

中图分类号: S532; S143.3 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2011)03-0152-05

低钾胁迫下马铃薯试管苗生长及生理指标的变化

刘玉汇¹, 王 丽², 张俊莲^{1,3}, 王 蒂^{1,3*}

(1. 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学生命科学与技术学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 马铃薯试管苗在全价、60%钾素、30%钾素的 MS 培养基上培养, 第 20、40 d 时测定生理指标。结果表明, 60%的低钾培养环境对马铃薯试管苗新叶发生能力具有促进作用, 且地上部分和地下部分的鲜重增加, 植株生长健壮。30%的低钾培养环境依然能够促进新叶的发生, 但抑制根系的伸长, 胁迫至 40 d 时, 生物量显著降低, 试管苗的细胞膜透性相对值、可溶性糖含量较对照明显增加, 而叶绿素、可溶性蛋白明显降低, 差异达到显著或极显著水平。而 60% 低钾处理下, 这些指标的变化与对照基本相同, 无差异显著性, 表明含 60% 钾元素的 MS 培养基适宜马铃薯试管苗的生长。

关键词: 马铃薯; 试管苗; 低钾胁迫; 生理指标

Growth and Changes of Several Physiological Indexes of Potato Plantlets in vitro Under Low Potassium Stress

LIU Yuhui¹, WANG Li², ZHANG Junlian^{1,3}, WANG Di^{1,3*}

(1. Gansu Key Laboratory of Crop Genetics & Germplasm Enhancement, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. College of Life Sciences and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Potato plantlets in vitro were cultured on MS medium with full potassium level, 60% potassium level and 30% potassium level. Physiological indexes were determined on 20 d and 40 d. The results showed that the ability of new leaves generation was promoted under low-K stress, which also increased the fresh weight of above ground and under ground, and the plant grew robustly when cultured with 60% potassium. Under the culture environment with 30% potassium, the ability of new leaves generation was also promoted, but the ability of root elongation was inhibited. When stressed until 40 d, the biomass decreased significantly, while the relative permeability of cell membranes and soluble sugar content increased significantly. Furthermore, the chlorophyll content and soluble protein content decreased significantly or highly significantly compared with control. Under the treatment with 60% potassium, the physiological indexes were almost the same as the control and no obvious differences were found. These results demonstrated that it was suitable for potato plantlets in vitro to grow on MS medium with 60% potassium.

Key Words: potato; plantlets in vitro; low potassium stress; physiological index

MS 培养基是 1962 年由 Murashige 和 Skoog 为培养烟草细胞而设计的。因其硝酸盐、钾离子和铵离子含量较其它培养基丰富, 微量元素和有机成分全面而被广泛使用, 也是马铃薯 (*Solanum*

tuberosum L.) 试管苗繁殖所通用的培养基。近年来, 马铃薯脱毒组培生产在我国取得了很大的成绩, 但存在一个普遍问题就是马铃薯试管苗生产成本偏高, 在一定程度上影响了其发展。为了降低生

收稿日期: 2011-02-24

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAD21B05); 农业部行业专项(nyhyzx-07-006-3); 甘肃省援藏项目(0708JKCA063)。

作者简介: 刘玉汇(1983-), 女, 实习研究员, 硕士, 研究方向为作物遗传育种。

* 通信作者(Corresponding author): 王蒂, 教授, 主要从事作物遗传育种研究, E-mail: wangd@gsau.edu.cn。

产成本, 获得适合马铃薯试管苗生长发育的培养基, 许多研究者对培养基进行了各种方式的改良^[1-5], 结果发现 MS 培养基并不是马铃薯试管苗低成本大规模生产的最佳培养基。

钾是植物生长发育所必需的大量元素, 是与氮、磷并列的植物营养的“三大要素”之一。它在作物体内含量较高, 是作物体内分布最多的一种金属元素, 一般占作物体内灰分的 50%^[6-7]。钾离子作为高等植物所必需的、唯一的一价阳离子, 在植物生命活动中, 具有极为重要的作用, 比如膨压调节、电荷平衡、酶的激活、糖类、淀粉、纤维素蛋白质合成、增强抗性、增强光合作用等^[8-9]。

钾也是马铃薯生长发育的重要元素, 马铃薯缺钾生长缓慢, 节间短, 叶面积缩小, 根系不发达, 叶片变小早衰, 光合作用能力差, 块茎小, 产量低, 品质差。而钾过量会影响马铃薯正常生长发育^[10]。Pettersson 和 Jensen^[11]研究认为, 不同作物或同一作物不同品种(基因型)间对钾素的吸收、积累以及利用存在差异, 对水稻、小麦、玉米、烟草、马铃薯^[12-16]等的研究进一步证明了该结论。因此本试验通过降低 MS 培养基中钾素含量, 探讨马铃薯对钾素的耐受性, 分析钾素对马铃薯试管苗快繁的影响, 为低成本规模化生产提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料及繁殖

供试材料为马铃薯栽培品种“陇薯 3 号”, 由甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室保存。每 20 d 在 MS 培养基上继代繁殖 1 次, 培养温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、光照强度 3 000 lx、24 h 连续光照。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理

以 MS 培养基为基础, 降低其中 KNO_3 用量, 使 K 素用量为 60% 或 30%, 其他盐类平衡离子, 全价量为对照, 构成 3 种培养基配方(表 1)。

1.2.2 材料处理

将生长健壮的马铃薯试管苗单芽茎段接入上述 3 种培养基中, 每瓶接种 5 株, 每个处理 20 瓶, 重复 3 次。培养温度为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 光强 3 000 lx, 24 h 连续光照。第 20 d 时, 测定相关指标, 并剪取各处理植株的单芽茎段在相同培养基上继代培养。第 40 d 时, 继续进行相关指标的测定。

表 1 3 种培养基中大量元素用量(mg / L)

Table 1 Dosage table of macro elements in three kinds of medium

处理 Treatment	大量元素用量 Dosage of macro elements				
	NH_4NO_3	KNO_3	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	KH_2PO_4	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
K(CK)	1650	1900	370	170	440
K6	1971	1090	370	170	440
K3	2212	482	370	170	440

注: K 表示 MS 培养基中 K 素的全价用量; K6 表示含 60% 的 K 素; K3 表示含 30% 的 K 素, 下同。

Note: K represents the total dosage of potassium in MS medium; K6 represents 60% dosage of potassium; K3 represents 30% dosage of potassium. The same below.

1.2.3 测定方法

地上和地下部鲜重用称重法; 叶绿素含量用丙酮比色法^[17]; 膜透性相对值采用电导仪法^[18]; 可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[19]; 可溶性糖含量采用蒽酮法^[20]。

1.3 数据处理

试验所得数据采用 Excel 2003 处理, SPSS 13.0 数据分析软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 低钾胁迫对不同马铃薯试管苗生长的影响

表 2 表明: 处理第 20 d 时, 低钾胁迫下的马铃薯试管苗新叶发生数显著($P < 0.05$)高于对照, 特别是 K 素含量为 60% 的处理, 其新叶数最多, 达 6.36 片 / 株; 最长根的长度与对照之间无显著

表 2 低钾胁迫对马铃薯试管苗生长的影响(株)

Table 2 Effect of low potassium stress on growth of potato plantlets in vitro(Plant)

处理 Treatment	20 d		40 d	
	新叶数(No.) Number of new leaves	最长根(cm) Maximum root	新叶数(No.) Number of new leaves	最长根(cm) Maximum root
K(CK)	4.40 c	5.35 a	4.26 c	7.59 a
K6	6.36 a	5.96 a	6.24 a	6.93 a
K3	5.76 b	4.25 b	5.72 b	5.58 b

注: 多重比较采用最小显著差异法(LSD 法)

Note: LSD method was used in multiple comparison

性差异 ($P > 0.05$)。但随着 K 素含量的降低，植株侧根数明显增加，在 30% 钾素含量下，根系毛状根增多，与缺磷素时表现出相同的状态。延长胁迫时间至 40 d 时，低钾胁迫下的新叶发生数仍然显著 ($P < 0.05$) 高于对照，而 30% 钾素处理下的最长根显著低于对照和 60% 钾素处理，而对照和 K6 之间无差异显著性 ($P > 0.05$)。表明低钾胁迫对马铃薯试管苗新叶发生能力具有促进作用，但钾素含量过低时，会抑制根系的伸长，从而不利于植株的生长。

2.2 低钾胁迫对马铃薯试管苗生物量的影响

从表 3 中可看出，低钾胁迫至 20 d 时，60% 钾素处理下的地上和地下部分鲜重均显著 ($P < 0.05$) 高

于对照和 30% 钾素处理，而对照与 30% 钾素处理的地上和地下部分鲜重无差异显著性 ($P > 0.05$)。延长胁迫时间至 40 d 时，仍然表现为 60% 钾素处理下的地上鲜重和地下鲜重显著 ($P < 0.05$) 高于对照和 30% 钾素处理，而 30% 钾素处理下的生物量显著降低 ($P < 0.05$)。结果表明 30% 的钾素含量下短时间胁迫对植株生物量没有影响，如果长时间在 30% 的低钾环境下，会使生物量明显减少，表现为植株生长缓慢，节间变短，叶面积缩小。而 60% 钾素处理可以促进陇薯 3 号生物量的增加，表现为植株生长健壮，新叶数多。由此可见，60% 钾素含量的 MS 培养基可能更适宜陇薯 3 号品种的生长。

表 3 低钾胁迫对马铃薯试管苗生物量的影响

Table 3 Effect of low potassium stress on biomass of potato plantlets in vitro

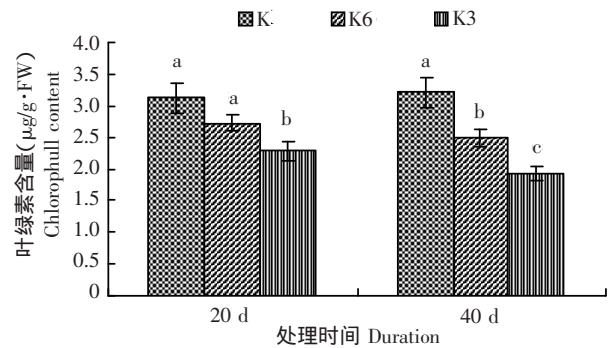
处理 Treatment	20 d				40 d			
	生物量(mg / Plant) Biomass		相对生物量 Relative biomass		生物量(mg / Plant) Biomass		相对生物量 Relative biomass	
	地上鲜重 Fresh weight above ground	地下鲜重 Fresh weight under ground	地上鲜重 Fresh weight above ground	地下鲜重 Fresh weight under ground	地上鲜重 Fresh weight above ground	地下鲜重 Fresh weight under ground	地上鲜重 Fresh weight above ground	地下鲜重 Fresh weight under ground
K(CK)	81.5 b	22.3 b	100.0	100.0	87.5 b	26.8 b	100.0	100.0
K 6	104.4 a	31.2 a	128.1	139.9	116.0 a	37.0 a	132.6	138.1
K 3	79.0 b	21.4 b	97.0	96.0	72.8 c	19.5 c	83.2	72.8

注：相对生物量 = (处理生物量 / 对照生物量) × 100%

Note: Relative biomass = (treatment biomass / control biomass) × 100%

2.3 低钾胁迫对马铃薯试管苗叶绿素含量的影响

从图 1 可以看出，低钾胁迫 20 d 时，60% 和 30% 钾素处理的马铃薯试管苗叶绿素均低于对照，但 K6 与对照间无显著性差异 ($P > 0.05$)，而 K3 处理下的叶绿素含量显著低于 K6 处理和对照。延长胁迫时间至 40 d 时，低钾处理下的试管苗叶绿素含量均有小幅下降，导致各处理间差异达显著水平。表明在 60% 钾素含量的短时间环境对试管苗的叶绿素含量没有影响，植株发育正常，叶色浓绿。尽管延长胁迫时间导致叶绿素含量显著下降，但下降幅度较对照仅为 22.3%，而且植株生长健壮，生物量高于对照(表 3)，表明在 60% 钾素胁迫下叶绿素含量的小幅度降低对植株生长并无影响，60% 钾离子的存在依然有利于保持光下叶绿体及类囊体的跨膜质子梯度，并使叶绿体间质保持 CO_2 同化所需的较高 pH 值，促进光合磷酸化及 CO_2 同化。



注：误差线为标准误，小写字母表示在 0.05 水平上差异显著，下同。

Note: The Error bar means standard error. Lowercase shows significantly difference at $P_{0.05}$. The same below.

图 1 低钾胁迫对马铃薯试管苗叶绿素含量的影响

Figure 1 Effect of low potassium stress on chlorophyll content of potato plantlets in vitro

2.4 低钾胁迫对马铃薯试管苗膜透性的影响

图 2 中看出, 低钾胁迫至 20 d 时, 各处理下的马铃薯试管苗的膜透性相对值均有小幅度增加, 但与对照间的差异不显著($P > 0.05$)。延长胁迫时间至 40 d 时, K3 胁迫环境下的试管苗膜透性相对值显著增加, 与对照和 K6 胁迫下的膜透性相对值呈极显著差异($P < 0.01$)。钾能增强植物细胞生物膜的持水性, 防止脱水, 使生物膜处于正常的液晶结构, 维持稳定的渗透性和生理活性, 因此它可以增强植物抗逆境能力, 因为钾提高了光磷酸化的效率, 形成更多的 ATP, 为生命活动的正常进行提供能源和促进物质代谢^[17-18]。短时间的低钾胁迫对马铃薯试管苗的细胞膜结构没有影响, 而增加胁迫时间且钾含量比较低时(30% 钾素含量), 会改变细胞膜正常的液晶结构, 内含物外渗。而对照和 K6 胁迫下的膜透性相对值无差异显著性($P > 0.05$), 因此, 马铃薯 MS 培养基适宜用 60% 的钾素含量。

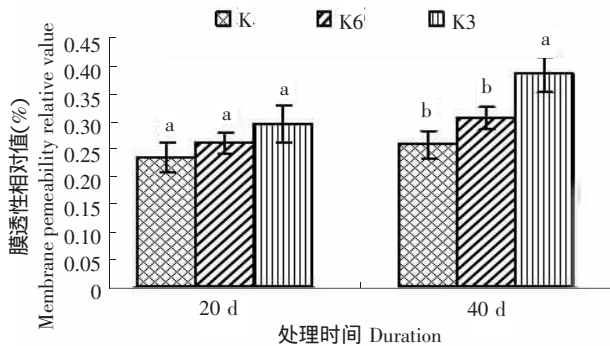


图 2 低钾胁迫对马铃薯试管苗膜透性的影响

Figure 2 Effect of low potassium stress on membrane permeability of potato plantlets in vitro

2.5 低钾胁迫对马铃薯试管苗可溶性糖含量的影响

从图 3 中可以看出, 低钾胁迫 20 d 至 40 d 时, 60% 钾素含量处理马铃薯试管苗叶片中的可溶性糖含量与对照无差异显著性($P > 0.05$)。而在 30% 钾素含量的环境中, 试管苗叶片中的可溶性糖含量明显上升, 与对照和 K6 处理间呈极显著差异($P < 0.01$)。可溶性糖含量的高低反映了糖的转化能力, 可溶性糖含量越低, 说明糖转化成淀粉的能力就越强, 反之则越弱。结果说明钾素的过度缺乏, 会降低植株将糖转化为淀粉的能力, 抑制了碳水化合物向根茎等各个器官的运输, 致使叶片中可溶性糖含量增加, 此时植株表现为下部老叶干枯

脱落, 叶面积缩小, 小叶粗糙皱缩向下卷曲。而 K6 环境下并没有影响碳水化合物的转化和运输, 说明 K6 培养环境适宜马铃薯试管苗的生长。

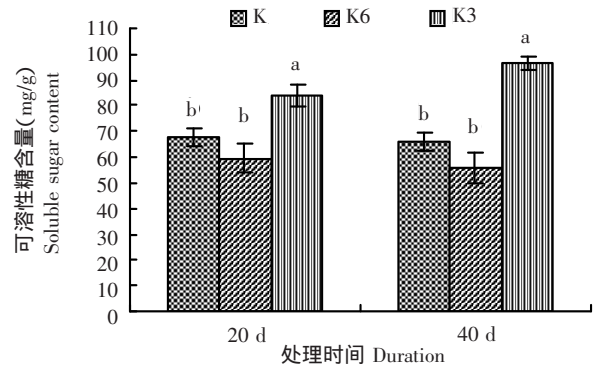


图 3 低钾胁迫对马铃薯试管苗可溶性糖含量的影响

Figure 3 Effect of low potassium stress on soluble sugar content of potato plantlets in vitro

2.6 低钾胁迫对马铃薯试管苗可溶性蛋白含量的影响

低钾胁迫 20 d 时, K3 培养环境中的马铃薯试管苗叶片的可溶性蛋白质含量低于对照和 K6 处理, 但与对照和 K6 处理间差异不显著($P > 0.05$)。延长胁迫时间至 40 d 时, K6 和 K3 处理下的可溶性蛋白质含量进一步降低, 降低幅度较胁迫 20 d 时分别为 7.8% 和 16.2%, 但 K6 与对照间无差异显著性($P > 0.05$), 而 K3 与对照间呈极显著差异($P < 0.01$) (图 4)。这是因为钾素还可以促进碳水化合物的运转, 碳水化合物与化合氮结合就形成了蛋白质, 从而提高了可溶性蛋白含量^[19], 更为重要的是在 mRNA 翻译的过程中, 只有钾离子能使 tRNA 与核糖体保持协调状态, 控制蛋白质的生物合成, 钾在

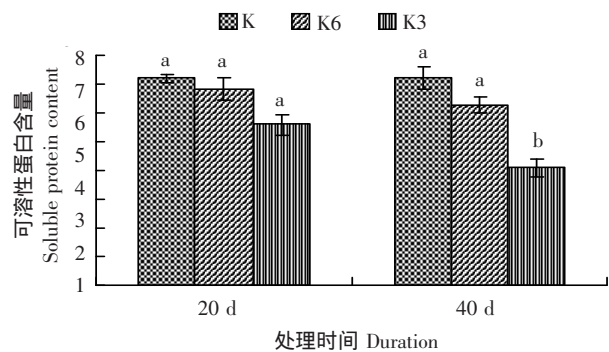


图 4 低钾胁迫对马铃薯试管苗可溶性蛋白含量的影响

Figure 4 Effect of low-potassium stress on soluble protein content of potato plantlets in vitro

细胞中的这种作用具有专一性, 不能为其他离子所替代。因此钾素的过度缺乏会使正常蛋白合成受阻, 可溶性蛋白含量降低。而适当减少钾素含量, 依然能够保证碳水化合物的正常转化和运输以及蛋白的生物合成, 这与 2.4 的结论相一致。

3 讨论

利用组织培养进行马铃薯脱毒试管苗的繁殖是马铃薯种薯生产的重要环节。为了降低成本, 研究者对 MS 培养基或其他类型培养基中的各种成分进行了改变, 以期研制出马铃薯不同品种试管苗低成本大量繁殖所适宜的培养基配方^[1-5]。本研究降低了 MS 培养基中的钾元素含量, 结果发现, 60% 的低钾培养环境对马铃薯试管苗新叶发生能力具有促进作用, 使其生物量增多, 并且植株健壮程度与 MS 全价量无显著性差异, 表明 60% K 元素含量的培养基适宜马铃薯试管苗的生长。

在植物体内钾以一价阳离子状态存在, 流动性很强, 被根吸收后很容易被转运到地上部, 也很容易被从植物体内的一个部位转移到其他部位, 并可以被重复利用。在植物体内钾不足的情况下, 钾被优先分配到生长旺盛的幼嫩组织和器官中, 因此适宜的低钾胁迫条件会增强植株对钾素的吸收能力, 加速钾素的流动和运转, 促进新叶的发生及生物量的增多。植物体的钾营养与脱落酸(ABA)有关, 缺钾时能增强 ABA 代谢, 导致含量上升^[20]。ABA 对细胞的分裂与伸长起抑制作用。它抑制根和胚轴等器官的伸长生长并且抑制蛋白质、核酸的合成。因此钾素含量过低会抑制根系的生长。

钾能增强作物生物膜的持水力, 维持其稳定渗透性。如果钾素缺乏, 质膜的蛋白质分子容易变质, 类脂中不饱和酸亦因脱水而容易氧化, 形成过氧化态, 使质膜透性大幅度增加而失去选择性^[21]。活性氧(ROS)也是植物响应低钾胁迫的重要因素^[22]。钾素含量过低会造成活性氧的大量积累, 活性氧能够启动膜脂过氧化或膜脂作用, 从而破坏膜结构, 当 ROS 的积累超过抗氧化剂防护系统清除能力, 叶绿体及细胞不可逆的光氧化损伤就会出现。对光系统 反应中心造成一定程度的损伤, 使叶绿体非光化学猝灭能力和热耗散水平降低, 导致 30% 低钾含量处理下的马铃薯试管苗的细胞膜相对透性值增加, 叶绿体含量显著性下降^[22-24]。

钾在细胞中的作用具有专一性, 不能为其他离子所替代。研究表明, 钾直接或间接地在蛋白质合成中起着重要的作用。一些试验证明, 施用充足的钾肥, 植物体内蛋白质合成多, 可溶性氮则减少。钾素的过度缺乏会使正常蛋白合成受阻, 可溶性蛋白含量降低。而适当减少钾素含量, 依然能够保证碳水化合物的正常转化和运输以及蛋白的生物合成。可溶性糖含量的高低反映了糖的转化能力, 可溶性糖含量越低, 说明糖转化成淀粉的能力就越强, 反之则越弱。结果说明钾素的过度缺乏, 会降低植株将糖转化为淀粉的能力, 抑制了碳水化合物向根茎等各个器官的运输, 致使叶片中可溶性糖含量增加, 而逆境下叶片中增加的可溶性糖可显著提高细胞溶质, 调解细胞渗透势, 从而抵御逆境伤害, 保证植株生长发育, 这是生物应对逆境环境的积极响应。

由此可见, 含 60% K 元素的 MS 培养基是适宜马铃薯试管苗生长的, 但是这种试管苗的移栽成活率、抗病力、结薯率以及对马铃薯品质的影响等指标的变化尚待进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 黄萍, 颜谦, 何庆, 等. 培养基成分改变对马铃薯试管苗生长的影响[J]. 种子, 2005, 24(4): 58-59.
- [2] 赵永秀, 郝文胜, 李蒙平. 几种基本培养基对 Favorita 试管苗生长的影响初报[J]. 内蒙古农业科技, 2005(S1): 46-47.
- [3] 陈永波, 赵清华, 袁明山, 等. 微量元素缺乏与过量对脱毒马铃薯生长的影响[J]. 中国马铃薯, 2005, 19(1): 10-12.
- [4] 郎贤波, 廉美兰, 朴炫春, 等. 无机盐浓度对马铃薯脱毒苗微繁的影响[J]. 延边大学农学报, 2007, 29(1): 1-4.
- [5] 陈凯, 刘颖, 卢月霞. 培养基与光照强度对马铃薯脱毒试管苗组培快繁的影响[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(9): 1628.
- [6] 刘建祥, 杨肖娥, 杨玉爱, 等. 低钾胁迫下水稻钾高效基因型若干生长特性和营养特性的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 190-195.
- [7] 陈光荣. 旱作马铃薯施钾与补水效应的研究[D]. 甘肃: 甘肃农业大学, 2008.
- [8] Leigh R A, Wynjones R G. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell [J]. New Phytol, 1984, 97: 1213.
- [9] 赵淑清, 郭剑波. 植物钾营养性状的遗传潜力[J]. 西北植物学报, 2001, 21(2): 221-225.
- [10] 李玉影. 马铃薯需钾特性及钾肥效应[J]. 马铃薯杂志, 1999, 13(1): 9-12.
- [11] Pettersson S, Jensen P. Variation among species and varieties in uptake and utilization of potassium [J]. Plant and Soil, 1983, 72 : 231-237.
- [12] 刘国栋, 刘更另. 水稻耐低钾基因型筛选方法的研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 113-120.

中图分类号：S532；S318 文献标识码：B 文章编号：1672-3635(2011)03-0157-03

建平县马铃薯栽培技术存在问题及解决措施

国泽新*

(辽宁省建平县农业技术推广中心, 辽宁 建平 122400)

摘要：建平县位于辽宁西部，是一个山区农业大县，种植马铃薯具有得天独厚的自然优势和良好的生态条件，每年马铃薯播种面积约达 1.3 万 hm^2 ，是辽宁省马铃薯生产第一大县，占全省马铃薯播种面积的 1/4。多年来，马铃薯单产水平徘徊不前，单产不高，总产不稳，农民种植普遍采用传统的栽培方法，严重阻碍了马铃薯生产的发展。为把适宜种植马铃薯这一资源优势变为产业优势和经济优势，本文通过分析建平县马铃薯栽培技术的现状，找出马铃薯栽培技术方面存在的主要问题，并提出相关的解决措施，用于技术指导，在农业生产实践中取得显著成效，从而更好地促进建平县马铃薯产业稳步健康发展。

关键词：马铃薯；栽培技术；存在问题；解决措施

Problems and Measures in Potato Production of Jianping County

GUO Zexin*

(Jianping Agricultural Technique Extension Center, Jianping, Liaoning 122400, China)

Abstract: Jianping county is located in the western part of Liaoning province, featuring agriculture in mountainous area. The ecosystem is well suitable for potato production, with the annual planting area of about 13 000 ha. It ranks in the first place and the area accounts for 1/4 of total potato planting area in Liaoning province. Over the years, the local farmers use the traditional method to grow potatoes and this leads to low per unit yield and unstable total yield, thereby refraining the development of potato industry. In order to take advantage of the resources superiority for potato production, the status quo, problems, and measures are discussed so as to provide farmers with technique assistance, increase the economic return, and therefore promote rapid development of potato industry in Jianping county.

Key Words: potato; agronomy; problem; measure

收稿日期：2010-11-01

作者简介：国泽新(1969-)，男，高级农艺师，主要从事马铃薯种植技术推广研究。

*通信作者(Corresponding author)：国泽新，E-mail: guozexin321@163.com。

- [13] 韩燕来, 刘新红, 王宜伦, 等. 不同小麦品种钾素营养特性的差异[J]. 麦类作物学报, 2006, 26 (1): 99-103.
- [14] 王旭东, 于振文, 王东. 钾对小麦茎和叶鞘碳水化合物含量及子粒淀粉积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 56-58.
- [15] 何萍, 金继运, 李文娟, 等. 施钾对高油玉米和普通玉米吸钾特性及子粒产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 620-626.
- [16] 张晓海, 邵丽. 长期大量施用化肥对植烟土壤微生物和养分含量的影响[J]. 烟草科学研究, 2002(1): 31-34.
- [17] Maathuis F J M, Sanders D. Mechanism of potassium absorption by higher plant roots [J]. *Physiol Plant*, 1996, 96: 158-168.
- [18] 夏乐, 于海秋, 郭焕茹, 等. 低钾胁迫对玉米光合特性及叶绿素荧光特性的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(6): 71-74.
- [19] 孙瑶, 吴根良, 沈国正, 等. 不同氮磷钾配比复合肥对卡特兰碳水化合物和可溶性蛋白含量的影响[J]. 浙江农业科学, 2008, 6: 684-686.
- [20] 毛培培, 赵云云. 植物对钾营养的吸收、运转和胁迫反应的研究进展[J]. 生物学通报, 2008, 43(8):11-13.
- [21] 李华. 水稻钾高效营养机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2001.
- [22] 刘咏梅. 低钾对番红花叶片中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶活性和膜脂过氧化物的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1999, 24(1): 116-119.
- [23] 刘科, 杜林方, 林宏辉, 等. 活性氧对植物光系统的破坏作用[J]. 四川大学学报(自然科学版), 1998, 35(2): 268-272.
- [24] 冯建灿, 毛训甲, 胡秀丽. 光氧化胁迫条件下叶绿体中活性氧的产生、清除及防御[J]. 西北植物学报, 2005, 25(7): 1487-1498.