脱毒培养的无毒试管苗上产生的,不携带马铃薯卷叶病

毒、Y病毒、X病毒等常见的种传病毒和类病毒,能有效解决传统种薯由病毒积累导致的品种退化、产量下降、品质变差等问题,可长期保持品种的优良

收稿日期:2026-01-05;修回日期:2026-04-02

基金项目:黑龙江省农业科学院院级课题(2020YYYYF003)

作者简介:孙邦升,男,助理研究员,主要从事马铃薯种质资源收集、鉴定、保存等研究工作。E-mail:sunbangsheng0451@163.com

遗传特性^[1]。基于组织培养的无性繁殖特性,一株脱毒试管苗可以在短期内诱导出多个微型试管薯,且可通过继代培养不断扩繁,繁殖系数远高于传统的切块繁殖,繁殖效率极高。同时,试管内诱导微型薯不受季节、气候的限制,周年均可生产,能快速满足大规模种植的种薯需求,且体积小,便于贮藏和运输^[2-3]。试管薯诱导的一般方法:以脱毒组培苗为起点,经壮苗扩繁→诱导结薯→成熟采收→质检与保存的闭环流程,核心是蔗糖浓度、激素配比、光温调控与无菌操作的协同^[4-5]。现阶段试管薯诱导的困境:采用固体培养基培养壮苗后,再向培养容器内加入液体培养基进行诱导,操作过程中污染率高;试管苗需要暗培养促进匍匐茎分化,暗培养时间过短,匍匐茎分化较少,暗培养时间过长会造成试管苗枯黄,从而造成结薯少或不结薯;由于培养基在生成健壮试管苗时营养消耗较大,诱导试管薯时能量供给有限,从而造成薯块小或者畸形^[6]。笔者在马铃薯脱毒试管苗生产中,偶然发现增加试管内 CO₂ 气体浓度,可胁迫马铃薯试管苗生成变态肉质茎,解除 CO₂ 胁迫后,肉质茎可恢复快速生长(未发表)。根据这一现象,本研究首次通过 CO₂ 对试管苗的胁迫作用,使接种在固体培养基上的试管苗直接生成变态茎,通过光温控制,促使变态茎产生分枝,分枝顶端可直接膨大生成试管薯,不需要成苗和激素诱导过程,减少了养分消耗,操作步骤少,可降低污染率。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2022—2023 年在黑龙江省农业科学院克山分院实验室进行,试验材料为中薯 5 号、尤金、Favorita 脱毒试管苗,均来自国家马铃薯种质资源库,均为早熟马铃薯品种。CO₂ 气体在实验室内通过小苏打与稀盐酸反应获得。

1.2 方法

1.2.1 不同含量的 CO₂ 胁迫下,生成变态肉质茎情况 采用随机区组试验设计,将 3 个马铃薯品种的脱毒试管苗分别接种于 50 mL 的装有 15 mL MS 培养基的试管中,每个试管接种 1 株含有 1~2 个腋芽的脱毒苗,每个品种每个重复接种 10 管,3 次重复。向试管中分别注入 5、8、10、15 mL CO₂ 气体,然后在光照时长为 16 h·d⁻¹、光照强度为 4000 lx、白天气温为 23~25 °C、夜间气温为 16~20 °C^[7]的光照气候培养箱中培养 3~5 d,直至诱导

生成白色变态肉质茎。统计各品种诱导株数,并计算诱导率。诱导率/%=产生变态肉质茎株数/总株数×100。

1.2.2 解除 CO₂ 胁迫后,变态肉质茎恢复快速生长情况 当变态肉质茎生长到 2~3 cm 时,打开试管塞,排出 CO₂,解除 CO₂ 胁迫,使变态肉质茎顶端腋芽开始分化出生长速度较快的分枝,恢复快速生长,记录 3 个马铃薯品种能够恢复快速生长的株数和恢复快速生长所需的时间,并计算恢复率。恢复率/%=恢复快速生长株数/总株数×100。

1.2.3 恢复快速生长后,诱导变态肉质茎产生分枝的条件控制 恢复快速生长后,将 CO₂ 气体胁迫下诱导率最高且解除 CO₂ 胁迫后恢复率最高的处理,放置在光照强度分别为 500、1000、1500、2000、2500、3000、3500、4000 lx 的环境下,光照时长分别为 6、7、8、9、10、11、12、13、14 h,白天气温 23~25 °C、夜间气温 16~20 °C 的条件下培养 7 d,使变态肉质茎生长出分枝,统计每株试管苗产生的分枝数。

1.2.4 诱导试管薯生成的温度控制 当分枝形成后,对每个品种产生分枝数最多的处理,采用 3 个温度梯度 24 h 阶段性变温处理,控制程序设计,I: 8~19 °C,起始温度为 8 °C,每 2 h 增加 1 °C(记为 W1);II: 8~21 °C,起始温度为 8 °C,每 1.7 h 增加 1 °C(记为 W2);III: 8~22 °C,起始温度为 8 °C,每 1.6 h 增加 1 °C(记为 W3);置于完全黑暗的环境下,循环暗培养 6 d^[8-9],记录 3 个马铃薯品种变态肉质茎顶端膨大情况,并计算膨大率。膨大率/%=(分枝膨大个数/分枝数)×100。

1.2.5 光照培养 选择膨大率最高的处理,形成微型试管薯后,在光照时间为 8 h,温度控制在 16~20 °C,光照强度 1500 lx 条件下进行培养,使微型试管薯由浅黄色逐渐变为绿色,待形成表面光亮浅绿色的直径为 0.5~1.0 cm 的微型试管薯时,进行采收,统计单株平均结薯数。

1.3 数据分析

采用 Excel 2007 进行数据处理;采用 SPSS 22.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同体积的 CO₂ 胁迫对变态茎诱导率的影响

由表 1 可知,在不同体积的 CO₂ 胁迫下,3 个品种马铃薯试管苗均可产生变态肉质茎,当 CO₂ 体积≥10 mL 时,3 个品种马铃薯变态茎诱导率均为

100%,均显著高于其他处理。

2.2 取消CO₂胁迫后马铃薯试管苗恢复生长情况

取消 CO₂胁迫后马铃薯试管苗恢复生长情况如表 2 所示,3 个品种马铃薯试管苗变态肉质茎恢复快速生长的时间均随 CO₂ 体积增加不断增加,CO₂ 体积为 15 mL 时,中薯 5 号所需时间为 8.23 d,尤金所需时间为 15.02 d,Favorita 所需时间为 10.01 d,均显著长于其他体积 CO₂胁迫处理。CO₂

Table 1 Effects of different volumes of CO ₂ stress on the generation of abnormal stems						
CO ₂ 体积 CO ₂ volume/mL	诱导株数 Number of mutated plants			诱导率 Induction rate/%		
	中薯 5 号 Zhongshu No. 5	尤金 Youjin	Favorita	中薯 5 号 Zhongshu No. 5	尤金 Youjin	Favorita
5	5.63±0.81 c	4.97±0.92 c	6.10±0.35 c	56.32±0.82 c	49.72±0.91 c	61.04±0.34 c
8	7.77±0.33 b	6.80±0.35 b	7.60±0.25 b	77.71±0.30 b	68.01±0.36 b	76.03±0.27 b
10	10.00±0.00 a	10.00±0.00 a	10.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
15	10.00±0.00 a	10.00±0.00 a	10.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a

注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

Table 2 Recovery growth of potato plantlets <i>in vitro</i> after relief of CO ₂ stress						
CO ₂ 体积 CO ₂ volume/mL	恢复时间 Recovery time /d			恢复率 Recovery rate/%		
	中薯 5 号 Zhongshu No. 5	尤金 Youjin	Favorita	中薯 5 号 Zhongshu No. 5	尤金 Youjin	Favorita
5	1.03±0.05 d	2.22±0.05 d	1.11±0.05 d	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
8	2.01±0.05 c	4.13±0.05 c	2.10±0.05 c	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
10	4.12±0.11 b	5.25±0.16 b	3.02±0.10 b	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
15	8.23±0.05 a	15.02±0.22 a	10.01±0.20 a	71.11±0.20 b	54.23±0.16 b	69.32±0.14 b

体积≤10 mL 时,3 个供试品种恢复率均可达到 100%,当继续增加 CO₂ 体积到 15 mL 时,中薯 5 号的恢复率降到了 71.11%,Favorita 的恢复率降到了 69.32%,尤金的恢复率降到了 54.23%,均显著低于其他体积 CO₂胁迫处理,部分变态肉质茎将不能正常生长。综合表 1 和表 2 可知,10 mL CO₂胁迫下,可 100%诱导马铃薯试管苗产生变态肉质茎,且恢复快速生长的时间较短,恢复率均达 100%。

2.3 恢复生长后,变态茎产生分枝的条件控制分析

CO₂胁迫下生成的变态肉质茎,取消 CO₂胁迫后,可恢复快速生长,在不同光照条件下,既可以生长成正常的马铃薯试管苗,也可以生长出变态肉质茎分枝,分枝顶端可膨大生成微型试管薯。因此使马铃薯变态肉质茎长出分枝至关重要,它决定了产生微型试管薯的数量。由图 1~图 3 可知:中薯 5 号在光照强度为 1000、1500、2000 lx 时分枝数整体均

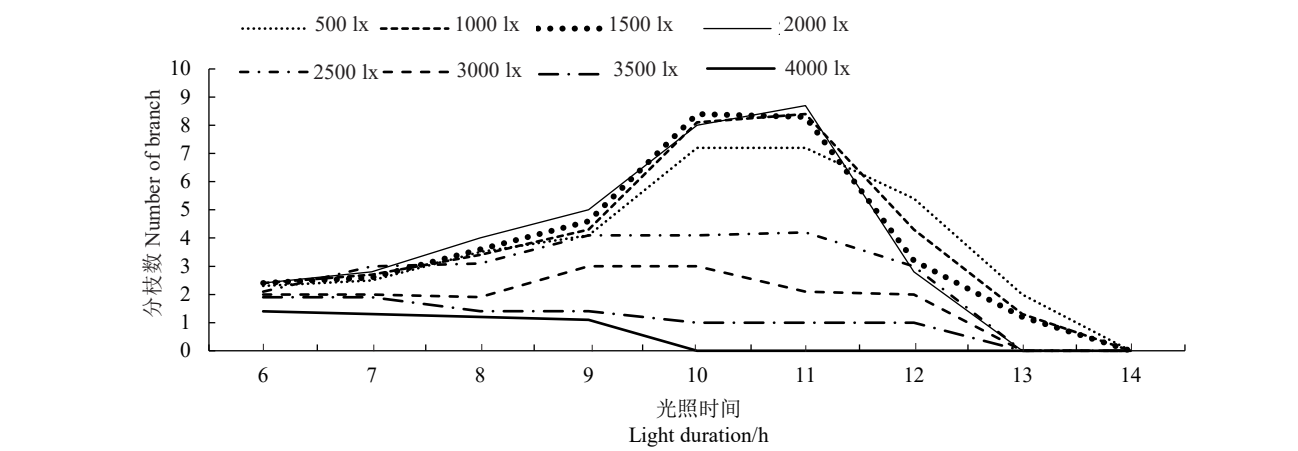


图 1 中薯 5 号在不同光照强度和光照时间下产生的分枝数

Fig. 1 The number of branch generated by Zhongshu No. 5 under different light intensities and durations

• 203 •

较多,且分枝数均随光照时间增加呈先增多后减少的趋势。光照强度为 1000 lx 时,光照时间为 11 h 时,分枝数最多,达 8.40 个,光照时间 ≥ 14 h 时,将不产生分枝,而直接生长成正常的马铃薯试管苗;光照强度为 1500 lx 时,光照时间为 10 h,分枝数最多,达 8.40 个;当光照强度为 2000 lx 时,光照时间

为 11 h 时,产生的分枝数最多,达 8.70 个,当光照时间继续增加,分枝数将快速减少,当 ≥ 13 h 时将不产生分枝。当光照强度为 4000 lx 时已基本不产生分枝,光照时长 ≥ 10 h 时,将直接生长成正常马铃薯试管苗,因此在诱导中薯 5 号生成变态肉质茎分枝时,采用光照强度 2000 lx,光照时间 11 h,能够产生

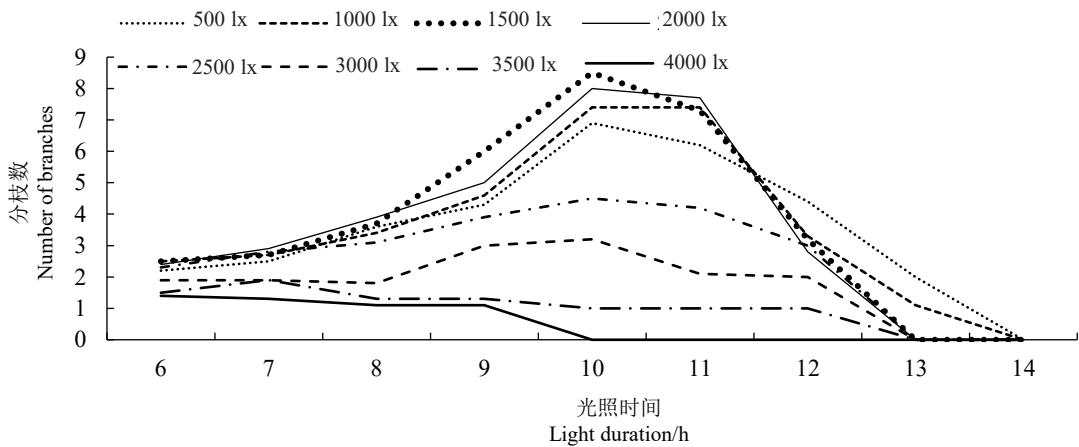


图 2 Favorita 在不同光照强度和光照时间下产生的分枝数

Fig. 2 The number of branch generated by Favorita under different light intensities and durations

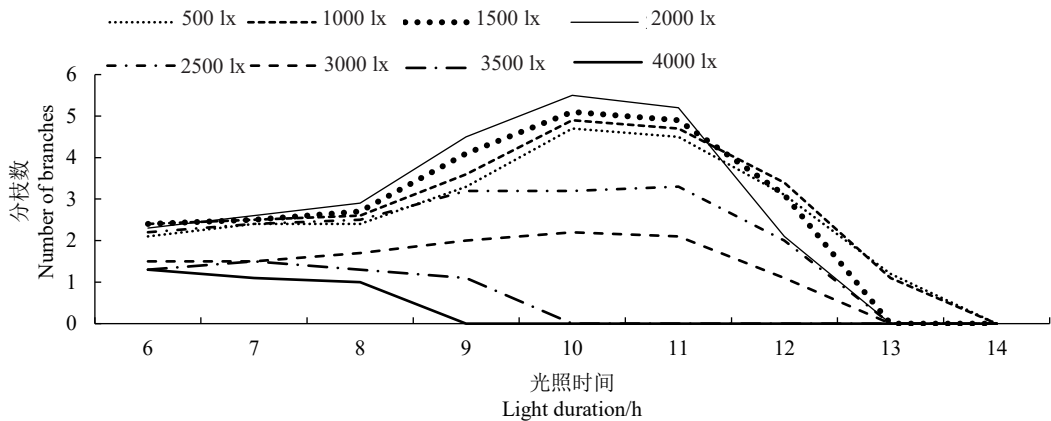


图 3 尤金在不同光照强度和光照时间下产生的分枝数

Fig. 3 The number of branch generated by Youjin under different light intensities and durations

最多的分枝,达 8.70 个。Favorita 在光照强度 1500 lx 时,光照时间 10 h 时能够产生最多的分枝,达 8.50 个;当光照强度 4000 lx 时,已基本不产生分枝,光照时间 ≥ 10 h 时,将生长成正常的马铃薯试管苗。尤金在光照强度 2000 lx 时,光照时间 10 h 时能够产生最多的分枝,达 5.50 个;当光照强度为 4000 lx 时,已基本不产生分枝,光照时间 ≥ 9 h 时,将生长成正常的马铃薯试管苗。

2.4 诱导试管薯生成的温度控制

由表 3 可以看出,W2 处理 3 个供试马铃薯品种膨大率均最高,中薯 5 号膨大率为 95.40%,尤金

表 3 不同温度程序下马铃薯肉质茎膨大情况

Table 3 Potato tuber expansion under different temperature programs

处理 Treatment	膨大率 Expansion rate/%		
	中薯 5 号 Zhongshu No. 5	尤金 Youjin	Favorita
W1	78.21 $\pm$ 0.11 c	75.21 $\pm$ 0.04 c	79.31 $\pm$ 0.05 c
W2	95.40 $\pm$ 0.05 a	88.44 $\pm$ 0.11 a	96.10 $\pm$ 0.16 a
W3	90.22 $\pm$ 0.11 b	86.34 $\pm$ 0.05 b	91.20 $\pm$ 0.12 b

膨大率为 88.44%,Favorita 膨大率为 96.10%,均显著高于其他处理。

2.5 平均结薯数

由表4可知,供试的3个马铃薯品种中,中薯5号的单株平均结薯数为8.00个,尤金的单株平均结薯数为4.87个,Favorita的单株平均结薯数为7.73个。

表4 单株平均结薯数

Table 4 Average number of potato per plant			
品种 Variety	中薯5号 Zhongshu No. 5	尤金 Youjin	Favorita
平均值 Average	8.00±0.06	4.87±0.06	7.73±0.01

3 讨论与结论

现阶段,方志荣等^[10]和陈春伶等^[11]建立的马铃薯试管薯诱导方法,已形成较为固定的技术流程,普遍采用“壮苗培养-激素诱导匍匐茎-光温调控结薯”的三步法。该方法虽能实现试管薯诱导,但存在诸多局限性。

一是培养流程繁琐、营养消耗大。传统方法需先经过较长周期培养粗壮脱毒试管苗,此过程需消耗培养基中大量营养成分,不仅增加了培养成本,还延长了试管薯生产周期,研究表明生产微型薯周期为80~115 d^[12-15]。本试验方法无需经过传统的粗壮脱毒试管苗培养阶段,通过CO₂胁迫可直接诱导试管苗产生能够膨大生成试管薯的变态肉质茎,跳过了壮苗培育环节,生长周期为55~65 d,大幅减少了培养基营养成分的消耗,降低了培养成本,同时缩短了试管薯生产周期。二是操作环节复杂、污染风险高。传统方法需额外添加液体诱导培养基以供给激素,在更换培养基和添加激素的过程中,极易造成试管苗污染,影响诱导成功率^[16]。本试验方法是经CO₂胁迫诱导生成变态肉质茎后,仅需调控光照强度(1500~2000 lx)、光照时间(10~11 h)等条件,即可促使变态肉质茎产生分枝,且每个分枝顶端均可膨大生成试管薯,省略了传统方法中“激素诱导匍匐茎-再结试管薯”的关键环节,无需添加液体诱导培养基,从根本上减少了操作步骤,避免了培养基更换过程中的污染问题。三是激素使用存在明显弊端。传统诱导多依赖低质量浓度6-BA(0.5~1.0 mg·L⁻¹)或多效唑(0.1~0.5 mg·L⁻¹)进行化学诱导,以诱导匍匐茎分化,但两种激素使用均存在明显缺陷:6-BA易导致试管苗出现“丛生芽”现象,侧芽大量萌发造成营养分散,最终导致试管薯数量少、个头小、膨大受阻,同时伴随叶片浓绿、植株矮小、生长

停滞等不良表现^[17-18];多效唑使用不当则会造成马铃薯植株过度矮化,节间极短,叶片皱缩、增厚、颜色深绿,严重时破坏根系发育,导致植株吸收能力下降,还会抑制块茎萌发,降低出苗率^[19-21]。而CO₂胁迫诱导属于简单的环境胁迫过程,不同于传统的化学诱导培养过程,无需使用6-BA、多效唑等外源激素,有效减少了激素在试管薯诱导过程中的使用,避免了激素在薯块中的残留,进而避免了残留激素对试管薯后期发芽产生的不良影响。四是结薯效率偏低且品种差异显著。常规诱导技术中,早熟品种(如荷兰15、Favorita)单株结薯数量略多,为4~6个,但薯块偏小;晚熟品种(如米拉、陇薯3号)结薯数量较少,通常仅2~4个/株,整体结薯效率难以满足规模化生产需求^[22-24]。本试验结果显示,中薯5号和Favorita每株试管苗平均结薯个数可分别达到8.00和7.73个,尤金每株试管苗平均结薯个数也达到4.87个,高于传统诱导方式的结薯数量。本试验首次验证了CO₂胁迫诱导马铃薯微型试管薯的可行性和优势,其结薯过程与马铃薯“梦生薯”形成过程极为相似,可形象地称为“梦生试管薯”,但对其内在诱导机制尚未深入探究,推测CO₂胁迫可能通过调控试管苗体内的碳代谢、激素平衡等生理过程,诱导茎尖分化方向改变,进而形成变态肉质茎,这一机制仍需后续试验进一步验证。

综上,在50 mL的装有15 mL MS培养基的试管中注入10 mL的CO₂气体,在光照时长16 h·d⁻¹、光照强度4000 lx、白天气温23~25℃、夜间气温16~20℃条件下培养3~5 d,可有效诱导变态肉质茎产生,取消CO₂胁迫后,在光照强度1500~2000 lx、光照时间10~11 h、白天气温23~25℃、夜间气温16~20℃条件下培养7 d,生成肉质茎分枝后,转入暗培养,采用24 h温度循环8~21℃、每1.7 h升温1℃的程序控温6 d,即可成功诱导产生微型试管薯,中薯5号、Favorita、尤金单株试管苗平均结薯数分别为8.00、7.73、4.87个。

参考文献

- [1] 居玉玲.马铃薯脱毒繁育与微型薯生产实用技术[M].北京:化学工业出版社,2021.
- [2] 邱彩玲.马铃薯组织培养与工厂化育苗[M].北京:中国农业科学技术出版社,2025.
- [3] 孙慧生.马铃薯育种学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [4] Ashraf S, Mustafa G, Khan M S, et al. Exploitation of varying light regimes and high sucrose concentrations for *in vitro* tuber-

- ization in potato: a step towards disease free seed production[J]. *Pakistan Journal of Phytopathology*, 2022, 34(1):202-206.
- [5] 孙慧生,张振洪,石卓文,等.马铃薯试管薯的诱导与利用研究[J].*山东农业科学*,1989(2):203-206.
- [6] 宁志珩,吕国华,贾晓鹰.脱毒马铃薯试管薯诱导技术探索[J].*中国马铃薯*,2007(1):33-38.
- [7] DB62/T 2946—2018 马铃薯试管薯生产技术规程[S].
- [8] Singh A, Kaushal N, Sharma R, et al. Effect of elevated temperature on in vitro microtuberization of potato genotypes with different thermotolerance levels[J]. *International Journal of Plant Research*, 2016, 29(3):6-9.
- [9] 刘尚前,王晓春,栗占芳,等.马铃薯试管薯形成的影响因素研究[J].*西北农业学报*,2007(5):109-112.
- [10] 方志荣,周才懿,李佩华,等.“固液双层”培养法诱导马铃薯‘米拉’试管薯的研究[J].*广西植物*,2018,38(9):1172-1182.
- [11] 陈春伶,徐美隆,李永华.马铃薯试管薯诱导体系研究[J].*中国农学通报*,2012,28(27):53-56.
- [12] 王贵荣.马铃薯脱毒和试管微型薯诱导技术[D].福州:福建农林大学,2003.
- [13] 金山,闫嘉琦,康哲秀,等.马铃薯不同品种试管薯成熟期判断试验[J].*农业与技术*,2020,40(12):9-11.
- [14] 许杰,生兆平,夏印文.马铃薯试管薯诱导培养基及诱导技术改良研究[J].*中国果菜*,2023,43(6):72-75.
- [15] 徐艳.马铃薯试管薯快速微繁技术[J].*陕西农业科学*,2022,68(10):101-102.
- [16] 金明石,严英哲,张健,等.马铃薯试管薯诱导影响因素分析[J].*中国马铃薯*,2012,26(6):332-335.
- [17] 赵建萍,蒋小满,柏新富,等. PP₃₃₃、B₉ 和 CCC 对脱毒马铃薯试管繁殖的影响[J].*植物生理学通讯*,2003(6):571-574.
- [18] 刘艳芬,陈翠果,梁伟玲,等.马铃薯脱毒试管苗保苗与试管薯诱导条件优化[J].*浙江农业学报*,2011,23(5):876-879.
- [19] 曾述容,付文进,对三汗,等.多效唑浓度及光照条件对马铃薯试管薯诱导影响的初步研究[J].*农村科技*,2009(8):35-36.
- [20] 刘璇,巩榴,张丽,等.不同激素类型对马铃薯液体诱导试管薯的影响[J].*东北农业科学*,2022,47(3):75-78.
- [21] 蒋从莲,郭华春.不同外源激素和培养温度对马铃薯试管薯形成的影响[J].*云南农业大学学报*,2007(6):824-828.
- [22] 金山,闫嘉琦,金日,等.马铃薯延薯4号试管薯工厂化生产技术研究[J].*农业与技术*,2025,45(3):22-25.
- [23] 赵元增,杨靖,孙海燕.固液双层培养中不同处理方式对马铃薯试管薯诱导的影响[J].*河南科技学院学报(自然科学版)*, 2019,47(5):1-5.
- [24] Sarchi G A J, Montesdeoca N T C, Hernandez F, et al. *In vitro* techniques for seed potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber production: A systematic review[J]. *Plants*, 2025, 14(17):2777.